



Structuurproblemen in relatie tot regenwormen in de Flevopolder

Eindrapport onderzoek 1998 - 2001

Klaas van Rozen en Albert Ester

© 2003  eningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit eindrapport (vertrouwelijk) geeft de resultaten weer van het onderzoek dat het Praktijkonderzoek Plant & Omgeving heeft uitgevoerd in opdracht van:

Hoofdproductschap Akkerbouw (HPA)

Stichting Proefbedrijven Flevoland (SPF)

Projectnummer: 5235327

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector AGV

s : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 – 29 11 11
Fax : 0320 – 23 04 79
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1 INLEIDING	5
1.1 Aanleiding tot het onderzoek.....	5
1.2 Doel van het onderzoek.....	5
1.3 Plan van aanpak.....	5
2 INVENTARISATIE VAN DE PROBLEMATIEK.....	6
2.1 Kenmerken van het structuurprobleem	6
2.2 Omvang van de problematiek.....	6
2.3 Bodemstructuur.....	7
2.4 Humus.....	7
2.5 Regenwormen	8
2.5.1 Taxonomie	8
2.5.2 Ecologische typen regenwormen	8
2.5.3 Reproductie en ontwikkeling	8
2.6 Meldingen van structuurproblemen.....	8
2.7 Casts en slijm.....	9
2.8 Aggregaat stabiliteit.....	9
2.9 Consequenties van regenwormen in landbouwgronden.....	9
2.10 Veldonderzoek op percelen met structuurproblemen	10
2.11 In vitro onderzoek regenwormen.....	11
2.11.1 Bodem compactheid en kleverigheid	11
2.11.2 Stabiliteit van de grond (natte procedure)	12
2.11.3 Kluitvorming van de grond (droge procedure).....	12
3 FACTOREN DIE AANWEZIGHEID EN AANTALLEN REGENWORMEN BEPALEN.....	14
3.1 Klimaat	14
3.2 Bodem.....	14
3.3 Voedsel.....	15
3.4 Grondbewerking	15
3.5 Pesticiden	15
3.6 Landbouwcompost.....	15
3.7 Gebluste kalk.....	16
3.8 Ongebluste kalk.....	16
3.9 Stalosan F.....	17
3.10 Kalkstikstof	17
3.11 Zout.....	17
3.12 Schuimaarde	17
3.13 Inundatie	17
3.14 Andere regenwormen.....	18
3.15 Predatie, ziekte en parasitisme	18
4 DISCUSSIE	19

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

Vanaf begin jaren '90 komen incidenteel problemen voor bij de oogst van rooivruchten op klei en zwaardere zavelgronden in de Flevopolder. Op percelen die normaliter zonder problemen werden geoogst kwamen plekken voor van verschillende omvang waar de oogst van met name aardappelen moeizaam verliep. De aardappelruggen zijn onder natte omstandigheden kleverig en compact. Onder droge omstandigheden worden de aardappelruggen massief met een betonachtige bovenlaag. Tijdens de oogst worden grote kluiten geroid en incidenteel gaat de hele aardappelrug mee de rooimachine op, waarbij de grond niet of nauwelijks kan worden verwerkt. De rooisnelheid wordt navenant de structuur aangepast. Incidenteel kunnen delen van het perceel niet geroid worden. Op percelen waar problemen voorkwamen werden hoge aantallen regenwormen geconstateerd. In 1998 is het PPO-AGV in opdracht van het Hoofdproductschap Akkerbouw (HPA) en Stichting Proefbedrijven Flevoland (SPF) gestart met onderzoek naar dit probleem.

1.2 Doel van het onderzoek

- Aantonen van een causaal verband tussen regenwormen en structuurproblemen in de Flevopolder.
- Oplossingen aandragen voor de structuurproblemen.

1.3 Plan van aanpak

Vanwege het unieke karakter van het probleem zijn ieder jaar de resultaten van het onderzoek voorgelegd aan leden van het HPA en SPF. Ieder jaar werd na aanleiding van deze bijeenkomsten een jaarplanning gemaakt voor het te verrichten onderzoek. In 1998 zijn percelen waarop problemen zijn geconstateerd door de betreffende telers onderzocht op aantallen en soorten regenwormen. Vanaf 1998 zijn in vitro proeven op het PPO-AGV jaarlijks uitgevoerd om de problemen met regenwormen aan te tonen en factoren en middelen die van invloed zijn op de problemen zijn onderzocht. Vanaf 1999 zijn jaarlijks minimaal twee veldproeven uitgevoerd op representatieve percelen met hoge aantallen regenwormen. Het onderzoek in 1998 heeft geleid tot twee strategieën om de problemen bij de oogst van aardappelen op te lossen:

- ***Verbetering van de structuur door toevoeging van diverse structuurverbeterende componenten aan de betreffende kleigronden.***
- ***Reductie van de populatie regenwormen met behulp van gangbare producten en diverse teeltmaatregelen.***

2 Inventarisatie van de problematiek

Informatie over de problematiek is verkregen aan de hand van gesprekken met akkerbouwers, voorlichters en reeds beschikbare informatie op het PPO-AGV. Tevens zijn verschillende enquêtes gehouden.

2.1 Kenmerken van het structuurprobleem

De eerste problemen leken zich voor te doen rond 1993, m.n. bij de teelt van aardappelen. De bovenlaag van de bodem wordt hard, dit is goed merkbaar als over het oppervlak wordt gelopen. De plekken worden omschreven als slemperig, kleverig, kluitiger, stijf en de grond wil niet scheuren. De problemen komen voor bij het oogsten van rooivuchten, maar wordt reeds opgemerkt bij het ploegen en andere grondbewerkingen. Bij de oogst worden hoeveelheden tarra (kluiten) genoemd van 50 procent, de rest is het oogstbare product. Bij het inschuren wordt over het algemeen toch nog een groot gedeelte van de tarra verwijderd doordat de kluiten breken. Het heeft echter wel tot gevolg dat een bepaald gedeelte van het oogstbare product (m.n. aardappelen) beschadigd.

Bij het rooien van aardappelen worden veel regenwormen waargenomen in de gezeefde grond. Bij het inschuren worden veel kluiten waargenomen met wormengaten en zelfs met levende wormen. Over het algemeen vinden de problemen plaats na een natte periode. De regenwormen worden dan boven in de grond aangetroffen en in de ruggen van de aardappelen. Na een periode van droogte wordt de bovenlaag van de bodem hard. Men spreekt van een beton-achtige bodem. Met het rooien van aardappelen werden meters rug (platen) opgenomen door de rooimachine die niet verder verwerkt kon worden. De trend van het probleem lijkt te liggen op vochtige plaatsen en daar waar percelen worden beregend gedurende het groeiseizoen. De meeste problemen doen zich voor bij het later oogsten. Meer problemen zijn geconstateerd bij het rooien van consumptie aardappelen t.o.v. pootaardappelen, wat waarschijnlijk het gevolg is van later oogsten.

