Deltares

Bodemverbeterende maatregelen: Pilot met toevoegen organisch stof

Onderzoek naar mogelijk nitraatuitspoeling naar het grondwater



Bodemverbeterende maatregelen: Pilot met toevoegen organisch stof
Onderzoek naar mogelijk nitraatuitspoeling naar het grondwater





Lumbricus bestaat uit een consortium van partijen zijnde Waterschap Vechtstromen, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Limburg, STOWA, Universiteit Twente, Radboud Universiteit, Wageningen University departement Omgevingswetenschappen, Wageningen Environmental Research, KWR Watercycle Research Institute, Deltares, KnowH2O, FutureWater, Louis Bolk Instituut.

Bodemverbeterende maatregelen: Pilot met toevoegen organisch stof
Onderzoek naar mogelijk nitraatuitspoeling naar het grondwater

Opdrachtgever	Lumbricus-consortium
Contactpersoon	Joachim Rozemeijer
Trefwoorden	Organisch materiaal, bodemverbetering, nitraat, bodem, grondwater

Documentgegevens	
Versie	0.1
Datum	06-11-2020
Projectnummer	1220765
Document ID	1220765-000-BGS-0022
Pagina's	32
Status	definitief

Auteur(s)		
Jasperien de Weert, Joachim Rozemeijer, Andre Cinjee, Erik van Vilsteren (Deltares) Marius Heinen, Willy de Groot (WENR)		

Doc. Versie	**Auteur**	**Controle**	**Akkoord**	**Publicatie**
0.1	Joachim Rozemeijer	Simon Buijs	Otto de Keizer	

Samenvatting

Het onderzoeksprogramma Lumbricus gaat over het klimaatrobuust inrichten en beheren van stroomgebieden op de hogere zandgronden. Binnen het Lumbricus-thema Bewuste Bodem, cluster 2 wordt invullinggegeven aan: i) effectief bodem- en waterbeheer op perceelschaal, ii) maatregelen voor een duurzaam watersysteem, en iii) waterkwantiteit en waterkwaliteit.

Organische stof in de bodem is gunstig voor bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, bodemleven en het vermogen om water en nutriënten vast te houden, en heeft hiermee ook een directe invloed op de gewasopbrengst. Een van de Lumbricus-pilots in het Raam stroomgebied bestaat uit het verbeteren van het organisch stof gehalte van de bodem door het toedienen van organisch materiaal. Hiertoe is in een proef op een wortel-perceel bij Zeeland in Noord-Brabant keurcompost, insectensubstraat en een combinatie van beiden toegediend en vergeleken met een blanco referentie zonder toevoeging.

Het doel van het in dit rapport beschreven deelonderzoek was om vast te stellen in hoeverre het opgebrachte substraat leidt tot uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Dit deelonderzoek is uitgevoerd door Deltares en WENR. In de verschillende proefvlakken zijn van november 2019 tot maart 2020 metingen gedaan aan nutriënten in de bodem en het grondwater.

Uit de metingen blijkt onder meer dat de nitraatconcentraties in het grondwater hoger waren onder de plots waar substraat is toegepast ten opzichte van de blanco referentieplots. De gemiddelde nitraatconcentratie onder de blanco's was met 35 mgNO3/L onder de norm van 50 mgNO3/L Bij het insectensubstraat lag de gemiddelde concentratie op 70 mgNO3/L, bij het keurcompost en de combinatie van beide substraten gemiddeld op respectievelijk 60 en 59 mgNO3/L. Hierbij moet aangetekend worden dat de lokale situatie een grote rol speelt bij het risico op nitraatuitspoeling. De resultaten van de nitraatconcentratiemetingen in de grond (20 cm diep) laten ongeveer dezelfde verhoudingen zien als de nitraatconcentraties in het grondwater. In de tijd laten alle plots een vergelijkbaar patroon in de grond zien, met oplopende nitraatconcentraties tot en met januari en snel dalende concentraties door de uitspoeling gedurende de zeer natte periode in februari en begin maart.

Om beter grip te krijgen op de risico's bevelen we aan de nitraatuitspoeling van verschillende organische stof substraten beter in beeld te brengen voor verschillende omstandigheden en bemesting-scenario's. Om ongewenste verliezen van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater te voorkomen kunnen agrariërs dan bij bemestingsplannen rekening houden met de uit organische stof substraten vrijkomende nutriënten.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Inleiding**	**6**
1.1	Onderzoeksvraag en doel	6
1.2	Leeswijzer	6
2	**Uitgevoerde werkzaamheden en locatiegegevens**	**7**
2.1	Locatiegegevens Agro As de Peel	7
2.2	Toegepaste substraten	9
2.3	Toediening substraat	9
2.4	Onderzoek grondwater en grond	10
2.4.1	Grondwater	10
2.4.2	Grond	10
2.4.3	Samenvatting uitgevoerde werkzaamheden/bemonsteringen	12
2.4.4	Analyses	13
2.5	Humificatiecoëfficiënt substraten	13
3	**Resultaten**	**14**
3.1	Bodemprofielen	14
3.2	Grondwater	16
3.2.1	Grondwaterstanden	16
3.2.2	Concentraties nitraat	18
3.3	Grond	21
3.4	Humificatiecoëfficiënt	23
4	**Conclusies en aanbevelingen**	**25**
4.1	Conclusies	25
4.2	Aanbevelingen	26
5	**Referenties**	**27**
A	**Detail bodemprofielbeschrijvingen**	**28**

1 Inleiding

Het onderzoek dat in dit rapport is beschreven maakt onderdeel uit van het thema Bewuste Bodem van het onderzoeksprogramma Lumbricus (looptijd 2016-2020). Lumbricus is een samenwerkingsprogramma met onderzoeksinstellingen en regionale partijen, waarin doelstellingen met betrekking tot waterkwaliteit, zoetwatervoorziening, bodembeheer, klimaatadaptatie en waterveiligheid samenkomen. Kern van het programma Lumbricus is het ontwikkelen en implementeren van een klimaatrobuust bodem- en watersysteem door het op stroomgebiedsniveau geïntegreerd toepassen van innovatieve maatregelen op het gebied van bodem, ondergrond en water. Het Lumbricus-thema Bewuste Bodem richt zich op de bodem als sleutel in vocht- en nutriëntenvoorziening voor landbouw en natuur en op een duurzaam bodem- en waterbeheer voor een gezonde bodem in relatie tot gebruiksfuncties. Het thema richt zich met name op de effectiviteit van hydrologische en bodemmaatregelen op perceelsniveau en de verbetering van modellen om de effectiviteit te kunnen beoordelen.

Bij de proeftuinen Stegeren en de Raam worden in verschillende pilots hydrologische en bodemgerelateerde maatregelen onderzocht. Een van de pilots bij de Raam bestaat uit het verbeteren van het organisch stof gehalte van de bodem door het toedienen van organisch stof. Organische stof is immers onder andere gunstig voor bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, bodemleven en het vermogen om water en nutriënten vast te houden, en heeft hiermee ook een directe invloed op de gewasopbrengst. Een gezond bodemleven kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat er minder plant-parasitaire nematoden (aaltjes) in de bodem aanwezig zijn bij intensieve akkerbouw die de gewasopbrengst negatief beïnvloeden. Het onderzoek naar de bodemverbeterende effecten van het toedienen van het substraat is uitgevoerd door de HAS in Den Bosch , het Louis Bolk Instituut, WENR en Deltares. De HAS beheerde de proef en hebben verschillende behandelingen uitgezet (Bron et al, 2018). WENR heeft peilbuizen geplaatst, grondwaterstanden gemeten en boorprofielen gemaakt, Deltares heeft bodem- en grondwatermonsters genomen en geanalyseerd en deze rapportage verzorgd.

1.1 Onderzoeksvraag en doel

Het doel van het in dit rapport beschreven deelonderzoek is om vast te stellen in hoeverre het opgebrachte substraat leidt tot uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Afbraak van organisch materiaal levert namelijk ook nitraat op. Indien deze mineralisatie niet of onvoldoende wordt meegenomen in het bemestingsplan en er meer nitraat beschikbaar komt dan dat het gewas kan opnemen, dan kan het overschot aan nitraat uitspoelen en het grondwater vervuilen. Uitspoeling kan ook plaatsvinden als het nitraat vrij komt buiten het groeiseizoen en er geen gewas meer aanwezig is om het nitraat op te nemen.

Voor dit onderzoek is door Deltares en de WENR bodemvocht- en grondwateronderzoek uitgevoerd op één van de pilotlocaties van de HAS waar substraat was toegediend. Tevens is het opgebrachte substraat nader onderzocht.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de werkzaamheden en resultaten van het aanvullende onderzoek. In hoofdstuk 2 staat de kort het onderzoek dat de studenten van de HAS uitvoeren beschreven en is informatie over de deellocatie waar het aanvullende onderzoek is uitgevoerd opgenomen. Ook staan in dit hoofdstuk de werkzaamheden uitgevoerd door Deltares en WENR. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten gevolgd door conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 4.

