Louis Bolk Instituut

Bodemmonitoring in het Buijtenland van Rhoon

De eerste effecten van natuurinclusieve landbouw op bodemkwaliteit

Dennis Heupink & Udo Prins

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Gebiedscoöperatie Buijtenland van Rhoon en de Provincie Zuid Holland

© 2022 Louis Bolk Instituut

Bodemmonitoring in het Buijtenland van Rhoon – De eerste effecten van natuurinclusieve landbouw op bodemkwaliteit

Dennis Heupink, Udo Prins

Met dank aan Bart Timmermans en Riekje Bruinenberg voor het gebruikmaken van hun expertise op het gebied van respectievelijk fosfaat en regenwormen, aan Jan Verkampen, Jonas Schepens, Burret Schurer, Merel Hondebrink, Natalie Bakker, Merlijn van den Berg, Vera Methorst en Jurre Dekker voor het veldwerk en aan Riekje Bruinenberg, Eurofins Agro, WEnR, LIOS, de Bodemkundige Dienst van België en CBLB voor de laboratoriumanalyses.

Publicatienummer 2022-027 LbP

Trefwoorden: Bodemkwaliteit, bodemleven, natuurinclusieve landbouw, monitoring, BLN

68 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
@LouisBolk

Louis Bolk Instituut: onafhankelijk, internationaal kennisinstituut ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van de tweede bodemmonitoring in het Buijtenland van Rhoon. Deze rapportage is een vervolg op de in 2020 verschenen rapportage 'Bodemleven in het Buijtenland van Rhoon - Nulmeting als basis voor de ontwikkeling van hoogwaardige akkernatuur' door Marleen Zanen, Boki Luske, Bart Timmermans, Riekje Bruinenberg en Udo Prins. De monitoring is uitgevoerd in opdracht van de Gebiedscoöperatie Buijtenland van Rhoon en de Provincie Zuid-Holland.

In het kader van de Planologische Kernbeslissing Project Mainportontwikkeling Rotterdam (PKB PMR) is in het Buijtenland van Rhoon de afgelopen jaren een transitie naar een natuurinclusieve vorm van landbouw gestart. In 2017 is in het Experiment Zegenpolder, en in 2018 in de rest van het Buijtenland van Rhoon, de uitgangssituatie van de bodemkwaliteit in kaart gebracht. Hier is een vervolg aan gegeven door in 2021, wanneer de transitie naar natuurinclusieve landbouw in het gebied enkele jaren in gang is, opnieuw een bodemmonitoring uit te voeren. Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er ontwikkelingen zijn in bodemkwaliteit en bodemleven in relatie tot genomen (beheers)maatregelen in zowel het werkgebied Experiment Zegenpolder als het gehele gebied Buijtenland van Rhoon, waar de Zegenpolder onderdeel van is.

De bodemmonitoring in het Buijtenland van Rhoon sluit aan op de monitoring van de flora in het gebied uitgevoerd door Natuurbalans, van de insecten uitgevoerd door EIS Kenniscentrum Insecten en Wageningen University & Research, vogeltellingen uitgevoerd door de Werkgroep Grauwe Kiekendief en Sovon en de landbouwmonitoring uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut. Op basis van deze uitgebreide monitoring, waarvan de bodem als drager van het landschap een belangrijk onderdeel is, kunnen conclusies worden getrokken over de effecten van natuurinclusieve landbouw in het gebied.

Om een goed beeld te krijgen van de bodem is in deze monitoring opnieuw gemeten op de 20 percelen uit de nulmeting, aangevuld met vijf nieuwe percelen. Naast de in de nulmeting gemeten indicatoren hebben we de meetset uitgebreid om aan te sluiten bij de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN). Dit geeft de mogelijkheid de resultaten te vergelijken met metingen elders in het land. Wij hebben bij deze monitoring de medewerking verkregen van veel mensen en organisaties. In het bijzonder willen we de agrariërs en de collega's en stagiaires die hebben geholpen met het veldwerk bedanken.

Inhoud

Samenvatting **7**

1 Inleiding **9**

1.1 Bodemkwaliteit onder natuurinclusieve landbouw 9
1.2 Vraagstelling en doel van het onderzoek 11
1.3 Leeswijzer 11

2 Materiaal en methode **12**

2.1 Selecteren van bemonsteringslocaties 12
2.2 Veldwerk 12
2.3 Laboratoriumanalyses 15
2.4 Data analyse 17

3 Resultaten **18**

3.1 Bodemchemische, fysische en biologische laboratoriumbepalingen 18
3.2 Organisch gebonden fosfaat 21
3.3 Profielkuilen en bodemconditiescores 22
3.4 Bodemcompactie 23
3.5 Nematoden 25
3.6 Regenwormen 29

4 Ontwikkeling van de bodemkwaliteit **32**

4.1 Aandeel rustgewassen 32
4.2 Organische stof indicatoren 32
4.3 Fysische indicatoren 33
4.4 Chemische indicatoren 33
4.5 Biologische indicatoren 34
4.6 Visuele beoordeling 34

5 Synthese **38**

5.1 Conclusie 38
5.2 Aandachtspunten voor het beheer 39

Literatuur **40**

Bijlage 1: Bodemkwaliteitswaarden nematoden **41**

Bijlage 2: Bodembeoordelingen 2021 **42**

Bijlage 3: Determinatietabel regenwormen **68**

Samenvatting

In het Buijtenland van Rhoon wordt een natuurinclusief landbouwsysteem ontwikkeld, waarin natuurontwikkeling, recreatie en ondernemerschap gelijk op gaan. Deze rapportage beschrijft de eerste effecten van deze ontwikkeling op de bodemkwaliteit in het gebied. De rapportage volgt daarmee op de rapportage omtrent de nulmeting in het gebied uit 2018, en laat zien welke effecten het beheer op de bodemkwaliteit in het gebied hebben gehad.

Om een goed beeld te vormen van de effecten van het nieuwe, natuurinclusieve beheer in het gebied zijn de percelen uit de nulmeting opnieuw bemonsterd volgens hetzelfde protocol. Daarnaast zijn nog vijf extra percelen bemonsterd, en zijn een aantal indicatoren aan de meetset toegevoegd om een nog beter beeld te krijgen van de bodemkwaliteit in het gebied. De resultaten van de bemonstering in 2021 laten een hoog organisch stofgehalte en een hoge bodemvruchtbaarheid zien. Ook is te zien dat het bodemleven redelijk is ontwikkeld met relatief hoge waarden voor het microbiële bodemleven, hoge aantallen wormen en een redelijk ontwikkelde aaltjesgemeenschap in vergelijking met de gangbare akkerbouw. Echter, streefwaarden die nodig zijn voor natuurontwikkeling worden (nog) niet gehaald. Onder andere het fosfaatgehalte in de bodem is vrij hoog, wat het creëren van een hoge floristische waarde in de weg kan staan. Daarnaast wordt de biomassa aan wormen die geldt als een norm voor weidevogelgrasland niet gehaald. Kort samengevat is de landbouwkundige waarde van de bodem op de meeste percelen goed, maar valt er voor het behalen van natuurwaarde nog verbetering te behalen.

De vergelijking met de nulmeting laat zien de afgelopen jaren voornamelijk het organisch stofgehalte en de bodemvruchtbaarheid in de vorm van het stikstofgehalte, het stikstofleverend vermogen, het aandeel organisch gebonden fosfaat en het K-getal flink is toegenomen in het gebied. De bodemstructuur laat een hogere mate van verdichting zien, en een gemiddeld slechtere structuur op basis van de visuele beoordeling. Het is echter de vraag in hoeverre dit is bepaald door de momentopname van de bemonstering in 2021 na een droge periode. Het bodemleven laat een wisselend beeld zijn, met een toename van de aantallen wormen in bepaalde delen van het gebied, en een afname van de biomassa in wormen en de totale aantallen aaltjes en roofaaltjes in andere delen.

Algemene knelpunten voor natuurontwikkeling en agrarisch ondernemerschap die de resultaten van dit onderzoek blootleggen zijn verdichting in de ondergrond, een soms matige structuur en waterhuishouding, de hoge fosfaatgehaltes (P-Al) en het lage aantal adulte en de lage biomassa van regenwormen. Ondanks een verbetering van het organisch stofgehalte en de bodemvruchtbaarheid zijn deze knelpunten vergelijkbaar met de punten benoemd aan de hand van de nulmeting. Het verbeteren van het peilbeheer in voornamelijk de Zegenpolder kan helpen de problemen rondom de ondergrondverdichting en

waterhuishouding te verbeteren. Het langzaamaan uitmijnen van fosfaat door het toedienen van relatief lage hoeveelheden vaste mest kan er voor zorgen dat de floristische waarde op de percelen nog verder toeneemt, terwijl de druk van wortelonkruiden af zal nemen. Om de aantallen en biomassa van regenwormen te doen toenemen is een combinatie van een extensieve rotatie met voldoende vaste mest en weinig verstoring door bodembewerking een vereiste. Door deze maatregelen op specifieke percelen nog verder door te voeren kan nog verder aan de natuurdoelen binnen het gebied worden gewerkt.

1 Inleiding

1.1 Bodemkwaliteit onder natuurinclusieve landbouw

In deze studie stellen we de eerste effecten van de transitie naar natuurinclusieve landbouw op de bodemkwaliteit in het Buijtenland van Rhoon vast. In dit gebied wordt sinds enkele jaren gewerkt aan het realiseren van hoogwaardige akkernatuur. In het Streefbeeld Buijtenland van Rhoon staan de doelen voor het gebied, en de weg daar naartoe, beschreven. De landbouw in het gebied volgt in deze transitie vier paden, te weten de extensivering van het bouwplan naar maximaal één derde rooi- en/of hakvruchten, het verhogen van het aandeel bloeiende maaivruchten naar één derde van het akkerbouwareaal, een reductie van het insecticidengebruik op 95% van het areaal en de realisatie van natuurmaatregelen op 40% van de gronden in het gebied. De natuurdoelen richten zich voornamelijk op het ontwikkelen van vitale vogelpopulaties van o.a. Veldleeuwerik, Gele Kwikstaart, Kneu en Kievit. Voor de akkerflora gaat het om het stimuleren van sterk bedreigde akkerplanten zoals Rood Guichelheil, Spiesleeuwenbek en Akkerboterbloem. Aangezien de bodem de basis is voor het ontwikkelen van flora en indirect ook voor de fauna, is de bodemkwaliteit bepalend voor de termijn en voor de realiseerbaarheid van de natuurdoelen die beoogd zijn in het gebied.

Om de bodemkwaliteit te kunnen beoordelen zijn verschillende indicatoren van belang. Naast de fysische en chemische eigenschappen, zegt het aanwezige bodemleven iets over de kwaliteit van de bodem (Breure et al., 2003). De bodem is een zeer dynamisch en complex ecosysteem. Bodemchemische, -fysische en -biologische eigenschappen kunnen daarbij niet los van elkaar worden gezien. Daarnaast spelen ontstaansgeschiedenis en het bodemgebruik en beheer een belangrijke rol. De ontstaansgeschiedenis van de bodem in het Buijtenland van Rhoon is uitgebreid beschreven in de rapportage van de nulmeting (Zanen et al., 2020), op het beheer wordt in deze rapportage dieper ingegaan.

Voor het in kaart brengen van de ontwikkelingen in bodemkwaliteit in het gebied is informatie verzameld op al de voorgenoemde eigenschappen (tabel 1). Hier is aangesloten bij de bepalingen gedaan in de nulmeting, aanvullend met metingen vanuit de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN). De BLN is ontwikkeld in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) in het Nationaal Programma Landbouwbodems als eenduidig instrumentarium voor het meten van bodemkwaliteit (Hanegraaf et al., 2019). De BLN omvat indicatoren gericht op bodem-organische stof, bodemfysische eigenschappen, bodemchemie, bodembiologie en de visuele beoordeling van de bodem. Doordat de BLN in Nederland breed wordt gebruikt, onder andere in de PPS Beter Bodembeheer en het programma Slim Landgebruik, en doordat voor veel indicatoren referentiewaarden beschikbaar zijn, geeft het meten op deze indicatoren de mogelijkheid de bodemkwaliteit in het Buijtenland van Rhoon in een breder perspectief te plaatsen.

Tabel 1: Gemeten bodemindicatoren met analysemethode, met daarbij aangegeven of deze zijn gemeten in de nulmeting, uit de BLN komen, of beide.

Bereik	Indicator	Methode	Meetset
Koolstof & organische stof	C-elementair	Elem. analyse	BLN
	Organische stof-gloeiverlies	Gloeiverlies	Beide
Fysisch	Textuur (klei/silt/zand)	NIRS	Beide
	Watervasthoudend vermogen	pF bak (pF 4.2 – pF 2)	BLN
	Bulkdichtheid	Ringen 100 cc	BLN
	Weerstand	Penetrologger	Beide
Chemisch	N-totaal	Kjeldahl-Klassiek	Beide
	N-leverend vermogen	Berekening	0-meting
	pH-$ClCl_2$	$ClCl_2$-extr.	Beide
	Koolzure kalk	NIRS	0-meting
	P-voorraad (P-Al)	Extractie	Beide
	P-beschikbaar	$ClCl_2$-extr.	BLN
	Organisch gebonden P	Kuo-methode	0-meting
	K-getal	Berekening	0-meting
Biologisch	HWC	Extractie	BLN
	Pot min. N (PMN)	NIRS	BLN
	Microbiële biomassa	NIRS	BLN
	Schimmelbiomassa	NIRS	BLN
	Bacteriële biomassa	NIRS	BLN
	Aaltjes diversiteit en aantallen	Determinatie	Beide
	Regenwormen diversiteit en aantallen	Determinatie	Beide
Visuele Beoordeling	Bodemscan (profielkuil)	Visueel	Beide

In de monitoring is een sterke focus gelegd op het bodemleven, o.a. regenwormen en nematoden (aaltjes). Regenwormen hebben een directe relatie met vogels (voedsel voor o.a. de kievit) en met de mineralisatie en het beschikbaar maken van nutriënten in de bodem. De aanwezige nematoden spelen op verschillende plekken in het bodemvoedselweb een rol: bepaalde groepen voeden zich met bacteriën, anderen met schimmels. Ook zijn er carnivore nematoden die zich voeden met bodemfauna of met andere nematoden. En er is een groep die zich voedt met de wortels of andere delen van planten. Daardoor is de nematodengemeenschap een afspiegeling van het functioneren van het voedselweb en dus een indicator voor de bodemkwaliteit.

Net als in de nulmeting hebben we ons gericht op organische gebonden fosfaat, een experimentele methode die wellicht meer uitleg behoeft. Fosfaat is een van de meest in de bodem 'vastzittende' voedingsstoffen. Nederland heeft wat fosfaat betreft een jarenlange geschiedenis van zware overbemesting op veel (zo niet de meeste) landbouwgronden. Een groot gedeelte van dat aanwezige fosfaat is anorganisch gebonden, en daarom niet beschikbaar voor planten. Daarbij gaat een gedeelte van het fosfaat jaarlijks steeds 'vaster' zitten en wordt steeds minder beschikbaar voor planten. Door te kijken naar het organisch

gebonden fosfaat, wordt inzichtelijk hoeveel van het aanwezige fosfaat in het bodemecosysteem op een natuurlijke manier beschikbaar kan worden voor plantengroei. Organisch gebonden fosfaat is daarmee een graadmeter voor de intrinsieke productiviteit van de bodem, onafhankelijk van externe inputs (Timmermans et al, 2012).

1.2 Vraagstelling en doel van het onderzoek

Dit onderzoek heeft als doel om de ontwikkeling van de bodemkwaliteit onder de natuurinclusieve landbouw in het Buijtenland van Rhoon in kaart te brengen. Het gaat hier om de eerste jaren in de transitie naar natuurinclusieve landbouw. Door deze monitoring iedere paar jaar te herhalen, kan een mooie tijdreeks worden neergezet die de ontwikkeling van de bodemkwaliteit goed weergeeft.

De focus in deze rapportage is gericht op de ontwikkeling van de bodemkwaliteit in het voormalige Experiment Zegenpolder, waar de nulmeting in 2017 heeft plaatsgevonden, en in de rest van het gebied waar in 2018 is gemeten. Op basis van een vergelijking tussen de resultaten gemeten in 2021 met de resultaten in de nulmeting kunnen we aangeven op welke bodemkwaliteitsindicatoren een verandering is opgetreden. Op basis van deze vergelijking willen we de volgende onderzoeksvraag beantwoorden:

Hoe ontwikkelt de bodemkwaliteit zich na enkele jaren natuurinclusief beheer in het Buijtenland van Rhoon en wat zegt dit over het behalen van de (natuur)doelen in het gebied?