De eerste meldingen met problemen kwamen binnen uit de regio Dronten. Qua neerslag is dit het gebied waar de meeste neerslag in de Flevopolder viel in 1993 tot en met 1997. De harde, beton-vormige structuur die op bepaalde percelen werd aangetroffen ontstond na een periode van droogte.

Qua mate van structuurproblemen per perceel komen twee vormen naar voren: merendeel van de problemen doen zich pleksgewijs (79 %) voor binnen een perceel ten opzichte van gehele percelen (21 %). Het verschijnen van plekken komt met name voor op pure akkerbouwpercelen. Gehele percelen met een mindere structuur doet zich vnl. voor bij gescheurd grasland. Percelen met een hogere afslibbaarheid (> 30 %) zijn gevoeliger voor de betreffende structuurproblemen dan de lichtere gronden. Uitzonderingen zijn echter gemeld.

2.2 Omvang van de problematiek

De structuurproblemen lijken zich te beperken tot de IJsselmeerpolders van Nederland. In Oostelijk Flevoland zijn ongeveer 150 akkerbouwers met structuurproblemen bekend. De problemen doen zich verspreidt voor over het gehele gebied, m.n. op de plaatsen met de zwaardere kleigronden. De tendens is dat aan de randen van Oost-Flevoland minder problemen zijn, dit zijn lichtere lgronden. In Zuidelijk Flevoland zijn inmiddels ook bedrijven bekend met structuurproblemen. Bij eerder ingepolderde meren van Nederland zijn enkele problemen gemeld in de Noordoostpolder, de Wieringermeer en de Haarlemmermeer.

2.3 Bodemstructuur

Structuur wordt voor een groot deel bepaald door de korrelgrootte van bodemdelen. Lutum is de fractie 0 - 2 μm . Onder natte omstandigheden draagt lutum weinig bij aan mechanisch sterkte en draagkracht. Bij hogere lutumgehalten is de toplaag plastisch en glad en is de doorlatendheid laag. Zo gauw een lutumhoudende bodem ook maar iets opdroogt neemt de mechanische sterkte toe dankzij de toenemende cohesie. Zware kleigronden kunnen bij droogte sterk krimpen, waardoor de dichtheid toeneemt.

Een definitie voor structuur is als volgt:

De onderlinge rangschikking en binding van de bodemdeeltjes.

In de natuur komen een aantal typische structuren voor die verdeeld zijn in het wel of niet voorkomen van duidelijke aggregaten. Structuurvormen ontstaan door:

1. Afzetting. Klei heeft veelal gelaagde structuren door werking van water en slib. Zand heeft veelal korrelstructuren door windafzetting.
2. Bodemleven. Sponsstructuren zijn ontstaan door de werking van een bepaald type worm (*Tubifex*). Algen kunnen gasbellen doen ontstaan. Kruimelstructuren ontstaan in de bouwvoor doordat o.a. wormen met hun slijmstoffen de kleine gronddeeltjes tot grotere eenheden, de kruimels, samenvoegen.
3. Fysisch (indroging, druk, vorst, wortels). Kluitstructuren ontstaan door indroging en platige structuren door druk.
4. Scheikundige processen. Bijv. bekalking kan klei doen uitvlokken waardoor de kleideeltjes zich gaan gedragen als grotere eenheden. Een dergelijke grond zal niet spoedig slempen. Natrium en magnesium hebben het omgekeerde effect (peptisatie).
5. Verplaatsing van gronddeeltjes. Verdichting door verplaatsing van gronddeeltjes van bovengrond naar ondergrond.

Regenwormen maken kleine aggregaten die een losse structuur vormen onderin en die een bouwwerk vormen met een sterke binding aan het oppervlak. Grond zonder een structuur veroorzaakt door regenwormen hebben kleinere holtes met minder binding tussen de vaste deeltjes. De symptomen in aardappelruggen in de Flevopolders lijken vrij uniek. Onder natte omstandigheden ontstaan in de aardappelruggen bouwwerken door de activiteit van regenwormen die tot specifieke wormenkluiten leiden. Deze kluiten hebben een stelsel van gangen en holtes, uitwerpselen zijn goed waarneembaar. In de praktijk zijn structuurkluiten (dichte kluiten die onder andere met grondbewerkingen onder te natte omstandigheden ontstaan) goed te onderscheiden van wormenkluiten. Wormenkluiten zijn luchtig en vallen sneller uiteen dan structuurkluiten, maar kunnen in de Flevopolders toch voor een bepaalde binding zorgen die problemen bij de oogst geven.

2.4 Humus

Organische stof in de grond is overwegend van plantaardige oorsprong. Een deel van alle organische stof die in onze gronden voorkomt, bestaat uit een donkere, vormloze, aardachtige stof, de humus. Deze humus kan moeilijk door het bodemleven worden aangetast en biedt grote weerstand tegen afbraak (stabiele humus). Dit is bijv. het geval met lignine (houtstof), harsen en vetten. De C : N-verhouding geeft een aanwijzing voor de kwaliteit van humus. Men kan humus in verschillende vormen onderscheiden:

1. Ruwe humus. Dit is organische stof op droge, zure, stikstofarme gronden waarbij geen vertering optreedt.
2. Moder. Dit ontstaat als omzetting plaatsvindt van verse organische stof door vooral insecten en andere kleine bodemdieren. Uitscheiding van faeces geeft vrij stabiele trosjes tussen zandkorrels en komt voor

- op de betere zandgronden.
3. Mull. Ontstaat op kleihoudende gronden met een hoge pH en veel organische stof. Bacterien en regenwormen spelen hierbij een grote rol. Regenwormen mengen de organische stof zeer sterk met klei- en zanddeeltjes en resulteert in een goede stabiele humusvorming met een lage C : N-verhouding.
 4. Anmoor. Deze humusvorm ontstaat op plaatsen waar nog juist geen veenvorming is en komt voor op zowel zand-, zavel- als kleigronden. Het is een zwarte, slibhoudende humus die ontstaat in kleigebieden op vochtige plaatsen. Dit speelt o.a. in de zodelaag van graslandgronden in de droogmakerijen.

2.5 Regenwormen

2.5.1 Taxonomie

Regenworm is de Nederlandse benaming voor de familie der Lumbricidae; bij regen komen de regenwormen naar het oppervlak, ze prefereren een vochtige omgeving. De rangschikking binnen het dierenrijk is als volgt:

Stam	: Articulata (gelede dieren)
Onderstam	: Annelida (ringwormen)
Klasse	: Clitellata (clitellum dragende ringwormen)
Orde	: Oligochaeta (weinig borstelige, aard- en zoetwater wormen)
Familie	: o.a. Lumbricidae (regenwormen)

2.5.2 Ecologische typen regenwormen

Voor gematigde gebieden kunnen drie ecologische typen regenwormen worden onderscheiden.

