



Effect groenbemesters op nitraatverlies en waterinfiltratie 2020-2022

Verdiepend onderzoek Water in Balans en Propositie Heuvelland

Auteurs | Brigitte Kroonen-Backbier, Ad van Haperen, Willem van Geel & Mariska Tol

WPR-OT 1036



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect groenbemesters op nitraatverlies en waterinfiltratie 2020-2022

Verdiepend onderzoek Water in Balans en Propositie Heuvelland

Brigitte Kroonen-Backbier
Ad van Haperen
Willem van Geel
Mariska Tol

Dit onderzoek is in opdracht van Provincie Limburg uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), Business Unit Open Teelten in het kader van Programma Water in Balans en Propositie Heuvelland

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Vredepeel, December 2022

Rapport WPR-OT 1036

Kroonen-Backbier B, A. van Haperen, W. van Geel en M. Tol 2022. *Effect groenbemesters; Verdiepend onderzoek Water in Balans en Propositie Heuvelland*. Wageningen Research, Vertrouwelijk
Rapport WPR-OT 1036

Trefwoorden: Groenbemester, nitraatverlies, waterinfiltratie

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/636847>

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Unit
Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen
ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Foto omslag: Overzicht van de groenbemesterproef 14 oktober 2020

Inhoud

	Dankwoord	5
	Samenvatting	6
1	Inleiding	9
	1.1 Aanleiding en context	9
	1.2 Opdracht en vraagstelling	10
	1.3 Aanpak	10
2	Effect groenbemesters	12
	2.1 Onderzoeksvraag	12
	2.2 Proefveld	13
	2.3 Opzet proef	14
	2.3.1 Groenbemesters 2020	14
	2.3.2 Volgteelt aardappel 2021	15
	2.4 Metingen en waarnemingen	15
	2.4.1 Najaar 2020 en voorjaar 2021	15
	2.4.2 2021 en winter 2022	15
	2.4.3 Verwerking van de resultaten	16
3	Resultaten	17
	3.1 Opkomst, stand en grondbedekking	17
	3.2 Biomassa productie	19
	3.3 Bewortelingsintensiteit en wortelmassa	20
	3.4 Wormen	21
	3.5 Bewerkbaarheid en structuur	22
	3.6 Infiltratiecapaciteit	24
	3.7 Stand aardappelgewas	27
	3.8 Opbrengst aardappelen	27
	3.9 N-mineraal en nitraat in bodemvocht	28
4	Conclusies	30
	Bijlage 1 Onderzoeksvragen	32
	Bijlage 2 Proefveldschema	34
	Bijlage 3 Methode	35
	Opkomst, stand en grondbedekking	35
	Biomassa productie	35
	N-mineraal en nitraat in bodemvocht	35
	Bewortelingsintensiteit	35
	Wormen	35
	Bewerkbaarheid en structuur	36
	Infiltratiecapaciteit	37
	Stand aardappelgewas	38
	Opbrengst	38
	Bijlage 5 Dubbele ringmethode	42
	Inleiding	42
	Bodemwater	42

1.1	Energietoestand	42
1.2	Infiltratie	43
Bijlage 6	Wortelbiomassa	45
Bijlage 7	Foto's bodemstructuur	46
Bijlage 8	Resultaten per object	52

Dankwoord

Manuel Pereira, student aan de Wageningen University Group Soil Physics and Land Management, heeft gedurende de maanden april tot en met juni 2021 zijn BSc thesis onderzoek op Proefboerderij Wijnandsrade uitgevoerd. Hij heeft daarbij met name veel waarnemingen gedaan binnen de proef waar gekeken is naar het effect van groenbemesters waterinfiltratie. Zonder zijn hulp hadden we een aantal waarnemingen niet zo intensief kunnen uitvoeren. We willen Manuel hiervoor hartelijk bedanken.

Samenvatting

Samen met de betrokken bedrijven in het project 'Water in Balans' zijn voor het project 'Propositie Heuvelland' in het kader van de waterkwaliteit en –kwantiteit opgaven enkele onderzoeksvragen opgesteld. Het doel van de projecten is om met praktische maatregelen afspoeling en nutriënten verlies te beperken.

Een van de onderzoeksvragen was: Welke soorten groenbemesters gaan dieper de bouwvoor in en bevorderen het waterbergend vermogen?

Daarnaast waren er nog onderzoeksvragen vanuit de Pilot Slim Bemesten. Deze Pilot heeft in 2020-2021 een vervolg gekregen om nog verder met de deelnemers aan de slag te gaan en met name het uitspoelings-model te toetsen. In dit vervolgproject was niet meer voorzien (financieel) voor onderzoeksvragen. Deze zijn neergelegd bij Propositie Heuvelland.

Een van de vragen, die nog open stond was: Wat is de impact van de teelt van groenbemesters op het nitraatverlies.

Groenbemesters telen is volgens de erosieverordening verplicht bij gewassen, die voor 15 september geoogst worden. Het bedekt houden van de bodem in herfst en winter tussen twee hoofdgewassen zorgt voor minder kans op verslemping van de grond, erosie en waterafspoeling. Door bijdrage in organische stof, stimuleren bodemleven en wortelvorming zorgen groenbemesters ook voor meer waterinfiltratie. Door toepassen van niet kerende grondbewerking in voorjaar wordt de groenbemester in de toplaag verwerkt. De resten van de groenbemester zorgen dan tevens voor het verruigen van het bodemoppervlak waardoor ook weer een waterremmend effect ontstaat en kans op verslemping afneemt.

Op de meeste akkerbouwbedrijven wordt in de graanstoppel (in augustus) voorafgaand aan de teelt van aardappel en suikerbieten een organische mestgift gegeven. Deze is niet in alle gevallen afgestemd op de N-opnamecapaciteit van de groenbemester maar op fosfaat en kalibehoeft in bouwplanverband en/of de ruimte die er binnen de mestnormen (in kader NL-mestbeleid) nog is op het bedrijf. Bij een te ruime N-bemesting bestaat de kans dat er toch nog veel stikstof tijdens de winter verloren gaat, ondanks dat er een groenbemester geteeld is. Bij een diep wortelende volgteelt, zoals suikerbieten is dat minder een probleem omdat dit gewas deze stikstof voor een deel weer kan opnemen (daarbij zal er wel rekening moeten worden gehouden met de nawerking uit de groenbemester bij de bemesting van de suikerbieten). Bij een ondiep wortelende volgteelt, zoals aardappel is het mogelijk wel een probleem. Deze kan de reststikstof onvoldoende uit diepere lagen ophalen.

De gangbare praktijk in Zuid Limburg kiest meestal voor gele mosterd en bladrammenas als groenbemester. Deze passen goed in een NKG systeem en hebben een snelle grondbedekking in de herfst. De zoektocht naar andere groenbemesters is echter in volle gang. Door steeds te kiezen voor gele mosterd en/of bladrammenas ontstaat ook een soort continu teelt van (dezelfde) groenbemesters. Mengsels van groenbemesters blijken uit recent onderzoek en praktijk ervaringen positieve bijdrage te leveren aan gevarieerd bodemleven, biodiversiteit, variatie aan worteldiepte en intensiteit etc. Mogelijk dat dit de infiltratiecapaciteit van de bodem ten goede komt. Dit onderzoek is opgezet om deze vraag te beantwoorden.

Daarnaast is gekeken wat de impact is van de teelt van groenbemesters op het nitraatverlies. De deelvragen, die daarbij gesteld zijn: "Wat is de impact van de soort/type groenbemester op het nitraatverlies" en "Hoe hoog mag de mestgift in de stoppel van het graan zijn zonder dat dit leidt tot extra verlies".

De proef met groenbemesters is in najaar 2020 op Proefboerderij Wijnandsrade aangelegd. Gezaaid in de tarwestoppel (2020) met als volgteelt aardappel (2021). De proef bestond uit 20 objecten in 3 herhalingen. De objecten bestonden uit 5 verschillende groenbemesters: gele mosterd, bladrammenas, meervoudig mengsel TL Solarigol, 2-voudig mengsel van gele mosterd met facelia en bladrammenas aangevuld met bodemverbeteraar zeoliet. Dit werd uitgevoerd bij 4 verschillende

bemesting strategieën: 35 m³ runderdrijfmest (88 kg N werkzaam), 20 m³ runderdrijfmest (50 kg N werkzaam), KAS kunstmest (50 kg N werkzaam) en een object met geen bemesting (0 kg N werkzaam). De groenbemesters zijn dwars op de bemestingsbanen (objecten) gezaaid. De volgteelt in 2021 was aardappel met een organische mestgift plus kunstmest aan de basis, die voor alle objecten gelijk was en een bijbemesting in juni gerelateerd aan de nawerking uit de bemesting in de stoppel. Een hoge bemesting in de stoppel (35 m³ RDM) kreeg de laagste bijbemesting (30 kg N/ha) en de laagste bemesting in de stoppel kreeg de hoogste bijbemesting (50 kg N/ha) in juni.

Uit de resultaten blijkt dat een hoge bemesting (35 m³ RDM) in de stoppel leidt tot de hoogste organische droge stof productie van de groenbemester (3.2 ton organische ds per ha) en de hoogste N-opname (109 kg N per ha) door de groenbemester. Een bemesting in de stoppel met 20 m³ RDM leidt tot een 8% lagere organische droge stof productie en 17% lagere N opname. Geen bemesting leidt tot een 30% lagere organische droge stof productie en 40% lagere N-opname. Keuze van de soort groenbemester leidt ook tot verschillen in organische droge stof productie en N-opname. Gele mosterd gaf gemiddeld over alle bemestingsniveaus met 3.6 ton organische ds per ha de hoogste productie. Het mengsel van gele mosterd met facelia en de twee objecten met bladrammenas scoorden ruim 20% lager. Het meervoudig mengsel scoorde met 2.0 ton organische ds per ha het laagst. Voor wat betreft de N-opname lagen de gele mosterd en gele mosterd met facelia met respectievelijk 98 en 93 kg N per ha op een vergelijkbaar hoogste niveau. De bladrammenas objecten en Solarigol lagen met circa 80 kg N-opname ruim 15% lager. Ondanks een lage ds productie scoorde de Solarigol toch nog hoog met N-opname. Dit kan mede veroorzaakt zijn door het aandeel vlinderbloemigen (6% alexandrijnse klaver en 35% zomerwikken) in dit mengsel.

De verschillende bemestingsobjecten in de graanstoppel voor de groenbemesters hadden geen significant effect op de opbrengst en onderwatergewicht van de volgteelt aardappelen. Door de hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel van het graan met compensatie (lagere bijbemesting) in juni werd geen opbrengstverhoging gerealiseerd.

De groenbemestersoort blijkt wel een (zwak) significant effect te hebben op de bruto en marktbaar opbrengst van de aardappel. Het 8-voudige mengsel Solarigol en 2-voudige mengsel van gele mosterd en facelia blijken in deze geen meerwaarde op te leveren op de opbrengst en scoorden zelfs circa 4% lager (niet significant). Tussen bladrammenas en gele mosterd was er nagenoeg geen verschil in opbrengst van de aardappel.

De infiltratiecapaciteit, die in de literatuur voor leemgronden wordt genoemd van 10-20 mm (als constante waarde die bereikt wordt bij bijna-verzadigde toestand van de bodem) werd in deze proef bij alle groenbemesters ruimschoots bereikt en zat aan de bovenkant van de range. Het meervoudig mengsel Solarigol scoorde daarbij lager (16 mm) dan achtereenvolgens de bladrammenas (18 en 20 mm) en gele mosterd (20 en 21 mm).

Op basis van de waarnemingen en metingen kan alleen geconcludeerd worden dat een lagere organische stof productie en meer weerstand/verdichting in de bodem (Solarigol) leidt tot een lagere infiltratiecapaciteit. Het aantal wormen lijkt geen relatie te hebben met de infiltratiecapaciteit.

Een geslaagde groenbemester leidt bij goed bodembeheer tot een goede infiltratiecapaciteit. De keuze voor een meervoudig mengsel levert hierin op basis van de resultaten van deze proef geen meerwaarde.

Een hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel leidt zowel in de winter erop volgend als in de winter na de volgteelt aardappel tot hogere nitraatgehaltes in het bodemvocht. Dit was bovendien significant. Daar de opbrengst van de aardappel geen verschil opleverde bij een hogere bemesting in de stoppel is het aan te raden de bemesting van de groenbemester meer af te stemmen op de opnamecapaciteit van de groenbemester. Bij tevens achterlaten van stro is dat circa 50 kg N per ha werkzaam. Geen bemesting van de groenbemester laat het laagste nitraatgehalte in bodemvocht zien en scoort als enigste na de aardappel op de norm van 50 mg nitraat per liter. Objecten met een bemesting van 50 kg N uit runderdrijfmest of kunstmest scoren met respectievelijk 60 en 56 mg nitraat net boven de norm van 50 mg nitraat. Bij een bemesting van de groenbemester in de stoppel van het graan met 35 m³ RDM wordt het hoogste nitraatgehalte (83 mg nitraat per liter) in bodemvocht na de aardappel gemeten.

De keuze van de groenbemester blijkt ook een effect te hebben op het nitraatgehalte in het bodemvocht. Dit geldt zowel in de winter volgend op de groenbemester als bij de meting in de winter na de volgteelt aardappel. Gele mosterd en het mengsel van gele mosterd en facelia scoren het hoogst met gemiddeld 28 mg nitraat in februari 2020 en gemiddeld 72 mg nitraat in januari 2021. De objecten met bladrammenas scoren met gemiddeld 15 mg nitraat in februari 2021 en 54 mg nitraat per liter in januari 2022 het laagst. Het meervoudig mengsel Solarigol scoorde met 22 mg in februari 2021 en 58 mg in januari 2022 net iets hoger dan de bladrammenas. De verschillen tussen de objecten van de meting in januari 2022 blijken echter niet significant te zijn.

Significantie wordt wel bereikt als de 2 objecten met gele mosterd en de 2 objecten met bladrammenas samen worden genomen. Het nitraatgehalte in bodemvocht in januari 2022 voor gele mosterd (gemiddeld 72 mg/l) valt dan significant hoger uit dan voor bladrammenas (gemiddeld 54 mg/l).

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

Provincie Limburg heeft samen met haar partners in het landelijk gebied – waterschap Limburg, Limburgse Land- en Tuinbouwbond, Waterleidingmaatschappij Limburg, Natuurrijk Limburg, Natuurmonumenten, Stichting het Limburgs Landschap, Staatsbosbeheer en diverse gemeenten – een integraal gebiedsplan opgesteld voor het verduurzamen van het water- en bodembeheer in (een gedeelte van) het Heuvelland in Zuid-Limburg (werktitel: “**propositie Heuvelland**”).

Hiervoor is cofinanciering van het Ministerie van LNV toegekend (2020).

Het Zuid-Limburgse Heuvelland is uniek in Nederland en heeft de bijzondere status van Nationaal Landschap. De bodem bestaat grotendeels uit kalk en lössgronden. Het landschap kenmerkt zich door plateaus, afgewisseld met hellingen, steil-randen, graften, holle wegen, droog- en beekdalen.

De landbouw in het Heuvelland kan een grote bijdrage leveren aan het realiseren van onderstaande opgaven, waarbij een perspectiefrijke agrarische sector belangrijk is voor het duurzaam in stand houden van de maatregelen. De beoogde transitie is daarmee van groot belang voor het behoud en herstel van vele natuur- en landschapswaarden, die kenmerkend zijn voor het Nationaal Landschap Zuid-Limburg.

Waterkwantiteit opgave

Het veranderende klimaat heeft tot gevolg dat buien intensiever worden, langer duren en frequenter voorkomen. In Zuid-Limburg komt het water van drie kanten; als neerslag uit de lucht, via snelstromende beken, die buiten hun oevers kunnen treden, en vanaf de hooggelegen plateau's over maaiveld en over (half)verharde wegen naar de dalen. In combinatie met het veranderende weer neemt het risico op wateroverlast toe.

Voor het gebied Meerssen-Ulestraten hebben betrokken partijen in het kader van **Water in Balans** afspraken (van Waterschap Limburg) gemaakt in een samenwerkingsovereenkomst om de wateroverlast ter plaatse terug te dringen. Dit pilotgebied dient – samen met gebied Oirsbeek – als proeftuin voor het treffen van maatregelen tegen wateroverlast, die in een later stadium worden opgeschaald naar heel Zuid-Limburg. Eén van de ambities daarin is om in 2030 voor het hele Heuvellandgebied een pakket aan maatregelen geïmplementeerd te hebben die voor 10 mm extra waterberging zorgen in het landelijk gebied (t.o.v. de huidige situatie, waarin erosie beperkende maatregelen worden toegepast volgens de GLB verordening).

Een belangrijke opgave betreft de oppervlakkige afstroming vanuit het landelijk gebied (landbouwgronden en natuurterreinen) te beperken. Deze maatregelen passen binnen de propositie Heuvelland.

Tevens vindt lokaal afspoeling over maaiveld (runoff) plaats, waardoor agrarische grond (met slib en nutriënten) afspoelt naar Natura2000-gebieden met mogelijke ecologisch negatieve effecten als gevolg. In 2018 zijn er in Zuid-Limburg ca. 150 van runoff risicopunten, waar een opgave ligt, op kaart gezet.