1.3 Leeswijzer

Deze rapportage omvat de resultaten van een tweetal bemonsteringsrondes, de nulmeting uit 2017 en 2018 en de eerste monitoringsronde in 2021. Na uitleg over het doel en de onderliggende onderzoeksvraag van deze studie (hoofdstuk 1) worden de toegepaste meet- en analysemethodes toegelicht (hoofdstuk 2). Hoofdstuk 3 geeft de resultaten uit 2021. Hoofdstuk 4 beschrijft de vergelijking tussen de nulmeting en de meting in 2021. In hoofdstuk 5 komen we terug op de doelstelling en geven we aanbevelingen.

2 Materiaal en methode

2.1 Selecteren van bemonsteringslocaties

In de Zegenpolder zijn in 2017 vijf locaties/percelen geselecteerd om de nul situatie van de bodem in kaart te brengen (ZP1 t/m ZP5). De selectie is gedaan op basis van de ligging in het gebied, de verwachte spreiding in bodemgesteldheid en afstemming met eerder gekozen transecten voor de insectenmonitoring. Ook is rekening gehouden met natuurmaatregelen die reeds getroffen waren in het gebied. Tevens zijn er op basis van dezelfde criteria ook vijf locaties geselecteerd in de Portlandpolder en de Molenpolder (R1, R3, R4, R6, R7). In aanvulling op de bemonsterde locaties in 2017 zijn in het najaar van 2018 nog tien percelen in de Portlandpolder en de Molenpolder (locatie 1 t/m 4 en 6), het Buijtenland (locatie 7 t/m 10) en één perceel in de Zegenpolder (locatie 5) bemonsterd. Op al deze locaties is in 2021 opnieuw bemonsterd om de ontwikkeling van de bodemkwaliteit te kunnen volgen. Dit geldt echter niet voor locaties R3 en locatie 2. Locatie R3 is verplaatst naar een ander perceel, omdat de oude locatie momenteel in gebruik is voor een aantal experimenten en dus geen goede steekproeflocatie is voor het gebied. De locatie van 2 is wat centraler in hetzelfde perceel geplaatst. Naast de 20 percelen uit de nulmeting is nog op vijf nieuwe percelen gemeten (N1 t/m N5). Deze zijn gekozen om de metingen nog beter te verdelen of het gebied (N1 en N2) en om de bodemkwaliteit onder de natuurgraslanden beter in kaart te brengen (N3 t/m N5) (figuur 1).

2.2 Veldwerk

De bemonstering in 2017 is in drie dagen uitgevoerd, waarbij de grondmonsters op 2 oktober zijn genomen, de profielkuilbeoordeling en bepaling van de indringingsweerstand op 15 september en de wormenplaggen op 18 september. In 2018 zijn de grondmonsters, bodembeoordeling en bepaling van de indringingsweerstand uitgevoerd op 19 en 20 november, en zijn wormenplaggen genomen op 10 en 11 december. In 2021 is in drie dagen, 20, 21 en 28 september, de volledige bemonstering uitgevoerd. Hierbij is globaal gezien de Zegenpolder bemonsterd op 20 september, de Molen- en Portlandpolder op 21 september en het Buijtenland op 28 september. De methode voor bemonstering is in de drie jaren gelijk gehouden, om tot goed vergelijkbare resultaten te komen.

2.2.1 Grondmonsters

In een kwadrant van 25m x 25m op de aangeven locatie in het perceel zijn grondmonsters van 40 steken genomen tot een diepte van 25 cm. Monsters werden gestoken met een 2 cm brede guts. De grondmonsters zijn vervolgens gemengd, verdeeld en verstuurd naar verschillende laboratoria om metingen te verrichten aan de bodemchemie, nematoden en organisch bodemfosfaat.

2.2.2 Bulkdichtheid en watervasthoudend vermogen

In 2021 is een extra handeling verricht tijdens de bemonstering ten opzichte van nulmeting voor het bepalen van de bulkdichtheid en het watervasthoudend vermogen van de bodem. Hiervoor zijn drie bulkdichtheidsringen naast elkaar op 15 cm diepte in de wand van de profielkuil geplaatst. Deze worden met een slagkop in de grond geslagen, uit de bodem gestoken en daarna geheel gevuld en netjes afgesneden verzegeld.

2.2.3 Bodemconditiescore

Op alle locaties is een profielkuil gegraven van minimaal 50 cm diep. Op basis van visuele waarneming zijn structuur, bodemleven, beworteling en waterhuishouding beoordeeld. Daarbij is gewerkt met de Bodemconditiescore Flevoland, ontwikkeld door Coen ter Berg en Marleen Zanen. Bodemstructuur is beoordeeld voor zowel de bouwvoor (0-25 cm) als de laag daaronder (25-50 cm). Bodemleven en beworteling zijn beoordeeld in de bouwvoor en waterhuishouding is beoordeeld voor de gehele laag (0-50 cm). De beoordeling bestaat uit een rapportcijfer van 0-10.

2.2.4 Bodemcompactie boven- en ondergrond

De indringingsweerstand van de bodem is gemeten m.b.v. een penetrologger. Deze meting geeft zicht op eventueel compacte en storende lagen tot 80 cm diepte. Door op 10 plekken in het 25m x 25m kwadrant te meten ontstaat een beeld van de homogeniteit binnen het perceel en kan de visuele waarneming van de profielkuil beter in de context van het hele perceel geplaatst worden.

2.2.5 Regenwormen

Op alle locaties zijn ‘wormenplaggen’ per kwadrant uitgestoken. In de nulmeting ging het om drie plaggen per locatie, in 2021 is om budgettaire redenen voor twee plaggen per kwadrant gekozen. De plaggen hadden een grootte van 20x20x20 cm er werden uitgestoken met behulp van een veldpunaise van 20x20 cm en een spade. De onderkant van de plag werd gestoken door eerst met de spade een wig naast de plag weg te steken. De plaggen werden meegenomen in een gelabelde plastic zak. Op het laboratorium zijn de aanwezige regenwormen geteld, gewogen en gedetermineerd tot op soortniveau.

Figuur 1: Ligging van de meetlocaties van de bodemmonitoring in 2021. Locaties ZP1 t/m ZP5 en R1 t/m R7 zijn een hermeting van de nulmeting Experiment Zegenpolder, locaties 1 t/m 10 van de nulmeting Buijtenland van Rhoon en locaties N1 t/m N5 betreffen een nieuwe nulmeting. De ingekleurde percelen vallen onder de Gebiedscoöperatie Buijtenland van Rhoon en zijn in de transitie naar natuurinclusieve landbouw. Verschillende kleuren geven verschillende gewassen aan.

2.3 Laboratoriumanalyses

2.3.1 Metingen aan de bodemchemie

De meeste bodemchemische metingen zijn uitgevoerd door Eurofins Agro. Dit is gedaan middels het pakket Bemestingswijzer wat veel indicatoren via een *Near Infrared Spectometry* (NIRS) methode bepaald. Een aantal indicatoren zijn, net als in de nulmeting, via de klassieke methode bepaald en betreffen de zuurgraad (pH- KCl), C-elementair (Dumas), het organische stof gehalte (gloeiverlies), de totale bodemvoorraad stikstof (Kjeldahl), het aandeel potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en plantbeschikbaar bodemfosfaat P-Al (ammoniumlactaatextractie). Daarnaast is aan de hand van de aanwezige organische koolstof (C-elementair) en de bulkdichtheid van de bodem (zie 2.3.2) de hoeveel opgeslagen koolstof in ton per hectare bepaalt volgens de volgende formule: Koolstof in de bodem (ton per ha) = (10.000 x 100 x 2.5 x bulkdichtheid) / 100 x C-elementair / 1000. Dit is ook voor de nulmeting gedaan, door de gemiddelde bulkdichtheid voor akkerbouw op klei van 1,4 g/cm^3 aan te houden.

2.3.2 Bulkdichtheid en watervasthoudend vermogen

De drie 100cc ringen per meetlocatie zijn opgestuurd naar de Bodemkundige Dienst van België voor de bepaling van de bulkdichtheid en het watervasthoudend vermogen van de bodem. De droge bulkdichtheid geeft de droge massa van de vaste fractie (gronddeeltjes en organische stof) weer per volume grond in een onverstoorde natuurlijke toestand. Het watervasthoudend vermogen van de bodem is een maat voor de hoeveelheid vocht dat de bodem kan vasthouden in de poriën van een bepaalde laag. Deze indicator geeft inzicht in de hoeveelheid vocht dat beschikbaar is voor een gewas. Watervasthoudend vermogen wordt berekend op basis van een pF bepaling in het laboratorium. Het verschil tussen pF 2 (veldcapaciteit) en pF 4.2 (verwelkingspunt, overeenkomend met ca 160 cm afstand van het maaiveld tot het grondwater) is een maat voor het watervasthoudend vermogen.

2.3.3 Heet-water extraheerbare koolstof (HWC)

Deelsamples (200 gram) van de grondmonsters zijn verstuurd naar WEnR (Jaap Bloem) voor de HWC-bepaling. Heet-water extraheerbare koolstof of *Hot Water Carbon* (HWC) is de hoeveelheid in heet wateroplosbaar koolstof in de bodem, en een indicator voor opbouw van organische stof. De HWC-waarde is sensitief voor bodem gerelateerde maatregelen als het toepassen van organische meststoffen of het verruimen van de vruchtwisseling en heeft een duidelijke link met bodemleven en bodemvruchtbaarheid (Ghani et al., 2003).

2.3.4 Organisch bodemfosfaat

Plant beschikbaar fosfaat is er via twee wegen: (1) enerzijds de loszittende fractie van het organisch gebonden bodemfosfaat, (2) anderzijds via mineralisatie van fosfaat uit bodemorganische stof door het bodemleven. Deze tweede weg is in de wetenschap bekend en bewezen (bv. Fox & Comeford, 1992; Oehl *et al*., 2001; Steffens *et al*., 2010), echter moeilijk te kwantificeren en wordt in de standaard fosfaatbeschikbaarheidsmetingen niet meegenomen (Steffens *et al*., 2010). Het Louis Bolk Instituut heeft om deze reden gezocht naar een methode om het organisch gebonden fosfaat in bodems te meten, en zet deze sinds enkele jaren in. Het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB, laboratorium van WUR) kan de fractie organisch en anorganisch gebonden fosfaat in een totaal fosfaatmeting vaststellen. Men kan het zien als een graadmeter voor de mate waarin het levende deel van de bodem de fosfaatvoorziening op zich neemt.

Deelsamples zijn verstuurd naar het CBLB. Het gedeelte van het totale fosfaat dat organisch gebonden in de bodem zit wordt hierbij bepaald volgens de methode van Kuo (1996) door een meting van het ortho-fosfaat na destructie van een gedeelte van de bodem met 0.5M H_2SO_4, waarna het overige deel wordt gegloeid, waarna ook hieraan eenzelfde destructie en meting plaatsvindt. Het verschil van deze twee metingen is het organisch gebonden fosfaat.

2.3.5 Nematoden

Deelsamples (100 gram) van de grondmonsters zijn verstuurd naar LIOS (Harm Keidel) waar ze onderzocht zijn op aantallen en soorten nematoden. De nematoden zijn gescheiden van de grond met de Oostenbrinktrechter (Oostenbrink, 1960). Vervolgens zijn van elk mengmonster in 10 ml suspensie alle nematoden geteld en gedetermineerd volgens Bongers (1988), aangevuld met nieuwe inzichten uit vakliteratuur. De aangetroffen aantallen en soorten nematoden in de bodemmonsters zijn gebruikt voor het berekenen van verschillende bodemkwaliteitswaardes:

- Totale aantallen nematoden per 100 g grond
- Verdeling over de trofische groepen
- Colonisator Persistor klasse 1-5
- Maturity Index
- De Plant Parasitaire Index

Bijlage 1 geeft per indicator een korte toelichting.

2.3.6 Determinatie regenwormen

De dagen direct na monstername zijn de wormenplaggen uitgezocht in het laboratorium van het Louis Bolk Instituut. Alle aanwezige wormen werden hierbij uit de plaggen gezocht, overgebracht in een grove zeef en gewassen. Daarna werden ze drooggedept met tissues. Deze

methode is geschikt voor het bemonsteren van strooiselbewoners en bodembewonende wormen. Pendelaars worden met deze methode niet vaak gevangen. Het totaal aantal wormen per plag is gewogen en in 70% alcohol bewaard in de koeling. Op een later moment zijn deze op soortniveau gedetermineerd, ingedeeld in ecologische niches en in groepen juveniele en adulte wormen. De gevonden aantallen en biomassa per sample (0,04 m^2) werden daarbij omgerekend naar aantallen per vierkante meter bodemoppervlak.

Het determineren van regenwormen is specialistisch werk. De enige publicatie over Nederlandse regenwormen soorten is die van Van Rhee (1970). Er worden echter steeds vaker soorten aangetroffen die hier niet in vermeld staan. Daarom heeft het Louis Bolk Instituut een eigen determinatietabel gemaakt (zie bijlage 3), die gebruikt wordt voor de determinatie van adulte regenwormen. Hierin zijn ook determinatietabellen verwerkt uit België en Engeland (Edwards en Lofty 1972; Sims en Gerard 1985; Paliwal 2008, Valcks *et al*. 2009; De Goede en van Vliet, 2017; Josens en Hidgevi, *in prep*.).

2.4 Data analyse

Alle gegevens verkregen met de veldwaarnemingen, en de verschillende laboratoriumanalyses uit de meting van 2021 zijn in eerste instantie los van elkaar uitgewerkt. Vervolgens zijn de resultaten naast de gegevens uit de nulmeting gelegd om een verandering in bodemkwaliteit waar te kunnen nemen. Dit is gedaan door de metingen op de verschillende indicatoren uit tabel 1 paarsgewijs te vergelijken voor zowel de locaties uit het de monitoring Experiment Zegenpolder, de monitoring Buijtenland van Rhoon, als met de gehele nulmeting. Hiervoor is een *pairwise comparison test*, of, als de data niet normaal was verdeelt volgens de *Shapiro-Wilk test*, een *Wilcoxon signed rank test* gebruikt. Een trend ($p<0.1$) of significante verschillen ($p<0.05$) tussen de nulmeting en de meting in 2021 zijn weergegeven. Voor de data analyse is gebruik gemaakt van Excel en R Studio.

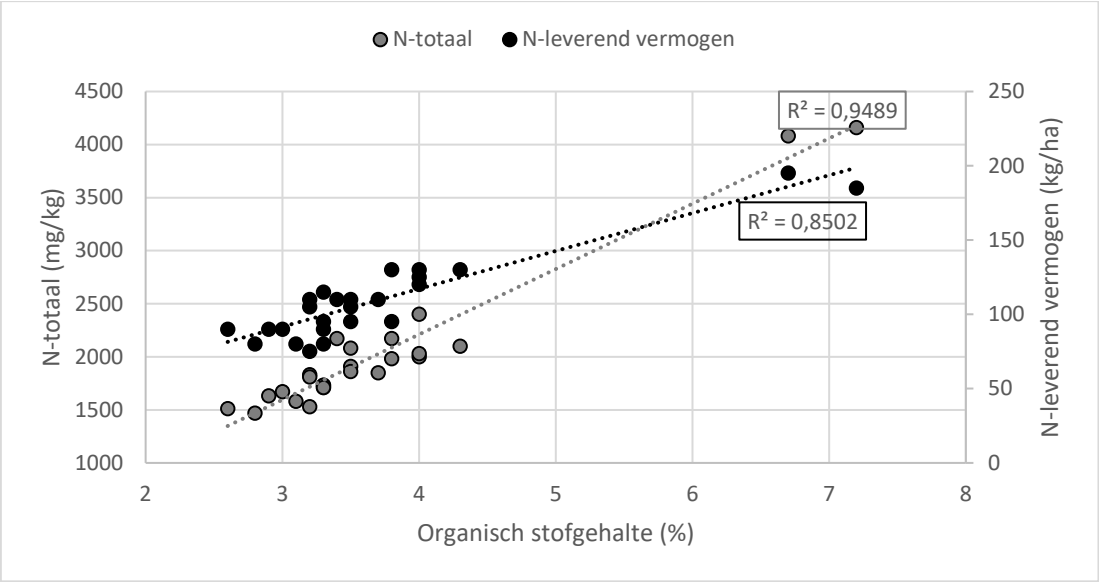
3 Resultaten

3.1 Bodemchemische, fysische en biologische laboratoriumbepalingen

De resultaten van de bodemchemische, fysische en biologische laboratoriumbepalingen uit 2021 zijn weergegeven in tabel 2. Het organisch stof (OS) gehalte van de bodem is met gemiddeld 3,7% redelijk hoog voor kalkrijke zware zavel tot lichte klei. Het hoogste gemiddelde organisch stofpercentage vinden we in de Zegenpolder met 4,2%. Verreweg de hoogste organische stofgehaltes worden gevonden op de oudere kruidenrijke graslanden, perceel N4 en N5. Het kruidenrijke grasland van perceel N3 is nog maar uit de akkerbouw sinds 2019, en heeft dus nog niet zo'n hoog organisch stofgehalte op kunnen bouwen. Zowel het C-gehalte, de HWC als de hoeveelheid opgeslagen koolstof in de bouwvoor laten een vergelijkbaar beeld zien als het OS-gehalte.