2 Uitgevoerde werkzaamheden en locatiegegevens

De pilot van de studenten van de HAS vindt plaats op een drietal proefpercelen waarop penen/wortelen worden geteeld. Peen is een gewas dat gevoelig is voor aaltjes en dus zeer geschikt als gewas om de effecten van het toedienen van substraat te onderzoeken.
Op de drie percelen, genaamd Berghem (Berg), Achter de geitenboer (Geit) en Agro As de Peel (AADP), zijn in het vroege voorjaar van 2018 en 2019, voordat de penen werden ingezaaid twee typen substraat aangebracht (Bron et al., 2018). Omdat het aanvullende onderzoek naar de uitspoeling van nitraat heeft plaatsgevonden op Agro As de Peel zijn verder alleen locatiegegevens en de werkzaamheden van de studenten op dit perceel beschreven.

2.1 Locatiegegevens Agro As de Peel

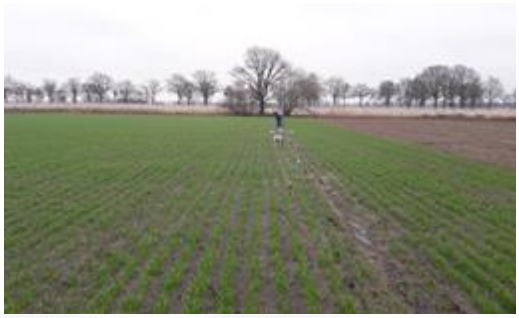
Het proefperceel Agro As de Peel is gelegen bij de plaats Zeeland in de gemeente Landerd (Figuur 2.1). Het perceel ligt in een akkerland dat door het consortium Agro As de Peel wordt gebruikt om innovatieve ideeën in de landbouw te onderzoeken. Op het perceel zijn in het verleden al diverse onderzoeken uitgevoerd. Het perceel wordt de laatste jaren gepacht om wortelen te telen. Speciaal voor dit onderzoek is enkele jaren achtereen op hetzelfde stuk penen geteeld om de invloed van het substraat op de nematoden in de bodem te onderzoeken.

Het stuk van het perceel waar substraat is toegediend is bepaald op basis van organisch stof gehalte uit een reeks uitgevoerde Veris bodemscans (Bron et al. 2018). Met een Veris bodemscan worden bodemeigenschappen zoals pH, geleidbaarheid en organisch stof gehalte op basis van GPS gegevens weergegeven op een kaart. Het gekozen deel ligt op een stuk van het perceel waar het organisch stof gehalte laag is.





November 2019





Maart 2020

Figuur 2.1 Ligging van de onderzoeksperceel Agro As de Peel met foto's van de locatie genomen in november 2019 en maart 2020

2.2 Toegepaste substraten

In de onderzoeken van de HAS (Bron et al., 2018) is gebruik gemaakt van twee typen substraat; keurcompost van de leverancier Van Berkel Biomassa & Bodemproducten BV en insectensubstraat van de leverancier Protix BV.

Keurcompost bestaat uit groenafval, slootmaaisel, blad en gras dat wordt gecomposteerd. Het heeft een hoog organisch stof gehalte en een hoog watervasthoudend vermogen. Insectensubstraat is een product dat als reststroom vrij komt bij de productie van Zwarte soldaatvliegen. Het bestaat uit een reststroom van de tuinbouw dat door de vlieg wordt gegeten, afgebroken en weer uitgescheiden. Dit nieuwe gevormde substraat bevat tevens het exoskelet van de vlieg dat wordt achtergelaten nadat de insecten zijn verveld. Het substraat bevat dan ook veel chitine (Bron et al., 2018). Er is een natte en gedroogde variant beschikbaar. Op de onderzoekspercelen is het natte substraat gebruikt omdat dit na verwachting meer micro-organismen bevat en daarmee het bodemleven beter kan stimuleren.

2.3 Toediening substraat

In het voorjaar van 2018 en 2019 is door de studenten van de HAS substraat toegevoegd aan de verschillende plots. Daarbij is gezorgd dat alle behandelde plots in totaal evenveel organisch stof kregen toegediend. Afhankelijk van het organisch stofgehalte in het substraat betekent dit verschillende hoeveelheden substraat per behandelingsvariant. In Tabel 2.1 staat weergegeven hoeveel van elk substraat is toegediend. In 2018 is bijna 3 keer meer substraat toegepast dan in 2019.

Elk substraat is in viervoud toegediend en tevens zijn er vier plots waarop geen substraat is toegediend (de blanco's). In totaal bestaat het onderzoek uit 16 plots van ca. 10 x 10,5 meter. In Figuur 2.2 is te zien hoe deze plots ruimtelijk waren gelegen op de locatie.

Tabel 2.1 Toegediende hoeveelheid keurcompost en/of insectensubstraat

Toegediend substraat	2018	2019
Keurcompost (CO)	70 ton/ha	26,6 ton/ha
Insectensubstraat (IN)	31,55 ton/ha	12,0 ton/ha
Mix (IN+CO)	15,8 IN ton/ha + 35 CO ton/ha	6,0 IN ton/ha + 13,3 CO ton/ha



Figuur 2.2 Ruimtelijke verdeling plots met toegediend substraat, A = geen substraat (blanco), B = Keurcompost, C = Insectensubstraat, D = keurkompost en insectensubstraat; 1-4: herhalingen.

2.4 Onderzoek grondwater en grond

2.4.1 Grondwater

Plaatsing peilbuizen

Om de invloed van de substraten op de kwaliteit van het ondiepe grondwater voor nitraat, ammonium en totaal stikstof te monitoren zijn grondwatermonsters genomen. Daartoe hebben veldmedewerkers van WENR op 13 november 2019 peilbuizen geplaatst in het midden van elke de plot. Uit een mededeling van de studenten van de HAS bleek dat het eerste en het laatste plot het afgelopen jaar niet goed gebruikt is en niet met zekerheid meer te zeggen was waar dit eerste en laatste plot precies begonnen en ophielden zijn de twee buitenste plots (A1 en D4) komen te vervallen. Er zijn dus peilbuizen geplaatst in de plots B1 t/m C4. In peilbuis in plot B2 en C4 zijn divers gehangen om continue de grondwaterstand te meten. Daarnaast is bij elke geplaatste peilbuis aangegeven hoe dik de bovengrond is, bestaande uit een homogene zwarte A horizont en een heterogene met de ondergrond vermengde laag die nog bewortelbaar is (Bijlage A). In de samenvattende tabel (Tabel) in paragraaf 2.4.3 staat het overzicht waar de peilbuizen zijn geplaats met de coördinaten van centrum van de plots en de positie van de peilbuizen.

Grondwater bemonstering

Het grondwater is in de periode van half november 2019 tot en met begin maart 2020 zesmaal bemonsterd (Tabel 2.2 Overzicht van de bemonsteringen van het grondwater en de grondTabel 2.2). Tijdens de bemonstering zijn de grondwaterstanden gemeten en zijn de pH, EC en temperatuur in het veld bepaald.

Tabel 2.2 Overzicht van de bemonsteringen van het grondwater en de grond

Bemonsteringsronde	Datum
Plaatsing peilbuizen en nemen boorprofiel	13 november 2019
Ronde 1	20 november 2019
Ronde 2	12 december 2019
Ronde 3	14 januari 2020
Ronde 4	6 februari 2020
Ronde 5	20 februari 2020
Ronde 6	5 maart 2020

Voorafgaand aan de bemonstering zijn de peilbuizen met een heel laag debiet afgepompt om geen verstoring van het grondwater in de naast gelegen plots te veroorzaken. Steeds werd 3-4 liter afgepompt en werd het monster genomen wanneer de geleidbaarheid (EC) stabiel was. Vervolgens zijn de monsters voor nitraat, ammonium en totaal-stikstof genomen. Dit was in totaal enkele tientallen ml.