Epigeïsche, zich in de bovenste bodemlaag bevindende regenwormen bevinden zich voornamelijk in organisch materiaal zoals strooisellagen en composthoppen. Deze soorten zijn vaak rood gekleurd en eten naast grond vnl. onverteerd organisch materiaal. De andere twee typen regenwormen beïnvloeden het bodemsysteem het meest. **Endogeïsche** typen leven in diepere, minerale bodemlagen (tot ± 40 cm) en eten afhankelijk van de soort grond en in meer of mindere mate reeds verteerd materiaal. Deze soorten eten zigzag door de bodem. Ze zijn vaak niet rood gepigmenteerd maar hebben kleuren variërend van roze tot bruin. **Anekische** soorten zijn de grootste wormen. Deze regenwormen verzamelen hun voedsel aan de oppervlakte van de bodem en leven in diepe (2 meter), verticale, permanente gangen. Ze zijn vaak van voren donker gekleurd en het achterlijf is ongekleurd. Overlapping tussen typen komt echter regelmatig voor.

De relatie met betrekking tot aanwezigheid en aantallen regenwormen in diverse milieus is soortafhankelijk. Akkerbouwgronden, ook in de Flevopolders, bevatten over het algemeen endogeïsche soorten. Epigeïsche en anekische soorten komen op deze gronden nauwelijks voor, m.n. door de vele bewerkingen die worden uitgevoerd.

2.5.3 Reproductie en ontwikkeling

Regenwormen zijn hermafrodit. Desalniettemin vindt bij de meeste soorten seksuele paring plaats waarbij zaadcellen worden uitgewisseld en opgeslagen. Het resultaat is een Citroenvormige cocon waarin meerdere eitjes voorkomen, maar meestal komt slechts één eitje uit in de cocon. Na enige tientallen dagen tot vele weken komen de cocons uit, met name afhankelijk van de soort, de temperatuur en de vochtigheid. Ruwweg twintig weken na het uitkomen zijn de regenwormen geslachtsrijp. De meeste soorten in het veld worden niet veel ouder dan 1 jaar, dit komt vooral door de vele nadelige invloeden op de populaties zoals droogte, vorst, predatoren e.d..

2.6 Meldingen van structuurproblemen

Uitwerpselen van regenwormen (casts) gemengd met darm afscheidingen, slijm en andere excreties kan

een compacte en cement-achtige bodem veroorzaken. Verscheidene onderzoekers hebben opmerkingen gemaakt over regenwormen die bodem erosie veroorzaken door zeer fijn verdeelde grond naar de oppervlakte te brengen.

2.7 Casts en slijm

Aggregaten zijn minerale korrels die op een dermate manier zijn gebonden waardoor weerstand wordt opgebouwd tegen neerslag, erosie en verdichting. Een bodem met veel aggregaten zijn luchtig en goed water doorlatend. Casts bevatten over het algemeen meer water stabiele aggregaten dan de omliggende bodem. De stabiliteit is echter afhankelijk van de soort regenwormen, het voedsel wat gegeten wordt en het gedrag van de regenwormen.

Een veel gehoorde mening over het ontstaan van de beton-achtige structuur van de bodem is de slijmproductie van regenwormen. De stabiliteit wordt door zowel faeces als slijm bepaald. Bij onderzoek naar casts worden beide componenten meegenomen en wordt niet gekeken naar de componenten afzonderlijk. In kleine proefjes met regenwormen is bekend dat deze grond anders gekarakteriseerd (t.o.v. grond zonder regenwormen) kan worden door uitscheiding van urine, faeces en slijm. Dit slijm bestaat vnl. uit polysachariden, dit wordt eveneens door planten uitgescheiden en heeft een kittende werking. Er is echter nooit onderzoek uitgevoerd naar slijm ten opzichte van aggregaatgrootte. Niet bekend is wat onder invloed van zwel en krimp gebeurt ten opzichte van het vormen van met name grotere kluiten en hele betonplaten. Slijm opgesloten in aggregaten zal waarschijnlijk een kittende werking hebben. Slijm buiten het aggregaat wat 'vloeit' door de gangen wordt weer vrij snel afgebroken.

2.8 Aggregaat stabiliteit

Een definitie van aggregaat stabiliteit is als volgt:

De weerstand die een aggregaat biedt tegen een bepaald type verstoring

Ieder aggregaat heeft een eigen karakteristieke intrinsieke stabiliteit, veroorzaakt door chemische, fysische en biologische componenten. Verstoringen ontstaan o.a. door klimatologische factoren en diverse bewerkingen van de bodem (ploegen, eggen, oogsten van rooivruchten, e.d.). Intensiteit van regen kan eveneens zijn invloed uitoefenen op het al of niet uiteenvallen van aggregaten (slemp).

2.9 Consequenties van regenwormen in landbouwgronden

In het algemeen neemt grootte en stabiliteit van aggregaten door regenwormen toe, voornamelijk in de bovenste laag van de bodem. De stabiliteit van verse wormenhoopjes, welke na verloop van tijd componenten worden van de bodem, kan sterk variëren afhankelijk van vochtstatus, leeftijd en dieet. Productie van meer gewenste bodemstructuren door regenwormen is gecorreleerd met toenemende concentraties van klei-gebonden koolhydraten. De verspreiding van schimmeldraden op het bodemoppervlak is ook gerelateerd naar toenemende stabiliteit van wormenhoopjes met leeftijd.

Op micro-structurele schaal beïnvloeden regenwormen bodems door het herhaaldelijk mixen van organisch materiaal en de minerale componenten als het de regenwormdarm passeert. In dit proces wordt de bestaande bodemstructuur vernietigd en sommige organische componenten worden vrijgegeven en andere worden beschermd door de formatie van nieuwe casts en aggregaten. Karakteristieken van de casts, of het nu op het oppervlak of beneden wordt afgezet, variëren tussen regenwormsoorten en wordt beïnvloed door bodem en vegetatie factoren.

2.10 Veldonderzoek op percelen met structuurproblemen

De omvang van een structuurprobleem tijdens de oogst op een perceel is afhankelijk van de voorvrucht:

- Het overgrote deel van het perceel oogst moeizaam, dit kwam voor op percelen wat voorgaande jaren grasland was geweest (voornamelijk land wat door een akkerbouwer werd gehuurd bij een veehouder).
- Op het percelen komen plekken voor waar de structuur in de aardappelruggen slechter was (bij akkerbouwers met een akkerbouwrotatie).

In 1998 zijn 5 representatieve percelen onderzocht op aantallen en soort regenwormen op plekken binnen een perceel waar problemen waren geconstateerd en plekken die geen problemen met de oogst of de bewerking van de grond ondervinden. Bodemkarakteristieken van de onderzochte percelen staan in tabel 1.