Het watervasthoudend vermogen (WVV) van de bodems in het gebied is vrij laag en ligt gemiddeld onder de 20%. Voor kleigronden is dit met gemiddeld 24% hoger dan op zandgronden (gemiddeld 19%). Op zandgronden is het watervasthoudend vermogen te verhogen met het verhogen van het OS gehalte, maar dit blijkt op kleigronden in mindere mate te gelden. De bulkdichtheid (BDH) is met waarden tussen de 1,1 en 1,6 g/cm^3, gemiddeld 1,4 g/cm^3, vrij normaal. De gronden zijn allemaal zware zavel tot lichte kleigronden met een lutumpercentage van rond de 20% tot richting de 30% in de Zegenpolder, met een vrij hoge pH een aandeel koolzure kalk. Deze bodems kunnen als te dicht worden beschouwd als de bulkdichtheid hoger is dan 1,5 g/cm^3, wat maar bij enkele percelen het geval is.

De stikstofvoorraad in de bodem is vrij groot, en ligt op veel percelen boven het referentietraject voor akkerbouw op klei van 1090 – 1650 mg/kg. De stikstofvoorraad en het stikstofleverend vermogen zijn sterk gerelateerd aan het organisch stofgehalte van de bodem (figuur 2). Het verhogen van het organisch stofgehalte heeft dus een positief effect op de intrinsieke bodemvruchtbaarheid, en de hoge waarden gevonden in het gebied zijn waarschijnlijk gerelateerd aan het regelmatige gebruik van organische meststoffen. De gehalten aan beschikbaar bodemfosfaat in de bemonsterde gronden is hoog (vuistmaat: P-Al voor landbouwadvies is 30 mg P_2O_5/100 g). Gemiddeld was de P-Al 55 mg P_2O_5/100 g met enkele uitschieters naar boven (bijvoorbeeld 131 mg P_2O_5/100 g op perceel 10). De waarden van P-AL vallen boven streeftraject voor kruidenrijke akkers van 15-30. Ook in de natuurmaatregelen, de kruidenrijke graslanden en flora-akkers, is de P-Al waarde nog vrij hoog en kan dit dus het creëren van een hoge floristische waarde in de weg staan. Het K-getal, een maat voor plantbeschikbaar kalium, ligt op vrijwel alle percelen boven de 13 en is daarmee goed. Alleen op de oudere kruidenrijke graslanden (N4 en N5) ligt dit getal wat laag, waarschijnlijk omdat bemesting hier uitblijft.



Figuur 2: Relatie tussen het organisch stofgehalte en de stikstofvoorraad en het stikstof leverend vermogen van de bodem in het gebied. Trendlijn met correlatiecoëfficiënt (R^2) geven de sterkte van de correlatie weer.

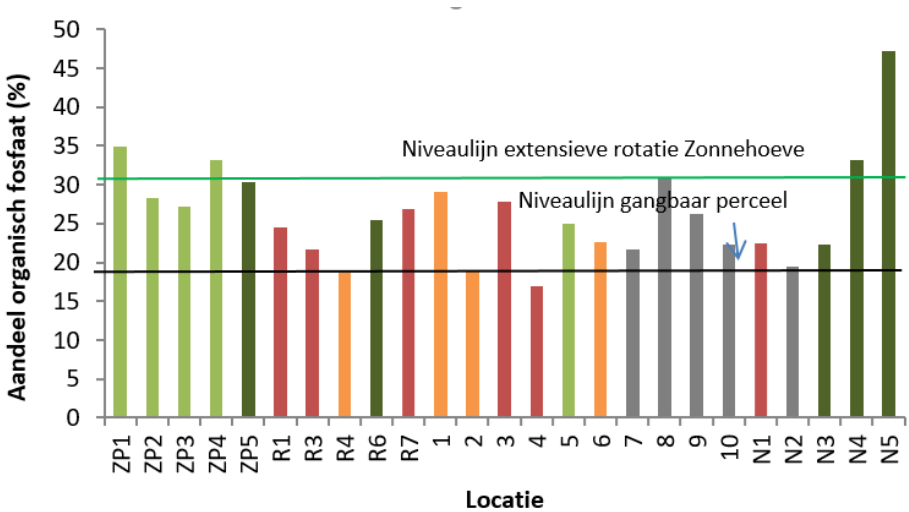
Het microbiële bodemleven in het gebied is goed ontwikkeld. Het gebied zit met een microbiële biomassa van gemiddeld 326 mg C kg^{-1} bovenin het referentietraject van akkerbouw op klei van 107 - 417 mg C kg^{-1}. Bacteriën zijn overwegend dominant in de percelen, met een gemiddelde schimmel-bacterie verhouding van 0.6. Schimmels hebben het vaak lastig in een akkerbouwmilieu, omdat deze slecht tegen verstoring kunnen. Daarnaast breken ze voornamelijk moeilijk afbreekbare organische stof af, wat meer voorkomt in een bos- of graslandmilieus dan in de akkerbouw waar de bodem vaak gevoed wordt met makkelijk afbreekbare organische stoffen. De aanwezigheid van schimmels is dus een goede indicator voor een stabiel bodemecosysteem. De hoge schimmelbiomassa in de oudere kruidenrijke graslanden is dan ook geen verassing. Ook zien we een hoge schimmel-bacterieverhouding in de flora-akker R6 in de Portlandpolder.

Tabel 2: Laboratoriumuitslagen van de bodemanalyses van de monitoring in 2021. De eerste 25 rijen geven de uitslagen per perceel. De laatste vijf rijen geven de uitslagen gemiddeld per polder, en gemiddeld over het hele gebied.

Perceel	Gewas	C-gehalte	C-opslag	OS	Lutum	WVV	BDH	N-tot	NLV	pH	KZK	P-voorr	P-bes	K-getal	HWC	PMN	Micro	Bact	Schim	Schim/bac
		%	ton/ha	%	%	cm^3/cm^3	g/cm^3	mg/kg	kg/ha		%	mg / 100g	mg / kg		µg C/g	mg/kg	mg / kg	mg / kg	mg / kg	
ZP1	Aardappelen	2.0	69	4.0	30	0.20	1.4	2400	130	7.4	7.4	58	1.2	19	683	32.2	330	181	67	0.4
ZP2	Vlas	1.5	56	3.7	27	0.20	1.5	1850	110	7.5	8.6	47	0.6	16	481	16.3	344	164	95	0.6
ZP3	Bieten	1.5	59	3.3	27	0.20	1.6	1730	115	7.4	8.3	43	0.5	16	498	13.0	239	134	92	0.7
ZP4	Tarwe	1.7	60	4.0	27	0.21	1.4	2000	120	7.5	7.7	43	0.5	21	602	12.0	351	168	96	0.6
ZP5	Flora-akker	1.8	67	4.3	26	0.21	1.5	2100	130	7.4	8.8	34	0.4	12	710	15.8	410	183	125	0.7
R1	Aardappelen	1.7	52	4.0	37	0.21	1.2	2030	125	7.4	10.9	37	0.6	14	741	52.9	689	376	225	0.6
R3	Graszaad	1.3	37	3.3	23	0.15	1.1	1710	95	7.5	10.3	31	0.5	13	539	14.8	281	139	116	0.8
R4	Aardappelen	1.3	45	2.9	20	0.12	1.4	1630	90	7.5	9.1	68	1.8	44	608	18.5	350	161	102	0.6
R6	Flora-akker	1.4	54	3.3	22	0.09	1.5	1730	80	7.5	10.6	50	0.8	24	542	16.3	339	123	131	1.1
R7	Tarwe	1.6	55	3.8	26	0.11	1.4	1980	95	7.5	11.2	45	0.6	20	590	16.6	328	150	106	0.7
1	Tarwe	1.5	53	3.5	30	0.17	1.4	1910	105	7.6	8.7	51	0.5	17	471	7.2	269	133	95	0.7
2	Tarwe	1.4	50	3.3	23	0.17	1.4	1710	90	7.5	10.2	50	0.5	26	437	11.1	193	106	66	0.6
3	Tarwe	1.2	40	3.2	18	0.16	1.3	1530	75	7.6	11.7	34	0.3	18	550	8.0	313	110	105	1.0
4	Vlas	1.2	41	3.1	22	0.16	1.4	1580	80	7.5	10.7	59	0.6	21	494	20.8	320	136	81	0.6
5	Aardappelen	1.5	60	3.2	28	0.18	1.6	1830	105	7.5	9.7	66	0.8	26	492	18.6	343	138	94	0.7
6	Teunisbloem	1.2	46	2.6	20	0.20	1.5	1510	90	7.5	8.1	63	1.4	18	347	15.3	137	81	22	0.3
7	Vlas	1.4	51	3.2	29	0.21	1.5	1810	110	7.5	7.7	40	0.4	16	381	11.2	255	128	64	0.5
8	Aardappelen	1.7	56	3.4	26	0.23	1.3	2170	110	7.5	8.0	61	1.1	24	505	23.3	241	136	80	0.6
9	Bieten	1.7	59	3.5	28	0.22	1.4	2080	110	7.5	8.2	76	1.3	32	618	10.1	289	136	106	0.8
10	Groenten	2	74	3.8	26	0.22	1.5	2170	130	7.4	8.6	131	4.2	19	485	17.0	275	138	69	0.5
N1	Tarwe	1.3	51	3.0	22	0.21	1.6	1670	90	7.6	10.2	54	1.2	27	495	14.5	395	167	130	0.8
N2	Spruitkool	1.2	45	2.8	22	0.14	1.5	1470	80	7.5	9.2	60	0.6	23	377	25.4	164	73	50	0.7
N3	Kr.grasland	1.5	56	3.5	21	0.10	1.5	1860	95	7.4	9.0	46	0.6	17	522	7.3	237	135	87	0.6
N4	Kr.grasland	3.3	122	7.2	26	0.10	1.5	4160	185	7.3	5.2	53	0.7	8	1339	13.8	768	446	284	0.6
N5	Kr.grasland	3.3	105	6.7	24	0.20	1.3	4080	195	7.3	5.2	31	0.5	10	1335	12.1	606	349	107	0.3
	Polders																			
	Buijtenland	1.9	65	3.9	26	0.20	1.40	2297	123	7.5	7.8	67	1.4	21	617	17	305	160	79	0.6
	Portlandpolder	1.4	48	3.4	24	0.15	1.38	1761	92	7.5	10.6	45	0.7	19	559	19	363	167	123	0.8
	Molenpolder	1.4	48	3.1	23	0.17	1.44	1690	94	7.5	9.0	58	1.1	26	465	13	237	120	71	0.6
	Zegenpolder	1.9	70	4.2	27	0.19	1.49	2296	128	7.4	8.0	49	0.7	17	686	17	398	202	122	0.6
	Gemiddeld	*1.6*	*58*	*3.7*	*25*	*0.18*	*1.43*	*2011*	*109*	*7.5*	*8.8*	*55*	*0.9*	*21*	*594*	*16*	*326*	*162*	*99*	*0.6*

3.2 Organisch gebonden fosfaat

Figuur 3 toont het aandeel organisch gebonden fosfaat voor de onderzochte locaties in het gebied. Als vuistmaat zien we twee niveaulijnen, een groene met het gehalte aan organisch fosfaat in de extensieve rotatie van boerderij de Zonnehoeve (Zeewolde), waar dit vrij hoog is voor Nederlandse akkerbouw op klei, en een zwarte voor een representatief gangbaar perceel in Flevoland, waar dit rond of net onder de 20% zit en de laatste 30 jaar steeds meer daalde. We zien dat de locaties in de Zegenpolder relatief hoog tot zeer hoog zitten in hun fractie organisch gebonden bodemfosfaat, en dat de locaties in de andere polders lager zitten. Daarnaast is een zeer hoog aandeel organisch gebonden fosfaat in de twee oudere kruidenrijke graslanden (N4 en N5) te zien. Dit is niet het gevolg van het huidige beheer, maar van het beheer in de afgelopen jaren. De resultaten duiden op een extensiever beheer in de Zegenpolder ten opzichte van de andere polders. Dit heeft voornamelijk te maken met de vruchtwisseling die is toegepast op de locaties in de verschillende polders. In de Zegenpolder is deze vrij extensief geweest, met sinds 2009 gemiddeld 87% maaivruchten als granen, grasland en vlinderbloemigen in de rotatie. In de andere polders ligt het aandeel extensieve maaivruchten (rustgewassen) gemiddeld tussen de 51 en 63%. In de Nederlandse akkerbouw is een aandeel van 39% rustgewassen gangbaar (Smit en Jager, 2018), terwijl ten minste 50% rustgewassen nodig zijn om de bodemkwaliteit op peil te houden (Buurma et al., 2016).



Figuur 3: Het aandeel organisch gebonden fosfaat op de meetlocaties in het gebied, uitgezet tegen de niveaulijn in de gangbare akkerbouw op klei en van een extensieve biologisch-dynamische akkerbouwrotatie op de Zonnehoeve (Flevoland). Kleur balken: lichtgroen: Zegenpolder, bordeaux: Portlandpolder, oranje: Molenpolder, grijs: Buijtenland, donkergroen: natuurmaatregelen.

3.3 Profielkuilen en bodemconditiescores

De bodemconditiescores laten over het algemeen genomen goede bodems zien (tabel 3). Op alle locaties is er tenminste 'voldoende' gescoord op de punten bodemleven en beworteling. De structuur en daardoor ook de waterhuishouding was op sommige percelen minder goed. Op de zwaardere percelen in de Zegenpolder bleek de ondergrond vaak wat verdicht, iets wat op kleigronden vaker voorkomt en veroorzaakt kan worden door bewerkingen op een ongunstig moment (bijvoorbeeld rooien op een nat perceel). De flora-akker in de Zegenpolder was daarnaast ook erg droog en compact in de bouwvoor. Perceel 1 en 2 tegen de Molenpolderse Zeedijk liggen wat in een laagte en hier liep de kuil na een aantal regenachtige dagen rond 25cm onder het maaiveld vol met water. Ook in perceel 7 was de waterhuishouding niet op orde, waarschijnlijk veroorzaakt door verouderde drainage.

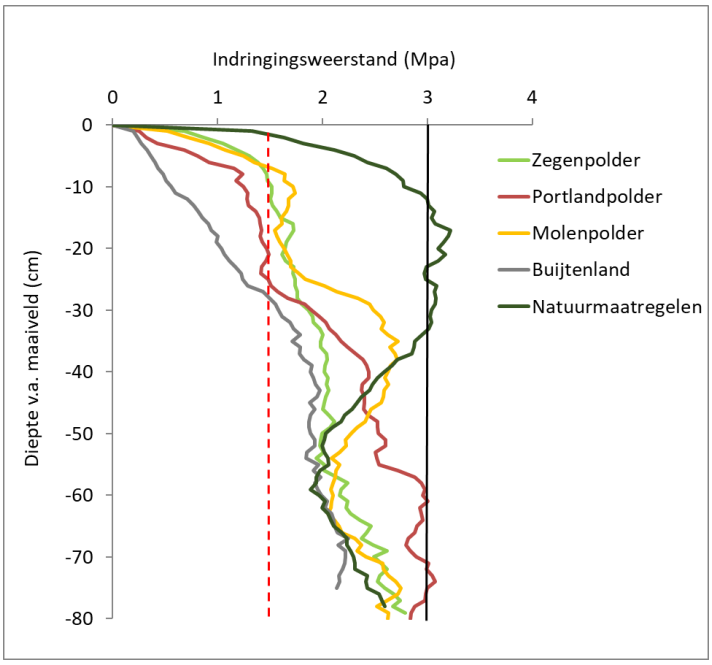
Positieve punten waren de kruimelige structuur op veel percelen in de Portlandpolder en het Buijtenland. Perceel 8 (aardappel), N2 (spruitkool) en N5 (kruidenrijk grasland) scoren in zijn geheel bezien goed op de bodembeoordeling. Qua bodemleven springen de kruidenrijke graslanden N3 en N5 eruit. Hier waren naast de gebruikelijke poriën en wormen ook veel kleine insecten in de bodem te zien. Een uitgebreide beschrijving van de bodembeoordelingen is te vinden in Bijlage 2.

Tabel 3: Resultaten van de bodemconditiescores, beoordeeld op bodemstructuur, bodemleven, beworteling en waterhuishouding met een cijfer van 1-10.