2.4.2 Grond

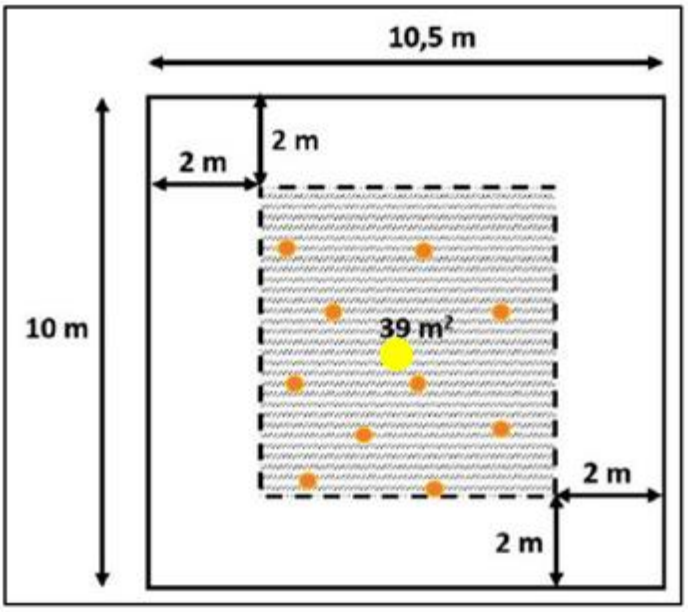
Bodemprofiel

Voor vier plots (C1, C2, C3 en C4) verdeeld over het proefpreceel zijn boorprofielen opgesteld. De profielbeschrijvingen zijn gemaakt daar waar de peilbuizen zijn geplaatst.

Grondmonsters

Voor de bepaling van nitraat en ammonium in bodemvocht zijn grondmonsters genomen op dezelfde dag als ook het grondwater werd bemonsterd. Hierbij is op 10 plaatsen binnen het plot met een guts tot op 20 cm diepte een steekmonster genomen. Met een maatschepje van 5 ml is vervolgens van de onderzijde een monster genomen. Deze individuele steekmonsters zijn samengevoegd tot 1 mengmonster per plot. Bij de eerste bemonstering zijn ook de 10 individuele monsters per plot apart onderzocht om inzicht te krijgen in de heterogeniteit. Ook is er een mengmonster samengesteld om het vochtgehalte op te bepalen. Omdat tijdens de

grondbewerking op het perceel vermenging op de grenzen van de plots ontstaat zijn de grondmonsters 2 meter vanaf de kanten genomen (Figuur 2.3). Op de plekken waar de grondmonsters zijn genomen is een piketpaaltje geplaatst om de keer erop op precies dezelfde plek het monster te kunnen nemen.



Figuur 2.3 Globale locaties van de bemonstering voor de grond per plot (oranje bolletjes) en grondwater (peilbuis, gele bolletje)

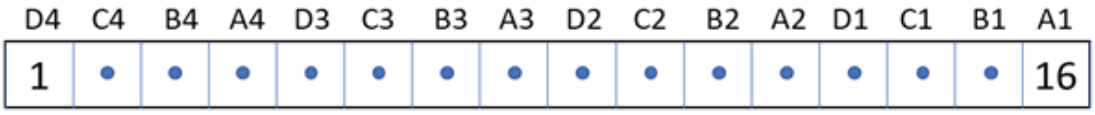
2.4.3 Samenvatting uitgevoerde werkzaamheden/bemonsteringen

In Tabel 2.3 staat een overzicht van de nummering van de plots en de monsters/onderzoeken die er per plot zijn uitgevoerd. In Figuur 2.4 staat schematische de ligging van de plots met de verschillende nummering weergegeven.

Tabel 2.3 Overzichtstabel met peilbuis en plotnummers van de HAS en WENR, locatie peilbuizen en uitgevoerd onderzoek per plot. XY-coördinaten zijn van de posities van het centrum van plots waar peilbuizenpeilbuizen staan. De peilbuizen in plot 2, 6, 10 en 14 zijn ingemeten en overige coördinaten zijn berekend op basis van standaard afmetingen van de plots (10x10 m).

Plotnr	Code	X	Y	Hoogte (m +NAP)	Bodem-profiel	Diver	GW-monster	Grond-monster
1	D4	179111.8	407720.8					
2	C4	179121.0	407725.0	17.52	X	X	X	X
3	B4	179130.3	407729.3				X	X
4	A4	179139.5	407733.5				X	X
5	D3	179148.8	407737.8				X	
6	C3	179158.0	407742.0	17.43	X		X	X
7	B3	179167.3	407747.0				X	X
8	A3	179176.5	407752.0				X	X
9	D2	179185.8	407757.0				X	
10	C2	179195.0	407762.0	17.3	X		X	X
11	B2	179203.8	407767.0				X	X
12	A2	179212.5	407772.0				X	X
13	D1	179221.3	407777.0				X	X
14	C1	179230.0	407782.0	17.2	X		X	X
15	B1	179238.8	407787.0			X	X	X
16	A1	179247.5	407792.0					

A = blanco
B = Keurcompost
C = Insectensubstraat
D = Insectensubstraat en Keurcompost



Figuur 2.4 .Schematische ligging plots 1 t/m 16 (10x10 m) voor behandelingen A (referentie), B (keurcompost), C (insectensubstraat) en D (mix van keurcompost en insectensubstraat). Links is de ZW kant van het proefperceel. In plots 2-15 zijn peilbuizen (Pb) geplaatst. De nummering van de peilbuizen is onder de plots gegeven.

2.4.4 Analyses

Grondwater
De grondwatermonsters zijn gefiltreerd over een Nylon 0,45 µm filter voor IC analyse en geanalyseerd met ionchromatografie (ThermoFisher Dionex 3000), op onder meer nitraat en ammonium. Totaal stikstof (totaal N) is geanalyseerd met de Shimadzu TOC-L TN analyser. De analyses zijn gedaan in het Castel laboratorium van Deltares, TNO en de UU.

Grondmonsters
Voor de bepaling van nitraat en ammonium in het bodemvocht zijn de monsters geëxtraheerd met een 0,5M calciumchloride oplossing. Hierbij is het totale mengmonster (van 50 ml) geschud met 100 ml calciumchloride oplossing gedurende 1 uur bij 150 schudbewegingen per minuut. Vervolgens is een monster gefiltreerd over een Nylon 0,45 µm filter en geanalyseerd met de ionchromatograaf. Van de grondmonsters is ook het vochtgehalte bepaald door een mengmonster gedurende minstens 24 uur te drogen bij 104ºC. Ook de grondmonsters zijn geanalyseerd in het Castel laboratorium van Deltares, TNO en de UU.

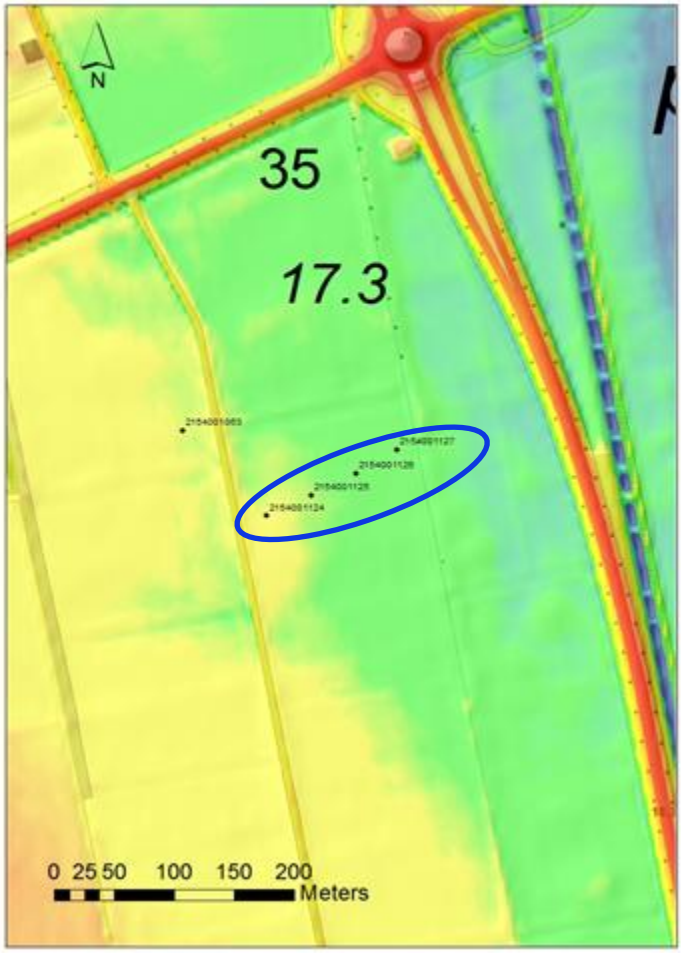
2.5 Humificatiecoëfficiënt substraten

De organische materialen – keurcompost en insectensubstraat – die in de proef zijn aangewend zullen in de bodem afbreken (humificeren) waardoor er mineralen zoals nitraat vrij komen. Het is belangrijk om te weten hoe snel de materialen afbreken, bijvoorbeeld ten behoeve van interpretatie van de metingen en modellering. Dit kan worden gekwantificeerd door onder laboratoriumomstandigheden vast te stellen hoeveel van het materiaal er na 1 jaar nog over is in de bodem: de humificatiecoëfficiënt (*hc*). Deze bepaling is uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut (R. Bruinenberg).