Tabel 1. **Bodemkarakteristieken van de onderzochte percelen.**

Locaties	Probleem jaar	Gewas in 1998	Organische stof	pH (KCl)	CaCO ₃	Lutum (< 2 µm)
			%		%	%
H	1994	Aardappelen / suikerbieten	3,7	7,3	10,4	24
M	1998	Suikerbieten	3,1	7,5	7,8	21
W	1994	Aardappelen	3,5	7,5	8,8	32
L	1994	Aardappelen	7,3	7,5	-*	31
B	1993	Wintertarwe	2,7	7,3	7,3	21

* data niet beschikbaar.

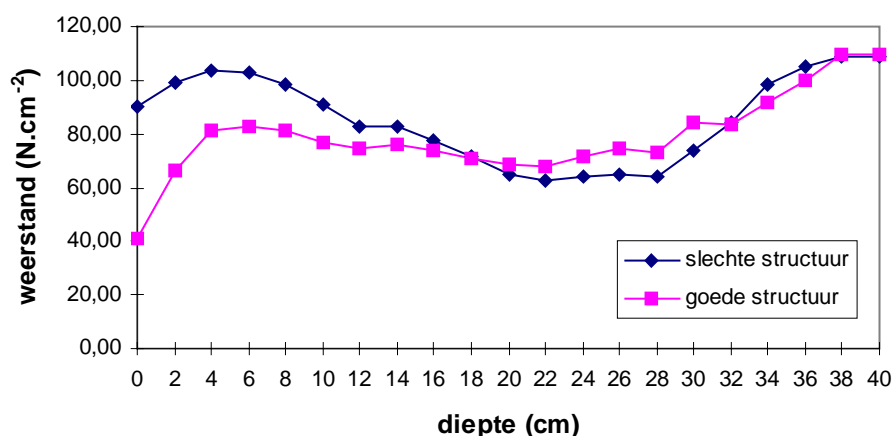
Het aantal regenwormen (adult en juveniel) was op plaatsen waar problemen waren geconstateerd betrouwbaar hoger dan op plaatsen waar de structuur beter van kwaliteit was (tabel 2). Juvenielen (87 %) waren op alle percelen dominant aanwezig. Identificatie van de adults resulteerden in vijf verschillende soorten: *Aporrectodea rosea* (62,3%), *Aporrectodea caliginosa* (28,2%), *Eiseniella tetraedra* (4,7%), *Allolobophora chlorotica* (2,4%) en *Octolasion tyrtaeum* (2,4%). Op locatie M bestond de populatie uit één soort, namelijk *Aporrectodea rosea*. De overige percelen bestonden uit gemengde populaties.

Tabel 2. **Aantal regenwormen (adults en juvenielen) en vochtgehalte op 5 verschillende percelen.**

Locaties	Aantal regenwormen		Vochtgehalte	
	Slechte structuur Individen m ⁻²	Goede structuur Individen m ⁻²	Slechte structuur	Goede structuur
H	200	4	0,30	0,29
M	1254	75	0,29	0,29
W	304	42	0,33	0,32
L	337	92	0,38	0,38
B	429	108	0,22	0,23
F-probability	0,01		-	
Lsd (α = 0,05)	43,2		-	

Meting van de bodemweerstand op locatie M resulteerde in een hogere weerstand op het deel waar problemen voorkwamen ten opzichte van een deel met een goede structuur (figuur 1). Na 12 cm onder het bodemoppervlak werd de penetratie weerstand in beide delen gelijk.

Figuur1. Weerstand (N/cm^2) op perceelsdelen met een slechte en goede structuur.



De plekken binnen percelen die problemen hebben met de structuur dan wel problemen hebben gehad worden gekenmerkt door betrouwbaar hogere aantallen regenwormen in de bodem ten opzichte van plekken met een goede structuur. De aantallen regenwormen die op de slechtere structuur aangetoond worden zijn hoog voor akkerbouwpercelen, maar niet onnatuurlijk. Over het algemeen komen 50 - 300 regenwormen per m^2 op akkerbouwpercelen voor.

Regenwormen zijn niet random verdeeld in de bodem. Factoren die clustering van regenwormen verklaren zijn de bodemtemperatuur, vochtigheid, pH, anorganische zouten, beluchting, textuur en aanwezigheid van voedsel. Reproductieve mogelijkheden en verspreidingskrachten van de diverse soorten zijn eveneens van belang. Met name vochtigheid zou voor clustering zorgen. Het vochtgehalte tussen de bemonsterde delen met een slechte en goede structuur waren echter gelijk. Verkregen gegevens van akkerbouwers qua bouwplan, bemesting en intrinsieke bodemgegevens resulteren eveneens niet tot een bepaalde oorzaak die overmatige aantallen regenwormen zou kunnen verklaren. Over het algemeen komen problemen voor bij diverse bouwplannen. Organische bemesting in meer of mindere mate leidt uiteindelijk bij diverse bedrijven tot problemen.

Op locatie M werden hoge aantallen regenwormen aangetroffen op een relatief kleine plek. Alle adulte regenwormen behoorden tot de soort *A. rosea*. Dit is ook de plek waar de structuurproblemen het meest opviel. Afstand van bemonsteren tussen de plek met de slechte structuur en de goede structuur bedroeg ongeveer 20 meter. De clustering van deze hoge populatie regenwormen kan een gevolg zijn van een snelle reproductie ten opzichte van een minder snelle verspreiding van het nageslacht. De slechte structuur werd bevestigd door de weerstand van de bodem.

2.11 In vitro onderzoek regenwormen

Verschillende aantallen regenwormen zijn onder kunstmatige omstandigheden in emmers met grond toegediend waarna het effect op de bodem is waargenomen. Hypothetisch werd een stuggere grond met kluitvorming verwacht bij een hogere concentratie regenwormen. Voor in vitro onderzoek is hoofdzakelijk gewerkt met de endogeïsche soort *Aporrectodea caliginosa*, de meest voorkomende soort op akkerbouwgronden.

2.11.1 Bodem compactheid en kleverigheid

Emmers met 39 regenwormen gaven een betrouwbaar hogere inzakking van de grond in vergelijking met de emmers zonder regenwormen en emmers met 13 regenwormen (tabel 3). De compactheid van de klei nam toe naarmate meer regenwormen in de klei voorkamen. In emmers met regenwormen bleef na het legen betrouwbaar meer klei in de emmers achter dan emmers zonder regenwormen. Oftewel de

kleverigheid nam toe bij een toenemende populatie regenwormen.

Tabel 3. **Gemiddelde bodem inzakking (mm) en emmergewicht (g) na het legen.**

Aantal regenwormen	Inzakking (mm)	Gewicht emmer plus inhoud (g)
0	13	470
13	15	4010
26	17	6000
39	21	8010
F-probability	0,009	< 0,001
Lsd ($\alpha = 0,05$)	5	1930

2.11.2 Stabiliteit van de grond (natte procedure)

De grond werd gespoeld met water. Na 1, 2 en 3 minuten spoelen hadden de emmers met regenwormen een significant hoger gewicht in vergelijking met de emmers zonder regenwormen (tabel 4). De cohesie tussen de grond delen in een situatie zonder regenwormen is lager, waardoor meer klei werd weggespoeld.