Waterkwaliteit opgave

In het gebied is er vanuit de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000, naast wateroverlast, ook een opgave om de kwaliteit van het grondwater te verbeteren. Tevens voldoet het grondwater niet aan de drinkwaternorm. Het gaat hierbij met name om de concentratie nitraat terug te dringen. Deze belasting komt uit verschillende bronnen uit binnen- én buitenland, waarbij de landbouw een groot aandeel heeft. Hoewel de nutriëntenbelasting van het grondwater onder agrarische gronden de laatste jaren wel dalende is, is de belasting vaak nog te hoog.

Beide opgaven hangen nauw met elkaar samen en vragen om een integrale aanpak; een transitie van het landelijk gebied, gericht op een verduurzaming van het water- en bodemgebruik. Maatregelen kunnen voor beide opgaven een positief effect hebben en daarom voor een agrariër interessant zijn om in zijn bedrijfsvoering op te nemen.

1.2 Opdracht en vraagstelling

De betrokken partners hebben Wageningen Plant Research (WUR | Open Teelten) vanuit de onderzoek locaties Vredepeel/Wijnandsrade gevraagd om het volgende te ontwikkelen:

1. een **'maatregelenkist'** voor agrarische gronden in het landelijke gebied, die gebruikt zal worden door adviseurs. De kist bestaat uit een beschrijving van een aantal categorieën maatregelen. Set van maatregelen die direct toepasbaar zijn en een set bestaande uit maatregelen met verwachte essentiële bijdrage in reductie van waterafspoeling en/of nutriëntendoorslag, die om verschillende redenen (nog) niet direct toepasbaar zijn.
In de maatregelenkist voor de praktijk worden geen maatregelen opgenomen waar nog te weinig over bekend is, bijvoorbeeld omdat de maatregel nog in onderzoek is of in sterk afwijkende condities (grondsoort, gebied) is ontwikkeld. Deze maatregelen kunnen eventueel in de toekomst aan de maatregelenkist worden toegevoegd als ze verder zijn onderzocht en getoetst (zie 2).
2. Een **plan van aanpak** voor **vervolgonderzoek** in de onderzoeks- en pilotfase: welke maatregelen zijn interessant, maar nog onvoldoende getoetst? Welke witte vlekken zijn er (nog) en welk type vervolgonderzoek is dan wenselijk en effectief? Waar zou dat onderzoek het beste kunnen plaatsvinden: Proefboerderij Wijnandsrade of in de praktijk?

De achterliggende doelstelling van de maatregelen is in de eerste plaats om wateroverlast in het Limburgse Heuvelland te beperken, door de waterberging in de landbouw te

vergroten. Waterberging wordt gedefinieerd als 'de capaciteit van landbouwgrond om water vast te houden en run-off te voorkomen.' Deze capaciteit wordt hoofdzakelijk door twee factoren bepaald:

- de infiltratie van water in de grond. In heuvelachtig terrein wordt de infiltratie niet alleen bepaald door de eigenschappen van de bodem (structuur en structuurstabiliteit, textuur, mate van verzadiging), maar ook door de hellingshoek en de mate waarin water wordt geremd door ruwheid van het oppervlak en begroeiing. Granen, gras en groenbemesters hebben een remmend effect op afstromend water, waardoor run-off wordt vertraagd en water langer de tijd krijgt om te infiltreren.
- de buffering van water. Door water te leiden of te remmen kan ook tijdelijke buffering plaatsvinden. Het is mogelijk om een deel van een perceel als tijdelijke buffer in te richten, bijv. door de aanleg van een bassin onderaan het perceel. Daardoor wordt voorkomen dat het water wat niet infiltreert, alsnog van het perceel afloopt. Water kan ook opgevangen worden in een greppel of geleid worden via dijkjes, greppels of stobalen om meer tijd te krijgen om te infiltreren, al dan niet op het betreffende perceel.

1.3 Aanpak

Binnen het kader van deze opdracht zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Inventarisatie van maatregelen (eind 2018)
2. Toetsing van maatregelen in enkele expertworkshops (jan-feb 2019)
3. Samenstellen en uitwerken maatregelenkist (jan-mei 2019)
4. Plan van aanpak voor vervolgonderzoek (maart/april 2019)

Uit activiteiten 1 en 2 ontstond ook inzicht in de ontbrekende onderzoeks- en praktijkkennis van verschillende maatregelen. Dit wordt vertaald in een plan van aanpak voor vervolgonderzoek in de regio. Bovenstaande is beschreven in een verslag: Verbetering agrarisch waterbeheer in Zuid-Limburg Maatregelen, onderzoeksplan en aanbevelingen door Pieter de Wolf, Daan Verstand en Brigitte Kroonen-Backbier, oktober 2019. In Bijlage I is de lijst met vragen voor vervolgonderzoek opgenomen.

Daarnaast zijn tijdens het uitvoeren van maatregelen via het zogenaamde satellietbedrijven netwerk Water in Balans ook een aantal verdiepende vragen voor vervolgonderzoek op de agenda geplaatst.

Een van de onderzoeksvragen was:

Groenbemesters: Welke soorten gaan dieper de bouwvoor in en bevorderen het waterbergend vermogen?

Daarnaast waren er nog onderzoeksvragen vanuit de **Pilot Slim Bemesten**. Deze Pilot heeft in 2020-2021 een vervolg gekregen om nog verder met de deelnemers aan de slag te gaan en met name het uitspoelings-model te toetsen. In dit vervolgproject was niet meer voorzien (financieel) voor onderzoeksvragen. Deze zijn neergelegd bij **Propositie Heuvelland**.

Een van de vragen, die nog open stond was:

Wat is de impact van de teelt van groenbemesters op het nitraatverlies?

2 Effect groenbemesters

2.1 Onderzoeksvraag

Op de meeste akkerbouwbedrijven wordt in de graanstoppel (in augustus) voorafgaand aan de teelt van aardappel en suikerbieten een organische mestgift gegeven. Deze is niet in alle gevallen afgestemd op de N-opnamecapaciteit van de groenbemester maar op fosfaat en kalibehoeft in bouwplanverband en/of de ruimte die er binnen de mestnormen (in kader NL-mestbeleid) nog is op het bedrijf. Bij een te ruime N-bemesting bestaat de kans dat er toch nog veel stikstof tijdens de winter verloren gaat, ondanks dat er een groenbemester geteeld is. Bij een diep wortelende volgteelt, zoals suikerbieten is dat minder een probleem omdat dit gewas deze stikstof voor een deel weer kan opnemen (daarbij zal er wel rekening moeten worden gehouden met de nawerking bij de bemesting van de suikerbieten). Bij een ondiep wortelende volgteelt, zoals aardappel is het mogelijk wel een probleem. Deze kan de reststikstof onvoldoende uit diepere lagen ophalen.

Groenbemesters telen is volgens de erosieverordening verplicht bij gewassen, die voor 15 september geoogst worden. Het bedekt houden van de bodem in herfst en winter tussen twee hoofdgewassen zorgt voor minder kans op verslemping van de grond, erosie en waterafspoeling. Door bijdrage in organische stof, stimuleren bodemleven en wortelvorming zorgen groenbemesters ook voor meer waterinfiltratie. Door toepassen van niet kerende grondbewerking in voorjaar wordt de groenbemester in de toplaag verwerkt. De resten van de groenbemester zorgen dan tevens voor het verruigen van het bodemoppervlak waardoor ook weer een waterremmend effect ontstaat en kans op verslemping afneemt.

De gangbare praktijk in Zuid Limburg kiest meestal voor gele mosterd en bladrammenas. Deze passen goed in een NKG systeem en hebben een snelle grondbedekking in de herfst. De zoektocht naar andere groenbemesters is echter in volle gang. Door steeds te kiezen voor gele mosterd en/of bladrammenas ontstaat ook een soort continu teelt van (dezelfde) groenbemesters. Mengsels van groenbemesters blijken uit recent onderzoek en praktijk ervaringen positieve bijdrage te leveren aan gevarieerd bodemleven, biodiversiteit, variatie aan worteldiepte en intensiteit etc. Mogelijk dat dit de infiltratiecapaciteit van de bodem ten goede komt. Dit onderzoek is opgezet om deze vraag te beantwoorden.

De onderzoeksvraag "Wat is de impact van de teelt van groenbemesters op het nitraatverlies?" is wat verder uitgewerkt in de volgende deelvragen: "Wat is de impact van de soort/type groenbemester op het nitraatverlies" en "Hoe hoog mag de mestgift in de stoppel van het graan zijn zonder dat dit leidt tot extra verlies".

2.2 Proefveld

Op Proefboerderij Wijnandsrade werd op perceel 9 in de gangbare teeltrotatie, zoals weergegeven in Tabel 1, de proef met groenbemesters ingezaaid in de stoppel van de wintertarwe 2020.



Afbeelding 1. Perceel 9 Proefboerderij Wijnandsrade met rood omkaderd de locatie van de proef

Tabel 1. Vruchtwisseling perceel 9 Proefboerderij Wijnandsrade 2012 tot en met 2022

jaar	gewas
2012	Wintertarwe plus groenbemester
2013	Aardappelen
2014	Wintergerst plus groenbemester
2015	Suikerbieten
2016	Zaaiuien
2017	Aardappelen
2018	Wintergerst plus groenbemester
2019	Suikerbieten
2020	Wintertarwe plus groenbemester
2021	Aardappelen
2022	Wintergerst plus groenbemester

2.3 Opzet proef

2.3.1 Groenbemesters 2020

Door WUR | Open Teelten werd in najaar 2020 op Proefboerderij Wijnandsrade de proef met de groenbemesters aangelegd. Gezaaid in de tarwestoppel (2020) met als volgteelt aardappel (2021). De proef bestaat uit 20 objecten in 3 herhalingen. De objecten bestaan uit 5 verschillende groenbemesters bij 4 verschillende bemesting strategieën. In Tabel 2a staan de bemesting strategieën uitgewerkt en in Tabel 2b de verschillende groenbemesters.

Tabel 2a. Bemestingstrappen in de groenbemesterproef 2020-2021

Object	Runderdrijfmest ¹⁾ (ton/ha)	KAS (kg/ha)	Kali60 (kg/ha)	N-werkzaam totaal (kg/ha)	K ₂ O totaal (kg/ha)
A	35		0	88	281
B	20		0	50	106
C	0	185	177	50	106
D	0		0	0	0

1) Runderdrijfmest: N: 5.1; P₂O₅: 1.6; K₂O: 5.3; wettelijke werking coëfficiënt N: 60%

Tabel 2b. Objecten groenbemesters in de groenbemesterproef 2020-2021

Object	Soort	Ras	Zaaizaadhoeveelheid (kg/ha)
V	Gele mosterd	Compass GLB 99% + 1% vlas	20
W	Bladrammenas	Saloon	25
X	8-voudig mengsel	TL Solarigol ²⁾	35
Y	Gele mosterd plus Facelia	Compass + Angelia	4 + 8
Z	Bladrammenas plus Zeoliet ¹⁾	Saloon	25 + 800

1) Zeoliet is een bodemverbeteraar toegepast met pneumatische kunstmeststrooier

2) 6% Alexandrijnse klaver, 2% Ethiopische Mosterd, 1% Deder, 7% Vlas, 15% Niger, 20% Japanse haver, 14% Bladrammenas Deeptill TR en 35% Zomerwikken

In deze proefopzet is gekozen voor een volgteelt aardappel. Er zijn 4 bemesting-strategieën gekozen met 3 verschillende N-bemestingsniveaus: circa 90 kg N werkzaam per ha, 50 kg werkzaam en 0 kg werkzaam. De 50 kg werkzaam komt ongeveer overeen met de bemestingsbehoefte van de groenbemester en voor de vertering van achtergebleven stro na de graanteelt. Het niveau van 50 kg werkzaam is bovendien ook de gebruiksnorm (volgens de mestwetgeving 2020) voor niet-vlinderbloemige groenbemesters op lössgronden. De gekozen meststof is runderdrijfmest. Dit is een langzaamwerkende organische meststof, waarvan een deel later vrijkomt. Ter vergelijking is bij één object, ook 50 kg/ha werkzaam, gekozen om dit met kunstmest uit te voeren. Het resultaat kan enigszins vertaald worden naar de toepassing van dunne varkensmest of mineralenconcentraat, die ook vaak gebruikt wordt in de stoppel in Zuid Limburg. Stikstof uit dunne varkensmest of mineralenconcentraat komt ook snel beschikbaar, vergelijkbaar met KAS-kunstmest.

In de proefopzet is gekozen om 4 groenbemesters te vergelijken: bladrammenas en gele mosterd (praktijk) in vergelijking met een eenvoudig mengsel van facelia en gele mosterd en een uitgebreid mengsel waarin 8 soorten opgenomen zijn: TerraLife Solarigol (6% Alexandrijnse klaver, 2% Ethiopische Mosterd, 1% Deder, 7% Vlas, 15% Niger, 20% Japanse haver, 14% Bladrammenas Deeptill TR en 35% Zomerwikken).

Verder is er nog een object toegevoegd waarbij de meerwaarde van zeoliet bekeken wordt wanneer dit in augustus toegepast wordt bij de toepassing van mest. Zeoliet zorgt ervoor dat de ammoniumfractie minder snel wordt omgezet naar nitraat. Hierdoor zou er minder nitraatverlies kunnen optreden.

De proef is aangelegd als een strip-plotproef. Hierbij zijn de bemestingsobjecten in banen naast elkaar gelegd en de groenbemesterobjecten in banen daar dwars overheen. Zie Bijlage 2 voor het schema. De proef is uitgevoerd in drie herhalingen.

2.3.2 Volgteelt aardappel 2021

In 2021 zijn op het perceel aardappelen geteeld. De basisbemesting voor het poten was voor alle objecten gelijk: 35 ton per ha Runderdrijfmest (4.7 N, 1.2 P₂O₅ en 4.8 K₂O) aangevuld met 250 kg KAS (68 kg N) kort voor poten (24 april) en 300 kg K60 (200 kg K₂O) in februari. De basisbemesting bedroeg daarmee 166 kg N werkzaam. De bijbemesting in juni (25 juni) is afhankelijk gesteld van de bemesting in de graanstoppel en de groei en N-opname van de groenbemester. De objecten met 35 ton RDM in de stoppel (A) kregen een bijbemesting van 30 kg N per ha, de objecten met 20 ton RDM (B) en het kunstmestobject (C) kregen een bijbemesting van 40 kg N per ha. De objecten, die geen mest hadden gehad in de stoppel (D) kregen de hoogste bijbemesting in juni: 50 kg N per ha. Er is geen onderscheid gemaakt voor de verschillende groenbemesters. De totale bemesting van de aardappelen kwam daarmee uit op respectievelijk 196, 206, 206 en 216 kg N werkzaam voor de objecten A, B, C en D.

Tabel 3. Stikstofbemesting kg/ha aardappel 2021 in de groenbemesterproef 2020-2021

Object	Basisbemesting			Bijbemesting juni	
	Organisch	Kunstmest	N werkzaam	Kunstmest	Totaal Nwerkzaam
A	35 m3 RDM	250 KAS	166	110 KAS	196
B	35 m3 RDM	250 KAS	166	150 KAS	206
C	35 m3 RDM	250 KAS	166	150 KAS	206
D	35 m3 RDM	250 KAS	166	185 KAS	216

2.4 Metingen en waarnemingen

De volgende aspecten werden gemeten in deze proef (60 veldjes) opgedeeld in 2 onderzoeksdelen:

1. Effect groenbemesters op nitraatverlies, bewerkbaarheid bodem en infiltratiecapaciteit
2. Effect groenbemesters op opbrengst aardappel en nitraatverlies na de aardappel

Een uitgebreide beschrijving van de methode en waarnemingen staat weergegeven in Bijlage 3.

2.4.1 Najaar 2020 en voorjaar 2021

- Opkomst en stand van de groenbemesters bij de verschillende bemestingsniveaus
- Grondbedekking door de groenbemesters bij de verschillende bemestingsniveaus
- Biomassa productie bovengronds plus N-inhoud (kort voor de vorst = maximale groei)
Ondergrondse productie wordt ingeschat
- Nmineraal 0-30, 30-60 en 60-90 cm bij de start – een monster van gehele proefveld
- Nmineraal 0-30, 30-60 en 60-90 cm november (kort voor uitspoelingsseizoen) – alle veldjes
- Nitraat in bodemvocht 130-150 cm (RIVM methode) – februari/maart – alle veldjes
- Bewortelingsintensiteit groenbemester – alle veldjes
- Bewerkbaarheid in voorjaar – beoordeling structuur – alle veldjes
- Infiltratiecapaciteit in volgteelt aardappel – bij bemestingsniveau 20 m3 RDM alle groenbemesters
- Aantal wormen – bij bemestingsniveau 20 m3 RDM alle groenbemesters
- Compactie vd grond - indringingsweerstand – bij bemestingsniveau 20 m3 RDM alle groenbemesters
- Aggregaat samenstelling en stabiliteit – bij bemestingsniveau 20 m3 RDM alle groenbemesters

2.4.2 2021 en winter 2022

- Stand aardappelgewas bij verschillende objecten
- Opbrengstmeting volgteelt aardappel – alle veldjes
- Nitraat in bodemvocht 130-150 cm (RIVM methode) – februari/maart – alle veldjes

2.4.3 Verwerking van de resultaten

De resultaten zijn statistisch geanalyseerd met het softwarepakket Genstat. Als eerste is een variantieanalyse uitgevoerd om te beoordelen of er een effect is door de proeffactoren. Een effect is als statistisch betrouwbaar (significant) beoordeeld, indien de zogenoemde F probability uit de variantieanalyse (F pr.) $\leq 0,05$ is en als zwak significant bij F pr. $> 0,05$ en $\leq 0,1$. De F pr. is bij de resultaten in de tabellen weergegeven.

