



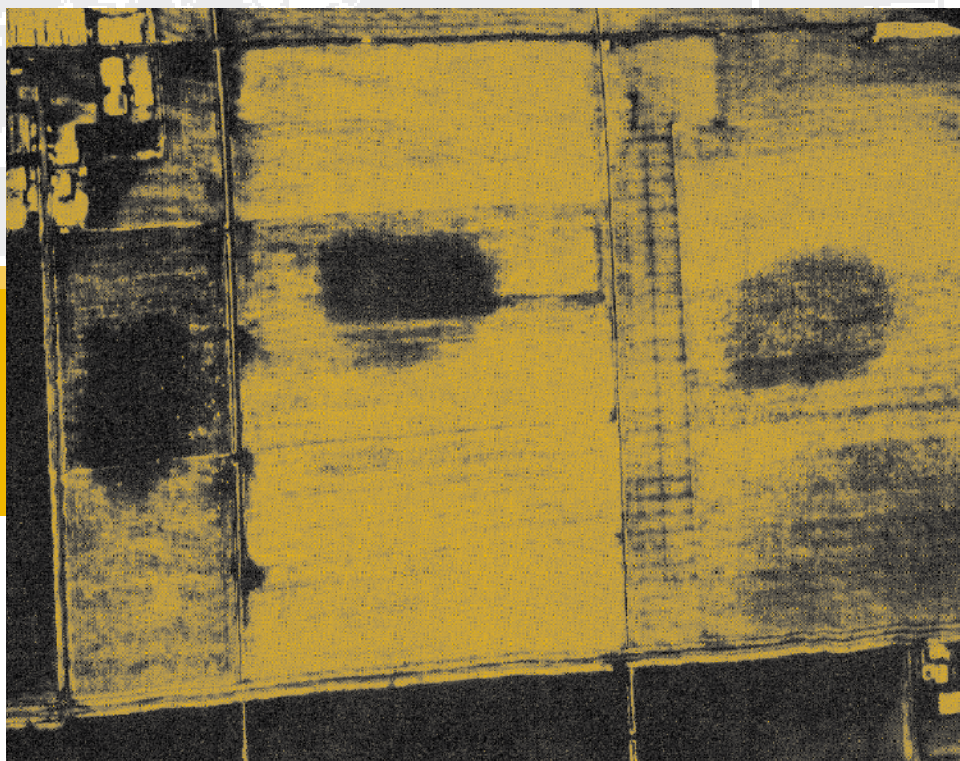
ALTERRA

WAGENINGEN UR

Introductie van regenwormen ter verbetering van bodemkwaliteit

J.H. Faber
A. van der Hout

Alterra-rapport 1905, ISSN 1566-7197



Introductie van regenwormen ter verbetering van bodemkwaliteit

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

projectnr BO-07-001-004

Introductie van regenwormen ter verbetering van bodemkwaliteit

J.H. Faber

A. van der Hout

Alterra-rapport 1905

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Faber, J.H. & A. van der Hout, 2009. *Introductie van regenwormen ter verbetering van de bodem; literatuurstudie en veldinventarisatie* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1905. 60 blz.; 3. fig.; 7 tab.; 31 ref.

Het is goed mogelijk om regenwormen te introduceren zodanig dat populaties zich blijvend vestigen. Op een termijn van enkele jaren kunnen geïntroduceerde regenwormen de eigenschappen van de bodem verbeteren door meer aggregaatvorming, grotere porositeit, betere doorluchting en waterinfiltratie en meer vochtleverend vermogen van de bodem. Daarmee hebben introducties in agrarisch grasland en akkerland potentie voor toepassing als teeltondersteunende maatregel. De succesfactoren bij de maatregel zijn echter nog onvoldoende bekend voor onmiddellijke toepassing in de praktijk. Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van introducties in Nederland en elders in gematigde streken. De gegevens van Nederlandse introducties komen voort uit historisch onderzoek en recent uitgevoerde veldinventarisaties. Op basis van literatuurstudie worden succes- en faalfactoren kort op een rijtje gezet, evenals de effecten van introducties op de kwaliteit van de bodem in grasland en akkerland.

Trefwoorden: agrobiodiversiteit, duurzame landbouw, ecosystemendiensten, regenwormen

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Werkwijze	13
3 Slagen introducties?	15
4 Effecten op de bodem	17
5 Succesfactoren voor een geslaagde introductie	21
6 Resultaten veldinventarisatie	23
7 Conclusies	27
7.1 Literatuurstudie	27
7.2 Veldinventarisatie	28
8 Aanbevelingen	29
8.1 Toepassing in de praktijk	29
8.2 Onderzoek	30
Literatuur	33
<i>Bijlagen</i>	
1 Werkwijze literatuurstudie	37
2 Methoden voor introductie	39
3 Dispersieafstanden van regenwormen	41
4 Effecten op de bodem	43
5 Experimenten in Nederland	52

Woord vooraf

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit via de Helpdesk van het cluster 'Verduurzaming, Productie en Transitie'. Het project is een aanvulling op het beleidsondersteunend onderzoek in dit cluster rond het thema 'Functionele Agrobiodiversiteit'. Dit programma is gericht op kennisontwikkeling en –overdracht ten behoeve van een transitie naar duurzame landbouw.

Samenvatting

Het is goed mogelijk om regenwormen te introduceren zodanig dat populaties zich blijvend vestigen. Op een termijn van enkele jaren kunnen geïntroduceerde regenwormen de eigenschappen van de bodem verbeteren door meer aggregaatvorming, grotere porositeit, betere doorluchting en waterinfiltratie en meer vochtleverend vermogen van de bodem. Daarmee hebben introducties in agrarisch grasland en bouwland potentie voor toepassing als teeltondersteunende maatregel. De succesfactoren bij de maatregel zijn echter nog onvoldoende bekend voor onmiddellijke toepassing in de praktijk, en succes is dan ook nog niet gegarandeerd.

Het succes van een introductie is afhankelijk van de soortensamenstelling en de bodembewerking nadien. De keuze van soorten is relevant voor de te bereiken effecten. Het duurt twee tot tien jaar voordat een populatie zich succesvol gevestigd heeft en effecten op de bodem waarneembaar worden. De bodemstructuur (aggregaatvorming, porositeit en infiltratiecapaciteit) verbetert met de soorten *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa* en *Lumbricus terrestris*. Dit zijn echter de enige soorten waarnaar soortspecifiek veldonderzoek is verricht. *L. terrestris* en *L. rubellus* zijn minder succesvol in het vestigen van een populatie dan *A. caliginosa* en *Allolobophora chlorotica*. De zuurgraad van de bodem kan worden verminderd door introductie van *L. terrestris*, die grond uit diepere bodemlagen naar boven brengt. Introductie van *Octolasion tyrtaeum* heeft juist een verzurend effect. Ook de verdeling van nutriënten over het bodemprofiel verbetert met de introductie van regenwormen, waarbij de hoeveelheid beschikbaar stikstof kan afnemen. *L. terrestris* kan er voor zorgen dat de hoeveelheid beschikbaar fosfaat toeneemt, *L. rubellus* zorgt voor het tegenovergestelde effect. Fosfaat kan meer uitspoelen na het introduceren van regenwormen. Regenwormen zorgen voor incorporatie van kalk in bekalckte grond en strooisel. Het humusprofiel van de bodem kan veranderen van een mor of moder structuur in een mull structuur.

Vooraf in grasland kan de bodem ook schade oplopen door de introductie van wormen. Enerzijds kan onder natte weersomstandigheden bij hogere porositeit en waterhoudend vermogen schade aan de zode ontstaan door vertrapping van vee, anderzijds trekken wormen ook meer mollen aan. Deze nadelen wegen meestal niet op tegen de voordelen.

Er zijn verschillende methoden van introductie. Het plaatsen van zoden uit een donorveld kan de daarin aanwezige gemeenschap in zijn geheel overbrengen, met uitzondering van pendelaars (NL: *A. longa* en *L. terrestris*). Een alternatieve methode is chemische, elektrische of fysieke extractie van wormen uit een donorlocatie. Door selectie van soorten en aantallen kan hierbij meer sturing worden gegeven aan de introductie. Een derde methode is de *earthworm inoculation unit*, waarbij wormen worden opgekweekt in grond. Zo kan een gewenste soort worden geënt in uiteenlopende levensstadia.

De dispersie na introductie is afhankelijk van soort en landgebruik, maar afstanden bedragen doorgaans slechts enkele meters per jaar. De grootste dispersie van populaties onder normale omstandigheden is beschreven voor *A. caliginosa* en *L. rubellus* in grasland met afstanden van 10 tot 13 meter per jaar.

1 Inleiding

Achtergrond

De structuur en de waterregulerende eigenschappen van de bodem zijn sterk afhankelijk van de activiteit van het bodemleven, in het bijzonder van regenwormen. Door bodembewerking kan de structuur op kunstmatige wijze verder verbeterd worden, maar dit gaat sterk ten koste van het bodemleven en de bijdrage aan bodemstructuur die dit bodemleven van nature levert. Het structuurverbeterende effect van ploegen en andere intensieve grondbewerking is slechts kortstondig, omdat bij neerslag al snel korstvorming kan optreden en bodemaggregaten en de daarin opgesloten organische stof op langere termijn achteruit gaan. Met “natuurlijke bodembewerking” kan het bodemleven op langere termijn een alternatieve bijdrage leveren aan het rendement van het landgebruik, zodat de boer het ook kan stellen zonder zware grondbewerking (Faber et al. 2009).

Bij duurzaam bodembeheer en een transitie naar meer duurzame landbouw waarbij minder intensieve grondbewerking wordt nagestreefd, zal de bodemstructuur op een andere manier in stand moeten worden gehouden om het boerenbedrijf rendabel te houden. Een optie is het stimuleren van agrobiodiversiteit die de bodemstructuur kan verbeteren. Regenwormen zijn een belangrijke component van deze functionele agrobiodiversiteit. Introducties van regenwormen zouden transities mogelijk kunnen versnellen.

Er is in Nederland en West-Europa nog weinig ervaring met het introduceren van regenwormen. Begin 70-er jaren zijn enkele experimenten uitgevoerd op de nog jonge akkerbodems en vervulde graslanden in de Flevopolders. Tot de verbeelding spreekt een luchtfoto van graslandpercelen te Swifterbant, waaruit een duidelijke structuurverandering van de bodem kan worden opgemaakt (Figuur 1).

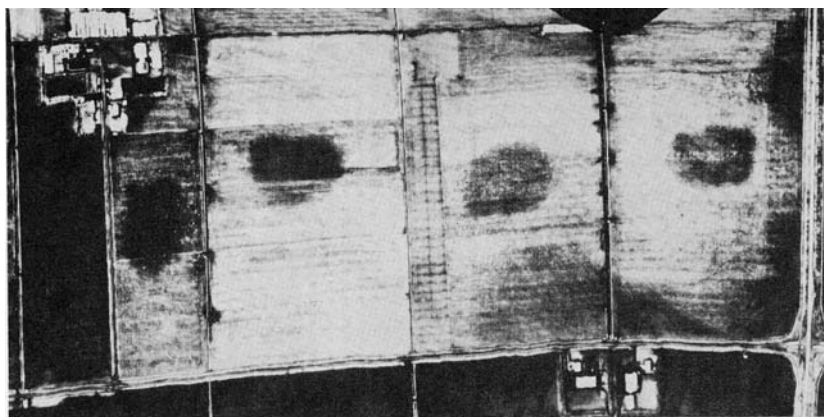


Fig. 8.5 Differences in radiant temperature of soil with and without earthworms. Worm-plots in field centres 9 years after inoculation. Swifterbant (courtesy Begeleidingscomm. Remote Sensing-BCRS).

Figuur 1. Infrarood luchtfoto van graslandpercelen op de Minderboudhoeve te Swifterbant waarin de uitstralingstemperatuur van de bodem duidelijk samenhangt met aanwezigheid van regenwormen. Opname is gemaakt 9 jaar na introductie.

Bij omschakeling naar niet-kerende akkerbouw en bij extensivering van akkerland naar grasland zouden introducties van regenwormen wellicht kunnen bijdragen aan een snelle, succesvolle transitie. Ook als herstelmaatregel van oud grasland met een vervilte laag zou de maatregel potentie kunnen hebben.

Probleemstelling

Deze studie moet op basis van literatuurstudie, historisch onderzoek en veldinventarisaties duidelijk maken of de bodemstructuur en waterhuishouding bij minder intensieve grondbewerking kan worden behouden en zo mogelijk nog verbeterd door introductie van regenwormen. Daarnaast moet blijken of de introductie van regenwormen potentie heeft als maatregel voor brede toepassing in de landbouw in Nederland en zo ja, welk onderzoek wenselijk is om de toepassing van de maatregel te optimaliseren.

Het is onbekend in hoeverre eerdere introducties van regenwormen in Flevoland succesvol zijn tot op de dag van vandaag, en of introductie dus in de praktijk toepasbaar kan zijn om functionele agrobiodiversiteit te bevorderen. Een hiermee samenhangende vraag is in hoeverre de functionele diversiteit van de wormenfauna verhoogd wordt bij minder intensieve grondbewerking.