Tabel 4. **Gemiddelde gewichten (gram) van de grondmonsters (incl. zeef en opgenomen water).**

Aantal regenwormen	Begingewicht	na 1 min.	na 2 min.	na 3 min.
0	1583	1586	1542	1511
13	1583	1597	1565	1540
26	1583	1598	1577	1550
39	1584	1602	1578	1549
F-probability	n.s.	0,041	0,003	0,001
Lsd ($\alpha = 0,05$)	2	10	15	13

n.s. = niet significant verschillend

2.11.3 Kluitvorming van de grond (droge procedure)

Grond met regenwormen gaf een betrouwbaar hoger percentage kluiten groter dan 40 mm in vergelijking met grond zonder regenwormen (tabel 5). Er was eveneens een effect van 26 ten opzichte van 13 regenwormen in percentage kluiten groter dan 40 mm. Grond zonder regenwormen had een betrouwbaar hoger percentage gronddelen in de klassen 20 – 10 en 10 – 5 mm in vergelijking met 13 regenwormen. Grond met 26 regenwormen had een betrouwbaar lager percentage gronddelen in de klasse van 20 – 10 mm ten opzichte van grond met 13 regenwormen. In de klasse 5 – 2 mm gaven 13, 26 en 39 regenwormen een betrouwbaar verschil in vergelijking met grond zonder regenwormen.

Tabel 5. **Kluitverdeling (%) in zes klassen bij toepassing van vier concentraties regenwormen.**

Aantal regenwormen	Kluitverdeling (mm)					
	> 40	40 – 20	20 – 10	10 - 5	5 – 2	< 2
0	25	16	17	23	15	6
13	40	19	13	13	9	5
26	56	16	9	8	8	3
39	58	16	8	7	7	3
F-probability	< 0,001	n.s.	0,001	< 0,001	0,041	n.s.
Lsd ($\alpha = 0,05$)	10	6	3	6	5	3

Het inzakken van de klei in emmers bij toenemende concentratie regenwormen resulteert in een compactere samenstelling. Door de activiteit van regenwormen worden de poriën tussen de kleideeltjes kleiner, terwijl het aantal grote poriën in de vorm van gangen en holtes toeneemt. In de praktijk is dit van minder belang, aangezien bij de in vitro proef rulle grond is gebruikt. Grond waar geen regenwormen in voorkomen geven een rulle bodem en lijkt op de structuur die oorspronkelijk werd ingezet. In de emmers met toenemende aantallen regenwormen neemt de kleverigheid toe. Dit komt tot uiting na het legen van de

emmers; een toenemend gewicht aan klei blijft kleven in de emmer bij toenemende aantallen regenwormen. De onderlinge samenhang tussen de gronddeeltjes is sterk, evenals de adhesie, aanklevingskracht aan het plastic oppervlak van de emmers met regenwormen. Versmearing is sterk afhankelijk van het vochtgehalte. Zwaardere kleigronden hebben een uiterst smal vochttraject waarin ze goed verkruijmelbaar zijn. Zijn ze natter, dan leidt bewerking tot vervloeien of versmearing, zijn ze droger dan vormen zich bij bewerking kluiten. De natte en droge methodieken geven aan dat de grond bij toenemende aantallen regenwormen meer kleeft en tot grotere kluiten leidt. Aan de grond zijn periodiek gelijke hoeveelheden water toegediend, maar tussen de verschillende concentraties regenwormen is geen verschil in vocht aangetoond. Dit onderzoek geeft aan dat bepaalde endogene regenwormen door hun activiteit gronddelen aan elkaar kunnen smeren en grote (luchtige) kluiten kunnen veroorzaken.

3 Factoren die aanwezigheid en aantallen regenwormen bepalen

Regenwormen variëren sterk in ruimte en plaats waarbij minder dan 10 individuen en onder gunstige omstandigheden meer dan 1000 individuen per vierkante meter in de grond voor kunnen komen. Diversiteit en aantallen zijn afhankelijk van het type habitat waar de regenwormen zich bevinden.

3.1 Klimaat

Soorten voorkomend in een koel, gematigd klimaat hebben een optimale temperatuur tussen de 10° en 20°C. Vocht is de belangrijkste parameter voor variatie in aantallen regenwormen, in gematigde klimaten hebben regenwormen meer problemen met vocht-stress. In het algemeen zijn regenwormen het meest actief bij een vochtspanning welke de veldcapaciteit benaderd (\cong 10 kPa).

Naarmate meer water aan kleigrond afkomstig uit de Flevopolder (30,4 % lutum en 4,1 % organische stof) wordt toegediend, naarmate meer kluiten groter dan 40 mm worden geconstateerd (tabel 6). Dit is betrouwbaar wanneer een bepaald aantal regenwormen in de klei aanwezig is.

Tabel 6. **Kluitverdeling (%) in zes klassen van een kleigrond met en zonder regenwormen en waaraan drie verschillende concentraties water twee maal zijn toegediend.**

Factoren	Diameter kluiten (mm)					
	< 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	> 40
0 regenwormen en 2 x 300 ml water	37	37	17	5	2	1
0 regenwormen en 2 x 400 ml water	33	36	18	6	4	3
0 regenwormen en 2 x 500 ml water	31	35	18	7	4	6
40* regenwormen en 2 x 300 ml water	19	21	15	13	13	18
40* regenwormen en 2 x 400 ml water	15	17	13	14	14	26
40* regenwormen en 2 x 500 ml water	11	14	12	12	15	37
F-probability	n.s.	0,031	0,003	<0,001	n.s.	0,003
Lsd ($\alpha = 0,05$)	3	2	2	1	2	5

* 25 *Aporrectodea caliginosa*, 2 *Aporrectodea rosea*, 2 *Allolobophora chlorotica* en 11 juveniele regenwormen.

3.2 Bodem

A. caliginosa, *Aporrectodea longa*, *A. rosea*, and *Lumbricus terrestris* vertonen een positieve relatie in gronden met een hoog kleigehalte. De meeste regenwormen in het gematigd klimaat worden gevonden in gronden met een pH tussen de 5,0 en 7,4, echter verschillen zijn groot tussen verschillende soorten. Calcium, magnesium en stikstof zijn eveneens gecorreleerd met regenwormen terwijl hoge zoutconcentraties een reducerende invloed hebben. C:N-ratios lager dan 20 zijn gunstig voor regenwormen waar C:N-ratios hoger dan 60 ongunstig zijn. Organisch bodemmateriaal kan soms een goede indicator zijn voor aanwezigheid en populatieaantallen van regenwormen.

