

Liever regenwormen dan panda's in Gelderland

Demonstratieproject voor het belang van regenwormen in de landbouw:

Rapportage regenwormenonderzoek

Uitgevoerd in het kader van het programma Bodem en Ondergrond, prov. Gelderland

Ron de Goede en Tamás Salánki

Bodembiologiegroep, Wageningen University & Research



Colofon

De Goede, R.G.M., T. Salánki (2020) Liever regenwormen dan panda's in Gelderland: Demonstratieproject voor het belang van regenwormen in de landbouw - Rapportage regenwormenonderzoek. Soil Biology Group, Wageningen University & Research.

Auteurs: Ron de Goede
Tamás Salánki

Foto's: Ron de Goede (tenzij anders vermeld)
Tamás Salánki (grasknipsels)
Google Earth (satellietbeelden)

Alle rechten voorbehouden. Gebruik van data alleen toegestaan na voorafgaande toestemming van de auteurs.

Het wetenschappelijk onderzoek binnen het project 'Liever regenwormen dan panda's in Gelderland' werd gefinancierd uit het programma Bodem en Ondergrond van de provincie Gelderland en is bekend onder zaaknummer 2017-007047.

Contents

1 Algemene inleiding	5
2 Stimuleren van regenwormen op een melkveehouderijbedrijf	6
2.1 Inleiding	6
1.2.1 Onderzoeksstrategie	6
1.2.2 Selectie proefvelden	7
1.2.3 Onderzoeksvragen en hypothesen	7
2.2 Onderzoeksmethodiek	9
2.2.1 Regenwormen	9
2.2.2 Bodemchemische en -fysische metingen	12
2.3 Resultaten	14
3.2.1 Regenwormaantallen en diversiteit	14
3.2.2 Regenwormenvraatactiviteit	17
3.2.3 Bodemeigenschappen	22
2.4 Discussie	24
2.5 Conclusies	25
3 Regenwormpopulaties na herstel van weiland	26
3.1 Inleiding	26
1.3.1 Onderzoeksvragen en hypothesen	26
3.2 Onderzoeksmethodiek	26
2.3.1 Onderzoeksubjecten	26
2.3.2 Regenwormen	27
2.3.3 Bodemchemische en -fysische metingen	27
3.3 Resultaten	28
3.4 Discussie	29
3.5 Conclusies	30
4 Stimuleren van regenwormen in de vollegrondse tuinbouw	31
4.1 Inleiding	31
4.2 Onderzoeksvragen en hypothesen	31
4.3 Onderzoeksmethodiek	31
3.4.1 Veldonderzoek op zelfoogst-groentekwekerij de Nieuwe Ronde	33
3.4.2 Veldonderzoek op Wageningen campus	34
3.4.3 Potonderzoek	35

4.4 Resultaten.....	37
4.4.1 Waarnemingen op zelfoogst-groentekwekerij De Nieuwe Ronde.....	37
4.4.2 Effecten van gewasresten op regenwormen	40
4.4.3 Effect van regenwormen op gewasresten en bodem	42
4.5 Discussie	46
4.6 Conclusies.....	48
5 Regenwormen als inspiratiebron voor een les over bodemgezondheid	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Opbouw van de les	49
2.5.1 Theorie.....	49
2.5.2 Praktijk.....	52
6 Samenvatting.....	53
7 Dankwoord	54
8 Literatuur	55

1 Algemene inleiding

De onderzoeksactiviteiten in het kader van het demonstratieproject voor het belang van regenwormen is uitgevoerd binnen een aantal uiteenlopende toepassingsvelden. Allereerst is er onderzoek gedaan ter ondersteuning van het regenwormvriendelijk graslandbeheer op een biologisch melkveehouderijbedrijf annex kaasmakerij. Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om regenwormen te stimuleren en te benutten op een biologische zelfoogst-groentekwekerij. Op een biologische geiten- en kaasboerderij werd verkennend onderzoek verricht naar de gevolgen van graslandherstel voor de lokale regenwormpopulaties na een extreme periode van droogte. Tenslotte is er een theorie- en praktijkles over de biologie en het belang van regenwormen ontwikkeld en gegeven aan scholieren van een middelbare school. De resultaten van deze activiteiten staan beschreven in de hoofdstukken 2 tot en met 5.

2 Stimuleren van regenwormen op een melkveehouderijbedrijf

Ron de Goede & Tamás Salánki

2.1 Inleiding

De boerderij Remeker – De Groote Voort wordt als sinds ongeveer 1650 beheerd door de familie Van der Voort. In 1991 werd het bedrijf officieel biologisch. Jan Dirk van der Voort is niet alleen gefascineerd door zijn Jersey koeien en de kaas die hij en zijn medewerkers maken van de melk, maar is ook in hoge mate gefascineerd door bodem en dan met name het bodemleven. Zo zeer zelfs dat hij een speciaal voerprogramma heeft ontwikkeld voor de regenwormen in zijn beweidde graslanden. Tijdens het groeiseizoen van het gras wordt een paar dagen vóórdat de koeien de wei in mogen het gras gemaaid met een speciaal daarvoor aangeschafte maaimachine door alleen de bovenste topjes van het gras af te knippen en op de bodem te laten vallen (Foto 2.1). Vervolgens krijgen de regenwormen een paar dagen de tijd om de grasknipsels te consumeren en de grond in te werken, waarna de koeien de wei in mogen om de rest van het gras begrazen. ‘Knippen’ is eigenlijk niet de juiste omschrijving van het maaibeheer, de term ‘bloten’ past beter. Door het gras te bloten herstelt het sneller en groeit het vervolgens beter uit. Dit beheer wordt al ruim 9 jaar toegepast op een aantal percelen en lijkt goede resultaten te geven. In latere jaren is het beheer ook gestart op andere percelen. In de winterperiode verdwijnt op deze percelen bijvoorbeeld de strorijke vaste mest razendsnel de bodem in. Bovendien lijkt het erop dat de wormen in staat zijn om dieper de grond in te graven hetgeen de bodemstructuur kan verbeteren en een nog betere verdeling van organische stof geeft in het bodemprofiel. Dit kan bovendien bijdragen aan een betere waterhuishouding in deze graslandbodems. Het doel van het onderzoek is om via een reeks van onderzoekjes ondersteunend bewijs te verzamelen over de effectiviteit van deze unieke vorm van het stimuleren van regenwormen.



Foto 2.1. Maaimachine die wordt gebruikt voor het produceren van de grasknipsels die als voedsel dienen voor de regenwormen.

1.2.1 Onderzoeksstrategie

Het wormenstimuleringsbeheer wordt uitgevoerd op een aantal percelen die verspreid liggen over het bedrijf. Er is geen sprake van een wetenschappelijke steekproef van percelen waarop het beheer in meervoud wordt uitgetest, maar er was beschikking over een beperkt aantal percelen dat op verschillende tijdstippen in het beheer is opgenomen en onderdeel is van de begrazingsrotatie op het bedrijf. Door het ontbreken van willekeurig verspreid liggende herhalingen is het onmogelijk om hard wetenschappelijk bewijs te leveren. De veronderstelling is echter dat de chronosequentie gebruikt kan worden om de effecten van het regenwormenbeheer in de tijd te kunnen demonstreren.

Bovendien is er geprobeerd zo veel mogelijk waarnemingen van verschillende aard te verzamelen die samen de effectiviteit van het regenwormenbeheer zouden kunnen ondersteunen.

1.2.2 Selectie proefvelden

Voor het huidige onderzoek zijn een drietal percelen geselecteerd waarop het regenwormenbeheer al bijna 10 jaar, minder dan 5 jaar en niet op wordt toegepast (foto 2.2).

- Het perceel (P9, 3.2 ha) waarop het beheer al bijna 10 jaar werd toegepast ligt direct achter de boerderij en het regenwormenbeheer is gestart in 2008. Het betreft een oud grasland perceel dat is ingezaaid in 1992. Het heeft een grondwaterstand van circa 90 cm (foto 2.2 en 2.3 rechter kolom).
- Het perceel (P3, 1.9 ha) waarop het beheer recent (2015) werd gestart ligt circa 400m ten zuiden van de boerderij. Het werd in 2015 gescheurd en opnieuw ingezaaid. De grondwaterstand is circa 60 cm (foto 2.2 en 2.3 middelste kolom).
- Het derde perceel (P0, 3.0 ha) is in gebruik als hooiland, ligt circa 1km ten zuidoosten van de boerderij en kent geen regenwormenbeheer. Het is in 2011 opnieuw ingezaaid en heeft een grondwaterstand circa 60 cm (foto 2.2 en 2.3 linker kolom).

1.2.3 Onderzoeksvragen en hypothesen

De hoofdvraag van het onderzoek is om vast te stellen of het regenwormvriendelijk-graslandbeheer inderdaad een positief effect heeft op de regenwormpopulaties en of dit resulteert in een verbeterde bodemstructuur en organische stofgehalte.

De verwachting is dat bij langdurig regenwormvriendelijk-graslandbeheer hogere aantallen en zwaardere regenwormen zullen voorkomen. Dit zal vooral het geval zijn voor soorten die hun voedsel aan het bodemoppervlak verzamelen (strooiseleTERS en pendelaars), maar uiteindelijk zullen ook de zogenaamde grondeters profiteren. Hogere dichtheden aan strooiseleTERS en pendelaars zullen resulteren in een sneller verdwijnen van de via het grasmaai-beheer bovengronds aangeboden gras-knipsels. Het regenwormvriendelijk graslandbeheer zal leiden tot hogere organische stofgehalten in de bodem, mogelijk tot grotere bodemdiepte door de verhoogde activiteit van de pendelaars. Dit zal leiden tot een hogere activiteit van het bodemleven, tenminste in het bovenste deel van de bodem. De stimulering van de regenwormpopulaties zal ook resulteren in een betere bodemstructuur die zichtbaar zal zijn in een relatief lage bodemdichtheid en indringingweerstand.



Foto 2.2. Luchtfoto's van de omgeving van De Groote Voort in 2005, 2017, 2018 en 2019. De onderzoekpercelen (P0, P3, P9) zijn gemarkeerd in het beeld van 2005. De pijl in 2019 wijst in de richting van het noorden. Perceel P9 ligt direct achter de boerderij.



Foto 2.3. Luchtfoto's van de onderzoekpercelen (P0, P3, P9) van De Groote Voort in eind april 2017 en eind juli 2018 en 2019. De pijlen wijzen in de richting van het noorden.

2.2 Onderzoeksmethodiek

2.2.1 Regenwormen

2.2.1.a Aantallen, biomassa en soortenrijkdom

Motivatie: Het beheer is gericht op het stimuleren van de regenwormpopulaties. Middels het onderzoek moeten de aantallen, het gewicht en de soortensamenstelling worden vastgesteld. Onderzoek naar de soortensamenstelling is vooral gericht op het vaststellen van de aanwezigheid van verschillende functionele groepen, namelijk strooiseleTERS, grondeters en pendelaars.

Plan van aanpak: De percelen werden onderzocht op 3 mei 2018 en op 14 juni, 6 september en 12 november in 2019. Op elk perceel werden 4 (3-5-2018, 14-6-2019, 12-11-2019) of 3 (6-9-2019) bodemonsters (20 x 20 x 20 cm³) onderzocht op regenwormen. De regenwormen werden ter plekke handmatig uitgezocht en verzameld voor verdere analyse in het laboratorium. Elk monster-gat werd 1-2 liter 0.01% AITC gegoten om eventueel aanwezige pendelaars te prikkelen om naar het bodemoppervlak te komen en te verzamelen.

In het laboratorium werden de wormen 24 uur bij 15 graden Celsius bewaard om hun darm te kunnen legen, waarna het versgewicht van alle samen wormen per monster werd bepaald. Vervolgens werden de wormen bewaard in 70% alcohol en gedetermineerd tot op soort (adulten: Sims and Gerard (1985), juvenielen: Stöp-Bowitz (1969)).

2.2.1.b Bodembioologische activiteit

Verdwijnsnelheid van grasknipsels

Motivatie: Het idee achter het maaibeheer is dat het gras wordt gemaaid speciaal ten behoeve van de voedselvoorziening van de aan het oppervlak foeragerende regenwormen. Het is dus zaak om vast te stellen of de aangeboden grasknipsels worden geconsumeerd door de wormen.

Plan van aanpak: De consumptie van grasknipsels door regenwormen is gemeten door de biomassa aan grasknipsels te meten direct na het maaien en enkele dagen later. De afname van het gewicht aan grasknipsels zou een indicatie moeten zijn voor de consumptie door regenwormen.

Aangezien er in het hooiland (P0) geen maaibeheer werd toegepast is hier gekozen voor een alternatieve strategie. In een van de maaibeheerpercelen (P3, P9) werden van een bekend oppervlak direct na het maaien alle grasknipsels verzameld en overgebracht naar eenzelfde oppervlak in het hooiland. Voordat de grasknipsels vanuit P3 of P9 werden uitgestrooid in P0, werd het oppervlak van de 55 x 55 cm² plotjes in P0 met de bladzuiger ontdaan van losse gewas- en mestresten. Deze 'proefveldjes' in het hooiland werden gemarkeerd en na een aantal dagen bezocht en onderzocht op overgebleven grasknipsels.

De consumptie van grasknipsels werd twee keer gemeten in maaibeheerpercelen (P3: 21-25 juni 2018 en 3-6 september 2019; P9: 27 juni-2 juli 2018 en 3-6 september 2019) en drie keer in het hooilandperceel (21-25 juni en 27 juni-2 juli 2018 en 3-6 september 2019). Op 21 juni 2018 ontving het hooilandperceel grasknipsels die waren verzameld in P3. Op 27 juni 2018 en 3 september 2019 ontving het hooilandperceel de grasknipsels van P9.

Bij aanvang van de proef werd in elk van de maaibeheerpercelen op 10 plekken twee oppervlakken van 55 x 55 cm² afgezet met een frame van PVC buizen. Met een omgekeerd werkende bladblazer (nu dus een bladzuiger; zie foto 2.4) werden alle losliggende plantenresten binnen het frame opgezogen en verzameld in een papieren zakje. Eén van deze zakjes werd meegenomen naar het laboratorium voor verder onderzoek. Het tweede zakje werd gebruikt om in het hooiland grasknipsels uit te strooien. Binnen 2 meter van het leeggezogen oppervlak werd een tweede 55 x 55 cm² plotje gemarkeerd dat werd gebruikt om een aantal dagen later te worden 'leeggezogen'.

De te transporteren grasknipsels werden direct overgebracht naar het hooiland waar ze binnen het frame van 55 x 55 cm² werden uitgestrooid. De hoekpunten van deze 55 x 55 cm² plotjes werden met stokjes gemarkeerd en opgeslagen in de gps.

Na een aantal dagen (21 juni 2018: 5 dagen; 27 juni 2018: 5 dagen; 3 september 2019: 3 dagen) werden de overgebleven plantenresten verzameld op bovenbeschreven wijze en meegenomen naar het laboratorium.



Foto 2.4. Apparaat dat werd gebruikt voor het verzamelen van grasknipsels. Het netje in de zuigmond vangt de grasknipsels op die binnen het pvc-frame van 55 x 55 cm² zijn opgezogen.

Bij aankomst in het laboratorium werden de plantenresten gedroogd bij 70 graden Celsius. Na het verwijderen van zandresten (twee op elkaar geplaatste zeven van 2 mm boven en 0.5 mm onder) werd het drooggewicht bepaald. Vergelijking van het gewicht aan plantenresten direct na het maaien met dat enige dagen daarna geeft een indruk van de biomassa-consumptie van aan het oppervlak

foeragerende regenwormen. Om een (visuele) indruk te krijgen van het aantal verdwenen gras-knipsels werden de verzamelde en gedroogde gewasresten van 27 juni (P9) en 2 juli 2018 (P9 en P0) uitgespreid op een oppervlak van 20 x 20 cm² en gefotografeerd.

Baitlaminastrips

Motivatie: Het op regenwormengerichte maaibeheer zou moeten leiden tot een stimulering van de regenwormpopulatie, zowel de omvang daarvan als de activiteit. Om de activiteit van de grotere bodemfauna (macrofauna) te meten is gebruik gemaakt van baitlaminastrips (Kratz 1998, Törne 1990). Dat zijn kunststof stripjes met daarin een rij kleine gaatjes die zijn gevuld met een voedselbron die aantrekkelijk is voor bodemdieren. Door de stripjes verticaal in de grond te duwen en te analyseren welke gaatjes na verloop van tijd zijn leeggegeten kan een indruk verkregen worden van de aanwezigheid en (vraat)activiteit van de bodemfauna op verschillende bodemdieptes.

Plan van aanpak: De baitlaminastrips zijn kunststof stripjes (lxbxd: 160 x 6 x 1 mm) waarin 16 gaatjes (diameter: 1 mm) zijn geperforeerd. De afstand tussen het middelpunt van de gaatjes is 5 mm, waardoor de 16 gaatjes samen een lengte van 75 mm van het stripje beslaan.

De bait lamina strips zijn gebruikt in juni (inzetdatum: 14-6-2019, uithaaldatum: 20-6-2019; incubatietijd: 6 dagen) en november (inzetdatum: 6-11-2019, uithaaldatum: 13-11-2019; incubatietijd: 7 dagen) 2019. In elk perceel werden op 4 plekken 8 strips ingegraven. De 8 strips (voorzien van een unieke code) werden in een bekende volgorde geplaatst in een vierkant van 20 x 20 cm², 4 op de hoekpunten en 4 halverwege de zijanten. Het bovenste gaatje bevond zich op circa 50 mm diepte en het onderste gaatje op 125 mm. Met een mes werd een sleufje gemaakt in de grond waarna de strip daarin werd geplaatst.

Na de incubatieperiode werden de strips verzameld en met 8 strips samen in een plastic zakje meegenomen naar het laboratorium. In het laboratorium werden de strips voorzichtig schoon-gemaakt en gefotografeerd, waarna de toestand van het aas in de gaatjes werd geanalyseerd. Gaatjes werden gescoord als dicht, halfopen, geheel open.

Van elke serie van 8 strips werd per diepte het percentage open gaatjes bepaald. Per veld werden gemiddelden bepaald.

Het kwam verschillende keren voor dat op de uithaal-dag een enkele strip volledig bovengronds werd aangetroffen. Mogelijk zijn die tijdens het begrazen door de koeien uit de grond getrokken, ondanks dat ze slechts circa 2.5 cm boven de grond uit staken. Deze strips zijn niet meegenomen in de analyses.

Bodemademhaling

Motivatie: De baitlaminastrips geven een impressie van de activiteit van vooral de grotere bodem-fauna. Aangezien verondersteld wordt dat het maaibeheer bijdraagt aan een stimulatie van de input aan gewasresten in de bodem, kan worden verwacht dat de microbiële gemeenschap (bacteriën, schimmels, archaea, etc.) ook worden gestimuleerd. Dat kan worden gemeten aan de hand van de bodemademhaling, d.w.z. de productie van CO₂ die vrijkomt bij de afbraak van organisch materiaal door microbiële activiteit.

Plan van aanpak: Ongeveer 80 gram verse grond werd exact afgewogen in een 200 ml pot en 6 dagen geïncubeerd bij kamertemperatuur. Daarna werd het potje hermetisch afgesloten en werd de CO₂-accumulatie (ppm sec⁻¹) in de bovenstaande lucht bepaald met een portable CO₂ sensor (Godirect, Vernier). Wanneer de CO₂-accumulatie constant was werd de richtingscoëfficiënt van de

lineaire toename gebruikt om de bodemrespiratie te kwantificeren. De grond werd verzameld op 13 november 2019 in de regenwormbemonsteringsgaten.

2.2.2 Bodemchemische en -fysische metingen

2.2.2.a Bodemorganische stof (inclusief plantenwortels)

Motivatie: organische stof is van essentieel belang voor vrijwel alle bodemprocessen en functies. Het is de energie- en voedselbron voor het bodemleven, het speelt een rol in de bodemwaterhuishouding, bodemstructuurvorming en opslag van koolstof in de bodem. Afgestorven bovengrondse plantenresten, grasknipsels en mest dragen bij aan de aanvoer van organisch materiaal in de bodem. Maar ook afgestorven wortels vormen een belangrijke bijdrage. De regenwormen, en dan met name de pendelaars, spelen een cruciale rol bij de verdeling van de bodemorganische stof over het bodemprofiel.

Bodemorganische stof

De bodemorganische stof werd bepaald bij aanvang van het project op 3 mei 2018, en aan het eind van het project op 13 november 2019. Op 3 mei 2018 werden bodemmonsters verzameld van 0-10, 10-20, 20-40 en 60-80 cm diepte. Ongeveer 20 gram verse grond werd exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius en weer gewogen. Daarna werd de grond verbrand bij 550°C en gewogen. Het organische-stofgehalte is gelijk aan het gewichtsverlies door verbranding.

Plantenwortels

Op 14 juni 2019 werd de grond uit het regenwormmonstergat na het verzamelen van de regenwormen gebruikt om handmatig, in het veld, de macroscopische graswortels te verzamelen. Deze werden in het laboratorium gewassen, gedroogd en gewogen.