3 Resultaten

3.1 Bodemprofielen

In Figuur 3.1 is de ligging van het proefveld te zien. De kleuren geven de hoogte volgens AHN2 aan. Het proefveld ligt op 17 m +NAP vlakbij de rotonde van Middenpeelweg (N277) en N264. De raai van vier profielbeschrijvingen (genummerd 215401124-215401127) geeft de ligging van het proefveld globaal aan. Volgens de hoogtekaart is er een kleine gradiënt in maaiveldhoogte van ZW naar NO (ca. 30 cm over 130 m, ca. 0.2%).

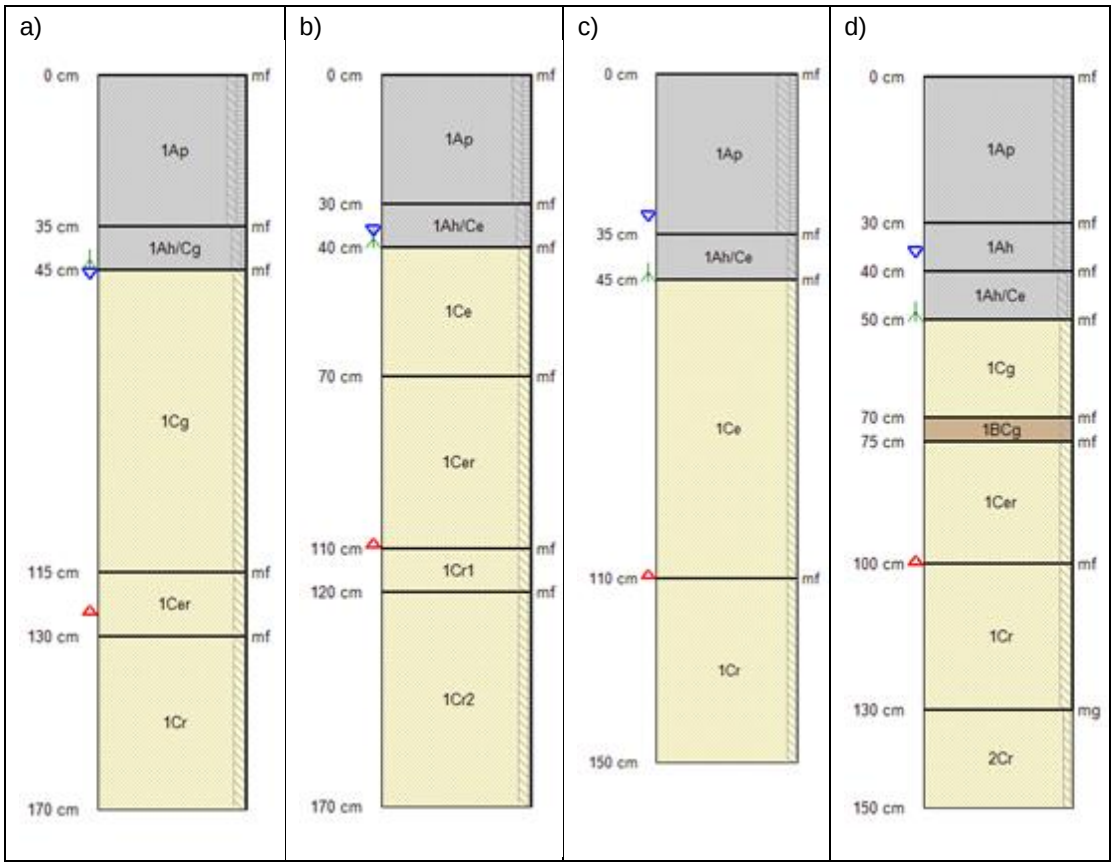


Figuur 3.1 Locatie van de vier bodemprofielbeschrijvingen in het proefperceel (binnen blauwe cirkel).

De profielbeschrijvingen zijn gemaakt daar waar grondwaterstand peilbuizen 2, 6, 10 en 14 zijn geplaatst.

De dikte van de homogene zwarte A horizont ter hoogte van alle geplaatst peilbuizen was 30 tot 40 cm en de doorwortelbare laag was ingeschat op 40 tot 50 cm. Volgens de profielbeschrijvingen hebben allen als bodemtype een dunne tot matig dikke, meest leemarme, matig fijnzandige gooreerdgrond (Figuur 3.2; details in Bijlage 1). Onder bijna elke homogene bovengrond komt een heterogene met de ondergrond vermengde laag voor van ongeveer 10 cm. De ondergrond is verder vrij homogeen. Soms komt er een minder goed doorlatende laag voor die wat humeuzer is.

Op een diepte van 100-130 cm begint vaak een grindlaagje, dat varieert in dikte van enkele centimeters tot de dikte van een horizont. In de humeuze bovengrond is soms een ploegzool (door ploegen wat verdichte laag onder de ploegdiepte) aanwezig. De bovenste bodem is los gepakt; er zitten veel holtes in, mogelijk graafgangen van muizen die gewasresten (wortel) eten. In de permanente grondwaterzone komen vaak houtresten voor.



Figuur 3.2 Schematische weergave bodemprofielen in plots a) 2, b) 6, c) 10, en d) 14. Voor details zie Bijlage A.

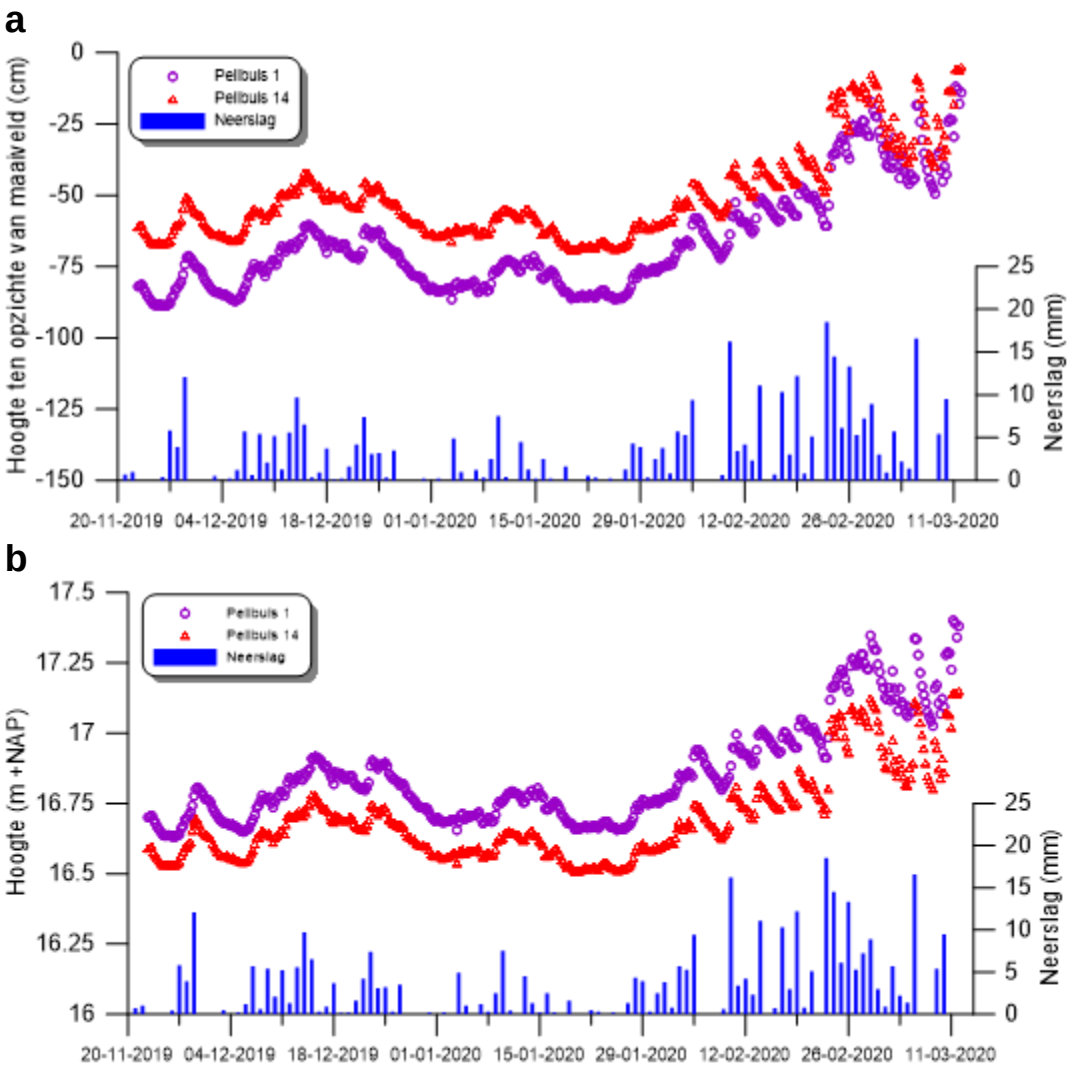
3.2 Grondwater

3.2.1 Grondwaterstanden

Tijdens het winterseizoen 2019-2020 zijn in de periode 22-11-2019 tot en met 12-03-2020 de grondwaterstanden in peilbuizen 1 en 14 automatische geregistreerd (elke 6 uur) met de twee geïnstalleerde divers. Bij aanvang zat het grondwater op ongeveer 60-80 cm beneden maaiveld. Aan het eind was het grondwater ruim een halve meter gestegen tot 5-15 cm onder maaiveld (Figuur 3.3).