Locatie	Gewas	Structuur 0-25 cm	Structuur 25-50 cm	Bodemleven	Beworteling	Waterhuishouding
ZP1	Aardappel	7,5	5,5	6	8	6,5
ZP2	Vlas	7	5	7	6	6
ZP3	Suikerbiet	7,5	6,5	8	7	6,5
ZP4	Tarwe	7,5	6,5	8	6,5	7
ZP5	Flora-akker	5,5	6	7,5	6,5	5,5
R1	Aardappel	8	6	6	6,5	6
R3	Graszaad	8	7,5	7	7	7
R4	Aardappel	8	8,5	7	7	7,5
R6	Flora-akker	6,5	5,5	7	7	6
R7	Tarwe	7	5	6	6	7
1	Tarwe	8	7	7	6,5	5
2	Tarwe	7,5	*	7	7,5	5
3	Tarwe	8	7,5	8	8	8
4	Vlas	8	6	8	7,5	8
5	Aardappel	5,5	6,5	6	6	7
6	Teunisbloem	7,5	7	8	7,5	8
7	Vlas	6	6	6,5	6,5	4
8	Aardappel	9	8	7	8	7
9	Suikerbiet	8	7	8	7	7
10	Groenten	8	6,5	7	7	7
N1	Tarwe	7,5	7,5	7	7	8
N2	Spruitkool	8	7	8	7,5	8
N3	Kr. grasland	7,5	7	9	7,5	7
N4	Kr. grasland	8	6,5	7	7,5	6,5
N5	Kr. grasland	9	8,5	9	9	8

3.4 Bodemcompactie

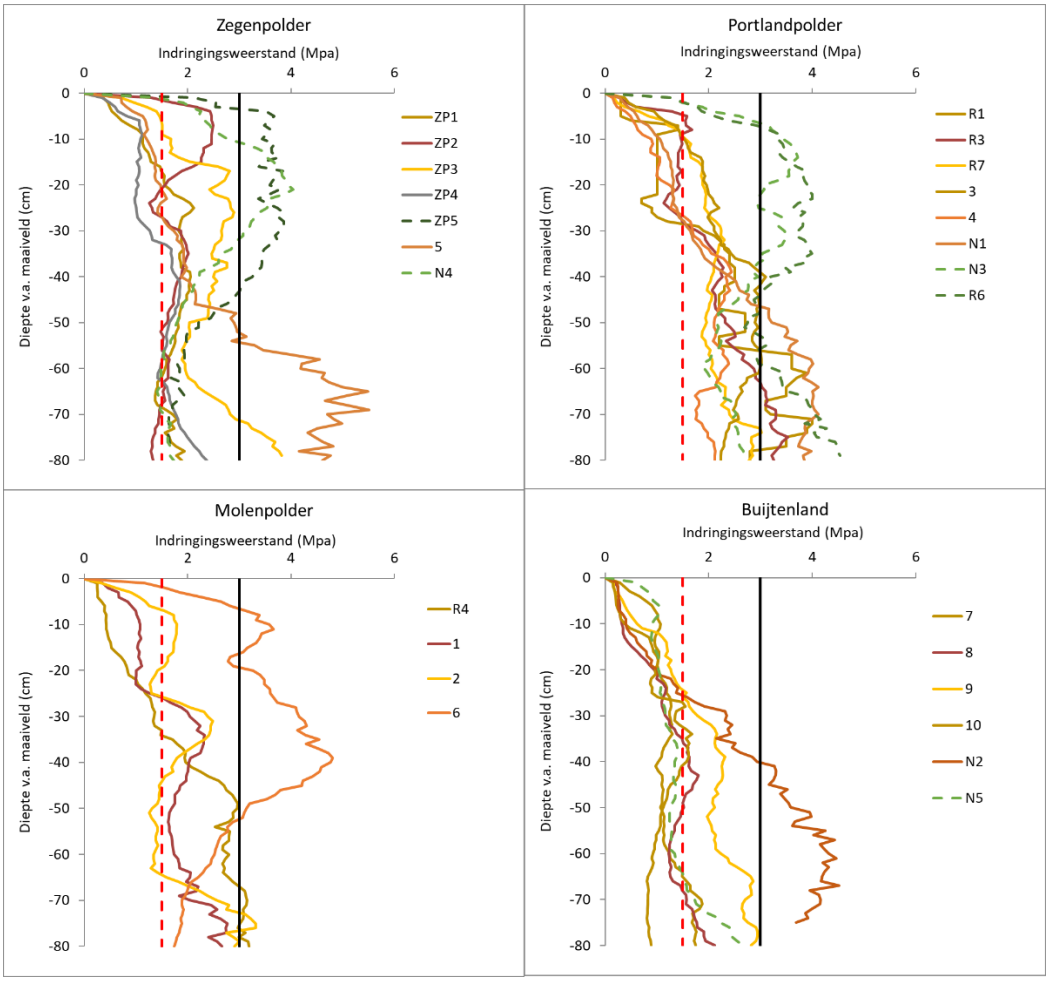
De penetrologger meet de indringingsweerstand van de bodem tot ca. 80 cm diepte. Een hogere weerstand kan duiden op compacte en storende lagen. De weerstand hangt sterk samen met het vochtgehalte van de bodem, de textuur en compacte lagen. Doordat de metingen zijn uitgevoerd na een wat drogere periode begin september valt de weerstand wat hoger uit. In figuur 4 is te zien dat in alle polders de weerstand al snel oploopt tot boven de 1.5 MPa, de waarde waarbij wortelgroei last kan krijgen van de compactheid. In de natuurmaatregelen is dit extreem, met een zeer hoge weerstand al binnen 10cm onder het maaiveld. Voornamelijk de flora-akkers, waar op het moment van bemonstering grasklaver stond, waren erg droog en compact in de bovenste laag.



Figuur 4: Gemiddelde indringingsweerstand op de bouwlandpercelen in de vier polders, en in de natuurmaatregelen. De rode gestippelde lijn geeft aan wanneer restrictie van wortelgroei optreed (1.5 MPa), de zwarte lijn wanneer wortelgroei ernstig wordt gehinderd (3 MPa).

In figuur 5 zijn de resultaten van de individuele percelen weergegeven. Er zijn duidelijk grote verschillen in de weerstand gemeten tussen percelen in één polder. We zien bij veel percelen een hoge weerstand in de bouwvoor, waarschijnlijk veroorzaakt door de droge omstandigheden. Op de overgang van bouwvoor naar de ondergrond waar vaak een ploegzool gevormd wordt, rond de 25-30cm, laten alleen ZP3 en perceel 9 een piek zien. Een ploegzool onstaat wanneer de grondbewerking altijd op dezelfde diepte plaatsvindt, waarbij de bodem net onder het losgemaakte deel juist verdicht. De hoge indringingsweerstand in de ondergrond kan te maken hebben met ondergrondverdichting. Dit fenomeen komt vaker voor bij akkerbouw op klei en wordt veroorzaakt door (zware) bewerkingen in een natte periode. Door ondergrondverdichting neemt de doorlatendheid en het waterbergend vermogen van de bodem af, en wordt wortelgroei gehinderd. Hierdoor wordt de weerbaarheid van het gewas minder en opbrengsten lager.

Ondergrondverdichting is lastig te herstellen, maar dit kan gedaan worden door in een droge periode diep te woelen, waarna in dezelfde werkgang een diepwortelend gewas of groenbemester wordt gezaaid. Daarnaast is het van belang het bodemleven te voeden met organische meststoffen, zodat deze de bodem poreuzer kunnen maken. Voorkomen is echter beter dan herstellen, en kan worden gerealiseerd door het gebruik van een lage bandenspanning en zo licht mogelijke machines, het gebruik van vaste rijpaden, een ruime vruchtwisseling, bewerkingen op het juiste moment en een goede ontwatering.

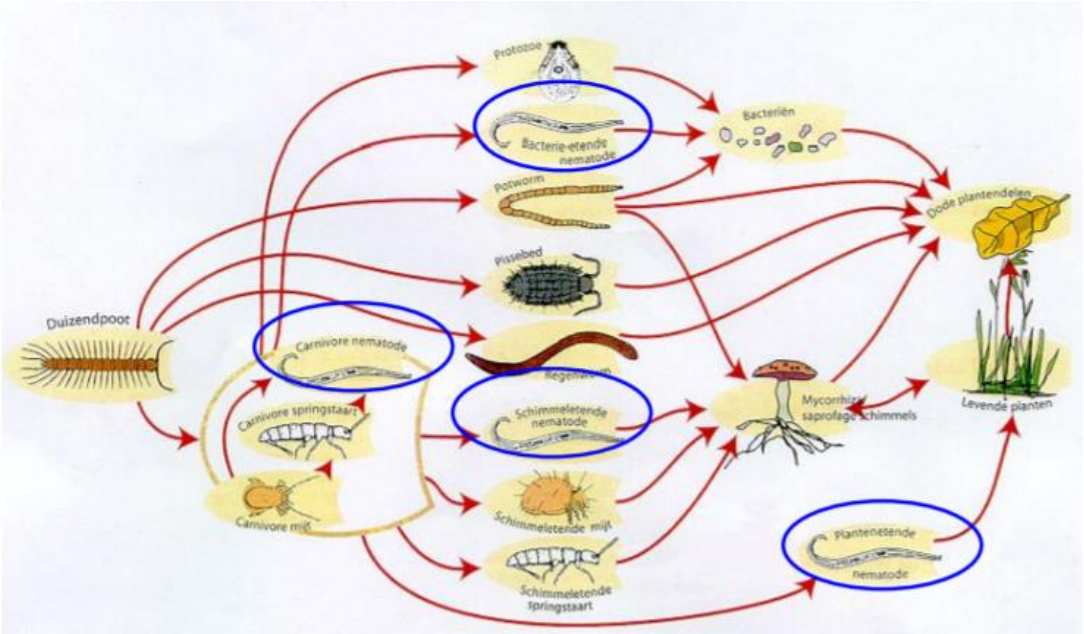


Figuur 5: Indringingsweerstand op alle bemonsterde percelen, gesorteerd per polder. De lijn geeft het gemiddelde van 10 metingen weer. Oranje-bruintinten zijn gebruikt voor bouwlandpercelen, groen-tinten voor natuurmaatregelen. De rode gestippelde lijn geeft aan wanneer restrictie van wortelgroei optreed (1.5 MPa), de zwarte lijn wanneer wortelgroei ernstig wordt gehinderd (3 MPa).

3.5 Nematoden

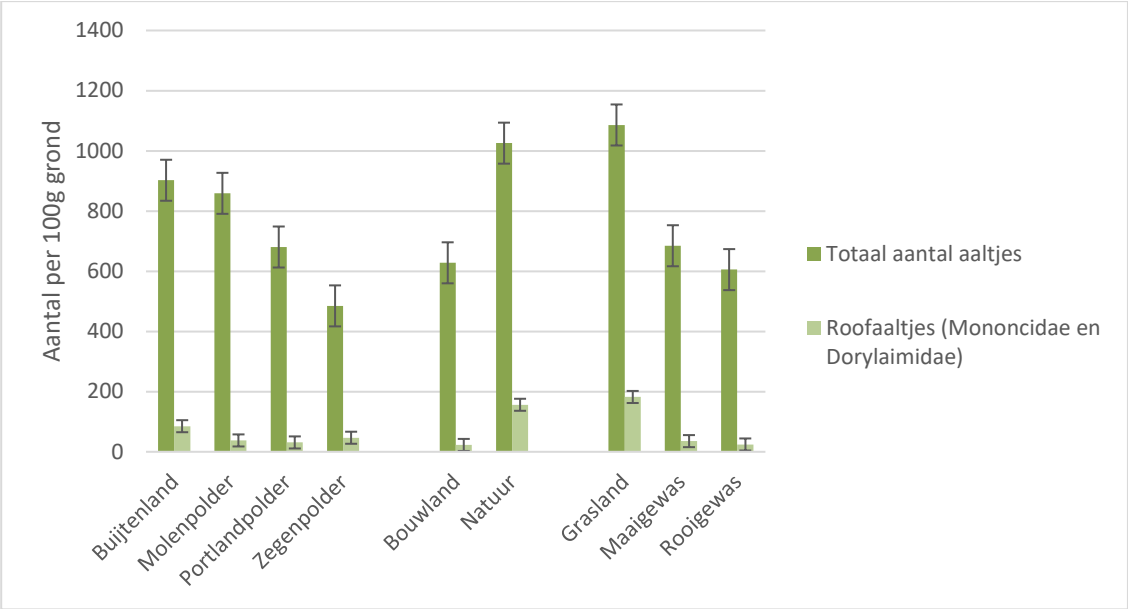
3.5.1 Aantallen nematoden en carnivore nematoden

Nematoden, ook wel rondwormen of aaltjes genoemd, zijn een grote groep algemeen voorkomende bodembewoners. Nematoden zijn ingedeeld in verschillende trofische groepen (zie §3.5.2) die verschillende functies vervullen in het bodemecosysteem (figuur 6). Een belangrijke groep zijn de carnivore nematoden of roofaaltjes uit de familie van de Dorylaimida en de Mononchida, omdat deze relatief hoog in de voedselpiramide staan. Hiermee zijn ze een mogelijke indicator zijn voor bodemkwaliteit (Keidel en Zanen, 2012), aangezien grote aantallen alleen voor kunnen komen als de lagere trofische niveaus op orde zijn.



Figuur 6: Schematische en vereenvoudigde weergave van het bodemvoedselweb. Nematoden spelen een rol op vier niveaus in dit voedselweb, waarbij de carnivore nematoden relatief hoog in de voedselpiramide staan. (bron: Van der Meer, 2000)

De totale aantallen nematoden per honderd gram grond zijn het hoogst in het Buijtenland en in de Molenpolder, en gemiddeld lager in de Portlandpolder en Zegenpolder (figuur 7). Ook zijn de aantallen beduidend hoger in natuurpercelen ten opzichte van de bouwlandpercelen. Er is geen duidelijk verschil tussen de aantallen onder een maaigewas, of onder een rooi- of hakvrucht. Percelen met meer dan 1000 aaltjes per 100 gram grond waren perceel 3 (Portlandpolder, tarwe), R1 (Portlandpolder, aardappels), ZP5 (Zegenpolder, floraakker met grasklaver)en N5 (Buijtenland, kruidenrijk grasland).

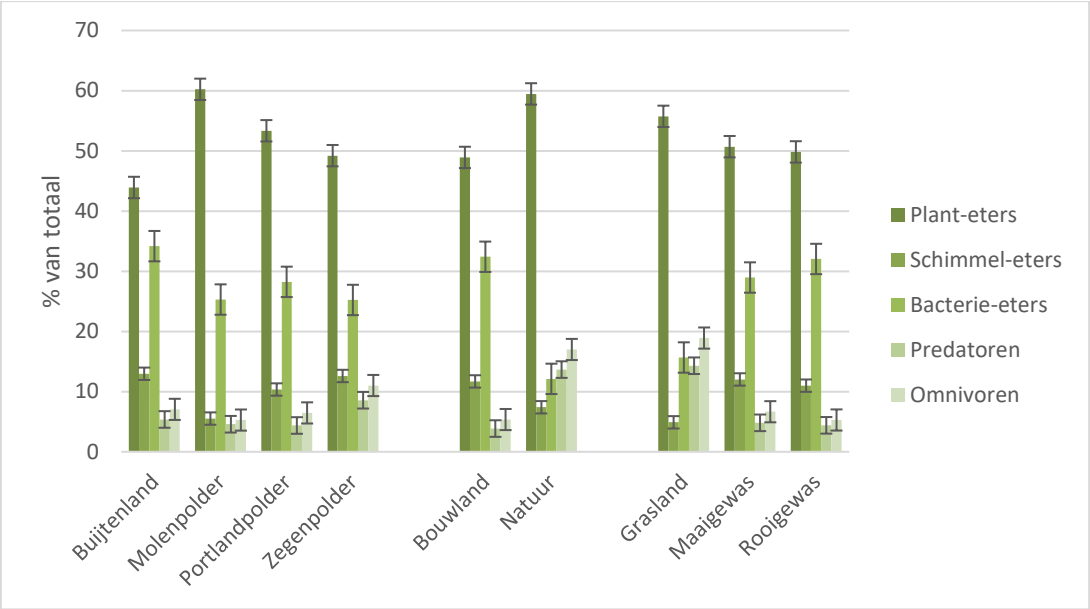


Figuur 7: Totale aantallen aaltjes, en aantal roofaaltjes (groepen Mononchidae en Dorylaimidae)gemiddeld in de verschillende polders, onder bouwland of natuurland, en onder grasland, een maaigewas of een rooigewas.

De aantallen carnivore nematoden ('roofaaltjes') zijn beduidend hoger in de natuur(graslanden) ten opzichte van bouwland. Een aandeel roofaaltjes van ongeveer 10% ten opzichte van het totaal aantal aaltjes is gunstig en een positieve indicator voor een goed functionerend bodemleven (Keidel en Zanen, 2013). Met gemiddeld zo'n 14% roofaaltjes deden de natuurpercelen en kruidenrijke graslanden het goed. Ook in de Zegenpolder, met gemiddeld 8.5% roofaaltjes, was het aandeel redelijk hoog. In de andere polders lag het aandeel tussen de 4 en de 5.5%. De enige percelen met een aandeel roofaaltjes hoger dan 10% waren percelen met natuurmaatregelen: de twee flora-akkers R6 en ZP5 en de kruidenrijke graslanden N4 en N5.