2.2.2.b Bodemvochtgehalte

Motivatie: De vochtinhoud van de bodem is van belang voor de grasgroei, maar ook voor het voorkomen en de activiteit van veel bodemorganismen. Te droge of natte omstandigheden zijn ongunstig voor het bodemleven.

Plan van aanpak: Het bodemvochtgehalte is gemeten in het voorjaar van 2018 (3 mei 2018), en het najaar van 2019 (13 november 2019). Op 3 mei 2018 werd het vochtgehalte bepaald in de bulkdichtheidmonsters die werden gestoken op 7.5 en 15 cm diepte in de zijwand van het regenwormmonstergat (4 per perceel), en in een aparte reeks monsters die werd met een Edelmanboor werd naast het regenwormmonstergat werden verzameld voor 0-10, 10-20, 20-40 en 60-80 cm diepte. Op 13 november 2019 werd grond uit het regenwormmonstergat gebruikt voor de vochtbepaling.

In geval van de losse grond werd ongeveer 20 gram verse grond exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius. De gewichtsafname werd gebruikt om het vochtgehalte te bepalen. De bulkdichtheidsringen werden in hun geheel gewogen en gedroogd.

2.2.2.c pH

Motivatie: Regenwormen zijn gevoelig voor diverse bodemeigenschappen, waaronder het organisch stofgehalte (voedsel), het vochtgehalte (activiteit), de textuur (zand, klei, veen, etc.) en vooral ook de zuurgraad van de bodem. Doorgaans worden zure omstandigheden gemeden.

Plan van aanpak: De pH werd bepaald in de monsters die werden verzameld op 13 november 2019 voor de bepaling van het bodemvocht. De pH werd gemeten met een electrode in een grond – water suspensie van 5 gram verse grond met 25 ml demi water.

2.2.2.d Bulkdichtheid

Motivatie: Regenwormen dragen bij aan de vorming van bodemstructuur. Dat geldt met name voor de zogenaamde grondeters. De aanwezigheid van regenwormen zou moeten bijdrage aan een lagere bodemdichtheid, dat wil zeggen een luchtiger bodem.

Plan van aanpak: De bodemdichtheid (bulkdichtheid) werd gemeten met behulp van een stalen ring met een diameter van 50 mm en een hoogte van 50 mm. Deze werden op 3 mei 2018 op 75 mm en 150 mm diepte in de zijwand van het regenwormmonstergat gestoken (4 per perceel). Na drogen bij 105°C werd het drooggewicht van de grond bepaald en gebruikt om de bodemdichtheid (g dm^{-3}) te berekenen.

2.2.2.e Indringingsweerstand

Motivatie: Net als de bulkdichtheid van de bodem zegt de indringingsweerstand iets over de verdichtingsgraad van de bodem. Via een indringingsweerstandsmeting kan de dichtheid over het hele bodemprofiel worden gemeten. In sommige van de percelen van de Groote Voort is nog een oude ploegzool aanwezig tussen de 20-30 cm diepte. Regenwormen kunnen ervoor zorgen dat door hun gegrave de ploegzool verbrokkelt en verdwijnt. Dit kan gevolgen hebben voor de waterhuishouding en grasgroei van de percelen.

Plan van aanpak: Op 3 mei 2018 werd de indringingsweerstand gemeten op 2 meter afstand van de regenwormbemonsteringstenen (om verstoring van de regenwormen te voorkomen). Hiervoor is gebruik gemaakt van een digitale penetrologer (standaard penetrologer, Eijkelkamp) met een lengte van 80 cm en een conushoek van 60 graden en oppervlak van 1 cm^2 . Per veld werd op 4 plekken een meting uitgevoerd. Op elke plek werden binnen een oppervlak van 0.25 m^2 vier boringen gedaan tot maximaal 80 cm diepte. De resultaten van deze 4 boringen zijn samengevoegd tot één gemiddelde per plek.

2.3 Resultaten

3.2.1 Regenwormaantallen en diversiteit

2.3.1.a Regenwormdichtheid en biomassa

De regenwormpopulaties werden eenmaal in 2018 en driemaal in 2019 onderzocht. In 2018 werden er gemiddeld hogere dichtheden gevonden dan in 2019 (respectievelijk 627 en 215 m⁻²), hetgeen veroorzaakt zou kunnen zijn door de extreem droge zomers van 2018 en 2019. Verondersteld werd dat het gecombineerde maai- en beweidingsbeheer een gunstig effect zou hebben op de regenwormpopulaties. Dit beheer vertaalde zich niet in hogere regenwormdichtheden (het hooilandperceel P0 had in 2018 zelfs verreweg de hoogste aantallen regenwormen: 956 m⁻²), maar wel in zwaardere regenwormen. Het perceel dat als langste in gebruik was als maai-beweidingsperceel (P9) had in 2018 de zwaarste regenwormen (gemiddeld 0.66 gram per individu) en ook de hoogste biomassa per m² (321 g m⁻²). De regenwormen in het hooilandperceel wogen gemiddeld slechts 0.25 g per individu. In de zomer en het najaar van 2018 varieerde de regenworm aantallen en biomassa van maand tot maand met alleen in juni een aantal verschillen tussen de behandelingen. De aantalsfluctuaties in 2019 in de tijd binnen een perceel waren nooit statistisch significant. Perceel P9 had de laagste regenwormdichtheid (100 m⁻²), maar wel weer de zwaarste exemplaren (0.39 g ind⁻¹). Gemiddeld over 2019 was er een trend voor lichtere regenwormen in het hooiland (0.27 g ind⁻¹ tegen 0.40 g ind⁻¹ in P3 en 0.43 g ind⁻¹ in P9).

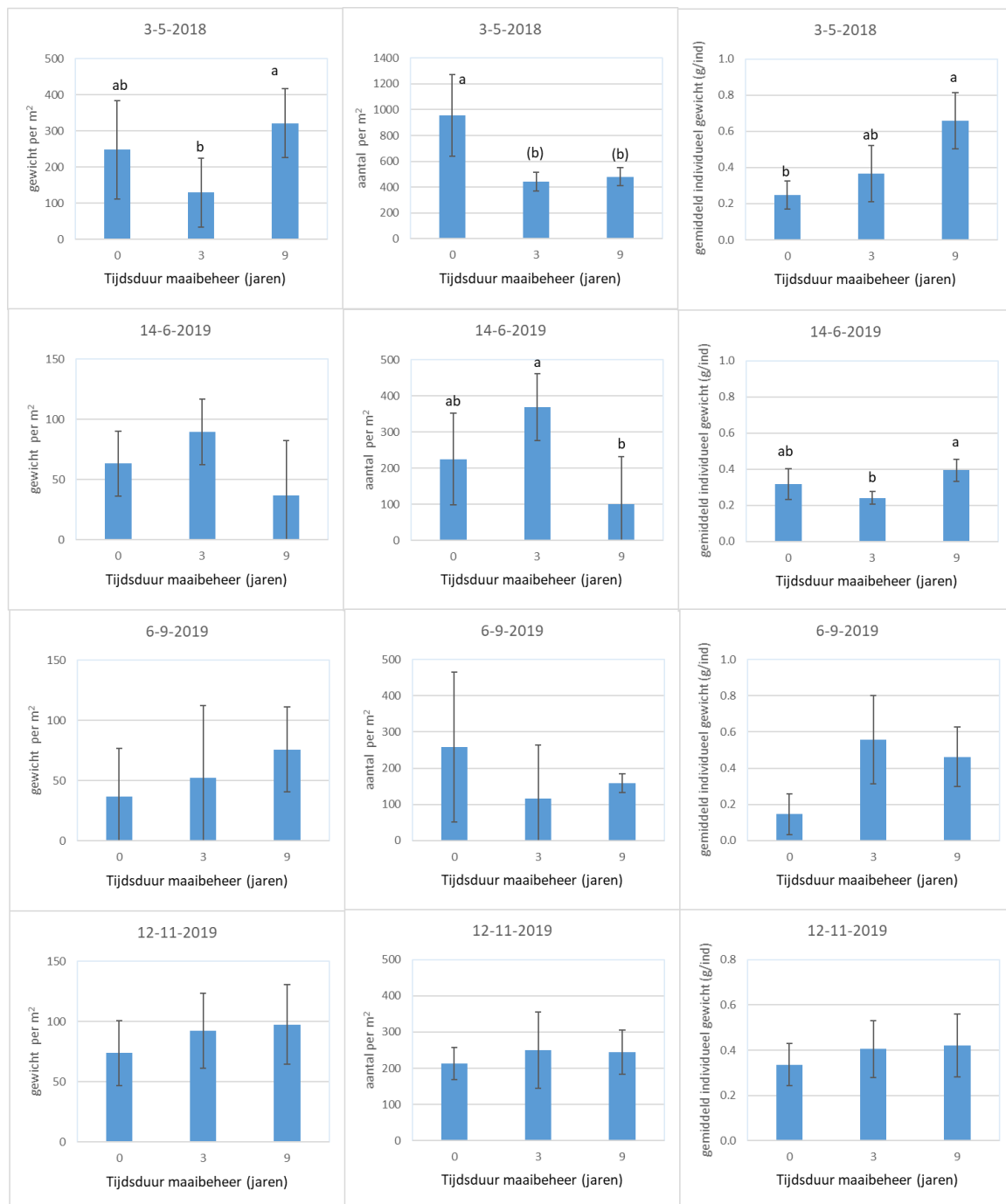
2.3.1.b Regenwormsoorten

Er werden vijf soorten regenwormen aangetroffen in de graslanden, vier grondeters (endogeic soorten: *Aporrectodea caliginosa* s.l. (vertegenwoordigd door *A. caliginosa caliginosa*, *A. caliginosa trapezoides*, *A. caliginosa tuberculata*) en *Aporrectodea rosea*), en één strooiseleter (epigeic: *Lumbricus rubellus*) (Tabel 2.1). We hebben geen enkele pendelaar (anecic) aangetroffen. *A. rosea* werd alleen aangetroffen in het hooiland. De 'soort' *A. caliginosa* bestaat in feite uit een complex van soorten of ondersoorten die onderling moeilijk te onderscheiden zijn. *A. caliginosa caliginosa* werd overal aangetroffen. Van *A. cal trapezoides* werd één exemplaar gevonden in P3 en van *A. cal. tuberculata* werden enkele exemplaren aangetroffen in P0 en P9.

Tabel 2.1. Abundantie van regenwormsoorten in 3 graslandpercelen met een verschillend maaibeheer (P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing) in de zomer van 2018 en de zomer en het najaar van 2019.

Monstername/ Beheer (jaren)	<i>A. caliginosa</i> s.l.		<i>A. rosea</i>		<i>L. rubellus</i>		Totaal	
	gem.	sem	gem.	sem	gem.	sem	gem.	sem
01-07-2018								
0	300	65.6	138	a 84.1	419	(a)	142.9	956 (a) 160.9
3	325	112.2	0	b 0	113	(b)	27.2	444 (b) 36.8
9	231	35.8	0	b 0	206	ab	31.1	481 (b) 36.8
14-06-2019								
0	150	(a) 45.9	13	10.8	63	b	10.8	225 ab 64.3
3	144	(a) 35.8	0	0	225	a	19.8	369 a 47.1
9	31	(b) 20.5	0	0	69	b	46.2	100 b 66.7
06-09-2019								
0	67	29.7	0	0	192		78.5	258 105.6
3	33	27.2	0	0	83		47.6	117 74.8
9	92	14.4	0	0	67		87.8	158 76.4
12-11-2019								
0	31	10.4	0	0	169		27.1	213 22.5
3	69	31.1	0	0	181		28.5	250 53.8
9	81	34.7	0	0	163		35.9	244 31.1

Gemiddelden per monsterdatum die in een kolom worden gevolgd door verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$). SEM staat voor standaardfout. *A. caliginosa* s.l. werd vertegenwoordigd door *A. cal. caliginosa*, *A. cal. tuberculata*, en *A. cal. trapezoides*

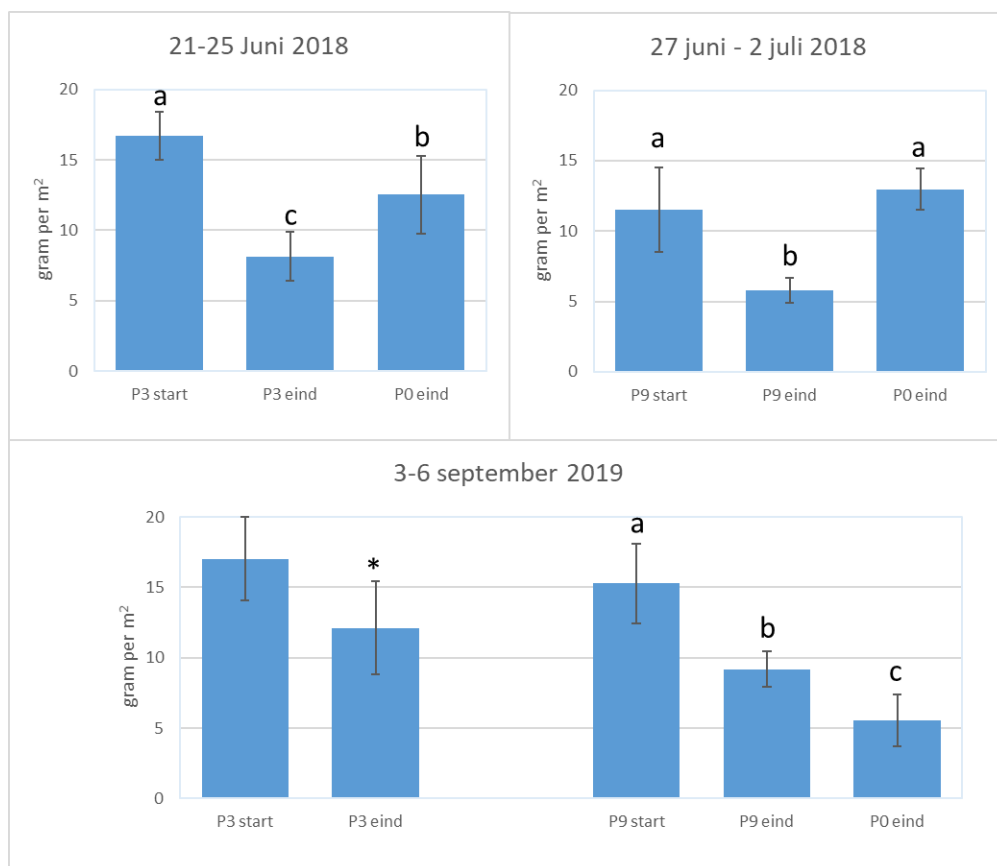


Figuur 2.1. Gemiddelde regenwormendichtheid (aantal per m²), -biomassa (g vers gewicht per m²) en individueel gewicht (g vers gewicht) in drie graslandpercelen met een verschillend regenwormvriendelijkmaaibeheer (tijdsduur maaibeheer 0, 3, 9 jaren). Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$).

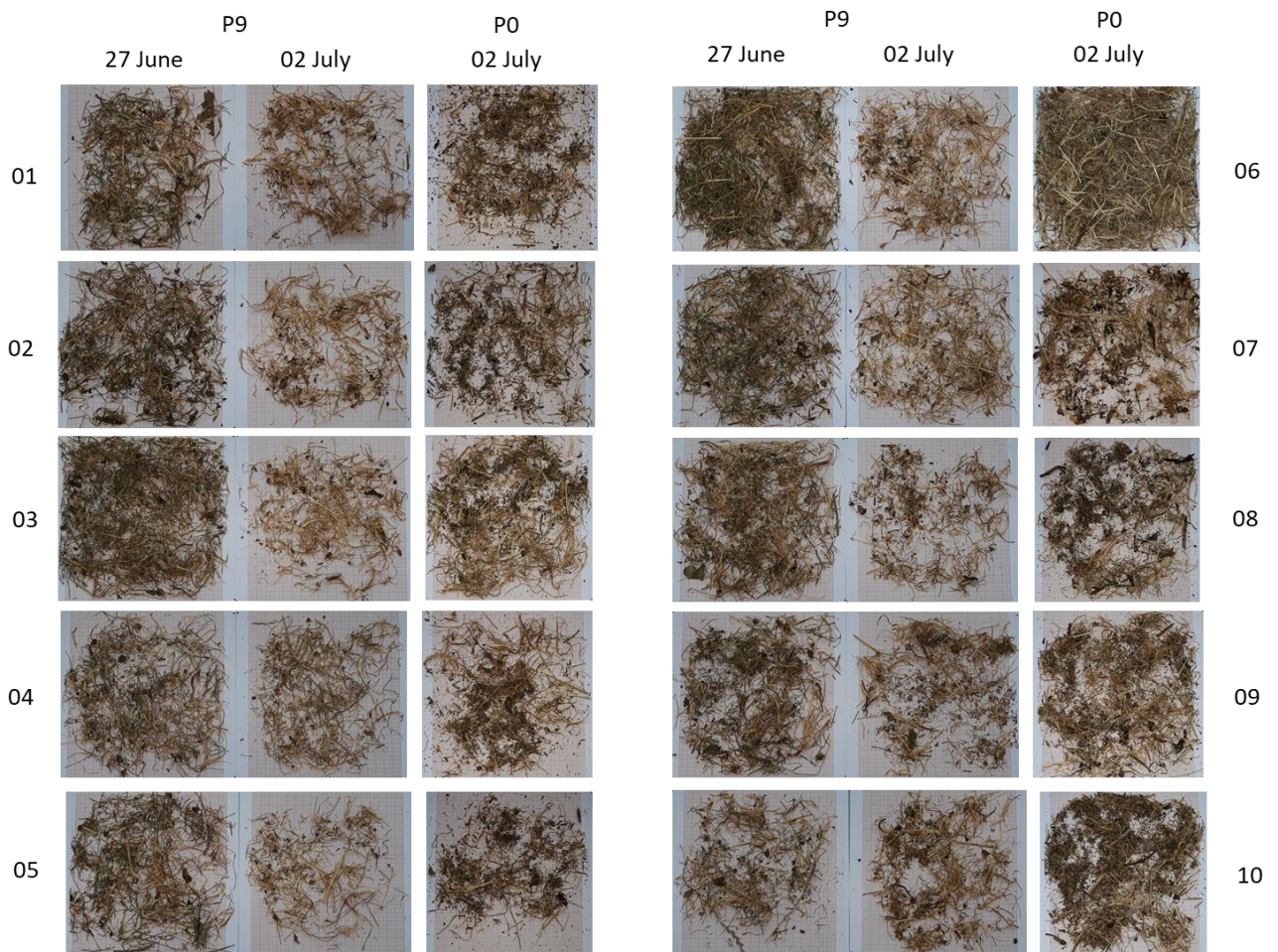
3.2.2 Regenwormenvraatactiviteit

2.3.2.a Grasknipsels als voer voor regenwormen

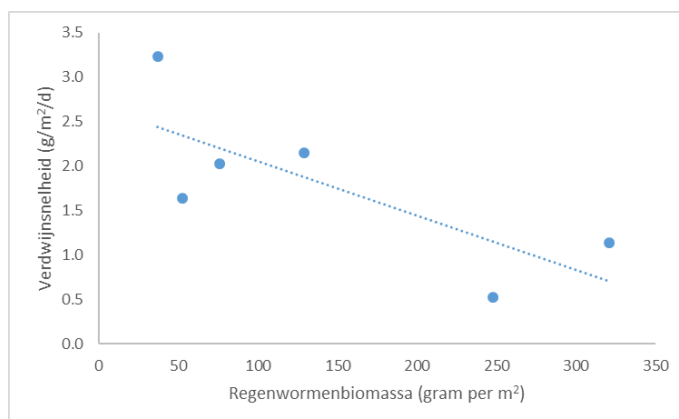
Het maai-beweidingsbeheer is erop gericht om extra voedsel voor de regenwormen beschikbaar te stellen in de vorm van circa 2 cm lange grasknipsels. Per maaibeurt bleek de input aan grasknipsels gemiddeld 151 kg droge stof per hectare te zijn. De verdwijnsnelheid van het gras in de 3-5 dagen na het maaien varieerde tussen de 0 en 3.2 g per m² per dag. In 2018 verdwenen de grasknipsels het snelst in de percelen met maai-beweidingsbeheer (1.1-2.1 g per m² per dag) en minder snel in het hooiland (0-1.0 g per m² per dag; Figuur 2.2, bovenste twee panelen). In 2019 was de verdwijnsnelheid in de percelen met maai-beweidingsbeheer vergelijkbaar met dat in 2018, namelijk 1.6-2.0 g per m² per dag. In het hooiland verdwenen de grasknipsels toen aanzienlijk sneller, namelijk met 3.2 g per m² per dag (Figuur 2.2, onderste paneel). In figuur 2.3 is te zien dat er daadwerkelijk grasknipsels verdwenen van het bodemoppervlak en dat de gewichtsafname niet slechts werd veroorzaakt door snelle decompositie. Dit verdwijnen van grasknipsels van het bodemoppervlak schrijven wij toe aan regenwormactiviteit.