De sensormetingen zijn gecorrigeerd op basis van de handmatige controles uitgevoerd aan begin en eind (lineaire verloop verondersteld). Wanneer de metingen uitgezet worden ten opzichte van NAP dan liggen de grondwaterstanden bij peilbuis 1 in absolute zin iets hoger dan bij peilbuis 14, zodat stromingsrichting van het grondwater van plot 1 naar plot 16 is (Figuur 3.3b), wat gezien de hoogte-gradiënt (Figuur 3.1) ook te verwachten is. Het maximale verschil in absolute grondwaterstand bedroeg 26 cm; over de lengte van 130 m (afstand tussen beide peilbuizen) komt dat neer op ongeveer 0.2% helling. In Figuur 3.3 is ook de dagelijkse neerslag van KNMI neerslagstation Volkel[1] gegeven (meetwaarden betreffen de neerslagsom sinds in de periode 08:00 vorige dag tot 08:00 huidige dag). In Tabel 3.1 staat de hoeveelheid neerslag die is gevallen vanaf begin november tot en met de dag van laatste bemonstering en de hoeveelheden die tussen de bemonsteringen zijn gevallen. De stijging van het grondwater in de periode eind januari tot einde meetperiode is toe te schrijven aan de grote hoeveelheid neerslag: in de periode 25-01-2020 tot en met 10-03-2020 is 225 mm neerslag geregistreerd. Op 12-03-2020 was zelfs enige plasvorming aan maaiveld zichtbaar (Figuur 3.4).Tijdens de bemonsteringen van het grondwater zijn ook steeds de grondwaterstanden gemeten.

[1] KNMI neerslagstation ligt ongeveer 2.5 km ten westen van het proefveld te Odiliapeel.



Figuur 3.3 Verloop grondwaterstanden als functie van de tijd voor peilbuizen 1 en 14 a) ten opzichte van maaiveld en b) ten opzichte van NAP

Tabel 3.1 Cumulatieve neerslag gevallen van 1 november tot aan de laatste bemonstering van het grond en grondwater met de cumulatieve hoeveelheden gevallen tussen de bemonsteringstijdstippen in.

Datum bemonstering	Cum. neerslag sinds 01-11-2019 (mm)	Neerslag tussen opeenvolgende bemonsteringen (mm)
20-11-2019	54.2	(54.2)
12-12-2019	100.3	46.1
14-01-2020	174.6	74.3
06-02-2020	217.4	42.8
20-02-2020	282.2	64.8
05-03-2020	374.3	92.1



Figuur 3.4 Proefveld Odiliapeel op 12-03-2020, voordat de peilbuizen verwijderd zijn.

3.2.2 Concentraties nitraat

Uit de meetresultaten is gebleken dat nitraat veruit de belangrijkste stikstoffractie in het grondwater is. De nitraatconcentraties varieerden tussen de 14 en 242 mg NO_3/L. De ammonium (NH_4)-concentratie onder de plots was gemiddeld 0,14 mg NH_4/L en maximaal 0,26 mg NH_4/L. In de eerste 2 meetronden zijn ook lage concentraties nitriet (NO_2) aangetroffen, tot 1,8 mg NO_2/L (gemiddeld 0,34 mg NO_2/L). In de laatste 4 meetronden is de nitrietconcentratie altijd onder de 0,1 mg NO_2/L gemeten. Aangezien nitraat veruit de grootste stikstoffractie is, ligt de focus verder op nitraat.

In figuur 3.5 staan alle gemeten nitraatconcentraties in het grondwater uitgezet tegen de tijd. Tabel 3.2 geeft per behandeling het gemiddelde, de standaarddeviatie en de mediaan van de nitraatconcentraties in het grondwater. Figuur 3.6 geeft de gemiddelde nitraatconcentratie per behandeling visueel weer in een staafdiagram.

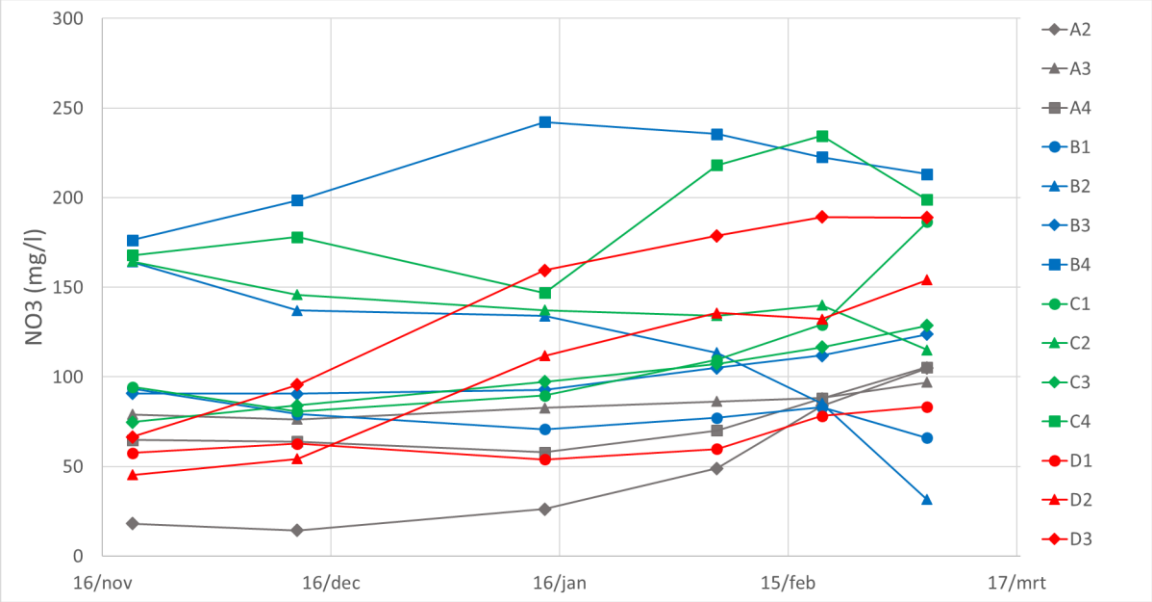
De resultaten in figuur 3.5 laten zien dat de spreiding van de nitraatconcentraties onder de verschillende plots groot is. Ook tussen plots met dezelfde substraatbehandeling zijn de verschillen in concentraties soms groot. Waarschijnlijk wordt de grote spreiding veroorzaakt door (niet gemeten of visueel geobserveerde) heterogeniteit in de ondergrond. Gezien deze ruimtelijke verschillen blijkt het een goede onderzoeksopzet te zijn geweest de substraatbehandeling te herhalen in meerdere plots. Door gemiddelde concentraties te berekenen per behandeling wordt de invloed van ruimtelijke verschillen uitgemiddeld.

In de tijd laten de meeste plots een lichte stijging in de nitraatconcentraties zien tot en met de bemonstering van 20 februari. In deze periode zorgt het neerslagoverschot ervoor dat er nitraat uitspoelt. De laatste bemonstering (5 maart) is uitgevoerd na een erg natte periode en laat in de meeste plots wat lagere nitraatconcentraties zien. Het meeste nitraat is dan kennelijk al uit de bodem gespoeld en het grondwater wordt verder aangevuld met nitraatarm water. Plots B2 en C2 laten als enigen afnemende nitraatconcentraties zien. Ook zijn er enkele plots waar de concentraties min of meer constant blijven, zoals plot D2.

Uit tabel 3.2 en figuur 3.6 blijkt dat de nitraatconcentraties onder de met substraat behandelde plots gemiddeld flink hoger zijn dan onder de blanco plots. De gemiddelde nitraatconcentratie

onder de met substraat 2 (insectensubstraat) behandelde plots is twee keer zo hoog als onder de blanco plots. Onder de met substraat 1 (keurcompost) en met substraat 1+2 behandelde plots zijn de nitraatconcentraties ca. 70% hoger.