Percelen met een hogere afslibbaarheid zijn gevoeliger voor de betreffende structuurproblemen dan de lichtere gronden. Uitzonderingen zijn echter door telers gemeld, waarbij meestal geen duidelijke correlatie met regenwormen kon worden vastgesteld. Op zandgronden komen over het algemeen lagere aantallen regenwormen voor, aangezien deze gronden gevoeliger zijn voor uitdroging. Kleigrond met een afslibbaarheid van 45 % gemengd met 10 % zand heeft geen effect op de kluitgrootte bij aanwezigheid regenwormen, maar menging met 40 % zand gaf 69 % minder kluiten groter dan 4 cm ten opzichte van onbehandelde kleigrond.

3.3 Voedsel

Populaties regenwormen worden vaak groter naar aanleiding van organische verbeteringen. Dit is vooral opvallend in verstoorde habitats met een laag organisch materiaal gehalte, maar komt ook voor in reeds gunstige milieu's zoals permanent grasland gevolgd door toepassing van hoog kwalitatief organisch materiaal zoals dierlijke mest. In afwezigheid van andere factoren die groei van populaties regenwormen negatief beïnvloeden kunnen de populaties aanzienlijk toenemen onder voedselrijkere condities.

3.4 Grondbewerking

Mortaliteit door grondbewerking bij regenwormen hangt af van de intensiviteit en frequentie van de bodemverstoring. Ploegen heeft geen ernstige gevolgen. Rotorkoepgen heeft veel grotere gevolgen ten opzichte van de regenwormpopulatie. Populaties kunnen echter vrij snel herstellen als de verstoring niet wordt herhaald. Endogeïsche soorten, zoals *A. chlorotica* en *A. caliginosa* zijn minder gevoelig en kunnen zelfs voordelen hebben bij ploegen omdat gewassen worden ondergewerkt.

Veldonderzoek op het PPO-AGV wees uit dat 3 tot 4 maal de grond bewerken met een vaste tand cultivator (15 tot 20 cm diep en 1 rijrichting) onder drogende weersomstandigheden regenwormpopulatie met 34 procent reduceert. Echter, onder natte en koelere omstandigheden heeft deze grondbewerking geen enkel effect.

3.5 Pesticiden

Meerdere bestrijdingsmiddelen zijn bekend als toxisch tot zeer toxisch voor regenwormen. Fumigantia zoals DD en methylbromide zijn zeer toxisch. Carbamaten zijn zeer toxisch, evenals benomyl en andere gerelateerde fungiciden. Het is niet waarschijnlijk dat een enkele toepassing van zelfs de zwaarste toxiden serieuze consequenties heeft ten opzichte van de omvang van regenwormen, maar de mortaliteit zal veel hoger zijn bij herhaalde toepassingen.

3.6 Landbouwcompost

Toepassing van organisch materiaal wordt over het algemeen gerelateerd aan een verbeterende bodemstructuur. Daarnaast kan organisch materiaal een gunstig klimaat scheppen voor regenwormen. Landbouwcompost is een bulkproduct met 70 % takafval en 30 % GFT. Toepassing van een hoge dosering (10 % komt overeen met 175 ton / ha) landbouwcompost aan een kleigrond gaf bij de aanwezigheid van regenwormen 70 % minder kluiten groter dan 4 cm dan in een vergelijkbare situatie zonder landbouwcompost (tabel 7). Deze dosering landbouwcompost had eveneens een neveneffect op de levensvatbaarheid van het uitkomen van cocons of pas uitgekomen regenwormen, er werden 85 % minder pas uitgekomen juveniele regenwormen aangetroffen in de behandeling met landbouwcompost. Een mogelijke oorzaak is het relatief hoge zoutgehalte dat in landbouwcompost voor kan komen.

Tabel 7. **Kluitverdeling (%) in zes klassen van een kleigrond met en zonder regenwormen waaraan landbouwcompost is toegediend.**

Factoren	Diameter kluiten (mm)					
	< 2	2 – 5	5 - 10	10 – 20	20 – 40	> 40
0 regenwormen en 0 % compost	27	36	18	7	4	5
0 regenwormen en 10 % compost	38	36	17	5	2	1
40 regenwormen en 0 % compost	8	11	10	13	16	42
40 regenwormen en 10 % compost	22	24	16	13	12	13
F-probability	0,008	< 0,001	< 0,001	0,002	n.s.	< 0,001
Lsd ($\alpha = 0,05$)	3	2	1	1	2	4

3.7 Gebluste kalk

De bodem in de Flevopolder is kalkrijk, gegeven de hoge aantallen schelpen en de basische pH die worden aangetroffen. Toch is in 2001 het idee ontstaan dat de hoeveelheid vrije opneembare kalk veel lager is. Hiermee zou het adsorptie-complex van de klei-humus bezetting onderbezet zijn met calcium-ionen. Kalkaanvoer kan de bezetting weer volledig maken. In vitro onderzoek met kleigrond waaraan regenwormen waren toegediend wees in 2000 uit dat Dolokal 2000 kg / ha nauwelijks effect had op een visuele verbetering van de structuur en gemeten kleverigheid, maar het aantal kluiten groter dan 4 cm was 26 % lager dan onbehandelde kleigrond. In een hierop volgende veldproef bij een zelfde dosering en een in vitro onderzoek in 2001 (tabel 8) met 3830 en 7660 kg / ha werd geen effect geconstateerd van Dolokal. Gips gaf in een dosering van 5625 kg / ha 32 % minder kluiten groter dan 4 cm dan in een situatie zonder gips (in vitro onderzoek).

Tabel 8. **Kluitverdeling (%) in zes klassen van een kleigrond met en zonder regenwormen.**

Behandeling	CaO dosis	% CaO	Dosering (kg/ha)	Gewichtspercentage kluiten verdeeld in 6 klassen (mm)					
				>40	40-20	20-10	10-5	5-2	<2
Onbehandeld (- worm)	0	0	0	2	5	14	33	29	17
Onbehandeld (+ worm)	0	0	0	23	21	22	16	12	6
Dolokal	1800	47	3830	19	21	22	18	13	6
Dolokal	3600	47	7660	22	20	22	17	13	6
Supervical	1800	85	2118	18	22	20	18	15	7
Supervical	3600	85	4235	15	22	24	18	14	7
Brandkalk poeder	1800	80	2250	21	23	21	17	13	6
Brandkalk poeder	3600	80	4500	11	20	25	20	16	8
Brandkalk granulaat	1800	60	3000	23	21	21	17	12	6
Brandkalk granulaat	3600	60	6000	25	22	21	16	11	5
Supercalco 90	1800	72	2500	20	20	23	17	13	6
Stalosan F	-	0	5000	8	13	30	27	17	8
Stalosan F + Dolokal	1800	0 + 47	5000 + 3830	8	15	29	24	16	8
F-probability				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Lsd ($\alpha = 0,05$)				6	4	3	3	2	2

3.8 Ongebluste kalk

Ongebluste kalken bezitten intrinsiek een hoger percentage calciumoxide (CaO). Brandkalk (60 % CaO en 25 % magnesium) in granulaatvorm gaf in een dosering van 3 ton / ha voor het aanfreezen van de aardappelruggen en in een in vitro proef (tabel 8) bij een dosering van 3 en 6 ton / ha geen effect. Supercalco 90 (72 % CaO) in een dosering van 2500 kg / ha had geen effect in de in vitro proef. Supervical (85 % CaO) in een dosering van 4,2 ton / ha en Brandkalk poeder (80 % CaO) in een dosering van 4,5 ton / ha resulteerde in vitro met kleigrond en regenwormen in betrouwbaar lagere percentages kluiten groter dan 4 cm van respectievelijk 35 en 52 procent. Mogelijk beïnvloeden deze producten de activiteit van regenwormen.