Figuur 2.2. Hoeveelheid grasknipsels (g per m²) direct na het maaien (start) en drie tot vijf dagen later (eind) in 3 graslandpercelen met een verschillend maai-beheer (P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maai-beheer; P0 is een hooiland zonder begrazing). Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$). De * geeft een statistisch significant verschil tussen start en eind weer ($p \leq 0.05$).

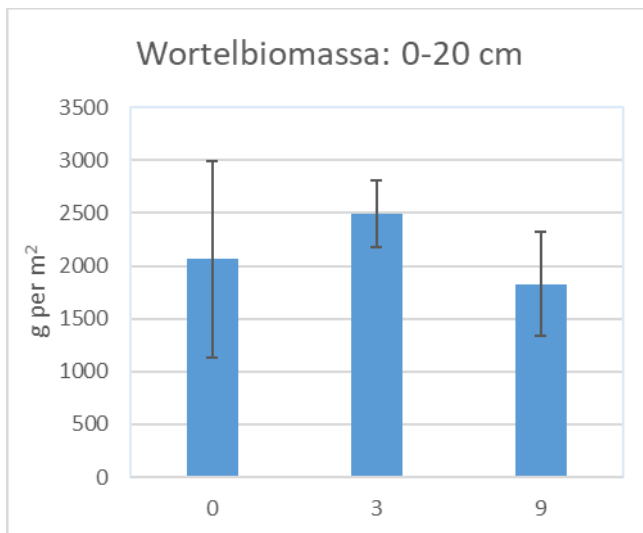


Figuur 2.3. Hoeveelheid grasknipsels (verzameld van 0.30m² op 10 verschillende plekken) direct na het maaien (27 juni) in perceel P9 en vijf dagen later (2 juli) in perceel 9 en het hooiland (P0). (Perceel P9 werd begraasd en had 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing; De grasknipsels in P0 werden op 27 juni verzameld in P9 en naar P0 overgebracht).



Figuur 2.4. Relatie tussen de gemiddelde regenwormbiomassa (g per m²; per perceel (n=3), per tijdstip (n=2)) en de gemiddelde verdwijnsnelheid van grasknipsels (g per m²; per dag, per perceel (n=3), per tijdstip (n=2)) (correlatiecoëfficiënt (r) = -0.7608, n=6, p=0.0790).

Verwacht werd dat een hogere dichtheid of biomassa regenwormen zal leiden tot een hogere verdwijnsnelheid van de grasknipsels. Wij konden een dergelijk verband niet aantonen. Integendeel, we vonden een trend ($r=-0.761$, $n=6$, $p=0.079$) waarbij een hogere regenwormenbiomassa gepaard ging met een lagere verdwijnsnelheid (Figuur 2.4).



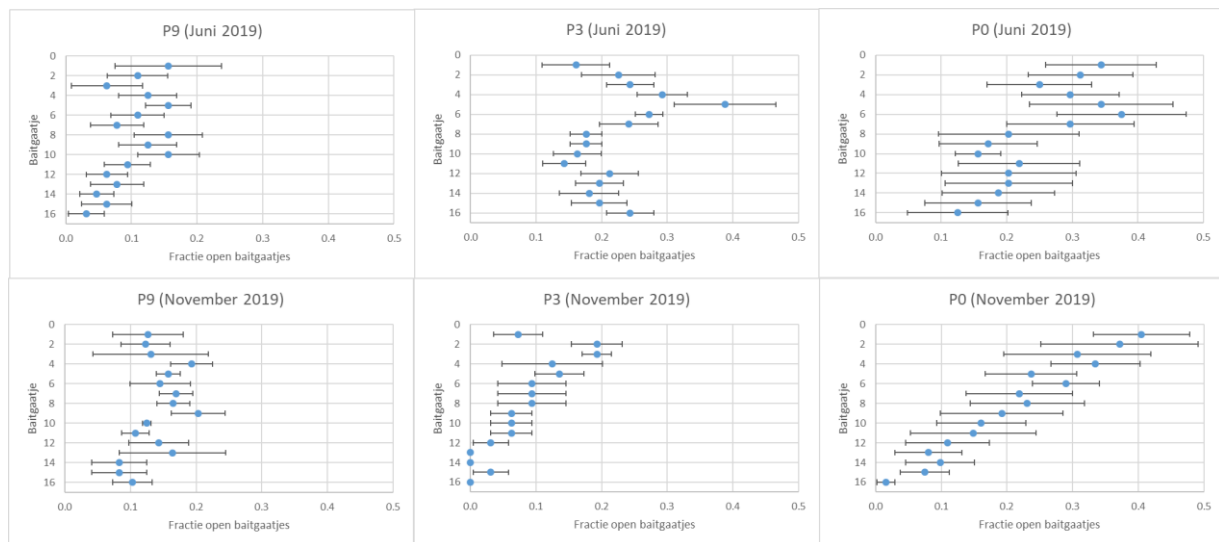
Figuur 2.5. Wortelbiomassa in de bovenste 20 cm van drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer ((P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing en regenwormvriendelijk maaibeheer), op 14 juni 2019. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. De gemiddelden verschilden niet statistisch significant van elkaar (t-Test, ($p>0.05$)).

Naast de input aan bovengrondse gewasresten vormen ook afgestorven wortels een belangrijke voedselbron voor het bodemvoedselweb. De gemiddelde wortelbiomassa in de drie percelen was 2128 g droge stof per m² (juni 2019), en de verschillen tussen de percelen waren niet statistisch significant (Figuur 2.5).

2.3.2.b Vraataktiviteit bodemfauna

De vraataktiviteit van grotere bodemfauna, inclusief regenwormen, werd ook onderzocht met behulp van baitlamina-strips. Dit zijn plastic strips met daarin kleine met voedsel gevulde gaatjes. Bodemdieren vreten het voedsel uit de gaatjes, hetgeen gemeten kan worden als vraataktiviteit.

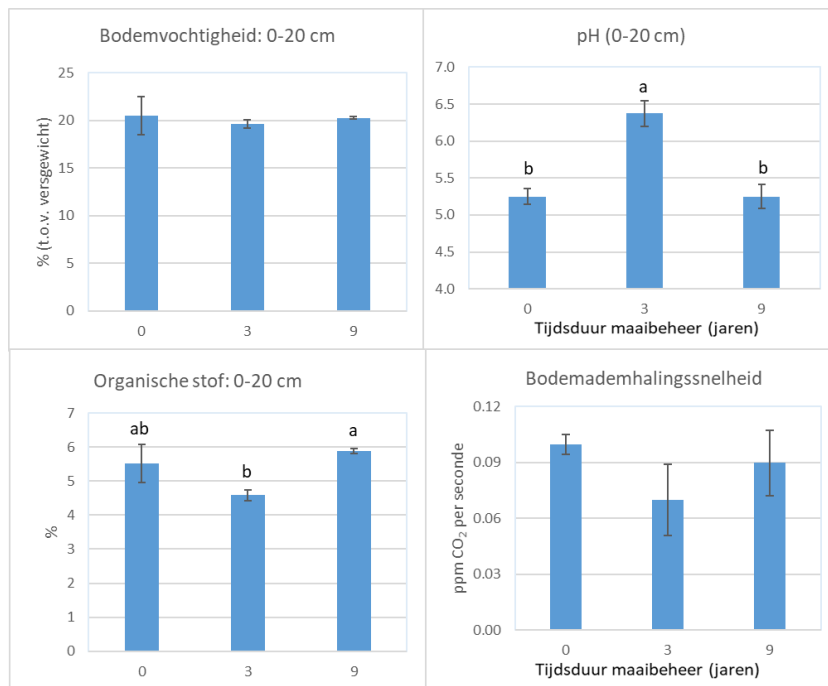
Na 6-7 dagen incubatie in de graslanden was uit minder dan 50% van de gaatjes per bodemlaag het voedsel verdwenen (Figuur 2.6). In het hooilandperceel verdween meer voedsel dan in de twee maa-weidebeheer percelen. Vooral in het hooiland was er een sterke afname van het aantal open gaatjes met de bodemdiepte. In de maa-weidebeheerpercelen was de afname met de diepte minder opvallend.



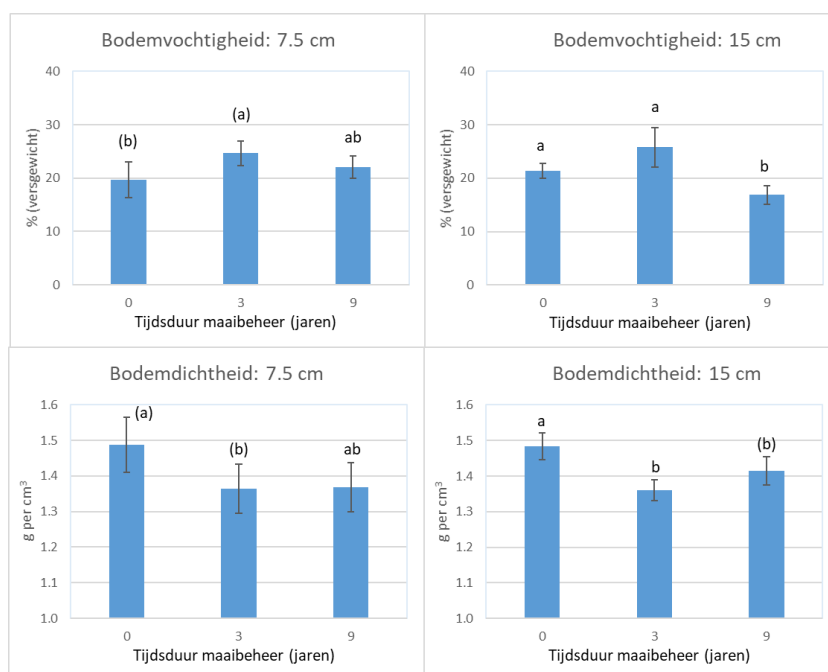
Figuur 2.6. Vraatactiviteit van bodemdieren in drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer ((P9 en P3 werden begraasd hadden 9 resp. 3 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing). Weergegeven staat per bodemdiepte (1 = 5 cm diep en 16 = 12.5 cm diep) welke fractie van de met voedsel gevulde gaatjes van de 'baitlamina' strips is leeggegeten door bodemdieren. Er werden strips ingegraven in juni (bovenste drie panelen) en november (onderste drie panelen) 2019.

2.3.2.c Bodemademhaling

De bodemademhaling geeft een indicatie van de activiteit van micro-organismen zoals bacteriën, archaea en schimmels. Er werden geen verschillend gevonden tussen de percelen (Figuur 2.7, rechtsonder).



Figuur 2.7. Bodemvochtigheid, organisch stofgehalte, pH(KCl) en bodemademhaling in de bovenste 20 cm van drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer (P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing en regenwormvriendelijk maaibeheer), op 13 november 2019. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$). Merk op dat de y-as van de pH niet begint bij nul.



Figuur 2.8. De bodemvochtigheid (bovenste twee panelen) en bodemdichtheid (onderste twee panelen) op 5-10 cm (linkse twee panelen) en 12.5-17.5 cm (rechter twee panelen) diepte gemeten op 3 mei 2018. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$).

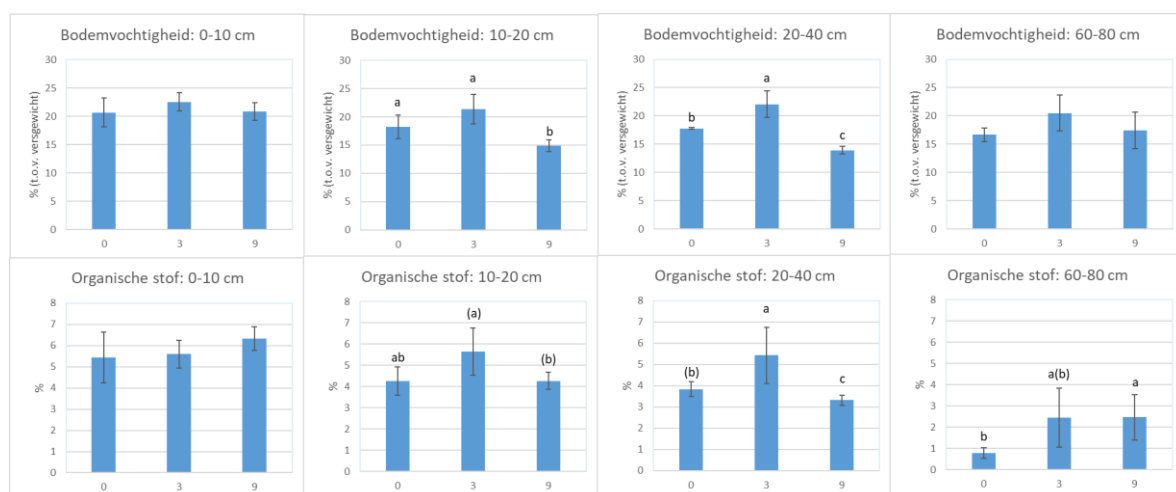
3.2.3 Bodemeigenschappen

Regenwormen zijn gevoelig voor bepaalde bodemeigenschappen (zoals textuur, pH en bodemvochtigheid), maar kunnen ze ook beïnvloeden (bv. bodemstructuur, organische stofgehalte).

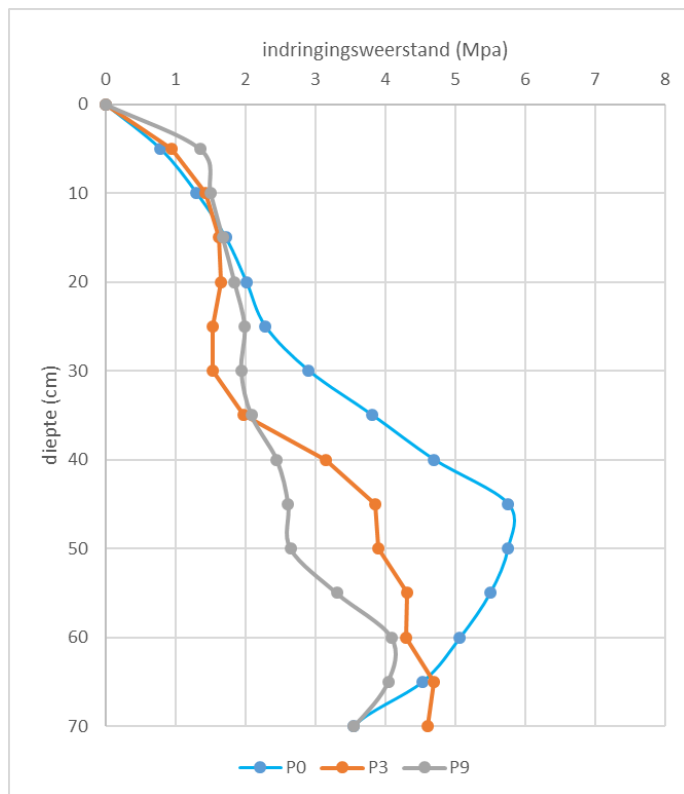
Perceel P9 was iets droger dan de andere twee percelen, dit was vooral het geval op grotere bodemdiepte (Figuur 2.9, bovenste panelen). De pH was het hoogste in perceel P3 (pH=6.4), hetgeen ruim één pH eenheid hoger was dan in de andere twee percelen (Figuur 2.7, rechtsboven).

Het organische stofgehalte in de 0-10 cm varieerde van 5.4-6.3% en nam af met de diepte, maar dit verschilde per perceel (Figuur 2.9, onderste panelen). Tussen 10-40 cm was er alleen in P3 géén afname van het organische stofgehalte. Beneden de 60 cm was het organische stofgehalte in de percelen met een maai-beweidingsbeheer afgenomen tot 2.5%, terwijl dit nog slechts 0.8% was in het hooilandperceel ($p < 0.05$). Opmerkelijk was dat het organische stofgehalte in P3 in november 2019 was afgenomen tot 4.6%, terwijl dit in mei 2018 nog 5.6% was (vergelijk respectievelijk Figuur 2.7 en 2.9).

De bodemdichtheid tussen 5-10 cm en 12.5-17.5 cm was in de percelen met een maai-beweidingsbeheer lager dan in het hooiland (figuur 2.8). De metingen van de indringingsweerstand laten zien dat de weerstand tussen 0-10 cm in perceel P9 verhoogd was (Figuur 2.10, Tabel 2.2). In P9 neemt de weerstand tot 50 cm slechts zeer langzaam toe met de diepte (van 1.35 tot 2.65 MPa, d.w.z. 0.029 MPa per cm). In het hooiland neemt de indringingsweerstand juist sterk toe met de diepte (0.124 MPa per cm) en is vanaf 20 cm diepte hoger in dan in de maai-weidepercelen. Tot 30 cm diepte heeft P3 de laagste weerstand (1.54 MPa), die vanaf 30 cm diepte sterk begint toe te nemen (0.154 MPa per cm). Rond de 45 cm diepte werden de grootste verschillen in weerstand gevonden tussen de percelen met een laagste waarde voor P9 en een hoogste voor het hooiland P0 (P9: 2.61 MPa, P3: 3.85 MPa, P0: 5.76 MPa; $p < 0.05$).



Figuur 2.9. Bodemvochtigheid (bovenste panelen) en organisch stofgehalte (onderste panelen) op verschillende diepte (van links naar rechts) in drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer ((P3 en P9 werden begrast hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing en regenwormvriendelijk maaibeheer), gemeten op 3 mei 2018. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$).



Figuur 2.10. Gemiddelde Indringingsweerstand (MPa) van 0-70 cm diepte in drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer ((P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing en regenwormvriendelijk maaibeheer), gemeten op 3 mei 2018. Zie tabel 2 voor een overzicht van de statistisch significante verschillen per diepte.

Tabel 2.2. Gemiddelde Indringingsweerstand (MPa) voor 0-70 cm diepte in drie graslandpercelen met verschillend maaibeheer ((P3 en P9 werden begraasd hadden 3 resp. 9 jaar een regenwormvriendelijk maaibeheer; P0 is een hooiland zonder begrazing en regenwormvriendelijk maaibeheer), gemeten op 3 mei 2018.

Diepte (cm)	P0		P3		P9	
5	0.79	b	0.95	b	1.35	a
10	1.30	b	1.43	b	1.50	a
15	1.72	-	1.62	-	1.68	-
20	2.02	a	1.65	c	1.85	b
25	2.29	a	1.54	c	1.99	b
30	2.91	a	1.54	c	1.94	b
35	3.82	a	1.98	b	2.09	b
40	4.70	a	3.16	b	2.45	c
45	5.76	a	3.85	b	2.61	c
50	5.75	a	3.90	b	2.65	c
55	5.50	a	4.31	b	3.31	c
60	5.07	a	4.29	b	4.09	b
65	4.53	a	4.69	a	4.04	b
70	3.55	b	4.61	a	3.55	b

Per diepte geven zijn gemiddelden die worden gevolgd door verschillende letters statistisch significant verschillend ($p \leq 0.05$).

2.4 Discussie

Aan het einde van het voorjaar van 2018, net aan de vooravond van een extreme droogteperiode, was een groot deel van de resultaten in overeenstemming met de verwachtingen rond het maai-beweidingsbeheer op het melkveehouderijbedrijf. Er werden in de percelen met een maai-beweidingsbeheer voor grasland op zand bovengemiddeld hoge aantallen regenwormen gevonden van rond de 400 wormen per m² (Rutgers *et al.* 2009). Weliswaar aanzienlijk lager dan in het hooiland, maar per stuk waren de regenwormen in met name P9, het perceel waarop het beheer het langst werd uitgevoerd, een stuk zwaarder. De totale biomassa aan wormen in perceel P9 bedroeg 321 g per m². Ook in 2018 verdwenen er significant meer grasknipsel van het bodemoppervlak in de percelen met een maai-beweidingsbeheer dan in het hooiland en was de bodemdichtheid in de bovenste 20 cm van de bodem lager. Perceel P9 had over het hele bodemprofiel gezien (van 0-70 cm diepte) de laagste indringingsweerstand, gevolgd door achtereenvolgens perceel P3 en het hooiland P0. Beide maai-beweidingspercelen hadden een hoger organisch stofgehalte in de 60-80 cm bodemlaag dan het hooiland. Of regenwormen hier een rol in hebben gespeeld is de vraag. De ecologische groep die hier typisch bij betrokken zou kunnen zijn, dwz de pendelaars, werd niet vastgesteld. Het zou kunnen dat *Lumbricus rubellus* hierin een rol heeft gespeeld aangezien de ecologisch kwalificatie van deze soort ter discussie staat. Het menu van *L. rubellus* bestaat weldegelijk voornamelijk uit vers organisch materiaal (Briones *et al.* 2005), maar deze soort heeft ook morfologische kenmerken die suggereren dat hij ook dieper in de grond kan graven (Briones & Álvarez-Otero 2018).