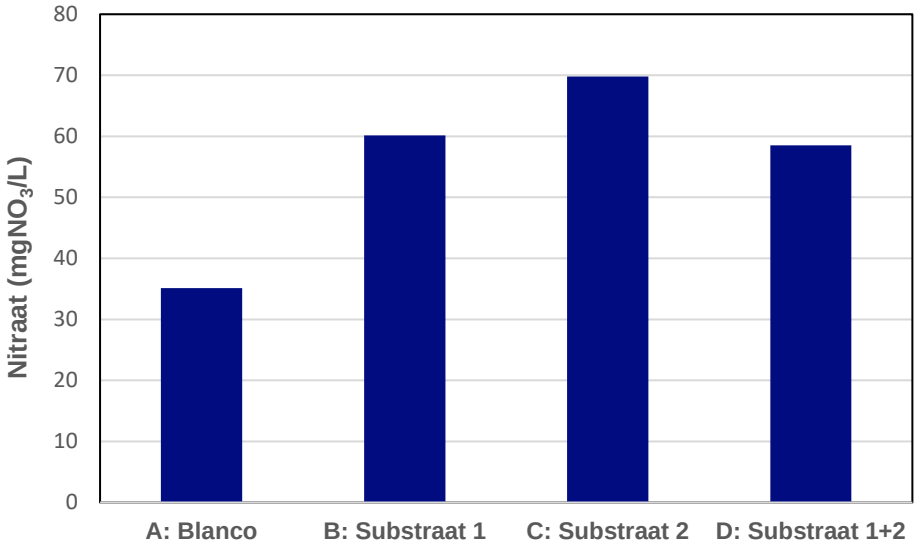
In 2018 zijn grote hoeveelheden substraat toegediend. In 2019 was dit een stuk lager. Het is mogelijk dat de hogere dosering van 2018 nog invloed heeft gehad op de concentraties in het grondwater in 2019.



Figuur 3.5 Gemeten nitraatconcentraties in het grondwater, qua kleur gegroepeerd per behandeling (A: blanco, B: Substraat 1 (keurcompost), C: Substraat 2 (insectensubstraat), D: Substraat 1+2.

Tabel 3.1 Nitraatconcentratie in het grondwater per behandeling; gemiddelde, standaard deviatie en mediaan

Behandeling	Aantal bemeten plots	NO_3-gemiddeld	Standaard deviatie	NO_3-mediaan
A: Blanco	3	35	26	28
B: Substraat 1 (keurcompost)	4	60	57	44
C: Substraat 2 (insectensubstraat)	4	70	56	54
D: Substraat 1+2	3	59	48	46



Figuur 3.6 Gemiddelde gemeten nitraatconcentraties in het grondwater onder de verschillende behandelingen (substraat 1 is keurkompost, substraat 2 is insectensubstraat).

3.3 Grond

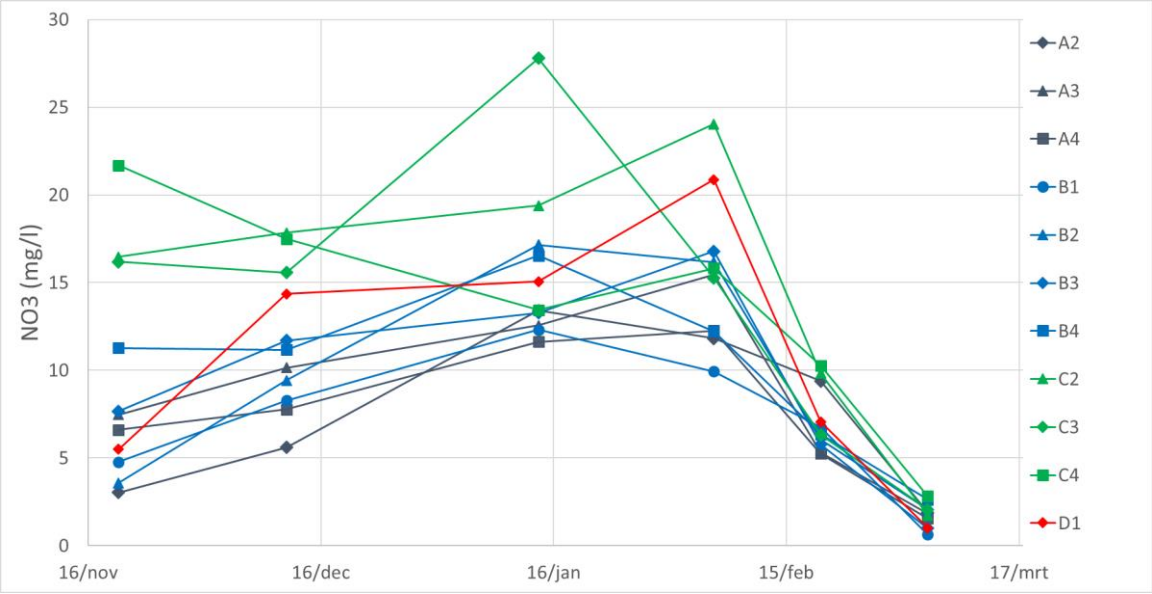
Ook uit de meetresultaten van de $CaCl_2$- extracten van de grondmonsters is gebleken dat nitraat de belangrijkste stikstoffractie is. De nitraatconcentraties varieerden tussen de 0,65 en 28 mg NO_3/L (gemiddeld 11 mg NO_3/L). De ammoniumconcentraties waren laag en varieerden tussen de 0 en 0,44 mg NH_4/L (gemiddeld 0,12 mg NH_4/L). De nitrietconcentraties waren ook laag en varieerden tussen de 0 en 0,19 mg NO_2/L (gemiddeld 0,05 mg NO_2/L). Omdat nitraat ook in de grondextracten de veruit dominante stikstofcomponent is, wordt hierop de focus gelegd.

In figuur 3.7 staan alle gemeten nitraatconcentraties in de grondextracten uitgezet tegen de tijd. Tabel 3.3 laat de gemiddelde concentraties per behandeling zien, waarbij opgemerkt moet worden dat de grondmonsters voor slechts 1 van de plots met substraat 1+2 is geanalyseerd. De statistieken voor deze behandeling zijn daardoor minder betrouwbaar.

De resultaten in figuur 3.7 laten zien dat ook in de grondextracten de spreiding in de concentraties groot is. De metingen per behandeling liggen wel dichter bij elkaar dan voor de concentraties in het grondwater. Alle plots laten een vergelijkbaar patroon in de tijd zien, met oplopende concentraties tot en met januari en snel dalende concentraties gedurende de zeer natte periode in februari en begin maart. Voor alle plots geldt dat bij de laatste bemonstering de nitraatgehaltes in de grond erg laag zijn geworden (gemiddeld 1,7 mg NO_3/L). Dit resultaat is in lijn met de afnemende nitraatconcentraties in het grondwater bij de laatste bemonstering in maart.

Voor de eerste meetronde op 20 november zijn naast de mengmonsters per plot ook de 10 individuele monsters per plot afzonderlijk geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat ook de verschillen binnen een plot groot kunnen zijn en het nemen van een mengmonster per plot een goede keuze is om deze verschillen uit te middelen. De relatieve standaarddeviatie voor nitraat varieert tussen de 24% en 87% en is gemiddeld 47%.

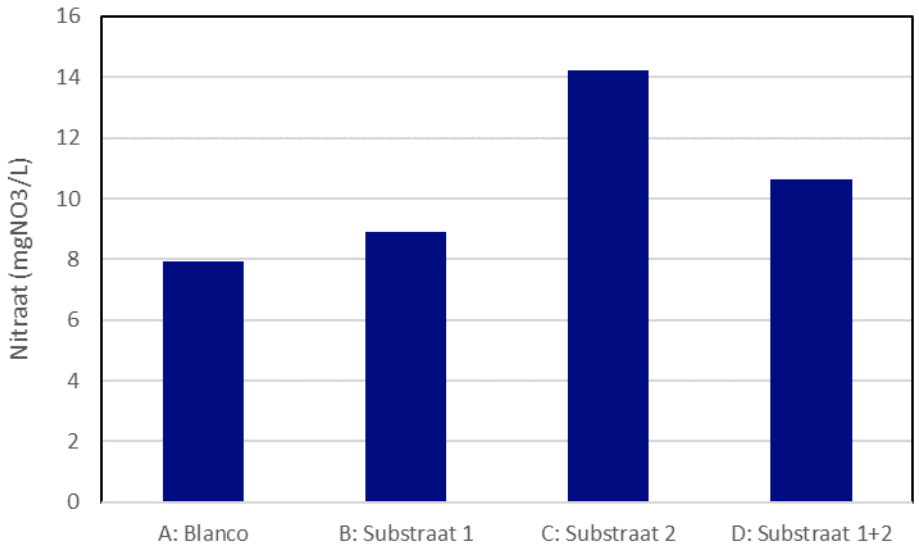
De verschillen in concentraties in de grondextracten (tabel 3.3 en figuur 3.8) zijn kleiner dan voor de concentraties in het grondwater. Voor substraat 2 is de gemiddelde concentratie 80% hoger dan in de blanco plots. Voor substraat 1 is de gemiddelde concentratie 13% hoger. Voor substraat 1+2 is het gemiddelde onzeker, doordat slechts 1 plot gemeten is. De gemiddelde concentratie was daar 34% hoger dan op de blanco plot. Ten tijde van de laatste bemonstering op 5 maart zijn de verschillen tussen de behandelingen nihil.