Vervolgens is een tweezijdige t-toets uitgevoerd om te beoordelen welke objecten wel en niet significant van elkaar verschillen. Daarbij is een Lsd-waarde berekend (het kleinste betrouwbare verschil) bij een overschrijdingskans (p) van $\leq 0,05$. Als het verschil in bijvoorbeeld biomassaproductie tussen twee proefobjecten groter is dan de Lsd-waarde, staat met grote mate van zekerheid vast dat het verschil is veroorzaakt door de objecten en niet op toeval berust (als gevolg van variatie in het veld) en is het statistisch significant.

Als er sprake was van een significant effect van de proeffactoren is bij de weergave van de resultaten in tabellen met een lettercode aangegeven welke objecten wel of niet significant van elkaar verschillen. Als achter objecten eenzelfde letter staat, is het onderling verschil niet significant.

Beoordeeld zijn:

- het effect van de verschillende bemestingen, gemiddeld over de groenbemesterobjecten;
- het effect van de groenbemesterobjecten gemiddeld over de verschillende bemestingen;
- het interactie-effect tussen de verschillende bemestingen en de groenbemesterobjecten.

Een interactie-effect houdt bijvoorbeeld in dat het effect van de verschillende bemestingen op de biomassaproductie van de groenbemesters per groenbemestersoort of -mengsel verschilt. Als er geen interactie is, is het effect van de verschillende bemestingen bij alle groenbemesterobjecten gelijk.

Voor de volgteelt aardappel houdt een interactie-effect in dat de verschillende groenbemesterobjecten alsook de verschillende bemesting aan de groenbemesters effect kunnen hebben op bijvoorbeeld de opbrengst van de aardappel, maar dat de hoogte van dit gecombineerde effect verschilt per groenbemestersoort- of mengsel.

Indien er geen sprake was van een significant interactie-effect, zijn de resultaten alleen weergegeven voor de afzonderlijke proeffactoren 'bemesting' (gemiddeld over de groenbemesterobjecten) of 'groenbemester' (gemiddeld over de verschillende bemestingen).

3 Resultaten

3.1 Opkomst, stand en grondbedekking

De opkomst, stand en grondbedekking van de groenbemesters is visueel beoordeeld op 16 september 2020 en 14 oktober 2020. De verschillen in opkomst, stand en grondbedekking zijn gewaardeerd met een cijfer. In onderstaande tabellen staan de resultaten van de beoordeling van de opkomst, stand en bedekking van de groenbemesters in de verschillende objecten, per bemestingsniveau en per groenbemester.

Tabel 4. Beoordeling opkomst, stand en bedekking groenbemesters. Per bemestingsniveau

Bemesting	Gemiddelde opkomst/ stand 16-sept-21	Gemiddelde stand/ uniformiteit 14-okt-21	Gemiddeld percentage bedekking 14-okt-21
A	7,3 b	7,9 c	100 c
B	7,2 b	7,5 bc	97 bc
C	7,1 b	7,4 b	95 b
D	6,8 a	6,0 a	80 a
<i>Lsd</i>	0,3	0,4	4
<i>F pr.</i>	0,027	<0,001	<0,001

Tabel 5. Beoordeling opkomst, stand en bedekking groenbemesters. Per groenbemester

Groen- bemester	Gemiddelde opkomst/ stand 16-sept-21	Gemiddelde stand/ uniformiteit 14-okt-21	Gemiddeld percentage bedekking 14-okt-21
V	7,5 c	7,3 b	98 c
W	7,1 b	6,9 a	90 a
X	6,6 a	7,3 b	89 a
Y	6,7 ab	7,3 b	94 b
Z	7,6 c	7,2 ab	93 b
<i>Lsd</i>	0,4	0,3	2
<i>F pr.</i>	0,002	0,073	<0,001

De bemesting blijkt alleen bij het laagste bemestingsniveau (geen bemesting) een iets slechtere stand van de groenbemesters op te leveren. De stand van de groenbemesters half oktober is beter naar rato het bemestingsniveau hoger is. Deze verschillen zijn significant. Ook de mate van grondbedekking uitgedrukt in percentage is hoger naarmate de bemesting hoger is. Dit verschil is ook significant. Met name bij de mengsels was opvallend dat bij de hoge bemesting andere groenbemestersoorten overheersen dan bij de lage bemesting. In afbeelding 2 is te zien dat bij de hoge bemesting de gele mosterd overheerst in het mengsel van gele mosterd en facelia en dat bij geen bemesting de facelia meer kans krijgt. In afbeelding 3 is dit te zien voor het meervoudig mengsel Solarigol. Kijkend naar de verschillende groenbemesters dan blijkt de gele mosterd (V) de beste opkomst te hebben. Ook de bladrammenas met zeoliet scoort hoog. De twee mengsels: TL Solarigol (X) en gele mosterd met facelia (Y) scoren het laagst. Bij de beoordeling half oktober was er weinig verschil tussen de 5 objecten, met uitzondering van de bladrammenas, die iets minder uniform stond. Voor mate van grondbedekking scoort de gele mosterd (V) het hoogst met bijna 100%. Het mengsel TL Solarigol (X) en de bladrammenas (W) scoren met 89 en 90% bedekking het laagst.



Afbeelding 2. Stand groenbemester mengsel gele mosterd met facelia (Y) op 14 oktober 2020, links object met 35 m3 runderdrijfmest (AY) en rechts met 0 bemesting (DY),



Afbeelding 3. Stand groenbemester meervoudig mengsel Solarigol (X) op 14 oktober 2020, links object met 35 m3 runderdrijfmest (AX) en rechts met 0 bemesting (DX),

3.2 Biomassa productie

Op 23 november 2020 is de bovengrondse biomassa van de groenbemesters bepaald. Van elk veldje is 4 keer een oppervlakte van 0,25 m² geoogst. In tabel 6 en 7 is de bovengrondse biomassa productie weergegeven, respectievelijk gemiddeld per bemestingsniveau en per groenbemester.

Tabel 6. Bovengrondse biomassa productie groenbemesters, per bemestingsniveau

Bemesting	bovengronds vers opbrengst (kg per ha)	bovengronds N-totaal opname (per ha)	bovengronds droge stof opbrengst (kg per ha)	bovengronds organische droge stof (kg per ha)	bovengronds effectieve organische stof (kg per ha)
A	46267 c	109 c	3913 c	3203 c	641 c
B	39700 b	91 b	3612 c	2952 c	590 c
C	38000 b	84 b	3284 b	2668 b	534 b
D	27800 a	66 a	2686 a	2202 a	440 a
Lsd	3727	8	322	265	53
F pr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tabel 7. Bovengrondse biomassa productie groenbemesters, per groenbemester

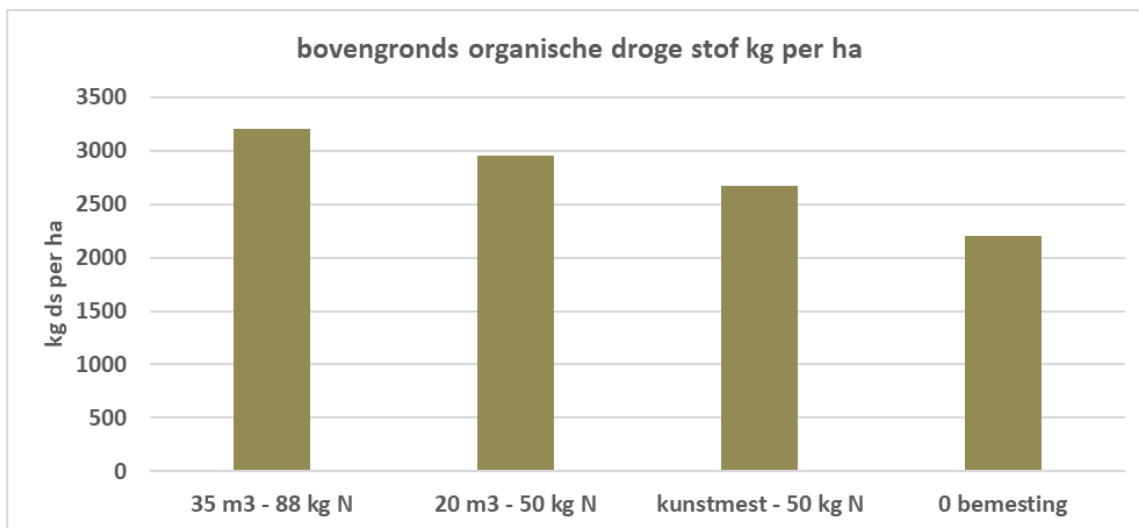
Groen- bemester	bovengronds vers opbrengst (kg per ha)	bovengronds N-totaal opname (per ha)	bovengronds droge stof opbrengst (kg per ha)	bovengronds organische droge stof (kg per ha)	bovengronds effectieve organische stof (kg per ha)
V	35125 a	98 b	4214 c	3594 c	719 c
W	41042 b	81 a	3264 b	2654 b	531 b
X	35667 a	84 a	2594 a	2030 a	406 a
Y	34792 a	93 ab	3425 b	2754 b	551 b
Z	43083 b	81 a	3372 b	2750 b	550 b
Lsd	5025	13	473	389	78
F pr.	0,014	0,047	0,001	<0,001	<0,001

Uit de resultaten is af te leiden dat hoe hoger de bemestingsgift is hoe hoger de bovengrondse biomassa. Object A (35 m³ RDM) scoort met 46.3 ton verse materiaal per ha en 3.9 ton droge stof per ha het hoogst. Geen bemesting (D) leidt tot 40% minder biomassa vers en ruim 30% minder droge stof productie. De verschillen zijn significant. De stikstofopname door de groenbemesters blijkt overeenkomstig de biomassa ook het hoogst bij de hoogste bemesting: 109 kg per ha. Voor de objecten B, C en D is dit respectievelijk 91, 84 en 66 kg per ha. Ondanks een gelijke bemesting qua stikstof per ha blijkt het object met 20 m³ RDM voor biomassa vers, droge stof en N-gehalte hoger te scoren dan het object C dat met kunstmest is bemest. De verschillen zijn echter niet significant voor de verse biomassa en N-opname maar wel significant voor de (effectieve) organische stof aanvoer. Voor het op peil houden van de organische stof in de bodem door middel van aanvoer effectieve organische stof scoort een met 35 m³ bemeste groenbemester 8% hoger dan een met 20 m³ bemeste groenbemester en 32% hoger dan een niet bemeste groenbemester.

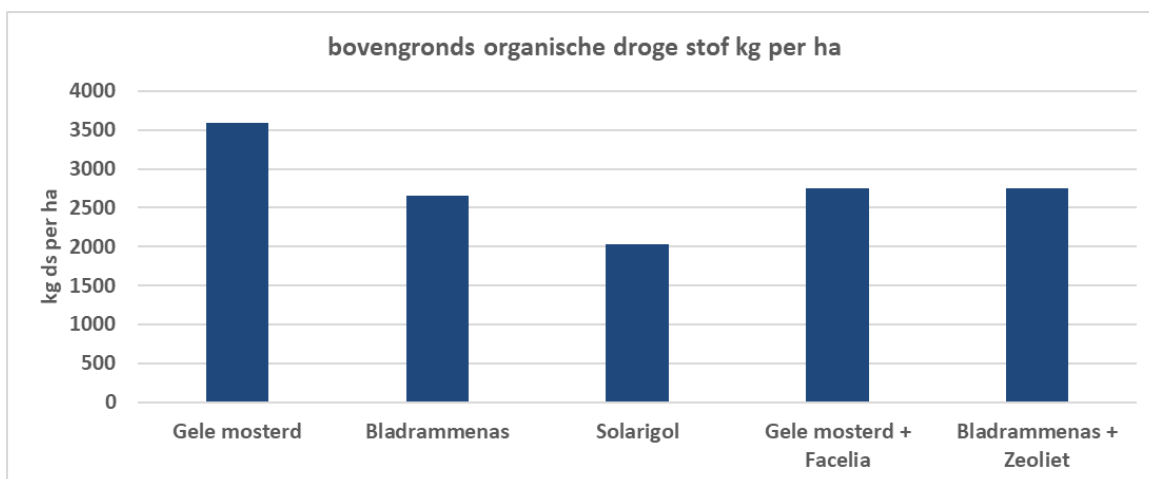
Kijkend naar de verschillen tussen de soorten groenbemesters dan scoort de bladrammenas (W) met 41 ton verse biomassa bovengronds het hoogst. Voor bovengrondse droge stof opbrengst scoort de gele mosterd (V) met 4.2 ton het hoogst. Dit geldt ook voor de effectieve organische stof aanvoer. Met ruim 700 kg eos per ha scoort gele mosterd 25% hoger dan de bladrammenas (W en Z) en het mengsel van gele mosterd en facelia (Y). Het meervoudig mengsel TL Solarigol scoorde het laagst. De verschillen waren significant. Voor wat betreft de stikstofopname scoort de gele mosterd met gemiddeld 98 kg N per ha het hoogst gevolgd door het mengsel met gele mosterd met facelia (93 kg N). De bladrammenas (W en Z) en het meervoudig mengsel (X) zijn met ruim 80 kg N opname per ha, gemiddeld over alle bemestingsniveaus, vergelijkbaar.

In de grafieken 1 en 2 zijn de resultaten uit tabel 6 en 7 voor de bovengrondse organische stof opbrengst visueel weergegeven.

Grafiek 1. Bovengrondse organische droge stof productie per ha gemiddelde van de groenbemesters per bemestingsniveau 35 m³ RDM (88 kg N), 20 m³ RDM (50 kg N), kunstmest (50 kg N) en object onbemest (0 kg N)



Grafiek 2. Bovengrondse organische droge stof productie per ha per groenbemesters gemiddelde van alle bemestingsniveaus,



3.3 Bewortelingsintensiteit en wortelmassa

De bewortelingsintensiteit en wortelmassa van de groenbemesters bepalen is lastig. De wortelbiomassa van de groenbemester is op 8 december 2020 bepaald en gekeken is of dit een indicatie kan geven voor de bewortelingsintensiteit. Er blijkt in de metingen van de wortelbiomassa veel variatie aanwezig, waardoor het lastig is een indicatie voor bewortelingsintensiteit te geven. De metingen kunnen een indicatie geven dat het mengsel TL Solarigol (Object X) de hoogste bewortelingsintensiteit kent en gele mosterd en het mengsel van gele mosterd en facelia (Object V en Y) de laagste. Dit is echter niet meer dan een indicatie, omdat de bewortelingsintensiteit in enkelvoud gemeten is en er dus ook geen statistische analyse is toegepast.

Een hoge bemesting (object A) lijkt te leiden tot de laagste ondergrondse biomassa, terwijl de bovengrondse biomassa bij de hoge bemesting het hoogst is.