Waarnemingen die niet in overeenstemming waren met de hypothesen waren de afwezigheid van pendelaars in de beide percelen met een maai-beweidingsbeheer en het relatief lage bodemvochtgehalte in perceel P9 (Fig. 2.8, 2.9). Ook werden er slechts viersorten regenwormen gevonden in de percelen met een maai-beweidingsbeheer, waarvan drie 'soorten' tot het complex *Aporrectodea caliginosa* behoren. Binnen het landelijk meetnet bodemkwaliteit werden gemiddeld 4-5 soorten regenwormen vastgesteld in weilanden van melkveehouderijen op zandgrond (Rutgers *et al.* 2009). Weliswaar was het aandeel strooiseleTERS, dwz de regenwormen die het sterkst zouden moeten profiteren van het maai-beweidingsbeheer, hoger in P9 dan in P3, toch verschilde het niet van het hooiland. Aangezien de percelen al langdurig biologisch worden beheerd, bovendien met speciale aandacht voor regenwormen, kan worden betwijfeld of de percelen op korte termijn op eigen kracht zullen worden gekoloniseerd door nu nog afwezige soorten. Introductie van bijvoorbeeld de gedurende het onderzoek niet aangetoonde ecologische groep van de pendelaars behoort tot de mogelijkheden. Momenteel is onderzoek gaande om de overlevingskansen van *Lumbricus terrestris* te bepalen in de graslandpercelen. Uiteindelijke kunstmatige introductie van bijvoorbeeld *L. terrestris* zou echter kritisch moeten worden gezien (Eijsackers 2011, Van Eekeren *et al.* 2014).

Herhaling van het onderzoek in 2019 werd sterk beïnvloed door de extreem regenworm-ongunstige weersomstandigheden gedurende de zomer van 2018 en het voorjaar en de zomer van 2019 (zeer droog en warm). Daarom werden de waarnemingen aan de regenwormpopulaties uitgesteld totdat de weersomstandigheden wat gunstig werden voor regenwormenactiviteit, dat wil zeggen na een periode met enige neerslag en lagere temperaturen.

In juni 2018 waren de populaties van de grondeter *A. caliginosa* gehalveerd in het hooiland en in P3, en gedecimeerd (87% lager dan in 2018) in P9. Alleen in P9 leek enig herstel op te treden in de loop van het jaar. In de overige twee percelen namen de populaties van *A. caliginosa* verder af.

Ook de strooiseleter *L. rubellus* had in juni 2019 lagere dichtheiden dan in 2018, maar alleen in het hooiland en in P9 (-85% en -67%). In P3 daarentegen was de dichtheid van *L. rubellus* verdubbeld van 113 naar 225 per m². In zowel het hooiland als in P9 trad er in de rest van het jaar enig herstel op.

Onze waarnemingen wijzen erop dat de gewichtsafname van de grasknipsels in de percelen veroorzaakt werd door het verdwijnen van hele grasknipsels. Dit kan zeer waarschijnlijk worden toegeschreven aan regenwormactiviteit. Curry & Schmidt (2007) geven een consumptiesnelheid van 12-17 mg droog gewicht gras per gram vers gewicht regenworm. Gemiddeld voor beide jaren verdween er 1.6 gram aan grasknipsels per m² per dag in P9. De aanvoer van grasknipsels was 150 gram per m² per maaibeurt. Het aantal strooiselelers in P9 was gemiddeld 126 *L. rubellus* per m² met een individuele biomassa van minimaal 0.48 gram vers gewicht. Dat betekent een gemiddelde consumptie van ongeveer 12.7 mg grasknipsels per worm per dag, oftewel 26.5 mg grasknipsels per gram worm per dag, hetgeen 1.6x hoger is dan de waarde die werd gevonden door Curry & Schmidt (2007). Afgaande op deze berekeningen lijken de regenwormen een aanzienlijke hoeveelheid grasknipsels te consumeren. Bovendien levert de aanvoer van 150 gram grasknipsels per maaibeurt dus een meer dan substantiële bijdrage aan het voedselaanbod voor de strooiselelers. Opmerkelijk is dat we geen positieve, maar juist een negatieve trend (weliswaar niet statistisch significant) in de relatie vonden tussen de totale regenwormbiomassa en de verdwijnsnelheid van grasknipsels. Dat was ook het geval voor het totale aantal regenwormen, het aantal strooiselelers, en het aantal grondeters. Hiervoor hebben we momenteel geen verklaring.

We hadden verwacht dat door een jarenlang maai-beweidingsbeheer de strooisel etende regenwormsoorten zouden worden bevoordeeld en dat hun populaties mogelijk zelfs gewend zouden raken aan het met regelmaat aangeboden extra voedsel aan het bodemoppervlak (Rashid *et al.* 2017). Er was echter geen sprake van een systematisch groter aandeel strooiselelers in de percelen met een maai-beweidingsbeheer. In 2018 was de grasknipselconsumptie in het hooiland weliswaar lager dan in de percelen met een maai-beweidingsbeheer (dit is in overeenstemming met onze verwachting), maar de hoogste grasknipselconsumptie werd uiteindelijk juist in dat hooiland gemeten. In september 2019 verdween er in het hooiland 3.2 g grasknipsels per m² per dag bij een *L. rubellus* dichtheid van 192 per m². Dat wil zeggen een consumptiesnelheid van 16.7 mg grasknipsels per regenworm per dag. Tegelijkertijd stelden we vast dat ook de vraataktiviteit van grotere bodemfauna in de bovenste 8 cm van de bodem van het hooiland hoog was, zeker in vergelijking met perceel P9 (Figuur 2.6).

2.5 Conclusies

De regenwormpopulaties in de maai-beweidingspercelen waren goed ontwikkeld en hadden een hoge biomassa. Maar de verschillen tussen de jaren waren aanzienlijk. De grasknipselinput door het maai-beheer is voldoende om de regenwormen van voedsel te voorzien. De metingen wezen uit dat er een substantiële hoeveelheid grasknipsels van het bodemoppervlak verdween, zeer waarschijnlijk door de regenwormpopulaties. De structuur van de bodem van de maai-beweidingspercelen was beter dan die in een hooilandperceel zonder maai-beweidingsbeheer. De diversiteit aan regenwormen was relatief laag en de ecologische groep van pendelaars lijkt vooralsnog niet aanwezig te zijn.

3 Regenwormpopulaties na herstel van weiland

Ron de Goede, Tamás Salánki & Arrienne Matser

3.1 Inleiding

Biologische geitenhouderij en kaasmakerij De Stroese Dame houdt circa 90 Nederlandse witte geiten die worden beweid op kruidige gras-klover weiden. Als gevolg van de extreme droogte tijdens de zomer van 2018 was de kwaliteit van de grasmat sterk achteruitgegaan (Foto 3.2). Op sommige delen van het weiland was de vegetatie dusdanig slecht dat verstuiving dreigde. Het graslandperceel (4.5 ha) voor het woonhuis werd in vieren gedeeld elk met een eigen herstelbeheer. Twee delen werden geploegd en opnieuw ingezaaid met een biologisch zaadmengsel met een diversiteit aan kruiden en grassen (Foto 3.1, perceel 1 en 4, beide 0.4 ha). Op één van deze geploegde delen werden bovendien fruitbomen aangeplant en dit perceel werd specifiek gebruikt voor het weiden van het jongvee (perceel 4). Van de andere twee delen (perceel 2 en 3, respectievelijk 2.2 en 1.6 ha) werd afgewacht of ze via natuurlijk weg zouden herstellen. Na het voorjaar van 2019 bleek dat herstel uitbleef. Daarom werd besloten om één van beide delen in september 2019 door te zaaien met Engels raaigras (*Lolium perenne*) (perceel 3). Het beheer van de percelen bestond uit een regelmatig herhaalde opeenvolging van maaien, weiden en bloten. In november 2019 is onderzocht wat het effect van deze verschillende vormen van graslandherstel was op de regenwormpopulaties.

1.3.1 Onderzoeksvragen en hypothesen

De hoofdvraag van het onderzoek was een indicatie te krijgen van de gevolgen van verschillende vormen van graslandherstel voor de regenwormpopulaties.

Verondersteld wordt dat na de extreme droge zomers van 2018 en ook die van 2019, de dichtheid aan regenwormen in alle percelen zeer laag zal zijn. Het ploegen van de percelen zal een extra negatief effect hebben gehad op de aantallen regenwormen en dan vooral op de oppervlakkig levende strooiseleTERS. Door de droogte zullen die populaties zich, ondanks de ontwikkeling van de nieuwe grasmat, nauwelijks hebben kunnen herstellen. Het doorzaaien van één van de niet-geploegde percelen heeft een extra stimulatie gegeven aan de ontwikkeling van de vegetatie. Dit kan een positief effect hebben gehad op de regenwormpopulatie.

3.2 Onderzoeksmethodiek

2.3.1 Onderzoeksubjecten

Aangezien het een praktijksituatie op een regulier bedrijf betrof kon geen gebruik gemaakt worden van een wetenschappelijk verantwoorde proefopzet. Ook was het gezien de onvoorspelbaarheid van het optreden van het graslandkwaliteitsprobleem (ingegeven door extreme weersomstandigheden) niet mogelijk om een nulmeting uit te voeren. Dit beperkt de interpretatie van de resultaten en deze moeten vooral worden gezien als een demonstratie.

Op elk perceel werden willekeurig vier plekken gekozen waar het hieronder beschreven onderzoek plaatsvond.

2.3.2 Regenwormen

3.2.2.a Aantallen, biomassa en soortenrijkdom

Motivatie: We verwachten beheereffecten op de aantallen regenwormen, hun gewicht, en op de soortensamenstelling. Aangezien de boerderij is gelegen op een hoge droge zandgrond verwachten we geen pendelaars (tijdens de monsternamen zijn ook geen sporen van deze groep aangetroffen). Pendelaars zijn daarom niet in het onderzoek opgenomen.

Op 12 november 2019 werden op elk van de vier percelen vier regenwormen monsters (20 x 20 x 20 cm³) genomen. De regenwormen werden ter plekke handmatig uitgezocht en verzameld voor verdere analyse in het laboratorium.

In het laboratorium werden de wormen 24 uur bewaard om hun darm te kunnen legen, waarna het vers gewicht van alle samen wormen per monster werd bepaald. Vervolgens werden de wormen bewaard in 70% alcohol en gedetermineerd tot op soort (adulten: Sims and Gerard (1985), juvenielen: Stöp-Bowitz (1969)).

2.3.3 Bodemchemische en -fysische metingen

3.2.3.a Bodemorganische stof

Motivatie: organische stof is van essentieel belang voor vrijwel alle bodemprocessen en functies. Het is de energie- en voedselbron voor het bodemleven inclusief de regenwormen, het speelt een rol in de bodemwaterhuishouding, bodemstructuurvorming en opslag van koolstof in de bodem. Afgestorven bovengrondse plantenresten, grasknipsels en mest dragen bij aan de aanvoer van organisch materiaal in de bodem. Maar ook afgestorven wortels vormen een belangrijke bijdrage. Het ploegen van de bodem kan leiden tot een afname van het organische stofgehalte in de bodem.

Plan van aanpak: De bodemorganische stof werd bepaald op 12 november 2019 in grond uit het regenwormmonstergat. Ongeveer 20 gram verse grond werd exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius en weer gewogen. Daarna werd de grond verbrand bij 550°C en gewogen. Het organische-stofgehalte is gelijk aan het gewichtsverlies door verbranding.

3.2.3.b Bodemvochtgehalte

Motivatie: De vochtinhoud van de bodem is van belang voor de grasgroei, maar ook voor het voorkomen en de activiteit van veel bodemorganismen. Te droge of natte omstandigheden zijn ongunstig voor het bodemleven. De droogte van de afgelopen zomers is zeer nadelig voor regenwormen.

Plan van aanpak: Op 12 november 2019 werd grond uit het regenwormmonstergat gebruikt voor de vochtbepaling. Ongeveer 20 gram verse grond exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius. De gewichtsafname werd gebruikt om het vochtgehalte te bepalen.

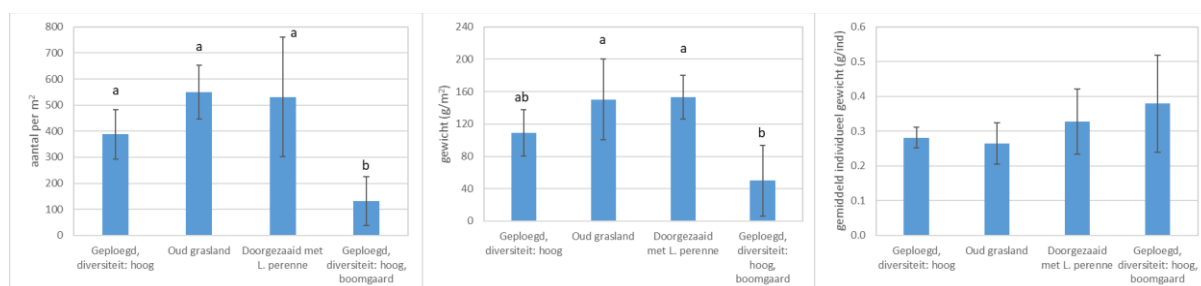
3.2.3.c pH

Motivatie: Regenwormen zijn gevoelig voor diverse bodemeigenschappen, waaronder het organische stofgehalte (voedsel), het vochtgehalte (activiteit), de textuur (zand, klei, veen, etc.) en vooral ook de zuurgraad van de bodem. Doorgaans worden zure omstandigheden gemeden.

Plan van aanpak: De pH werd bepaald in de monsters die werden verzameld op 12 november 2019 voor de bepaling van het bodemvocht. De pH werd gemeten met een electrode in een grond – water suspensie van 5 gram verse grond met 25 ml demi water.

3.3 Resultaten

Het oude oorspronkelijke grasland had een regenwormdichtheid van 550 wormen per m² en een biomassa van 150 g per m². Alleen in het geploegde en opnieuw ingezaaide perceel waarop ook fruitbomen waren geplant werd een lager regenwormen dichtheid en biomassa gevonden (Figuur 3.1).



Figuur 3.1. Gemiddelde regenwormendichtheid (aantal per m²), -biomassa (g vers gewicht per m²) en individueel gewicht (g vers gewicht) in vier graslandpercelen met een verschillend grasmatherstelbeheer. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$).

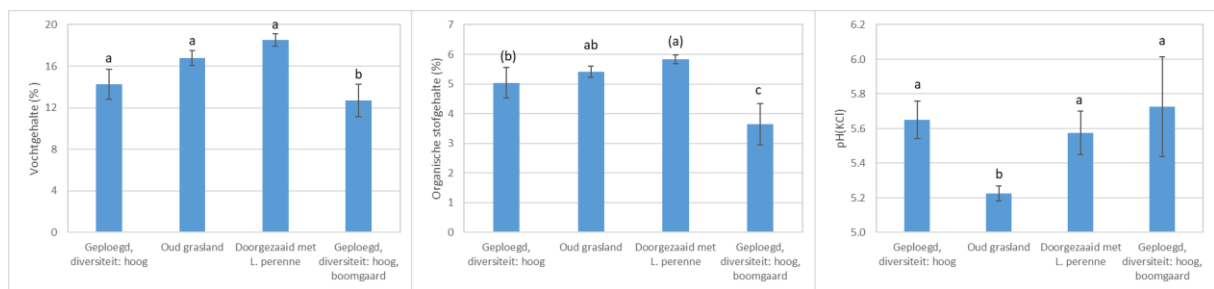
Er werden vier soorten regenwormen aangetroffen, drie grondeters (endogei: *Aporrectodea caliginosa* s.l. (vertegenwoordigd door *A. cal. caliginosa* en *A. cal. tuberculata* waarvan vooral de juvenielen moeilijk te onderscheiden zijn) en *Allolobophora limicola*) en één strooiseleter (epigei: *Lumbricus rubellus*). Alleen in het oude oorspronkelijke grasland werden alle vier de soorten vastgesteld. *A. caliginosa* s.l. had de hoogste dichtheid in het geploegde veld zonder aanplant van fruitbomen en de laagste dichtheid in het met *L. perenne* doorgezaaide grasland (Tabel 3.1). Voor *L. rubellus* gold het omgekeerde, deze had de laagste dichtheid in de beide geploegde velden en juist een hoge dichtheid in het met *L. perenne* doorgezaaide oude grasland alsmede in het oorspronkelijke oude grasland.

De beide oude graspercelen hadden het hoogste vochtgehalte (Figuur 3.2, links). Dit was significant lager in het geploegde perceel waarop fruitbomen waren aangeplant. Dit laatste perceel had ook een verlaagd organisch stofgehalte (3.7%; Figuur 3.2, midden). De zuurgraad (pH_{KCl}) van het oude oorspronkelijke perceel was lager dan dat van de andere percelen (Figuur 3.2, rechts).

Tabel 3.1. Regenwormsoorten in 4 graslandpercelen met een verschillend grasmatherstelbeheer in het najaar van 2019.

Beheer	<i>Ap. caliginosa</i> s.l.			<i>All. limicola</i>			<i>L. rubellus</i>			Totaal	
	gem.	sem		gem.	sem		gem.	sem		gem.	sem
1. Ploegen, diversiteit hoog	275	a	21.7	0	-	0.0	88	b	22.5	363	*
2. Oud grasland	181	b	10.4	6	-	5.4	331	a	48.7	519	
3. Doorzaaien met <i>L. perenne</i>	88	c	26.5	0	-	0.0	388	ab	167.9	475	
4. Ploegen, diversiteit hoog, boomgaard	119	bc	44.5	0	-	0.0	0	c	0.0	119	

* significante verschillen kunnen nog niet worden berekend i.v.m. ontbrekende waarden. Gemiddelden die in een kolom worden gevolgd door verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$). SEM staat voor standaardfout. *Ap. Caliginosa* s.l. bestond uit *Ap. cal. caliginosa* en *Ap. cal tuberculata*



Figuur 3.2. Gemiddeld vochtgehalte (% vers gewicht), organische stofgehalte (% droog gewicht) en pH van de 0-20 cm bodem in vier graslandpercelen met een verschillend grasmatherstelbeheer. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar ($p \leq 0.05$, of in geval van haakjes $p \leq 0.10$). Merk op dat de y-as voor de pH niet op nul begint.

3.4 Discussie

De graslandvernieuwing had vooral een sterk negatief effect op *Lumbricus rubellus*, de strooiseleter. De beide geploegde en opnieuw ingezaaide percelen waren iets droger en vooral het perceel dat was ingeplant met fruitbomen had een laag organisch stofgehalte. De afname van *L. rubellus* zou kunnen samenhangen met het ploegen van deze percelen en de veranderde abiotische bodemcondities (Van Eekeren *et al.* 2008, Postma-Blaauw *et al.* 2012, Crittenden *et al.* 2015, Frazão *et al.* 2017). Het herstel van de regenwormpopulaties kan redelijk snel verlopen zoals bijvoorbeeld voor *A. caliginosa* (Crittenden *et al.* 2015), maar kan met name voor strooiselelers zoals *Lumbricus rubellus* enige jaren in beslag nemen (Van Eekeren *et al.* 2008, Postma-Blaauw *et al.* 2012). Doorzaaien van bestaand grasland is gunstiger voor het overleven van regenwormen en heeft de voorkeur mits het doel van een acceptabele grasmat daarmee wordt bereikt (Van Eekeren *et al.* 2014). Het totale aantal regenwormen en de regenwormbiomassa zijn sterk gecorreleerd met het vocht- en organische stofgehalte (vergelijk figuur 3.1 met figuur 3.2), twee factoren die doorgaans ook sterk onderling gecorreleerd zijn en die van grote invloed zijn op het voorkomen van regenwormen (Edwards & Bohlen 1996). Het kan echter niet worden uitgesloten dat de percelen al van elkaar verschilden voordat ze werden gerestaureerd.

Op luchtfoto's van omstreeks 2005 is duidelijk te zien dat perceel 1 was afgescheiden van de overige percelen (Foto 3.1). Dat onderscheid was echter minder aanwezig in 2012 en 2017. Tijdens de extreme droogte van 2018 is perceel 4 goed te onderscheiden van de overige percelen. Perceel 4 werd lange tijd gebruikt voor rijkuielen, waarbij onder andere zand vanuit de ondergrond naar boven is gebracht. Perceel werd de laatste 10 jaren bemest met vaste mest, maar dit heeft het organische stofgehalte nog steeds niet kunnen ophalen naar het niveau in de andere percelen. Bovendien bleef de grasopbrengst achter bij de andere percelen.



Foto 3.1. Luchtfoto's van geitenhouderij en kaasmakerij De Stroese Dame in Stroe (bron: Google Earth). Met nummers zijn de percelen aangeduid die in 2019 werden onderzocht: 1 – geploegd en ingezaaid, 2 – oud grasland, 2 – doorgezaaid grasland, 4 – geploegd, ingezaaid en ingeplant met fruitbomen. De zeer slechte toestand van het grasland in 2018 en de nieuwe toestand in 2019 zijn duidelijk waarneembaar.

3.5 Conclusies

Graslandvernieuwing door het onderploegen van de oude zode en het opnieuw inzaaien heeft in ieder geval in eerste instantie een sterk negatief effect op regenwormpopulaties en dan vooral op dat van strooiseleTERS. Doorzaaien van de bestaande grasmat heeft geen aantoonbaar negatieve effecten op de regenwormpopulaties.