Figuur 3.7 Gemeten nitraatconcentraties de grondextracten, qua kleur gegroepeerd per behandeling (A: blanco, B: Substraat 1 (keurcompost), C: Substraat 2 (insectensubstraat), D: Substraat 1+2.

Tabel 3.2 Nitraatconcentratie in de grondextracten per behandeling; gemiddelde, standaard deviatie en mediaan

Behandeling	Aantal bemeten plots	NO_3-gemiddeld	Standaard deviatie	NO_3-mediaan
A: Blanco	3	7,9	4,0	7,5
B: Substraat 1 (keurcompost)	4	8,9	4,7	9,2
C: Substraat 2 (insectensubstraat)	4	14,2	6,7	15,1
D: Substraat 1+2	1	10,6	6,7	10,6



Figuur 3.8 Gemiddelde gemeten nitraatconcentraties in d grondextracten onder de verschillende behandelingen (substraat 1 is keurkompost, substraat 2 is insectensubstraat).

3.4 Humificatiecoëfficiënt

De gemeten humificatiecoëfficiënten voor keurcompost en het insectensubstraat staan weergegeven in Tabel 3.4. Het insectensubstraat is rijker aan C en N gehalten. Beiden hebben een C:N verhouding van 15. Dus, bij gelijke aanvoer aan organische stof is in beide behandelingen ook evenveel N toegediend. De organische stof gehaltes van de hier geanalyseerde monsters wijken in geringe mate af van de resultaten van eerdere analyses (andere monsters) zoals gerapporteerd in Bron et al. (2018): 174 en 383 g/kg.

Tabel 3.4 Gemeten humificatiecoëfficiënten, OS (C) gehalten en N gehalte voor keurcompost en insectensubstraat en berekende effectieve OS en initiële leeftijd (jr). Tevens enkele gegevens uit de literatuur als referentiewaarden.

Substraat	Humificatie-coëfficiënt	OS (g C /kg)	OS, effectief (g C /kg)	N gehalte (g N/kg)	Initiële leeftijd (jr)
Keurcompost	(0.9907)	124	(123)	8.16	(35.7)
Insectensubstraat	0.2987	433	129	28.8	1.26
Literatuur[1]:					
Drijfmest, rundvee	0.70	71	50		3.17
Vaste mest, rundvee, grupstal	0.70	155	109		3.17
Vaste mest, varkens, stro	0.33	153	50		1.35
Champost	0.50	211	106		1.95
GFT-compost	0.90	242	218		7.32
Groencompost	0.90	179	161		7.32
Gewasrest, grasland 1 jarig	0.29	4000	1160		1.24
Snijmais	0.34	2000	680		1.38
Groenbemester, gele mosterd	0.23	3800	874		1.07
Groenbemester, witte klaver	0.27	3100	837		1.18

[1]: bron: https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stofbalans/Kengetallen-organische-stof.htm; niet expliciet aangegeven of OS gehalten in deze referentie absoluut zijn of als C-gehalten

Sommige modelconcepten die afbraak van organische stof modelleren zijn gebaseerd op de het model van Janssen (1984; 1986). Hierin wordt niet de humificatiecoëfficiënt *hc* gebruikt maar de zogenaamde initiële leeftijd *a* (jr). Deze zijn aan elkaar gerelateerd volgens:

$$hc = e^{b\,(a+1)m-bam}$$

waarin *b* en *m* vaste constanten zijn: *b* = 4.7, *m* = -0.6 (Heinen et al., 2020). Het effectieve organische stof gehalte is gelijk aan OS**hc*. Ter vergelijking zijn in Tabel 3.4 ook enkele waarden voor *hc* (en *a*) gegeven voor gegevens uit de literatuur.

Opvallend is de zeer hoge waarde voor keurcompost: er zou maar 1% per jaar afbreken, terwijl andere composten uit de literatuur meer afbraak vertonen (10% per jaar). Hiervoor is geen goede

verklaring te geven[2]. Het insectensubstraat breekt snel af: na 1 jaar is ongeveer 70% afgebroken, en is wat dat betreft vergelijkbaar met de afbraak van gewasresten en groenbemesters.

De snelle afbraak van het insectensubstraat betekent dat veel van de oorspronkelijk aanwezig stikstof tijdens het groeiseizoen is vrijgekomen. Het is dus aannemelijk dat in deze behandeling aan het eind van het groeiseizoen het nitraat dat dan nog aanwezig was wat heeft kunnen uitspoelen. Omdat ook onder de plots met keurcompost hogere nitraatconcentraties in het grondwater zijn waargenomen dan in de blanco plots, is het aannemelijk dat de meting van *hc* voor keurcompost niet goed is verlopen.

[2] Metingen hebben plaatsgevonden aan materiaal wat langer in de koeling heeft gelegen; eerdere meetcampagnes (2x) moesten door omstandigheden worden afgebroken en later opnieuw (met nieuw materiaal uit de opslag) opgestart worden.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Uit de metingen van het grondwater en de grondmonsters kunnen de volgende algemene conclusies getrokken worden over de invloed van het opgebrachte substraat (keurcompost, insectensubstraat en een combinatie van beiden) op de uitspoeling van nitraat naar het grondwater:

- Nitraat is de belangrijkste stikstoffractie zowel in het grondwater als in het grondextract.
- De nitraatconcentraties in het grondwater zijn hoger onder de plots waar substraat is toegepast. De gemiddelde nitraatconcentratie onder de blanco's was 35 mgNO3/L Bij het insectensubstraat lag de gemiddelde concentratie op 70 mgNO3/L, bij het keurcompost en de combinatie van beide substraten gemiddeld op respectievelijk 60 en 59 mgNO3/L
- De gemiddelde nitraatconcentraties onder de blanco's lag ruim onder de norm van 50 mgNO3/L en onder de behandelde plots ruim erboven. Mogelijk geldt ook voor andere locaties dat substraattoepassing een risico op normoverschrijdingen met zich meebrengt.
- De nitraatconcentraties in het grondextract (op 20 cm diepte) zijn vooral in het begin van het seizoen hoger in de plots waar substraat is toegepast. Bij het insectensubstraat was dit gemiddeld 80% hoger, bij het keurcompost gemiddeld 13% en bij de combinatie 34%.
- Aan het eind van het uitspoelingseizoen in maart zijn de nitraatconcentraties in het grondextract in alle plots erg laag en is er geen verschil meer tussen de behandelingen. De verschillen in nitraatconcentraties in het grondwater blijven wel in stand tot en met het laatste meetronde.
- De resultaten betekenen dat agrariërs bij het toedienen van substraat rekening moeten houden met de daaruit vrijkomende nutriënten; de dosering van andere meststoffen kunnen ze daar dan op aanpassen. Het stikstofgehalte en de humificatiecoëfficiënt van het substraat moeten hiertoe bekend zijn.
- Voor waterbeheerders is het zaak om bij stimuleringsregelingen voor bodemverbetering rekening te houden met het type substraat en hoe snel dit afbreekt. Snel afbrekende substraten zorgen immers niet voor structurele bodemverbetering het uitspoelende nitraat belast het grond- en oppervlaktewater.

Hierbij moet vermeld worden dat slechts één perceel is onderzocht en dat andere omstandigheden (bodem, bemestingsregime, weerscondities) voor andere resultaten kunnen zorgen.