2 Werkwijze

De studie is enerzijds gebaseerd op wetenschappelijke literatuur over introducties van regenwormen in Nederland en daarbuiten (beperkt tot gematigde streken). Zie bijlage 1 voor technische details over het literatuuronderzoek. Daarnaast zijn veldinventarisaties uitgevoerd op locaties waar ooit wormen werden geïntroduceerd om te bezien in hoeverre populaties zich blijvend kunnen vestigen. Hierbij is ook het beheer van de bodem in beschouwing genomen om inzicht te verkrijgen of kerende grondbewerking van betekenis is voor het vestigingssucces.

In de Flevopolders liggen vijf locaties waar in het verleden regenwormen werden geïntroduceerd als maatregel om de bodem te doen rijpen of om vervilt grasland te verbeteren. Deze locaties zijn in november 2008 bemonsterd om de aanwezige regenwormenfauna te inventariseren. Daarbij zijn historische bronnen en medewerkers van betreffende proefboerderijen geraadpleegd om het landgebruik en bouwplan te achterhalen.

Daarnaast is een oriënterend onderzoek uitgevoerd in relatie tot niet-kerende grondbewerking in akkerland in een boomgaard. Daartoe zijn drie locaties in Limburg bemonsterd. De introductielocatie akkerland in Zeewolde werd tijdens de bemonstering geploegd. De bemonstering is uitgevoerd op zowel een nog niet bewerkt deel van het perceel als ook in het bewerkte deel, zodat een indicatie werd verkregen van het effect van ploegen.

De aandacht van het onderzoek gaat in het bijzonder uit naar zgn. ‘pendelaars’ (zie Hoofdstuk 4), vanwege het belang van deze soorten voor de structuur en het waterregulerend vermogen van de bodem. Deze groep regenwormen wordt met reguliere monstercampagnes structureel over het hoofd gezien, vanwege de ontoereikendheid van de standaard gebruikte zodebemonstering. Pendelaars leven dieper in de bodem, en kunnen zich op het moment van monsternamen snel terugtrekken. Een aanvullende extractie is dan noodzakelijk om deze soorten te bemonsteren. Op elke locatie werd een standaard zodebemonstering uitgevoerd (drie pluggen 30x30x20 cm) aangevuld met een mosterdextractie (cf Zaborski, 2003). om de dieplevende soorten te verzamelen

3 Slagen introducties?

Ja, introducties van regenwormen blijken op termijn vaak succesvol. Al zijn er wel verschillen van soort tot soort. Bepaalde bodembewonende soorten kunnen zich vrij gemakkelijk vestigen, maar pendelaars (toelichting zie hoofdstuk 4) hebben een lage reproductie- en dispersiesnelheid en hebben langere tijd nodig om populaties van enige omvang te vormen. Het duurt meerdere jaren voordat zich een populatie gevestigd heeft en zich uitbreidt. In Swifterband, waar vier soorten tegelijkertijd zijn geïntroduceerd, hebben de populaties zich na 8 jaar tot op 20 meter buiten de entplaats uitgebreid. Vestiging is een relatief makkelijk te bereiken doel, verdere kolonisatie is echter een beperkende factor wanneer snel resultaat gewenst is. Maar het simpele feit dat wormen vele jaren kunnen worden teruggevonden op de plaats van introductie toont aan dat introducties in die zin in principe kunnen slagen. Of de daarbij beoogde verbeteringen van bodemkwaliteit ook worden gerealiseerd wordt besproken in het volgende hoofdstuk. In het onderstaande gaan we eerst in op soortspecifieke aspecten bij het introductiesucces.

In de literatuur blijkt *A. caliginosa* veelvuldig en met onverdeeld succes toegepast te worden bij introducties (Tabel 1). Ook in Nederland (Flevoland) werd deze soort succesvol geïntroduceerd. Andere soorten die zich hier succesvol hebben verspreid zijn *L. rubellus*, *Aporrectodea rosea*, *A. longa*, *A. chlorotica* en een kleine populatie van *L. terrestris*.

Tabel 1. Succesratio's bij het vestigen van een blijvende populatie regenwormen na introductie.

Soort	Introducties	
	Succesvol	Niet-succesvol
<i>Lumbricus terrestris</i>	8	4
<i>Lumbricus rubellus</i>	4	2
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	14	0
<i>Aporrectodea longa</i>	7	1
<i>Aporrectodea rosea</i>	2	0
<i>Aporrectodea trapezoides</i>	0	1
<i>Allolobophora chlorotica</i>	5	0
<i>Dendrobaena rubida</i>	1	1
<i>Dendrobaena octaedra</i>	1	0
<i>Octolasion tyrtaeum</i>	1	0
<i>Octolasion cyaneum</i>	2	0

Bijlage 2 geeft een kort overzicht met voor- en nadelen van de meest gebruikte methoden van introductie. In bijlage 3 worden dispersiesnelheden vermeld, zoals die in de literatuur worden beschreven voor de meest algemeen voor introducties gebruikte en voor Nederland relevante soorten. Bijlage 4 beschrijft de effecten op de bodem. Bijlage 5 tenslotte beschrijft experimentele introducties in Nederland en geeft daarbij informatie over de locaties en het landgebruik.

4 Effecten op de bodem

Locale introducties van regenwormen zijn gericht op het verbeteren van de kwaliteit van de bodem. Zowel in de landbouw als bij natuurbeheer geldt dat introducties zijn gericht op verbetering van specifieke bodemcondities of processen in de bodem. De selectie van te introduceren soorten is afhankelijk van het probleem, en de soortenkeuze is van betekenis voor het te behalen resultaat. Daarom eerst een korte uiteenzetting over de functionele ecologie van regenwormen.

Er zijn drie ecologische groepen van regenwormen (Bouché 1977) die elk op eigen wijze bijdragen aan ecosysteemdiensten van de bodem zoals vruchtbaarheid, waterregulatie, bodemstructuur en zelfs ziektevermindering.

"Pendelaars" zijn soorten die leven in een verticaal gangenstelsel. Zij voeden zich met bladresten die ze de grond in trekken zodat het organisch stofgehalte en de bodemvruchtbaarheid toenemen. Regenwater kan snel in de bodem dringen langs de wormgangen die preferente stroombanen vormen.

Regenwormen met een oppervlakkig gangenstelsel trekken eveneens bladmateriaal de grond in; en verhogen dus ook het organisch stofgehalte van de bodem. Zij zorgen voor een goede beluchting van de wortelzone en beschikbaarheid van nutriënten voor het gewas.

Dieper levende wormen, de "echte" bodembewoners, eten grond waaruit ze de organische bestanddelen verteren. Ze hebben geen gangenstelsel, maar woelen de grond al etende voortdurend om. Dat leidt in de regel juist tot afbraak van organisch stof, maar ook tot een goed beluchte bodem die veel water kan bergen en naleveren.

Het voorkomen van regenwormen van deze groepen verschilt per ecosysteem en is afhankelijk van groundbewerking. Ploegen en andere vormen van intensieve groundbewerking zijn erg nadelig voor regenwormen en in bouwland worden doorgaans dan ook weinig wormen gevonden. Zowel de soortdiversiteit als de dichtheden zijn daar laag. Oppervlakkig levende soorten zijn vanzelfsprekend kwetsbaar voor mechanische bodembewerking (ploegen, eggen, mestinjectie). Maar meer nog ontbreken in bouwland veelvuldig juist de pendelaars, ondanks het voorkomen beneden de bouwvoor. Dit vanwege de afwezigheid van voedsel in de vorm van gewasresten op het bodemoppervlak.

De behoefte aan introductie van regenwormen is afhankelijk van de aanwezige gemeenschap, en de ecologische groepen (en functies) die hierin vertegenwoordigd zijn. Het succes van een introductie is mede afhankelijk van het landgebruik en de toegepaste groundbewerking (zie ook hoofdstuk 5)

In Nederland zijn de meeste introducties van regenwormen uitgevoerd op grasland: vier in grasland, twee op akkers en een introductie in een boomgaard. Voor het buitenland hebben we 13 studies van experimentele introducties gevonden in de literatuur (Bijlage 4). Hiervan zijn er drie in grasland, drie in akkers, een in een boomgaard, drie in bos, een in akker met gras en twee voormalige mijngebieden waarvan een met gras ingezaaid en een met bomen beplant. Daarnaast zijn er in de

literatuur ook studies te vinden van onbedoelde introducties, zoals die door sportvissers; deze categorie is verder niet uitgewerkt.

Door introductie van regenwormen kunnen betere condities worden bereikt met betrekking tot bodemstructuur, waterinfiltratie, aggregaatstructuur, porositeit, water verhoudingen en doorluchting van de bodem. Effecten worden na enkele jaren zichtbaar. Het kan zo'n zes jaar duren voordat de stabiliteit van de aggregaten beter wordt (Faber et al., 2009). Bij experimentele introducties in Biddinghuizen in Flevoland waren de eerste effecten op de bodem na drie jaar te zien. Na acht tot tien jaar was de bodemstructuur veranderd en in de jaren daarna veranderde de bodem steeds verder. Andere studies vermelden na twee tot zeven jaar effecten op bodemstructuur en andere bodemeigenschappen.

De hoeveelheid beschikbaar stikstof kan afnemen na introductie van regenwormen. *L. terrestris* kan ervoor zorgen dat de hoeveelheid beschikbaar fosfaat toeneemt, *L. rubellus* kan ervoor zorgen dat deze afneemt. Bij 1 introductie werd melding gemaakt van het feit dat er meer uitspoeling van fosfaat naar dieper gelegen lagen plaatsvindt. C/N ratio kan toe- of afnemen na introductie van regenwormen. De verdeling van nutriënten kan verbeteren na introductie van regenwormen. Bij toediening van kalk aan de bodem kunnen de wormen voor een betere incorporatie in de bodem zorgen.

Introductie van regenwormen (*A. caliginosa*, *L. rubellus*, *A. longa*, *L. terrestris* en *A. trapezoides*) leidt tot een verhoging van de grasproductie (meerdere studies), introductie van *A. rosea* en *A. trapezoides* verhoogt de productie van luzerne (1 studie). *A. trapezoides* kan de grasproductie ook verlagen. Door de introductie van regenwormen krijgt het gewas een beter wortelstelsel en kan de hevigheid van wortelziektes in graangewassen verminderen.

Regenwormen zorgen voor een hoger organisch stofgehalte in de (bos)bodem tot een diepte variërend van 5 cm tot 30 cm. *L. terrestris* zorgt voor een afname van de strooisellaag en incorporatie van strooiselresten in de bodem. *D. octaedra* laat de strooisellaag vrijwel intact.

Oppervlakkig levende en pendelende regenwormen consumeren de organische bovenlaag en mengen het strooisel met de bovenste minerale lagen. Door verschillende soorten regenwormen te introduceren kan een bodem bestaande uit een mor laag met daaronder een A en E horizon veranderen in een mull structuur en een vrij diepe A-horizon. Introductie kan er toe leiden dat een bodem met een moder structuur in een bodem met een mull structuur verandert.

Een verhoging in de pH kan worden bereikt door introductie van de pendelaar *L. terrestris*. Deze brengt grond uit diepere lagen met hogere pH naar het oppervlak. De oppervlakkig levende soort *O. tyraeum* zorgt er juist voor dat de pH wordt verlaagd, door organische lagen met minerale lagen te mengen. In zure (verzuurde) bosgronden kan de (her)introductie van regenwormen ervoor zorgen dat de pH verhoogd wordt.

Regenwormintroductions kunnen de porositeit en het watergehalte van de bodem verhogen. Er kan daardoor echter ook meer kans bestaan op beschadiging van de zode door vertrapping van vee en aanwezigheid van mollen op zoek naar regenwormen. Dergelijke schade is beschreven voor graslanden in Flevoland en voormalige mijngebieden. Wellicht hangt dit samen met het jonge karakter van deze bodems, waarbij nog weinig sprake is van een goede aggregaatstructuur.

Introductie van *A. longa* kan een negatieve invloed hebben op biomassa en aantallen van *A. caliginosa*. Introductie van *L. terrestris* of *O. tyrtaeum* leidt tot een achteruitgang van *D. octaedra*, waarschijnlijk door veranderingen in het habitat. Introductie van regenwormen kan door veranderingen van habitat en competitie om voedsel ook repercussies opleveren voor de mestfauna en microarthropoden.

Bij de meeste introductions gaat het om meerdere soorten die tegelijk geïntroduceerd worden. Het is dan niet mogelijk om de invloed van de afzonderlijke soorten te benoemen. Met het oog op de te bereiken resultaten van een introductie is de keuze van geschikte soorten evenwel cruciaal. Uit experimentele studies in het laboratorium is voldoende bekend dat de effecten van regenwormen sterk uiteenlopen, al naar gelang de soort (Postma-Blaauw *et al.*, 2006). In Tabel 2 is het effect op de bodemstructuur weergegeven voor introductions waar met een enkele soort is gewerkt. Daarbij werd voornamelijk gekeken naar aggregaatvorming, porositeit en de infiltratiecapaciteit voor water.

Tabel 2. Soortspecifieke effecten op de bodem na introductie.