3.9 Stalosan F

Stalosan F is een product dat in de praktijk gebruikt wordt als ontsmettingsmiddel in o.a. stallen. Het product bestaat voor 86 % uit fosfaat en staat hierdoor niet bekend om zijn structuurverbeterende vermogen. In een veldproef (2001) werd Stalosan F drie maal in een dosering van 500 en 5000 kg / ha toegediend voor het poten, tijdens het poten in de pootgeul en voor het aanfrezen van de aardappelruggen. In totaal 15000 kg / ha reduceerde het percentage kluiten met 43 %. Deze dosering is echter fytotoxisch en hiermee onbruikbaar. De dosering van 1500 kg / ha had geen effect op het percentage kluiten. In vitro onderzoek (tabel 8) gaf aan dat 5000 kg / ha Stalosan F afzonderlijk en in combinatie met 3830 kg / ha Dolokal het percentage kluiten groter dan 4 cm met 65 % reduceerde.

3.10 Kalkstikstof

Kalkstikstof (werkzame stof cyaanamide) heeft in doseringen van 500 en 1000 kg / ha een toxisch effect dat resulteerde in respectievelijk 95 % en 100 % doding van de toegepaste regenwormen (in vitro onderzoek). Veldonderzoek heeft geen effect aangetoond.

3.11 Zout

Landbouwzout (minimaal 99,7 % natriumchloride) heeft zowel een repellent als een toxische effect op regenwormen. In vitro onderzoek van landbouwzout in een dosering van 2 en 4 ton / ha resulteerde in respectievelijk 85 en 100 % mortaliteit. Periodiek 3 maal toepassen van 500 kg / ha landbouwzout voor het poten van aardappelen had na 3,5 maanden geen effect op de regenwormpopulatie, maar wel een fytotoxisch effect op de aardappelplant. Bij toepassing van landbouwzout in een dosering tussen de 1000 en 2000 kg / ha enkele weken voor de oogst werd de regenwormpopulatie nauwelijks gereduceerd, maar werd een repellent effect geconstateerd. Zout voor de oogst toegepast geeft afsterving van het gewas en afhankelijk van de hoeveelheid en het tijdstip een lagere opbrengst.

3.12 Schuimaarde

Een dosering van 60 ton/ha schuimaarde (Betacal) resulteerde in een sterk toxisch effect op regenwormen, 15 en 30 ton / ha had geen effect (in vitro onderzoek). Het probleem is nochtans de hoge dosering dat een effect heeft. Betacal schuimaarde wordt vóór de teelt van bieten toegepast in een dosering van 10 - 15 ton per hectare. Dit is afhankelijk van de zuurbindende waarde. De dodende werking van schuimaarde wordt echter toegekend aan de component saponine. Het gehalte aan saponine varieert in verschillende partijen schuimaarde. Schuimaarde wordt ook toegepast in wintergranen (in het voorjaar tijdens de teelt). Betacal heeft hygroscopische eigenschappen met als gevolg dat het kleverig is en plakt aan machines. In de praktijk had 60 ton / ha schuimaarde geen effect op het percentage grote kluiten.

3.13 Inundatie

In het najaar van 1998 stonden enkele percelen gedeeltelijk onder water en de rest van de percelen was verzadigd. In dit perspectief is het object inundatie in het experiment meegenomen, maar resulteerde niet in een significant toenemend aantal dode regenwormen. Veel soorten regenwormen overleven lange perioden onder water. Aangezien het huidige experiment een extreme uitvoering is (afgesloten bakjes volledig gevuld met water) t.o.v. van regenval eind 1998 zal afname van het aantal regenwormen nihil zijn.

3.14 Andere regenwormen

Toepassing van andere regenwormen als concurrent in ecologische zin zoals *Dendrobaena veneta* gaf in combinatie met *Aporrectodea caliginosa* geen verbetering van de structuur. *D. veneta* wordt gekweekt als aas voor sportvissers en wordt in combinatie met compost in de tuinbouw toegepast om de bodemstructuur te verbeteren.

3.15 Predatie, ziekte en parasitisme

Mollen, spitsmuizen, dassen, vossen en bepaalde vogels voeden zich voor een groot gedeelte met regenwormen. Vraat door mollen zijn gevonden tussen 18 en 36 kg per mol per jaar in Engeland, 50 tot 100 % van hun dieet bestond uit regenwormen. Enkele regenwormen etende invertebraten zijn centipedes (Chilopoda) en loopkevers (Carabidae). Een hoge variëteit aan parasitaire en pathogenetische organismen zijn geregistreerd; bacteriën, schimmels, protozoën, rotiferen, platyhelminths, nematoden, mijten en insecten larven.

4 Discussie

In het algemeen hebben regenwormen een nuttig effect op de bodemstructuur, maar endogeïsche regenwormen kunnen de structuur van kleigronden onder natte omstandigheden negatief beïnvloeden. Onder natte weersomstandigheden worden in de Flevopolder in de aardappelruggen tijdens de oogst hoge aantallen regenwormen aangetroffen. Dit resulteert in een moeizamere oogst. Hoge aantallen regenwormen worden aangetroffen op plekken die gekenmerkt worden als een slechte bodemstructuur. Opvallend is de hoge hoeveelheid regenwormen aangetroffen op locatie M op een plek die duidelijk gekarakteriseerd is met de aanwezigheid van kluiten. De aantallen regenwormen zijn gerelateerd aan de mate van structuurproblemen. In vitro onderzoek met verschillende aantallen regenwormen geeft weer dat de endogeïsche soort *Aporrectodea caliginosa* de structuur van de kleigrond negatief verandert. De zeer typische problemen met het rooien van complete aardappelruggen wordt gewijd aan de activiteit van regenwormen, maar mogelijk biedt de grond door een andere oorzaak te weinig weerstand tegen deze activiteit. De typische wormenkluiten zijn zeer goed te onderscheiden van structuurkluiten, die voorafgaand aan de jaren '90 reeds voorkwamen.