3.5.2 Verdeling over trofische groepen

De aangetroffen nematodensoorten zijn ingedeeld op ecologische groep op basis van de voedselbronnen waar de soorten van leven (gildes). Daarmee is het percentage bacterie-, plant-, prooi- en schimmeleters, en het aandeel omnivoren bepaald. In alle polders en typen percelen zijn de plantetende nematoden, waar ook de plantparasitaire aaltjes onder vallen (zie §3.5.2), de dominante groep (figuur 8). In de bouwlanden komen na de planteneters de bacterie-eters het meeste voor, maar in de natuurpercelen, inclusief de graslanden, zijn de predatoren en omnivoren net zo dominant. Hier zijn de schimmeleters in de minderheid.

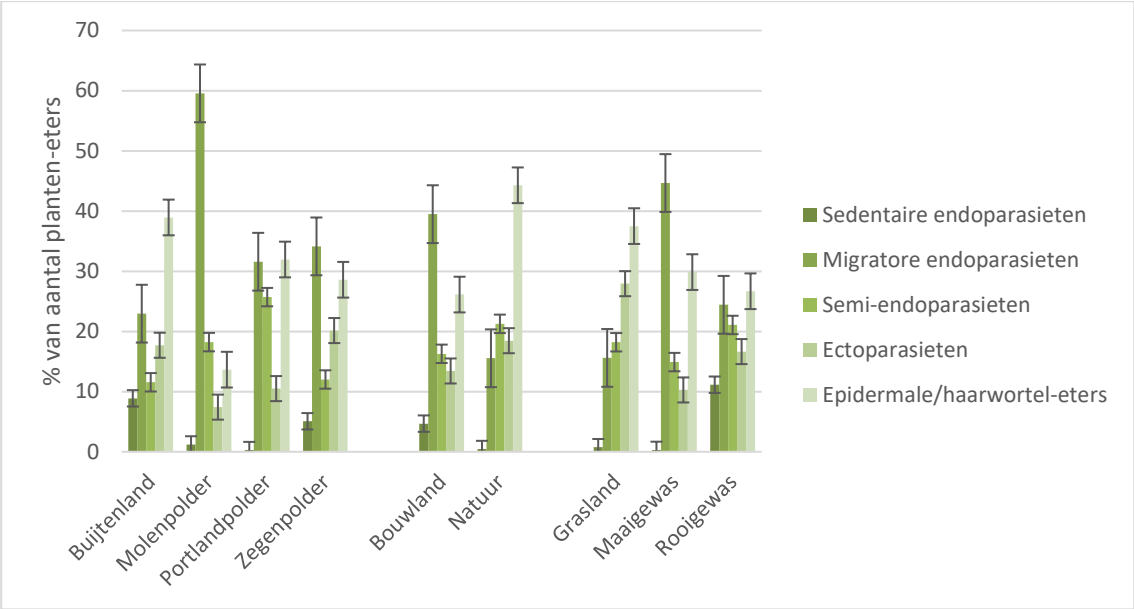


Figuur 8: Gemiddelde percentage plant-, schimmel-, bacterie-eters, predatoren en omnivoren (inclusief dauerlarven) in de verschillende polders, onder bouwland of natuurland, en onder grasland, een maaigewas of een rooigewas.

3.5.3 Plant-parasitaire aaltjes

Plant-parasitaire aaltjes kunnen veel schade doen aan landbouwgewassen. Vaak is de vruchtwisseling erop gericht de aantallen van deze aaltjes zo laag mogelijk te houden. Plant-parasitaire aaltjes kunnen worden ingedeeld in verschillende groepen; *sedentaire endoparasieten* welke de wortel binnengaan en daar een cyste of wortelknobbel veroorzaken waarin ze zich voeden, bijvoorbeeld de wortelknobbelaaltjes en cyste-aaltjes, *migratore endoparasieten* welke de plantwortel binnengaan om zich te voeden, maar tussendoor migreren, bijvoorbeeld wortellesieaaltjes en stengelaaltjes, *semi-endoparasieten* waarvan het hoofddeel zich tijdens het voeden in de plant bevindt, maar de staart erbuiten, *ectoparasieten* zoals *Xiphinema* soorten die buiten de wortel blijven en zich al migrerend voeden met plantenwortels. *Epidermale en haarwortel-eters* zijn ectoparasieten die zich hebben gespecialiseerd op de haarwortels.

Over het algemeen zijn de migratore endoparasieten dominant, gevolgd door de ectoparasitaire haarworteleters (figuur 9). Op de natuurpercelen, inclusief de grasland, zijn deze ectoparasieten duidelijk meer aanwezig dan de endoparasitaire aaltjes. Als we kijken naar de individuele soortgroepen zien we dat wortellesieaaltjes (*Pratylenchus*) in groten getale (gemiddeld >300 per 100 gram grond) voorkomen in de Molenpolder, en voornamelijk te vinden zijn onder de maaigewassen. Wortelknobbelaaltjes (*Meloidogyne*) komen weinig voor, de grootste aantallen vinden we onder de natuurgraslanden (~4 per 100 gram grond). Cyste-aaltjes (*Heteroderidae*) zijn voornamelijk te vinden onder de rooigewassen (>15 per 100 gram grond).

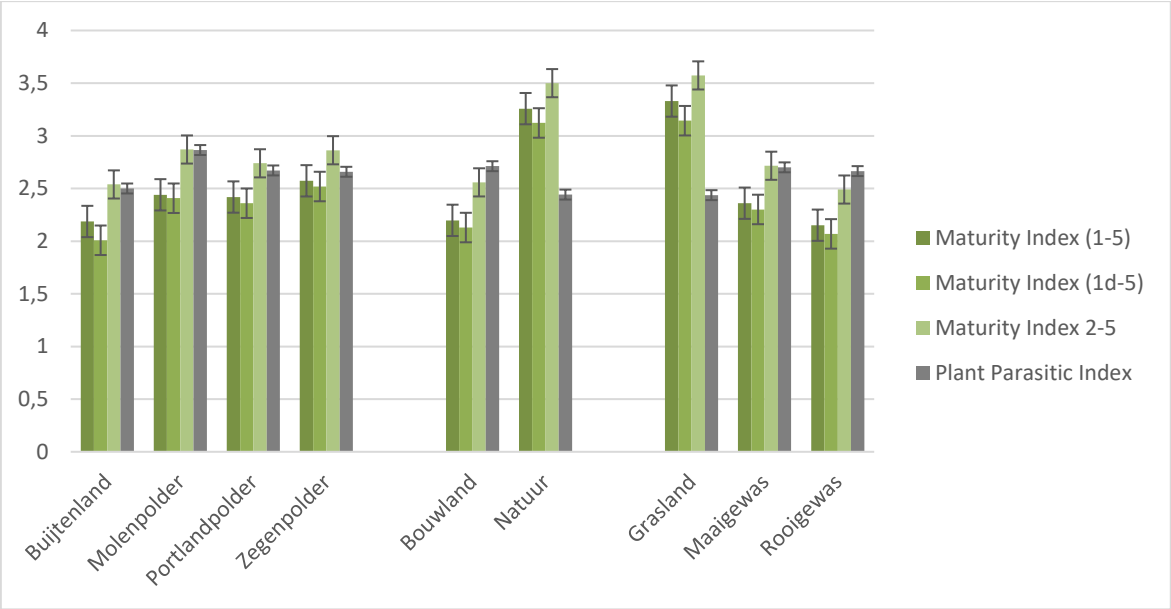


Figuur 9: Verdeling van plant-parasitaire aaltjes in de verschillende polders, onder bouwland of natuurland, en onder grasland, een maaigewas of een rooigewas.

3.5.4 Maturity & Plant Parasitaire Index

De Maturity Index (Bongers 1990) voor vrij levende nematoden (MI) is een maat voor bodemverstoring. De MI wordt berekend op basis van de Colonisator Persistor (CP) klasses op basis van alle aanwezige nematoden. Nematodensoorten in dezelfde CP klasse reageren vergelijkbaar op veranderingen in de bodem. CP1 staat voor nematoden die snel reageren op veranderingen in de bodem en nematoden in klasse CP5 reageren juist traag en zijn daarbij gevoelig voor veranderingen. Een hoog aantal CP5 nematoden duidt dus op een stabiel bodemecosysteem (Ferris en Bongers 2009). Lagere waarden van de MI zijn dus indicatief voor een meer verstoorde bodem en hogere waarden voor een minder verstoorde bodem. De MI neemt af met meer bacteriële activiteit en vervuiling die stress veroorzaakt in het bodemecosysteem. De MI is berekend op drie verschillende manieren. Het verschil is dat er bepaalde groepen uit zijn gehaald. In de MI (1-5) worden *dauerlarven* niet meegenomen in de berekening, in de MI (1d-5) wel. In de MI (2-5) zijn bacterie-etende aaltjes niet meegenomen.

De MI (1-5) in de verschillende polders ligt tussen de 2 en de 3, zoals gemiddeld voor Nederlandse akkerbouwbodems. In de natuurpercelen inclusief de graslanden ligt de MI (1-5) boven de 3, en laat dus een stabieler ecosysteem zien. De drie berekeningsmethodes van de MI laten een vergelijkbaar beeld zien, waarbij MI (2-5) consequent hoger is dan de andere twee (figuur 10).

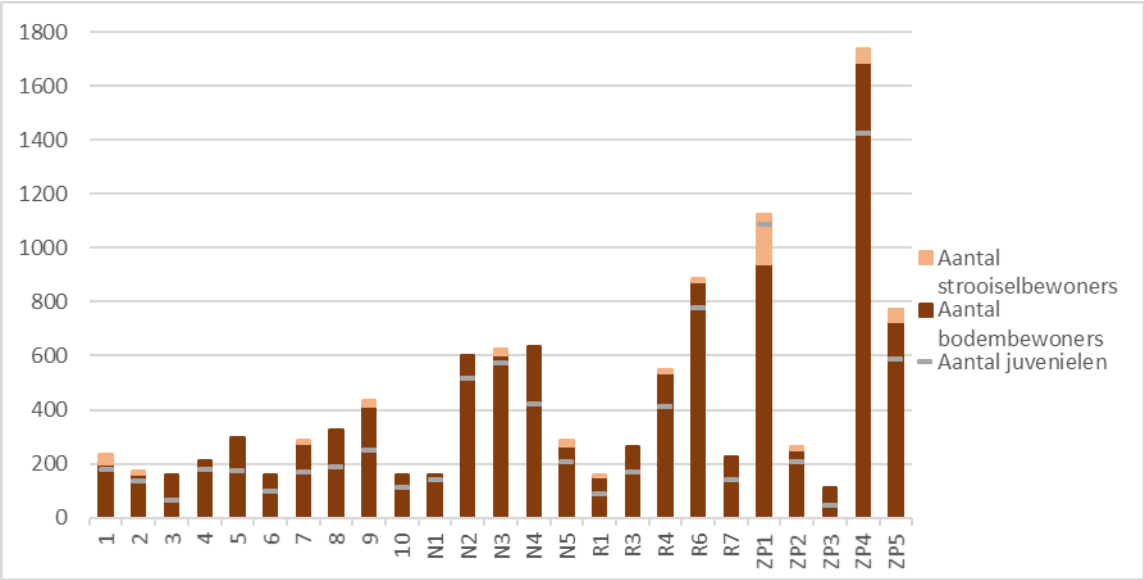


Figuur 10: De gemiddelde waarde van de Maturity Index en Plant Parasitaire Index in de verschillende polders, onder bouwland of natuurland, en onder grasland, een maaigewas of een rooigewas.

De Plant Parasitaire Index (Neher et al. 2004) is een maat voor de ziektewerendheid van de bodem en wordt berekend met het aandeel plant-etende nematoden ten opzichte van alle nematoden. De PPI ligt gemiddeld tussen de 2.5 en de 3 en is het hoogst in de Molenpolder, wat correspondeert met de relatief hoge aantallen van wortellesieaaltjes die daar gevonden zijn. Een PPI die lager is dan de MI (2-5) is een positieve indicator voor een ziektewerende bodem. Dit is het geval in alle polders, behalve de Moldenpolder. Gemiddeld is op bouwland de PPI wat hoger dan de MI (2-5), wat voornamelijk wordt veroorzaakt door de rooigewassen waar dit ook het geval is. Duidelijk is dat de natuurpercelen en graslanden het beste scoren op de ziektewerendheid van de bodem, met een relatief hoge MI en een relatief lage PPI.

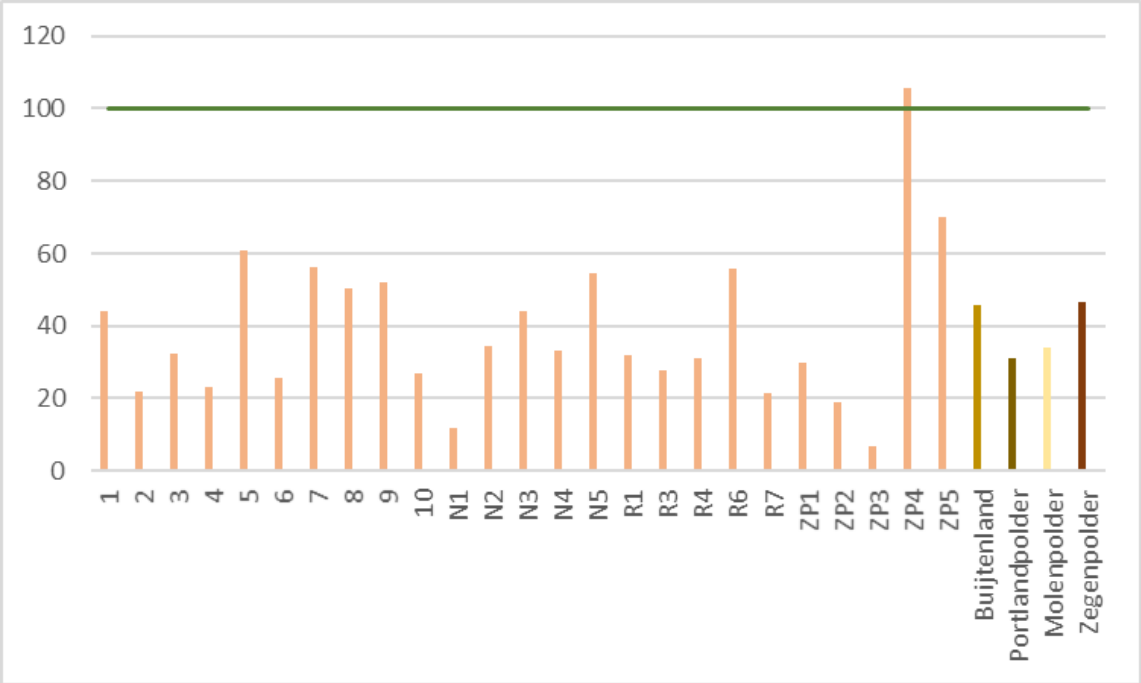
3.6 Regenwormen

Het gemiddeld aantal regenwormen in het gebied ligt met ruim 300 wormen per vierkante meter hoger dan gemiddeld in de akkerbouw (200 wormen per vierkante meter (Rutgers et al., 2007)) (figuur 11). De spreiding is echter groot, met minder dan 200 wormen per vierkante meter in de percelen met de laagste aantallen tot bijna 1800 wormen per vierkante meter in perceel ZP4. Het aandeel bodembewoners ligt veel hoger dan het aandeel strooiselbewoners, en ook het aandeel juvenielen van het totaal aantal wormen is in alle percelen groot. Dit is vrij normaal voor bouwland omdat door bodembewerkingen de regenwormen vaak niet lang in het adulte stadium verkeren. Ook is het normaal voor bouwland dat er weinig strooiselbewoners aanwezig zijn, door het ontbreken van een strooisellaag. Echter, ook in de graslandpercelen zijn weinig strooiselbewoners aangetroffen.



Figuur 11: Totaal aantal wormen per perceel, verdeelt over het aantal strooisel- en het aantal bodembewoners. Het aantal juveniele wormen van het totaal aantal wormen wordt weergegeven met een grijze markering.

Figuur 12 geeft de wormen biomassa (g/m^2) voor de monsterlocaties ten opzichte van een grove norm voor weidevogelgrasland van 100 gram wormen per vierkante meter. Alleen perceel ZP4 haalt deze norm, in alle andere percelen ligt de biomassa van de wormen nog te laag om de streefwaarde voor voldoende voedsel voor wormetende vogels te behalen. Het hoge aantal gevonden juvenielen heeft te maken met deze lage wormenbiomassa; op alle percelen was het gemiddelde gewicht per worm laag. Dit heeft deels te maken met



Figuur 12: Totale wormenbiomassa per perceel, en gemiddeld per polder, ten opzichte van de norm voor weidevogelgrasland (groene lijn).

het moment van bemonsteren in het najaar net na de bodembewerking, waarbij veel adulte wormen sterven, gepredeerd worden door vogels of zich in de diepere bodemlaag terugtrekken. Door de najaarsbemesting komen juist veel juveniele wormen na de bodembewerking uit hun cocons, waardoor het aandeel juveniel wormen in deze periode hoog ligt en de gemiddelde biomassa laag.