Soort	Effect op bodem	Land	Referentie
<i>A. caliginosa</i>	Meer aggregaatvorming, verbeterde water-lucht verhouding	Nederland	Van Rhee 1968
<i>A. caliginosa</i>	Verhoogde infiltratiecapaciteit verbeterd waterhoudend vermogen verbeterde bodemstructuur	Nieuw-Zeeland	Stockdill 1982
<i>A. longa</i>	Verhoogde porositeit vanaf 10 cm diepte hogere infiltratiecapaciteit	Nieuw-Zeeland	Springett 1984 Baker <i>et al.</i> 1999
<i>L. terrestris</i>	Licht verhoogde infiltratiecapaciteit na twee jaar	VS, Indiana	Willoughby <i>et al.</i> 2002

In brede zin hebben regenwormen meestal een gunstige invloed op de bodem; in de regel resulteert dat in hogere gewasopbrengsten, vooral op niet-zure zandgronden met weinig organische stof (Brown *et al.*, 1999). Er zijn in de literatuur echter ook voorbeelden beschreven van lagere opbrengsten en schade, al zijn deze observaties vaak bij tropische gewassen gedaan. Voor de Nederlandse situatie is verslemping van de bovengrond gerapporteerd in de aardappelteelt in Flevoland, samenhangend met het voorkomen van *A. caliginosa* (Ester & van Rozen 2002). Deze schade is wellicht het gevolg van de afwezigheid van andere ecologische groepen regenwormen, samenhangend met de intensieve grondbewerking, en het optreden van extreem natte weerscondities op een zware grondsoort.

Buiten de scope van dit onderzoek vallend, maar toch interessant genoeg voor een zijdelingse opmerking wordt tenslotte vermeld dat regenwormen invloed hebben op de groeisnelheid van planten, de samenstelling van plantengemeenschappen, de

structuur van de vegetatie en zelfs de herbivoren door beïnvloeding van de stikstofgehaltenes in plantenweefsel (Scheu 2003). Door dit soort complexe trofische interacties kunnen regenwormen dus invloed hebben op ecosystemen als geheel, niet alleen het bodemecosysteem.

5 Succesfactoren voor een geslaagde introductie

De factoren die leiden tot een succesvolle, blijvende introductie van regenwormen zijn nog slecht begrepen. Duidelijk is dat zowel het moment en de wijze van introduceren als ook de wijze van grondbewerking daarna van belang zijn.

De meeste succesvolle introducties hebben plaatsgevonden in het voorjaar of najaar, wanneer de bodemcondities het meest gunstig zijn en de wormenactiviteit het grootst is.

Transplantatie van zoden en toepassing van de *earthworm inoculation unit* lijken meer succes te bieden dan het verspreiden van wormen over het bodemoppervlak. Risico's op predatie, uitdrogen of bevriezen zullen hierbij een rol spelen. De graszodemethode is niet erg geschikt voor het introduceren van pendelaars (*A. longa* of *L. terrestris*). Pendelaars hebben diepere leefgangen en trekken zich bij onraad snel in de diepere bodemlagen terug.

Verskillende agrarische praktijken beïnvloeden dichtheden van regenwormen. Hieronder vallen ploegen, rotatieteelt, drainage, bekalken, type bemesting, gebruik van bestrijdingsmiddelen en de veebezetting. Kerende grondbewerking lijkt vooral de pendelaar *L. terrestris* veel last te geven, omdat de leefgang vernield wordt en de primaire voedselbron niet langer te vinden is. Ploegen kan een wormengemeenschap als geheel al snel met 50% doen afnemen. Hoe intensiever de bodembewerking, des te lager de dichtheid en activiteit van regenwormen. Toevoeging van organisch materiaal kan de overleving en groei van de pendelaar *A. longa* verbeteren. Wintergraan lijkt een positieve invloed te hebben op de regenwormenpopulatie en suikerbieten een negatieve invloed. Het verbouwen van suikerbieten vraagt intensieve bodembewerking en is daardoor ongunstig voor regenwormen.

Introductie van *L. terrestris* is moeilijk. Factoren voor het mislukken van introducties zijn niet altijd aanwijsbaar. Bij sommige introducties hebben extreem droge omstandigheden een beperkende rol gespeeld. In bouwland met een zeer hoog kleigehalte (61% top laag en 91% ondergrond) en hoog grondwaterpeil lijkt introductie van *L. terrestris* weinig kansrijk.

De pendelende soorten *L. terrestris* en *A. longa* zullen zich waarschijnlijk überhaupt niet succesvol vestigen in veengebied met heide en berk.

Verzuring, bodemverontreiniging, verdroging en voedselgebrek zijn factoren die een succesvolle introductie in de weg kunnen staan. Introductie van *L. terrestris* in gebieden met afval van kolenmijnen met een mix van afvalwater is niet succesvol.

Nieuw ontgonnen bodems die nog moeten rijpen zijn niet geschikt om wormen te introduceren. Voormalige afvalstorten kunnen daarentegen wel geschikt zijn.

Regenwormen in ongerepte veengebieden worden gelimiteerd door de hoge vochtigheid, lage pH en een lage kwaliteit aan strooisel. Als deze gronden afgewaterd

worden voor landbouw kunnen zich succesvolle populaties ontwikkelen van *D. octaedra*, *D. rubida* en *L. rubellus*. Ook *A. caliginosa* en *A. chlorotica* horen tot de vroege kolonistoren. Soorten als *A. longa*, *A. rosea*, *L. terrestris* en *O. cyaneum* prefereren locaties die al langere tijd in agrarisch gebruik zijn.

6 Resultaten veldinventarisatie

Bijlage 5 geeft een overzicht van de in Nederland uitgevoerde introducties van regenwormen. In tabel 3 en 4 staan de in Flevoland geïntroduceerde soorten en de soorten die in 2008 zijn aangetroffen. Onder de aangetroffen soorten zaten twee pendelaars: *Lumbricus terrestris* en *Aporrectodea longa*.

Tabel 3: Regenwormenintroducties op proefboerderijen in Flevoland

Locatie	Introductie jaar	Geïntroduceerde soorten	Aangetroffen soorten 2008
Dronten, appelboomgaard	1964	Plot A: <i>A. Caliginosa</i> Plot B: <i>A. caliginosa</i> L. <i>terrestris</i>	<i>A. caliginosa</i> <i>A. rosea</i> <i>L. castaneus</i> <i>L. terrestris</i>
Biddinghuizen (hetzelfde bedrijf als in 1971-1972) grasland	1964 en 1971-1972	Plot A: <i>A. caliginosa</i> Plot B: <i>A. chlorotica</i> <i>A. caliginosa</i> <i>L. terrestris</i>	<i>A. caliginosa</i> <i>A. rosea</i> <i>Lumbricus spec.</i>
Swifterband (Proefboerderij Minderhoudhoeve) grasland	1971-1972 en 1983	<i>A. caliginosa</i> , <i>A. longa</i> <i>L. rubellus</i> <i>L. terrestris</i>	<i>A. chlorotica</i> <i>A. caliginosa</i> (ssp. <i>tuberculata</i> en <i>caliginosa</i>) <i>A. longa</i> <i>L. castaneus</i> <i>L. rubellus</i>
Marknesse (Proefboerderij Lovinkhoeve), akkerland	1987	<i>A. caliginosa</i> <i>L. rubellus</i>	<i>E. tetraedra</i> , <i>Aporrectodea spec.</i>
Zeewolde, akkerland	1988	<i>A. chlorotica</i> , <i>A. caliginosa</i> <i>A. longa</i> <i>A. rosea</i> <i>L. rubellus</i>	<i>A. chlorotica</i> <i>A. caliginosa</i> <i>A. rosea</i> <i>E. tetraedra</i> <i>L. rubellus</i>

Tabel 4: Vestiging van regenwormen op introductielocaties in Flevoland

Locatie	Vestiging na introductie	Verdwenen na introductie	Spontane vestiging
Dronten, appelboomgaard	<i>A. caliginosa</i> <i>L. terrestris</i>	N.v.t.	<i>A. rosea</i> <i>L. castaneus</i>
Biddinghuizen, grasland	<i>A. caliginosa</i> <i>L. terrestris</i>	<i>A. chlorotica</i> en mogelijk <i>L. terrestris</i> (geen adulte exemplaren aangetroffen)	<i>A. rosea</i>
Swifterband (Minderhoudhoeve) grasland	<i>A. caliginosa</i> <i>A. longa</i> <i>L. rubellus</i>	<i>L. terrestris</i>	<i>A. chlorotica</i> <i>L. castaneus</i>
Marknesse (Lovinkhoeve), akkerland	Mogelijk <i>A. caliginosa</i> (geen adulte exemplaren aangetroffen)	<i>L. rubellus</i>	<i>E. tetraedra</i>
Zeewolde, akkerland	<i>A. chlorotica</i> <i>A. caliginosa</i> <i>A. rosea</i> <i>L. rubellus</i>	<i>A. longa</i>	<i>E. tetraedra</i>

Met betrekking tot niet-kerende grondbewerking zijn drie locaties onderzocht. Deze liggen in Schinnen en Puth (Limburg). Twee locaties in Schinnen zijn naast elkaar gelegen: één wordt nog traditioneel geploegd, de ander wordt sinds tien jaar niet-kerend bewerkt. Ten tijde van de veldinventarisatie groeide er mosterd op de geploegde akker, de ander lag braak. De locatie in Puth is een appelboomgaard. Verdere gegevens over bodemgebruik worden kort beschreven in bijlage 5. De volgende soorten regenwormen zijn aangetroffen

Schinnen – niet-kerende bodembewerking:

A. chlorotica,
A. caliginosa,
A. rosea,
D. rubida,
L. castaneus,
L. rubellus,
L. terrestris.

Schinnen – kerende bodembewerking

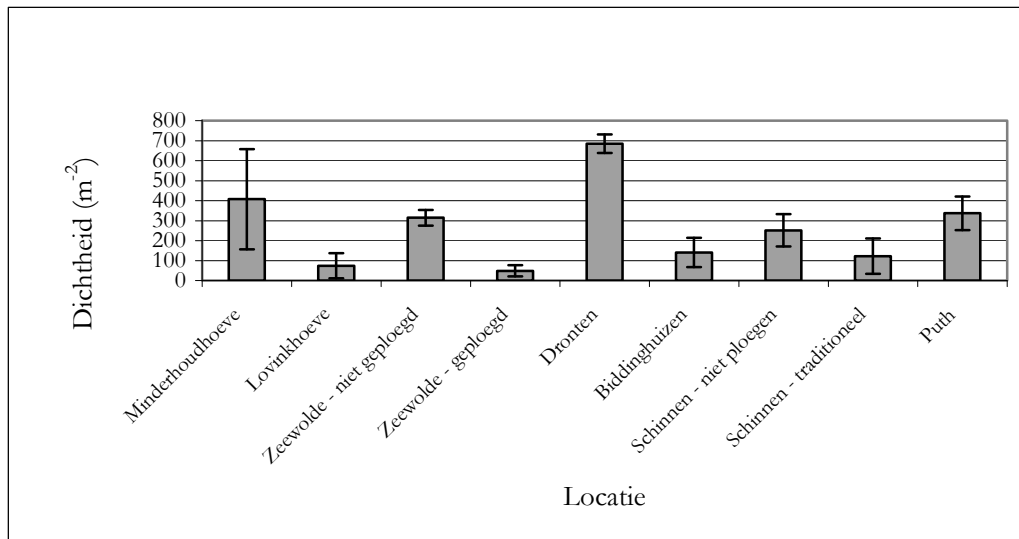
A. chlorotica,
A. rosea,
Lumbricus spec.,
L. terrestris.

Puth – boomgaard

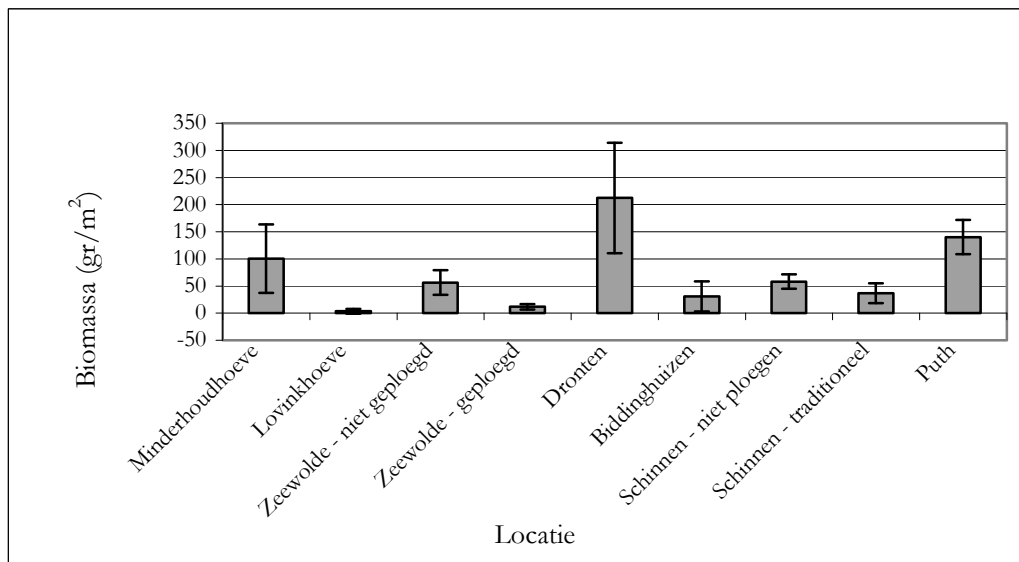
A. chlorotica,
A. caliginosa caliginosa,
A. caliginosa tuberculata,
A. longa,
A. rosea,
L. rubellus,
L. terrestris.

Dichtheden en Biomassa

Naast het voorkomen van soorten werd ook gekeken naar de dichtheid en biomassa van de populaties. De resultaten hiervan worden weergegeven in Figuur 2 en 3.



Figuur 2. Dichtheid van regenwormen.



Figuur 3. Biomassa van regenwormen.

7 Conclusies

7.1 Literatuurstudie

De volgende conclusies kunnen worden getrokken op basis van de wetenschappelijke literatuur:

Regenwormen kunnen na introductie een succesvol overblijvende populatie vormen. Na verloop van enkele jaren heeft dit positieve effecten op bodem en gewas.

Wereldwijd zijn introducties van regenwormen toegepast met uiteenlopende bedoelingen. Hierbij gaat het duidelijk om doeleinden die wij tegenwoordig relateren aan de term functionele agrobiodiversiteit als het om landbouwkundige toepassingen gaat:

- bevorderen bodemvorming
- tegengaan bodemverdichting, verbeteren beluchting
- verhogen gewasproductie
- verbeteren afwatering
- opheffen vervilting graszode
- tegengaan vorming strooisellaag en accumulatie nutriënten (bosbeheer)
- (achterlaten van aas door sportvissers)

Als landbouwkundige maatregel zijn er nog onzekerheden en beperkingen rond introductie van regenwormen, afhankelijk van het landgebruik. Voor permanent grasland bieden introducties een goede mogelijkheid om vervilting tegen te gaan, grasproductie op te voeren, of infiltratie te verbeteren. Voor bouwland lijkt de maatregel vooral kansrijk bij niet-kerende grondbewerking. De stand van kennis is hier minder ver.

Regenwormen kunnen de bodemstructuur verbeteren door incorporatie van plantenresten in de bodem en omwoelen van de grond. De porositeit neemt toe en er ontstaat een goede aggregaatstructuur en –stabiliteit. Daardoor kan het gewas een goed wortelstelsel ontwikkelen, wat weer leidt tot meer nutriëntenopname en grotere weerstand tegen ziekten. Ook de waterhuishouding van de bodem verbetert, zowel de infiltratie bij overvloedige neerslag als de nalevering in tijden van droogte. Verder kan ook de zuurgraad van de grond veranderen onder invloed van wormen.

Een bodem met een mor of moder humusprofiel kan na introductie veranderen in een mull profiel met een vrij diepe A-horizon.

De zuurgraad van de bodem kan veranderen door introductie; het effect is afhankelijk van de soort. *L. terrestris* kan de pH verhogen door minerale grond naar het oppervlak te brengen. *O. tyraeum* kan de pH verlagen door organische lagen met de bovenste minerale lagen te mengen.

Toegevoegde bekalking kan door regenwormen worden ondergewerkt en verdeeld door de bodem.

De C:N-ratio en de beschikbaarheid en uitspoeling van nutriënten worden beïnvloed. Effecten kunnen zowel remmend als bevorderend zijn; het onderzoek heeft zich niet gericht op de factoren die hierbij een rol spelen.

Sommige soorten lijken beter geschikt voor introductie dan andere. In de literatuur beschreven introducties van *A. caliginosa* en *A. chlorotica* waren allemaal succesvol. Bij introducties van *L. terrestris* en *L. rubellus* was de succesratio kleiner. Introducties van *A. longa* zijn succesvol tot redelijk succesvol. Over andere soorten zijn weinig gegevens beschikbaar. Er is niet onderzocht in hoeverre lage succesratio's samenhangen met ongunstige vormen van bodembeheer.

Er kunnen ook nadelen zijn verboden aan introducties. De veranderingen in de bodem hebben soms grote gevolgen voor het aanwezige bodemleven. Het onderzoek heeft hier slechts zijdelings aandacht aan besteed. Door introductie van regenwormen kan een graszode onder natte weersomstandigheden sneller schade oplopen door vertrapping van vee of door aanwezigheid van mollen.

7.2 Veldinventarisatie

Op basis van de Nederlandse praktijkproeven met introducties van regenwormen blijkt dat:

Pendelaars kunnen met blijvend succes worden geïntroduceerd, zowel in bouwland als in boomgaarden; het succes is echter niet gegarandeerd, vooral niet in bouwland bij kerende bodembewerking.

Daarentegen kunnen pendelaars wel degelijk worden aangetroffen op akkerland, ook bij kerende bodembewerking en zonder voorafgaande introductie.

Pendelaars kunnen spontaan voorkomen in boomgaarden.

De toegepaste combinatie van soorten bij een introductie lijkt bepalend te zijn voor het succes. Er is echter onvoldoende ervaringskennis over het toepassen van soortencombinaties teneinde met begeleidende soorten de introductie van een specifieke soort (bijvoorbeeld een pendelaar) te optimaliseren.

8 Aanbevelingen

8.1 Toepassing in de praktijk

De introductie van regenwormen in agrarisch grasland en bouwland bevordert de kwaliteit van de bodem, zodat de bodem beter presteert ten dienste van de boer. Regenwormen vormen een belangrijk onderdeel van functionele agrobiodiversiteit op het bedrijf.

Introductie gaat slecht samen met intensieve grondbewerking.

Bij introducties is de keuze van de soorten erg belangrijk vanwege specifieke invloeden op de bodem. Er zijn niet veel introducties gedaan waarbij een enkele soort werd geënt. Waar dit wel is gebeurd hebben de soorten *A. caliginosa*, *A. longa* en *L. terrestris* een positieve invloed op de bodemstructuur.

Door verschillende soorten tegelijk te introduceren ontstaat een gemeenschap van soorten met elk zijn eigen bodemverbeterende eigenschappen die elkaar kunnen aanvullen. Met succes geïntroduceerde soortencombinaties zijn:

A. caliginosa, *A. longa*, *L. rubellus* en *L. terrestris* (klein aandeel)

A. caliginosa en *L. terrestris*

A. caliginosa, *A. chlorotica*, *A. longa*, *A. rosea* en *L. rubellus*.

Er is incidenteel beschreven dat de aanwezigheid van *A. longa* de dichtheid van *A. caliginosa* negatief beïnvloedt, maar studies van een combinatie van soorten melden dit effect niet.

Geadviseerd wordt om geen *D. octaedra* te introduceren aangezien deze weinig bijdraagt aan verbetering van de bodemstructuur.

De keuze van de soorten is van belang voor een succesvolle vestiging van een populatie. De gemakkelijkste soorten voor introductie zijn *A. caliginosa* en *A. chlorotica*, alle studies vermeld in de literatuur zijn succesvol. Het introduceren van *A. longa* lijkt iets lastiger, met een slagingskans van 88%. *L. terrestris* en *L. rubellus* zijn minder succesvol met een slagingspercentage van 67% voor beide soorten.

Het succes van de introductie is het hoogst bij introductie in de lente of herfst.

Er zijn maar een paar soorten commercieel verkrijgbaar. Dit zijn *L. rubellus*, *A. longa*, en *L. terrestris*. Mogelijk is *A. caliginosa* ook te verkrijgen. *L. terrestris* wordt geïmporteerd uit Canada. Hierdoor zou er mogelijk genetische faunavervalsing kunnen optreden. Of deze soort op grote schaal ook in Nederland wordt gevangen is ons niet bekend. Indien regenwormen geïntroduceerd worden door middel van het plaatsen van graszoden uit een donorveld speelt dit probleem niet. Er worden dan verschillende soorten tegelijk geïntroduceerd. Met deze methode is het echter weinig kansrijk om pendelaars (*A. longa* en *L. terrestris*) te introduceren.

8.2 Onderzoek

Introductie van regenwormen is niet altijd nodig. Alvorens over te gaan tot introductie van regenwormen is het zinvol eerst een inventarisatie van de lokale fauna te doen. Daarnaast lijkt de wijze van bodembewerking van groot belang, maar niet allesbepalend, voor de aanwezige regenwormen. Om meer te kunnen profiteren van functionele agrobiodiversiteit is minder intensieve bodembewerking, vooral niet-kerende grondbewerking, aan te bevelen.

Een andere aanbeveling geldt verdere kennisontwikkeling, met name op het punt van de betekenis van regenwormen voor bodemstructuur en waterregulatie. Aanbevolen wordt:

Pilotstudies uit te voeren als demonstratieproject op verschillende grondsoorten; m.n. in probleemgebieden zoals arme zandgronden, zware klei en lössgronden, ook daar waar nog veel weerstand bestaat tegen niet-kerende grondbewerking. Doe dit voor verschillende vormen van landgebruik: graanteelt, vollegronds groenteteelt, hakvruchten akkerbouw, boomgaarden.

Literatuurstudie en veldonderzoek richten op introductiesucces in relatie tot bodembewerkingstechnieken en onkruidbestrijdingswijzen.

Doe een meer gedetailleerde literatuurstudie en metaanalyse van literatuurgegevens naar de termijn waarop effecten op bodemkwaliteit zich gaan manifesteren.

Beperking van kosten en resultaattermijn door optimalisatie van de entdichtheid en omvang. Gegeven een doelstelling voor introductie (welk probleem moet worden opgelost?): welke soorten, welke entmethode, hoeveel entpunten per hectare, welke begeleidende maatregelen zijn meest geschikt?

Onderzoek soortencombinaties teneinde met begeleidende soorten de introductie van een specifieke soort (bijvoorbeeld een pendelaar) te optimaliseren.

Aandacht voor schade die wordt geassocieerd met regenwormen:

- oppervlakkige verdichting in natte jaren in aardappelteelt op zware klei;
- vertrappen graszode door vee in natte perioden.

Hoe frequent en wijdverbreid zijn deze effecten (uit het literatuuronderzoek kwam vertrapping door vee slechts incidenteel naar voren), en zijn deze specifiek gerelateerd aan introducties (immers: in elk Nederlands weiland zitten regenwormen en van vertrapping is doorgaands geen sprake)? Hoe is schade tegen te gaan met behoud van de voordelen van introductie? Kan de schade door regenwormen in bouwland worden verminderd door introductie van andere soorten? Ook de soms grote effecten van introducties op het aanwezige bodemleven en de vegetatie verdient nader onderzoek, vooral als het gaat om natuurlijke ecosystemen.

Voor veldonderzoek in de praktijk m.b.t. introducties moet al snel gedacht worden aan een termijn van tien jaar om alle effecten op de bodem aantoonbaar te maken. Veel effecten zullen zich echter op kortere termijn manifesteren.

Literatuur

Baker, G.H., G. Brown, K. Butt, J.P. Curry & J. Scullion, 2006. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land: their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota. *Biological invasions* 8: 1301-1316.

Baker, G.H., P.J. Carter & V.J. Barrett, 1999. Influence of earthworms, *Aporrectodea* spp. (Lumbricidae), on pasture production in south-eastern Australia. *Australian journal of agricultural research* 50: 1247-1257.

Baker, G.H., P.J. Carter, V.J. Barrett, G.P. Kilpin, J.C. Buckerfield & P.R. Dalby, 1994 The introduction and management of earthworms to improve soil structure and fertility in south-eastern Australia, *Soil biota: management in sustainable farming systems*. 1994; 42-49, East Melbourne, Australia: CSIRO Publications.

Blackwell, P.S. & J. Blackwell, 1989. The introduction of earthworms to an ameliorated, irrigated duplex soil in south-eastern Australia and the influence on macrospores. *Australian journal of soil research* 27: 807-814.

Bouché, M.B., 1977. Stratégies lombriciennes. In: Lohm, U. & Persson, T. (Eds) *Soil Organisms as Components of Ecosystems*. *Ecological Bulletins* (Stockholm) 25:122-132.

Butt, K.-R., 1999. Inoculation of earthworms into reclaimed soils: The UK experience. *Land degradation and development*.

Butt, K.-R., J. Frederickson & R.-M. Morris, 1997. The Earthworm Inoculation Unit technique: An integrated system for cultivation and soil-inoculation of earthworms. *Soil biology and biochemistry* 29: 251-257.

Christensen, O.M. & J.G. Mather, 2004. Pesticide-induced surface migration by lumbricid earthworms in grassland: life-stage and species differences. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57: 89-99.

Curry, J.P., 1988. The ecology of earthworms in reclaimed soils and their influence on soil fertility. In: CA Edwards & EF Neuhauser (eds) *Earthworms in waste and environmental management*. pp 251-261.

Eisenhauer, N., S. Partsch, D. Parkinson & S. Sche, 2007. Invasion of a deciduous forest by earthworms: Changes in soil chemistry, microflora, microarthropods and vegetation. *Soil biology and biochemistry* 39: 1099-1110.

Ester, A. & K. van Rozen, 2002. Earthworms (*Aporrectodea* spp.; Lumbricidae) cause soil structure problems in young Dutch polders. *European Journal of Soil Biology* 38: 181 – 185

Faber, J.H., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, J. Lahr, W.H. Diemont & L.C. Braat, 2009. Ecosysteemdiensten en transitie in bodemgebruik; Maatregelen ter verbetering van biologische bodemkwaliteit. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1905. 60 pp.