Tabel 10. Wortelbiomassa groenbemesters (8 dec 2020), gemiddeld per bemestingsniveau

Bemesting	Vers gewicht (kg/ha)	DS gewicht (kg/ha)	Effectieve organische stof (kg/ha)
A	5.560	448	157
B	13.727	1.124	393
C	7.759	676	237
D	13.677	965	338

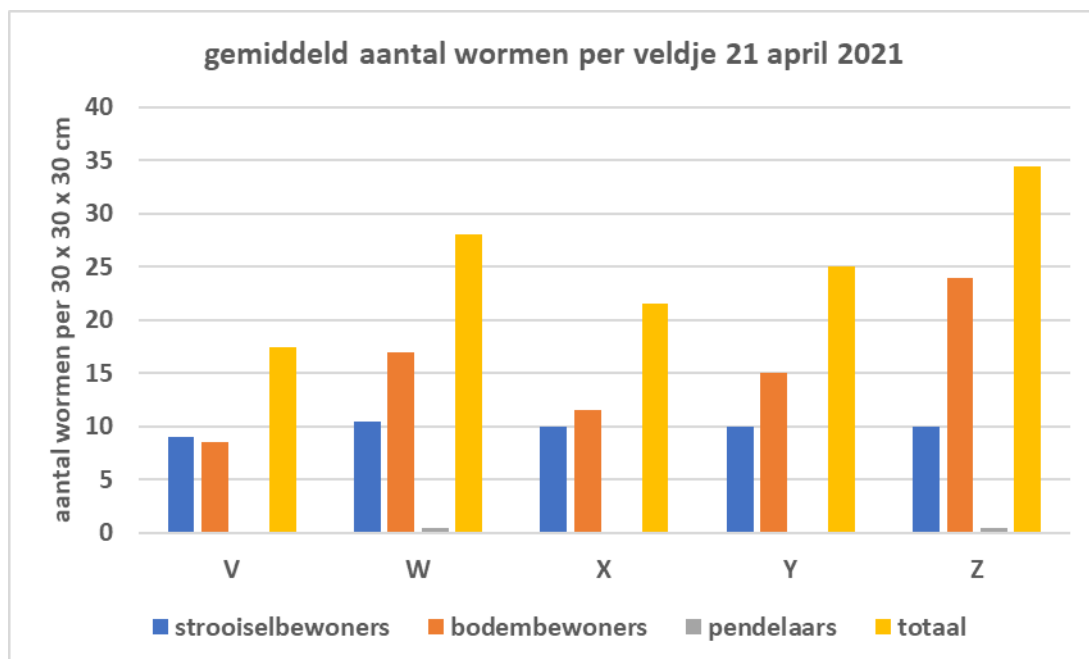
Tabel 11. Wortelbiomassa groenbemesters (8 dec 2020), gemiddeld per groenbemester

Groenbemester	Vers gewicht (kg/ha)	DS gewicht (kg/ha)	Effectieve organische stof (kg/ha)
V	3.108	423	148
W	10.917	945	331
X	20.883	1.144	400
Y	3.643	553	194
Z	12.353	951	333

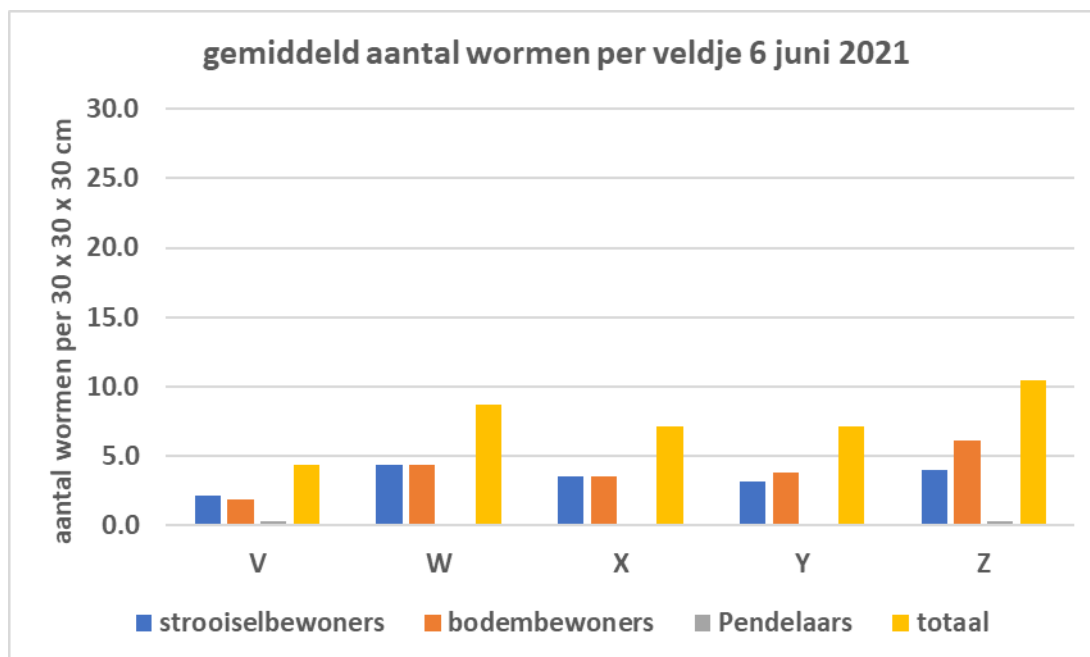
3.4 Wormen

Regenwormen kunnen bijdragen aan de beworteling van gewassen qua diepte en intensiteit. Daarnaast zorgen de wormen voor verbetering van de infiltratie van water naar diepere lagen. Dit doen met name de pendelaars die verticale gaten maken naar diepere lagen. Het aantal wormen is op 21 april 2021 in de veldjes van de objecten met een bemestingsniveau van 50 N (20 m³ RDM) geteld in 1 herhaling en op 6 juni 2021 in alle 3 de herhalingen. In de grafieken 3 en 4 staan de resultaten van de tellingen weergegeven.

Grafiek 3. Gemiddeld aantal wormen per groenbemester op 21 april (1 herhaling) van de objecten met 20 m³ RDM



Grafiek 4. Gemiddeld aantal wormen per groenbemester op 6 juni (3 herhalingen) van de objecten met 20 m³ RDM



Op 21 april, voorafgaand aan de grondbewerking, werden meer wormen geconstateerd dan op 6 juni tijdens de teelt van de aardappelen. De vochttoestand van de bodem was op 21 april ook veel hoger dan op 6 juni.

De meeste regenwormen zijn geconstateerd in het veldje van object Z waar bladrammenas staat en zeoliet is toegepast. De veldjes met bladrammenas (object W) zonder de toepassing van zeoliet volgen daarna. De veldjes met gele mosterd (object V) bevatten minder wormen. De objecten met de mengsels Y (Gele mosterd en facelia) en X (Solarigol) scoren daar tussen. De genoemde trend geldt bij beide waarneemdata. De resultaten zijn echter niet statistisch betrouwbaar.

Het aantal gevonden pendelaars, die met name moeten zorgen voor meer waterinfiltratie naar diepere lagen is zeer beperkt namelijk gemiddeld minder dan 1 per veldje.

3.5 Bewerkbaarheid en structuur

Op verschillende momenten is getracht de bewerkbaarheid en structuur van de bodem te beoordelen. Op 20 januari 2021 is de structuur van de bodem visueel beoordeeld. Bevindingen bij deze waarnemingen zijn onder andere dat onder gele mosterd de grond iets bonkiger/scherpblokkiger en natter is dan onder de bladrammenas (ruller en droger). De structuur onder het mengsel gele mosterd en phacelia is te vergelijken met de structuur onder alleen gele mosterd. Op het naastgelegen praktijkperceel was de bladrammenas al klein gemaakt en ingewerkt met de schijveneg in december 2020. Die grond, bleek een veel bonkigere en scherp-blokkigere structuur te hebben en was veel natter dan onder de veldjes bladrammenas in de proef. In Bijlage 7 staan de foto's weergegeven van de grondstructuur op 20 januari 2021 per object.

Op 10 februari 2021 zijn de groenbemesters in de proef geklepeld. In Bijlage 7 staan van een aantal objecten foto's van opengebroken kluiten, waargenomen op 1 april 2021. Na de bemesting met de bouwlandinjecteur met schijveneg op 21 april 2021 waren de structuurverschillen nog visueel waar te nemen (23 april 2021). Na bewerken met de Evers vaste tand met buizenrol en bewerken met rotorkopeg met voorzetwoeler was tussen de veldjes geen visueel verschil meer waar te nemen (25 april 2021).

De aardappelen zijn 29 april 2021 gepoot. Vervolgens is op 10 mei 2021 een beoordeling gedaan van de aanwezige grofheid van de grond op basis van kluiten en schollen. Tabel 12 geeft de resultaten hiervan weer. Hoe hoger het toegekende punt, hoe beter de beoordeelde bodemstructuur. Het is

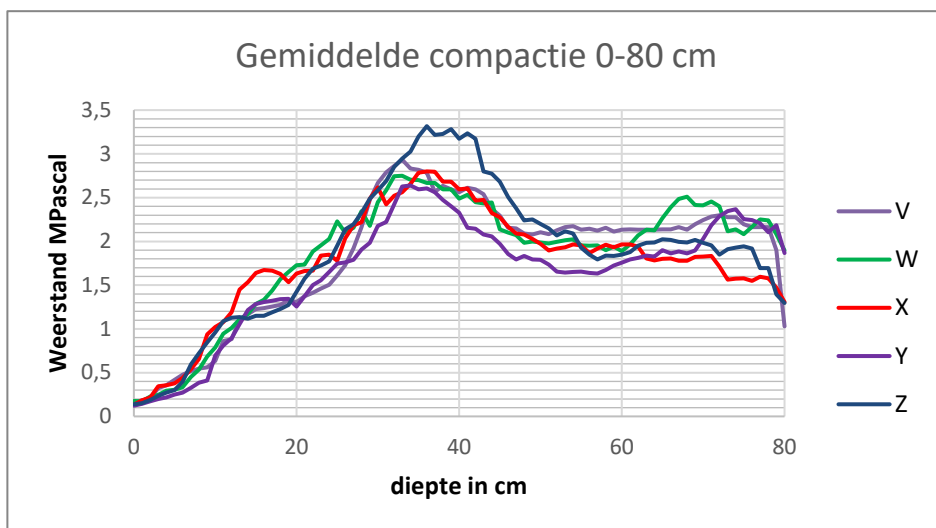
echter lastig om op basis van de visuele waarneming een punt toe te kennen. In Bijlage 7 staan ook de foto's behorend bij de waarneming van 10 mei 2021.

Tabel 12. Grofheid (kluiten) en schollen, per groenbemester per bemestingsniveau

Groenbemester	Grofheid kluiten en schollen
V	6,7
W	6,4
X	6,7
Y	6,5
Z	6,6
Lsd	0,3
F pr.	n.s.

Bemesting	Grofheid kluiten en schollen
A	6,5
B	6,7
C	6,6
D	6,6
Lsd	0,3
F pr.	n.s.

Grafiek 5. Gemiddelde weerstand (compactie) per groenbemester in de laag 0-80 cm uitgedrukt in MPascal



Op 8 juni is de bodemweerstand gemeten in de veldjes van de groenbesteders bij een bemestingsniveau van 50 N - 20 m³ RDM (B). Dit is gedaan met behulp van een penetrometer tot 80 cm diepte. De hoogste mate van weerstand/verdichting in de bovenste 30 cm van de bodem werd gemeten in de veldjes met TL Solarigol (X). In de veldjes met gele mosterd (V) en gele mosterd met facelia (Y) werd de minste bodemweerstand/verdichting gemeten in de laag 0-30 cm. Voor de veldjes met bladrammenas is vastgesteld dat in de veldjes waar zeoliet (Z) toegepast is, een hogere weerstand gemeten is dan in de veldjes waar geen (W) zeoliet is toegepast. Dit geldt met name in de laag 30-50 cm. Op diepere lagen is het omgekeerde te zien.

Op 22 juni 2021 is een waarneming gedaan van de aggregaat-grootte en -stabiliteit. Resultaten zijn te vinden in Tabel 13.

Tabel 13. Aggregaat samenstelling, per groenbemester bij bemestingsniveau 50 kg N-20 m³ RDM (B)

Groen- bemester	>20 mm (%)	10-20 mm (%)	4-10 mm (%)	2-4 mm (%)	1-2 mm (%)	< 1 mm (%)
V	9,2	13,6	19,4 a	15,2	17,1	25,6
W	8,8	14,5	21,0 b	15,4	16,5	23,9
X	8,6	12,8	18,8 a	14,8	17,4	27,7
Y	9,6	13,3	19,3 a	15,0	17,1	25,8
Z	11,1	13,6	19,2 a	14,8	16,3	25,0
Lsd	3,1	2,5	1,5	0,8	2,3	3,6
F pr.	n.s.	n.s.	0,074	n.s.	n.s.	n.s.

De aggregaat samenstelling, gezeefd met een schudzeef in 6 fracties, van de grondmonsters van de 5 groenbemester veldjes is voor alle zeeffracties gelijk behalve bij het veldje met bladrammenas (W) dat een significant hoger percentage van de fractie 4-10 mm heeft.

De hoeveelheid stabiel aggregaat, bepaald met de natte zeefmethode, laat een percentage stabiel aggregaat zien tussen de 70 en 74 procent. Dit is een gemiddelde van vier bepalingen per grondmonster. Volgens de CASH-scorefunctie is een stabiel aggregaat percentage boven de 40-60% een zeer hoog percentage stabiel aggregaat. Het verschil tussen de veldjes met de verschillende groenbemers is klein.

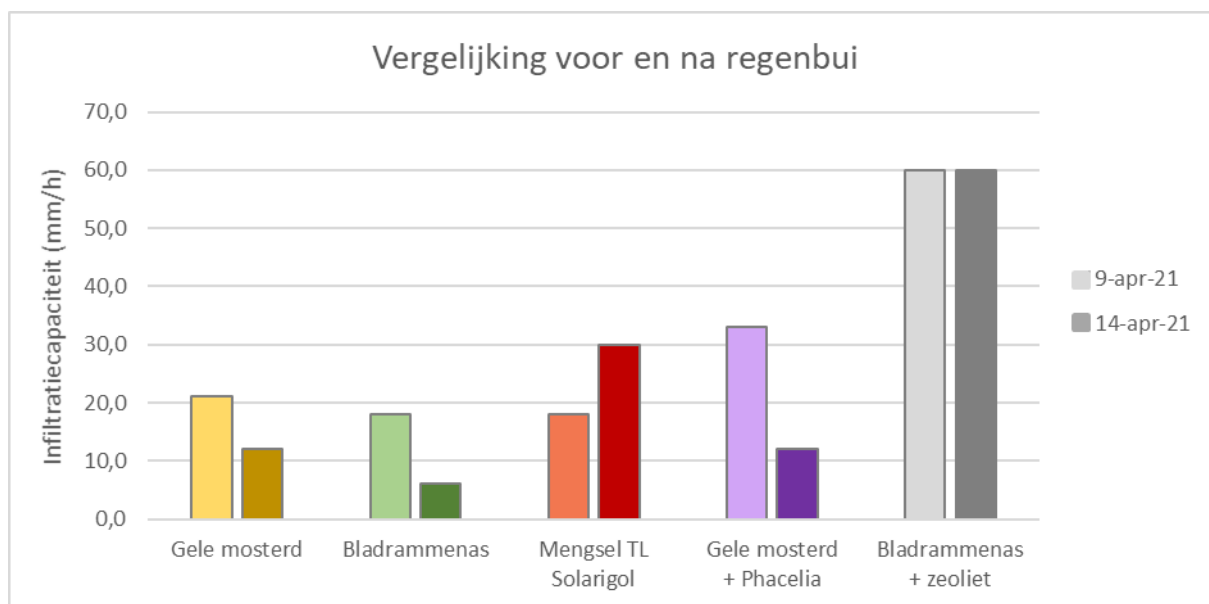
Samenvattend kan gezegd worden dat tussen de groenbemers weinig verschil zit in invloed op de aggregaat samenstelling en de hoeveelheid stabiel aggregaat en dat de waarde hoog is.

Ook tijdens de visuele beoordeling van de veldjes tijdens het bewerken van de grond in het voorjaar met de rotorkoepel voor het poten van de aardappelen werd er weinig tot geen verschil tussen de veldjes waargenomen.

3.6 Infiltratiecapaciteit

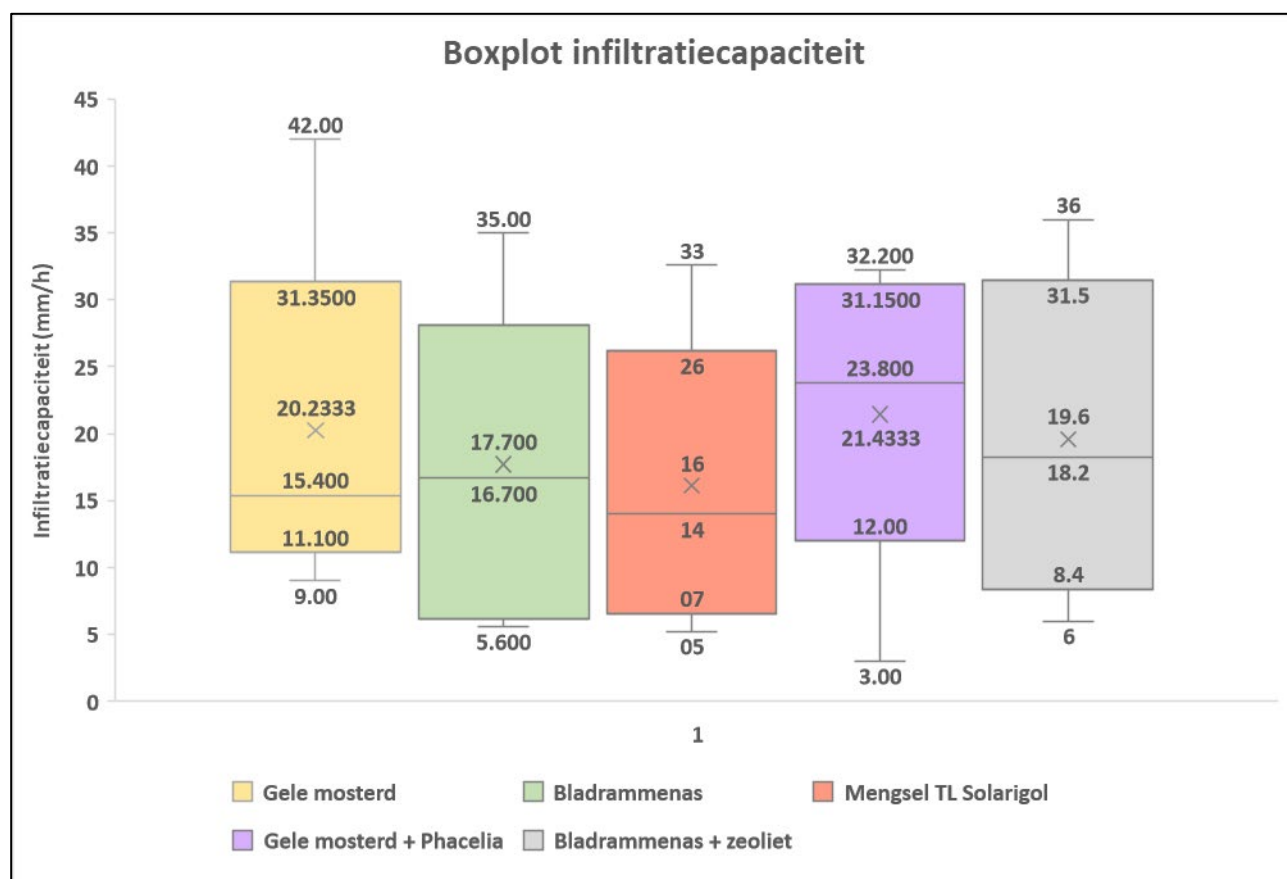
Om een goede infiltratiemeting te kunnen doen, werd gewacht tot een periode van minstens 3 achtereenvolgende droge dagen zich voordeed. Daarom is de infiltratiemeting van alle veldjes (met bemestingsniveau 50 N – 20 m³ RDM (B) pas op 31 mei 2021 uitgevoerd. Begin april (na klepelen en voor de bemesting en poten van de aardappel), is een enkelvoudige meting gedaan. Dit is voor een regenbui op 9 april uitgevoerd en na een regenbui op 14 april. Deze enkelvoudige meting in herhaling II in de verschillende groenbemers bij bemestingsniveau 50 N - 20 m³ RDM (B) is weergegeven in Grafiek 6. De infiltratiecapaciteit is uitgedrukt als mm per uur. Het gaat hier om de constante waarde die bereikt wordt bij bijna-verzadigde toestand van de bodem. Voor leemgronden worden hiervoor waarden van gemiddeld 10-20 mm per uur genoemd in de literatuur. Bij de meting op 9 april lagen de waarden tussen 20 en 30 mm met een uitschieter voor het veldje met bladrammenas en zeoliet tot 60 mm. Ook op 14 april (na de regenbui) scoorde dit veldje op dit niveau. De andere groenbemers scoorden op deze datum tussen de 5 en 30 mm per uur.