4 Stimuleren van regenwormen in de vollegrondse tuinbouw

Ron de Goede & Shuran Hu

4.1 Inleiding

De Nieuwe Ronde is een biologische zelfoogst groentetuin aan de rand van Wageningen waar leden tijdens het groeiseizoen dagelijks zelf hun groenten kunnen komen oogsten. Het huidige beheer van de groentekwekerij is in handen van professionele tuinders en is vooralsnog niet gericht op het stimuleren van regenwormen. De gewasresten die achterblijven nadat de klanten hun groenten hebben geoogst worden niet systematisch verspreid op de groentebedden of gecomposteerd. Bovendien liggen de groentebedden grote delen van het jaar braak. De bovengrond wordt jaarlijks verstoord doordat er regelmatig grondbewerking plaatsvindt. Er is een kleine composthoop aanwezig op de kwekerij, maar daarop worden vooral resten vanuit het kippenverblijf op gedeponeerd. De kippenmest die wordt geproduceerd (en gecomposteerd) wordt niet specifiek benut op de tuinderij.

4.2 Onderzoeksvragen en hypothesen

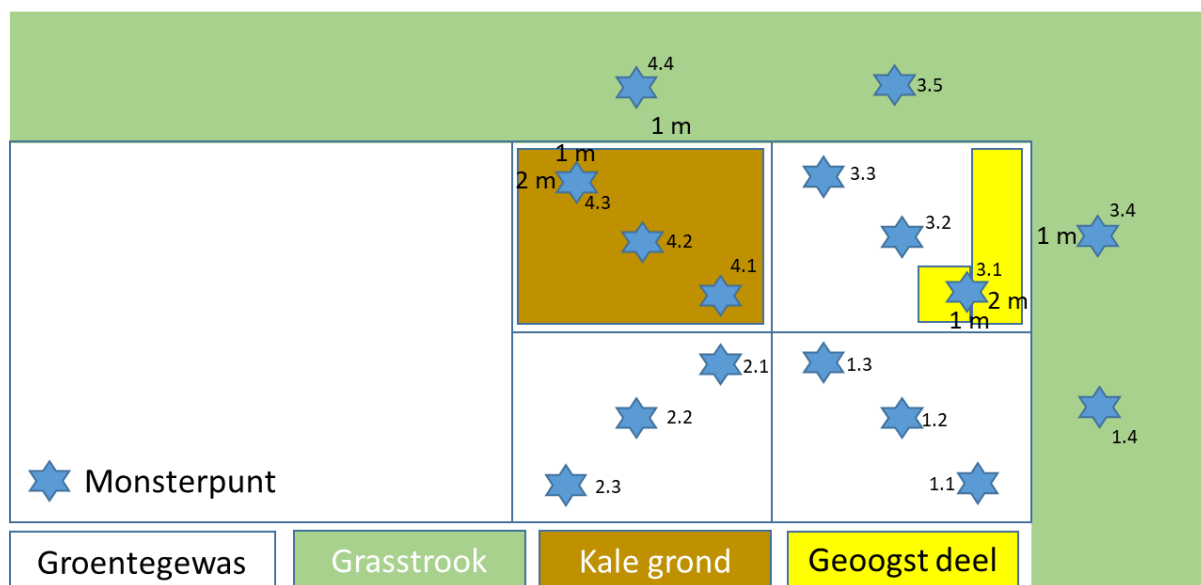
De hoofdvraag van het onderzoek was om te bepalen of toepassing van gewasresten op de groentebedden een stimulerend effect kunnen hebben op regenwormen en of het effect van de gewasresten op de regenwormen gevolgen heeft voor de bodemkwaliteit.

We veronderstellen dat het aanbieden van gewasresten in het veld aantrekkingskracht heeft op de regenwormen. Zij verschaffen een schuilplaats voor met name strooiseleTERS en verbeteren de microklimatologische omstandigheden in de bodem onder de gewasresten. In de huidige groentebedden zullen daarom geen tot zeer weinig strooiseleTERS voorkomen. De regenwormen zullen de gewasresten de bodem inwerken. De actieve regenwormpopulaties zullen bijdrage aan bodemstructuurvormingen, verhoging van de biologisch beschikbare fracties C, N en P, en stimulatie van de microbiële activiteit. Niet alle gewasresten zullen even aantrekkelijk zijn voor de regenwormen. Gewasresten met een relatief lage stikstofinhoud zijn waarschijnlijk het minst aantrekkelijk, maar verwacht wordt dat hun aantrekkelijkheid kan worden vergroot door het bijmengen van kippenmest.

4.3 Onderzoeksmethodiek

Het onderzoek bestond uit een drietal onderdelen. Allereerst werd de omvang en soorten-samenstelling van de regenwormpopulaties op de zelfoogst-groentekwekerij De Nieuwe Ronde onderzocht. De aantrekkingskracht van gewasresten op regenwormen werd onderzocht in een veldexperiment op de campus van de WUR en in een potexperiment onder geklimatiseerde omstandigheden. Hiervoor werden gewasresten en kippenmest gebruikt afkomstig van De Nieuwe Ronde.

Bemonsteringsschema september 2018



Figuur 4.1. Lay-out van het proefveld op de Nieuwe Ronde. In veldje 1 en 2 stond prei, 3 knolvenkel, en 4 was braak. Het veld werd aan twee zijden omzoomd door een grasstrook. De blauwe sterren geven de monsterpunten weer (3 per veld, 4 in de grasstrook). De afmeting van een veldje was circa 5 x 17 m.



Figuur 4.2. Luchtfoto's van De Nieuwe Ronde in april 2014 en juli 2018 en 2019. De ster geeft de positie van het onderzoekveld weer. De pijl wijst in de richting van het noorden. Het totale complex heeft een oppervlak van 1.35 ha.

3.4.1 Veldonderzoek op zelfoogst-groentekwekerij de Nieuwe Ronde

In één van de groentebedden was een tijdelijk proefveld (85 m²) aangelegd dat in vier veldjes was verdeeld. Op de veldjes 1 en 2 stond prei, op veldje 3 knolvenkel, en in veldje 4 groeide geen gewas en was de grond onbedekt. Het veldje met knolvenkel was al voor een groot deel geoogst door de klanten van de Nieuwe Ronde. Op het geoogste deel lagen achtergebleven gewasresten. In elk van de vier veldjes werden waarnemingen verricht op 3 strategisch gekozen plekken, en ook in de grasstrook die het groentebed aan twee zijden begrenste. Om de invloed van de grasstrook op de wormenpopulatie in de groentebedden inzichtelijk te maken werden de monsterpunten binnen de veldjes op verschillende afstanden van de grasstroken gekozen (Figuur 4.1). De monsters werden tussen (niet in) de rijen met groentegewas genomen.



Figuur 4.3. Proefveldje dat werd onderzocht (05-09-2018; A en B) op het voorkomen van regenwormen en een winterbeeld van de tuinderij (24-02-2020; C).

4.3.1.a Regenwormen

Motivatie: Verwacht wordt dat de regenwormpopulaties in de groentebedden matig ontwikkeld zullen zijn, zeker in vergelijking met de directe omgeving van de bedden, dat wil zeggen in de grasstroken die looppaden vormen in de kwekerij. In deze grasstroken verwachten we alle drie de ecologische groepen regenwormen aan te treffen, namelijk de strooiseleTERS, pendelaars en grondeters. Vooral strooiseleTERS en met name pendelaars zullen het moeilijk hebben in de groentebedden.

Plan van aanpak: Op 5 september 2018 werden in elk veldje 3 bodemonsters (20 x 20 x 20 cm³) onderzocht op regenwormen. De regenwormen werden ter plekke handmatig uitgezocht en

verzameld voor verdere analyse in het laboratorium. Elk monstergat werd 1-2 liter 0.01% AITC gegoten om eventueel aanwezige pendelaars naar boven te drijven en te verzamelen.

In het laboratorium werden de wormen 24 uur bewaard om hun darm te kunnen legen, waarna het vers gewicht van alle samen wormen per monster werd bepaald. Vervolgens werden de wormen bewaard in 70% alcohol en gedetermineerd tot op soort (adulten: Sims & Gerard (1985), juvenielen: Stöp-Bowitz (1969)).

4.3.1.b Bodemeigenschappen

Vochtigheid

Ongeveer 20 gram verse grond uit het regenwormmonstergat werd exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius. De gewichtsafname werd gebruikt om het vochtgehalte te bepalen.

Organisch stofgehalte

Ongeveer 20 gram verse grond uit het regenwormmonstergat werd exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius en weer gewogen. Daarna werd de grond verbrand bij 550°C en gewogen. Het organisch stofgehalte is gelijk aan het gewichtsverlies door verbranding.

pH

De pH werd bepaald in grond uit het regenwormmonstergat. De pH werd gemeten met een electrode in een grond – water suspensie van 5 gram verse grond met 25 ml demi water.

Bulkdichtheid

De bodemdichtheid (bulkdichtheid) werd gemeten met behulp van een stalen ring met een diameter van 50 mm en een hoogte van 50 mm. Deze werden op 75 mm en 150 mm diepte in de zijwand van het regenwormmonstergat gestoken (3 per veldje; 4 in de grasstrook). Na drogen bij 105°C werd het drooggewicht van de grond bepaald en gebruikt om de bodemdichtheid (g dm^{-3}) te berekenen.

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand direct rondom de regenwormbemonsteringgangen gemeten, vier metingen per monsterpunt. Hiervoor is gebruik gemaakt van een digitale penetrologger (standaard penetrologger, Eijkelkamp) met een lengte van 80 cm en een conushoek van 60 graden en oppervlak van 1 cm^2 . Per veld werd op 3 (4 in de grasstrook) plekken een meting uitgevoerd. De resultaten van deze 4 boringen zijn samengevoegd tot één gemiddelde per plek.

3.4.2 Veldonderzoek op Wageningen campus

Motivatie: Het is algemeen bekend dat het braakleggen van grond niet bevorderlijk is voor een goed ontwikkeld bodemleven. Het achterlaten van gewasresten in het veld creëert een gunstig micro-klimaat (het dempt temperatuurfluctuaties en remt verdamping), bovendien vormen ze een voedsel-bron voor regenwormen. In een veldproef werd onderzocht wat de aantrekkingskracht is van gewasresten op de lokaal aanwezige regenwormpopulatie.

Plan van aanpak: In een proefveld op Wageningen Campus werd een gerandomiseerde blokkenproef ($8.5 \times 5.5 \text{ m}^2$) aangelegd waarin binnen plotjes van $50 \times 50 \text{ cm}^2$ gewasresten afkomstig van De Nieuwe Ronde werden uitgespreid. De afstand tussen de plotjes was 1 m. Er werden gewasresten van 4

groenten getest (prei, witte kool, spruitjes, pastinaak) in drie herhalingen. Als controle waren er ook 3 plotjes zonder gewasresten. Er was gekozen voor een blokkenproef om voor het eventuele effect van de aangrenzende grasstrook te kunnen corrigeren.

De gewasresten werden op 18 oktober 2018 verzameld op De Nieuwe Ronde en bewaard in een koelcel. Op 11 november 2018 werd op elk plotje een hoeveelheid gewasresten aangebracht die overeenkwam met 100 g droge stof. Dit werd twee weken na de start van de veldincubatie herhaald.

4.3.2.a Regenwormen

Op 11 december 2018 in het midden van elk 50 x 50 cm² plotje een regenwormmonster gestoken van 20 x 20 x 20 cm³ waarin de regenwormen handmatig werden uitgezocht. De regenwormen werden in het laboratorium geteld.

4.3.2.b Bodemvocht

Elke tweede dag tussen 11:00 en 13:00 uur werd het bodemvochtgehalte in elk plotje bepaald met een ML3 ThetaProbe bodemvochtsensor.

4.3.2.c Temperatuur

Elke tweede dag tussen 11:00 en 13:00 uur werd de bodemtemperatuur in elk plotje gemeten met een temperatuursensor (DT150 nr 13-07-96, Conrad) gemeten.

3.4.3 Potonderzoek

Motivatie: Effecten van regenwormen op het de grond inwerken van gewasresten en de consequenties voor de groei van de regenwormen en hun effect op de bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid en microbiële activiteit kunnen het best worden onderzocht in de gecontroleerde omgeving van het laboratorium.

4.3.3.a Proefopzet

De potproef werd uitgevoerd met grond afkomstig van proefboerderij Droevendaal (Unifarm, Wageningen University & Research). De potten (diameter: 115 mm; hoogte 270 mm) werden gevuld met 2352 gram (vers gewicht) grond met een bulkdichtheid van 1.3 g cm⁻³ en een vochtgehalte van 60% waterhoudend vermogen. Bovenop de grond werden gewasresten aangebracht van vier verschillende gewassen, namelijk bladeren van prei, witte kool, spruitjes en pastinaak. Deze gewasresten waren op dit moment in de herfst royaal beschikbaar op de kwekerij. Helaas kon knolvenkel, dat wel in het veld was onderzocht, daarom niet worden toegevoegd aan het potexperiment. Aan de helft van de potten werd bovendien kippenmest en/of regenwormen toegevoegd. De proef werd uitgevoerd als een gerandomiseerde volledige blokkenproef met vier herhalingen, met dit verschil dat de behandeling 'geen gewasresten + geen kippenmest + wel regenwormen' niet werd onderzocht, aangezien het 'houden' van regenwormen in afwezigheid van voedsel ongewenst werd geacht. De proef bestond daarmee uit 76 potten met 19 ((4 factoren <+/-kippenmest; +/-regenwormen) x 4 gewasresttypen) + 3 controles) unieke behandelingen en 4 herhalingen.

De gewasresten werden verzameld op 18 oktober op de zelfvoegst-groentekwekerij De Nieuwe Ronde en bewaard in een koelcel.

De kippenmest en gewasresten werden gemend in een verhouding van 3 gewichtsdelen gewasrest op 7 gewichtsdelen kippenmest (Bansal & Kapoor, 2000). Per pot werd een hoeveelheid verse gewasrest of kippenmest toegevoegd die overeenkwam met 1 gram droge stof (gemeten na drogen bij 70°C). Om de regenwormen van voldoende voedsel te voorzien werden de gewasresten/kippenmest toegediend bij aanvang (9 november 2018) en tweemaal tijdens het experiment (30 november, 21

december 2018). Hierbij werd uitgegaan van een voedselconsumptie van 0.017 gram per gram regenworm per dag (Shipitalo *et al.* 1988). Tegelijk met het toedienen van extra voedsel werd ook het vochtgehalte van de grond in te potten bijgesteld.

Als regenworm werd gekozen voor *Lumbricus rubellus*. Van deze soort, die bekend staat als strooisel-eter maar ook deels het gedrag van een grondeter heeft, kan worden verwacht dat ze zal foerageren op bovengronds aangeboden gewasresten. Ook had vooronderzoek uitgewezen dat *L. rubellus* voorkomt op de kwekerij. De wormen voor de potproef werden verzameld op 7 november 2018 op de campus van Wageningen University & Research en twee dagen bewaard zodat ze hun darm konden legen. Aan elke regenwormenpot werden 3 individuen van *L. rubellus* toegevoegd nadat hun gezamenlijk gewicht was bepaald. Dit komt neer op een dichtheid van 265 regenwormen per m², een dichtheid die ongeveer 4x hoger is dan gemiddeld in tuinderijen (Didden, 2001). Om te voorkomen dat de regenwormen zouden ontsnappen werden alle potten afgedekt met geperforeerd plastic dat werd bevestigd met een elastiek.

De potten werden in het donker geïncubeerd bij een constante temperatuur van 15 °C en een duur van 60 dagen.

4.3.3.b Groei van de regenwormen

Na 60 dagen werd het aantal en het gewicht van de regenwormen bepaald. De regenwormen kregen 48 uur de tijd om hun darm te legen waarna ze werden gewogen.

4.3.3.c Gewichtsverlies gewasresten

Na 60 dagen werden de op het oppervlak liggende gewasresten verzameld, schoongespoeld, gedroogd en gewogen bij 70°C.

4.3.3.d Water-stabiele aggregaten

De grond uit de potten werd 24 uur gedroogd bij 40°C en gezeefd over 2 mm. In de gedroogde grond (40 gram) van twee van de vier herhalingen werd de hoeveelheid stabiele aggregaatjes bepaald door middel van 'wet sieving'. In het kort, een bekende hoeveelheid grond wordt onderwater gezeefd over een serie zeven met afnemende maaswijdte, namelijk 2000, 250 en 53 µm. De aggregaatjes die op de zeven achterblijven worden verzameld, gedroogd en gewogen.

4.3.3.e Bodemademhaling

Na 27 en 59 dagen werd de bodemademhaling bepaald door de potten hermetisch af te sluiten met plastic waaronder de CO₂ gedurende drie uur kon accumuleren. De CO₂ concentratie werd gemeten met een gas monitor (Photoacoustic Gas Monitor INNOVA 1412) door middel van twee injectie-naalden die door het plastic werden geprikt.

4.3.3.f pH

De pH werd bepaald in een grond-water-suspensie van 1 deel grond op 10 delen 0.01 M CaCl₂ oplossing.

4.3.3.g Nutriëntengehalte

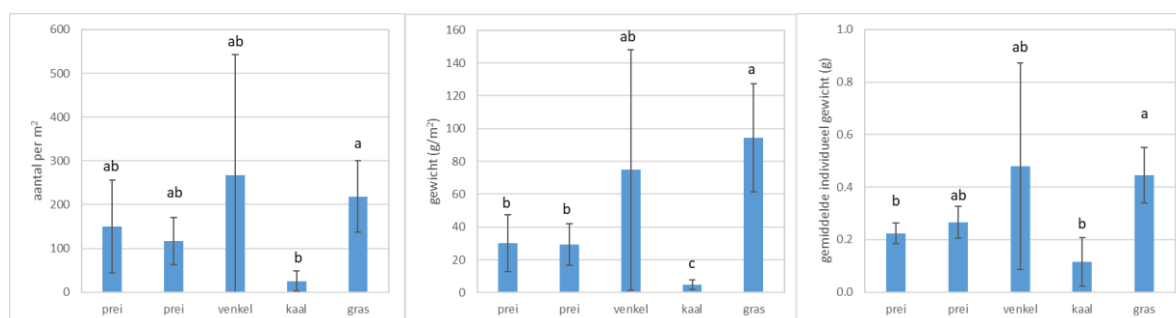
In dezelfde oplossing als waarin de pH werd gemeten werd ook the N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ + NO₂⁻ en den P-PO₄³⁻ gemeten op een SFA. Het totaal N- en P-gehalte van de residuen werd gemeten op een SFA na destructie (0.8 M H₂SO₄). Hiervoor werd het plantenmateriaal geoxideerd met H₂O₂ en behandeld met H₂SO₄ bij 330°C.

4.3.3.h Organische stofgehalte

Ongeveer 20 gram verse grond werd exact afgewogen en gedroogd bij 105 graden Celsius en weer gewogen. Daarna werd de grond verbrand bij 550°C en gewogen. Het organische-stofgehalte is gelijk aan het gewichtsverlies door verbranding.

4.4 Resultaten

4.4.1 Waarnemingen op zelfoogst-groentekwekerij De Nieuwe Ronde



Figuur 4.4. Gemiddelde regenwormendichtheid (aantal per m²), -biomassa (g vers gewicht per m²) en individueel gewicht (g vers gewicht) in een groentebed (prei, knolvenkel), een bed zonder gewas (kaal) en in de grasstrook rondom de groentebedden (5 september 2018). Foutenbalken geven ±1.96x de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (t.test, p≤0.05).

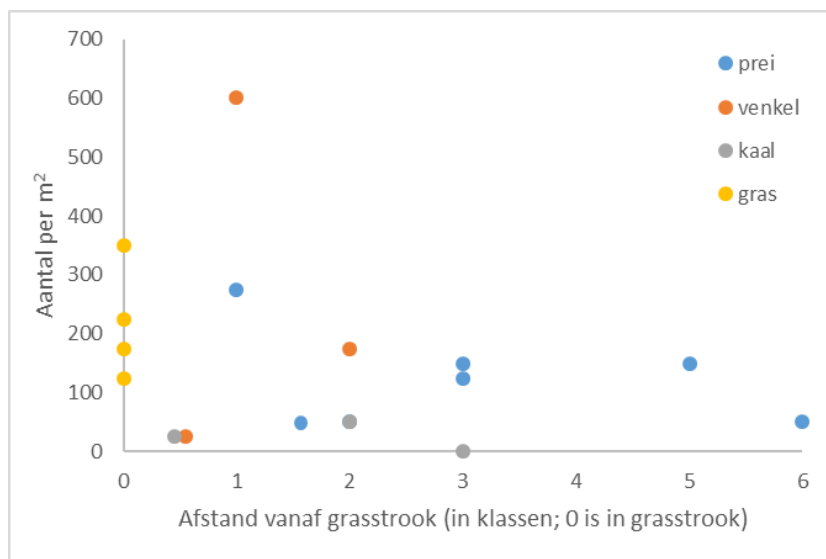
Tabel 4.1. Gemiddeld aantal (per m²) regenwormen per soort per gewassoort.