Frelich, L.E., C.M. Hale, S. Scheu, A.R. Holdsworth, L. Heneghan, P.J. Bohlen & P.B. Reich, 2006. Earthworm invasion into previously earthworm-free temperate and boreal forests. *Biological Invasions* 8: 1235-1245.

Hoogerkamp, M., H. Rogaar & H.J.P. Eijsackers, 1983. Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. J.E. Satchell (Ed.) *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*. 1983; 85-105. London, UK: Chapman and Hall.

Judas, M., J. Schauermaier & K.J. Meiwes, 1997. The inoculation of *Lumbricus terrestris* L. in an acidic spruce forest after liming and its influence on soil properties. *Soil Biology and Biochemistry*. Mar/Apr 29: 677-679.

Kloen, H., 1988. Introductie en handhaving van regenwormen in gemengde biologische bedrijven.

Ligthart, T.N. & Peek G., 1997. Evolution of earthworm burrow systems after inoculation of lumbricid earthworms in a pasture in the Netherlands. *Soil Biology and Biochemistry*. Mar/Apr 29: 453-462.

Marinissen, J.C.Y. & F. van den Bosch, 1992. Colonization of new habitats by earthworms. *Oecologia* 91: 371-376.

Marinissen, J.C.Y., 1991. Colonization of arable fields by earthworms in a newly reclaimed polder in the Netherlands - preliminary results, *Advances in management and conservation of soil fauna Proceedings of the 10th International Soil Zoology Colloquium, held at Bangalore, India, August 7-13, 1988*. 1991; 341-348. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.

Marinissen, J.C.Y., 1994. Earthworm populations and stability of soil structure in a silt loam soil of a recently reclaimed polder in the Netherlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51: 75-87.

Mather, J.G. & O. Christensen, 1988. Surface movements of earthworms in agricultural land. *Pedobiologia* 35: 51-57.

Nuutinen, V., M. Nieminen & K.-R. Butt, 2006. Introducing deep burrowing earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) into arable heavy clay under boreal conditions. *European Journal of Soil Biology* 42: S269-S274.

- Postma-Blaauw, M.B., J. Bloem, J.H. Faber, J.W. van Groenigen, R.G.M. de Goede & L. Brussaard, 2006. Earthworm species composition affects the soil bacterial community and net nitrogen mineralization. *Pedobiologia*, 50: 243-256.
- Scheu, S., 2003. Effects of earthworms on plant growth; patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47: 846-856.
- Scullion, J. & A. Malik, 2000. Earthworm activity affecting organic matter, aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil biology and biochemistry*. Jan 32: 119-126.
- Springett, J.A., 1984. Earthworm introduction to improve pasture soils. *New Zealand agricultural science*. May 18: 61-64.
- Springett, J.A., R.A.J. Gray and J.B. Reid, 1992. Effect of introducing earthworms into horticultural land previously denuded of earthworms. *Soil biology and biochemistry*. Dec 24: 1615-1622.
- Stockdill, S.M.J., 1982. Effects of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures. *Pedobiologia* 24: 29-35.
- Van Rhee J.A., 1969a. Inoculation of earthworms in a newly drained polder. *Pedobiologia* 9: 128-132.
- Van Rhee, J.A., 1969b. Development of earthworm populations in polder soils. *Pedobiologia* 9: 133-140.
- Vimmerstedt, J.P. & J.H. Finney, 1973. Impact of earthworm introduction on litter burial and nutrient distribution in Ohio strip mine spoil banks. *Soil Science Society of America Proceedings* 37: 388-391.
- Werff, P.A. van der, R. Noordhuis & T.B.M. Dekkers, 1998. Introduction of earthworms into an organic arable farming system. *Applied soil ecology: a section of Agriculture Ecosystems and Environment*. Sept 9: 311-317.
- Werner, M.R., 1996. Inoculative release of anecic earthworms in a California orchard. *American journal of alternative agriculture* 11: 176-181.
- Willoughby, G.L. & E.J. Klavivko, 2002. Water infiltration rates following reintroduction of *Lumbricus terrestris* into no-till fields. *Journal of soil and water conservation*. 57: 82-88.
- Zaborski, E.R., 2003. Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology* 22, 87-95.

Bijlage 1 Werkwijze literatuurstudie

Gebruikte databases voor retrospectief literatuuronderzoek: CAB abstracts, Agricola, Agris, Biological abstracts. Op basis van de aldus verkregen artikelen is met Scopus aanvullend prospectief gezocht naar recentere publicaties, en is daarvan ook weer de literatuurlijst bekeken.

Voor mogelijke aanvullende informatie over introducties in Flevoland is contact opgenomen met huidige proefboerderijen in Flevoland (Jan Bloemert contactpersoon proefboerderij Waiboerhoeve in Lelystad, Jan Zandbergen biotechnicus, plant- en dierverzorger bij ASG en Sjoerd de Vries beheerstechnicus ASG). Deze 3 wisten van de introducties, maar hadden hier geen archiefmateriaal of ander materiaal meer van. Proefboerderij A.P. Minderhoudhoeve is in 2002 gesloten.

Het archief van Jos Bodt (gastmedewerker Alterra) bevat informatie over de geïntroduceerde regenwormen en de monitoring hiervan. Hierin is geen informatie over de gevolgde bodemprocessen opgenomen.

Met de huidige eigenaren is contact opgenomen en besproken wat het huidige beheer is van de percelen.

Bijlage 2 Methoden voor introductie

Graszoden uit een donorveld

De zoden worden met de graszijde naar beneden neergelegd om zo in extra voedsel te voorzien als het gras verteert. Van een aantal graszoden worden de aanwezige regenwormen geteld en gedetermineerd. Deze aantallen en soorten worden voor alle plaggen aangehouden. De voordelen hiervan zijn een beschermd microklimaat en het overbrengen van cocons. De nadelen zijn dat dichtheden vaak laag zijn, er is weinig controle op soorten en aantallen, voornamelijk ondiep gravende wormen, snijmachines of arbeid benodigd en beschadiging van de donorlocatie.

Chemische of fysieke extractie uit donorveld

Het voordeel van extracties met trillingen, elektrisch veld of milde chemische oplossingen is dat er betrekkelijk snel hoge aantallen kunnen worden verzameld en een selectie van soorten mogelijk is. De nadelen zijn kans op beschadiging van wormen gedurende extractie, geen overdracht van cocons, onbedoelde voorselectie van voornamelijk dieper gravende wormen, tijdrovend en arbeidsintensief, geen beschermend microklimaat bij introductie, en schade aan de donorlocatie.

Om predatie, uitdroging en andere gevaren tegen te gaan kan de zode opgelicht worden om de wormen onder de grond uit te spreiden. Een andere mogelijkheid is om wormen op de grond uitspreiden en bedekken met compost. Voor *L. terrestris* zijn ook wel met een riek gaatjes gemaakt in de grond op 3 – 5 cm afstand van elkaar. In elk gaatje wordt een worm gedaan en het gaatje afgedicht met houtpulp om graafactiviteit te stimuleren.

Earthworm Inoculation Unit (EIU) (Butt 1997, 1999)

Een kleine startcultuur van adulte regenwormen wordt gehouden in een afgesloten envelope of zak met ventilatieopeningen waaraan grond en voedsel is toegevoegd. Na een paar maanden kweken onder optimale condities (donker en een temperatuur van 15 – 18°C) bevinden zich adulte wormen, cocons en juveniele wormen in het zakje. Op de introductie-locatie wordt een gat gegraven ter grootte van de grond in de afgesloten zak. De inhoud van de zak wordt in het gat geplaatst. Als voedsel wordt boerderijmest op het grondoppervlak aangebracht. In het experiment in Engeland werden 5 EIU per plot ingebracht.

De voordelen van deze methode zijn een beschermend microklimaat, mogelijkheid voor soortselectie, bekendheid met de achtergrond van de wormen, en mogelijkheid tot overdracht van cocons en hoge dichtheden. De nadelen zijn dat het erg arbeidsintensief is en duur

Bijlage 3 Dispersieafstanden van regenwormen

In verschillende publicaties over introducties worden dispersieafstanden vermeld, zie tabel 3. De dispersieafstanden kunnen voor de verschillende soorten en studies sterk verschillen, waarschijnlijk is dit afhankelijk van de verschillende bodems en klimaat. *L. terrestris* geldt over het algemeen als een soort die zich langzaam verspreidt, al kunnen individuen van deze soort (en vooral de juvenielen) in een nacht tot wel 20 meter afleggen (Mather & Christensen 1988, Christensen & Mather 2004). *A. caliginosa* geldt als een snelle verspreider, maar de dispersieafstand kan erg laag liggen bij ongunstige omstandigheden. Voor deze soort worden verspreidingssnelheden gemeld uiteenlopend van 2,5-13 meter per jaar. Deze snelheden gelden voornamelijk voor graslanden, welke gunstiger zullen zijn dan akkers met grotere mortaliteit als gevolg van bodembewerking. Ook de juvenielen van deze bodembewonende (endogeïsche) soort staan bekend om hun oppervlakte migratie (Christensen & Mather 2004).

Tabel 3. Dispersieafstand van regenwormen

Soort	Dispersieafstand (m/jaar)	Landgebruik	Referentie
<i>A. caliginosa</i>	2 /actieve periode	Akkerland	Marinissen (1988)
<i>A. caliginosa</i>	2.5 – 10	Grasland	Marinissen (1992)
<i>A. caliginosa</i>	2.5	Grasland	Marinissen (1988)
<i>A. caliginosa</i>	5	Akker, voorheen grasland	Marinissen (1992)
<i>A. caliginosa</i>	6	Grasland	Van Rhee (1969) experiment 2
<i>A. caliginosa</i>	6.3	Grasland	Ligthart (1997)
<i>A. caliginosa</i>	5.5 – 7	Grasland	Marinissen (1992)
<i>A. caliginosa</i>	8	Grasland	Marinissen (1992)
<i>A. caliginosa</i>	9	Grasland	Hoogerkamp (1983)
<i>A. caliginosa</i>	9.3	Grasland	Marinissen (1992), model
<i>A. caliginosa</i>	10	Grasland	Stockdill (1982)
<i>A. caliginosa</i>	10 – 13	Grasland (productie)	Curry (1988)
<i>A. chlorotica</i>	4	Grasland	Van Rhee (1969) experiment 2
<i>A. longa</i>	6.3	Grasland	Ligthart (1997)
<i>L. rubellus</i>	5.6	Akker, voorheen grasland	Marinissen (1992)
<i>L. rubellus</i>	10	Grasland	Marinissen (1988)
<i>L. rubellus</i>	11	Grasland	Marinissen (1992)
<i>L. rubellus</i>	12.9	Grasland	Marinissen (1992), model
<i>L. terrestris</i>	1.4	Grasland	Ligthart (1997)
<i>L. terrestris</i>	4.5	Grasland	Hoogerkamp (1983)
<i>L. terrestris</i>	4.5	Akker (voornamelijk graan)	Nuutinen (2006)
<i>O. cyaneum</i>	8	Akkerland	Werff (1998) data Graff (1961)

Bijlage 4 Effecten op de bodem

In deze bijlage zijn observaties samengebracht uit studies van introducties in gematigde streken over de hele wereld. In tabel 6 wordt een samenvattend overzicht van deze resultaten gegeven. Hieronder worden de effecten opgesomd zoals die voor verschillende aspecten van bodemkwaliteit zijn gerapporteerd.

Bodemstructuur

Regenwormen kunnen de macroporositeit en waterinfiltratie verhogen en organisch afval van het bodemoppervlak incorporeren in geïrrigeerde akkers en boomgaarden. (Baker *et al*, 1999) – Australië

Geïntroduceerde regenwormen beïnvloeden bodemdaling, hydraulische geleidbaarheid, vocht karakteristieken, bulkdichtheid, porositeit, bodem morfologie en -micromorfologie (Baker *et al*, 2006).

In de eerste drie jaar vindt er geen verandering plaats in de stabiliteit van bodemaggregaten, na zes jaar is sprake van grotere stabiliteit van bodemaggregaten in de bovenste 20 cm van de grond. (Baker *et al*, 2006) - Engeland

In bodems waarin wormen (*A. caliginosa*) zijn geïntroduceerd (Australië) is de grond meer granulair. Mest en dood plant materiaal is ingewerkt in de bodem waar deze voorheen bleef liggen. Het organisch materiaal is dieper verspreid in de bodem. Kalk, messtoffen en insecticiden worden vermengd door de bodem. en de bodemstructuur, infiltratie van regen en waterhoudend vermogen zijn verbeterd. De toplaag is daardoor korreliger (meer granulaten), vochtig en het wortelstelsel van het gewas is beter ontwikkeld (Stockdill, 1982).

Entingen van regenwormen in Engeland en Nederland leidden tot hogere porositeit van de grond in de bovenste 20 cm. De verhoogde porositeit gaat samen met een met water doortrokken bodem. Hierdoor loopt de bodem meer kans om beschadigd te raken door vertrapping van vee. Invasie van mollen, aangetrokken door de aanwezigheid van regenwormen kan hierbij meespelen. (Baker *et al*, 2006).