Grafiek 6. Infiltratiecapaciteit per groenbemester voor en na een regenbui voor het bemesten en poten van de aardappelen op respectievelijk 9 en 14 april.



De resultaten van de meting van de infiltratiecapaciteit op 31 mei 2021 staan weergegeven in grafiek 7. Hier is gekozen om dit weer te geven als boxplot. De hoogste en laagste meting zijn gelijk aan het minimum en maximum in het boxplot. Het gekleurde vlak bevat de helft van de metingen. Het kruisje geeft het gemiddelde en het streepje in het blok is de mediaan, waar de helft van de waarnemingen qua waarde boven en de helft onder valt.

Grafiek 7. Boxplot van de infiltratiecapaciteit per groenbemester bij een bemestingsniveau van 50 kg N - 20 m³ RDM (B) van de drie herhalingen



De hoogste infiltratiecapaciteit is gemeten in de veldjes met het mengsel van de groenbemester gele mosterd met phacelia, gevolgd door de veldjes met alleen gele mosterd. De laagste infiltratiecapaciteit werd gemeten in de veldjes met het groenbemester mengsel TL Solarigol. De veldjes met bladrammenas laten gemiddeld een lagere infiltratiecapaciteit zien dan de veldjes met gele mosterd (en facelia). In de veldjes met bladrammenas waar ook zeoliet toegepast is werd een hogere infiltratiecapaciteit gemeten dan bij de bladrammenas zonder zeoliet. Dit werd ook op 9 en 14 april geconstateerd.

Binnen de veldjes (op basis van 2 metingen) en tussen de veldjes met eenzelfde groenbemester (de 3 herhalingen) zijn echter grote verschillen gemeten in infiltratiecapaciteit. De variatie binnen de objecten was erg groot, soms tot wel 642% verschil. Het is daarom lastig om harde conclusies te trekken.

Relatie infiltratiecapaciteit, wormen en indringingsweerstand is beperkt. Wanneer een spreidingsdiagram uitgezet wordt van verdichting tegen de infiltratiecapaciteit blijkt echter dat maar 22% van de trend te verklaren is.

Tabel 14. Alle gemeten factoren per groenbemester, die van invloed zijn op bodemkwaliteit en waterberging

	Object	Organische droge stof productie	Aantal wormen		Verdichting ++ is weinig - is veel	infiltratiecapaciteit
			april	juni		
V	Gele mosterd	3.5	17	4	++	20
W	Bladrammenas	2.7	27	8	+	18
X	Solarigol	2.0	21	7	+/-	16
Y	Gele mosterd + Facelia	2.8	25	7	++	21
Z	Bladrammenas + zeoliet	2.8	35	10	+	20

Als alle factoren, die gemeten zijn in één tabel worden samengevat dan kan geconstateerd worden dat een lagere organische stof productie en meer weerstand/verdichting in de bodem leidt tot een lagere infiltratiecapaciteit. Het aantal wormen lijkt geen relatie te hebben met de infiltratiecapaciteit. De infiltratiecapaciteit die in de literatuur voor leemgronden wordt genoemd van 10-20 mm (als constante waarde die bereikt wordt bij bijna-verzadigde toestand van de bodem) werd in deze proef bij alle groenbemers bereikt en zat aan de bovenkant van de range.

3.7 Stand aardappelgewas

In de stand van het aardappelgewas zijn gedurende het groeiseizoen 2021 geen verschillen tussen de objecten waargenomen. Ook in onderstaande drone foto van 31 augustus 2021 zijn de verschillende objecten niet te herkennen in het aardappelperceel.



Afbeelding 4. Drone-opname 31 augustus 2021 van het perceel aardappel. Rood omkaderd is de plek waar de diverse groenbemesterobjecten hebben gelegen.

3.8 Opbrengst aardappelen

Tabel 3 en Tabel 4 staan de aardappelopbrengsten weergegeven. Het gaat hier om de bruto opbrengst, uitval (groen, groeischeur en rot) en de marktbare opbrengst (> 40 mm) in ton per ha. In tabel 11 staat een weergave van het effect van het bemestingsniveau van de groenbemesters (A, B, C en D) plus de bijbemesting in juni op de aardappelopbrengst. In tabel 12 staat het effect van het type groenbemester (V, W, X, Y en Z) op de opbrengst van de aardappel.

Veldje 24 (AX) was statistisch gezien een uitschieter. Het had een onverklaarbare lage opbrengst, is als niet-representatief beschouwd en is daarom niet meegenomen in de berekening van de gemiddelde opbrengsten en uitval. De laatste kolom in beide tabellen bevat het onderwatergewicht in gram. De aardappelen zijn op 14 oktober 2021 geoogst.

Tabel 3. Aardappelopbrengst, per bemestingsniveau. Gemiddelden zonder veldje 24, m.u.v. OWG-gemiddelden.

Bemesting	Bruto opbrengst (ton/ha)	Marktbare opbrengst (ton/ha)	Uitval gewicht (ton/ha)	OWG (g)
A	67,86	64,81	1,71	379
B	67,22	64,55	1,33	388
C	64,83	62,22	1,58	388
D	66,06	63,22	1,86	386
Lsd	2,91	3,02	0,53	16
F pr.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 4. Aardappelopbrengst, per groenbemester. Gemiddelden zonder veldje 24, m.u.v. OWG-gemiddelden.

Groen-bemester	Bruto Opbrengst (ton/ha)	Marktbare Opbrengst (ton/ha)	Uitval Gewicht (ton/ha)	OWG (g)
V	67,80 b	65,00 b	1,72	387
W	67,84 b	64,78 b	1,96	384
X	65,22 ab	62,65 ab	1,31	386
Y	64,83 a	62,05 a	1,73	387
Z	66,76 ab	64,01 ab	1,39	382
Lsd	2,62	2,63	0,78	11
F pr.	0,082	0,116	n.s.	n.s.

De verschillende bemestingsobjecten in de graanstoppel voor de groenbesters hadden geen significant effect op de opbrengst en onderwatergewicht van de aardappelen. Door de hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel van het graan met compensatie (lagere bijbemesting) in juni werd geen opbrengstverhoging gerealiseerd.

De groenbestersoort blijkt wel een (zwak) significant effect te hebben op de bruto en marktbare opbrengst van de aardappel. Het 8-voudige mengsel en 2-voudige mengsel van gele mosterd en facelia blijken in deze geen meerwaarde op te leveren op de opbrengst en toonde zelfs een trend naar circa 4% lagere opbrengst (niet significant). Tussen bladrammenas en gele mosterd was er nagenoeg geen verschil in opbrengst van de aardappel.

3.9 N-mineraal en nitraat in bodemvocht

Op 23 november 2020 zijn er grondmonsters gestoken om de N-mineraal in de laag 0-90 cm te bepalen, de zogenaamde N-rest in de bodem. Op 22 februari 2021 en 25 januari 2022 is het bodemvocht bemonsterd op nitraatgehalte. De resultaten zijn gemiddeld per bemestingsniveau (tabel 8) en per groenbemester (tabel 9) weergegeven.

Tabel 8. N-mineraal in bodem en nitraat in bodemvocht, per bemestingsniveau

Bemesting	Nmin				NO ₃ in bodemvocht	
	nov. 2020 0-30 cm (kg N/ha)	nov. 2020 30-60 cm (kg N/ha)	nov. 2020 60-90 cm (kg N/ha)	nov. 2020 0-90 cm (kg N/ha)	feb. 2021 130-150 cm (mg/l)	jan. 2022 130-150 cm (mg/l)
A	16 b	6	2	24 b	29 c	83 b
B	12 ab	4	2	18 a	23 b	60 ab
C	11 a	6	2	19 ab	20 b	56 a
D	10 a	4	3	16 a	14 a	50 a
Lsd	3	5	1	5	4	24,4
F pr.	0,029	n.s.	n.s.	0,046	0,001	0,066

Een hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel leidt zowel in de winter erop volgend als in de winter na de volgteelt aardappel tot hogere nitraatgehaltes in het bodemvocht. Dit was bovendien significant. Daar de opbrengst van de aardappel geen verschil opleverde bij een hogere bemesting in de stoppel is het aan te raden de bemesting van de groenbemester meer af te stemmen op de opnamecapaciteit van de groenbemester. Geen bemesting van de groenbemester laat het laagste nitraatgehalte in bodemvocht zien en scoort als enigste na de aardappel op de norm van 50 mg nitraat per liter. Een bemesting van 50 kg N uit runderdrijfmest (B) of kunstmest (C) scoren net boven de norm na de aardappel. Bij een bemesting van de groenbemester met 35 m³ RDM (A) wordt het hoogste nitraatgehalte in bodemvocht gemeten.

De keuze van de groenbemester, gemiddelde van alle bemestingsniveaus, blijkt ook een effect te hebben op het nitraatgehalte in het bodemvocht. Dit geldt zowel in de winter volgend op de groenbemester als bij de meting in de winter na de volgteelt aardappel. Gele mosterd (V) en het mengsel van gele mosterd en facelia (Y) scoren het hoogst met gemiddeld 28 mg nitraat per liter in februari 2020 en gemiddeld 72 mg nitraat per liter in januari 2021. De objecten met bladrammenas (W en Z) scoren met gemiddeld 15 mg nitraat in februari 2021 en 54 mg nitraat per liter in januari 2022 het laagst. Het meervoudig mengsel Solarigol (X) scoorde met 22 mg in februari 2021 en 58 mg in januari 2022 net iets hoger dan de bladrammenas. De verschillen van de meting in januari 2022 blijken echter niet significant te zijn.

Significantie wordt wel bereikt als de 2 objecten met gele mosterd (V en Y) en de 2 objecten met bladrammenas (W en Z) samen worden genomen. Het nitraatgehalte in bodemvocht in januari 2022 voor gele mosterd (gemiddeld 72 mg/l) valt dan significant hoger uit dan voor bladrammenas (gemiddeld 54 mg/l). De Lsd-waarde voor deze vergelijking is 12,5 mg/l.

Tabel 9. N-mineraal in bodem en nitraat in bodemvocht, per groenbemester

Groen- bemester	Nmin nov. 2020 0-30 cm (kg N/ha)	Nmin nov. 2020 30-60 cm (kg N/ha)	Nmin nov. 2020 60-90 cm (kg N/ha)	Nmin nov. 2020 0-90 cm (kg N/ha)	NO3 in bodemvocht feb. 2021 130-150 cm (mg/l)	NO3 in bodemvocht jan. 2022 130-150 cm (mg/l)
V	13 a	5	2	19 a	28 c	72
W	11 a	3	2	16 a	14 a	54
X	9 a	4	2	15 a	22 b	58
Y	18 b	8	3	29 b	28 c	73
Z	11 a	5	2	18 a	16 a	54
Lsd	3	4	1	7	5	20,4
F pr.	0,003	n.s.	n.s.	0,013	0,001	n.s.

4 Conclusies

Uit de resultaten van de opkomststelling, visuele beoordeling, grondbedekking, biomassa productie en bewortelingsintensiteit van de groenbemesters, aantal wormen, bewerkbaarheid, structuur en infiltratie capaciteit van de bodem, de opbrengstmeting van de aardappel en het nitraatgehalte in bodemvocht komen een aantal overeenkomsten en verschillen tussen de 20 objecten naar voren.

Uit de resultaten zijn de volgende vragen te beantwoorden:

1. Welke soorten groenbemesters bevorderen het waterbergend vermogen?
2. Wat is de impact van de teelt van groenbemesters op het nitraatverlies?
3. Hoe hoog mag de mestgift in de stoppel van het graan zijn zonder dat dit leidt tot extra verlies.

Een hoge bemesting (35 m³ RDM) in de stoppel leidt tot de hoogste organische droge stof productie van de groenbemester (3.2 ton organische ds per ha) en de hoogste N-opname (109 kg N per ha) door de groenbemester. Een bemesting van 20 m³ RDM leidt tot een 8% lagere organische droge stof productie en 17% lagere N opname. Geen bemesting leidt tot een 30% lagere organische droge stof productie en 40% lagere N-opname.

Keuze van de soort groenbemester leidt ook tot verschillen in organische droge stof productie en N-opname. Gele mosterd gaf gemiddeld over alle bemestingsniveaus met 3.6 ton organische ds per ha de hoogste productie. Gele mosterd met facelia en de twee objecten met bladrammenas scoorden ruim 20% lager. Het meervoudig mengsel scoorde met 2.0 ton organische ds per ha het laagst. Voor wat betreft de N-opname lagen de gele mosterd en gele mosterd met facelia met respectievelijk 98 en 93 op een vergelijkbaar hoogste niveau. De bladrammenas en Solarigol lagen met circa 80 kg N-opname ruim 15% lager. Ondanks een lage organische ds productie scoorde de Solarigol toch nog hoog met N-opname. Dit kan mede veroorzaakt zijn door het aandeel vlinderbloemigen (6% alexandrijnse klaver en 35% zomerwikken) in dit mengsel.

De verschillende bemestingsobjecten in de graanstoppel voor de groenbemesters hadden geen significant effect op de opbrengst en onderwatergewicht van de volgteelt aardappelen. Door de hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel van het graan met compensatie (lagere bijbemesting) in juni werd geen opbrengstverhoging gerealiseerd.

De groenbemestersoort blijkt wel een (zwak) significant effect te hebben op de bruto en marktbaar opbrengst van de aardappel. Het 8-voudige mengsel en 2-voudige mengsel van gele mosterd en facelia blijken in deze geen meerwaarde op te leveren op de opbrengst en scoorden zelfs circa 4% lager (niet significant). Tussen bladrammenas en gele mosterd was er nagenoeg geen verschil in opbrengst van de aardappel.

De infiltratiecapaciteit die in de literatuur voor leemgronden wordt genoemd van 10-20 mm (als constante waarde die bereikt wordt bij bijna-verzadigde toestand van de bodem) werd in deze proef bij alle groenbemesters ruimschoots bereikt en zat aan de bovenkant van de range. Het meervoudig mengsel Solarigol scoorde daarbij lager (16 mm) dan achtereenvolgens de bladrammenas (18 en 20 mm) en gele mosterd (20 en 21 mm).

Op basis van de waarnemingen en metingen kan alleen geconcludeerd worden dat een lagere organische stof productie en meer weerstand/verdichting in de bodem leidt tot een lagere infiltratiecapaciteit. Het aantal wormen lijkt geen relatie te hebben met de infiltratiecapaciteit.

Een geslaagde groenbemester leidt bij een algemeen goed bodembeheer tot een goede infiltratiecapaciteit. De keuze voor een meervoudig mengsel levert hierin op basis van de resultaten van deze proef geen meerwaarde.