Gewastype	Regenwormsoort				Totaal
	<i>A. chlorotica</i>	<i>A. caliginosa</i>	<i>L. rubellus</i>	<i>L. castaneus</i>	
Prei-1	0	142 ab	8	0	150 ab
Prei-2	0	117 ab	0	0	117 ab
Venkel	0	233 ab	33	0	267 ab
Braak	0	25 b	0	0	25 b
Gras	13	144 a	25	38	219 a

Gemiddelden gevolgd door verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (t.test, p≤0.05).

In het braakliggende deel van het proefveld werd de laagste dichtheid en biomassa aan regenwormen gevonden (figuur 4.4). Zoals verwacht was de biomassa het hoogste in de grasstroken om de groentepercelen heen, maar deze verschilde niet van het knolvenkelperceel dat ook relatief hoge regenwormaantallen had. Onder deze twee laatste gewassen (gras en knolvenkel) werden ook de gemiddelde zwaarste regenwormen aangetroffen.

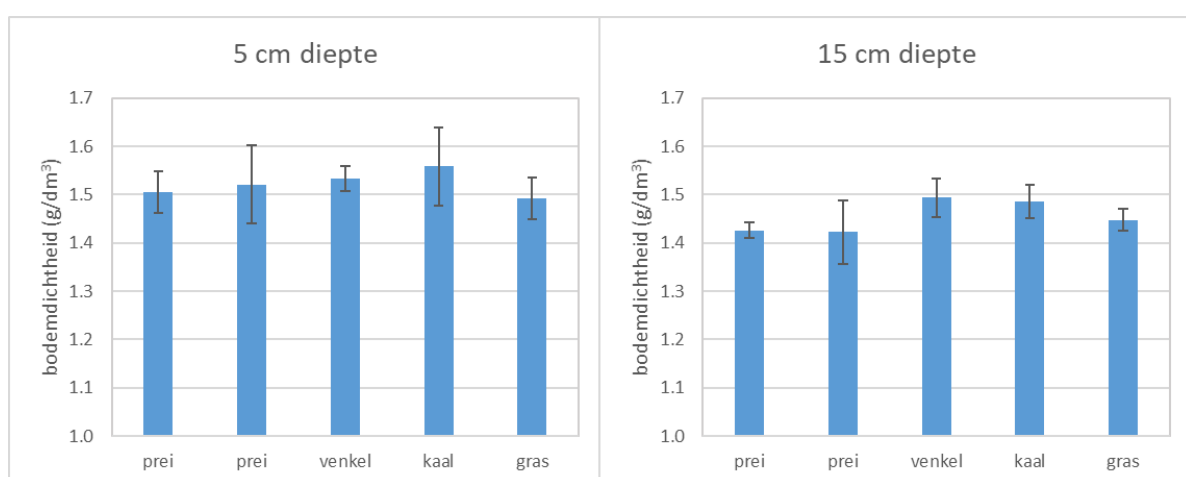
In de grasstroken werden vier soorten regenwormen aangetroffen (*Aporrectodea chlorotica*, *A. caliginosa*, *Lumbricus rubellus* en *L. castaneus*). In de groentebedden was de grondeter (endogeic) *A. caliginosa* de dominante soort en werd de strooiseleter (epigeic) *L. rubellus* zo nu en dan in lage dichtheid aangetroffen. In het braakliggende veldje had ook *A. caliginosa* een extreem lage dichtheid. Verwacht werd dat de grasstrook een positief effect zou hebben op de regenwormpopulaties in de bedden. In figuur 4.5 is dat echter niet duidelijk terug te zien.



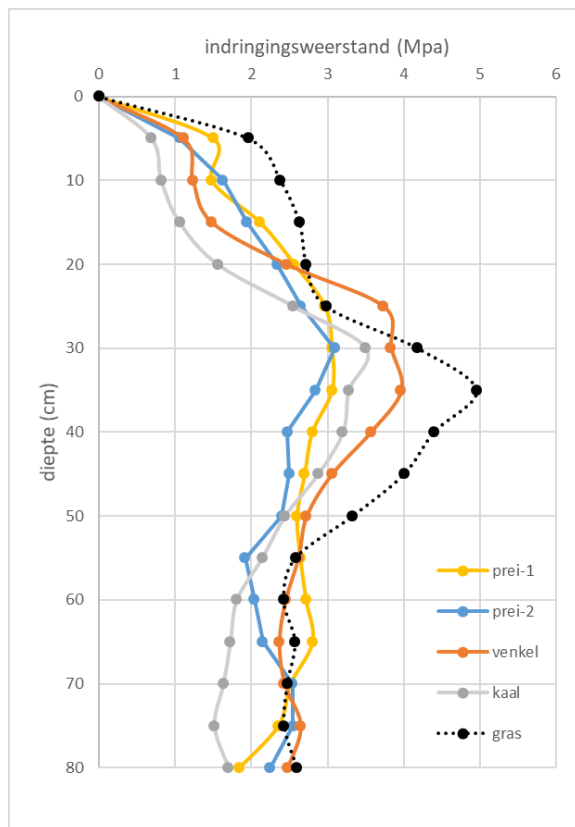
Figuur 4.5. Totaalaantal regenwormen in de groentebedden en aangrenzende grasstrook als functie van de afstand (gegeven in afstandsklassen) tot de grasstrook. De verschillende gewassen (prei, knolvenkel, kale grond, gras) zijn weergegeven met verschillende kleuren.

De bodemdichtheid op circa 5 cm diepte was verhoogd ten opzichte van de bodemdichtheid op circa 15 cm diepte (Figuur 4.6). Er waren geen verschillen tussen de diverse gewassen. In dezelfde 0-20 bodemlaag was de indringingsweerstand het hoogst in de grasstroken en het laagst in het braakliggende deel en onder de knolvenkel (Figuur 4.7; tabel 4.2). De preiveldjes namen een tussenpositie in. De verhoogde indringingsweerstand tussen de 25 en 30 cm diepte duidt op de aanwezigheid van een ploegzool.

De verschillen in bodemvocht en organische stof waren klein of niet statistisch significant (Figuur 4.8). Het gemiddelde organische stofgehalte was 2.9%. De pH varieerde van 6.5 tot 6.7 (Figuur 4.8).



Figuur 4.6. Bodemdichtheid (g/dm³) op 5 en 15 cm diepte in een groentebed (prei, knolvenkel), een bed zonder gewas (kaal) en in de grasstrook rondom de groentebedden. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Geen van de velden verschilt statistisch significant van elkaar (t.test, $p > 0.05$).

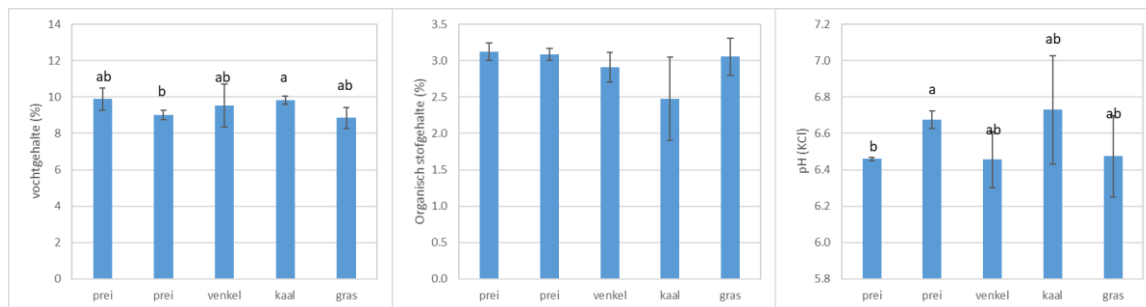


Figuur 4.7. Indringingsweerstand (Mpa) per 5 cm bodemdpte in een groentebed (prei, knolvenkel), een bed zonder gewas (kaal) en in de groenstrook rondom de groentebedden.

Tabel 4.2. Indringingsweerstand (Mpa) per 5 cm bodemdpte in een groentebed (prei, knolvenkel), een bed zonder gewas (kaal) en in de groenstrook rondom de groentebedden.

Diepte	Gewas									
	Prei-1		Prei-2		Venkel		Kaal		Gras	
5	1.50	ab	1.06	b	1.11	b	0.69	b	1.78	a
10	1.48	ab	1.63	ab	1.23	b	0.82	b	2.11	a
15	2.12	ab	1.94	abc	1.48	c	1.06	c	2.13	a
20	2.57	a	2.34	ab	2.47	a	1.56	b	2.34	a
25	2.97	a	2.65	b	3.73	ab	2.55	ab	2.73	ab
30	3.06	b	3.09	b	3.83	ab	3.50	ab	4.13	a
35	3.06	bc	2.84	c	3.97	b	3.28	bc	4.59	ad
40	2.80	ab	2.48	b	3.57	a	3.20	a	3.99	a
45	2.70	ab	2.50	b	3.06	ab	2.88	b	3.79	a
50	2.60	-	2.40	-	2.73	-	2.44	-	3.09	-
55	2.64	-	1.92	-	2.62	-	2.14	-	2.31	-
60	2.72	-	2.04	-	2.45	-	1.81	-	2.20	-
65	2.80	a	2.15	ab	2.37	ab	1.73	b	2.55	b
70	2.52	-	2.54	-	2.43	-	1.63	-	2.53	-
75	2.36	ab	2.54	a	2.65	a	1.51	b	2.53	a
80	1.84	-	2.25	-	2.48	-	1.70	-	2.71	-

Gemiddelden gevolgd door verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (t.test, $p \leq 0.05$).



Figuur 4.8. Bodemvochtigheid, organische stofgehalte (%), en pH in de 0-20 cm bodemlaag in een groentebed (prei, knolvenkel), een bed zonder gewas (kaal) en in de grasstrook rondom de groente bedden. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (t.test, $p \leq 0.05$).

4.4.2 Effecten van gewasresten op regenwormen

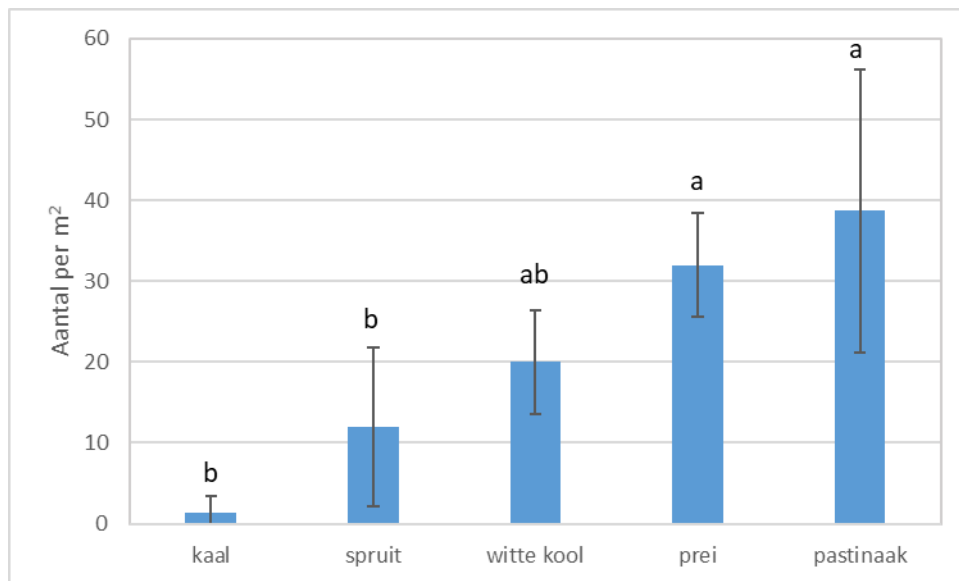
4.4.2.a Aantrekkingskracht van gewasresten op regenwormen

De regenwormen hadden een duidelijke voorkeur voor de grond onder de gewasresten (Figuur 10). Verreweg de minste regenwormen werden aangetroffen in de braakliggende grond. De aantallen namen toe van spruit, via witte kool, naar prei en pastinaak.

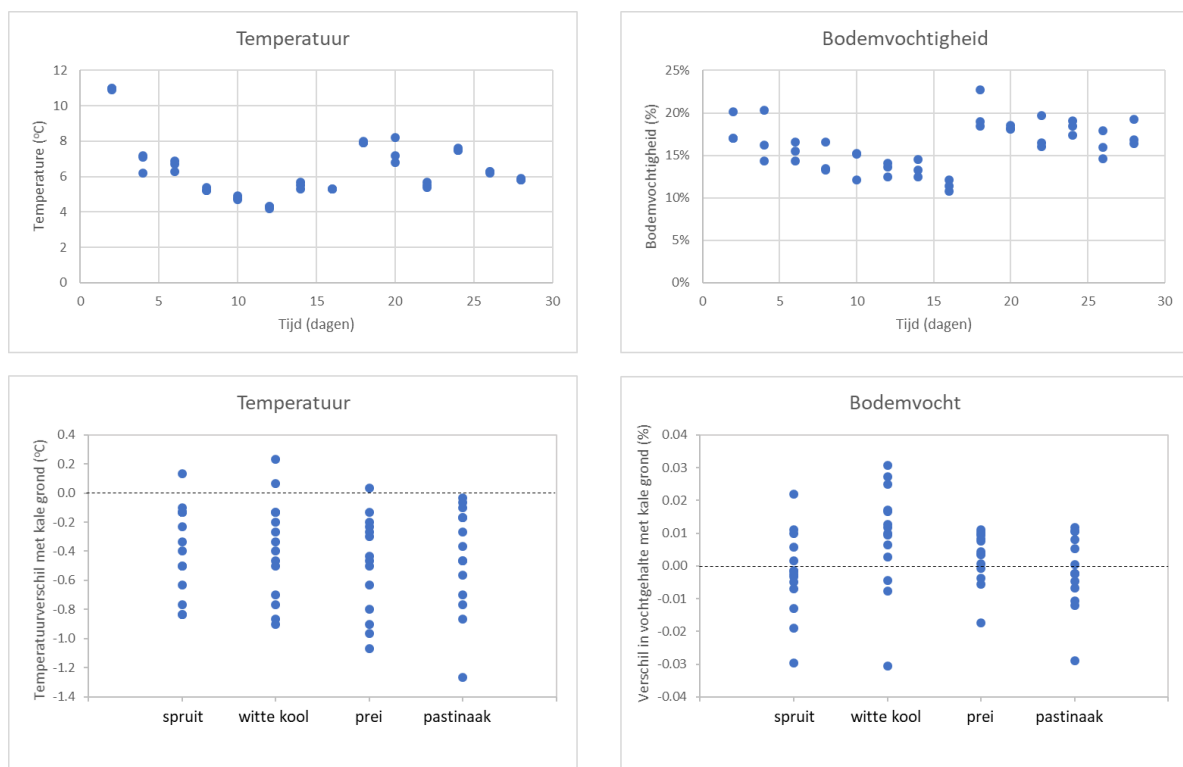
Gedurende de proefperiode fluctueerde de bodemtemperatuur (gemeten midden op de dag) in de proefplotjes tussen de 4 en 11 graden Celsius en de bodemvochtigheid tussen de 10 en 23% (Figuur 4.11). In Figuur 4.11 is te zien dat de temperatuur onder de gewasresten doorgaans lager was dan die in de braakliggende grond. Dergelijke verschillen tussen braak en gewasresten ontbraken voor het bodemvochtgehalte, behalve dan voor een trend tot nattere condities onder witte kool.



Figuur 4.9. Veldproef waarin de aantrekkingskracht van gewasresten op regenwormen werd onderzocht (links). Rechts een detail van 0.25 m² grond bedekt met preiresten.



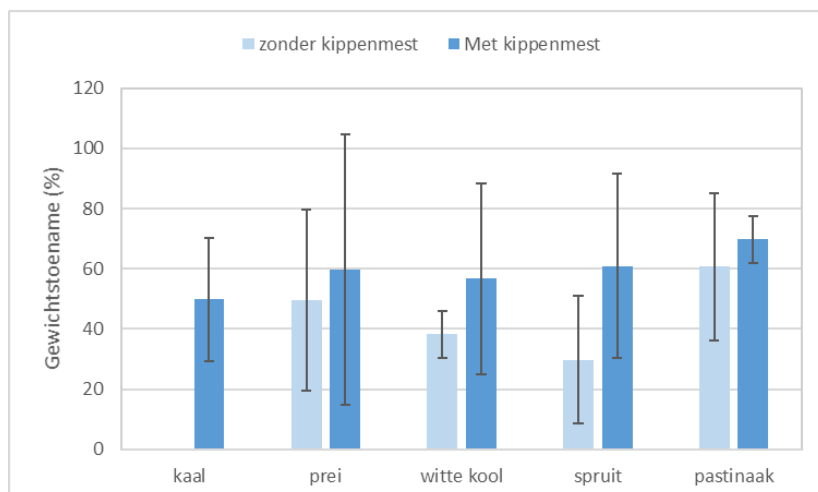
Figuur 4.10. Regenwormdichtheid (n per m²) onder gewasresten van vier soorten groenten (prei, witte kool, spruit, pastinaak) en kale grond in een veldproef. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (Anova, $p \leq 0.05$).



Figuur 4.11. Verloop van de temperatuur (gemeten tussen 11 en 13 uur) en het vochtgehalte in onbedekte braakliggende grond (bovenste panelen), en het verschil in bodemtemperatuur en -vochtigheid tussen braakliggende grond en grond bedekt met gewasresten (onderste panelen; waarden >0: gewasresten > braak).

4.4.2.b Effect van gewasresten op de groei van regenwormen

Aan het einde van de proefperiode, dat wil zeggen 60 dagen na de start van het experiment, waren in alle behandelingen de regenwormen zwaarder (53%) geworden (Figuur 4.12).



Figuur 4.12. Toename van het lichaamsgewicht van regenwormen in potjes waaraan verschillende gewasresten waren toegevoegd die al dan niet werden gemengd met kippenmest. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Geen van de behandelingen resulteerde in een statistisch significant verschil tussen de gewasresten en/of kippenmesttoevoeging (Anova, $p > 0.05$).

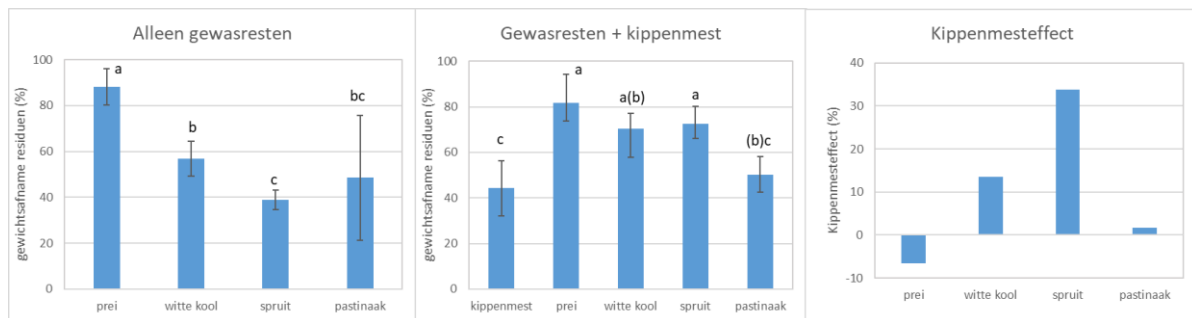
4.4.3 Effect van regenwormen op gewasresten en bodem

4.4.3.a Effect van regenwormen op het de grond inwerken van gewasresten

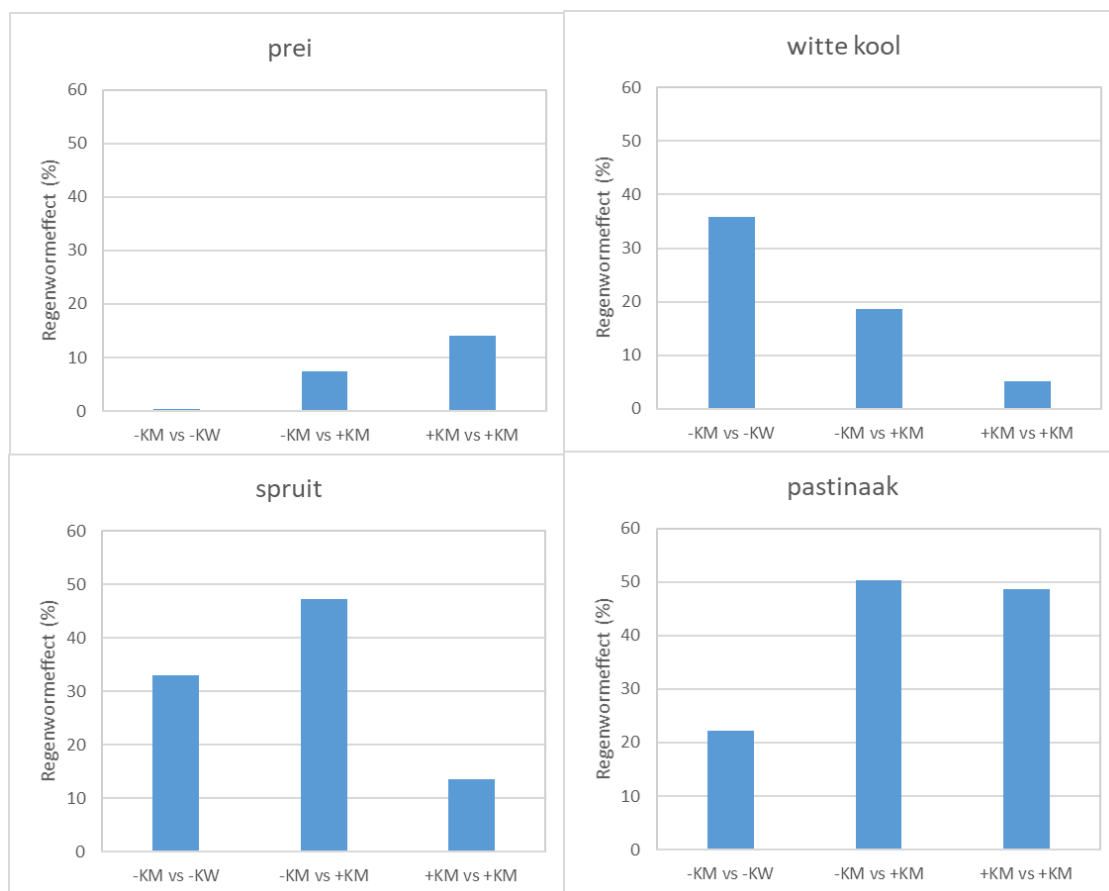
Het gewicht aan gewasresten dat aan het einde van het experiment werd teruggevonden op het bodemoppervlak in afwezigheid van regenwormen was het kleinst voor prei (12%) en het grootst voor spruit (61%) en pastinaak (52%) (Figuur 4.13). Het bijmengen van kippenmest resulteerde erin dat meer gewasrest van witte kool, maar vooral van spruit verdween (extra verlies bij witte kool en spruit was respectievelijk 13.5 en 33.8%; Figuur 4.13, midden en rechter paneel). Het had geen effect op het verdwijnen van prei en pastinaak.