Regenwormen (*A. longa* en *A. caliginosa*) zorgen na 17 weken niet voor een verandering in macroporiën. De permeabiliteit van lucht is wel vergroot (met wormen 1522 µm t.o.v. 528 µm. Grond: duplex grond, rood bruine grond. (Blackwell *et al*, 1989) – Australië

Na introductie van de regenwormen verdween de organische laag aan het oppervlak (bergweiland). De bodemstructuur, aerobe omstandigheden en verdeling van nutriënten verbeterde. Droge stof productie nam toe tot 70%, in oudere gebieden met 29% (Curry, 1988).

Na introductie van regenwormen in Australië is er een merkbare verbetering in bodemstructuur, verlaging van de C:N-ratio, afname in bulkdichtheid en een afname van de onverteerde organische laag van blad en mest (Curry, 1988).

De hoeveelheid stabiele aggregaten en totaalgehalten van koolhydraten waren hoger in grond waar een combinatie van soorten wormen geïntroduceerd waren. De wormen zijn geïntroduceerd in een recentelijk gesaneerde en heringerichte kolenmijn in Wales. In de laag van 0–7,5 cm diepte was de microbiële biomassa significant hoger. Dit resulteerde niet in een hoger niveau van microbiële activiteit (respiratie en dehydrogenase) (Scullion *et al*, 2000).

A. longa zorgde voor een verbetering van het infiltratievermogen door de porositeit beneden de 10 cm te verhogen. Daarnaast zorgde de regenwormen ervoor dat de kalk aangebracht op het oppervlak door de grond werd verspreid (12 – 16 cm diep). (Springett, 1984) – Nieuw-Zeeland

L. terrestris werd geïntroduceerd in *no-tillage* velden in Indiana. In het eerste jaar verhoogden de wormen de infiltratiecapaciteit significant. In het 2de jaar was geen verandering te zien, waarschijnlijk door een sterke afname van de populatie door een grote droogte in de herfst tussen het 1ste en het 2de jaar (Willoughby *et al*, 2002).

Organisch stof – opbouw, herverdeling en afbraak

(Epi)endogeiische en anecische regenwormen consumeren de oppervlakkige organische bovenlaag, mengen oppervlakte strooisel met de bovenste minerale lagen tot een diepte van ongeveer 25–30 cm. Een introductie van verschillende soorten regenwormen zorgt ervoor dat een bodemstructuur bestaande uit een mor laag met daaronder een A en E horizon verandert in een mull structuur boven een vrij diepe A horizon. (Frehlich *et al*, 2006) – verschillende studies

Wortelgroei en hoeveelheid wortels in weilanden en boomgaarden in Engeland en Nederland werd verbeterd door de introductie van regenwormen door verhoogde waterinfiltratie en beluchting en verminderde compactie. De grasproductie en weilandkwaliteit verbeterde. Regenwormen herverdeelde het organisch materiaal van het oppervlak door de grond zodat mull karakteristieken in het humusprofiel ontstonden. (Baker *et al*, 2006 en Curry, 1988)

Organisch stofgehalte is significant hoger in referentie locaties ten opzicht van locaties waar regenwormen geïntroduceerd zijn tot 5 cm diepte. Beneden deze diepte is het andersom. Regenwormen hebben het meest verhogend effect op de calciumcarbonaat waarden in de organisch stof. Door de introductie verbeterende het de verdeling van het organisch koolstof over de (klei)grond (Baker *et al*, 2006) – Engeland

Introducties van regenwormen onder Zwarte els (*Alnus glutinosa*) zorgden ervoor dat, nadat eenmaal een populatie was gevormd, de strooiselincorporatie sterk versneld werd en humusstructuur veranderde van moder naar mull (Curry, 1988).

In een populierenbos in Canada heeft een invasie van Europese regenwormen plaatsgevonden. In aanwezigheid van *L. terrestris* verdween de 3 cm dikke strooisellaag in zijn geheel, ook de humuslaag nam af. De dichtheid van *O. tyrtaeum* is negatief gecorreleerd aan de dikte van de strooisellaag, de correlatie is minder sterk dan bij *L. terrestris*. De dichtheid van *D. octaedra* is positief gecorreleerd met de dikte van de strooisellaag.

Koolstof en stikstof concentraties namen af met toenemende diepte in de bodem. In aanwezigheid van *L. terrestris* waren de gehalten lager in vergelijking met de bodem met een strooisellaag. Koolstof, stikstof, C/N ratio van de bodem namen af in de organische lagen waar *O. tyrtaeum* voorkwam. Microbiële biomassa en basale respiratie in organische en minerale lagen namen af in aanwezigheid van *L. terrestris*, afnames van respectievelijk -33% en -18%. Dichtheden van micro-arthropoden wijzigden niet in aanwezigheid van *L. terrestris*. In aanwezigheid van *O. tyrtaeum* nam de dichtheid van micro-arthropoden af (-75%). Dichtheid van *D. octaedra* wordt negatief beïnvloed door de aanwezigheid van *L. terrestris* en *O. tyrtaeum*, waarschijnlijk door habitat vernietiging (strooisel incorporatie) (Eisenhauer *et al*, 2007).

D. octaedra verstoort de scheidingslagen door het mengen van de F (O_c) en H (O_a) materialen, maar laat de strooisellaag (O_i) vrijwel intact en heeft weinig invloed op de structuur van de minerale grond. (Frehlich *et al*, 2006) – Laboratorium studie

In een appelboomgaard in Californië zorgde de introductie van *L. terrestris* ervoor dat de incorporatie van het strooisel verhoogd werd naar 79%, in de plots zonder *L. terrestris* werd een incorporatie van 28% gemeten. In de boomgaard waren al enkele soorten wormen aanwezig, maar geen anecische (Werner, 1996).

In plots met regenwormen is de hoeveelheid bladmateriaal sterk afgenomen in verhouding met plots zonder wormen (Ohio). De hoeveelheid beschikbaar fosfaat is hoger in de plot zonder wormen dan met wormen. De onderzoekslocatie is een oude koolmijn waarbij delfstoffen aan het oppervlak worden afgegraven (Vimmerstedt *et al*, 1973).

Bodemvruchtbaarheid en gewasproductie

Regenwormen kunnen de beschikbaarheid van stikstof uit de bodem verhogen en daarmee de opname door planten. Regenwormen kunnen ook het uitspoelen van stikstof in het bodemprofiel bevorderen (Baker *et al*, 1999).

Beschikbaarheid van stikstof in de A-horizon verminderde na invasie van verschillende Europese regenwormsoorten in hardhoutbossen in Minnesota. Fosfaat spoelt gemakkelijker uit na de invasie. De beschikbaarheid van fosfaat neemt af in suikeressdoorn-bossen in aanwezigheid van *L. rubellus*, maar neemt juist toe in aanwezigheid van *L. terrestris* (Frehlich *et al*, 2006).

Geïntroduceerde regenwormen (*A. caliginosa* en *L. terrestris*) hebben een positief effect op de productie van Engels raaigras en witte klaver. In het 2de jaar werd een verhoging van 25% gemeten en in het 3de jaar 49%, in plots waaraan koemest is

toegevoegd. In het eerste jaar was nog geen effect waarneembaar. Er is geen effect op plots met anorganische mest (Australië) (Baker *et al*, 2006)

In weilanden in Nieuw-Zeeland en Australië zijn regenwormen (voornamelijk *A. caliginosa*) geïntroduceerd. Na 7 jaar vormden deze wormen een wijdverspreide populatie. De weilandproductie piekte een aantal jaar na introductie. Er werd een productietoename van 72% gemeten, later stabiliseerde deze zich op 25%. Dit komt mogelijk doordat er een initiële piek in het aantal regenwormen was en doordat veel nutriënten vrijkwamen door de kortstondige decompositie van de viltlaag die zich voor de introductie had opgebouwd (Baker *et al*, 2006, Stockdill, 1982).

Enting van *A. longa* zorgt ervoor dat in weilanden in Nieuw-Zeeland en Australië waar *A. caliginosa*, *L. rubellus* en *A. trapezoides* al aanwezig zijn voor een verhoogde grasproductie, waterinfiltratie, porositeit, wortelbiomassa, kalkincorporatie en menging van de bodem (Baker *et al*, 1999).

Regenwormen verhogen de grasproductie in weilanden in Australië tot 61%. Het effect is het grootste in weilanden waar de productie laag was. Significante verhoging in productie is geconstateerd bij dichtheden boven 214 *A. longa*/m² en 429 *A. caliginosa*/m² of *A. trapezoides*/m². Op numerieke basis verhoogt *A. longa* de productie sterker dan de andere soorten (deze soort is groter dan de beide andere), op basis van biomassa zijn beide andere soorten effectiever (Baker *et al*, 1999).

A. trapezoides kan de productie van raaigras verminderen. Waarschijnlijk komt dit doordat de vruchtbaarheid van de gebruikte grond erg laag was en de regenwormen weinig voedsel beschikbaar hadden. Mogelijk zetten de regenwormen beschikbaar organisch materiaal om in minder beschikbare vormen. Het experiment is uitgevoerd in Australië (Baker *et al*, 1994).

Regenwormen (voornamelijk *A. rosea* en *A. trapezoides*) zijn geïntroduceerd op locaties in Rusland waar geen regenwormen voorkwamen. Na introductie verdubbelde de luzerne productie en vond er mestafbraak plaats die voorheen accumuleerde (Baker *et al*, 2006).

Zuurgraad

Regenwormen kunnen de kalk die toegevoegd is aan het oppervlak van de grond bij bekalken inwerken in de bodem. Hierbij verbeteren ze de zuurgraad van de bodem. (Baker *et al*, 1999) – Australië

Regenwormen zijn in staat om in zure bosgronden de pH te verhogen in de bovenste lagen. *L. terrestris* verplaatst minerale grond van diepere lagen met een hogere pH dichter naar het oppervlak. Van *O. tyrtaeum* is bekend dat deze de pH verlaagt door organische lagen met de bovenste minerale laag te mengen (Eisenhauer *et al*, 2007)

In een beekacht naaldbos (Duitsland) is *L. terrestris* geïntroduceerd. 2 jaar na inoculatie zijn er geen verschillen in bodem op basis van C, N, pH en extraheerbare kationen (Al, Ca en Mg). De wormen hebben in de 2 jaar het gebied nog niet voldoende gekoloniseerd, wat ook te zien is bij het bemonsteren van de regenwormen. Als de

wand van de gegraven gangen wordt geanalyseerd is er een wel een verschil in extraheerbare kationen (verschuiving van Al naar Ca en Mg) en verhoging van de pH (Judas *et al*, 1997).

Invloed op andere bodemdieren

Er is geen duidelijke interactie tussen inheemse regenwormen en uitheemse soorten. Introductie van *A. longa* kan een negatieve invloed hebben op de uitheemse populatie (aantallen en biomassa) van *A. caliginosa*. De oorzaak is mogelijk competitie om voedsel, habitat en consumptie van cocons (Baker *et al*, 2006). – Australië

Competitie tussen regenwormen en mestfauna zou kunnen optreden. Er kunnen negatieve interacties zijn tussen invasieve regenwormen en micro-arthropoden in bossen. Een oorzaak is excrementen, gangen en organische delen in gangopeningen van pendelende regenwormen aan het oppervlak van de bodem (Baker *et al*, 2006).

Doordat de strooisellaag in bossen dunner wordt na introductie van regenwormen is er minder leefruimte voor de inheemse bodemvertebraten en nemen deze in aantallen af (Frehlich *et al*, 2006).

Overige observaties bij introducties

De meest succesvolle inoculaties hebben plaatsgevonden in de lente of de herfst. Bodemcondities zijn dan het meest gunstig en wormenactiviteit is het grootst (Butt *et al*, 1999).

Regenwormen kunnen de hevigheid van wortelziektes verminderen in graangewassen. (Baker *et al*, 1999) – Australië

A. caliginosa komt voor in gebieden waar meer dan 600 mm regen per jaar valt. *A. trapezoides* is daarentegen algemener in gebieden met minder neerslag. De meest voorkomende invasieve soorten in Australië zijn *A. trapezoides*, *A. caliginosa* en *A. rosea*. *L. rubellus* kan lokaal veel voorkomen, maar is gebonden aan vochtige gebieden. *A. longa* komt alleen op Tasmanië voor. De soorten zijn alleen actief van begin winter tot vroeg in het voorjaar (Baker *et al*, 2006).

De vegetatiebedekking werd niet beïnvloed door de aanwezigheid van *L. terrestris*, *O. tyrtaeum* of *D. octaedra*. De aanwezigheid van *L. terrestris* was negatief gecorreleerd met de bedekking van *Vicia americana* en de biomassa van grassen en groenten. Er is een positieve correlatie tussen de aanwezigheid van *L. terrestris* en de bedekking van *Viola canadensis*. De aanwezigheid van *O. tyrtaeum* was positief gecorreleerd met de bedekking van *Aster laevis*, maar negatief met die van *Thalictrum occidentale* (Eisenhauer *et al*, 2007).

Diepgravende soorten zoals *L. terrestris* en *A. longa* zullen zich waarschijnlijk nooit succesvol vestigen in veengebieden met heide en berk (Curry, 1988). – Engeland

Inoculatie van *L. terrestris*, in Finland, lijkt niet erg succesvol in een akkerbodem (voornamelijk graanteelt) met een zeer hoog kleigehalte (61% toplaag, 90% sublaag).