Een hogere bemesting van de groenbemester in de stoppel leidt zowel in de winter erop volgend als in de winter na de volgteelt aardappel tot hogere nitraatgehalten in het bodemvocht. Dit was bovendien significant. Daar de opbrengst van de aardappel geen verschil opleverde bij een hogere bemesting in

de stoppel is het aan te raden de bemesting van de groenbemester meer af te stemmen op de opnamecapaciteit van de groenbemester. Bij het achterlaten van stro na het graan is dat circa 50 kg N per ha werkzaam. Geen bemesting van de groenbemester laat het laagste nitraatgehalte in bodemvocht zien en scoort als enigste na de aardappel op de norm van 50 mg nitraat per liter. Een bemesting van 50 kg N uit runderdrijfmest of kunstmest scoren met respectievelijk 60 en 56 mg nitraat net boven de norm van 50 mg nitraat per liter. Bij een bemesting van de groenbemester in de stoppel van het graan met 35 m³ RDM werd het hoogste nitraatgehalte (83 mg nitraat per liter) in bodemvocht gemeten.

De keuze van de groenbemester blijkt ook een effect te hebben op het nitraatgehalte in het bodemvocht. Dit geldt zowel in de winter volgend op de groenbemester als bij de meting in de winter na de volgteelt aardappel. Gele mosterd en het mengsel van gele mosterd en facelia scoren het hoogst met gemiddeld 28 mg nitraat in februari 2020 en gemiddeld 72 mg nitraat in januari 2021. De objecten met bladrammenas scoren met gemiddeld 15 mg nitraat in februari 2021 en 54 mg nitraat per liter in januari 2022 het laagst. Het meervoudig mengsel Solarigol scoorde met 22 mg in februari 2021 en 58 mg in januari 2022 net iets hoger dan de bladrammenas. De verschillen van de meting in januari 2022 blijken echter niet significant te zijn.

Significantie wordt wel bereikt als de 2 objecten met gele mosterd en de 2 objecten met bladrammenas samen worden genomen. Het nitraatgehalte in bodemvocht in januari 2022 voor gele mosterd (gemiddeld 72 mg/l) valt dan significant hoger uit dan voor bladrammenas (gemiddeld 54 mg/l).

Discussie

Voor het vaststellen of er verschillen zijn tussen de groenbemesters voor wat betreft waterbergend vermogen of te wel verhoging van de infiltratiecapaciteit zijn diverse waarnemingen uitgevoerd. De variatie tussen de resultaten was groot en het was lastig om goede verbanden te vinden en conclusies te trekken.

De infiltratiecapaciteit is twee keer per veldje gemeten, op ongeveer 2 meter afstand van elkaar. Bij bijvoorbeeld de veldjes gele mosterd verschilt de gemeten infiltratiecapaciteit binnen een gemeten veldje veel, maar zit er ook veel variatie tussen de 3 herhalingen van de veldjes. Ook wanneer de 3 herhalingen van gele mosterd tegen elkaar worden gezet, is er geen trend waar te nemen. Dit duidt op tegenstrijdigheid binnen de infiltratiecapaciteitsdata. Dit zou kunnen liggen aan heterogeniteit van de veldjes, de hoog intensieve grondbewerking voorafgaand aan de aardappelteelt of de heterogeniteit in de verdeling van het bodemleven.

Bij het wormen tellen werden er in sommige veldjes wormennestjes gevonden, wat de heterogeniteit benadrukt. Om een beter algemeen beeld te krijgen, zouden er meer tellingen gedaan moeten worden. Verschillende weersomstandigheden tijdens het tellen kunnen ook een rol hebben gespeeld in de heterogeniteit van de waarnemingen. Toch is er een verschil waar te nemen tussen de veldjes met bladrammenas (meeste wormen) en de veldjes met gele mosterd (minste wormen). Wellicht komt dat door een geurafscheiding uit de gele mosterd. Dit is een hypothese, omdat gele mosterd ook wel gebruikt kan worden als wormen extractiemiddel.

TL Solarigol mix toonde de laagste infiltratiecapaciteit en de grootste mate van bodemweerstand/verdichting, terwijl gele mosterd de één na hoogste infiltratiecapaciteit had en de laagste mate van bodemweerstand/verdichting. Dit komt overeen met verwachtingen die er waren aan het begin van de proef. Dat is ook het geval in de toepassing van zeoliet bij de veldjes met bladrammenas. Minder verdichting en een hogere infiltratiecapaciteit zijn te zien wanneer zeoliet wordt toegepast.

Wat niet in lijn der verwachting ligt, zijn de wormenaantallen. Deze zijn laag bij veldjes met gele mosterd en hoog bij veldjes met bladrammenas. Bladrammenas heeft vers echter de hoogste bovengrondse biomassa, terwijl gele mosterd droog de hoogste totale biomassa heeft. Dit kan voor wormenaantallen een rol spelen. Echter, de biomassaverhoudingen tussen de veldjes liggen wel in lijn der verwachting.

Bijlage 1 Onderzoeksvragen

In onderstaande tabel staan de onderzoeksvragen opgesomd, die tot stand zijn gekomen tijdens de expertworkshop jan-feb 2019. In de kolom status staat aangegeven of er behoefte is aan verdiepend onderzoek, of de vraag (nu 2019-2020) meegenomen wordt op de satellietbedrijven (demokarakter) of dat er (vooralsnog) geen behoefte is aan verdiepend onderzoek. Dit is uitgewerkt tot concrete voorstellen.

Verdiepend onderzoek zal plaatsvinden op Proefboerderij Wijnandsrade waar WUR | Open Teelten vanuit Vredepeel onderzoek uitvoert voor de Lössgronden. Indien nodig wordt onderzoek op een praktijkbedrijf in de regio uitgevoerd.

Onderzoeksvraag		Status
1	Welk effect heeft NKG (uit erosieverordening) in waterberging gehad?	Onderzoek
2	Waarom treedt na NKG meer waterberging op? Is dat os opbouw in de bovenlaag, is dat in stand houding wormengangen en wortelgangen?	Onderzoek
3	Optimaliseren NKG: hoe en met welke machines?	Satellietbedrijf
4	Strip till, maar hoe precies? Is dit een methode voor de zwaardere gronden (kleefaaarde) of ook voor de lichtere lössgronden?	Geen onderzoek teveel bezwaren aan deze maatregel
5	Rugopbouw verruigen aardappelen (al dan niet in combinatie met aardappeldrempels): hieraan zijn nog geen metingen gedaan, er bestaan nog geen gemeten waarden.	Onderzoek
6	Najaars ruggen opbouw aardappel	Geen onderzoek
7	Groenbemesters: Welke soorten gaan dieper de bouwvoor in en bevorderen het waterbergend vermogen?	Starten op satellietbedrijf later onderzoek
8	NKG en groenbemesters, zonder glyfosaat?	
9	Hoe groot is het effect van bodemverdichting op waterberging? Brede banden met lage druk (dan verdrukken van kluiten en verfijnen grond) of smalle band met diepere insporing (water stroombaan) wat is nu goed en wat niet. Opnieuw bekijken	Satellietbedrijf
10	Grasland: wanneer werkt het wel voor waterberging, wanneer niet effectief? Nieuw grasland, permanent grasland, wisselbouw, ander soorten grasland (opname klaver, kruiden etc)?	Starten op satellietbedrijf later onderzoek
11	Alternatieven voor mais: Sorghum? Zeker naar kijken. Past dat in de PPS voer? In lopend onderzoek mee nemen? In mengteelt met mais?	Onderzoek
12	Alternatieven voor mais: GPS wintergraan, GPS van wintergraan/erwten, Wintergraan/erwten droog oogsten, Luzerne etc.	Satellietbedrijf
13	Onderzaai (o.a. mais), wanneer effectief? Onderzaai optimaliseren	Onderzoek
14	"Stuif"dek zaai in suikerbiet	Onderzoek
15	Drempels aanleggen in maisteelt of gaten maken bij zaai – remmen van water	Onderzoek

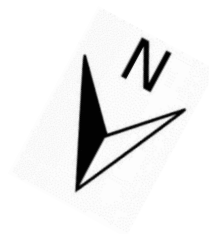
16	Gedrag van Lutum onderzoeken (slemp)? – interne verslemping	Literatuuronderzoek
17	Mycorrhiza; kan dat wat opleveren?	Aansluiten bij lopend langjarig onderzoek PHC op Proefboerderij Wijnandsrade
18	Toepassing biopolymeren (o.a. transformer) om wateropname bodem te vergroten; weinig van bekend op löss	Onderzoek
19	Fruit – ander beheer van grasbaan – lossen van de gemaakte sporen in de winter - > infiltratie bevorderen. Schijf door spoor trekken	Satellietbedrijf – wordt ook meegenomen bij DSG
20	Waar kun je welke maatregel het beste nemen?	Pilotgebied – casus – uitwerken van ideaalsituatie en met betrokken bespreken wat haalbaar is.
21	Hoe maatregelen te implementeren? (subsidie?)	
22	Hoe realiseer je een goede uitvoering van de te nemen maatregelen?	

Bijlage 2 Proefveldschema

	BRUTO	BRUTO		BRUTO	BRUTO
	BX 15	CX 30		DX 45	AX 60
	BV 14	CV 29		DV 44	AV 59
III	BY 13	CY 28		DY 43	AY 58
	BZ 12	CZ 27		DZ 42	AZ 57
	BW 11	CW 26		DW 41	AW 56
	BRUTO	BRUTO		BRUTO	BRUTO
	DV 10	AV 25		BV 40	CV 55
	DX 9	AX 24		BX 39	CX 54
II	DZ 8	AZ 23		BZ 38	CZ 53
	DY 7	AY 22		BY 37	CY 52
	DW 6	AW 21		BW 36	CW 51
	BRUTO	BRUTO		BRUTO	BRUTO
	AZ 5	BZ 20		CZ 35	DZ 50
	AY 4	BY 19		CY 34	DY 49
I	AX 3	BX 18		CX 33	DX 48
	AW 2	BW 17		CW 32	DW 47
	AV 1	BV 16		CV 31	DV 46

9 meter

6 meter



Figuur 1. Proefveldschema

Bijlage 3 Methode

Opkomst, stand en grondbedekking

De opkomst, stand en grondbedekking van de groenbemesters is visueel beoordeeld op 16 september 2020 (opkomst) en 14 oktober 2020 (stand/uniformiteit en grondbedekking). De verschillen in opkomst en stand zijn gewaardeerd met een cijfer. De grondbedekking is gewaardeerd met een percentage.

Biomassa productie

Op 23 november 2020 is de bovengrondse biomassa van de groenbemesters beoordeeld. Van elk veldje is op 4 plaatsen een oppervlakte van 0,25 m² (0,5 m x 0,5m) geoogst. Het oogsten van de plekken in de veldjes vond plaats door middel van het afknippen van de bovengrondse biomassa. Deze werden vervolgens gewogen en een monster door het lab van Eurofins Agro in Wageningen geanalyseerd.

De ondergrondse biomassa is geoogst op 8 december 2020. Dit is gedaan op dezelfde 4 plaatsen als de bovengrondse biomassa is geoogst. Per plaats van 0,25 m² is er op 2 plekken een bodemonster genomen; in de rij waar de groenbemester gezaaid is en tussen de rij. Per veldje zijn dit in totaal 8 wortelmonsters. De monsters zijn vervolgens gewassen en gezeefd, waarna de monsters per veldje samengevoegd zijn. Deze samengevoegde monsters zijn gewogen en daarna naar Eurofins Agro in Wageningen gestuurd, waar ze in de oven gedroogd zijn om de droge wortelbiomassa te verkrijgen en de inhoud te bepalen.

N-mineraal en nitraat in bodemvocht

Op 23 november 2020 zijn er grondmonsters gestoken om de N-mineraal (N-rest in de bodem) te bepalen. Per 30 cm bodem (0-30, 30-60 en 60-90 cm) is de N-mineraal bepaald in het bodemonster. De bemonstering is machinaal uitgevoerd door WUR Open teelten en de analyse door Eurofins Agro.

Op 22 februari 2021 en 25 januari 2022 is het bodemvocht bemonsterd. Hiertoe zijn met een zogenaamde Edelmanboor grondmonsters gestoken op 130-150 cm diepte. De monsters zijn geanalyseerd door het CBLB LAB te Wageningen. De grondmonsters zijn gecentrifugeerd om het bodemvocht te verzamelen. Daarna is het nitraatgehalte in het bodemvocht bepaald. Deze methode is vergelijkbaar met de RIVM methode voor het LMM.

Bewortelingsintensiteit

De wortelbiomassa is dezelfde meting als de ondergrondse biomassa productie.

Wormen

Wormen zijn geteld binnen een bodemblok van 30 bij 30 cm en 30 cm diep. Uit de opgegraven bodem zijn wormen met de hand gesorteerd, zie Afbeelding 1. Deze sortering vond plaats aan de hand van een protocol voor het tellen van regenwormen. De 3 groepen waarin ze opgedeeld zijn, zijn de strooiselbewoners, bodembewoners en pendelaars. Ze variëren in grootte, kleur en in wat ze eten. De

strooiselbewoners eten strooiselmateriaal en de bodembewoners eten minerale bodemdelen. De pendelaars hebben een gemixt dieet, maar zijn veel groter dan de andere twee groepen wormen en kunnen gangen graven tot wel 2 meter diep. De wormen waarnemingen zijn voor de veldjes met bemestingsniveau 50 N (20 m³ RDM), twee keer per veldje uitgevoerd op ongestoorde bodem (d.w.z. plekken waar nog geen andere waarnemingen uitgevoerd zijn). Deze waarneming is zowel voor het bewerken van de grond uitgevoerd op 21 april (in herhaling I) als op 6 juni tijdens de teelt van de aardappel (in herhaling I, II en III).



Afbeelding 1. Waarneming wormen in de bodem 30 x 30 x 30 cm

Bewerkbaarheid en structuur

Visuele beoordeling

Op verschillende momenten is getracht de bewerkbaarheid en structuur van de bodem te beoordelen. 20 januari 2021 is de structuur van de bodem visueel beoordeeld. 10 februari 2021 zijn de groenbemesters geklepeld. Op 1 april 2021 zijn visuele waarnemingen gedaan aan opengebroken kluiten. Op 23 en 25 april zijn de veldjes bezocht om te zien of er visueel verschillen waar te nemen waren. De organische bemesting was daarvoor uitgevoerd op 21 april met de bouwlandbemester met schijveneg. Optrekken met de Evers vastetand en buizenrol en bewerken met rotorkopeg met voorzetwoeler is gebeurd tussen deze twee waarnemingen in. De aardappelen zijn vervolgens op 29 april 2021 geplant. Op 10 mei 2021 is een beoordeling gedaan van de aanwezige grofheid in kluiten en schollen. De bodemstructuur is op dat moment gewaardeerd met een cijfer. Hoe hoger het cijfer, hoe beter de beoordeelde bodemstructuur. Het is echter lastig om op basis van de visuele waarneming een punt toe te kennen.

Aggregaat grootte en stabiliteit

Op 22 juni 2021 is een waarneming gedaan van de aggregaat-grootte en -stabiliteit. Hiertoe zijn in de veldjes van bemestingsobject B van alle groenbemesters grondmonsters verzameld van de aardappelruggen. Dit is uitgevoerd met een speciale monsterbak (zie afbeelding 2). De grondmonsters zijn gedurende drie weken aan de lucht gedroogd. De monsters zijn daarna met een schudzeef gezeefd voor de aggregaat samenstelling te bepalen. Van de fractie 1-2 mm is van elk grondmonster in viervoud met de natte zeefmethode (zie bijlage 4 voor de methode) het stabiele en instabiele aggregaat deel bepaald. Van de grondfracties van de gedroogde grondmonsters is de gemiddelde aggregaat grootte diameter (GAD) bepaald.



Afbeelding 2. Monsterbak om grond te verzamelen uit de aardappelrug voor aggregaat grootte en stabiliteit

Tot slot is 8 juni 2021 de verdichting gemeten in de veldjes van het object met een bemestingsniveau van 50 N (20 m³ RDM). Dit is gedaan met behulp van een penetrometer van Eijkelkamp tot 80 cm diepte, afbeelding 2. De penetrometer bevat een data logger die de data van elke meting op elke locatie opslaat. Voor elke cm diepte is er een verdichtingsmeting in MPa (megapascal). Daarnaast was de penetrometer verbonden met een bodemvochtmeter die het bodemvocht op elke locatie met een nauwkeurigheid van 5% gemeten heeft. Er zijn 6 metingen per veldje uitgevoerd, waarvan 3 tussen de aardappelruggen en 3 op de aardappelruggen. Voor de metingen op de aardappelruggen uitgevoerd werden, werd grond afgegraven en gelijk gemaakt met het niveau tussen de ruggen (zie afbeelding 3). Dit, om een gelijk startniveau van de metingen te verkrijgen.



Afbeelding 3. Meting met penetrometer op de plek van de aardappelrug

Infiltratiecapaciteit

Op 31 mei 2021 zijn de infiltratie metingen uitgevoerd op de veldjes van de objecten met een bemesting van 50N (20 m³ RDM) met behulp van een dubbele ringinfiltrometer (zie bijlage 5 voor de

beschrijving van de methode). Twee ringen met verschillende diameter (30 en 45 cm) worden 10 cm in de grond gestoken. Daar wordt op specifieke tijdsintervallen water in gegoten. Tegelijkertijd wordt het verschil in waterhoogte afgelezen. Hiermee kan dan de infiltratie per tijdsinterval bepaald worden. Er wordt aangenomen dat horizontale grondwaterstroming vooral plaatsvindt vanuit de buitenste ring, dus dat de infiltratie in de binnenste ring representatief is voor de infiltratiesnelheid de bodem in. De meting is twee keer per veldje uitgevoerd, met twee sets ringen in gebruik op hetzelfde moment.