De problemen beperken zich voornamelijk tot de Flevopolders. Vanuit de Noordoostpolder, Haarlemmermeer, Wieringermeer en de Beemster zijn ook problemen gemeld, maar het is onbekend of regenwormen daar de oorzaak zijn. Mogelijk is het bodemtype of het moment van het droogmaken de oorzaak dat structuurproblemen veroorzaakt door regenwormen in de Flevopolders tot uiting komt. Binnen Nederland zijn verschillen in bodemtype aanwezig tussen de verschillende polders. De textuur wordt in de Flevopolders over het algemeen gekenmerkt door een hoger lutum-gehalte en silt-gehalte met een hoge pH ten opzichte van de andere polders. De soorten regenwormen die gevonden zijn (*A. caliginosa* en *A. rosea*) op de vijf percelen ontwikkelen zich goed in dit soort gronden, positieve correlaties zijn geconstateerd tussen aantallen en lutum-gehalte. Incidenteel worden in de Flevopolder problemen waargenomen op de lichtere gronden (bv. 20 - 30 % afslibbaarheid). Hier worden ook regenwormen aangetroffen. De oorzaak in dit geval kan zijn dat het hier om percelen gaat die slempgevoeliger zijn. Slempgevoeligheid van lichtere gronden is de oorzaak dat na veel regen de grond dichtslaat (jong gewas krijgt luchtgebrek). Dit verschijnsel wordt mede bepaald door ontwateringsdiepte, kalktoestand, organische-stofgehalte en fijnheid van het zand. De aanwezigheid van regenwormen op deze percelen en hiermee de link met structuurproblemen is waarschijnlijk niet terecht.

In Oostelijk Flevoland verschenen de problemen eerst, waarschijnlijk doordat dit gebied eerder ingepolderd (1957) is dan Zuidelijk Flevoland (1968). In droogmakerijen komen in het begin geen regenwormen voor, maar worden na verloop van tijd gekoloniseerd. In de Noordoostpolder heeft kolonisatie van regenwormen voornamelijk plaatsgevonden door passief transport (invoer van grond, aanhangende grond aan banden, machines e.d.). Binnen een perceel kunnen regenwormen en cocons via passief transport zich snel verspreiden. In de Flevopolders worden veel problemen waargenomen tegen het erf aan. Waterstromen (tochten), vogels en andere dieren hebben eveneens de potentie om regenwormen te verplaatsen. Op grasland worden hogere aantallen regenwormen aangetroffen dan op akkerbouwpercelen. Na meerjarig grasland komen bij de oogst van aardappelen problemen voor op het gehele perceel, in tegenstelling tot kleigronden met een akkerbouwrotatie. Op grasland vinden geen destructieve machinale activiteiten plaats waardoor hier een rustige opbouw plaats kan vinden, dit in tegenstelling tot akkerbouwgronden waar kleine populaties gevoelig zijn voor grondbewerkingen die meerdere keren per jaar plaatsvinden. Met name bij ongunstige weersomstandigheden. Grondbewerking is eveneens een mogelijke oorzaak waarom het de laatste jaren een (zichtbaar) probleem is geworden in de Flevopolder ten opzichte van eerder ingepolderde gebieden. Dit gaat dan met name om de intensiviteit van bewerkingen en de methode van bewerking met verschillende werktuigen. De laatste decennia is het materieel dermate ontwikkeld dat kleigrond zeer goed wordt verkruid. Kleigrond wordt als het ware gemalen waardoor de klei zijn oorspronkelijke stabiliteit verliest. De breukvlakken zijn niet natuurlijk. Hierdoor wordt een dergelijke grond gevoeliger voor structuurproblemen en dit komt dan weer met name tot uiting in natte jaren (dispersie). Het bouwplan heeft wat dit betreft een grote invloed op de structuur van de bodem. Na langjarig onderzoek op De Schreef in

Dronten bleek dat intensivering met een groot aandeel rooivruchten in het areaal leidt tot een merkbare teruggang van de actuele en visuele structuur. Dit in samenhang met kolonisatie, toevoeging organische stof in de vorm van drijfmest en onderwerken groenbemesters kunnen de oorzaak zijn van hoge aantallen regenwormen wat leidt tot structuurproblemen.

Op fysisch niveau is het structuurprobleem te verklaren, aggregaten kunnen stabiel of instabiel zijn. Instabiel geeft aan dat na een bepaalde gebeurtenis (bv. neerslag) grond in elkaar kan gaan vervloeien. Stabiele aggregaten zullen bij dergelijke processen aggregaat blijven of in enkele stukken uiteenvallen. Er blijft een bepaalde mate van binding bestaan binnen de diverse delen. Casts (uitwerpselen van regenwormen) werden over het algemeen beschouwd als stabiele bodemdelen. De laatste jaren wordt echter aan de algemeenheid hiervan getwijfeld. Verse casts zijn zeer instabiel. Wanneer een cast geen kans krijgt om op te drogen zal het vervloeien. Droogte en neerslag hebben hierdoor invloed op het al dan niet verkrijgen van stabielere bodemdeeltjes. Het aantal casts is afhankelijk van het aantal aanwezige regenwormen. In vitro onderzoek gaf een dichtheidsafhankelijke relatie aan tussen aantallen regenwormen en de mate van de structuurproblemen.

In vitro onderzoek op het PPO-AGV resulteerde in perspectiefvolle resultaten om de structuurprobleem te voorkomen. Maar hierop volgend veldonderzoek gaf niet de gewenste resultaten. Droge weersomstandigheden in 1999 hebben er voor gezorgd dat de regenwormen niet actief zijn geweest in de aardappelruggen. In 2000 viel (te) veel regen voorafgaand aan de oogst, de aardappelruggen bleven nat en de typische symptomen bij droogte werden niet bereikt. Een uiteindelijke beoordeling van de structuur middels genomen grondmonsters uit natte aardappelruggen gaf geen enkel effect van de behandelingen, terwijl de regenwormen extreem actief waren geweest. In 2001 werden betrouwbaar meer grote kluiten gemeten bij een behandeling met Stalosan F in het veld, het enige product die in in vitro onderzoek het effect benaderde van een situatie met klei zonder regenwormen.

Voor de teelt van aardappelen op de zwaardere zavel- en kleigronden waar problemen zijn te verwachten wordt geadviseerd om vroege aardappelen te verbouwen of vroeg te rooien. De problemen met het rooien nemen toe naarmate later wordt geoogst en naarmate meer neerslag is gevallen. Op percelen waar langdurig grasland heeft gestaan zijn meer problemen te verwachten dan op percelen met een akkerbouwrotatie. Gronden met een hogere afslibbaarheid zijn gevoeliger voor problemen. Diepwoelen is een optie om dit specifieke probleem te verhelpen. Grondbewerking onder warme en droge weersomstandigheden heeft een negatief effect op regenwormen waarbij de populatie met 10-tallen procenten wordt gereduceerd. Een deel van de populatie ontsnapt door zich dieper in de grond te verplaatsen of gaan in een rustfase waarbij ze zich oprollen in een goed afgesloten en redelijk veilige ruimte.