In Figuur 4.14 staat weergegeven wat het specifieke effect van regenwormen was op het verdwijnen van het gewicht aan gewasresten in aan- en afwezigheid van bijgemengde kippenmest. Zonder bijmengen van kippenmest hadden regenwormen geen effect op de gewichtsafname van gewasresten van prei. Dat wil zeggen dat in afwezigheid van regenwormen de gewichtsafname van preigewasresten even groot was als in aanwezigheid van regenwormen, d.w.z. bijna 90%. Daarentegen zorgden regenwormen voor een $>20\%$ grotere gewichtsafname van de gewasresten van pastinaak en een $>30\%$ grotere gewichtsafname van de gewasresten van witte kool- en spruit (Figuur 4.14, linker staafjes). Het bijmengen van kippenmest aan de gewasresten had vooral een sterk effect op de

bijdrage van regenwormen aan het gewichtsverlies van spruit en pastinaak (rond de 50%) en veel minder voor witte kool (<20%) en prei (<10%) (Figuur 4.14, middelste staafjes). Het toevoegen van regenwormen aan een mengsel van gewasresten en kippenmest had alleen een zeer sterk effect op de gewichtsafname van pastinaak (bijna 50%) en veel minder (<15%) voor de overige gewasresten (Figuur 4.14, rechter staafjes).



Figuur 4.13. Gewichtsafname (%) van gewasresten alleen (linker panel), gemengd met kippenmest (midden) en het effect (%) van het toevoegen van kippenmest na 60 dagen incubatie. In geen van de behandelingen waren regenwormen aanwezig. Foutenbalken geven ± 1.96 de standaardfout weer. Staafjes met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (t.test, $p \leq 0.05$; ...) is $p < 0.10$.

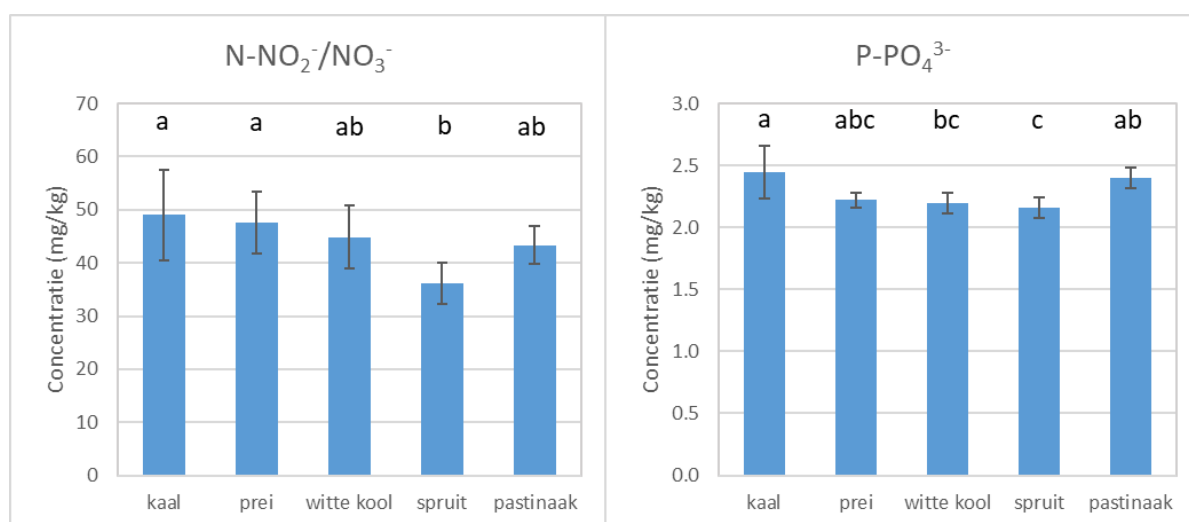


Figuur 4.14. Het effect (%) van de aanwezigheid van regenwormen op de gewichtsafname van gewasresten alleen (-KM) of een mengsel van gewasresten en kippenmest (+KM) na 60 dagen incubatie. Per behandeling is weergegeven wat het procentuele verschil in gewichtsafname is wanneer potten zonder regenwormen worden vergeleken met potten met regenwormen.

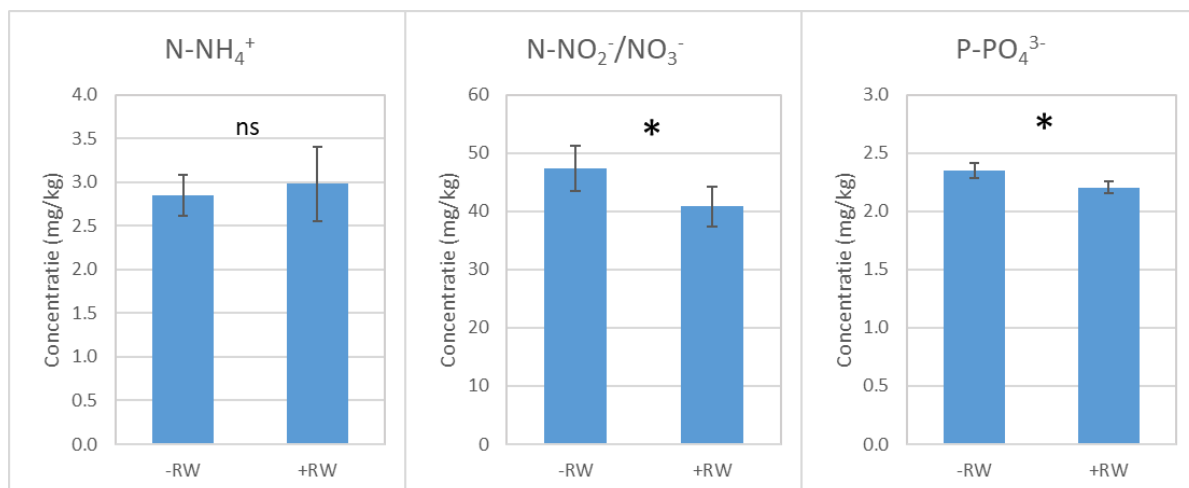
4.4.3.b Effect van gewasresten en regenwormen op bodemchemische en -biologische parameters

In de grond waaraan gewasresten van spruit waren toegevoegd werd de laagste beschikbare stikstofconcentratie gemeten. De hoogste concentraties werden gemeten in grond waaraan prei was toegevoegd en in de controle zonder gewasresten (Figuur 4.15). Ook het gehalte aan fosfaat was het hoogst in de controle zonder gewasresten. De laagste concentratie werd wederom gevonden voor spruit, maar nu scoorde prei en witte kool ook laag. De aanwezigheid van regenwormen had geen effect op de beschikbaarheid van ammonium-stikstof (Figuur 4.16). Wel verlaagde regenwormen het nitraat- en het fosfaatgehalte.

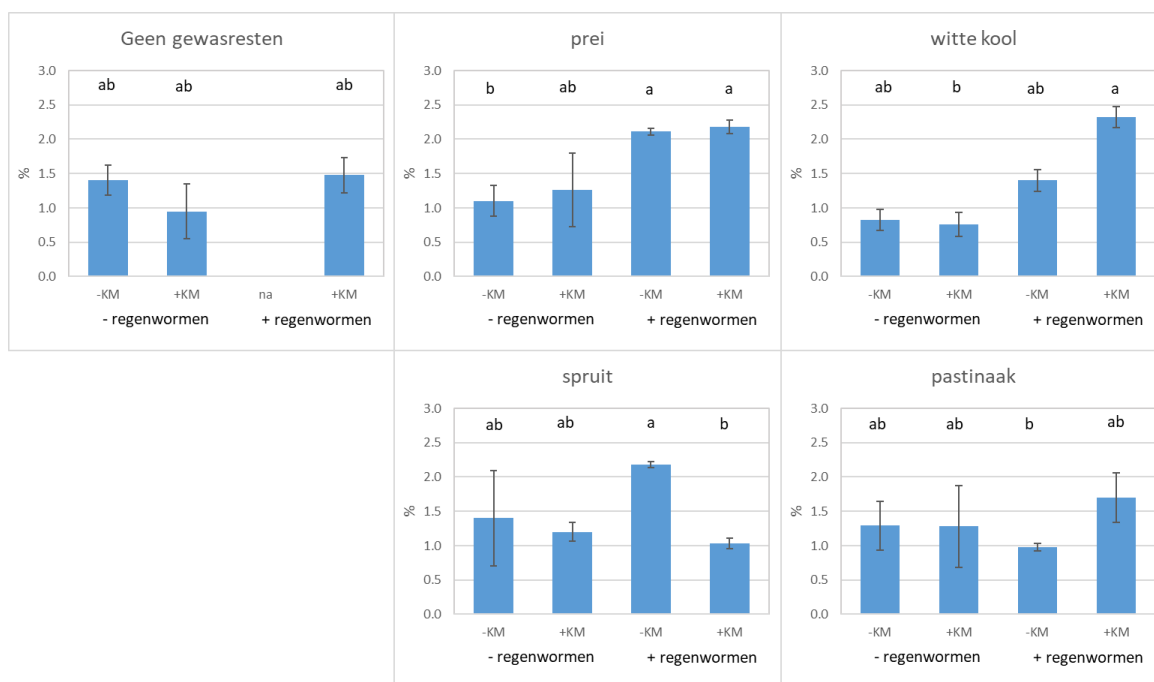
In afwezigheid van regenwormen was het aandeel van macro-aggregaten ($>2000\ \mu\text{m}$) minder dan 1.5 gewichtsprocent, onafhankelijk van welk gewasresttype werd toegevoegd (Figuur 4.17). Het toevoegen van kippenmest had hierop geen effect. Ook het toevoegen van regenwormen aan potten met kippenmest resulteerde niet in een statistisch significante toename van de hoeveelheid macro-aggregaten. De hoeveelheid macro-aggregaten nam wel toe wanneer regenwormen werden 'gevoerd' met preiresten en, zij het niet statistisch significant, met resten van spruit. Het mengen met kippenmest had hier geen extra positief effect, in tegendeel, in geval van spruit had het een negatief effect. Voor witte kool leidde het toevoegen van regenwormen tot een toename van de hoeveelheid macro-aggregaten, hetgeen extra versterkt werd door ook kippenmest toe te voegen. Voor pastinaak was er alleen een hooguit lichte trend in de toename van macro-aggregaten wanneer zowel regenwormen als kippenmest werd toegevoegd. De aanwezigheid van regenwormen had ook een positief, maar slechts klein effect op de aggregaten in de grootteklasse tussen $250\text{--}2000\ \mu\text{m}$ (zonder of met regenwormen, respectievelijk 39.3 en 41.8% aggregaten, $p=0.015$). Bij pastinaak werden significant de minste $250\text{--}2000\ \mu\text{m}$ aggregaten gevormd en bij prei de meeste (respectievelijk 37.5 en 42.9%, $p=0.008$).



Figuur 4.15. Effect van de gewasresten op de nitraat- en fosfaatconcentratie in de bodem na 60 dagen incubatie. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (Anova, $p \leq 0.05$).

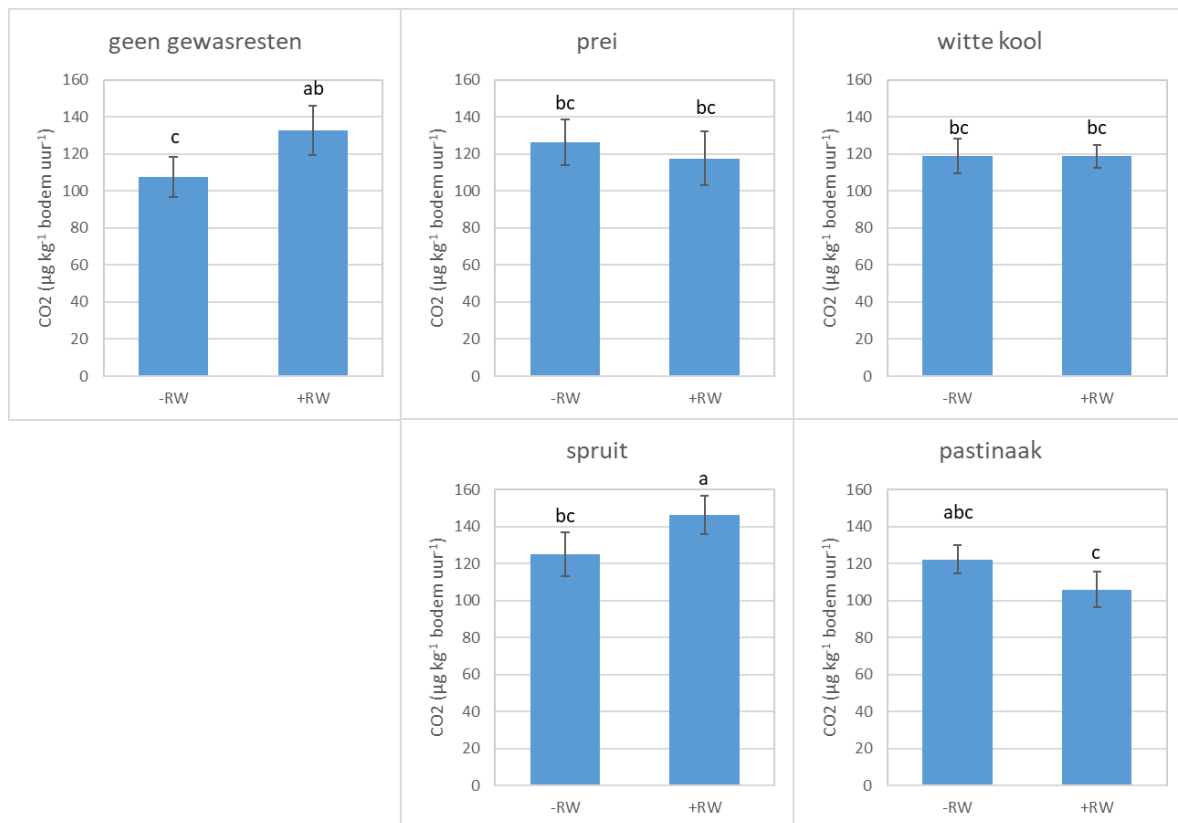


Figuur 4.16. Effect van regenwormen (- of + regenwormen is resp. -RW en +RW) op de ammonium, nitraat en fosfaatconcentratie in de bodem na 60 dagen incubatie. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Anova, * $p \leq 0.05$; ns $p > 0.05$.



Figuur 4.17. Effect van regenwormen op het aantal macro-aggregaten (>2000µm) in aanwezigheid van verschillende soorten gewasresten die al dan niet werden gemengd met kippenmest. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (dit geldt ook voor vergelijking tussen de panelen onderling; Anova, $p \leq 0.05$).

In afwezigheid van gewasresten maar wel kippenmest, resulteerde het toevoegen van regenwormen in een verhoogde bodemademhaling (Figuur 4.18, linksboven). Alleen het toevoegen van gewasresten van spruit leidde tot een verder verhoging van de bodemademhaling door de aanwezigheid van regenwormen. Omgekeerd was er in aanwezigheid van pastinaak een trend tot een afname van de bodemademhaling door de aanwezigheid van regenwormen.



Figuur 4.18. Effect van regenwormen op de bodemademhaling in aanwezigheid van verschillende soorten gewasresten. Foutenbalken geven $\pm 1.96 \times$ de standaardfout weer. Balken met verschillende letters verschillen statistisch significant van elkaar (dit geldt ook voor vergelijking tussen de panelen onderling; Anova, $p \leq 0.05$).

4.5 Discussie

Het doel van het onderzoek was om te onderzoeken hoe regenwormpopulaties zouden kunnen worden gestimuleerd op een groententuin. Kritische factoren daarbij zijn het voedselaanbod voor de wormen en de grondbewerking. Dit onderzoek heeft zich vooral beziggehouden met de rol van gewasresten als voedselbron voor de regenwormen en de gevolgen daarvan voor de bodemkwaliteit. Verwacht werd dat er bij een beheer waarbij tijdens langere perioden geen voedsel voor de regenwormen aan het bodemoppervlak beschikbaar is, er vooral minder strooiseleTERS (epigeic regenwormen) aanwezig zullen zijn. Het aanbieden van gewasresten zal deze strooiseleTERS stimuleren en zal gevolgen hebben voor de afbraaksnelheid van de gewasresten en daarmee voor de bodemvruchtbaarheid, maar ook voor bijvoorbeeld de bodemstructuur. Gewasresten van verschillende groentesoorten zullen een verschillende aantrekkingskracht hebben op de regenwormen. We verwachtten dat deze aantrekkingskracht beïnvloed zou kunnen worden door manipulatie van de gewasresten. We hebben onderzocht of bijmengen van kippenmest effect heeft op de aantrekkingskracht van de gewasresten voor epigeic regenwormen (strooiseleTERS).

De veldonderzoekjes wezen uit dat gewasresten een sterke aantrekkingskracht uitoefenen op regenwormen. Onder de gewasresten werden meer regenwormen aangetroffen dan op plekken waar de grond braak lag. Dat gold zowel voor de zelfplukgroentetuin als in het experiment in een akker op de campus van Wageningen University & Research. Maar in de zelfplukgroentetuin waren uiteindelijk toch de grasstroken rondom de groentebedden het rijkst aan regenwormenaantallen en -soorten. In de groentebedden was de grondeter *Aporrectodea caliginosa* (de gewone grauwworm; endogeic) het

meest algemeen en werd zo nu en dan de strooiseleter *Lumbricus rubellus* (gewone blauwkopworm) aangetroffen. *A. caliginosa* is in Nederland een zeer algemeen voorkomende worm in landbouw-bodems en is vaak de dominante soort in akkers (BEO database, pers. observ.). In de groentebedden zouden goed ontwikkelde populaties van *L. rubellus* en andere strooiseleTERS een bijdrage kunnen leveren aan het verteren van gewasresten en het in de grondwerken ervan. Ook pendelaars (bijvoorbeeld *Lumbricus terrestris* of *Aporrectodea longa*; beide anecic) zouden hier een belangrijke rol in kunnen spelen, maar deze werden niet waargenomen op de tuinderij. Pendelaars kunnen worden aangeschaft bij commerciële regenwormleveranciers. Deze wormen zijn afkomstig uit Noord-Amerika en het is de vraag of het uitzetten van dieren afkomstig vanaf een ander continent verantwoord is (Van Eekeren *et al.* 2014).