4 Ontwikkeling van de bodemkwaliteit

De eerste effecten van de transitie naar natuurinclusieve landbouw op de bodemkwaliteit in het Buijtenland zijn in kaart gebracht door een paarsgewijze vergelijking van de nulmeting (2017 – 2018) met de hermeting (2021) van de gemonitorde percelen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.

4.1 Aandeel rustgewassen

Het aandeel rustgewassen is weergegeven als een goede maat voor de intensiteit van de vruchtwisseling op de gemonitorde percelen. Rustgewassen zijn maaivruchten zoals handelsgewassen, peulvruchten, granen, luzerne en (kruiden-/klaverrijk)grasland. Dit type gewassen vraagt minder van de bodem dan rooi- en hakvruchten, en is dus van belang voor het onderhoud van de bodemkwaliteit in een akkerbouwvruchtwisseling. Buurma *et al.* (2016) stellen dat ten minste 50% rustgewassen in het bouwplan nodig zijn om de bodemkwaliteit op peil te houden. In tabel 4 is te zien dat de percelen uit de monitoring Experiment Zegenpolder met gemiddeld 72% rustgewassen in de nulmeting al een extensieve rotatie hadden. Op de percelen uit de monitoring Buijtenland van Rhoon is een trend naar een extensievere rotatie aan de gang, waarbij het aandeel rustgewassen in 2021 boven de 50% is gekomen. De natuurmaatregelen hebben een hoog aandeel rustgewassen in de rotatie gehad, het gaat hier onder andere om kruidenrijke graslanden die al meerjarig grasland zijn en flora-akkers die al enkele jaren in een graan-grasklaver rotatie liggen.

4.2 Organische stof indicatoren

Op het gebied van organische stof zijn duidelijke verschillen te zien ten opzichte van de nulmeting bij de monitoring Experiment Zegenpolder. Zowel het gehalte C-elementair, de hoeveelheid opgeslagen koolstof in de bodem (C-opslag) als het OS-gehalte is daar gestegen. De hoeveelheid opgeslagen koolstof in de bouwvoor is tussen de nulmeting in 2017 en de hermeting in 2021 gemiddeld met meer dan één ton C per hectare per jaar gestegen. Dat is vergelijkbaar met de maximale potentiële koolstofvastlegging per jaar die berekend is voor het gebied in Lesschen *et al.* (2021) aan de hand van de bodemkarakteristieken. In de percelen van de monitoring Experiment Zegenpolder was de opbouw van organische stof in de bodem waarschijnlijk voor de nulmeting al aan de gang en wordt deze dus sindsdien goed doorgezet. Dit is te verklaren door de vruchtwisseling met veel rustgewassen en de regelmatige toevoer van organische meststoffen.

De percelen uit de monitoring Buijtenland van Rhoon laten geen significante toename van organische (kool)stof zien. Deze percelen worden relatief intensiever beheerd, waardoor het organische stofgehalte minder snel opbouwt (ondanks regelmatige aanvoer van organische mest). Ook is het te verwachten dat bij de monitoring Buijtenland van Rhoon er minder verschillen optreden tussen nul- en hermeting omdat hier maar drie jaar tussen de

twee metingen zit in plaats van vier jaar. De natuurmaatregelen laten een hoog OS-gehalte zien, voornamelijk in de oudere graslanden die door de jaren heen veel organische stof op hebben kunnen bouwen.

4.3 Fysische indicatoren

Het watervasthoudend vermogen is niet gemeten in de nulmeting, maar blijkt uit de meting in 2021 vrij laag ten opzichte van de referentiewaarde voor akkerbouw op klei. De gegeven percentages geven aan dat in Experiment Zegenpolder gemiddeld 51mm, het Buijtenland van Rhoon 57mm en in de natuurmaatregelen 42mm water in de bouwvoor beschikbaar is voor plantengroei, terwijl dit gemiddeld voor akkerbouw op klei 72mm is. Het watervasthoudend vermogen hangt samen met de bodemstructuur en de hoeveelheid organische stof in de bodem. De relatief hoge bodemcompactie die blijkt uit de penetrologgermetingen en de bodembeoordelingen kunnen debet zijn aan het lage watervasthoudende vermogen van de gemonitorde percelen.

De indringingsweerstand van de bodem, een maat voor bodemcompactie, was vrij hoog tijdens de meting in 2021. Voor de monitoring Experiment Zegenpolder blijkt dit ook significant hoger dan tijdens de nulmeting. Voor de monitoring Buijtenland van Rhoon kon dit niet worden getoetst, omdat in de nulmeting van perceel 10 geen resultaten beschikbaar zijn. De referentiewaarden in tabel 4 geven aan dat onder de aangegeven waarde de indringingsweerstand in die bodemlaag goed is. Gedurende de nulmeting was dit gemiddeld gezien het geval, maar tijdens de hermeting was de weerstand gemiddeld ruim hoger, vooral in de bouwvoor (0-30cm). Het is lastig aan te geven of dit is veroorzaakt door beheer, of door het meettijdstip na een wat drogere periode in 2021.

4.4 Chemische indicatoren

Betreffende de bodemchemie is binnen de monitoring Experiment Zegenpolder een toename te zien van N-totaal, het stikstofleverend vermogen (NLV), het aandeel organische gebonden fosfaat en het K-getal. N-totaal en NLV correleren met het organisch stofgehalte in de bodem (figuur 2) en een verhoging van deze waarden is dus niet verassend. De P-voorraad is niet toegenomen, maar het organisch gebonden deel van deze voorraad wel. Dit aandeel lijkt mee te groeien met een verhogend organisch stofgehalte veroorzaakt door een extensieve rotatie een het regelmatige gebruik van organische mest. Een verhoogt aandeel organisch fosfaat maak het mogelijk minder fosfaat aan te gaan voeren via (minerale) bemesting, omdat de bodem een natuurlijke vruchtbaarheid opbouwt. Ook het K-getal, een maat voor plantbeschikbaar kalium, is toegenomen binnen de monitoring Experiment Zegenpolder. Het K-getal was daar tijdens de nulmeting vrij laag, maar is nu op een vergelijkbaar niveau met de rest van het Buijtenland van Rhoon. Kalium zorgt voor het transport van koolhydraten van de wortels naar de bovengrondse delen en speelt een belangrijke rol in de waterhuishouding van de plant. Een goede kalivoorziening is daarom erg

belangrijk. De verhoging van het K-getal houdt waarschijnlijk verband met een hoger OS-gehalte en de aanvoer van kalium via organische mest.

4.5 Biologische indicatoren

De microbiologische indicatoren zijn niet in de nulmeting meegenomen en zijn in 2021 voor het eerst gemeten. De hoogste waarden voor microbieel bodemleven worden gevonden in de natuurmaatregelen. Daarnaast zien we hogere waarden in de percelen van de monitoring van het voormalige Experiment Zegenpolder dan in de rest van het Buijtenland van Rhoon. Microbieel bodemleven, en met name schimmels, profiteren van weinig verstoring van de bodem en lijken ook de gradiënt van verstoring bepaald door het aandeel rustgewassen te volgen.

Ten opzichte van de nulmeting is er een afname geweest in het totaal aantal aaltjes en het aantal roofaaltjes. De aantallen aaltjes binnen een perceel kunnen per vierkante meter sterk verschillen, en variëren door het seizoen heen. Het is lastig te zeggen of de gevonden afname een momentopname is, of een blijvend effect. De samenstelling van de aaltjesgemeenschap, weergegeven middels Maturity Index en de Plant-parasitaire Index, is niet significant veranderd. Duidelijk is wel dat de natuurmaatregelen duidelijk betere waarden geven op beide indexen dan de bouwlandpercelen.

Het totaal aantal wormen is in het monitoringsgebied Buijtenland van Rhoon significant toegenomen ten opzichte van de nulmeting. In de monitoringsgebied Experiment Zegenpolder is dit niet het geval, maar liggen de totale aantallen gemiddeld wel hoger. De fractie juveniele wormen ligt vrij hoog. Dit is gebruikelijk op bouwland en heeft te maken met het feit dat de bodem relatief vaak wordt verstoord waardoor veel adulte wormen sterven, terwijl er op het moment van de najaarsbemesting veel juveniele wormen juist weer uitkomen. De spreiding tussen de wormenaantallen en –biomassa gevonden in de percelen is groot, wat betekend dat er per perceel veel verschil zit in de hoeveelheid aanwezige wormen. Dit kan te maken hebben met het gewas wat dat jaar is geteeld, het moment van bemesting en/of grondbewerking, of de toegang van wormen tot het perceel vanuit rusthabitats zoals akkerranden en graslanden.

4.6 Visuele beoordeling

Ondanks dat voor de visuele beoordeling in 2021 dezelfde methodiek is gebruikt als bij de nulmeting, heeft het feit de beoordeling door een ander persoon is uitgevoerd invloed gehad op de vergelijkbaarheid van de resultaten. In de monitoring Experiment Zegenpolder is op alle punten behalve waterhuishouding lager gescoord dan in de nulmeting. In de monitoring Buijtenland van Rhoon zijn deze verschillen minder duidelijk. In 2021 was in het gebied Experiment Zegenpolder veel compactie en wat ondergrondverdichting zichtbaar. Dit heeft

mogelijk een relatie met de waterhuishouding in die polder, iets wat ook is opgemerkt tijdens de nulmeting. De beoordeelde natuurelementen scoren vrij goed in de visuele beoordeling, voornamelijk op het aspect bodemleven.

Samenvattend zijn vooral in de monitoring Experiment Zegenpolder al duidelijke verschillen in bodemkwaliteit te zien in vergelijking met de nulmeting. Het gaat hier voornamelijk om de opbouw van organische stof en een daarmee gepaard gaande verhoging van de bodemvruchtbaarheid. Twee redenen die hiervoor kunnen worden aangegeven is de extensievere rotatie in dit monitoringsgebied, die op veel percelen ook al eerder is ingezet dan in de rest van het gebied. Daarnaast is de tijdspanne tussen de nulmeting en de hermeting hier vier jaar, terwijl dit in de monitoring Buijtenland van Rhoon maar drie jaar betreft. Er is dus meer tijd geweest voor langdurende processen als organische stof opbouw.

*Tabel 4: Resultaten van de paarsgewijze vergelijking op de gemeten bodemkwaliteitsindicatoren. Voor iedere indicator is een referentiewaarde voor akkerbouw op klei gegeven, afkomstig uit Hanegraaf et al. (2019), resultaten vanuit de praktijknetwerken op klei in het programma Slim Landgebruik of achtergrondkennis van de auteurs. Daarnaast zijn de gemiddelden ± standaarddeviatie van de locaties uit de monitoring Experiment Zegenpolder, de monitoring Buijtenland van Rhoon en beide monitoringsrondes weergegeven voor de nulmeting en de hermeting. Significante verschillen of een trend ten opzichte van de nulmeting zijn weergegeven met ** of *. Voor de natuurmaatregelen is het gemiddelde ± standaarddeviatie gegeven.*

			Nulmeting (2017 – 2018)			**Hermeting (2021)**			
Indicator	**Eenheid**	**Referentie**	**Experiment Zegenpolder**	**Buijtenland van Rhoon**	**Totaal**	**Experiment Zegenpolder**	**Buijtenland van Rhoon**	**Totaal**	**Natuurmaatre-gelen**
Aandeel rustgewassen (sinds 2009)	%	50	72 (±21)	44 (±25)	58 (±27)	70 (±23)	54 (±24)*	61 (±24)	89 (±20)
C-gehalte (C-elementair)	%	0.9 - 4.7	1.4 (±0.2)	1.5 (±0.3)	1.5 (±0.2)	1.6 (±0.2)**	1.5 (±0.3)	1.5 (±0.2)	2.3 (±1.0)
C-opslag	ton/ha	53 - 69	50 (±6)	55 (±9)	53 (±8)	55 (±8)**	53 (±10)	54 (±10)	80 (±31)
Organische stof gehalte	%	1.6 - 3.6	2.9 (±0.4)	3.1 (±0.5)	3.0 (±0.5)	3.7 (±0.4)**	3.2 (±0.3)	3.5 (±0.4)**	5.0 (±1.8)
Lutum	%	20	27 (±6)	27 (±4)	27 (±5)	27 (±5)	25 (±4)	26 (±4)	24 (±2)
Watervasthoudend vermogen	%	24				17 (±5)	19 (±3)	18 (±4)	14 (±6)
Bulkdichtheid	g/cm^3	< 1.5				1.4 (±0.1)	1.4 (±0.1)	1.4 (±0.1)	1.5 (±0.1)
Weerstand gemiddeld 0-30	mPa	< 1	0.7 (±0.2)	0.8 (±0.3)[1]	0.7 (±0.2)[1]	1.8 (±1.0)**	1.3 (±0.7)[1]	1.6 (±0.9)[1]	2.8 (±1.0)
Weerstand maximaal 0-30	mPa	< 2	1.3 (±0.4)	1.3 (±0.5)[1]	1.3 (±0.5)[1]	2.4 (±0.9)**	2.1 (±0.9)[1]	2.2 (±0.9)[1]	3.4 (±1.2)
Weerstand gemiddeld 30-60	mPa	< 2	1.7 (±0.8)	2.2 (±0.7)[1]	2.0 (±0.8)[1]	2.3 (±0.5)*	2.1 (±0.8)[1]	2.2 (±0.6)[1]	2.3 (±0.7)
Weerstand maximaal 30-60	mPa	< 3	2.1 (±1.1)	2.8 (±1.0)[1]	2.4 (±1.1)[1]	2.8 (±0.8)*	2.7 (±1.2)[1]	2.7 (±1.0)[1]	3.1 (±1.0)
N-totaal	mg/kg	1090 - 1650	1651 (±208)	1711 (±297)	1681 (±251)	1916 (±233)**	1830 (±252)	1873 (±240)**	2786 (±1225)
N-leverend vermogen	kg/ha	120 - 150	89 (±7)	91 (±10)	90 (±9)	109 (±18)**	101 (±17)	105 (±17)**	137 (±52)
pH		7.3 - 7.7	7.5 (±0.1)	7.5 (±0.1)	7.5 (±0.1)	7.5 (±0.1)	7.5 (±0.1)	7.5 (±0.1)	7.4 (±0.1)
Koolzure kalk	%	> 4	9.7 (±1.0)	9.6 (±1.2)	9.6 (±1.1)	9.3 (±1.4)	9.2 (±1.3)	9.2 (±1.3)	7.8 (±2.4)
P-voorraad (P-Al)	mg P_2O_5 $100g^{-1}$	31 - 62	50 (±11)	61 (±19)	56 (±17)	46 (±11)	63 (±27)	54 (±22)	43 (±10)
P-beschikbaar (P-PAE)	mg P kg^{-1}	0.3 - 6.6				0.8 (±0.4)	1.1 (±1.2)	0.9 (±0.9)	0.6 (±0.2)