Afbeelding 4. Meting infiltratiecapaciteit met de dubbele ringmethode.

Stand aardappelgewas

De stand van het aardappelgewas is regelmatig beoordeeld. Daarnaast is er op 31 augustus 2021 een drone-opname gemaakt om te bekijken of er verschillen zijn tussen de objecten bekeken vanuit een ander perspectief.

Opbrengst

Op 14 oktober zijn de aardappelen geoogst. Per veldje zijn 1.5 m (2 rijen) breed en 7 meter lang de aardappels machinaal geoogst. Dit is 10.5 m² per veldje. De aardappelen zijn gewogen en gesorteerd in de maten < 40 mm; 40-50 mm, 50-70 mm en > 70 mm. Daarnaast is de tarra bepaald: groen, groeischeur en rot. Van elk veldje is ook het onderwatergewicht bepaald.

Bijlage 4 Natte zeefmethode



Eijkelkamp
Soil & Water

Natte zeef methode

Handleiding



Meet the difference

Eijkelkamp Soil & Water
Nijverheidsstraat 30, 6940 EM
Giesbeek, the Netherlands

T +31 313 885 200
E info@eijkelkamp.com
I www.eijkelkamp.com

© 2018-27

M-0813N

Inhoud

Over deze gebruiksaanwijzing..... 3

1. Inleiding 3

2. Toepassingen 3

3. Bedieningsprincipes 4

4. Procedure..... 4

Niets uit deze uitleg mag worden vervaaldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Technische gegevens kunnen zonder voorafgaande kennisgeving worden gewijzigd.

Eijkelkamp Soil & Water is niet verantwoordelijk/aansprakelijk voor schade/persoonlijk letsel door (verkeerd) gebruik van dit product.

Eijkelkamp Soil & Water is geïnteresseerd in uw reacties en opmerkingen over de producten en de gebruiksaanwijzingen.

Over deze gebruiksaanwijzing



Wanneer tekst volgt op een markering (zoals links afgebeeld) betekent dit dat er een belangrijke aanwijzing volgt.



Wanneer tekst volgt op een markering (zoals links afgebeeld) betekent dit dat er een belangrijke waarschuwing volgt die duidt op gevaar voor letsel voor de gebruiker of beschadiging van het apparaat. N.B. De gebruiker is altijd zelf verantwoordelijk voor voldoende persoonlijke bescherming.

Text

Cursief aangegeven tekst betekent dat de tekst letterlijk op het beeldscherm/apparaat staat.

1. Inleiding

De natte zeefmachine wordt gebruikt om de aggregaatsaaiheid van een bodem te bepalen, d.w.z. de weerstand van de bodemstructuur tegen destructieve mechanische of fysisch-chemische krachten.

Bodemstructuur is één van de belangrijkste factoren in de beheersing van plantengroei vanwege de invloed die de structuur heeft op wortelpenetratie, bodemtemperatuur en gasdiffusie, watertransport en het opkomen van zaailingen. Het is derhalve een belangrijke bodemeigenschap voor landbouwers.

Bodemstructuur wordt bepaald door de combinatie of samenstelling van primaire bodemdeeltjes in samengestelde elementen, die middels zwakke oppervlakken van aangrenzende structurele elementen worden gescheiden.

Bodemtextuur, bodemstructuur, het type kleimineraal, de inhoud en het type organische stof, minerale bindmiddelen en de gewasgeschiedenis bepalen allemaal de aggregaatsaaiheid. Tot de destructieve mechanische krachten behoren grondbewerking, de impact van zware machines, het vercrummen van de grond door dieren en het opspatten van regenдрuppels. De fysisch-chemische krachten zijn vercrummen, opzwellen en krimpen, versuiving en vlokvorming.

Verkrumming is een structureel afbraakproces, tengevolge van de bevochtiging van de bodemaggregaten door het uitzetten van kleimineralen, het oplossen van minerale bindmiddelen, luchtexplosie of verminderde wateraanvoering via de poriën. Verkrumming kan leiden tot een oppervlaktekorst, verminderde waterinfiltratie en verhoogd sedimentverlies door het neerwaarts transport van afvloeiend oppervlaktewater.

2. Toepassingen

Vanwege de impact van de aggregaatsaaiheid op plantengroei en bodemverlies bevinden de toepassingen van de natte zeefmachine zich met name op het gebied van landbouw en landbescherming. Deze methode voor de bepaling van aggregaatsaaiheid is vooral nuttig voor onderzoekers en wetenschappers die zich bezighouden met bodemerrosie, landafbraak en -behoud en (duurzame) landbouw.

Wetenschappers die verziltingsproblemen bestuderen, kunnen met behulp van nat zeven de natte aggregaatsaaiheid bepalen, de verslechtering van de bodemstructuur controleren of de mogelijke impact van maatregelen bepalen die bedoeld zijn om de aggregaatsaaiheid te verbeteren.

Het bepalen van de aggregaatsaaiheid verschafte informatie over de gevoeligheid van bodems voor erosie door water en wind, hetgeen bijvoorbeeld kan worden voorkomen door het bodemoppervlak met mulst te bedekken. Informatie over de aggregaatsaaiheid van de bodem leidt tot betere bebouwingsprogramma's, die zo kunnen worden aangepast aan het specifieke bodemtype en de eisen van het gewas.

3. Bedieningsprincipes

De natte aggregaatsaaiheid wordt bepaald op basis van het principe dat instabiele aggregaten sneller afbreken dan stabiele aggregaten wanneer ze in water worden ondergedompeld.

Om de stabiliteit te bepalen worden acht zeven (zeefopening 0,250 mm) met een bepaalde hoeveelheid bodemaggregaat gevuld. Deze zeven worden in een met water gevulde beker geplaatst, die gedurende een vaste tijd op en neer beweegt. Instabiele aggregaten vallen uit elkaar, verdwijnen door de zeef en worden opgevangen in de met water gevulde beker onder de zeef. Na deze vaste tijd worden de bakers verwijderd en vervangen door nieuwe bakers die ook met water zijn gevuld. Vervolgens worden alle aggregaten vernietigd. De zandkorrels en plantenwortels blijven achter op de zeef en alleen de aggregaten worden bestudeerd. Nadat de bakers met de aggregaten zijn opgedroogd, kan het gewicht van zowel de stabiele als onstabiele aggregaten worden bepaald.

Door het gewicht van de stabiele aggregaten over het totale aggregaatgewicht te verdelen, kan een indexatie van de aggregaatsaaiheid worden verkregen.



Om te voorkomen dat de aggregaten uit elkaar vallen wanneer de gevulde zeven in de bakers met water worden geplaatst, worden de aggregaten van tevoren bevochtigd met waterdamp door middel van een verdamer of een fijne plantenspuut.

4. Procedure

Het bepalen van de aggregaatsaaiheid met behulp van de natte zeefmachine:

1. Weeg 4,0 gram luchtdroogd aggregaat van 1 tot 2 mm af en plaats dit op de zeven.
2. Bevochtig van tevoren de aggregaten. Laat de monsters 5-10 minuten staan (afhankelijk van het ingebouwde stop).
3. Plaats de zeven in de zeefhouder.
4. Plaats de afgewogen (genummerde) bakers.
5. Plaats de zeefhouder op de ingebouwde stop.
6. Giet voldoende gedestilleerd water in de bakers om de aarde te bedekken. Het water kan in de bakers worden gegoten via de speciale vulgaten in de zeefhouder. Het is belangrijk dat de monsters tijdens het zeven onder water worden bewogen (voeg dus voldoende water toe).



Ingebouwde stop



Vulgaten

7. Zet de zeefhouder in de bedrijfssstand door de houder in het tweede gat op de schacht te plaatsen.



Tweede gat op de schacht

8. Controleer of de schakelaar in de "Off"-stand staat.
 9. Steek de adapter in een wandcontact.
 10. Start de motor door de schakelaar in de "3 min"-stand te zetten, waarna de zeefhouder gedurende drie minuten op en neer wordt bewogen, ± 5 takt (takt = 1,3 cm, bij ca. 34 keer/min). Na afloop hiervan stopt de motor automatisch.
 11. Til de zeefhouder uit het water en zet hem in de uitlekstand door de houder in het eerste gat op de schacht te plaatsen.



Eerste gat op de schacht

- Als er geen water meer uit de zeven lekt, zet dan de (genummerde) bekers (met daarin de partikels en aggregaatfragmenten die van de aggregaten zijn losgekomen en door de zeef zijn gedrongen) op een blad.
 12. Vervang deze bekers door een nieuwe set gewogen (genummerde) bekers.
 13. Vul de bekers met een dispergeeroplossing (met daarin 2 g natriumhexametaphosfaat/L) voor bodems met $\text{pH} > 7$ of 2 g NaOH/L voor bodems met $\text{pH} < 7$. (Zie voor de vulprocedure stap 4 en 5).
 14. Plaats de zeefhouder in de bedrijfssstand.
 15. Start de motor door de schakelaar op "Continue" te zetten en ga verder met zeven totdat er alleen zanddeeltjes (en wortelfragmenten) op de zeef achterblijven. Als bepaalde aggregaten stabiel blijven na 5 tot 8 min zeven in de dispergeeroplossing, stop de zeef dan door de schakelaar in de "Off"-stand te zetten en wrijf de aggregaten over de zeef m.b.v. een staaf met een rubberen uiteinde totdat ze volledig zijn opgelost.
 16. Blijf zeven totdat al het materiaal dat kleiner is dan de mazen door de zeef is gedrongen.



Het dispergeren van de aggregaten kan enige tijd in beslag nemen (hoe hoger het kleigehalte, des te langer zal het duren); er is geen standaard reactietijd. Gebruik van de dispergeeroplossing in combinatie met het wassen is de beste methode om te bereiken dat alle aggregaten opgelost worden.

17. Til de zeefhouder op en zet hem in de uitlekstand.
 Wanneer er geen dispergeeroplossing uit de zeven meer lekt, zet dan de (genummerde) bekers op een afzonderlijk blad. Deze bekers bevatten de materialen van de aggregaten die stabiel waren, behalve de zanddeeltjes die te groot waren om door de zeef te dringen.
 18. De beide reeksen bekers worden in een convectievoren met een temperatuur van 110°C geplaatst totdat het water is verdamppt.
 19. Het gewicht van de materialen in iedere beker wordt bepaald door de beker samen met de inhoud te wegen, en hier vervolgens het gewicht van de beker af te trekken. In de bekers die met dispergeeroplossing gevuld waren, bevindt zich nog $0,2\text{ g}$ dispergeeroplossing in de aarde. Er moet dus nog $0,2\text{ g}$ van het gewicht van de inhoud worden afgetrokken om het gewicht van de bodem te kunnen bepalen.
 20. Het stabiele breukdeel is gelijk aan het gewicht van de bodem in de bekers met dispergeeroplossing gedeeld door de som van de gewichten in de bekers met dispergeeroplossing en de bekers met gedestilleerd water.
 De dispersie van de aggregaten kan worden gerealiseerd door middel van een ultrasoonsonde. In dat geval kan er in plaats van een natriumzoutoplossing gewoon gedestilleerd water worden gebruikt, zodat het niet langer nodig is om $0,2\text{ g}$ van het gewicht af te trekken, zoals aangegeven in stap 19 hierboven.

De testprocedure is dan als volgt:

- Zie boven voor stap 1 tot en met 10.
 11. Vul de bekers met gedestilleerd water (zie voor de vulprocedure stap 4 en 5).
 12. Stel de ultrasoonsonde in op een gemiddelde frequentie en houd hem gedurende 30 seconden in het water.
 13. Plaats de zeefhouder in de bedrijfssstand.
 14. Start de motor door de schakelaar op "Continue" te zetten en ga verder met zeven totdat er alleen zanddeeltjes (en wortelfragmenten) op de zeef achterblijven. Als bepaalde aggregaten stabiel blijven na 5 tot 8 min zeven in de dispergeeroplossing, stop dan de zeef door de schakelaar in de "Off"-stand te zetten en wrijf de aggregaten over de zeef m.b.v. een staaf met een rubberen uiteinde totdat ze volledig zijn opgelost.
 15. Blijf zeven totdat al het materiaal dat kleiner is dan de mazen door de zeef is gedrongen.
 16. Til de zeefhouder op en zet hem in de uitlekstand.
 Wanneer er geen water uit de zeven meer lekt, zet dan de (genummerde) bekers op een afzonderlijk blad. Deze bekers bevatten de materialen van de aggregaten die stabiel waren, behalve de zanddeeltjes die te groot waren om door de zeef te dringen.
 17. De beide reeksen bekers worden in een convectievoren met een temperatuur van 110°C geplaatst totdat het water is verdamppt.
 18. Het gewicht van de materialen in iedere beker wordt bepaald door de beker samen met de inhoud te wegen, en hier vervolgens het gewicht van de beker af te trekken. Het stabiele breukdeel is gelijk aan het gewicht van de aarde in de "ultrasoonre sondebekers" gedeeld door de som van de gewichten in de "ultrasoonre sondebekers" en de bekers met gedestilleerd water.

Bijlage 5 Dubbele ringmethode

Inleiding

De dubbele ringinfiltrometer is een eenvoudig instrument dat gebruikt wordt voor bepaling van de infiltratie van water in de grond (metingen volgens ASTM D3385-03 standaard test methode en DIN 19682 blad 7). De ringen worden gedeeltelijk in de grond gebracht en met water gevuld, waarna de snelheid gemeten wordt waarmee het water in de grond trekt. Door de dubbele ring wordt zijdelingse wegzijging van het infiltrerende water beperkt. De standaard set bestaat uit drie paar binnen- en buitenringen, waardoor in het veld drie gelijktijdige metingen verricht kunnen worden. Dit bespaart tijd en geeft een betrouwbaar gemiddeld resultaat.

Infiltratie is het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt. De intensiteit waarmee dat gebeurt, is de infiltratiesnelheid. Deze wordt uitgedrukt als een volume water per grondoppervlakte en per tijdseenheid [L/T , bijvoorbeeld mm/min]. De infiltratiecapaciteit van de bodem is de maximale infiltratiesnelheid op een bepaald moment. Het is in een aantal gevallen belangrijk de infiltratiecapaciteit van een bodem te weten, bijvoorbeeld in irrigatiegebieden of infiltratiebekkens.

De dubbele ringinfiltrometer is geschikt voor vrijwel alle gronden, en wordt toegepast bij irrigatie- en drainageprojecten, grondwater-infiltratiebekkens, het optimaliseren van de waterbeschikbaarheid voor planten en het bepalen van de effecten van grondbewerking.

Zie ook beschrijving en link naar de handleiding:

https://www.eijkelkamp.com/producten/veldmeetapparatuur/dubbele-ringinfiltrometer.html?gclid=CjwKCAjwjOTBhAvEiwASG4bCCa5Ht4UPne73cPEinDvotLxsfbVtbbP6ZLW4cBvQmzbmS-SZbrESxoCI4MQAvD_BwE.



Bodemwater

1.1 Energietoestand

Water in de bodem ondervindt krachten, veroorzaakt door de zwaartekracht, capillariteit, adsorptie en osmose. De capillaire en adsorptiekrachten werken samen als een zuigspanning op het bodemwater (de osmotische krachten zijn, vooral in zoutarme gronden, zo klein dat ze vaak verwaarloosd worden).

Bodemwater heeft een bepaalde energietoestand, uitgedrukt als potentiële energie of potentiaal. Het bodemwaterpotentiaal bestaat uit een zwaartekrachtspotentiaal en een drukpotentiaal (bestaande uit een negatieve druk in de onverzadigde zone, en een positieve druk in de verzadigde zone). Water beweegt onder invloed van een potentiaalverschil met een bepaalde snelheid in een bepaalde richting. De stroomsnelheid hangt ook af van de waterdoorlatendheid van de bodem.