Mogelijke factoren zijn compactheid van de bodem door verkeer en zo nu en dan een hoog waterpeil (Nuutinen *et al*, 2006).

Dichtheid en activiteit van regenwormen verminderde met toenemende verstoring (introductie in Nieuw-Zeeland). Cellulose decompositie nam toe met 30%. Er was geen significant effect van wormen op weerstand van de grond (penetrometer) en verzadigde hydraulische geleidbaarheid. Infiltratie capaciteit en lucht doordringbaarheid verbeterde in aanwezigheid van regenwormen (Springett *et al*, 1992).

Tabel 6. Effecten van regenwormen op bodem en gewas na introductie.

Bodemeigenschap	Effect	Soort	Literatuurreferentie
Bodemstructuur	Verbetering	Combinatie van soorten	Baker <i>et al</i> , 2006
		<i>A. caliginosa</i>	Stockdill, 1982
		<i>Soort onbekend</i>	Curry, 1988
		Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>L. rubellus</i> , <i>A. longa</i> , <i>A. chlorotica</i> en <i>L. terrestris</i>	Curry, 1988
	Verhogen stabiele aggregaten	Combinatie van soorten	Scullion <i>et al</i> , 2000
	Verlaging bulkdichtheid (compactie)	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
		<i>Soort onbekend</i>	Curry, 1988
	Verhogen porositeit	<i>A. longa</i>	Springett <i>et al</i> , 1984 Baker <i>et al</i> , 1999
		Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
	Verhogen macroporositeit	<i>Soort onbekend</i>	Baker <i>et al</i> , 1999
	Verhoging aeratie	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
	Verbeteren aerobe omstandigheden	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>L. rubellus</i> , <i>A. longa</i> , <i>A. chlorotica</i> en <i>L. terrestris</i>	Curry, 1988
Organische stof	Mengen strooisel met grond en consumeren strooisellaag	(Epi)endogeïsche en anecische regenwormen	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Humusprofiel van mor naar mull	Combinatie van soorten	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Humusprofiel van moder naar mull	Combinatie van soorten	Curry, 1988
	Verstoring scheidingslagen	<i>D. octaedra</i>	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Afname humuslaag	<i>L. terrestris</i>	Eisenhauer <i>et al</i> , 2007
	Afname onverteerd strooisel en mest	<i>Soort onbekend</i>	Curry, 1988
	Strooisellaag verdwijnt	<i>D. octaedra</i>	Frehlich <i>et al</i> , 2006

Bodemeigenschap	Effect	Soort	Literatuurreferentie
	Verhoging incorporatie strooisel	<i>L. terrestris</i>	Werner, 1996
	Verhogen incorporatie organisch afval	Soort onbekend	Baker <i>et al</i> , 1999
	Geen scherpe scheiding minerale bodemlaag	<i>D. octaedra</i>	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Verhogen organisch stofgehalte	Soorten onbekend	Baker <i>et al</i> , 1999
	Betere verdeling	Soorten onbekend	Baker <i>et al</i> , 2006
	Verhogen totaalgehalte koolhydraten	Combinatie van soorten	Scullion <i>et al</i> , 2000
Waterhuishouding	Verhoging infiltratiecapaciteit	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
		<i>A. longa</i>	Baker <i>et al</i> , 1999
		<i>A. caliginosa</i>	Stockdill, 1982
		<i>A. longa</i>	Springett <i>et al</i> , 1984
	Verbetering waterhoudend vermogen	<i>L. terrestris</i>	Willoughby <i>et al</i> , 2002
Gewasproductie	Verhoging grasproductie	<i>A. caliginosa</i>	Stockdill, 1982
		<i>L. terrestris</i> en <i>A. caliginosa</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
			Baker <i>et al</i> , 2006
		<i>A. caliginosa</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
			Stockdill, 1982
			Curry, 1988
		<i>A. longa</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
		<i>A. longa</i> , <i>A. caliginosa</i> en <i>A. trapezoides</i> (<i>A. longa</i> sterkste effect)	Baker <i>et al</i> , 1999
	Verlaging grasproductie	<i>A. trapezoides</i>	Baker <i>et al</i> , 1994
	Verhoging productie Luzerne	<i>A. rosea</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
	Verhoging droge stof	Verschillende soorten: <i>A. caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>L. rubellus</i> , <i>A. longa</i> , <i>A. chlorotica</i> en <i>L. terrestris</i>	Curry, 1988
Verhoging groei wortels	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006	
	Soorten onbekend	Baker <i>et al</i> , 2006	
	<i>A. longa</i>	Baker <i>et al</i> , 1999	
Geen infectie wortels met arbusculaire	Soorten onbekend	Baker <i>et al</i> , 2006	

Bodemeigenschap	Effect	Soort	Literatuurreferentie
	mycorrhiza		
Nutriënten	Verlaging beschikbaarheid N	Combinatie van regenwormen	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Verhoging uitspoeling fosfaat	Combinatie van regenwormen	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Verhoging beschikbaarheid fosfaat	<i>L. terrestris</i>	Frehlich <i>et al</i> , 2006
		Soort onbekend	Vimmerstedt <i>et al</i> , 1973
	Verlaging beschikbaarheid fosfaat	<i>L. rubellus</i>	Frehlich <i>et al</i> , 2006
	Verbeterde verdeling nutriënten	Verschillende soorten: <i>A. caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>L. rubellus</i> , <i>A. longa</i> , <i>A. chlorotica</i> en <i>L. terrestris</i>	Curry, 1988
	Verlaging C:N-ratio	Soort onbekend	Curry, 1988
	Afname C en N met diepte	<i>L. terrestris</i>	Eisenhauer <i>et al</i> , 2007
Afname C, N, C:N- ratio	<i>O. tyrtaeum</i>	Eisenhauer <i>et al</i> , 2007	
Zuurgraad	Verlaging pH	<i>O. tyrtaeum</i>	Eisenhauer <i>et al</i> , 2007
	Verhoging pH	<i>L. terrestris</i>	Eisenhauer <i>et al</i> , 2007
	Verhoging kalk incorporatie	<i>A. longa</i>	Baker <i>et al</i> , 1999
Beschadiging graszode door vee of mollen	Verhoogde kans	Combinatie: <i>A. caliginosa</i> , <i>L. terrestris</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
Interactie soorten	Verlagen populatie <i>A. caliginosa</i>	<i>A. longa</i> en <i>A. caliginosa</i>	Baker <i>et al</i> , 2006
	Mogelijk competitie	Regenwormen - mestfauna	Baker <i>et al</i> , 2006
	Mogelijk negatieve interactie	Regenwormen – micro-arthropoden	Baker <i>et al</i> , 2006

Bijlage 5 Experimenten in Nederland

In tabel 7 wordt een kort overzicht van de introducties in Nederland gegeven. In de daaropvolgende paragrafen worden deze verder uitgewerkt.

Tabel 7. Overzicht van in Nederland uitgevoerde introducties van regenwormen.

Locatie	Jaar	Soort	Type grond	Type gewas / begroeiing
Biddinghuizen	1971-1972	<i>A. caliginosa</i> en <i>Lumbricus terrestris</i>	Kalkhoudende silt leem grond – siltige klei	Grasland, gedomineerd met <i>Lolium perenne</i>
Swifterband (Proefboerderij Minderhoudhoeve)	1971-1972	<i>A. caliginosa</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i> en <i>L. terrestris</i>	Kalkhoudende silt leem grond – siltige klei	Grasland, gedomineerd met <i>Lolium perenne</i>
Swifterband (Proefboerderij Minderhoudhoeve)	1983	<i>A. caliginosa</i> , <i>A. longa</i> , <i>L. rubellus</i> en <i>L. terrestris</i>	Silt leem en zanderig leem	Grasland (2 jaar voor introductie akker)
Marknesse (Proefboerderij Lovinkhoeve)	1987	<i>A. caliginosa</i> en <i>L. rubellus</i>	Kalkrijke zanderige leem grond	Akker
Dronten	1964	Plot A: <i>A. caliginosa</i> Plot B: <i>A. caliginosa</i> en <i>L. terrestris</i>	Zanderige kleigrond	Appelboomgaard
Biddinghuizen (hetzelfde bedrijf als in 1971-1972)	1964	plot A: <i>A. caliginosa</i> Plot B: <i>A. chlorotica</i>	Zanderige kleigrond	Grasland
Zeewolde	1988	<i>A. chlorotica</i> , <i>A. caliginosa</i> , <i>A. longa</i> , <i>A. rosea</i> en <i>L. rubellus</i>	Silte klei leem grond	Akker (mosterd, luzerne, wintertarwe, suikerbieren, erwten en gerst)

Biddinghuizen en Swifterband (1971-1972)

Bron: Hoogerkamp *et al.* 1983
Tijdstip: winter 1971 – 1972.
Gewas: grasland, Engels raaigras dominant (*Lolium perenne*).
Bemesting: 300 – 550 kg N per hectare per jaar.
Bodemgebruik: voornamelijk melkvee, af en toe schapen, 3–4 vee-eenheden/ha.
Monitoring: 1972, 1973 en 1979

Wortelgangen, wormengangen, wortelhoeveelheid, C (Kurmies), N (Kjeldahl), totaal organisch materiaal (verbranding), infiltratiecapaciteit, water- en luchtgevuld porie volume, waterspanning, indringingsweerstand, schuifsterkte (*shear strength*), thermografische detectie (*Infrared Line Scanning* (IRLS, 8–14 μm golflengte 1000 meter hoogte 1979 en 1980; op 300 meter hoogte in 1981 golflengte 0.4–0.9 μm).

Op beide locaties is in een goed gevormde populatie de dichtheid aan regenwormen ongeveer 200 m^{-2} . Aan het dispersiefront is de dichtheid ongeveer 90 regenwormen/ m^2 .

Teneinde een verdichte mat (O-horizon) in een weiland te laten verdwijnen moeten ongeveer 2000 wormen geïnoculeerd worden op 50 meter intervallen.

Na ongeveer 3 jaar wordt er een donker gekleurde A_1 horizon gevormd. In het begin heeft deze laag een gemixt karakter en bestaat uit donker wormencastings en een lichter gekleurde onveranderde minerale grond. De toplaag bestaat uit een donkere homogene laag van 1 – 2 cm. Deze laag wordt in de loop van 8 – 9 jaar geleidelijk dikker en minder donker. De bovenste decimeter wordt granulair waar die eerst gelaagd of blokvormig was. De gangen gevormd door wortels zijn ingenomen door 1 – 4 mm wijde gangen en wijdere kamers van *A. caliginosa*. Op de locatie in Biddinghuizen zat de ondergrens van dit systeem na 8 jaar op een diepte van 50 cm. De bovenste 8 cm was toen compleet doorwerkt.

Het organisch stof gehalte (C en N gehalte) van de minerale grond neemt toe. De totale hoeveelheid organisch stof verandert niet meer, maar is over een dikkere laag verdeeld geworden. De C:N-verhouding neigt toe te nemen. De infiltratiecapaciteit verbetert sterk. In de bovenste 20 cm zijn de geleiding voor water en diffusie van lucht (beide pF-2) hoger. Na 8–10 jaar is dieper nog weinig verandering te zien in geleiding, het aantal gangen of de mate van bewerking.

In Swifterband zorgden de regenwormen voor een hoger porievolume, hoger watergehalte en luchtinhoud van de toplaag en meer beschikbaar vocht op veldcapaciteit. In Biddinghuizen konden geen veranderingen aangetoond worden in het porievolume. In de bovenste decimeter de penetratieweerstand is verlaagd door de wormenactiviteit. In diepere lagen was de verandering niet significant verschillend of werden veroorzaakt door andere factoren zoals grond textuur.

De schuifsterkte (*shear strength*) van de grond aan het oppervlak is duidelijk vergroot door de aanwezigheid van regenwormen. De grond is losser van structuur, maar de minerale toplaag heeft meer cohesie dan de grond zonder wormen als gevolg van de hogere hoeveelheid wortels. De toplaag van de grond is beter belucht, heeft een hogere infiltratiecapaciteit en watergeleidbaarheid, er is minder stagnatie van water. De grond is met regenwormen warmer gedurende de nacht en koeler gedurende de dag. De effecten zijn vooral goed te zien in het voorjaar als het gras kort is.

Biddinghuizen (1971-1972)

Geïntroduceerde soorten: *A. caliginosa* (2790 stuks)
L. terrestris (244 stuks)
Coördinaten: 5° 38' 8" - 52° 33' 2"
Methode: Op ongeveer 50 punten wormen geënt.
Bodemtype: aeric Fluvaquents (Soil conservation service 1975)
of calcaric Fluvisol (FAO/UNESCO 1974).

Ontwikkeld naar een gelaagde kalkhoudende silt leem grond tot een siltige klei afzettingen afkomstig van een meer/zee en drooggelegd sinds 1957. Carbonaatgehaltes liggen in de bovenste 50 cm tussen de 7.7 en 11.1. Het organisch stofgehalte ligt tussen de 2.1 en 4.6 en de pH(KCl) waarde tussen de 7.1 en 7.5. De bovenste 20-30 cm is gemixt door middel van ploegen en heeft een zilt-leem structuur. Afwatering vindt plaats door kunstmatige sloten en drains. Grondwaterstand op 100 cm diepte. A₁ horizon ontwikkelt zich waar regenwormen actief zijn.