Aandeel P-org	%	20	25 (±5)		25 (±5)	27 (±5)**	24 (±5)	26 (±5)	32 (±10)
K-getal		> 13	12 (±2)	22 (±6)	17 (±6)	20 (±9)**	22 (±5)	21 (±7)*	14 (±6)
HWC	µg C/g	500				599 (±89)	477 (±78)	538 (±102)	899 (±415)
Pot min. N (PMN)	mg/kg	2 - 17				20 (±13)	14 (±6)	18 (±10)	13 (±4)
Microbiële biomassa	mg C kg^{-1}	107 - 417				366 (±122)	264 (±62)	315 (±108)	472 (±214)
Schimmelbiomassa	mg C kg^{-1}	13 - 163				116 (±43)	78 (±25)	97 (±39)	147 (±79)
Bacteriële biomassa	mg C kg^{-1}	43 - 220				178 (±72)	124 (±19)	151 (±58)	247 (±143)
Totaal aantal aaltjes	#/100g	1290	981 (±488)	954 (±610)	968 (±538)	605 (±358)**	700 (±301)	652 (±326)**	1025 (±644)
Aandeel roofaaltjes	%	10	10 (±6)	7 (±4)	8 (±5)	6 (±5)	3 (±2)**	5 (±4)**	14 (±5)
Maturity Index (1-5)		2 - 3	2.5 (±0.6)	2.2 (±0.4)	2.4 (±0.6)	2.3 (±0.5)	2.2 (±0,4)	2.3 (±0.4)	3.3 (±0.3)
Plant Parasitaire Index			2.7 (±0.2)	2.7 (±0.2)	2.7 (±0.2)	2.8 (±0.2)	2.6 (±0.2)	2.7 (±0.2)	2.4 (±0.1)
PPI/MI (2-5)			0.9 (±0.2)	1.0 (±0.2)	1.0 (±0.2)	1.1 (±0.2)	1.0 (±0.2)	1.1 (±0.2)	0.7 (±0.0)
Totaal aantal wormen	#/m^2	200	596 (±298)	126 (±119)	360 (±327)	632 (±537)	269 (±105)**	451 (±420)	648 (±220)
Fractie juveniele wormen	%		74 (±12)	48 (±27)	61 (±24)	69 (±18)	59 (±10)	64 (±15)	78 (±11)
Totale biomassa wormen	g/m^2	100	81 (±39)	25 (±44)	53 (±50)	40 (±29)**	39 (±15)	40 (±23)	52 (±14)
Aantal strooiselbewoners	#/m^2		57 (±66)	3 (±6)	30 (±53)	34 (±57)	9 (±13)	21 (±42)	23 (±19)
Aantal bodembewoners	#/m^2		516 (±259)	125 (±111)	320 (±279)	576 (±495)	238 (±87)**	407 (±387)	620 (±226)
Structuur 0-25	1-10	7	8.1 (±0.7)	7.4 (±1.1)	7.8 (±1.0)	7.3 (±0.8)**	7.6 (±1.0)	7.4 (±0.9)	7.3 (±1.4)
Structuur 25-50	1-10	7	7.4 (±0.7)	6.8 (±0.9)	7.1 (±0.8)	6.2 (±1.1)**	6.8 (±0.7)	6.5 (±0.9)**	6.7 (±1.2)
Bodemleven	1-10	7	7.9 (±0.7)	7.1 (±0.7)	7.5 (±0.8)	7.0 (±0.8)**	7.3 (±0.7)	7.1 (±0.7)*	7.9 (±1.0)
Beworteling	1-10	7	7.5 (±0.5)	6.6 (±0.8)	7.1 (±0.8)	6.8 (±0.6)**	7.2 (±0.7)	7.0 (±0.6)	7.5 (±0.9)
Waterhuishouding	1-10	7	6.7 (±1.8)	7.6 (±0.5)	7.2 (±1.3)	6.5 (±0.6)	6.6 (±1.4)*	6.6 (±1.1)	6.6 (±1.0)
Gemiddeld	1-10	7	7.5 (±0.7)	7.1 (±0.7)	7.3 (±0.7)	6.7 (±0.5)**	7.1 (±0.7)	6.9 (±0.6)**	7.2 (±1.0)

[1] in 2019 is geen data beschikbaar van de indringingsweerstand op perceel 10. Hierdoor is paarsgewijze vergelijking op de 10 percelen van de Buijtenland van Rhoon monitoring niet mogelijk.
* trend (p<0.1), ** significant (p<0.05)

5 Synthese

5.1 Conclusie

De metingen en waarnemingen op de 25 percelen in het Buijtenland van Rhoon geven zicht op de bodemkwaliteit ten tijden van de monstername, en bieden de mogelijkheid het verschil in bodemkwaliteit met de nulmeting in kaart te brengen. Concluderend kan worden gezegd dat:

- De omstandigheden om de bodemkwaliteit in het gebied te verbeteren zijn goed, met een hoog aandeel rustgewassen op de gemonitorde percelen.
- Het organische stof gehalte in de polders is vrij hoog voor bodemtype kalkrijke zware zavel tot lichte klei. De hoogste organische stofgehaltes worden gevonden onder de natuurgraslanden. Binnen het monitoringsgebied Experiment Zegenpolder is het organisch (koolstof)gehalte sinds de nulmeting significant gestegen en is de totale koolstofvoorraad in de bovenste 25 cm gemiddeld met meer dan één ton C per hectare per jaar gestegen.
- De bodemvruchtbaarheid is hoog, met een groot stikstofleverend vermogen en fosfaatgehalte. De hoge intrinsieke bodemvruchtbaarheid geeft een hoge potentie voor de landbouwproductie in het gebied. De hoge nutriëntengehaltes kunnen natuurontwikkeling echter in de weg staan. Daarnaast kan het effect hebben op de aanwezigheid van probleemonkruiden als akker(melk)distels, die goed gedijen onder deze omstandigheden.
- Het aandeel organisch gebonden fosfaat is hoog. Dit laat zien dat de bodem een hoge intrinsieke bodemvruchtbaarheid heeft opgebouwd, waardoor aanvullende bemesting in steeds mindere mate nodig is.
- De bodem laat op sommige plekken, voornamelijk in de Zegenpolder, ondergrondverdichting zien. Dit heeft te maken met de wat zwaardere grond in deze polder in combinatie met een hoge (winter)grondwaterstand.
- De percelen met natuurmaatregelen laten duidelijk betere waarden op het gebied van bodemleven zien ten opzichte van de bouwlandpercelen, met onder andere een hoge microbiële biomassa, hogere aantallen wormen en betere diversiteitsindexen en bodemweerbaarheid op basis van de aaltjesgemeenschap.
- Ten opzichte van de nulmeting is er nog maar weinig verbetering van het bodemleven te zien in het gebied. Een significante toename in het totaal aantal wormen in het monitoringsgebied Buijtenland van Rhoon staat tegenover een significante afname van de biomassa aan wormen in het Experiment Zegenpolder. De indexen gebruikt voor het beschrijven aaltjesgemeenschap zijn grotendeels gelijk gebleven.

Samengevat zijn de eerste tekenen van een verbetering van de bodemkwaliteit door de ingezette natuurinclusieve manier van beheer in het gebied zichtbaar op het gebied van de opbouw van organische stof en een verhoogde bodemvruchtbaarheid. Op bodemstructuur en bodemleven zijn (nog) weinig effecten zichtbaar.

5.2 Aandachtspunten voor het beheer

Het extensieve, natuurinclusieve beheer heeft geleidt tot een positieve ontwikkeling van het organisch stofgehalte in de bodem en van de bodemvruchtbaarheid. De aandachtspunten voor het beheer zijn vergelijkbaar met de punten genoemd aan de hand van de nulmeting, en liggen op het gebied van het fosfaatgehalte op de percelen met een natuurdoelstelling, de aantallen adulte en biomassa van regenwormen en de verdichting van de ondergrond.

- De hoge fosfaatgehaltes in het gebied zijn niet gunstig voor de ontwikkeling van natuur. De fosfaatgehaltes waren tijdens de nulmeting al vrij hoog, en zijn sindsdien niet gedaald. Echter, uit ervaringen van eerdere natuurontwikkeling op dit type gronden blijken hoge P waarden niet altijd belemmerend te zijn voor het behalen van floristische doelen. Wel bevordert het de groei van wortelonkruiden als akker(melk)distel. Op percelen waar een hogere floristische waarde wordt geambieerd, of waar deze probleemonkruiden veel voorkomen, kan het fosfaatgehalte over langere termijn naar beneden worden gebracht door dit uit te mijnen. Hierbij is het van belang de rotatie en bemesting zo aan te passen dat netto fosfaat wordt afgevoerd. Dit kan worden gedaan door te werken met lage mestgiften van 10-15 ton vaste mest per hectare per jaar in een rotatie met granen en grasklaver. Deze manier van uitmijnen is praktisch verder uitgewerkt in Timmermans *et al*. (2010).
- Het lage percentage aan adulte regenwormen en de lage biomassa van regenwormen in het gebied vraagt aandacht. Een hoog aantal juveniele regenwormen biedt in principe het potentieel om de populatie op korte termijn te laten groeien, maar dit is sinds de nulmeting nog niet gebeurd. Oorzaken kunnen liggen in een hoge predatie door vogels, maar ook door veel bodemverstoring in de vorm van grondbewerking. De getroffen permanente natuurmaatregelen in het gebied (zoals hooilandranden, natuurvriendelijke oevers en permanente akkerranden) zullen op termijn ten goede komen aan de populaties regenwormen. Door nog meer oppervlakte in het gebied niet te ploegen, zullen meer individuen het adulte stadium bereiken en voor meer jongen zorgen. Ook zullen naar verwachting de aantallen strooiselbewoners toenemen. Dit zal ten goede komen aan vogelsoorten in het gebied die regenwormen als belangrijke voedselbron hebben (o.a. kievit).
- De verdichting van de ondergrond op een aantal locaties, voornamelijk in de Zegenpolder, is een laatste aandachtspunt. Hier zit een wisselwerking met de aantallen wormen, welke enerzijds de bodemstructuur kunnen verbeteren maar anderzijds juist afwezig kunnen blijven als de bodem te sterk is verdicht. Het gebruik van organische meststoffen is een goede maatregel om te werken aan beide doelen.

Literatuur

Breure A.M., M. Rutgers, J. Bloem, Brussaard L, W. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, Ch. Mulder, A.J. Schouten en H.J. van Wijnen (2003). Ecologische kwaliteit van de bodem. RIVM rapport 607604005.

Bongers, T. (1988). De nematoden van Nederland. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. Uitgeverij Pirola, Schoorl.

Buurma, J., Poppe, K., Silvis, H., Voskuilen, M. (2016). Bodemkwaliteit in Nederland.

Edwards, C. A., J. R. Lofty (1972). Biology of earthworms. Chapman and Hall Ltd., London.

Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. Soil biology and biochemistry, 35(9), 1231-1243.

De Goede R., van Vliet P., Salanki T. (2007) Macrofauna- Regenwormen: sleutel tot de algemene soorten van Nederlandse regenwomen. Niet gepubliceerd.

Hanegraaf, M., Elsen, E. van den, Haan, J. de, Visser, S., Elsen, E. van den, Haan, J. de, & Visser, S. (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland : indicatorset en systematiek (Versie 1.0, Ser. Stichting Wageningen research rapport, wpr-795). Stichting Wageningen Research.

Josens G., Hidvegi F., (in prep) Clé des lombriciens adultes de Belgique.

Keidel, H. en Zanen M. (2013) De ontwikkeling van een indicator voor het bodem-leven en de bodemkwaliteit van akkergronden op basis van overige aaltjes. BLGG AgroXpertus & Louis Bolk Instituut.

Kuo S. (1996). Phosphorus. In: Sparks DL, editor. Methods of soil analysis: Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America; 1996. Part 3. p.869-920.

Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw.

Paliwal R., (2008). Eartworms of Hemis national park, Jammu & Kashmir, India. Rec zool. Surv. India: 108 (part -3): 77-80.

Rhee, J.A. van (1970) De regenwormen (Lumbricidae) van Nederland. KNNV We-tenschappelijke Mededelingen nr. 84

Rutgers, M., Kuiten, A. M. P., & Brussaard, L. (2007). Prestaties van de bodem in de Hoeksche Waard: nulmeting en toepassing van een referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB). Briefrapport RIVM, 607020001, 44.

Sims, R.W., Gerard B.M., (1985). Earthworms. Synopsis of the British Fauna (New Se-ries) 31: 171 pp. Linnean Society London.

Smit, B., & Jager, J. (2018). Schets van de akkerbouw in Nederland: structuur-, landschaps-en milieukenmerken die een relatie hebben tot biodiversiteit (No. 2018-074). Wageningen Economic Research.

Timmermans, B., Sukkel, W., Bokhorst, B. (2012). Telen bij lage fosfaatniveaus in de bio-logische landbouw; achtergronden en literatuurstudie. Louis Bolk Instituut. Publicatie-nummer 2012-029 LbP. 32p.

Timmermans, B. G. H., Eekeren, N. V., & Bos, M. (2010). Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting: Handreiking voor de praktijk.

Valcks J., Govers G., Hermy M., Muys B., (2009) Dieper graven naar het belang van Regenwormen in duurzaam akkerbeheer -een toolkit voor ecologische erosiecontrole. Departement Aard- en omgevingswetenschappen, K.U. Leuven, 34p.

Bijlage 1: Bodemkwaliteitswaarden nematoden

- Verdeling over de trofische groepen
  - De aangetroffen nematodensoorten zijn ingedeeld op ecologische groep op basis van de voedselbronnen waar de soorten van leven (gildes). Daarmee is het percentage bacterie-, plant-, prooi- en schimmeleters bepaald.
  - Ook zijn aantallen dauerlarven vastgesteld. Dauerlarven zijn nematoden die als diaspore aanwezig zijn en in een rusttoestand in de bodem moeilijke omstandigheden kunnen overleven. Dauerlarven behoren tot de orde van de Rhabditidae. Omdat deze lastig te determineren is, zijn ze niet ingedeeld op CP klasse of trofische groep.
  - Aantallen roofaaltjes in de familie van de Dorylaimida en de Mononchida zijn uitgelicht, omdat deze een mogelijke indicator zijn voor bodemkwaliteit (Keidel en Zanen, 2012).
- Colonisator Persistor klasse 1-5
  - Nematodensoorten in een CP klasse reageren vergelijkbaar op veranderingen in de bodem. CP1 staat voor nematoden die snel reageren op veranderingen in de bodem en nematoden in klasse CP5 reageren juist traag en zijn daarbij gevoelig voor veranderingen. Een hoog aantal CP5 nematoden duidt dus op een stabiel bodemecosysteem.
- Maturity Index
  - De Maturity Index voor vrij levende nematoden (MI) is een maat voor bodemverstoring. De MI wordt berekend op basis van de CP klasses op basis van alle aanwezige nematoden. Lagere waarden zijn indicatief voor een meer verstoorde bodem en hogere waarden voor een minder verstoorde bodem. De MI neemt af met meer bacteriële activiteit en vervuiling die stress veroorzaakt in het bodemecosysteem.
  - De MI is berekend op drie verschillende manieren. Het verschil is dat er bepaalde groepen uit zijn gehaald. In de MI(2-5) zijn bacterie-etende aaltjes niet meegenomen in de MI berekening. In de MI (1d-5) is slechts een deel van deze bacterie-etende aaltjes niet meegenomen in de berekening van de MI.
- De Plant Parasitaire Index
  - De Plant Parasitaire Index (PPI) is een maat voor de ziektewerendheid van de bodem en wordt berekend met het aandeel plant-etende nematoden ten opzichte van alle nematoden.
  - De verhouding tussen de PPI en de MI(2-5) is een aanvullende maat voor ziektewerendheid. PPI/MI(2-5) geeft aan in hoeverre het aandeel plant parasitaire nematoden in verhouding staat met nematoden uit hogere trofische niveaus, waaronder carnivore nematoden. Hoe kleiner de verhouding PPI/MI(2-5) is, des te minder schade aan gewassen te verwachten is door plant parasitaire nematoden.

Bijlage 2: Bodembeoordelingen 2021

21 september '21 (Zegenpolder)

ZP1 Aardappel

Dit perceel heeft een bouwvoor van ongeveer 30cm diep. Deze is droog, maar mooi kruimelig tot afgerond. Onder de bouwvoor is de grijze, geoxideerde klei compact en laat scherpe breekvlakken zien. In de compacte laag rond 30cm diepte zijn blauwe plekken te zien van anaerobe vertering. Vanaf ong 40cm is de wintergrondwaterstand.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	70	30	
25-50cm		20	80
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm	x		
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

ZP2 vlas

Op dit perceel lag het vlas nog te roten op het veld. De bodem was flink aangereden door de oogstmachines. De bouwvoor was zichtbaar tot 25cm door een luchtigere bodem met meer beworteling. De bodem heeft hier een redelijk afgeronde structuur. Onderin is grijze klei zichtbaar vanaf 40cm, met al vanaf 25cm oxidatieplekken (wat duidt op een zeer hoge wintergrondwaterstand). Rond de 25cm is een lichte ploegzool te vinden. De beworteling bevindt zich voornamelijk in de bovenste 10cm. Door de hele bodem zijn poriën te vinden, wormen voornamelijk in de strooisellaag.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-5cm	20	80	
5-25cm		80	20
25-50cm		20	80
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm			x
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

ZP3 suikerbiet

Sterk verdroogde toplaag die daardoor hard is geworden. Bovenin nog een afgeronde structuur die naar beneden toe steeds compacter en scherpblokkiger wordt. Ploegzool aanwezig op 30cm diepte. Wel poriën aanwezig in het profiel, de beworteling van de bieten was echter matig en deze stonden er dan ook wat klein op.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm		100	
25-50cm		40	60
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm			x
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

ZP4 groenbemester na tarwe

Op dit perceel is het tarwestro ingewerkt en komt het ingezaaide groenbemestermengsel net boven. Ook zijn er resten van vers gestrooide vaste mest te vinden. De bouwvoor is tot 25cm rul; vanaf 40cm diepte eindigt de teeltlaag en begint de grijze klei met oxidatievlekken. De structuur is mooi afgerond door het hele profiel, met verder naar beneden toe meer scherpblokkige elementen. Wortels zijn nauwelijks meer zichtbaar en zijn misschien grotendeels al vergaan. Wel is er intensief bodemleven zichtbaar in de vorm van poriën van bacteriën en schimmels, en wormen die afkomen op de vaste mest.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm		80	20
25-50cm		60	40
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

ZP5 flora-akker met grasklaver

Op deze flora-akker is grasklaver ingezaaid om met maaibeheer de verdisteling tegen te gaan. De grasklaver stond op het moment van bemonstering ong. 15cm hoog. De bodem laat geen duidelijke bouwvoor zien, maar vanaf 30cm wordt deze lemiger en grijzer met oxidatievlekken, een vrij hoge wintergrondwaterstand indicerend. De bodem is droog en compact, beworteling is maar zichtbaar tot 40cm, terwijl klaver diep kan wortelen. Rond 15cm diepte is een scherpbrekende, droge, storende laag zichtbaar. Daaronder is het profiel vochtiger, met veel ijzeroxidatie. Door het hele profiel zijn voldoende poriën zichtbaar, een indicatie voor een actief bodemleven.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm		60	40
25-50cm		30	70
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

Algemeen beeld Zegenpolder

Ongeveer 40cm teeltlaag van zware klei. Daaronder grijze oxiderende klei. Wintergrondwaterstand tot op 40cm. Risico op vernatting in het najaar, en langzame opstart gewasgroei (temperatuur en fosfaatbeschikbaarheid) in het voorjaar. Gevoelig voor storende laag net boven de 40cm. Bemonsterd eind september na lange droge periode, waardoor toplaag van verdroogde, harde, ingeklonken klei.