Didden (2001) vond in een onderzoek naar regenwormen in een 12-tal groententeeltbedrijven slechts sporadische strooiseleTERS (minder dan 1 exemplaar per m²), tegen gemiddeld 63 grondeters per m². Het voorkomen van de reeds sporadisch aanwezige strooiseleTERS kan worden gestimuleerd door gewasresten als voedsel aan te bieden (Frazão *et al.* 2019). De regenwormen zouden ook vanuit de omliggende grasstroken de groentebedden kunnen koloniseren. Dit sluit aan op recente ervaringen uit de akkerbouw. Frazão *et al.* (2017) vonden dat in de Hoeksewaard (Zuid-Holland) grasstroken aan de randen van akkerbouwpercelen een hogere regenwormensoortendiversiteit hadden en dat alle drie de ecologische groepen (epigeic, endogeic, anecic) erin voorkwamen, dit in tegenstelling tot de akkers zelf. Dat wij op de tuinderij geen pendelaars hebben aangetroffen in de grasstroken zou kunnen worden verklaard door hun voorkomen in doorgaans zeer lage dichtheden (<50 per m², pers. observ.) maar ook door hun afwezigheid in verband met het ongunstige voedsel-aanbod en bodembewerking (Didden 2001). In Frazão *et al.* (2019) werd aangetoond dat het aanbieden van gewasresten in akkers een stimulans geeft aan de strooiseleTERS en dat het zelfs pendelaars in staat stelt te overleven in een akker. In ons veldexperiment vonden we dat de plekken waar we de gewasresten hadden aangeboden een hogere regenwormendichtheid hadden dan de omliggende bodem. De wormen waren dus in staat om hun leefomgeving te 'onderzoeken' en zich in korte tijd gericht te verplaatsen. Over het algemeen wordt aangenomen dat de actieradius van regenwormen ongeveer 10 m per jaar bedraagt (Eijsackers 2011).

In het laboratoriumexperiment hebben we onderzocht hoe de strooiseleter *L. rubellus* omgaat met diverse soorten gewasresten en wat de gevolgen zijn voor de bodemkwaliteit. In alle gevallen was het gewicht van de regenwormen toegenomen tijdens de proef. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan hun consumptie van gewasresten en/of kippenmest. Gedurende de proef verdween een groot deel van de bovengronds aangeboden gewasresten, waarbij prei het snelst verdween. Een deel van de gewichtsafname van de gewasresten zou ook kunnen worden verklaard door microbiële afbraak. Dat zal met name voor prei een grote rol hebben kunnen spelen, aangezien daar ook in afwezigheid van regenwormen een gewichtsafname van bijna 90% werd vastgesteld (Figuur 4.13, linker paneel). Dat is mogelijk de verklaring dat de bijdrage van regenwormen aan het verdwijnen van prei volgens onze berekeningen klein leek te zijn. De preigewasresten hadden een relatief hoog stikstof- en fosfaatgehalte en een lage C:N verhouding, gunstige eigenschappen voor een snelle afbraak (prei: N = 36.4 mg/kg, P = 6.1 mg/kg, C:N ratio = 11; witte kool: N = 24.8 mg/kg, P = 4.1 mg/kg, C:N ratio = 16; pastinaak: N = 22.5 mg/kg, P = 4.6 mg/kg, C:N ratio = 18; spruit: N = 5.9 mg/kg, P = 1.7 mg/kg, C:N ratio = 68). Regenwormen stimuleerden het verdwijnen van witte kool en spruit en in mindere mate dat van pastinaak. Dat is opmerkelijk, omdat er in het veldexperiment significant meer regenwormen werden gevonden onder pastinaak (en prei) dan onder spruit. De resultaten suggereerde dat de aantrekkelijkheid van vooral pastinaak voor regenwormen kon worden vergroot door de pastinaakresten te mengen met kippenmest. Ook gewasresten van spruit verdwenen sneller na

bijmenging met kippenmest, maar dat stond los van de rol van regenwormen (Figuur 4.13 en 4.14). De spruitresten hadden de laagste nutriëntenconcentraties en de hoogste C:N ratio.

De relatief lage nutriëntenconcentraties in de spruitresten zouden een verklaring kunnen zijn voor de lage nitraat- en fosfaatgehaltes in de grond van deze behandelingen. Dit effect was groter in aanwezigheid van regenwormen. Dit zou samen kunnen hangen met de stimulatie van de microbiële activiteit door regenwormen (Figuur 4.18) en de immobilisatie van nutriënten in microbiële biomassa.

Zoals verwacht had de aanwezigheid van regenwormen een gunstig effect op de bodemstructuurvorming, zeker voor prei en waarschijnlijk ook voor spruitresten. In beide gevallen nam het aandeel macro-aggregaten in de bodem toe (Figuur 4.17). Voor witte kool en pastinaak werd zo'n toename van macro-aggregaten alleen gevonden indien de gewasresten werden gemengd met kippenmest. Opvallend genoeg vonden we dat het positieve effect van regenwormen op de hoeveelheid macro-aggregaten bij spruitresten teniet werd gedaan door bijmengen van kippenmest en effect dat we niet goed kunnen verklaren.

4.6 Conclusies

Gebruik van gewasresten stimuleert de regenwormenpopulaties. De gewasresten bieden een voedselbron voor de regenwormen en dan met name direct voor de strooiseleTERS, maar ook een microklimaat dat regenwormen aantrekt. De aantrekkelijkheid van gewasresten is afhankelijk van het soort gewas en kan worden vergroot door de gewasresten te mengen met andere organische resten, zoals bijvoorbeeld kippenmest. De aanwezigheid van regenwormen en gewasresten had gevolgen voor de nutrienbeschikbaarheid en de vorming van bodemstructuur. In onze potproef zonder planten vonden we een verlaagde nutriëntenbeschikbaarheid. In een recente meta-analyse werd echter gevonden dat de aanwezigheid van regenwormen gemiddeld kan leiden tot een 25% toename van de gewasproductie (Van Groenigen *et al.* 2014). Regenwormen stimuleerde de vorming van macro-aggregaten, maar het effect was afhankelijk van de kwaliteit van de gewasresten.

5 Regenwormen als inspiratiebron voor een les over bodemgezondheid

Ron de Goede

5.1 Inleiding

Over regenwormen valt veel interessants te vertellen en te leren. Regenwormen zijn zogenaamde 'ecosysteemingenieurs', dat wil zeggen organismen die in staat zijn hun eigen leefomgeving en die voor andere organismen wezenlijk te veranderen. Een bekend aansprekend voorbeeld van een andere ecosysteemingenieur in onze natuur is de bever. Regenwormen hebben invloed op de structuur van de bodem, de menging van organische stof door het bodemprofiel en de water en luchthuishouding. Hiermee spelen ze een belangrijke rol in zogenaamde ecosysteemdiensten, dat wil zeggen diensten die door een ecosysteem aan mensen worden geleverd. Maar daarnaast leveren regenwormen dus ook diensten aan andere bodemorganismen door het 'verbouwen' van de bodem en het beïnvloeden van voedselstromen. In bodems waarin regenwormen voorkomen kan je daarom niet om ze heen. Bovendien vormen ze een belangrijke voedselbron voor diverse vogels (denk aan weidevogels, maar ook bepaalde uilensoorten) en zoogdieren (zoals natuurlijk de mol, maar ook de das). Het belang van regenwormen wordt dan ook al zeer lang onderkent, zelfs al in het oude Egypte ten tijde van Cleopatra. Ook Charles Darwin heeft er naast zijn beter bekende 'On the origin of species' een compleet boek aan gewijd. Helaas doen er ook veel mythen de ronde over regenwormen zoals dat wanneer je ze doorsnijdt er twee exemplaren zullen verder leven. Genoeg stof voor een interessante en leerzame biologieles voor middelbare scholieren.

5.2 Opbouw van de les

In overleg met de een biologiedocent van het Kadinsky College Nijmegen is er gebrainstormd over de aanpak van de les. Als locatie voor de les werd het landgoed Groot Stal te Nijmegen gekozen, dat zich op loopafstand van de school bevindt. Er is gekozen voor een korte voorbereiding op school en een interactieve lesvorm op het landgoed waarin de leerlingen via hun smartphone meerkeuzevragen konden beantwoorden en op het landgoed op zoek konden gaan naar regenwormen.

Als voorbereiding op de les hadden de leerlingen de inhoud van een binnen dit project ontworpen poster (Pierenpower) over regenwormen bestudeerd. Tijdens de les op het landgoed beantwoorden de leerlingen met hun smartphone en een speciale applicatie (Kahoot; www.kahoot.com) een serie vragen over regenwormen. Na elke vraag werd er achtergrondinformatie gegeven over het behandelde onderwerp, soms ondersteund door een filmpje. In het praktijkdeel werden de leerlingen in groepjes van twee erop uitgestuurd in het landgoed om regenwormen te onderzoeken in een bepaalde landgebruiksvorm (boomgaard, akker, grasland, bloemenpluktuin, kruidentuin, moestuin). De resultaten werden ingevoerd in de computer en ter plaatse teruggekoppeld naar de leerlingen.

2.5.1 Theorie

De Kahoot bestond uit de volgende serie logisch op elkaar volgende onderwerpen en 15 meerkeuzevragen (het juiste antwoord is vetgedrukt en onderstreept):

Weetjes over regenwormen

1. Hoe lang kan een regenworm worden?
 - a. 15cm
 - b. 35cm
 - c. 1m
 - d. **3m**
2. Hoeveel levende wormen krijg je als je er één doormidden snijdt?
 - a. 0
 - b. **1**
 - c. 2
3. Wat kreeg je van Cleopatra als je een worm doodde?
 - a. 1 goudstuk, bad met ezelinnenmelk
 - b. 1 jaar dwangarbeid
 - c. **De doodstraf**

Regenwormen zijn complexe dieren

4. Hoeveel gebroken harten kan een worm hebben die ongelukkig is in de liefde?
 - a. 1 gebroken hart
 - b. 1 paar
 - c. 2 paar
 - d. **5 paar**
5. Hoe noem je een dier dat zowel man als vrouw is (tweeslachtig)?
 - a. Heremiet
 - b. **Hermafrodiet**
 - c. Karekiet
 - d. Hyperandrogeen*

** hyperandrogeen was toentertijd in het nieuws vanwege een sporter*

Maar alleen seks met andere wormen

6. Een volwassen worm heeft een clitellum. Wat is daarvoor de Nederlandse naam?
 - a. **Zadel**
 - b. Servetring
 - c. Ringband
 - d. Zwemband
7. Welke vorm heeft een regenwormcocon?
 - a. **Citroen**
 - b. Tomaat
 - c. Banaan

Wat doen wormen in de bodem: onderzoek

8. Wie was de eerste wereldberoemde regenworm-onderzoeker*?
 - a. Freek Vonk
 - b. **Charles Darwin**
 - c. Antonie van Leeuwenhoek
 - d. Louis Pasteur

** kiezen uit foto's*

Onderzoek door Charles Darwin

9. Hoe trekken regenwormen bladeren de grond in?
 - a. Aan het steeltje
 - b. **Aan de top**
 - c. Aan de zijrand
10. Hoe lang duurt het voordat alle wormen samen alle grond 1x hebben opgegeten en uitgepoept?
 - a. 1 jaar
 - b. **5 jaar**
 - c. 50 jaar
 - d. 100 jaar

Regenwormen dragen bij aan bodemfuncties

11. Composteren met de hulp van regenwormen. Hoe noem je dat?
 - a. Spagetticompostering
 - b. Thermocompostering
 - c. **Vermicompostering**
12. Welke regenworm helpt het meest bij het afvoeren van regenwater?
 - a. Strooiseleter
 - b. Grondeter
 - c. **Pendelaar**
 - d. Mestworm

Regenwormen als voedselbron

13. Welk dier eet geen regenwormen?
 - a. Loopkever
 - b. Pad
 - c. Steenuil
 - d. **Haas**
14. Hoe vangen vogels regenwormen?
 - a. **Trappelen**,
 - b. Opgraven,
 - c. Er achteraanrennen

Regenwormen zijn dus nuttig, maar...

15. Regenwormen zijn erg nuttig, maar wat doen ze NIET?
 - a. Verbeteren bodemstructuur- en vruchtbaarheid,
 - b. Drainage regenwater
 - c. **Opruimen bodemvervuiling**
 - d. Voedsel voor bedreigde diersoorten

Regenwormen zijn zelfs nuttig op school bij wiskunde

16. Wat stelt dit plaatje voor? (=ezelsbruggetje bij wiskunde)
 - a. EMC^2
 - b. $a^2 + b^2 = c^2$
 - c. **$2\pi r$**
 - d. πr^2



De regenwormmonsternamen door de leerlingen volgde het officiële protocol zoals dat gebruikt wordt bij de Bodembiolegroep van Wageningen University & Research, namelijk het handmatig uitzoeken van de regenwormen in de grond uit een gat van 20 x 20 x 20 cm³. Er was een speciaal invulformulier ontwikkeld om de juiste gegevens te systematisch te kunnen verzamelen.

2.5.2 Praktijk

Op 15 mei 2019 werd de les drie keer gegeven en wel aan drie 2^{de} klassen van het Kandinsky College. In totaal namen er ongeveer 90 leerlingen deel aan de lessen.

6 Samenvatting

In het kader van het programma Bodem en Ondergrond van de provincie Gelderland is een project uitgevoerd om het belang van regenwormen meer onder de aandacht te brengen van diverse grondgebruikers. Het huidige rapport is een verslag van het onderzoek naar ondersteunende informatie die gebruikt kon worden in de communicatie naar grondeigenaren over het belang van regenwormen en de mogelijkheden om regenwormen te stimuleren. Er is onderzoek verricht in uiteenlopende agrarische bedrijven naar verschillende aspecten van management waarin regenwormen een rol kunnen spelen. Ook zijn er lessen gegeven aan middelbare scholieren over het belang van regenwormen.

Op een melkveehouderijbedrijf met een kaasmakerij is onderzocht of het daar specifiek op regenwormen toegespitste graslandmaai- en beweidingsbeheer kon worden onderbouwd door waarnemingen aan de regenwormpopulaties. De graspercelen worden speciaal voor de regenwormen gemaaid waarna vervolgens pas de koeien de wei in mogen om het resterende gras te consumeren. De regenwormpopulaties in deze maai-beweidingspercelen waren goed ontwikkeld en hadden een hoge biomassa. Er werd een substantiële hoeveelheid grasknipsels door de regenwormpopulaties geconsumeerd. De structuur van de bodem van deze percelen was beter dan die in een hooilandperceel zonder maai-beweidingsbeheer. De diversiteit aan regenwormen was relatief laag en de ecologische groep van pendelaars lijkt vooralsnog niet aanwezig te zijn.

Op een geitenhouderij met een kaasmakerij is onderzocht wat de gevolgen waren voor de regenwormpopulaties van diverse manieren van graslandherstel. Door de extreme droogte tijdens de zomer van 2018 was de kwaliteit van de grasmat dusdanig verslechterd dat deze hersteld moest worden. Onder ploegen van de oude graszode en herinzaai met een hoog diversiteitsmengsel van grassen en kruiden resulteerde in zeer negatieve effecten op vooral de strooiseletende regenwormen. Doorzaaien van de bestaande grasmat met Engels raaigras had veel minder vergaande effecten. Zowel de grondeters als de strooiseleters bleven in grote aantallen aanwezig.

Op een zelfpluk groentekwekerij werd onderzocht of regenwormpopulaties zouden kunnen worden gestimuleerd door het gericht toepassen van gewasresten die achterblijven na de oogst van de groentegewassen. De gewasresten hadden een duidelijke aantrekkingskracht op de regenwormen en dit resulteerde in een verbetering van de bodemstructuur en veranderingen in de beschikbaarheid van nutriënten. De aantrekkingskracht van bepaalde gewasresten kon worden verhoogd door er kippenmest bij te mengen.

Op een landgoed in Nijmegen werd een interactieve biologieles gegeven voor leerlingen van een middelbare school. De leerlingen kregen informatie over de biologie en ecologie van regenwormen en de functies die ze vervullen in de bodem. Ook hebben de leerlingen onderzoek gedaan naar het voorkomen van regenwormen in verschillende vormen van landgebruik.

7 Dankwoord

Aan dit onderzoek hebben een groot aantal personen op diverse manieren bijgedragen. Rene de Bruin (Streekwijzer) was verantwoordelijk voor de coördinatie van het 'Liever regenwormen dan panda's in Gelderland' project en de contacten met de boeren en scholen. Jan Dirk van der Voort (De Groote Voort – 'Remeker rauwmelkse kaas'), Magda Scholte en Harry van Wenum (Biologische geitenboerderij en kaasmakerij de groote stroe – 'Stroese dame geitenkaas'), Pieter Lammerts (zelfoogst-groentekwekerij De Nieuwe Ronde) en Kien van Hovell (Landgoed Groot Stal, Nijmegen) stelde ons in de gelegenheid om onderzoek te verrichten op hun bedrijven en landgoed. Wij zijn Kim Verstappen van het Kandinsky College Nijmegen, dankbaar voor de organisatie van de deelname van haar leerlingen aan onze lessen. Ook kijk ik met genoegen terug op de duo-presentatie met Jan Dirk van der Voort tijdens de Biobeurs in Zwolle op 23 januari 2019 waar we de resultaten van het regenwormenonderzoek op zijn bedrijf hebben gepresenteerd en bediscussieerd. We zijn Theodoor Heijerman erkentelijk voor het uitlenen van de bladzuiger. Diverse collega's hebben bijgedragen aan het veldonderzoek op de onderzoeklocaties, namelijk Arrienne Matser, Anna-Reetta Salonen, Laura Ferron en Shunran Hu. Deze laatste, Shunran Hu, heeft zeer veel werk verricht in de uitvoering van het laboratoriumexperiment naar de interacties tussen regenwormen en gewasresten dat onderdeel was van haar MSc afstudeerproject. Het onderzoek binnen 'Liever regenwormen dan panda's in Gelderland' werd gefinancierd uit het programma Bodem en Ondergrond van de provincie Gelderland en is bekend onder zaaknummer 2017-007047.

8 Literatuur

- Bansal S & Kapoor KK (2000) Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology* 73: 95-98.
- Briones MJJ, Garnett MH & Pearce TG (2005) Earthworm ecological groupings based on 14C analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 2145-2149.
- Briones MJJ & Álvarez-Otero R (2018) Body wall thickness as a potential functional trait for assigning earthworm species to ecological categories. *Pedobiologia* 67: 26-34.
- Crittenden SJ, Huerta E, De Goede RGM, Pulleman MM (2015) Earthworm assemblages as affected by field margin strips and tillage intensity: An on-farm approach. *European Journal of Soil Biology* 66: 49-56.
- Curry JP & Schmidt O (2007) The feeding ecology of earthworms – a review. *Pedobiologia* 50: 463-477.
- Didden WAM (2001) Earthworm communities in grasslands and horticultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 33: 111-117.
- Edwards CA & Bohlen PJ (1996) Biology and ecology of earthworms. Chapman & Hall, London.
- Eijsackers H (2011) Earthworms as colonizers of natural and cultivated soil environments. *Applied Soil Ecology* 50: 1-13.
- Frazão J, De Goede RGM, Brussaard L, Faber JH, Groot JCM, Pulleman MM (2017) Earthworm communities in arable fields and restored field margins, as related to management practices and surrounding landscape diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 248: 1-8.
- Frazão J, De Goede RGM, Salánki TE, Brussaard L, Faber JH, Hedde M, Pulleman MM (2019) Responses of earthworm communities to crop residue management after inoculation of the earthworm *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758). *Applied Soil Ecology* 142: 177-188.
- Kratz W (1998) The bait-lamina test: General aspects, applications and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research* 5: 94-96.
- Postma-Blaauw MB, De Goede RGM, Bloem J, Faber JH & Brussaard L (2012) Agricultural intensification and de-intensification differentially affect taxonomic diversity of predatory mites, earthworms, enchytraeids, nematodes and bacteria. *Applied Soil Ecology* 57: 39-49.
- Rashida MI, Lantinga EA, Brussaard L & De Goede RGM (2017) The chemical convergence and decomposer control hypotheses explain solid cattle manure decomposition in production grasslands. *Applied Soil Ecology* 113: 107-116.
- Rutgers M, Schouten AJ, Bloem J, Van Eekeren N, De Goede RGM, Jagers op Akkerhuis GAJM, Van der Wal A, Mulder C, Brussaard L & Breure AM (2009) Biological measurements in a nation-wide soil monitoring network. *European Journal of Soil Science* 60: 820-832.
- Sims RW & Gerard BM (1985) Earthworms: keys and notes for the identification of the species (synopsis of the British fauna). Backhuys Publishers.

Shipitalo MJ, Protz R, & Tomlin AD (1988) Effect of diet on the feeding and casting activity of *Lumbricus terrestris* and *Lumbricus rubellus* in laboratory culture. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 233-237.

Stöp-Bowitz C (1969) A contribution to our knowledge of the systematics and zoogeography of Norwegian earthworms (Anelida Oligochaeta: Lumbricidae). *Nytt Mag Zool* 17: 169–280.

Törne E (1990) Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests. *Pedobiologia* 34: 89-101.

Van Eekeren N, Bommelé L, Bloem J, Rutgers M, De Goede R, Reheul D, & Brussaard L (2008) Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40: 432-446.

Van Eekeren N, Bokhorst J, Deru J & De Wit J (2014) Regenwormen op het melkveebedrijf. Uitgave door Louis Bolk Instituut.

Van Groenigen JW, Lubbers IM, Vos HMJ, (...), De Deyn GB, Van Groenigen KJ (2014) Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports* 4: 6365.