Gemiddelde dispersieafstand per jaar:

A. caliginosa: 9 meter

L. terrestris: 4.5 meter

Aan de periferie verschuift de leeftijdsverdeling naar een groter aandeel volwassen wormen.

Swifterband (A.P. Minderhoudhoeve) 1971-1972

Geïntroduceerde soorten: *A. caliginosa*, *A. longa*, *L. rubellus* en *L. terrestris*.
Dichtheden: 10/m²
Coördinaten: 15° 47' 6" - 52° 27' 6"
Methode: oplichten grasmat op verschillende punten
in plots van 0.25/ha.
Bodemtype: aeric Fluvaquents (Soil Conservation Service 1975)
of calcaric Fluvisol (FAO/UNESCO 1974).

Na drooglegging in 1957 ontwikkeld naar een gelaagde kalkhoudende silt leemgrond met ziltige zeeklei afzettingen. Carbonaatgehaltes liggen in de bovenste 50 cm tussen de 7.7 en 11.1. Het organisch stofgehalte ligt tussen 2,1 en 4,6 en de pH(KCl) tussen de 7.1 en 7.5. De bovenste 20-30 cm is gemixt door middel van ploegen en heeft een silt-klei-leem structuur. Afwatering vindt plaats door kunstmatige sloten en drains. Grondwaterstand is op 160 cm diepte. A₁-horizon ontwikkeld waar regenwormen actief zijn.

De dispersiesnelheid van de soorten *A. caliginosa*, *A. longa*, *A. rosea* en *L. rubellus* lijkt vergelijkbaar, aangezien deze soorten zich alle aan de periferie bevinden. Aan de buitenkant van het dispersiefront bevinden zich voornamelijk adulte exemplaren..

In afwezigheid van regenwormen groeide de verdichte grasmat O-horizon in 10 jaar tijd aan tot een dikte van 0.5–2.5 cm met een versgewicht van 195 ton/ha, een droge stofgehalte van 43% en een organisch stofgehalte van 41%. De overgang naar de minerale bodemlaag was abrupt en werd gevormd door dode en levende graswortels.

Swifterband (A.P. Minderhoudhoeve) 1983

Bron:	Lighthart <i>et al.</i> 1997
Geïntroduceerde soorten:	<i>A. caliginosa</i> (60% adult, 40% subadult), <i>A. longa</i> (12% adult 88% subadult), <i>L. rubellus</i> (84% adult, 16% subadult) en <i>L. terrestris</i> (72% adult, 28% subadult).
Aantallen:	250 wormen per soort per entpunt
Methode:	32 entpunten op heuvels (12 m breed en 12 cm hoog).
Jaar:	1983 (oktober en november).
Weersomstandigheden:	Gematigd, vochtig, met een warme zomer.
Gewas:	grasland. ingezaaid 1981, voordien akkerland
Bodemtype:	Calcaric Fluvisol (FAO 1990) silt leem structuur in de bovenste 70 cm zanderig leem beneden 70 cm.
Monitoring	regenwormen; gangenstelsel regenwormen.

Buiten de gekoloniseerde ruimte was een 3 cm dikke wortelmat aan het bodemoppervlak. In 1991 (8 jaar na enting) is de mat geheel verdwenen (tot op 20 meter van de entplek).

Wormen zijn door middel van handsortering en additionele formaline-extractie bemonsterd, monstergrootte: 30 x 30 x 30 cm.

Het aantal wormengangen is bemonsterd door het aantal open gangen op te tellen op een diepte van 10 cm (oppervlak van 0.04 m²).

Drie van de 4 soorten vormden een populatie (*L. rubellus* niet). *A. longa* bevond zich aan de voorkant van het dispersiefront, gevolgd door *A. caliginosa*. *L. terrestris* verspreide zich zeer langzaam (mogelijk onderschatting van werkelijke aantallen door methode van monstereen). De dispersie afstand is berekend op 6.3 meter per jaar, voor *L. terrestris* is de afstand 1.4 meter per jaar.

De hoogste dichtheid bevond zich op 20 meter van het inoculatie punt. De piek in de biomassa was bereikt na 4.1 jaar. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan de complete consumptie van de wortelmat op 4.1 jaren.

Lovinkhoeve – Noordoostpolder (1987)

Bron:	Marinissen 1991, 1994; Marinissen <i>et al</i> 1992.
Geïntroduceerde soorten:	<i>A. caliginosa</i> (experiment: bepaling actieve dispersie)
Dichtheden/aantallen:	120 stuks adult en subadult per m ² , 4 replica's
Een onbekend aantal <i>L. rubellus</i> :	is mogelijk door het toepassen van compost in de plots terecht gekomen.
Methode:	wormen uitgespreid in vierkanten van 1 m ² plots bedekt met compost tegen nachtvorst schade. compost na 1 week verwijderd. In juni werd bewaterd wegens droogte.
Bodemtype:	Kalkrijke zanderige leem grond.
Jaar:	1987 (juni en oktober)
Gewas:	onbekend, akkerland; voor een deel ook grasland

Landgebruik: Akkerland, tot 1943 weiland.
Monitoring Regenwormen

De dispersiesnelheid voor *A. caliginosa* is ongeveer 175 meter in 35 jaar (komt overeen met 5 meter per jaar) en 195 meter in 35 jaar voor *L. rubellus* (5.6 meter per jaar).

Regenwormen *A. caliginosa* en *L. rubellus* hebben een positieve invloed op aggregaat stabiliteit.

Oostelijk Flevoland (1964 – 1967)

Experiment 1: Dronten

Bron: Van Rhee 1969a.
Geïntroduceerde soorten: *A. caliginosa* en *L. terrestris*; meerendeels subadulten.
Dichtheden/aantallen: Boomgaard A
plot 1: 5400 stuks *A. caliginosa*;
plot 2: 4600 stuks *A. caliginosa*;
Boomgaard B
plot 1: 4100 stuks *A. caliginosa* en 2300 stuks *L. terrestris*;
plot 2: 2250 stuks *A. caliginosa* en 1500 stuks *L. terrestris*.
Methode: enting in het midden van een rij bomen
Jaar: 1966 (maart – september)
Gewas: Appelboomgaard met gras.

Bodemtype: Zanderige kleigrond,
38–42% silt, 20% klei, 47% zand, 11.2% CaCO₃, 3.5% organische stof, pH 7,4–7,6.
In 1957 drooggelegde polder.

Monitoring: Regenwormen; aggregaatstabiliteit;
lucht-water huishouding (pF 4.2, 2.2 en 0.4).

Overleving van *L. terrestris* is zeer slecht. Na 1 jaar zijn van de 2300 stuks in plot 1 er nog 53 over en in plot 2 geen.

Structurele verandering door de activiteit van regenwormen in verhoging van de hoeveelheid water voor plantengroei. Er is een hoger percentage capillaire poriën. *A. caliginosa* heeft een belangrijke rol in bodemvorming in nieuwe poldergronden. De soort stimuleert vorming van bodemaggregaten en verbetering van lucht-water huishouding.

Experiment 2: Biddinghuizen

Bron: Van Rhee 1969b
Geïntroduceerde soorten: *A. caliginosa* en *A. chlorotica*; voornamelijk subadulten.
Dichtheden/aantallen: *A. caliginosa*: 1166 per plot (juni 1964 – april 1967)
A. chlorotica: 647 per plot (juni 1964 – april 1967)
Methode: in het midden van plot.
Jaar: 1964 - 1967

Gewas: Grasland: *Lolium perenne* (64%), *Festuca pratensis* (18%) en *Phleum pratense* (18%). Het grasland is ingezaaid in 1964, in de periode 1964 – 1968 is raaigras de dominante grassoort.

Bodemtype: Zanderige kleigrond
48% silt, 32% klei, 10.7% CaCO₃, 2.7% organische stof, pH 7.5.
In 1957 drooggelegde polder.

Monitoring Regenwormen.

A. caliginosa koloniseert het terrein sneller dan *A. chlorotica*. Dispersiesnelheid van *A. caliginosa* is 6 meter per jaar, van *A. chlorotica* 4 meter per jaar.

Zeewolde - Zuidelijk Flevoland (1988)

Bron: van der Werff *et al* 1998
Geïntroduceerde soorten: *A. chlorotica*, *A. caliginosa*, *A. longa*, *A. rosea* en *L. rubellus*.
Aantallen: *A. chlorotica* 3 per plag
A. caliginosa 42 per plag
A. longa 3 per plag
A. rosea 1 per plag
L. rubellus 4 per plag
Methode 5 graszodeplaggen per plot.
Jaar: 1988

Graszoden zijn in Wageningen gestoken op een biologisch beheerde gras-klover weide (fluviatiel zanderig klei leem grond). De zoden zijn met de graszijde naar beneden neergelegd om zo in extra voedsel te voorzien als het gras verteerd.
Van 5 graszoden zijn de aanwezige regenwormen geteld en gedetermineerd. Deze aantallen en soorten worden voor alle plaggen aangehouden.

Bodemtype: Silte klei leem grond.
In 1968 ingepolderd. Toplaag bestaat uit 33% klei, 8% CaCO₃, organisch stof gehalte 4%, pH(KCl) 7.5
3 plots met mest van melkvee en stro, 4 plots met mest van kippen (ingekuuld) en 3 plots zonder mest
1988, 1991 en 1993: 20 ton/ha mest van melkvee of 5 ton/ha kippenmest
1995: 12 ton/ha mest van melkvee of 2.9 ton/ha kippenmest
Alle mesttoevoegingen zijn gebaseerd op het toevoegen van 125 kg P₂O₅ en 50 kg beschikbaar N/ha

Gewas	: Behalve in 1992 dezelfde gewassen op gehele veld
1988	: mosterd (na enting)
1989	: luzerne
1990 en 1991	: wintertarwe
1992	: suikerbieten/erwten
1993	: gerst (zomergerst)
1994 en 1995	: luzerne
1996	: wintertarwe

Monitoring: Regenwormen.

In 1992 is de dispersiesnelheid 2 meter per jaar (4 jaar na introductie). Van 1992 tot 1994 is de snelheid verhoogd naar 14.5 meter per jaar. De dispersiesnelheid over het gehele veld was van 1992 – 1996 11.0 meter per jaar. De verschillende mest heeft geen invloed op de verspreiding van regenwormen in 1994 en 1996. Het gewas heeft wel een sterke invloed. In de plots met erwten is de verspreiding 16.5 meter verder dan in de plots met suikerbieten.

In de plots zonder geïntroduceerde regenwormen zijn significant minder regenwormen te vinden dan in de plot waar deze wel zijn geïntroduceerd.

A. caliginosa was aanwezig in hoge aantallen in alle plots waar regenwormen geïntroduceerd zijn. *A. chlorotica* was regelmatig aanwezig maar in lagere aantallen. *L. rubellus* werd in 3 subplots teruggevonden, niet in de plots zonder mest. *A. longa* was in 2 plots aanwezig en in 5 plots waar ze niet geïntroduceerd waren.

In aanwezigheid van regenwormen is de waarden van voor planten beschikbare fosfaat hoger. De fosfaatopname door zomergerst is verstrekt aan het begin van het groeiseizoen door de aanwezigheid van regenwormen.

Situatie locaties in 2008

Biddinghuizen

Het perceel in Biddinghuizen was bij enting in gebruik als grasland. In 2008 is dit niet meer het geval en staan er tulpen. Aangezien het veld was afgedekt met plastic is bemonsterd in het naastgelegen perceel, waar gras is ingezaaid. Afgelopen jaren hebben er op dat perceel aardappels gestaan. De boerderij is nu in handen van de zoon van de toenmalige boer.

Swifterband

Proefboerderij A.P. Minderhoudhoeve te Swifterband was eigendom van WUR. In 2002 is de boerderij verkocht aan een particuliere boer. De graslanden zijn nu akkerland. In 2008 stond er tarwe op de percelen waar de introducties hebben plaatsgevonden.

Marknesse (Proefboerderij Lovinkhoeve)

Proefboerderij Lovinkhoeve was tot 2003/2004 in het bezit van de WUR. Nu eigendom van een boer die achter het perceel woonde. Het land wordt nog steeds als akkerland gebruikt. In 2008 hebben er erwten en bonen gestaan.

Dronten

Ten tijde van de introducties was de locatie in Dronten een appelboomgaard, dit is nog steeds het geval. Ten tijde van de introductie stonden er op het geënte perceel geen bomen; in 2008 ook niet, maar in de tussenliggende jaren hebben er appelbomen gestaan. De zoon van de toenmalige eigenaar heeft het bedrijf overgenomen.

Zeewolde

Ten tijde van de introducties werd het perceel gebruikt als akkerland, in 2008 is dat nog steeds zo. De eigenaar is ook dezelfde. In november 2008 stond er op het perceel mosterd. Daarvoor aardappels en suikerbieten.

Schinnen niet kerende grondbewerking en traditioneel

Het perceel wordt al tien jaren niet meer geploegd. Ten tijde van de veldinventarisatie stond er geen gewas op het perceel. Het naastliggende perceel met dezelfde grondsoort (middelzware löss) wordt traditioneel beheerd. Op dit perceel stond ten tijde van de bemonstering mosterd.

Puth

Appelboomgaard. De monsters zijn gestoken in de graspaden tussen de bomenrijen.