28 september & 4 oktober '21; Portlandpolder & Molenpolder

R1 aardappel

De aardappels op het perceel waren doodgespoten. De ruggen waren opgebouwd uit droge maar kruimelige grond, vanaf 30cm diepte wordt de bodem compacter. Vanaf 40cm diepte kleurt de bodem grijs en zanderiger met oxidatiestrepen. Vlak hierboven, rond de 35cm, bevindt zich een verdichte kleilaag van zo'n 5cm dikte.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	50	50	
25-50cm		30	70
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm			x
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm			x

R3 groenbemestermengsel na graszaad

Voormalig grasland voor de zaadteelt was in stroken opengewerkt en een groenbemestermengsel ingezaaid. Nog onverteerde maisresten van een jaar eerder zijn teruggevonden in de bodem. De grond laat een mooie afgeronde structuur zien, maar wordt vanaf 28cm iets compacter met al ijzeroxidatie zichtbaar. Vanaf 42cm zanderiger grijs met uitloopstreepjes van ijzeroxidatie. Mooi vochtig door geheel profiel.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	20	70	10
25-50cm		80	20
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

R4 aardappels

Mooie kruimelige grond met vanaf 40cm grijzige, meer zanderige grond. Vanaf daar ook oxidatievlekjes zichtbaar. Veel poriën zichtbaar en redelijk doorworteld.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm	40	60	
25-50cm	20	80	
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

R6 flora-akker in grasklaver

Op deze flora-akker is grasklaver ingezaaid om met maaibeheer de verdisteling tegen te gaan. De grasklaver stond op het moment van bemonstering ong. 20cm hoog. De bodem is compact door het hele profiel, en erg droog. Deze compacte klei ligt op een zanderige ondergrond vanaf 35cm diepte. Ijzeroxidatie is zichtbaar vanaf 40cm diepte. De compactie van de grond maakt dat de beworteling en het bodemleven zich op dit perceel niet kan uiten.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm	10	50	40
25-50cm		40	60

	Intensief	Redelijk	Slecht
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

R7 groenbemester na tarwe

Op dit perceel is het tarwestro ingewerkt waarna een groenbemester is ingezaaid die op het moment van bemonsteren net bovenkomt. De grond is droog en kluiterig, en laat vrij scherpe breekvlakken zien. De bodem heeft geen duidelijke bouwvoor en het kleipakket loopt door tot ten minste 50cm diepte.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	10	50	40
25-50cm		20	80
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

4 oktober '21 Molenpolder en Buijtenland

Veel regen gevallen vlak voor de bemonstering

1 tarwestoppel

Erg nat perceel en met sporen gereden. Water stagneert op een storende laag op 30cm diepte welke ongeveer 10cm dik is. Buiten deze laag is de structuur van de bodem goed. Door moeilijke afwatering en de vele regenval staan de plassen op het land en loopt de kuil snel vol.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm	20	80	
25-50cm		70	30

	Intensief	Redelijk	Slecht
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

2 tarwestoppel

Tarwestoppel waarover recent drijfmest is gereden. Perceel is erg nat, water komt omhoog tot 25cm onder het maaiveld. Bovenin is de structuur goed, alleen tussen de 10 en 17cm diepte is een compacte laag zichtbaar. Verder is de kuil nauwelijks te beoordelen.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-10cm		100	
10-17cm		30	70
17-25cm	50	50	
25-50cm	NB	NB	NB
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm	NB		
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm	NB		

3 groenbemestermengsel na tarwe

Het groenbemestermengsel op dit perceel is net boven. De bodem laat mooie afgeronde vormen zien in de structuur. De beworteling is goed, en er zijn veel poriën zichtbaar. Vanaf 40cm is er een langzame overgang naar grijzig zand met oxidatievlekken,

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	10	80	10
25-50cm		80	20
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

4 groenbemester na vlas

Net ontkiemde groenbemester of verlieszaad van het vlas in de bouwvoor. Tot 25cm heel los qua structuur, vanaf 30cm vaster. Veel bodemleven in de vorm van wormen en poriën zichtbaar. Vanaf ong. 40cm diepte zanderiger met oxidatievlekjes.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	20	70	10
25-50cm		40	60
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

5 tarwe

Tarwestro is ingewerkt in het perceel, kluiten liggen grof en droog op het land. De bouwvoor loopt tot 30cm diepte. Rondom 20cm zijn hier blauwgrijze plekjes te vinden van anaerobe vertering. Vanaf 40cm begint de grijzige, wat zanderige onderlaag met oxidatievlekjes.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm		50	50
25-50cm		60	40
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm			x
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

6 teunisbloem

Dit perceel laat een wat verslempte toplaag zien, met een redelijk afgeronde structuur daaronder. Vanaf 20cm wordt de bodem compacter, en vanaf 40cm begint het witgele zand waar het kleidek in dit deel van de polder op ligt (kreekrug). Vooral bovenin is een intensief bodemleven te zien met veel wormengangen en poriën.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	10	80	10
25-50cm		40	60
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm	x		
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

7 vlas

Het vlas was op het moment van bemonsteren van het land, maar er was veel teruggroei vanuit verlieszaden. De bodem is wat aangereden en er zijn veel natte plassen in de rijsporen en op de lagere delen van het perceel. De structuur van de bodem is niet slecht, maar door wat compacte bovengrond en slechte drainage blijft er toch veel water staan. De compacte bovengrond resulteert in wortels die deels de breukvlakken volgen om naar diepere lagen te komen, wel gaan voldoende wortels ook door de kluiten heen. Ijzeroxidatie laat een wintergrondwaterstand van tot 40cm zien. De zomergrondwaterstand op dit perceel zit vrij hoog, daar waar we op ong. 80cm diepte al blauwe klei vinden.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-5cm	30	70	
5-25cm		30	70
25-50cm		50	50

	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm			x
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

8 aardappel

Op dit perceel is de aardappel net gerooid. Het perceel is nat met verslempte rijsporen. De structuur van de bodem is goed en mooi rul, maar de toplaag blijkt slempgevoelig. Vanaf 40cm diepte wordt het profiel lemiger met oxidatievlekjes. Het bodemleven in de bodem is actief.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm	80	20	
25-50cm		70	30
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

9 suikerbiet

Suikerbiet is gerooid, maar de bodem is bovenin mooi los gebleven. Rond de gewasresten zijn veel wormen te vinden. Op 30-40cm bevindt zich een compacte, wat droge, storende laag.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm	30	70	
25-50cm		80	20
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

10 zwarte braak na groenteteelt

Dit is een mooie, losse kruimelige grond in de bovenlaag, met vanaf 25cm iets compactie. Vanaf 35 cm wordt de bodem zanderiger met ook wat ijzeroxidatie.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-10cm	100		
10-25cm	40	40	20
25-50cm		50	50
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm		x	

N1 tarwe

Op dit perceel is het tarwestro ingewerkt. Tot 10cm diepte is de bodem los, daaronder wat compacter maar nog afgerond qua structuur. Vochtig door het hele profiel. Zowel beworteling als bodemleven zijn niet heel duidelijk aanwezig. Vanaf 42cm begint de grijzige, zanderigere onderlaag met oxidatievlekken.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm		100	
25-50cm		90	10
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm		x	
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

N2 spruitkool

Spruitkool van zo'n 60cm hoog. Het profiel is tot 20cm diepte los, het kleidek loopt door tot 45cm diepte waarna de bodem zanderiger wordt en ijzeroxidatie optreed. De beworteling is goed en er zijn veel wormen te vinden door het hele profiel.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-15cm	40	60	
15-25cm		40	60
25-50cm		80	20
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

N3 kruidenrijk grasland

Schraal kruidenrijk grasland met een hoge diversiteit op wat droge, compacte klei. Opvallend is het bodemleven in de zode, wat bij het openbreken van de kluit alle kanten op krioelt. Veel hogere aanwezigheid van bodemgebonden insecten dan in de andere percelen. Vanaf 45cm wordt de bodem langzaamaan zanderiger.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-25cm		80	20
25-50cm		50	50
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

N4 kruidenrijk grasland

Net gemaaid kruidenrijk grasland. Droog door het gehele profiel, pas vanaf 45cm wordt de klei iets vochtig. In de bovenste 20cm is wat gruis te vinden, alsof hier ooit een weg heeft gelopen of wat grondverzet heeft plaatsgevonden. De beworteling is redelijk, maar het bodemleven niet heel intensief. Dit kan ook te maken hebben met de droogte op het moment van bemonsteren.

Structuur	% kruimels	% afgerond	% scherpblokkig
0-10cm	100		
10-25cm		80	20
25-50cm		40	60
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm		x	
Bodemleven 0-25		x	
Bodemleven 25-50cm		x	

N5 kruidenrijk grasland

Kruidenrijk grasland dat hoog staat en waar gras overheerst. Heterogeen perceel qua hoogte en vegetatie, met op sommige (lage) plekken riet. Erg mooie bodemstructuur met een goede beworteling en veel bodemleven. Mooi vochtig door het gehele profiel, maar geen overtollig water.

Structuur	**% kruimels**	**% afgerond**	**% scherpblokkig**
0-25cm	80	20	
25-50cm	10	70	20
	Intensief	**Redelijk**	**Slecht**
Beworteling 0-25cm	x		
Beworteling 25-50cm	x		
Bodemleven 0-25	x		
Bodemleven 25-50cm	x		

Bijlage 3: Determinatietabel regenwormen

	BRON																	
	Gerard, 1985.	Valdks J, Govers G,	Vliet P., Salanki T.,	Gerard and Sims	Rhee, J.A. van, 1970.	HIDVEGI												
naam								prostobiun	pigment	satea	dp	male pore	clitellum	tp	lengte	segm	diameter	
Lumbricus terrestris							ep-an	tan	ja	DG	(7/8) 8/9	(14)-15-(16)	31,32-37	33-36	90-350	140-155	6-10	
Lumbricus rubellus							ep	tan	ja	DG	(6/7) 7/8 (8/9)	geen	26,27-32	28-31	60-130	101-119	3-4	
Lumbricus castaneus							ep	tan	ja	DG	6/7	geen	28-33	29-32	30-45	85-90	2-4	
Lumbricus festivus							ep	tan	ja	DG	5/6 (6/7)	14-16	34-40	35-38	50-110	100-120	3,5-6	
Lumbricus eiseni							ep	tan	ja	DG	5/6	15	24-32,(33)	geen	30-65	70-115	2-5	
Lumbricus improvisus							ep						26-31	27-31	50-70			
Lumbricus friendi							ep	tan	ja	DG	6/7	15	(33)34-37	34-36	45-120	70-130	4-8	
Eisenia fetida							ep	epi	ja	DG	(3/4) 4/5	15	(24)25,26-32,33, 34	28-30,(31) (32)	30-130	80-120	3-6	
Eisenia andrei						intr	ep	epi	ja	DG		15	(25)26-32(33)	(27)28-30(31)	60-120			niet te onderscheiden van fetida behalve kleur, andrei meer intens gepigmenteerd, geen lichte strepen
Eisenia hortensis							ep	epi/tany	ja	WG	5/6	15 groot	(26) 27-33	30-31	20-50	42-130	1,5-5	
Eisenia veneta								pro/epi/tan	ja	WG	5/6	15	(26)27-32 (33)	30-31(32)	50-155	86-255	4-8	
Eiseniella tetraedra							ep	epi	groenroo	DG	4/5	13	(22)23-26(27)	(23)1/2 23-25(26)	20-65	70-90	1,5-4	
Dendrodrilus rubidus rubidus							ep	epi	ja	WG tot U	5/6	15	26,27-31,32	29-30	20-100	50-120	2-5	
D. rubidus subrubicundus							ep	epi	ja	WG tot U	5/6	15	25,26-31,32	28-30	27-90	60-110		
D. rubidus tenuis							ep	epi	ja	WG	5/6	15	25,26,27-30,31,32,33	vezig of 28,29, 1/2 29-30,	20-85	90-120		
Dendrobaena attemsi							ep	epi	dorsaal	U	(4/5/6/7)(7/8	15	(28) 29-34	30-32	26-70	125-145	1-3	
Dendrobaena octaedra							ep	epi	ja	U	(4/5) 5/6	15	(27) 28,29-33,34	31-33 (34)	17-70	70-105	2-5	
Dendrobaena pygmea							ep	epi	beetje	WG	(*4/5) 5/6 (6/7)	(14)15(16)	33-37	geen	20-40	90-110	0,5-1,2	
Satchellius mammalis								epi	ja	U	(4/5) 5/6 (6/7)	14-16	31-36	33-34	24-41	83-100	1,5-3	
Aporrectodea longa							an	epi	nee	DG	(9/10) 12/13 (14/15)	14-16	(27) 28-35 (36)	(31)32-34	90-170	170-190	4-9	
A. caliginosa f. typica							en	epi	nee	DG		14-16	26,27,28-34,35	31,33	40-130	100-250		
A. caliginosa f. trapezoïdes							en	epi	nee	DG		14-16	26,27,28-34,35	31-33	80-140	100-250		male sterile
A caliginosa f nocturna							en	epi	ja	DG		14-16	(27)28-34(35)	31-33	90-180	200-246		
A. caliginosa f. tuberculata							en	epi	nee	DG		14-16	(27)28-34	1/2 30 31-33 1/2 34	90-150	152-194		30 32 34
A. caliginosa ss							en	epi	nee	DG		14-16	(27)28-34	31-33	60-85	120-150		
Aporrectodea caliginosa							en	epi	nee	DG	(7) 9/10-12/13 (14/1	14-16	(27) 28-34 (35)	31-33	40-180	120-246	3,5-7	30 32 33
Aporrectodea limicola							en	epi	nee	DG	4/5 (5/6)	14-16	(28)29-35(36)	33-34	40-100	86-146	3-4	
Aporrectodea rosea							en	epi	nee	DG	4/5 (5/6)	15	(25)26-32 (33)	29-30,31	25-85	120-140	2-6	
Aporrectodea icterica							en	epi	nee	DG	4/5 (5/6)	14-16	(32,33,34)35-1/2 43(1/2 43-44)	(35,36,37)38-41(42,43,44)	50-140	150-170	3-6	
Allolobophora chlorotica							en	epi	nee	DG	4/5	14-16	(28)29-37	31,33,35	30-80	80-138	3-7	
Allolobophora cupulifera							en	epi	nee		5/6	14-16	26-32	28, 30	20-60	80-120		
Allolobophora antipae							en	epi	nee		4/5	14-16	26-33	30-31	50-90	100-130		
Allolobophora parva							en	epi	ja	DG	5/6	15	(23)24-30	(25)26-29(30) absent	25-52	95-104	1,5-2,5	
Octolasion cyaneum							en	epi	nee	oraan, WG	0) (10/11) 11/12 (12	15	29-34	29,30-33,34	50-180	90-165	5-8	
Octolasion lacteum							en	epi2**	nee	WG tot U		14-16	30-35	1/2 30, 31-34,1/2 35	30-160	85-165		
Octolasion tyrtaeum							en	epi	nee	WG	8/9, 10/11, 12/13	14-16	30-35	30-35	35-160	100-135	2,5-6	
Microscolex phosphoreus								epi	phospore	4 paar	absent	17	13-17		10-35	73-88	1,0-1,5	
Haplotaxis gordioides							en	epi	nee	4! WG		11-12	9-28	niet aanwezig	400!			
Helodrilus oculatus							en	epi	nee	DG	4/5	(13)14-16(17)	(21,22)23-32	29-30	40-80	90-150	1-2	
Sparganophilus tamesis							en	tan	?	DG	absent	18-19	(15)16-25(26)	16-24	70-200	125-260	1-5	
Murchieona minuscula							en	epi	nee	DG	11/12 12/13	14-16	26-32	29-31	20-22	84-87		
Murchieona muldali							en	epi	nee	DG		14-16	27-33		30-50	84-106	1,2-2	
Nicodrilus giardi giardi							an		ja			15	(26)27-35(36)	32, 34	150-250			