De waterdoorlatendheid [L/T] varieert met het bodemvochtgehalte: hoe droger des te lager is de doorlatendheid, aangezien bodemporiën gevuld met lucht geen water geleiden. In een verzadigde

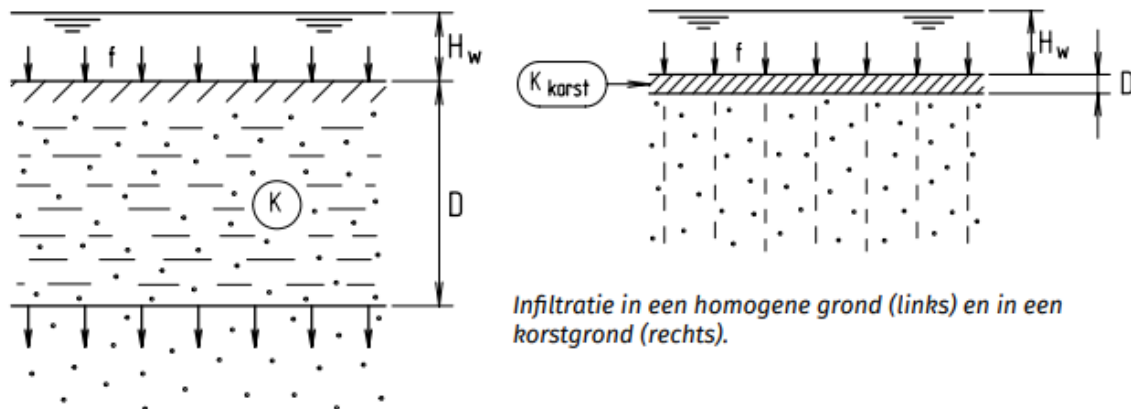
grond is de doorlatendheid het grootst (verzadigde doorlatendheid), en wordt zij vooral bepaald door de geometrie en distributie van de poriën. Φ Text 4

1.2 Infiltratie

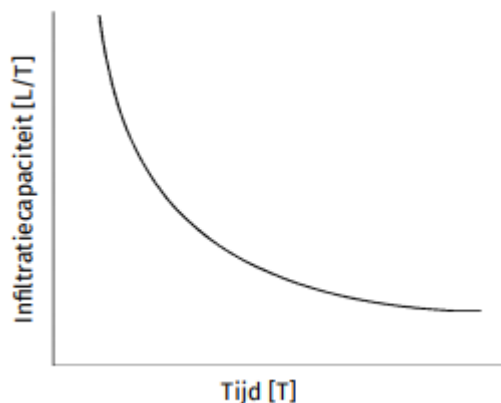
Tijdens regen of irrigatie infiltreert er water in de grond. Indien de bevochtiging intensiever is dan de infiltratiecapaciteit, blijft er water op het bodemoppervlak staan. De infiltratiesnelheid is dan gelijk aan de infiltratiecapaciteit. In een homogene bodem ontstaat dan een verzadigde toplaag, met daaronder een bijna verzadigde zone die door het zakken van het vochtfront alsnog groter wordt. Het infiltratieproces kan worden beschreven met de theorie van Green & Ampt (1911), afgeleid van de Wet van Darcy, in de volgende formule:

$$f = K (H_w + D - H_f) / D$$

waarin (zie ook onderstaand figuur): f is de infiltratiecapaciteit [L/T], K is de bijna-verzadigde doorlatendheid [L/T], H_w is de dikte van de waterlaag op de bodem [L], D is de diepte van het bevochtigingsfront [L], H_f is de drukpotentiaal aan het bevochtigingsfront [L].



Het verloop van de infiltratiesnelheid in de tijd is het infiltratieverloop (zie grafiek). De initiële infiltratiecapaciteit is bij een droge grond hoog door een grote zuigspanning aan het oppervlak. In de bijna-verzadigde zone zijn de potentiaalverschillen klein omdat er door het hoge vochtgehalte nauwelijks nog zuigspanningsverschillen optreden. De infiltratiecapaciteit neemt hierdoor vrij snel af, meestal al binnen 2 uur, tot een constante waarde die de verzadigde doorlatendheid benadert (door de insluiting van luchtbelletjes tijdens infiltratie wordt de maximale verzadiging niet volledig bereikt).



Factoren aan het bodemoppervlak die de infiltratiecapaciteit beïnvloeden, zijn bodemcompactie door rijsporen of betreding, het inspoelen van fijne bodemdeeltjes in de poriën en de aanwezigheid van scheuren in de bodem (macro-poriën). Eventueel kunnen deze factoren leiden tot korstvorming. Ook

de vegetatie en de grondbewerking hebben effect. De dikte van de waterlaag op de bodem heeft alleen bij het begin van de infiltratie invloed.

De neerwaartse snelheid van het infiltrerende water hangt af van de textuur, structuur en gelaagdheid (heterogeniteit) van de bodem, het bodemvochtgehalte en de hoogte van de grondwaterspiegel. Bij een hoge grondwaterspiegel stagneert het infiltrerende water en neemt de infiltratiecapaciteit af richting nul.

Een heterogene grond wordt vaak beschouwd als een opeenvolging van afzonderlijke, homogene bodemlagen. Bij een heterogene grond die naar beneden steeds minder doorlatend wordt, is de infiltratiecapaciteit het gewogen gemiddelde van de infiltratiesnelheden van de afzonderlijke lagen. Bij een heterogene grond die naar beneden steeds doorlatender wordt, bijvoorbeeld een bodem met een korst, is er een punt vanaf waar de bodem niet geheel verzadigd wordt (zie figuur op voorgaande pagina). Indien dit punt nabij het oppervlak ligt, zal het de infiltratiecapaciteit beïnvloeden.

Bijlage 6 Wortelbiomassa

*Tabel 5. Wortelbiomassa groenbemesters (8 dec 2020),
gemiddeld per bemestingsniveau*

Bemesting	Vers gewicht (kg/ha)	DS gewicht (kg/ha)	Effectieve organische stof (kg/ha)
A	5.560	448	157
B	13.727	1.124	393
C	7.759	676	237
D	13.677	965	338

*Tabel 6. Wortelbiomassa groenbemesters (8 dec 2020),
gemiddeld per groenbemester*

Groenbemester	Vers gewicht (kg/ha)	DS gewicht (kg/ha)	Effectieve organische stof (kg/ha)
V	3.108	423	148
W	10.917	945	331
X	20.883	1.144	400
Y	3.643	553	194
Z	12.353	951	333

Bijlage 7 Foto's bodemstructuur

Bodemstructuur 20 januari 2021

AV 80 N (RDM), gele mosterd



CV – 50 N (KAS), gele mosterd



DV – 0 N, gele mosterd



AW – 80 N (RDM), bladrammenas



CW – 50 N (KAS), bladrammenas



DW – 0 N, bladrammenas



AX – 80 N (RDM), TL Solarigol



CX – 50 N (KAS), TL Solarigol



DX – 0 N, TL Solarigol



AY – 80 N (RDM), gele mosterd + phacelia



CY – 50 N (KAS), gele mosterd + phacelia



DY – 0 N, gele mosterd + phacelia



AZ – 80 N (RDM), bladrammenas + zeoliet



CZ – 50 N (KAS), bladrammenas + zeoliet
Foto ontbreekt.

DZ – 0 N, bladrammenas + zeoliet



Praktijk rechts van blok I –
bladrammenas ingewerkt december



Praktijk links van blok II –
Bladrammenas ingewerkt december



Praktijk recht van blok III –
bladrammenas ingewerkt december



Opengebroke kluiten 1 april 2021

BV 50 N (RDM), gele mosterd



BV – 50 N (RDM), gele mosterd



BW – 50 N (RDM), bladrammenas



BW – 50 N (RDM), bladrammenas



BX – 50 N (RDM), TL Solarigol



BX – 50 N (RDM), TL Solarigol



BY – 50 N (RDM), gele mosterd + phacelia



BY – 50 N (RDM), gele mosterd + phacelia



BZ – 50 N (RDM), bladrammenas + zeoliet



BZ – 50 N (RDM), bladrammenas + zeoliet



Praktijk – bladrammenas ingewerkt december

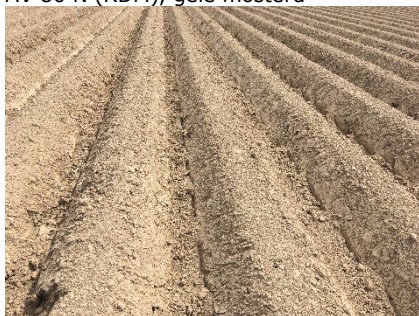


Praktijk –
bladrammenas ingewerkt december

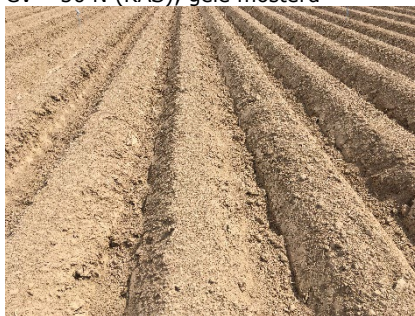


Beoordeling grofheid (kluiten) en schollen 10 mei 2021

AV 80 N (RDM), gele mosterd



CV – 50 N (KAS), gele mosterd



DV – 0 N, gele mosterd



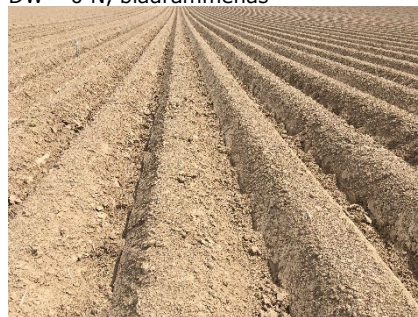
AW – 80 N (RDM), bladrammenas



CW – 50 N (KAS), bladrammenas



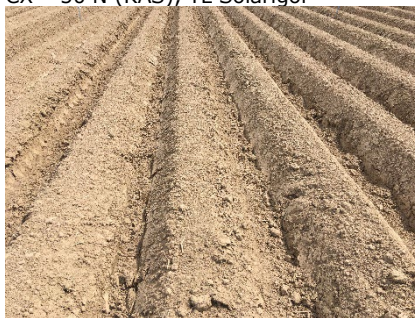
DW – 0 N, bladrammenas



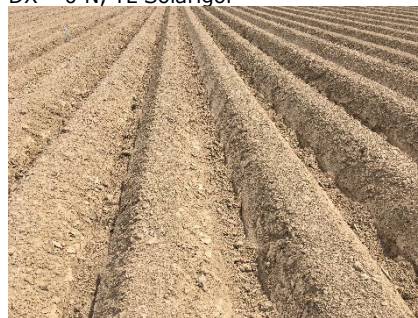
AX – 80 N (RDM), TL Solarigol



CX – 50 N (KAS), TL Solarigol



DX – 0 N, TL Solarigol



AY – 80 N (RDM), gele mosterd + phacelia



CY – 50 N (KAS), gele mosterd + phacelia



DY – 0 N, gele mosterd + phacelia



AZ – 80 N (RDM), bladrammenas + zeoliet



CZ – 50 N (KAS), bladrammenas + zeoliet



DZ – 0 N, bladrammenas + zeoliet



Praktijk – bladrammenas ingewerkt december



BW – 50 N (kunstmest), bladrammenas



Bijlage 8 Resultaten per object

Hieronder volgen de resultaten, statistisch geanalyseerd op eventuele interactie tussen het effect van de verschillende bemestingsniveaus en verschillende groenbemesters.

Tabel 7. Beoordeling opkomst, stand en bedekking groenbemesters

Object	Gemiddelde opkomst/ stand 16-sept-21	Gemiddelde stand/ uniformiteit 14-okt-21	Gemiddeld percentage bedekking 14-okt-21
A V	7,7 efg	8,0 ef	100 e
A W	7,3 def	7,8 def	100 e
A X	6,7 abc	7,7 def	98 de
A Y	6,8 bcd	8,0 ef	100 e
A Z	8,0 g	8,0 ef	100 e
B V	7,7 efg	8,0 f	100 e
B W	7,2 cde	6,8 c	93 cd
B X	6,7 abc	7,8 def	93 cd
B Y	6,8 bcd	7,5 de	100 e
B Z	7,7 efg	7,3 cd	98 de
C V	7,8 fg	7,7 def	100 e
C W	7,2 cde	6,8 c	90 c
C X	6,7 abc	7,7 def	92 c
C Y	6,7 abc	7,3 cd	97 de
C Z	7,3 def	7,3 cd	97 de
D V	7,0 bcd	5,5 a	93 cd
D W	6,7 abc	6,2 b	77 b
D X	6,5 ab	6,0 b	72 a
D Y	6,3 a	6,2 b	80 b
D Z	7,3 def	6,0 b	77 b
Lsd BxG	1	1	5
Lsd GinB	0,5	0,5	4
Lsd BinG	0,5	0,6	5
F pr.	n.s.	0,002	<0,001

Tabel 8. Grofheid kluiten en schollen

Object	Grofheid kluiten en schollen 10-mei-21
A V	6,8
A W	6,3
A X	6,8
A Y	6,2
A Z	6,7
B V	6,8
B W	6,3
B X	6,9
B Y	6,8
B Z	6,7
C V	6,7
C W	6,5
C X	6,6
C Y	6,5
C Z	6,6
D V	6,6
D W	6,6
D X	6,7
D Y	6,8
D Z	6,4
Lsd BxG	0,5
Lsd GinB	0,5
Lsd BinG	0,5
F pr.	n.s.

Tabel 9. Biomassa bepalingen van de groenbemesters, 23 november 2020

Object	bovengronds vers opbrengst (kg per ha)	bovengronds N-totaal opname (per ha)	Bovengronds ds opbrengst (kg per ha)	Bovengronds organische droge stof (kg per ha)	Bovengronds effectieve organische stof (kg per ha)
A V	44667 gh	118 k	4645	3925	785
A W	54833 i	100 ghij	4003	3254	651
A X	42500 fgh	115 ijk	3102	2460	492
A Y	35333 cdef	116 jk	3816	3133	627
A Z	54000 i	96 efgh	3996	3241	648
B V	37000 def	98 fghi	4699	4032	806
B W	40500 defgh	79 bcde	3240	2637	528
B X	39167 defgh	84 defg	2585	2003	401
B Y	35333 cdef	110 hijk	3816	3053	611
B Z	46500 h	86 defg	3720	3036	607
C V	33333 bcd	92 defg	3967	3388	678
C W	42167 efgh	81 cdef	3331	2682	536
C X	37333 defg	82 cdef	2725	2109	422
C Y	34667 cde	84 defg	3293	2645	529
C Z	42500 fgh	78 bcd	3102	2516	503
D V	25500 a	83 cdefg	3544	3031	606
D W	26667 ab	63 ab	2480	2041	408
D X	23667 a	54 a	1964	1546	309
D Y	33833 bcd	62 ab	2774	2186	437
D Z	29333 abc	66 abc	2669	2208	442
Lsd BxG	7557	18	680	561	112
Lsd GinB	7626	18	688	567	113
Lsd BinG	7121	16	624	515	103
F pr.	0,007	0,086	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 10. Nmineraal in de bodem en nitraat in bodemvocht

Object	Nmin nov 2020 0-30 cm (kg N/ha)	Nmin nov 2020 30-60 cm (kg N/ha)	Nmin nov 2020 60-90 cm (kg N/ha)	Nmin nov 2020 0-90 cm (kg N/ha)	NO3 in bodemvocht feb 2021 130-150 cm (mg/L)	NO3 in bodemvocht jan 2022 130-150 cm (mg/L)
A V	15	11	2	28	28	93,1
A W	14	3	2	19	20	55,8
A X	11	5	2	19	29	79,8
A Y	23	4	3	30	41	109,2
A Z	15	6	3	24	26	76,1
B V	14	3	2	18	39	66,0
B W	11	4	2	16	9	65,9
B X	9	3	2	14	24	50,8
B Y	19	4	2	25	32	67,7
B Z	10	5	2	17	12	50,3
C V	11	3	3	16	26	80,9
C W	10	3	2	15	14	43,3
C X	9	3	2	14	22	52,9
C Y	17	17	3	37	25	60,5
C Z	10	3	2	15	14	44,0
D V	11	2	2	15	18	47,8
D W	9	2	2	13	11	51,3
D X	8	4	2	14	13	50,0
D Y	11	7	5	23	15	53,6
D Z	10	4	2	16	13	47,2
Lsd BxG	6	9	2	10	11	35,7
Lsd GinB	5	9	2	10	11	32,4
Lsd BinG	6	9	2	8	11	34,7
F pr.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 11. Aardappelopbrengsten en uitval. Oogst op 14 oktober 2021. Gemiddelden zonder veldje 24, m.u.v. OWG-gemiddelden.

Object (Oogst aardappel 14 okt 2021)	Bruto opbrengst (ton/ha)	Marktbaar opbrengst (ton/ha)	Uitval gewicht (ton/ha)	OWG (g)
A V	68,17	65,26	1,60	381 abc
A W	71,13	68,11	1,95	375 ab
A X	66,78	63,74	1,45	369 a
A Y	65,21	62,31	1,85	385 abc
A Z	67,98	64,62	1,71	384 abc
B V	69,45	66,56	1,90	391 bc
B W	66,73	64,12	1,17	388 abc
B X	63,45	60,68	1,36	387 abc
B Y	66,00	63,13	1,43	387 abc
B Z	70,47	68,27	0,79	386 abc
C V	67,33	64,47	1,82	391 bc
C W	65,86	62,86	2,11	390 bc
C X	63,94	61,98	0,93	390 bc
C Y	64,17	61,42	1,83	391 bc
C Z	62,85	60,37	1,23	377 abc
D V	66,26	63,73	1,58	385 abc
D W	67,63	64,04	2,61	382 abc
D X	66,73	64,18	1,50	397 c
D Y	63,96	61,36	1,80	383 abc
D Z	65,74	62,78	1,81	381 abc
Lsd BxG	5,44	5,55	1,03	21
Lsd GinB	5,56	5,66	1,00	18
Lsd BinG	5,76	5,90	0,85	20
F pr. int.	n.s.	n.s.	n.s.	0,016

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-OT 1036

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