Zowel in grondmonsters op 20 cm diepte als in het bovenste grondwater zijn verhoogde nitraatgehaltes en -concentraties gemeten onder de met keurcompost en insectensubstraat behandelde plots in vergelijking tot de blanco behandelde plots. Insectensubstraat blijkt snel af te breken en dat kan verklaren waarom onder deze plots de hoogste nitraatgehaltes zijn gemeten. De hoge nitraatgehaltes onder keurcompost kunnen niet verklaard worden uit de gemeten lage afbraaksnelheid. Over het algemeen breekt compost niet erg snel af en je zou dan minder nitraatuitspoeling verwachten. Toch geven de metingen hier aan dat er substantieel meer nitraatuitspoeling bij de keurcompost is opgetreden ten opzichte van de blanco. Meer inzicht is nodig in de afbraaksnelheid (humificatiecoëfficiënt) van verschillende substraten en de relatie met nitraatuitspoeling voordat ze op grotere schaal toegepast kunnen worden. Als deze informatie bekend is kunnen agrariërs voor een substraat kiezen dat niet snel afbreekt (met veel persistent organisch materiaal) en ook op de langere termijn (5-10 jaar) een positieve effect heeft op de bodemstructuur.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van het in dit rapport beschreven onderzoek komen we tot de volgende aanbevelingen:

- Gezien het vastgestelde risico op extra nitraatuitspoeling dient het effect van het toedienen van verschillende vormen van organisch materiaal onder verschillende omstandigheden beter onderzocht te worden voordat overheden dit op grote schaal toelaten. Het zonder voorwaarden toelaten van organisch materiaal toediening vormt een risico voor de kwaliteit van grondwater en daarmee ook voor oppervlaktewater.
- Voor het op langere termijn verhogen van de organisch stofgehaltes van de bodem, met op langere termijn de bijkomende voordelen voor de bodemgezondheid en het water- en nutriëntenvasthoudend vermogen, is persistent organisch materiaal waarschijnlijk beter dan snel afbrekend organisch materiaal. Door de snelle afbraak en uitspoeling van de in deze proef gebruikte substraten is het blijvende positieve effect voor de bodemgezondheid waarschijnlijk nihil.
- Bij het toedienen van organisch materiaal kunnen agrariërs in het bemestingsplan bezuinigen op de andere meststoffen om overdosering en uitspoeling van nutriënten te voorkomen. Hierbij kan de bemesting bestaan uit een combinatie van snel afbrekende meststoffen (organische mest, kunstmest) waarbij het vrijkomende nitraat snel door het gewas opgenomen kan worden en persistent organisch materiaal dat de bodemgezondheid op langere termijn verbetert. De negatieve waarde van organische mest vanuit de veehouderij is momenteel echter voor veel agrariërs waarschijnlijk een reden om de dosering van organisch mest niet zonder meer te willen verminderen. Hogere opbrengsten door een betere bodemstructuur zou een reden kunnen zijn om dit toch te doen.

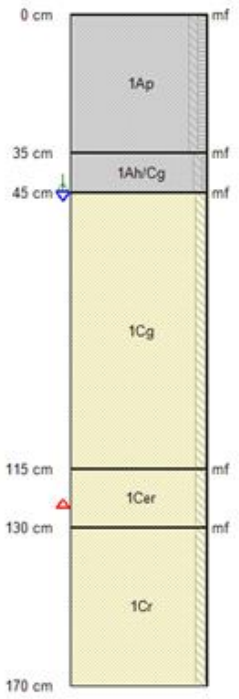
5 Referenties

- Bron, R., Kapteijns, T en Theelen, J. 2018. Bodemmonitoring Agro As de Peel. Rapport HAS, projectcode 17200026, 29 juni 2018.
- Heinen, M., F. Assinck., P. Groenendijk and O. Schoumans. 2020. Soil dynamic models: predicting the behaviour of fertilizers in soils. Chapter 8.2 in: E. Meers, E. Michels, R. Rietra, G. Velthof and C.V. Stevens, Biorefinery of Inorganics: Recovering Mineral Nutrients from Biomass and Organic Waste. First edition. John Wiley & Sons Ltd.
- Janssen, B.H. 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of “young” soil organic matter. Plant and Soil 76: 297–304.
- Janssen, B.H. 1986. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant and Soil 181: 39–45.

A Detail bodemprofielbeschrijvingen

Profielbeschrijving bij peilbuis 2

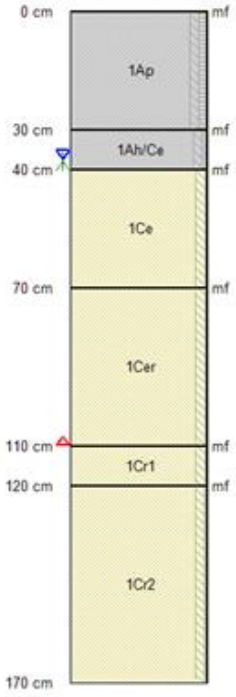
Algemeen		Bodem		Grondwater	
Gebied :	2154	Bodemtype :		Gt :	Vlo
ProfielId :	215401124	Geb. code :	c4i432/F	GHG :	45 cm
Locatie :		Bew. diepte :	45 cm	GLG :	125 cm
Coordinaten :	179121,407725	Eff. worteld. :	45 cm		
Hoogte :	17.52				
Landgebruik :	AK				



HorizontCode	Boven	Onder	OrganischeStof	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	dcol	Opmerkingen
1Ap	0	35	4.0	1	8	180	1		
1Ah/Cg	35	45	2.0	1	8	180	1		
1Cg	45	115	0.1	1	8	180	1		
1Cer	115	130	0.7	1	8	180	1		wat hout
1Cr	130	170	0.7	1	8	180	1		

Profielbeschrijving bij peilbuis 6

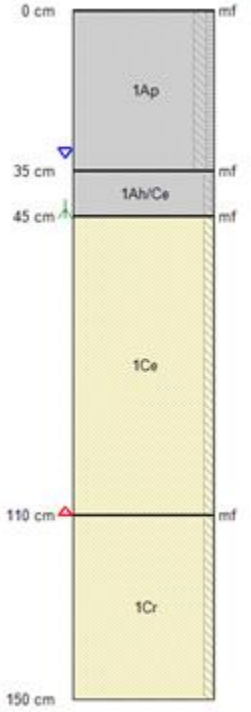
Algemeen		Bodem		Grondwater	
Gebied :	2154	Bodemtype :		Gt :	IIIb
ProfielId :	215401125	Geb. code :	4i432/F	GHG :	35 cm
Locatie :		Bew. diepte :	40 cm	GLG :	110 cm
Coordinaten :	179158,407742	Eff. worteld. :	40 cm		
Hoogte :	17.43				
Landgebruik :	AK				



HorizontCode	Boven	Onder	OrganischeStof	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	dcol	Opmerkingen
1Ap	0	30	3.5	1	8	170	1		
1Ah/Ce	30	40	2.0	1	8	170	1		
1Ce	40	70	0.1	1	8	170	1		
1Cer	70	110	0.7	1	8	180	1		waterhard lichtbruin
1Cr1	110	120	0.7	1	8	180	1		
1Cr2	120	170	1.0	1	8	190	1		wat hout

Profielbeschrijving bij peilbuis 10

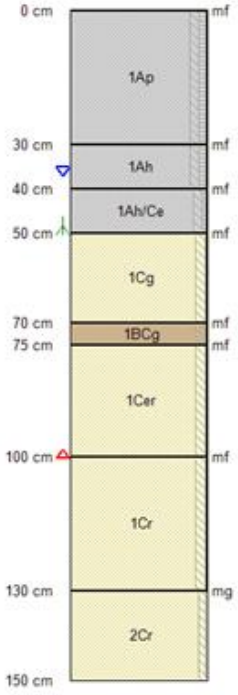
Algemeen		Bodem		Grondwater	
Gebied :	2154	Bodemtype :		Gt :	IIIb
ProfielId :	215401126	Geb. code :	4i432/F	GHG :	30 cm
Locatie :		Bew. diepte :	45 cm	GLG :	110 cm
Coordinaten :	179195,407762	Eff. worteld. :	45 cm		
Hoogte :	17.3				
Landgebruik :	AK				



HorizontCode	Boven	Onder	OrganischeStof	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	dcol	Opmerkingen
1Ap	0	35	3.0	1	10	170	1		
1Ah/Ce	35	45	1.0	1	7	170	1		
1Ce	45	110	0.1	1	7	180	1		
1Cr	110	150	0.7	1	7	170	1		wat hout

Profielbeschrijving bij peilbuis 14

Algemeen		Bodem		Grondwater	
Gebied :	2154	Bodemtype :		Gt :	IIIb
ProfielId :	215401127	Geb. code :	4i432/F	GHG :	35 cm
Locatie :		Bew. diepte :	50 cm	GLG :	100 cm
Coordinaten :	179230,407782	Eff. worteld. :	50 cm		
Hoogte :	17.2				
Landgebruik :	AK				



HorizontCode	Boven	Onder	OrganischeStof	Lutum	Leem	Mediaan	KalkKlasse	dcol	Opmerkingen
1Ap	0	30	3.0	1	8	170	1		
1Ah	30	40	3.0	1	8	170	1		
1Ah/Ce	40	50	2.0	1	8	180	1		
1Cg	50	70	0.5	1	8	180	1		weinig roest, wel gley
1BCg	70	75	1.0	1	8	180	1		waterhard
1Cer	75	100	0.5	1	8	180	1		
1Cr	100	130	0.7	1	8	180	1		
2Cr	130	150	1.0	1	6	210	1		metgrindsnoer

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl