



Bodem als basis - onderzoek naar inzet van bermmaaisel als bodemverbeteraar in zandige akkers

Maartje van der Sloot ¹

Gerlinde B. De Deyn ², Juul Limpens ¹ & David Kleijn¹

1 Leerstoelgroep Plantenecologie en Natuurbeheer, Wageningen University and Research. Droevendaalsesteeg 3a, 6708 PB, Wageningen.

2 Leerstoelgroep Bodembioologie, Wageningen University and Research. Droevendaalsesteeg 3a, 6708 PB, Wageningen.



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bodem als basis - onderzoek naar inzet van bermmaaisel als bodemverbeteraar in zandige akkers

Maartje van der Sloot¹, Gerlinde B. De Deyn², Juul Limpens¹ & David Kleijn¹

¹Leerstoelgroep Plantenecologie en Natuurbeheer, Wageningen University & Research. Droevendaalsesteeg 3a, 6708 PB, Wageningen.

²Leerstoelgroep Bodembioologie, Wageningen University & Research, Droevendaalsesteeg 3a, 6708 PB, Wageningen.

Voor- en dankwoord

De Nederlandse landbouw is sterk afhankelijk van het intensief gebruik van meststoffen en chemische gewasbeschermingsmiddelen. Deze vorm van landbouw staat maatschappelijk steeds sterker onder druk, is weinig duurzaam en leidt tot een aantal concrete problemen. Een van die problemen is een daling van het organische stofgehalte in akkers, met name op de hogere zandgronden, als gevolg van hogere biomassa afvoer dan toevoer van organische stof omdat bemesting veelal met kunstmest en drijfmest geschiedt. Bovendien gaat een deel van de pesticiden en nutriënten verloren omdat die niet door het gewas opgenomen wordt en uitspoelt naar het grond- en het oppervlaktewater. Een bijkomend nadeel zijn de effecten op aanpalende landschapselementen. Half-natuurlijke landschapselementen, zoals slootkanten, akkerzomen en wegbermen raken door de weggelekte voedingsstoffen vermest. Dit proces wordt sterk versneld door het gangbare beheer van klepelmaaien en het laten liggen van het maaisel. Hierdoor zijn in half-natuurlijke landschapselementen grassen gaan domineren en bloemen verdwenen. Dit heeft op zijn beurt geleid tot een achteruitgang van ecosysteemdienst leverende soorten zoals bestuivers en natuurlijke plaagbestrijders die nectar nodig hebben om hun populaties op peil te houden.

Er is een duidelijke economische rationale achter de huidige methode van bedrijfsvoering. Met name een hoge grondprijs, hoge arbeidskosten, kleine marges en relatief lage kosten voor meststoffen en bestrijdingsmiddelen bepalen de huidige manier van boeren. Oplossingen voor verduurzaming die hier aan voorbijgaan, en bijvoorbeeld leiden tot lagere marges of meer werk, hebben weinig kans overgenomen te worden door de sector. Er zijn al te veel ecologische oplossingen verzonnen die zijn stukgelopen op de socio-economische weerbarstigheid van het systeem, bijvoorbeeld omdat er (nog) geen afzetmarkt is voor nieuwe producten of omdat de machinale infrastructuur (nog) ontbreekt om producten efficiënt te oogsten. Ook zijn dergelijke oplossingen vaak wel goed voor het milieu maar betekent dit niet automatisch dat de biodiversiteit er ook van profiteert. De grootste kans van slagen heeft een landbouwtransitie die laagdrempelig is en makkelijk inpasbaar in de bedrijfsvoering maar toch een belangrijke bijdrage levert aan het oplossen van de hierboven geschetste problemen. Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek evalueert de voor- en nadelen van een eenvoudig uitvoerbare maatregel die een bijdrage kan leveren aan het tegengaan van deze problemen: het gebruik van bermmaaisel als bodemverbeteraar op zandige akkers.

Het onderzoek had in de hier gepresenteerde vorm niet plaats kunnen vinden zonder de bijdrage van veel mensen maar een aantal verdient bijzondere vermelding. Bart Huckriede van de gemeente Sint Anthonis (tegenwoordig gemeente Land van Cuijk) heeft van het prille begin een stimulerende rol gespeeld en het onderzoek en stond ten alle tijden klaar met praktische suggesties obstakels in de uitvoering van het onderzoek te omzeilen. De hulp van de groendienst van de gemeente Land van Cuijk was daarbij ook essentieel, en vooral de aansturende

rol van Eddy Blonk was enorm belangrijk voor het slagen van de ambitieuze opzet van de studie. Veel dank daarvoor.

De hulp van Unifarm was cruciaal voor het slagen van het veld- en potexperiment, met name de geweldige hulp in het veld van Frans Bakker en Wim Liefstink worden zeer gewaardeerd. De chemische analyses van de meer dan 2500 samples vonden plaats bij de Wageningen Universiteit door Jan van Walsem. Drie studenten hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan dit onderzoek: Jana Zwetsloot, Solomon Maerowitz-McMahan en David Krijgsman.

Verder heeft de eerste auteur enorm veel hulp gehad van collega's, familie en vrienden tijdens haar vele tochten in het veld waar ze iedereen erg dankbaar voor is. Speciale dank gaat uit naar vader Ad van der Sloot die veel van zijn vrije tijd heeft besteed aan het bemonsteren van de bodems van de onderzoekslocaties van zijn dochter.

Het hier beschreven onderzoek is onderdeel van het promotieonderzoek van de eerste auteur. De eerste resultaten zijn in 2022 gepubliceerd in het vrij beschikbare wetenschappelijk artikel: Van der Sloot, M., Kleijn, D., De Deyn, G.B. & Limpens, J. (2022) Organic amendment C:N ratio and quantity interactively affect plant growth and soil mineral N retention, *Crop and Environment* 1: 161–167 <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.08.001>.

Dit rapport is gratis en openbaar te downloaden via <https://doi.org/10.18174/585396>. De Wageningen Universiteit verstrekt geen gedrukte exemplaren van dit rapport en vragen u dit ook niet te doen wegens milieu overwegingen.

Alle rechten zijn voorbehouden aan de auteurs van dit rapport.

Dit onderzoek werd gefinancierd door de provincie Gelderland, de provincie Noord-Brabant, de gemeente Land van Cuijk (voorheen gemeente Sint Anthonis) waterschap De Dommel, waterschap Aa en Maas, waterschap Brabantse Delta en gemeente Gilze en Rijen.



Provincie Noord-Brabant



Sint Anthonis

GEMEENTE

Gilze en Rijen

Inhoudsopgave

Voor- en dankwoord	3
Samenvatting.....	7
Hoofdstuk 1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond.....	12
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	13
Hoofdstuk 2 Omschrijving en resultaten van het veldexperiment	16
2.1 Opzet	17
Gewassen	17
Behandelingen.....	18
2.2 Methoden.....	23
Bodembemonstering.....	23
Bodemchemische analyses.....	23
Gewasanalyses	24
pH, C- en N-analyse van het maaisel.....	24
Bepaling onkruiddruk	25
Stikstofuitspoeling.....	25
Watervasthoudend vermogen	27
2.3 Resultaten en discussie	28
2.3.1 Wat zijn de verschillen in de chemische eigenschappen van de verschillende maaiselbehandelingen?.....	28
2.3.2 Is er een risico op verhoogde onkruiddruk na het toepassen van verschillende behandelingen van bermmaaisel?	30
2.3.3 Leidt toepassing van bermmaaisel tot een verhoogde kans op stikstofuitspoeling naar het grondwater?	31
2.3.4 Vormen de concentraties van zware metalen in de verschillende maaiselbehandelingen een risico bij de toepassing van bermmaaisel?.....	31
2.3.5 Vormt zwerfafval een risico bij toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar?	33
2.3.6 Leidt herhaalde toepassing van de verschillende bermmaaiselbehandelingen tot een toename in het organische stofgehalte van de bodem?	34
Diepere bodemlagen	35
2.3.7 Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op de gewasopbrengst?	37
2.3.8 Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op het watervasthoudend vermogen van de bodem?.....	40
2.3.9 Wat is het effect van het meermaals toevoegen van verschillende maaiselbehandelingen op de hoeveelheden stikstof in de bodem?	40

Hoofdstuk 3 Het effect van het opbrengen van bermmaaisel op de weerbaarheid van landbouwgrond tegen ziektes	42
3.1 Achtergrond.....	43
Onderzoeksvraag.....	43
3.2 Algemene opzet.....	43
Experiment 1	44
Experiment 2	45
Statistische analyses.....	46
3.3 Resultaten.....	46
Experiment 1	46
Experiment 2	48
3.4 Conclusies.....	49
Hoofdstuk 4 Het relatieve belang van kwaliteit en kwantiteit van bermmaaisel voor gewas en bodem	51
4.1 Achtergrond.....	52
4.2 Opzet experiment.....	53
Behandelingen.....	53
Regenbui simulaties	54
4.3 Meetmethodes	54
Gewas	54
Bodem	55
Uitgespoelde N	55
Statistische analyse	55
4.4 Resultaten en discussie	56
4.4.2 Het effect van bermmaaisel ten opzichte van reguliere vormen van bemesting op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie	57
4.5 Conclusies.....	60
Hoofdstuk 5	62
Discussie	62
5.1 Potentiële nadelen van toepassing van bermmaaisel.....	63
5.2 Potentiële voordelen van toepassing van bermmaaisel	65
5.3 Conclusies en aanbevelingen	67
Literatuur.....	69

Samenvatting

Het behouden of verhogen van het organische stofgehalte in zandige akkers is belangrijk voor het op peilen houden van de kwaliteit van deze bodems. Het organische stofgehalte bepaalt namelijk in sterke mate functies zoals het stikstofleverend vermogen, watervasthoudend vermogen en de weerbaarheid van de bodem tegen ziektes. Via deze processen kan het ook de gewasopbrengst beïnvloeden. Om het organische stofgehalte op peil te houden of te verhogen kan organisch materiaal worden opgebracht. Bermmaaisel is een aantrekkelijke bron van organisch materiaal aangezien natuurvriendelijk bermbeheer het consequent en regelmatig afvoeren van maaisel vereist en dit maaisel nu vaak wordt afgevoerd naar de stort. Dit rapport beschrijft de resultaten van onderzoek dat tot doel heeft de werking en de potentiële voordelen en risico's van het gebruik van bermmaaisel als bodemverbeteraar in akkers op zandige bodems vast te stellen.

De kern van het onderzoek bestond uit een grootschalig veldexperiment dat liep van september 2019 tot september 2022. Op vijftien percelen in de provincies Gelderland en Noord-Brabant werden vier verschillende maaiselbehandelingen opgebracht op onderzoeksplots van 10 bij 10 meter. Dit betrof compost van bermmaaisel, Bokashi van bermmaaisel, vers maaisel uit regulier beheerde bermen (hierna soortenarm maaisel genoemd) en vers maaisel uit bermen die waren ingezaaid met een bloemenmengsel (soortenrijk maaisel). Jaarlijks werd op elke plot het equivalent van 30 ton/ha maaisel opgebracht na de maisoogst en voor de inzaai van de tarwe of groenbemester (eind september, begin oktober). Aanvullend werd op elk perceel een controlebehandeling aangelegd zonder toevoeging van organisch materiaal. Op de onderzoeksplots werd in rotatie wintertarwe en mais geteeld. De plots werden bemest met een voor de gewassen gangbare hoeveelheid kunstmest (controlebehandeling) of 50% van deze hoeveelheid (maaiselbehandelingen). Hierdoor kon ook een inschatting gemaakt worden van de bemestende waarde van het maaisel. Bodem, gewas en het opgebrachte maaisel werden jaarlijks meermaals bemonsterd en aan het eind van de studie werd de onkruiddruk en het watervasthoudend vermogen van de bodem bepaald.

De vier belangrijkste risico's die genoemd worden bij de toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar zijn het introduceren van onkruidzaden op de akkers, de zware metalen die in bermmaaisel aanwezig zouden zijn, een verhoging van de kans op stikstofuitspoeling en zwerfafval dat met het maaisel op de akker zou worden opgebracht. Ons onderzoek liet na drie jaar opbrengen van bermmaaisel in verschillende vormen geen toename in onkruiddruk zien. Dit suggereert dat, bij regulier agrarisch beheer, het risico op veronkruiding van akkers door het opbrengen van bermmaaisel verwaarloosbaar klein is. De gemeten concentraties zware metalen in het door ons gebruikte maaisel vielen allemaal (ruim) onder de toegestane waarden voor compost in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Dit is in lijn met andere grootschalige studies en pilots naar de kwaliteit van maaisel van wegbermen. De aanwezigheid van zware metalen hoeft daarom toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar op akkers ook niet in

de weg te staan. Op basis van stikstofbalansberekeningen leek het opbrengen van gecomposteerd maaisel of Bokashi niet te leiden tot een grote kans op stikstofuitspoeling. Voor vers materiaal was de onzekerheid wat groter en leken de stikstofverliezen in dezelfde orde te liggen als voor kunstmest. Gezien het feit dat met de maaiselbehandelingen in totaal meer stikstof aan de plots zijn toegevoegd dan met de kunstmestbehandeling, betekent dit dat de verliezen relatief gezien meevallen. Gezien de resultaten van het hieronder beschreven potexperiment is het onwaarschijnlijk dat het gebruik van bermmaaisel leidt tot extra uitspoeling van stikstof als hiermee een gelijke hoeveelheid stikstof wordt toegediend als met reguliere bemestingsvormen zoals drijfmest of kunstmest. Of het gewas dan ook nog evenveel opbrengst produceert is de vraag. Dit verdient nader onderzoek. De aanwezigheid van zwerfafval is zonder meer een belangrijk praktisch probleem bij het gebruik van bermmaaisel op landbouwgrond. In dit onderzoek werd bij het opbrengen van 30 ton maaisel per hectare, gemiddeld tot wel negen kilo afval per hectare gevonden. Dit bestond veelal uit blik wat schadelijk kan zijn voor de gezondheid van het vee dat gevoerd wordt met de geteelde mais of tarwe. Hiervoor zal een oplossing gevonden moeten worden, bijvoorbeeld door het schonen van maaisel door middel van gespecialiseerde apparatuur, het heffen van statiegeld op blik (wat gepland is voor april 2023) of initiatieven waarbij afval uit bermen wordt geraapt door vrijwilligers.

De belangrijkste voordelen die genoemd worden bij het opbrengen van bermmaaisel zijn een toename van het organische stofgehalte en daarmee een beter watervasthoudend vermogen van de bodem, een grotere bodemvoorraad aan nutriënten, een verbeterde nutriëntencyclus en een hierdoor uiteindelijk mogelijk hogere opbrengsten van het gewas. Het onderzoek liet zien dat het jaarlijks opbrengen van bermmaaisel in de hier gebruikte hoeveelheden in drie jaar inderdaad leidde tot een substantiële en significante toename van het organische stofgehalte in de bovenste 10 cm van de bodem waarin het maaisel werd ingewerkt. In de controlebehandeling nam het organische stofgehalte niet toe. Na drie jaar maaisel opbrengen was het organische stofgehalte in de gehele bouwvoor (0-40 cm) significant hoger in de compost en Bokashi-behandelingen dan in de controle. De verse maaiselbehandelingen zaten daar tussenin. De duidelijke toename in het organische stofgehalte resulteerde echter niet in een toename van het watervasthoudend vermogen van de grond. Aan het eind van het experiment was de totale hoeveelheid stikstof in de bodem ook niet verschillend tussen de maaiselbehandelingen en de controle die met uitsluitend kunstmest was bemest. Dit suggereert dat toevoeging van bermmaaisel, in ieder geval binnen de termijn van deze studie, niet leidde tot een hogere retentie van stikstof in de wortelzone van het gewas. De opbrengst van mais en wintertarwe werd niet of licht positief beïnvloed door het opbrengen van bermmaaisel. Tarwe liet in geen van de drie jaren significante verschillen zien tussen de verschillende behandelingen hoewel in het derde jaar de gemiddelde opbrengst in alle maaiselbehandelingen licht hoger was dan in de controlebehandeling. In mais was de opbrengst van de behandeling waarbij vers soortenarm maaisel werd opgebracht in het laatste jaar significant hoger dan die van de controlebehandeling. De positieve effecten van het opbrengen van bermmaaisel op gewasopbrengst manifesteren zich pas na een paar jaar toepassen van deze

praktijk. Mais lijkt daarbij gevoeliger voor de positieve effecten van bermmaaisel dan tarwe.

In een aanvullend experiment werd onderzocht of de maaiselbehandelingen de ziekteweerbaarheid van de bodem beïnvloeden. Dit werd gedaan middels een biotoets waarbij een plantensoort met een hoge ziektegevoeligheid (in ons geval tuinkers) werd geteeld op grond waarvan je de ziekteweerbaarheid wilt weten. In dit experiment werd grond van 10 percelen van het veldexperiment gebruikt waaraan op dat moment twee jaar op rij maaisel was toegevoegd. Monsters van deze grond werden gesplitst waarbij het ene deel werd geïnoculeerd met de bodemziekte *Pythium ultimum* en het andere deel niet werd geïnoculeerd. De eerste analyses van de data lieten zien dat de groei van tuinkers, ook zonder *Pythium* toevoeging, al sterk verschilde tussen de verschillende percelen van het veldexperiment. Dit werd hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt doordat op zes van de tien onderzochte percelen al een groeibeperkende bodemziekte aanwezig was, onafhankelijk van het al dan niet toevoegen van bermmaaisel. Op basis van de resultaten van deze studie kon niet worden geconcludeerd dat een jaar na het voor de tweede keer opbrengen van de maaiselbehandelingen ziekteweerbaarheid verhoogd was. Dit neemt echter niet weg dat er wel een kortetermijneffect kan zijn van de toevoeging van bermmaaisel op ziekteweerbaarheid. Daarom is ook het kortetermijneffect van de maaiselbehandelingen getest door vlak voor de start van de biotoets maaisel toe te voegen aan reguliere landbouwgrond waarvan bekend was dat deze een lage ziektedruk had. Direct na het toevoegen van bermmaaisel werd een positief effect op de ziekteweerbaarheid van de bodem gevonden bij uitsluitend de Bokashi-behandeling. Of dit effect te wijten is aan het toevoegen van de micro-organismen die aanwezig zijn in Bokashi of dat het toevoegen van een relatief makkelijk afbreekbare bron van organisch materiaal voldoende is om dit effect te behalen (door het stimuleren van de activiteit van de micro-organismen die reeds in de landbouwgrond aanwezig waren) is middels deze studie niet vast te stellen. Op basis van de resultaten van deze experimenten en de beschikbare literatuur kan geconcludeerd worden dat het toevoegen van bermmaaisel in bepaalde vormen en onder bepaalde omstandigheden een licht positief effect heeft op de bodemziekteweerbaarheid. De vertaalslag naar de praktijk is echter nog lastig. Een voorzichtige algemene conclusie is dat in eerste instantie niet te veel verwacht dient te worden van de ziekte onderdrukkende werking van bermmaaisel op bodemziektes in de praktijk.

In een tweede aanvullend experiment werd het relatieve effect van de kwaliteit (koolstof:stikstof-verhouding) en de kwantiteit van bermmaaisel op gewas en bodem onderzocht. De koolstof:stikstof-verhouding (C:N-verhouding) van organisch materiaal is sterk gerelateerd aan de afbreekbaarheid materiaal en het vrijkomen dan wel vastleggen van stikstof in de bodem. In dit potexperiment werd de C:N-verhouding en kwantiteit van het gebruikte bermmaaisel experimenteel gevarieerd. Het directe en indirecte effect op gewasopbrengst, stikstofuitspoeling en stikstofretentie werd vervolgens gemeten. De effecten van maaiselbehandelingen werden vergeleken met meer reguliere bemestingsvormen zoals drijfmest en kunstmestproducten en met verschillende controles. Stikstofuitspoeling bleek uitsluitend plaats te vinden als er geen planten in de

potten aanwezig waren. In aanwezigheid van planten was er zelfs bij de hoogste hoeveelheid bemesting geen sprake van stikstofuitspoeling, vermoedelijk vanwege het feit dat plantenwortels alle vrijkomende stikstof onmiddellijk opnemen. Dit resultaat onderschrijft het belang van het zaaien van vanggewassen na de oogst van hoofdgewassen met een hoog risico op stikstofuitspoeling. Als na de oogst onmiddellijk (vang)gewassen worden gezaaid mag dus verwacht worden dat het toepassen van bermmaaisel als bodemverbeteraar de uitspoeling van stikstof niet verder zal beïnvloeden. Het toevoegen van bermmaaisel leidde op de korte termijn van het experiment tot een significant lagere gewasopbrengst. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door de gemiddeld lage C:N-verhouding van het opgebrachte maaisel. Organisch materiaal met een C:N-verhouding hoger dan ~15 leidt meestal tot (tijdelijke) immobilisatie van stikstof waardoor het op dat moment niet beschikbaar is voor het gewas. Deze stikstof komt over het algemeen later weer vrij. In deze studie was de hoeveelheid totale en minerale stikstof aan het eind van het experiment (stikstofretentie) ook het hoogste bij de hoge C:N-verhoudingen. Dit duidt er op dat de timing van het toevoegen van het materiaal, en daarmee het vrijkomen van de stikstof, goed gesynchroniseerd moet worden met de piek in stikstofbehoefte van het gewas om optimale effecten op opbrengst te verkrijgen. In de praktijk betekent dit dat maaisel beter niet vlak voor de start van het groeiseizoen kan worden toegediend omdat de afbraak van het organisch materiaal dan gaat concurreren met de stikstofbehoefte van het groeiende gewas. Een oplossing hiervoor is bijvoorbeeld toediening in het najaar, voor het zaaien van het hoofdgewas of het vanggewas. Eventueel kan een beperkte kunstmestgift de ergste nadelige vroegtijdige effecten op gewasopbrengst tegengaan.

Hoofdstuk 1

Inleiding



Inleiding

1.1 Achtergrond

Intensief gebruik van zandige landbouwgronden zorgt over het algemeen voor een achteruitgang van de kwaliteit van de bodem (EEA, 2005; IPCC, 2019), met name door een sterke afname van het organische stofgehalte (Diacono and Montemurro, 2010; IPCC, 2019; Lal, 2006). Het organische stofgehalte is een sleutelfactor voor het watervasthoudendvermogen van de bodem, de retentie van nutriënten zoals stikstof, de diversiteit van micro-organismen in de bodem en de ziekteweerbaarheid van de bodem. Het behouden of verhogen van het organische stofgehalte is daarom cruciaal voor het behoud van de kwaliteit van landbouwgronden op zand.

Om het organische stofgehalte op peil te houden kan organische stof van buitenaf worden toegevoegd. Hiervoor kunnen verschillende producten gebruikt worden zoals GFT-compost, Champost, gewasresten of lokale organische restproducten. Het gebruik van lokale producten heeft als voordeel dat het materiaal niet versleept hoeft te worden zodat er minder uitstoot van koolstof- (CO_2) en stikstofoxiden (NO_x) plaatsvindt tijdens transport. Ook kan het gebruik van lokale producten nutriënten ketens sluiten, wat past in het streven naar circulariteit in landbouw gebieden. Een belangrijke lokale reststroom die potentieel gebruikt kan worden als bodemverbeteraar in zandige landbouwbodems is het maaisel van wegbermen (Spijker et al., 2021).

Vooral in gebieden met veel landbouw, maken wegbermen een significant deel uit van het leefgebied van wilde soorten planten en dieren. Een hoge biodiversiteit kan positief bijdragen aan het functioneren van het landbouwecosysteem via bijvoorbeeld bestuiving van gewassen of natuurlijke plaagbestrijding. Veel van de soorten die hierin een belangrijke rol spelen, zoals zweefvliegen, wilde bijen en sluipwespen, zijn afhankelijk van bloeiende planten voor hun eigen voedselvoorziening. Voor het behoud van bloeiende planten in wegbermen is het belangrijk om een of twee keer per jaar te maaien en het maaisel af te voeren omdat hiermee vermeting, vergrassing en verruiging van de berm voorkomen wordt (Noordijk et al., 2009). Het afvoeren van grote hoeveelheden bermmaaisel betekent over het algemeen een forse kostenpost voor gemeentes, provincies en waterschappen. Dit verklaart waarom veel beheerders het maaisel liever laten liggen. Gebruik van bermmaaisel als bodemverbeteraar in nabijgelegen akkers kan afvoer van bermmaaisel uit bermen stimuleren.

Voor grootschalige toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar is meer kennis nodig over de agronomische en milieueffecten van het opbrengen van bermmaaisel. Het is bekend dat verschillende organische materialen bij toepassing als bodemverbeteraar verschillende effecten op akkerbodems kunnen hebben (Flavel and Murphy, 2006; Hadas et al., 2004; Huang et al., 2004). Dit maakt het momenteel lastig in te schatten wat het effect is van bermmaaisel, en in welke vorm dit het beste kan worden toegepast. De resultaten van studies die het effect

onderzochten van het hergebruik van slootmaaisel zijn namelijk niet te vergelijken met studies die het effect onderzochten van gewasresten. Tegelijkertijd zijn studies die onderzochten wat het effect is van het opbrengen van compost lastig met elkaar te vergelijken als compost de ene keer van slootmaaisel is gemaakt en de andere keer van GFT afval omdat de biochemische samenstelling van deze composten erg kan verschillen. Het is daarom nuttig om bij de toepassing van bermmaaisel te kijken naar de effecten van het opbrengen van verschillende vormen van toepassingen van bermmaaisel gemaakt van hetzelfde uitgangsmateriaal, zoals het verse product, maar ook compost of Bokashi op basis van bermmaaisel. Hiermee kan een goede inschatting gemaakt worden van de voor- en nadelen van het toepassen van bermmaaisel en welke vorm voor welke aspecten het beste uitpakt.

Bij effectstudies moeten naast voordelen gekeken worden naar de potentiële nadelen zoals die ervaren worden door de eindgebruikers, de boeren. Een veelgehoord bezwaar van opbrengen van bermmaaisel is dat er onkruidzaden meegenomen worden met het maaisel die kunnen leiden tot een toename van de onkruiddruk in het gewas. Andere bezwaren zijn te hoge concentraties zware metalen in het maaisel of de aanwezigheid van zwerfafval. Naast de eventuele voordelen van het toepassen van zwerfafval zijn ook deze mogelijke risico's nog onvoldoende in kaart gebracht om de toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar op grote schaal te kunnen promoten. Wetenschappelijk onderzoek naar de werking van bermmaaisel op zandige akkers kan hier duidelijkheid over geven en grootschalige toepassing een stap dichterbij brengen.

Een bijkomend voordeel van een robuuste effect studie is dat het kan helpen bij de wet- en regelgeving rondom het gebruik van bermmaaisel. Materialen zoals bermmaaisel worden nu namelijk veelal gezien als afvalstroom vanwege de vermeende hoge concentraties schadelijke stoffen. Maaisel materialen worden daarom niet erkend als grondstof voor meststoffen en bodemverbetering en zijn niet aanwezig in de meststoffenwetgeving als hoofdbron. Wel kan het materiaal vallen onder de Vrijstellingsregeling Plantenresten, Artikel 3. Onder dit artikel staan echter eisen dat er "sprake is van schoon en onverdacht bermmaaisel" en dat "het bermmaaisel gelijkmatig wordt verspreid over het ontvangende perceel en dit niet significant bijdraagt aan de verspreiding van nutriënten en zware metalen". Deze eisen zijn voor agrariërs lastig te toetsen en geven aan dat er veel onzekerheid is in de veiligheid van het gebruik van het materiaal.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het onderzoek bestond uit meerdere studies die telkens specifieke onderzoeksvragen trachtten te beantwoorden. Het onderzoek heeft als hoofddoel om:

De werking en de potentiële voordelen en risico's van het gebruik van bermmaaisel als bodemverbeteraar in akkers op zandige bodems te onderzoeken.

Deze doelstelling is uitgewerkt in een reeks specifieke onderzoeksvragen die beantwoord worden in afzonderlijke hoofdstukken en paragrafen. Hieronder staan

de specifieke vragen met tussen haakjes het hoofdstuk of de paragraaf waarin de desbetreffende onderzoeksvraag wordt beantwoordt.

Maaiselbehandelingen

- *Wat zijn de verschillen in chemische eigenschappen van verschillende maaiselbehandelingen? (sectie 2.3.1)*

Potentiële risico's van het opbrengen van bermmaaisel

- *Is er een risico op verhoogde onkruiddruk na het toepassen van verschillende behandelingen van bermmaaisel? (2.3.2)*
- *Leidt toepassing van bermmaaisel tot een verhoogde kans op stikstofuitspoeling naar het grondwater? (2.3.3)*
- *Vormen de concentraties van zware metalen in de verschillende maaiselbehandelingen een risico bij de toepassing van bermmaaisel? (2.3.4)*
- *Vormt zwerfafval een risico bij toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar? (2.3.5)*

Potentiële voordelen van het opbrengen van bermmaaisel

- *Leidt herhaalde toepassing van de verschillende bermmaaisel-behandelingen tot een toename in het organische stofgehalte van de bodem? (2.3.6)*
- *Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op de gewasopbrengst? (2.3.7)*
- *Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op het watervasthoudend vermogen van de bodem? (2.3.8)*
- *Wat is het effect van het meermaals toevoegen van verschillende maaiselbehandelingen op de hoeveelheden stikstof in de bodem? (2.3.9)*

Weerbaarheid van de bodem tegen ziektes

- *Is de bodemziekteweerbaarheid verhoogd na eenmalig of meermaals toevoegen van verschillende maaiselbehandelingen aan de bodem? (3.1)*

Werking van het bermmaaisel

- *Wat is het directe en indirecte effect van de C:N-verhouding en de hoeveelheid bermmaaisel op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie? (4.1)*
- *Hoe verhoudt het effect van bermmaaisel zich ten opzichte van reguliere vormen van bemesting op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie? (4.1)*

In het huidige onderzoek worden telkens vier zogenaamde behandelingen van hetzelfde bermmaaisel met elkaar vergeleken: vers maaisel van soortenrijke vegetatie, vers maaisel van soortenarme vegetatie, gecomposteerd maaisel en maaisel waarvan Bokashi is gemaakt. Meer details over de behandelingen worden in hoofdstuk 2 gegeven.

Een meerjarig veldexperiment is uitgevoerd waarbij de verschillende maaiselbehandelingen op aangelegde onderzoeksplots in landbouwpercelen is opgebracht. Meerdere veldlocaties verspreid in Noord-Brabant en Gelderland zijn gebruikt zodat de bevindingen representatief zijn voor dit deel van Nederland. Het veldexperiment wordt besproken in hoofdstuk 2 van dit rapport.

Een biotoets is uitgevoerd om een beeld te krijgen van het effect van bermmaaisel op bodemziekteweerbaarheid. Deze biotoets maakte gebruik van grond uit het veldexperiment en is uitgevoerd in een incubator van de Wageningen Universiteit. Dit gaf ons de mogelijkheid om met een goede combinatie van praktijk en wetenschappelijke diepgang de desbetreffende onderzoeksvragen te beantwoorden. Dit aspect van het onderzoek wordt besproken in hoofdstuk 3 van het rapport.

Een potexperiment is uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de exacte werking van de verschillende maaiselbehandelingen en hoe dit zich verhoudt tot andere vormen van bemesting. In dit experiment werden zowel de C:N-verhouding (kwaliteit) als de hoeveelheid maaisel (kwantiteit) gemanipuleerd en kon worden bepaald wat de kortetermijneffecten zijn van verschillende combinaties van maaiselkwaliteit en kwantiteit. Dit experiment wordt besproken in hoofdstuk 4 van dit rapport.

Hoofdstuk 2

Omschrijving en resultaten van het veldexperiment



Omschrijving en resultaten van het veldexperiment

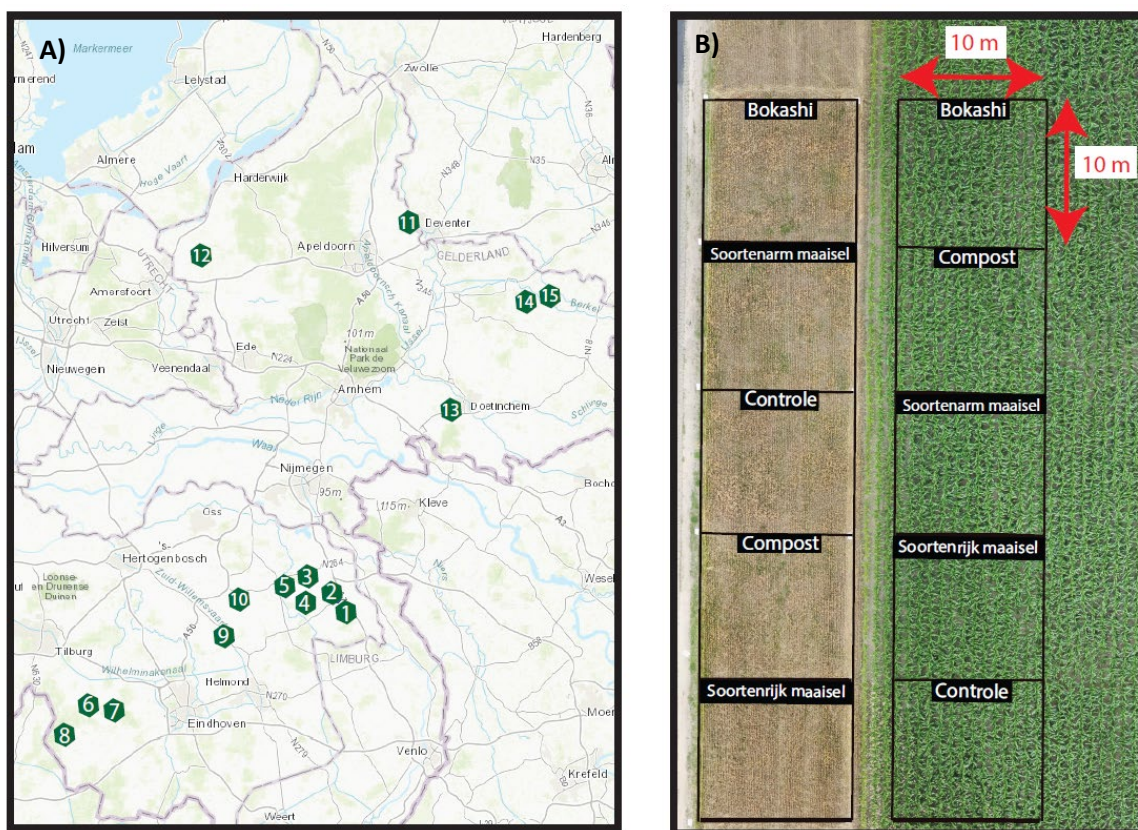
2.1 Opzet

Het veldexperiment is in september 2019 gestart met het opbrengen van de bermmaaiselbehandelingen, en heeft tot september 2022 gelopen. In dit veldexperiment is op vijftien locaties eenzelfde onderzoeksopzet neergelegd. Vijf locaties bevonden zich in gemeente Land van Cuijk, vijf locaties bevonden zich in de rest van de provincie Noord-Brabant en vijf locaties bevonden zich in de provincie Gelderland (Fig. 2.1). Op al deze locaties werden twee stroken van 10 bij 50 m aangelegd waarin zich vijf plots bevonden van 10 bij 10 m. De twee stroken per locatie maakten het mogelijk om gelijktijdig in twee verschillende gewassen te meten, die om en om in dezelfde strook geteeld werden: wintertarwe en mais. De vijf plots bevatten de vier maaiselbehandelingen plus een controle waarbij uitsluitend kunstmest werd gegeven. Op elke locatie lagen de locaties van de plots ten opzichte van elkaar anders. Hierdoor kon het effect van de ene maaiselbehandeling niet beïnvloed worden door de stelselmatige aanwezigheid van een naastgelegen andere behandeling.

Gewassen

Op elke locatie werden er twee gewassen geteeld in de twee naast elkaar gelegen stroken. Hierbij werd er jaarlijks wintertarwe ingezaaid in de ene strook en mais in de andere strook. De tarwe werd ingezaaid in november en geoogst in juli. Over de vijftien locaties werden vijf verschillende rassen gebruikt (de meest voorkomende waren Benchmark en Henrik) en werd er gemiddeld 160 kg/ha zaaigoed gebruikt. De mais werd ingezaaid in april en mei en geoogst in september. Hierbij werden er zeven variëteiten gebruikt (de meest voorkomende waren Pioneer en LG31205) met een gemiddelde van 92.000 zaden/ha. Voor de maisteelt werd er een groenbemester ingezaaid na de oogst van de voorgaande wintertarwe, zoals in de praktijk gebruikelijk is. De groenbemester varieerde van winterrogge tot bladrammenas. Aangezien de groenbemesters voor het zaaien van de mais worden ingewerkt in de bodem namen we aan dat de opgeslagen hoeveelheid stikstof in de groenbemester het systeem niet verliet.

Het feit dat er subtiele verschillen zijn in de landbouwkundige context waarbinnen de behandelingen werden toegepast zien we als een sterkte van onze studie. Als we namelijk het effect van de maaiselbehandelingen kunnen aantonen op basis van data waarin deze verschillen als 'ruis' aanwezig is dan betekent het dat de effecten sterk genoeg zijn om in de dagelijkse landbouwpraktijk verschil te maken. Als we geen effecten kunnen aantonen dan zijn andere factoren waarschijnlijk belangrijker dan het opbrengen van bermmaaisel.



Figuur 2.1 Grafische weergave van het veldexperiment. (A) De geografische locatie van de 15 percelen waarop het onderzoek werd uitgevoerd. (B) Ter illustratie van de proefopzet is locatie 13 met een ruimtelijke weergave van de ligging van de gewassen en behandelingen weergegeven.

De gewassen werden om en om in dezelfde strook geteeld. Hierdoor was er dus in jaar 1 van het experiment een strook mais, vervolgens werd dit een strook tarwe en daarna weer een strook mais. Voor de stroken waar begonnen werd met tarwe was dit dus omgekeerd.

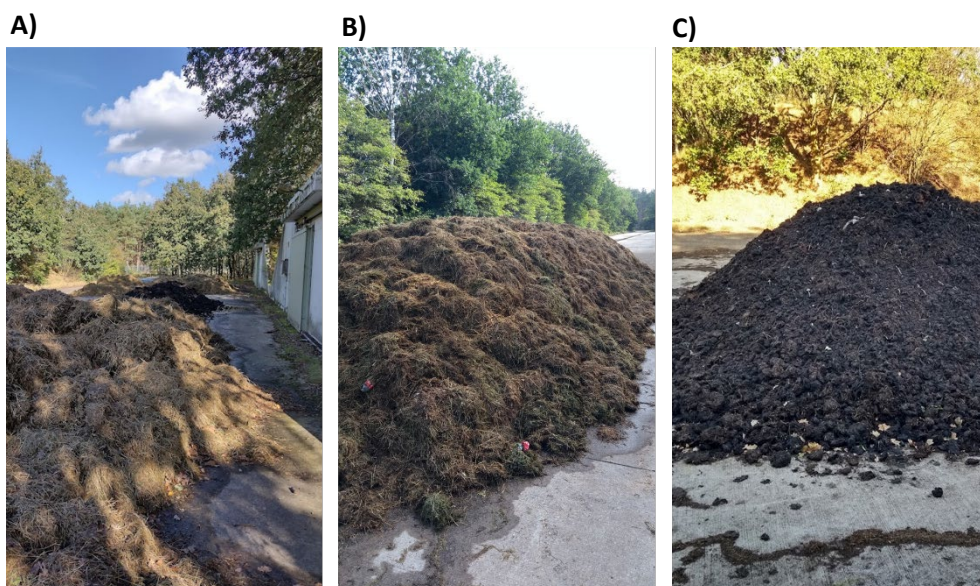
Behandelingen

Voor de behandelingen in het veldexperiment werd maaisel van wegbermen uit de gemeente Land van Cuijk gebruikt. In deze gemeente is in het voorjaar van 2017 27 km wegberm ingezaaid met een zaadmengsel van bloeiende planten gericht op het bevorderen van wilde bijen. Hierdoor is de soortenrijkdom aan bloeiende planten significant hoger dan in reguliere wegbermen die niet ingezaaid zijn. Om te onderzoeken of de diversiteit van de vegetatie de werking van maaisel als bodemverbeteraar beïnvloedt is maaisel van soortenrijke en van soortenarme wegbermen gebruikt als twee afzonderlijke behandelingen. Het maaisel voor deze behandelingen werd verzameld in september en vrijwel direct op de experimentele plots gebracht als vers materiaal.

Naast deze twee verse behandelingen zijn ook twee behandelingen meegenomen in het experiment waarbij het maaisel voor opbrengen eerst bewerkt is. Voor de eerste van deze behandelingen werd maaisel uit de gangbaar beheerde

wegbermen van de gemeente Land van Cuijk eerste gecomposteerd. Hiervoor werd maaisel gebruikt van de eerste meter uit de weg welke uit oogpunt van verkeersveiligheid standaard in juni wordt gemaaid (Fig. 2.2). Dit maaisel werd ter compostering op een hoop gezet waarna de hoop wekelijks werd omgezet om voldoende lucht toe te voegen. Ook werd de compost bewaterd indien nodig. Acht weken later was de compost klaar en kon deze worden opgebracht op de onderzoekslocaties.

Voor de tweede bewerkte behandeling werd van hetzelfde maaisel dat voor het composteren werd gebruikt, Bokashi gemaakt (figuur 2.3). Bokashi is een methode waarbij organisch materiaal gefermenteerd wordt door toevoeging van specifieke micro-organismen en het luchtdicht afdekken van het materiaal voor een periode van 6 tot 8 weken. De methode heeft de afgelopen jaren snel aan populariteit gewonnen maar de effecten ervan ten opzichte van vers of gecomposteerd materiaal zijn nog vrijwel niet onderzocht. Dat maakte het interessant om deze behandeling mee te nemen in ons experiment. De Bokashi werd vervaardigd volgens hetzelfde protocol dat gebruikt wordt door "Bij de oorsprong", een Nederlands bedrijf dat onder andere grote hoeveelheden Bokashi maakt en producten verkoopt die gebruikt worden bij het maken van Bokashi. In het kort kwam de methode erop neer dat een deel van het maaisel in een dunne laag werd uitgereden waarna BB Boden (Multikraft, n.d.) (voornamelijk melkzuur bacteriën) en eMB starter (Multikraft, n.d.) (bacteriën die cellulose afbreken) werden toegevoegd. Ook werd er verkrumelde kalksteen toegevoegd om de daling van de pH als gevolg van de fermentatie tegen te gaan. Vervolgens werd er een volgende dunne laag maaisel toegevoegd gevolgd door de toevoegingen van micro-organismen en kalkmateriaal. Deze stappen werden herhaald zodat de Bokashi als een soort lasagne werd opgebouwd. Bij de bereiding van de Bokashi in deze studie werd in totaal 50 liter BB Boden, 5 liter eMB starter en 500 kg kalksteen per jaar gebruikt, wat voldoende was voor het vervaardigen van 25 ton Bokashi. Nadat al



Figuur 2.2 Maaiselbehandelingen. A) Alle hopen maaisel gesorteerd op de bakkenvullocatie, B) Maaisel voor het composteren, C) Maaisel na het composteren.



Figuur 2.3 Het maken van Bokashi A) Het startmaaisel uitgespreid voor toevoegingen, B) Toevoegingen voor het maken van Bokashi, C) Afdedekte Bokashi en de Bokashi-hoop aan het einde.

het maaisel was verwerkt werd de hoop luchtdicht afgedekt met plastic omdat het fermentatieproces anaeroob (zonder zuurstof) moet verlopen. Acht weken later was de Bokashi klaar om gebruikt te worden in het veldexperiment.

Alle maaiselbehandelingen werden voor het opbrengen op de onderzoeksplots bemonsterd en verschillende monsters uit verschillende plekken in de hopen maaisel werden meegenomen naar de Wageningen Universiteit voor chemische analyse van het materiaal.

Alle maaiselbehandelingen werden eind september/ begin oktober van elk jaar opgebracht op de onderzoeksplots. Hiervoor werden de behandelingen afgewogen in houten kratten waarbij 300 kg vers materiaal/plot werd gehanteerd. Dit is het equivalent van 30 ton/ha. De inhoud van de kratten werd met behulp van een trekker op de individuele veldjes gelegd waarna de hoop handmatig werd uitgespreid (figuur 2.4). Vervolgens werkten de agrariërs het materiaal in, in de bovenste 15 cm van de bodem.

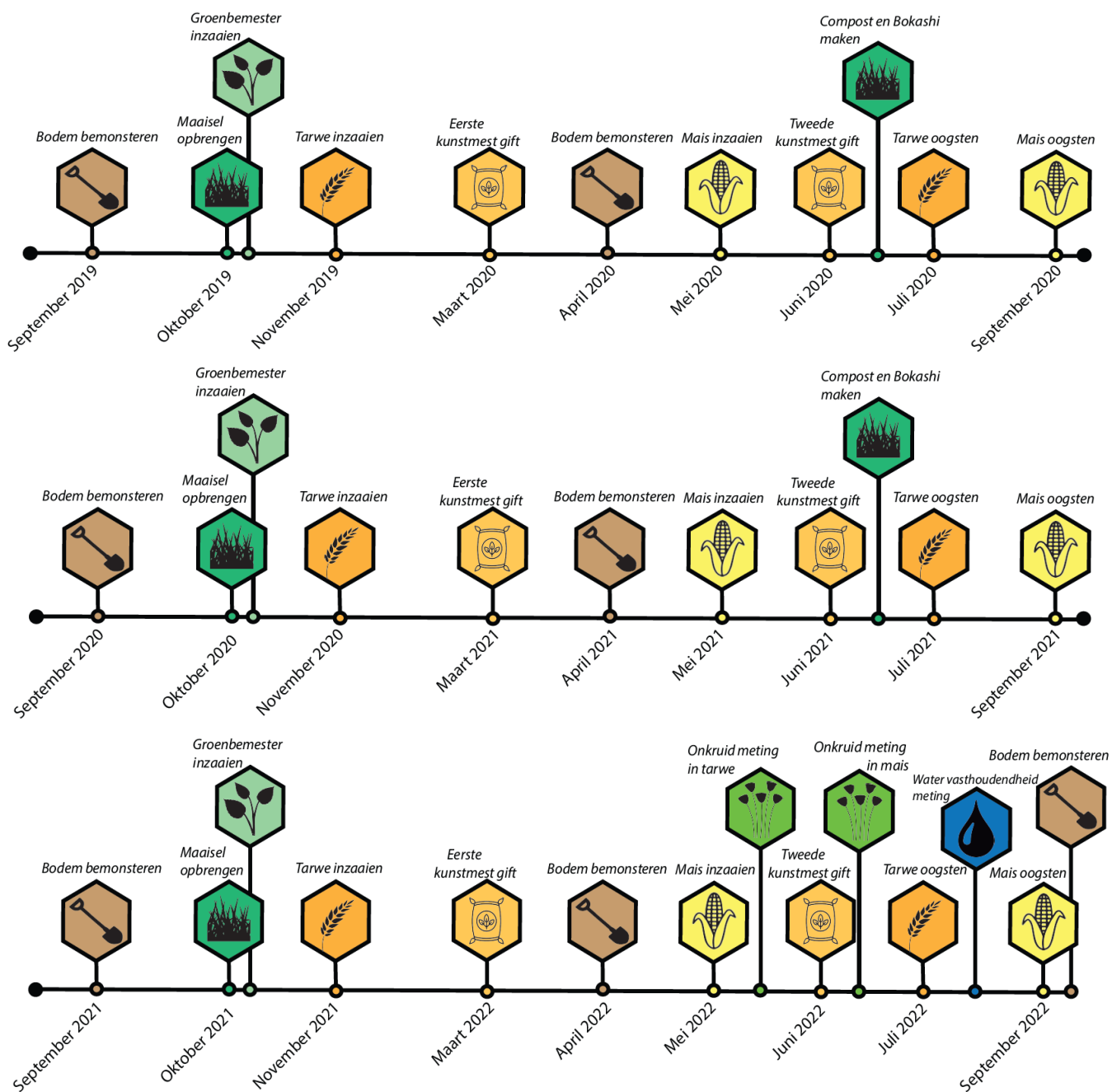
Om de vier maaiselbehandelingen te vergelijken met de meer reguliere landbouw praktijk werd er een controlebehandeling toegevoegd waarbij geen organisch materiaal werd toegevoegd. Uit praktische overwegingen werd gekozen voor het jaarlijks toepassen van kunstmest volgens in Nederland regulier gebruikte normen (RVO, 2019). In totaal was dit jaarlijks 180 kg N/ha, 75 kg P/ha en 135 kg K/ha. De bemesting werd toegevoegd door middel van een combinatie van Kalkammonsalpeter (KAS, 27% NH_4NO_3 + 6% CaO) en NPK bemester (12% N, 10% P en 18% K). De tarweveldjes werden in twee keer bemest waarbij de eerste gift in maart en de tweede gift in juni was. De maisveldjes werden in één keer bemest in juni.



Figuur 2.4 Het afwegen van het maaisel en opbrengen op de veldjes.

Om ervoor te zorgen dat de stikstofimmobilisatie bij vertering van het organische materiaal door bodemorganismen niet zou leiden tot een (tijdelijk) tekort aan stikstof in het gewas, werden de vier maaiselbehandelingen ook bemest met kunstmest op hetzelfde moment als de controle. Deze veldjes kregen echter 50% van de hoeveelheid die op de controleplots werd gebracht.

Fig. 2.5 geeft een tijdlijn van alle activiteiten in het veldexperiment weer (zie volgende pagina).



Figuur 2.5 Tijdlijn van het veldexperiment van september 2019 (links boven) tot September 2022 (rechts onder); plots met als hoofdgewas mais in het voorjaar werden in het najaar ervoor ingezaaid met groenbemester. Plots met wintertarwe werden meteen in het najaar ingezaaid met als rotatie vanaf najaar 2019: wintertarwe, groenbemester, mais, of groenbemester, mais, wintertarwe.

2.2 Methoden

Bodembemonstering

De bodem werd elk half jaar bemonsterd; in september voor het opbrengen van het maaisel en in april voor het inwerken van de groenbemester. Per onderzoeksplot werden met een grondboor vijf deelmonsters tot 10 cm diepte genomen in de binnenste 2 m² van elke onderzoeksplot om randeffecten te voorkomen. De vijf deelmonsters van een onderzoeksplot werden in 1 zakje gedaan, zorgvuldig gemengd en dit mengmonster werd vervolgens gebruikt voor verdere chemische analyse.

Bij elke bemonsteringsronde werd een monster genomen om de dichtheid van de bodem te bepalen, de zogeheten *bulk density* meting. Hierbij werd een ring van een vast volume (100 cm³) in de bodem gedrukt nabij het middelpunt van elke onderzoeksplot. De grond in de ring werd in een plastic zakje meegenomen. In het laboratorium werd deze grond vervolgens gewogen, gedroogd bij 105 °C gedurende 48 uur en daarna weer gewogen. De hoeveelheid bodem in het vaste volume van de ring geeft de dichtheid van de bodem aan waardoor het mogelijk is om bijvoorbeeld de concentraties stikstof per monster om te rekenen naar kg stikstof per volume en oppervlak.

Gedurende het laatste jaar van het veldexperiment (in september 2021, april 2022 en september 2022) werd de bodem ook op grotere diepte bemonsterd. Met behulp van een grondboor werden er drie deelmonsters genomen in de binnenste 2 m² van elke plot waarbij er bodem werd verzameld van 0 tot 10 en 10 tot 40 cm diepte zodat een beter beeld van de bouwvoor kon worden gekregen. Per plot zijn deze deelmonsters per laag ook weer samen als mengmonster meegenomen ter analyse in het laboratorium.

In totaal werd de bodem zeven keer bemonsterd, waarbij per ronde 150 mengmonsters werden verzameld (15 locaties x 10 plots). Bij de laatste drie bemonsteringsrondes werden er ook nog monsters genomen van de diepere bodemlaag van alle 150 plots waardoor er in totaal 1500 bodem mengmonsters zijn geanalyseerd op chemische samenstelling. Bodem werd te allen tijde in vriezers (-4 °C) bewaard voordat de analyses plaatsvonden.

Bodemchemische analyses

Het percentage organische stof in de bodem werd bepaald met behulp van de "Loss on ignition"-methode (Hoogsteen et al., 2015). Deze methode maakt gebruik van een verassingsoven waarbij de bodem tot zeer hoge temperatuur (550 °C) wordt verhit, zodanig dat alle organische stof verbrandt. Het gewichtsverlies ten opzichte van het begingewicht geeft het percentage organische stof aan. Het organische stofgehalte is dus bepaald t.o.v. het percentage van het droomgewicht.

De totale hoeveelheid N en P in de bodem werd bepaald door middel van destructie met H₂SO₄-Se en salicylzuur (Novozamsky et al., 1983) waarna de N en P in de

oplossing werd gemeten met een segmented-flow analyser (Skalar San++ systeem).

Bodem-pH werd gemeten door 20 gram verse bodem af te wegen en te mengen met 50 ml water. Dit mengsel werd gedurende vier uur geschud op een schudapparaat waarna de pH werd bepaald met een WTW inoLab pH/mV meter.

Bij de laatste drie bemonsteringsmomenten, waarbij ook de diepere bodemlagen werden meegenomen, werd naast totale ook de minerale/beschikbare N gemeten. Minerale N ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) werd geanalyseerd door de bodem bij 20 °C in een 1:10 verhouding met een 0.01 M CaCl_2 oplossing te mengen (Temminghoff, 2010). De concentratie van minerale N in de oplossing werd vervolgens bepaald met een segmented-flow analyser (Skalar San++ system).

Gewasanalyses

Om de opbrengst van het gewas te bepalen werden er jaarlijks vlak voor de oogst gewasmonsters genomen (figuur 2.6). In de tarweveldjes werden tarweplanten geoogst van drie keer een oppervlak van 0.25 m² en vervolgens meegenomen naar Wageningen. In Wageningen werd de tarwe gedroogd bij 70 °C en de korrel van het gewas gescheiden. Korrel- en plantgewichten werden los gewogen voor bepalingen van het drooggewicht.

In de mais, werden maisplanten geoogst van drie keer 1 meter mais van de middelste rijen van elke onderzoeksplot. In Wageningen werden deze planten gedroogd bij 70 °C. Ook van de mais werden de kolf en de stengel gescheiden en gewogen voor bepaling van het drooggewicht.

pH, C- en N-analyse van het maaisel

De pH van het maaisel is in waterextracten van het maaisel bepaald op vergelijkbare wijze als voor de bodemonsters. Voor de chemische analyses



Figuur 2.6 Gewasopbrengst bemonsteren in het veldexperiment

werden de monsters eerst gedroogd gedurende 24 uur bij 70 °C en vervolgens gemalen. Een deelmonster werd nog verder gemalen met een kogelmaler waarna de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd gemeten in een C:N analyzer.

Bepaling onkruiddruk

In het laatste jaar van de studie, na drie jaar opbrengen van bermmaaisel, is de onkruiddruk gekwantificeerd. Hiervoor werd het aantal soorten onkruid geteld en hun bedekking geschat in twee kwadraten van 60 x 60 cm per plot (Fig. 2.7). Deze schattingen vonden plaats in mei 2022 in de tarweplots en in juni in de maisplots vanwege de verschillen in fenologie tussen deze gewassen.

Stikstofuitspoeling

Om uitspoeling van stikstof te meten is er in september 2021 in elke onderzoeksplot een zogenaamde 'resin bag' ingegraven. Deze zakjes bevatten 'resin beads'; kleine harsballetjes die geïoniseerd zijn waardoor nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) eraan blijven hangen. Als er een flux is van regenwater door de bodem kolom, dan passeert dit water de zakjes onder de bouwvoor en blijven deze ionen eraan hangen. Omdat de zakjes werden ingegraven onder de bouwvoor (~40 cm diep) mogen we aannemen dat de stikstof die eraan blijft hangen het systeem zou verlaten wat zou resulteren in uitspoeling van stikstof. De zakjes werden ingegraven door middel van een grondboor waarbij in een hoek van 45 graden naar beneden werd geboord zodanig dat het zakje ongeveer onder het middelpunt van elke onderzoeksplot lag waarvan de locatie met GPS coördinaten was vastgelegd door gebruik van een nauwkeurige RTK. De reden voor het schuin boren was dat de bodemkolom boven het zakje niet zou



Figuur 2.7 Een sfeerimpressie van de onkruidbepalingen en enkele van de verschillende soorten die gevonden zijn met de hulp van student David Krijgsman. Detailfoto's zijn van Witte winterpostelein (boven midden), Gewone zandraket (onder midden) en Avondkoekoeksbloem (onder rechts).

worden verstoord aangezien dat stikstofuitspoeling kan beïnvloeden. Een tentharing aan elk zakje moest er voor zorgen dat de zakjes bij het opgraven met een metaaldetector weer teruggevonden konden worden. Helaas bleken in september 2022 de resin bags niet terug te vinden, vermoedelijk doordat de haringen te diep lagen om door de metaaldetector getraceerd te worden. Ook graven op basis van de GPS coördinaten bood geen uitkomst, vermoedelijk omdat er onder een hoek was gegraven waardoor er ruis in de coördinaten zat. Meerdere metaal detectoren zijn geprobeerd en meerdere uitgraafpogingen zijn gedaan zonder succes. Uiteindelijk werd besloten om niet verder te proberen de zakjes op te graven vanwege de lage kans op succes.

Als alternatief hebben we er voor gekozen om berekeningen uit te voeren met de data die we wel hebben om daarmee een schatting te maken van het stikstofverlies uit het systeem. Deze berekening is gebaseerd op stikstofbalansen zoals die eerder zijn gebruikt in vergelijkbare studies in agrarische systemen (Oenema et al., 2003; Van Beek et al., 2003). Het idee achter een dergelijke balans is om alle input- en outputbronnen uit te drukken in kg stikstof per hectare. Het verschil tussen de input- en outputbronnen kan in ons geval laten zien hoeveel stikstof het systeem netto heeft verlaten of opgebouwd. Nadeel van deze methode is dat de verschillende vormen van stikstofverlies niet weergegeven worden en dit verlies hoeft niet exclusief via uitspoeling te verlopen aangezien dit ook kan gebeuren via N_2 en het broeikasgas N_2O . Een ander nadeel is dat we geen stikstofdepositie hebben gemeten in de plots, waardoor we met onze huidige balans een vrij positieve schatting geven van de absolute stikstofretentie. Zonder de *resin bags* is het maken van een stikstofbalans echter de beste manier om nog een inschatting te kunnen maken van stikstofretentie en potentiële uitspoeling.

De gebruikte balans en berekeningen zijn weergegeven in Tabel 2.1. Uitsluitend data van het laatste jaar is gebruikt voor deze berekeningen aangezien we alleen in dat jaar ook de diepere bodemlaag hebben meegenomen en daarom alleen in het laatste jaar het hele systeem konden onderzoeken. De hoeveelheid stikstof in de 0-10 cm laag werd bepaald en de hoeveelheid stikstof in de 10-40 cm laag werd bepaald. Deze waarden werden bij elkaar gevoegd om te resulteren in de totale hoeveelheid stikstof in de gehele bodemlaag. Per onderzoeksplot hebben we het verschil berekend tussen de hoeveelheid stikstof via maaisel of kunstmest aangevoerd werd aan het systeem (input) en de hoeveelheid stikstof die is terug gemeten in gewas of in de 0-40 bodemlaag (de output). De balans (input min output), of N surplus, geeft aan in hoeverre de stikstofkringloop was gesloten of niet. Bij een negatieve balans is stikstof verloren gegaan uit het systeem via de lucht of uitgespoeld via water. Als het verschil positief is dan is meer stikstof in het systeem teruggevonden dan is aangebracht.

Tabel 2.1 Berekeningen rondom stikstofverlies gebaseerd op een stikstofbalans zoals beschreven door Oenema et al. 2003 en Van Beek et al. 2003. De tabel beschrijft de aanvoer van stikstof via maaisel of kunstmest (inputs) en de hoeveelheid stikstof die in gewas en bodem na één jaar is teruggevonden (outputs). Onderaan staat de legenda voor de gebruikte symbolen en subscripts. Getallen zijn een voorbeeld van één onderzoeksplot (nr 20 met Bokashi als maaiselbehandeling) waarvoor een positieve balans of N surplus werd gevonden van 1548.7 kg/ha: er werd meer N teruggevonden dan is opgebracht.

Inputs			Outputs		
Kunstmest	$N_k = Q_k * C_k$	80	Geoogst gewas (mais of tarwe)	$N_g = Q_g * C_g$	104.4
Maaisel	$N_m = W_m * C_m * A_p^{-1}$	149.9	Verskil in totale hoeveelheid stikstof in bodem	$N_b = (C_{b22} * D_{b22} * A_p^{-1}) - (C_{b21} * D_{b21} * A_p^{-1})$	1674
Totaal	$N_{input} = N_k + N_m$	229.9 kg/ha	Totaal	$N_{output} = N_g + N_b$	1778.6 kg/ha
			Verskil stikstof	$N_{surplus} = N_{output} - N_{input}$	1548.7 kg/ha

Symbol	Naam	Eenheid	Subscript
N	Hoeveelheid stikstof	kg/ha	k kunstmest
Q	Hoeveelheid product	kg/ha	m maaisel behandeling
C	Concentratie stikstof in product	kg/kg	p plot
W	Gewicht van product	kg	g gewas (mais of wintertarwe)
A	Oppervlakte	ha	b21 bodem September 2021
D	Dichtheid van product	kg	b22 bodem September 2022

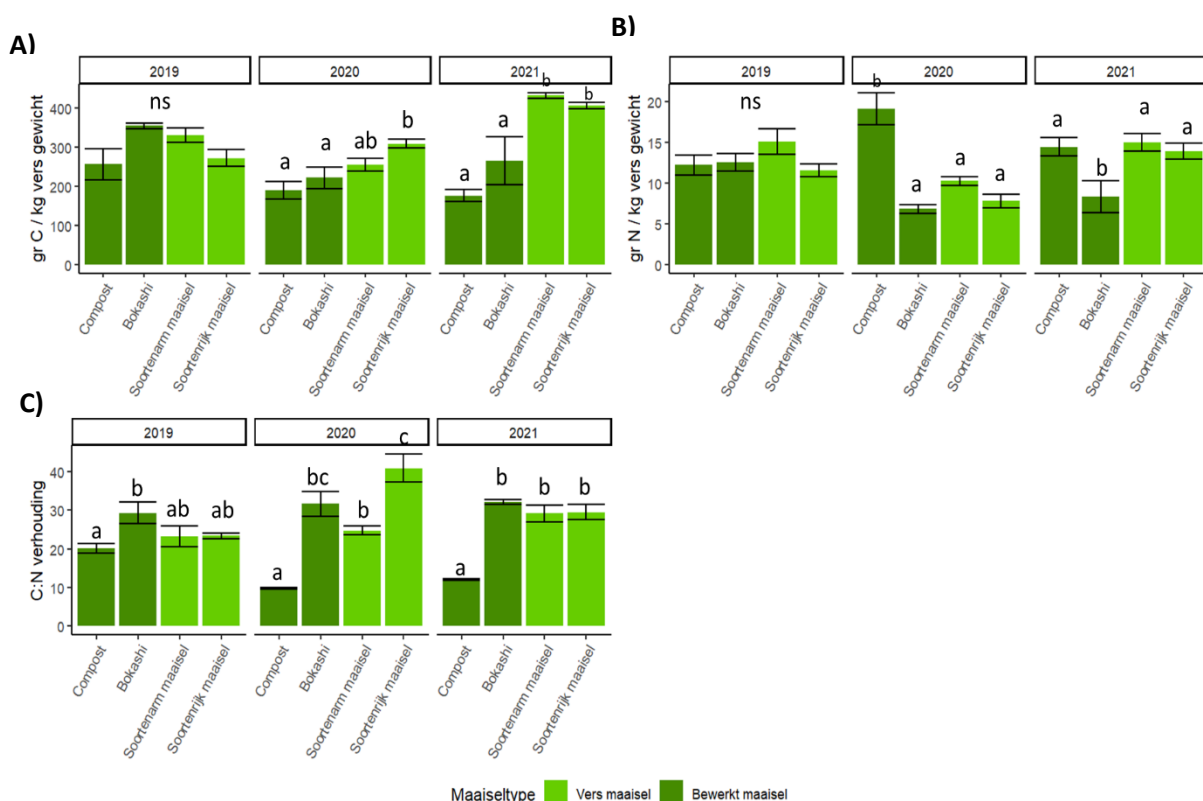
Watervasthoudend vermogen

Het jaarlijks toevoegen van organisch materiaal aan zandige bodem kan het vermogen van de bodem om (regen)water vast te houden vergroten. Om vast te stellen of dit daadwerkelijk gebeurt is een veldcapaciteit meting gedaan aan het eind van het veldexperiment in augustus 2022. Hiervoor is in een deel van de onderzoeksplots waardoor we tien herhalingen per behandeling hadden een ring met een volume van 100 cm² in de bodem gestoken (dezelfde ring die gebruikt werd voor de Bulk Density meting). De ring plus de grond die er in zat werd zorgvuldig verpakt en in zijn geheel naar Wageningen vervoerd. Op het lab werd vervolgens de inhoud van elke ring nat gemaakt tot meer dan volledige verzadiging. Vervolgens werden de ringen neergezet op een rek waarbij het water dat niet vastgehouden kon worden door de bodem kon uitlekken. Na 48 uur werden de ringen gewogen, waarna de bodem gedurende 24 uur bij 105 °C gedroogd werd om vervolgens nogmaals gewogen te worden. De verhouding tussen respectievelijk het laatste en de eerste gewicht geeft het watervasthoudend vermogen aan. Dit wordt ook wel veldcapaciteit genoemd. Hierbij geldt, hoe hoger de veldcapaciteit, hoe meer water de bodem kan vasthouden.

2.3 Resultaten en discussie

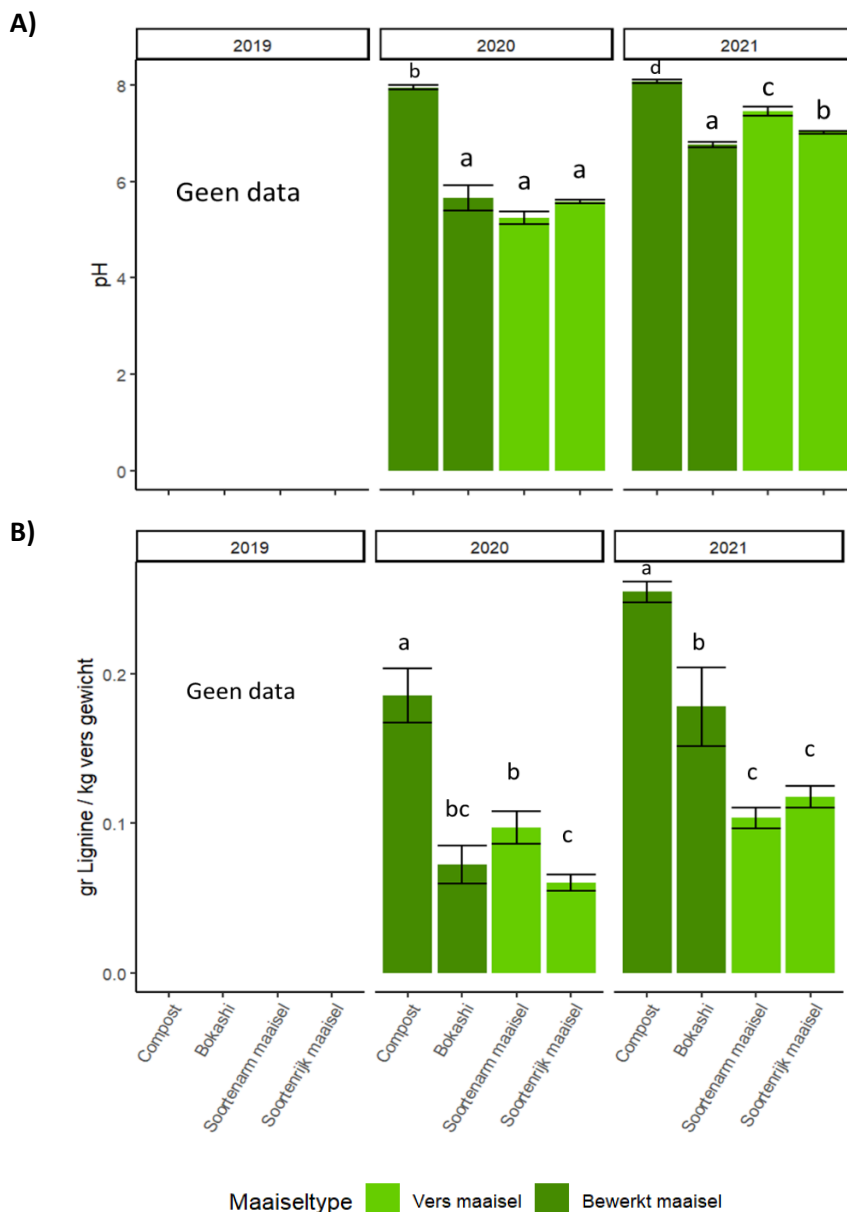
2.3.1 Wat zijn de verschillen in de chemische eigenschappen van de verschillende maaiselbehandelingen?

De C:N-verhouding van het materiaal is belangrijk omdat het sterk bepaalt hoe makkelijk het maaisel afgebroken kan worden door het bodemleven. De verwachting is dat de C:N-verhouding van compost lager zal zijn dan die van de andere behandelingen. Tijdens composteren (aerobe vertering) vervliegt er namelijk koolstof in de vorm van CO₂ waardoor de C:N-verhouding van het eindproduct omlaag gaat. In 2019 was de C:N-verhouding van de compost echter niet significant lager dan bij vers materiaal (Fig. 2.8). We zien daarbij ook dat de hoeveelheid koolstof per kilogram vers gewicht in de compost van 2019 niet lager is dan die in de rest van de behandelingen (panel A, Fig. 2.8). Dit komt wellicht door de grote spreiding in de koolstofconcentratie in het verse materiaal in combinatie met slechte compostering in dat jaar. Ook op zicht zag de compost van 2019 er niet goed gecomposteerd uit. In de jaren 2020 en 2021 was de C:N-verhouding van de compost zoals verwacht significant lager dan die van de andere maaiselbehandelingen en was het composteren dus succesvoller. Opmerkelijk is dat de C:N-verhouding van Bokashi in alle jaren vergelijkbaar was met die van het



Figuur 2.8 Verschillen in koolstof, stikstof en C:N-verhouding tussen de verschillende maaiselbehandelingen. A) De hoeveelheid koolstof (in gram) per kilogram vers maaiselmateriaal per behandeling en per jaar van het experiment. B) De hoeveelheid stikstof (in gram) per kilogram vers maaiselmateriaal per behandeling en per jaar van het experiment. C) De koolstof : stikstof-verhouding (C:N-verhouding) van elke maaiselbehandeling per jaar van het experiment. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. De letters laten significante verschillen zien waarbij een verschillende letter een significant verschil weergeeft.

verse maaisel. Dit is niet onverwacht aangezien Bokashi wordt gemaakt via fermentatie waarbij heel weinig CO₂ verlies optreedt. De compost had, in de twee jaar dat er gemeten is, met een waarde van 8 consequent de hoogste pH van alle behandelingen (Fig. 2.9). In 2020 verschildte de pH van de overige behandelingen niet significant van elkaar (pH rond de 6). In 2021 was de pH van de Bokashi-behandeling significant lager dan die van alle andere behandelingen. Afgezien van het verschil met compost, waren de overige verschillen in absolute zin erg klein waardoor het weinig aannemelijk is dat deze verschillen een ecologisch effect hebben zoals bijvoorbeeld een sterkere verzuring van de bodem na opbrengen van het materiaal. Al helemaal omdat de pH-waarden schommelden tussen de 6 en de 7. Dit is vergelijkbaar of zelfs hoger dan de pH van de bodem welke tijdens het toedienen van het materiaal 5.99 was.

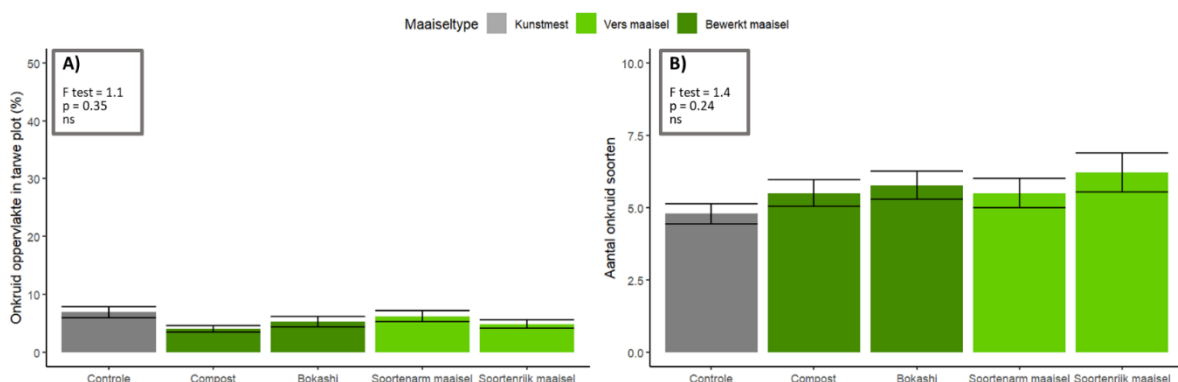


Figuur 2.9 Data van A) de pH van in het maaisel per behandeling per jaar gemeten in een waterextract. B) De hoeveelheid lignine (in gram) per kilogram vers maaiselmateriaal per behandeling en per jaar van het experiment. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. De letters laten significante verschillen zien waarbij een verschillende letter een significant verschil weergeeft.

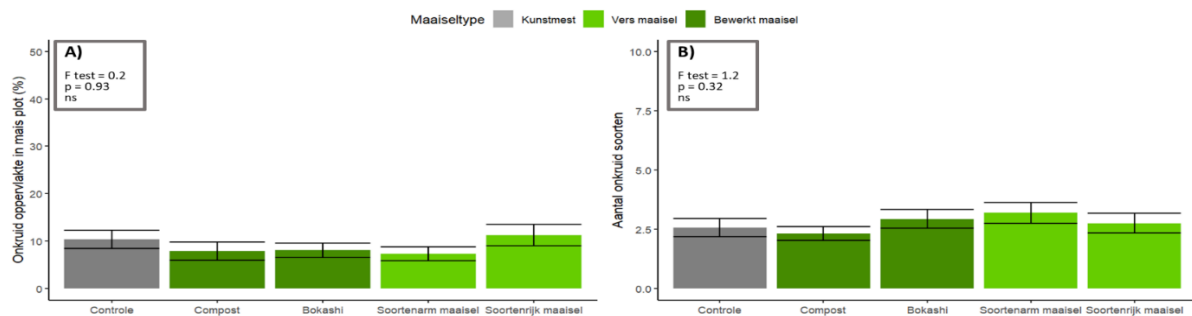
Een vergelijking van de concentratie lignine tussen de maaiselbehandelingen kan interessant zijn omdat een grotere soortenrijkdom (grotere dominantie van kruiden) kan leiden tot een hoger ligninegehalte. Lignine is moeilijk af te breken door bodem micro-organismen waardoor het indirect een effect kan hebben op het vrijkomen van voedingsstoffen en de opbouw van organische stof in de bodem. Onze resultaten laten echter niet zien dat de lignine concentratie van het soortenrijke maaisel hoger is dan die van het van het soortenarme berm in 2020 en 2021 (panel B, figuur 2.9). Wel was het ligninegehalte van de compostbehandelingen significant hoger dan die van de overige drie behandelingen. In eerste instantie is dat misschien opmerkelijk, aangezien er tijdens het composteren koolstof wordt afgebroken. Maar het afbreken van een complexe koolstofstructuur (zoals lignine) blijkt tijdens composteren alleen mogelijk onder specifieke omstandigheden, zoals bij de juiste temperatuur, de juiste start concentratie en dikte van het materiaal (Tuomela et al., 2000). Onze resultaten suggereren dus dat er weinig afbraak van lignine heeft plaatsgevonden waardoor er met het verdwijnen van ander koolstofverbindingen juist een verhoogde concentratie van de moeilijker afbreekbare fractie, i.e. lignine, plaats heeft gevonden.

2.3.2 Is er een risico op verhoogde onkruiddruk na het toepassen van verschillende behandelingen van bermmaaisel?

Het gedurende drie jaar opbrengen van maaisel uit wegbermen leidde niet tot een significante verandering van de soortenrijkdom of bedekking van onkruid in de onderzoeksplots in tarwe (Fig. 2.10) of mais (Fig. 2.11). Zowel de soortenrijkdom als de bedekking van onkruiden verschilden niet significant met die van de controleplots waarop nooit bermmaaisel was opgebracht en waar het onkruid wat daar opkwam dus al aanwezig moet zijn geweest in de bodem. Op basis van deze resultaten kunnen we concluderen dat het toevoegen van vers-, gecomposteerd- of Bokashi-bermmaaisel op regulier beheerde tarwe- en maispercelen niet zorgt voor een toename van de onkruiddruk.



Figuur 2.10 Onkruid in de tarweplots. A) Het geschatte percentage van de onkruidbedekking per behandeling. B) Gemiddeld aantal aangetroffen onkruidsoorten per behandeling. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA met maaiselbehandeling als verklarende variabelen en plot *genest* binnen perceel als blokeffect. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns = niet significant



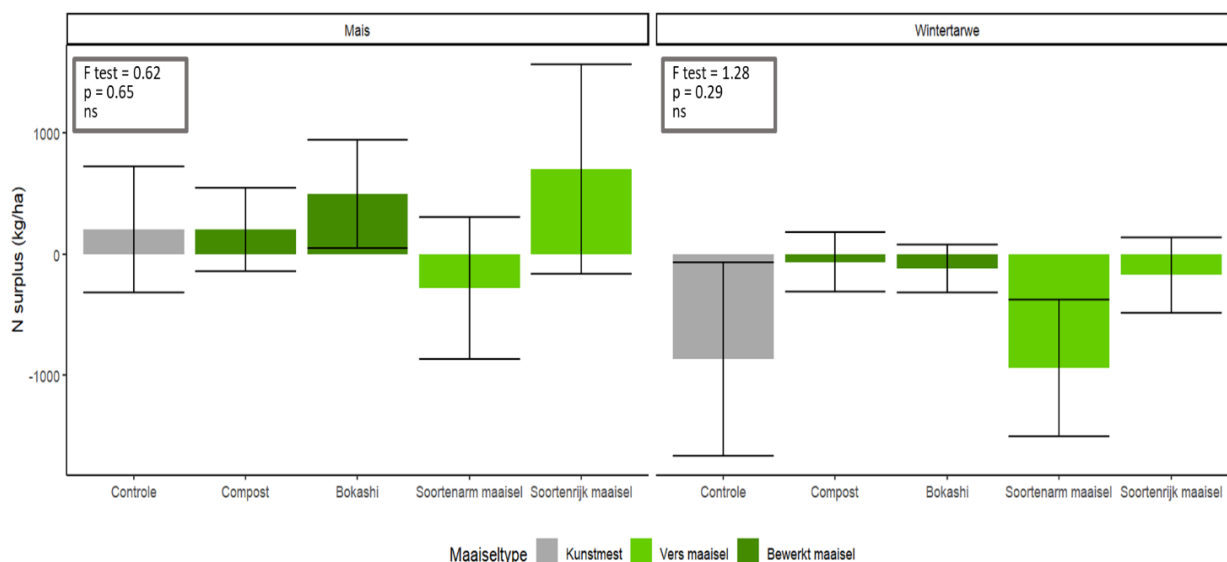
Figuur 2.11 Onkruid in de maaisplots. A) Het geschatte percentage van de onkruidbedekking per behandeling. B) Gemiddeld aantal aangetroffen onkruidsoorten per behandeling. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA met maaiselbehandeling als verklarende variabelen en plot *genest* binnen perceel als blokeffect. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns = niet significant

2.3.3 Leidt toepassing van bermmaaisel tot een verhoogde kans op stikstofuitspoeling naar het grondwater?

De resultaten van de stikstofbalans laten bij alle behandelingen een grote spreiding zien rond nul (Fig. 2.12), waardoor geen significante verschillen vast te stellen zijn tussen de behandelingen. In de maaisplots werd over alle behandelingen bekeken meer stikstof teruggevonden in bodem en gewas dan verwacht op basis van de opgebrachte hoeveelheid (positieve balans) dan bij de tarweplots. Dit gewas effect kan mogelijk deels verklaard worden door verschillen in de invang capaciteit van stikstofdepositie tussen de gewassen: de hogere mais vangt mogelijk meer stikstof in dan de lagere tarwe. Afgezien van de absolute waarden van de stikstofbalans tussen de gewassen, was het patroon van de maaiselbehandelingen in beiden gewassen grotendeels vergelijkbaar. Toebrengen van kunststof had een neutrale tot negatieve balans wat duidt op netto stikstofverlies uit het systeem. Het bewerkte maaisel (compost en Bokashi had een neutraal tot positieve balans, wat geen noemenswaardige verliezen impliceert. Bij het toedienen van vers maaisel leek het type maaisel uit te maken. Hierbij leek toedienen van soortenarm maaisel tot stikstof verliezen te leiden, terwijl dit niet tot nauwelijks gebeurde voor soortenrijk maaisel. (Fig. 2.12).

2.3.4 Vormen de concentraties van zware metalen in de verschillende maaiselbehandelingen een risico bij de toepassing van bermmaaisel?

De waarden in alle behandelingen vallen zonder uitzondering ruim onder de toegestane waarden (Tabel 2.2) voor compost volgens het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet bijlage II, tabel 3. Het maaisel dat gebruikt is om compost en Bokashi van te maken is afkomstig van de eerste meter naast het wegdek, terwijl



Figuur 2.12 Stikstofretentie per behandeling in het laatste jaar van het veldexperiment op basis van de berekende stikstofbalans. De N surplus uit de maïsplots en wintertarwe-plots zijn los weergegeven. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA met maaiselbehandeling als verklarende variabelen en plot *genest* binnen perceel als blokeffect. Negatieve waarden geven aan dat netto minder stikstof is teruggevonden in bodem en gewas dan is opgebracht via kunstmest of maaisel. ns = niet significant.

de verse maaiselbehandelingen afkomstig zijn van de gehele wegberm. Theoretisch zou verwacht mogen worden dat compostering en het maken van Bokashi leidt tot een hogere concentratie van zware metalen omdat deze voorbehandelingen leiden tot verlies van koolstof en dus massa (Fig. 2.8a). De concentraties zware metalen waren echter niet stelselmatig het hoogst in de compost en/of de Bokashi-behandeling. Een vergelijking met de concentraties zware metalen in compost gemaakt door een professionele composteerder liet voorts zien dat de concentraties zware metalen in onze maaiselbehandelingen vergelijkbaar waren met die in commercieel geproduceerde compost (Tabel 2.2).

In het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet bijlage II, tabel 3 staan ook Hg (kwik, 0,3 mg/kg ds) en As (arseen, 15 mg/kg ds) als zware metalen vermeld waarvoor maximale toegestane waarden gelden. Helaas mislukte deze metingen een aantal keer waarna er onvoldoende materiaal bleef voor een succesvolle meting. Hiervan zijn dus geen gegevens beschikbaar. Het is echter onwaarschijnlijk dat deze twee zware metalen voorkomen in hogere concentraties dan is toegestaan terwijl alle zware metalen die wel zijn gemeten er ruim onder zitten. Ook Spijker et al. (2021) vonden geen overschrijdingen in de concentraties zware metalen (inclusief Hg en As) tijdens een screening van 70 pilots waarbij zeer vergelijkbare organische materialen zoals maaisel van wegbermen en Bokashi van maaisel en blad materiaal werden gebruikt. De concentraties zware metalen in die studie waren zeer vergelijkbaar met de door ons gevonden concentraties. Dit bevestigt het beeld dat zware metalen geen probleem hoeven te zijn bij toepassing als bodemverbeteraar op akkers.

Tabel 2.2 De concentraties van verschillende zware metalen in de maaiselbehandelingen die zijn opgebracht in 2020. Alle waarden geven de concentraties weer in mg per kg droge stof. Ter vergelijking zijn ook de concentraties zware metalen weergegeven in soortenarm maaisel voordat het gecomposteerd werd en compost van een professionele composteerder (Den Ouden). De waarden zijn gemiddelden van zes monsters. De metingen zijn verricht door het Soil Chemistry Laboratory van de Wageningen University and Research. De laatste rij laat de toegestane maximale waarden voor zware metalen in compost zien volgens het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Bijlage II, tabel 3.

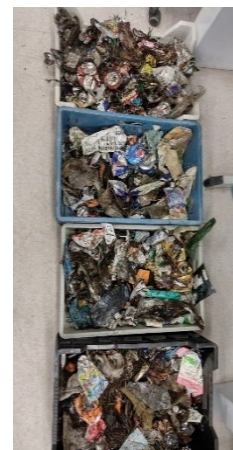
Behandeling	Cd (Cadmium) in mg/kg	Cr (Chroom) in mg/kg	Ni (Nikkel) in mg/kg	Pb (Lood) in mg/kg	Cu (Koper) in mg/kg	Zn (Zink) in mg/kg
Bokashi	0.23	11.46	8.26	3.26	8.52	65.00
Compost	0.54	7.15	3.83	6.12	17.38	138.00
Soortenarm maaisel	0.44	2.55	1.62	4.74	9.10	81.83
Soortenrijk maaisel	0.64	1.06	0.84	1.09	6.32	72.50
Compost Den Ouden	0.43	12.44	9.26	22.28	18.60	102.33
Maaisel voor compostering	0.53	1.34	1.14	2.23	9.48	98.83
Toegepaste waarde voor zware metalen	1	50	20	100	90	290

2.3.5 Vormt zwerfafval een risico bij toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar?

In twee van de drie jaar hebben we al het zwerfafval dat we bij het uitspreiden van het maaisel hebben aangetroffen verzameld en gewogen. Omdat het maaisel werd opgebracht met het equivalent van 30 ton/ha konden deze gewichten omgerekend worden naar de hoeveelheid afval die zou worden opgebracht per ha (Tabel 2.3). Hieruit blijkt dat tijdens onze studie tot wel negen kilo afval per hectare werd opgebracht (en verwijderd), hoewel er aanzienlijke verschillen waren tussen de twee jaar. Mogelijk is voor het transport naar de onderzoekslocaties, tijdens het afwegen en omscheppen van het maaisel, al wat afval verwijderd dus dit zijn conservatieve schattingen. Een vergelijking tussen het maaisel verzameld in juni, in de eerste meter berm (gebruikt om Bokashi en compost te maken), en het verse maaisel dat verzameld is in de gehele berm liet overigens geen verschillen zien. Het meest aangetroffen afval bestond uit blikjes. Dit is extra problematisch aangezien tarwe en mais aan vee gevoerd worden. De scherpe randen van blik, kunnen het vee verwonden en veehouders op extra kosten jagen.

Tabel 2.3 De hoeveelheid zwerfafval die is meegekomen met het maaisel in 2020 en 2021 en foto's van het afval zoals dat in het maaisel werd aangetroffen.

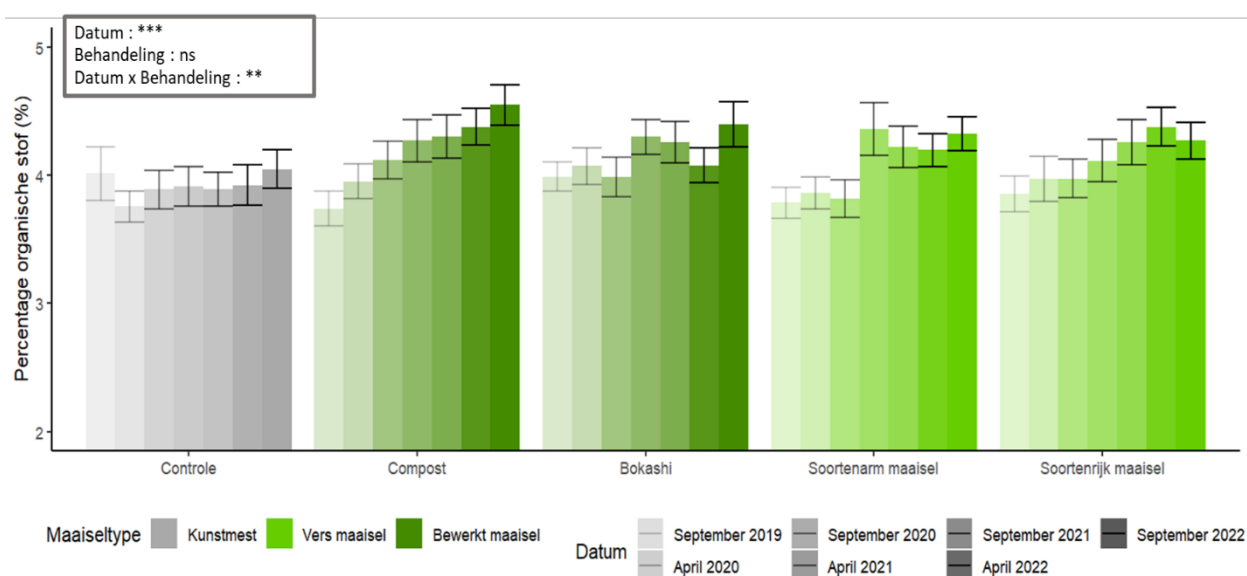
	Gewicht (gr)	Oppervlakte (m ²)	Totaal (kg afval / ha)
Maaisel 2020	11.219	12.000	9.34
Maaisel 2021	7.324	12.000	6.10



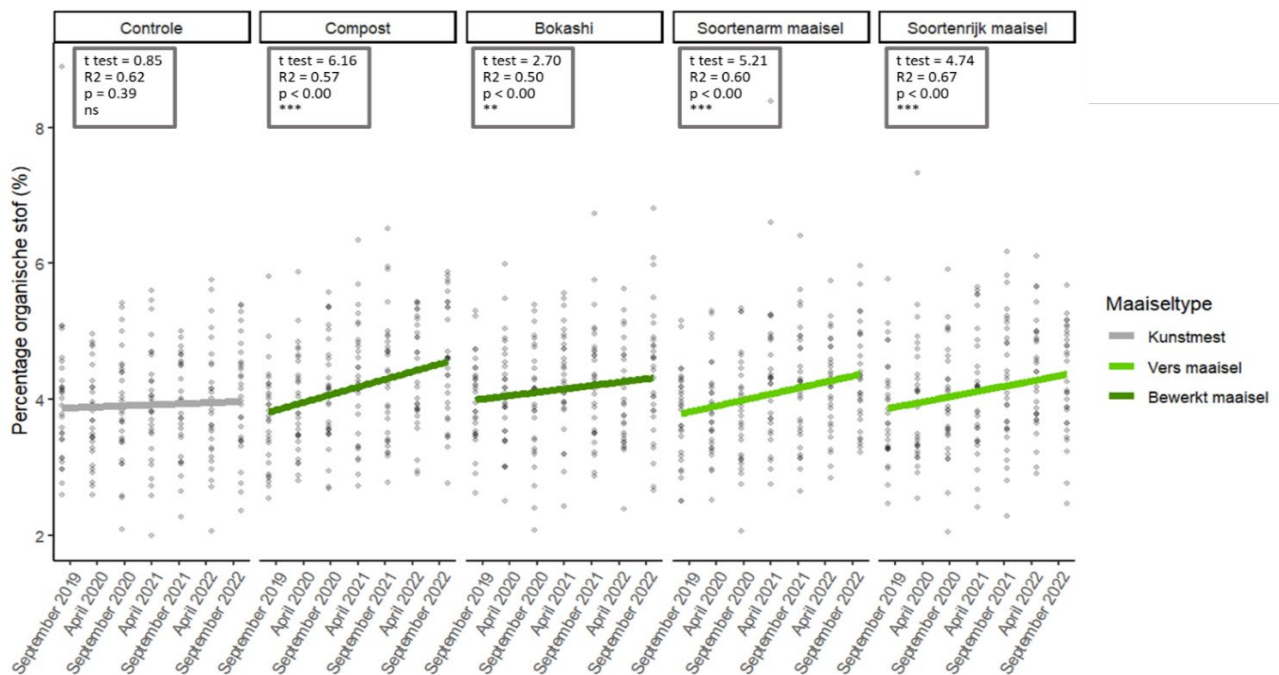
Hoewel de verwachting is dat met de introductie van statiegeld op blik in april 2023 de hoeveelheid blik in wegbermen aanzienlijk zal afnemen kunnen we op basis van deze resultaten wel concluderen dat zwerfafval op dit moment het grootste obstakel vormt voor grootschalige toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar.

2.3.6 Leidt herhaalde toepassing van de verschillende bermmaaiselbehandelingen tot een toename in het organische stofgehalte van de bodem?

Gedurende drie jaar is elk half jaar de bodem tot op een diepte van 10 cm bemonsterd op organische stofgehalte, beginnende in september 2019 vlak voor het opbrengen van maaisel en eindigend een jaar na de laatste keer maaisel opbrengen (september 2022). Het organische stofgehalte is bepaald als percentage van het drooggewicht van de bodem. In eerste instantie is getest of het organische stofgehalte in de vijf maaiselbehandelingen dezelfde verschillen lieten zien tussen de bemonsteringsronden. Dat bleek niet het geval (significante datum x jaar interactie; Fig. 2.13). Waar het organische stofgehalte in de controlebehandeling maar weinig verschilde tussen de tijdstippen van bemonsteringen, was bij alle maaiselbehandelingen een meer of minder sterke toename te zien met elke volgende bemonsteringsronde (Fig. 2.13). De compostbehandeling lijkt de meest sterke en consistente stijging in organische stofgehalte in de bodem te vertonen, terwijl de behandelingen met Bokashi en soortenarm maaisel resulteerden in meer variabele organische stofgehalten in de bodem in de tijd. Soortenrijk maaisel zit daar tussenin.



Figuur 2.13 Het organische stofgehalte in de bodemlaag van 0-10 cm per behandeling tijdens zeven opeenvolgende bemonsteringsmomenten. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA met datum, maaiselbehandeling en de interactie van die twee als verklarende variabelen en plot *genest* binnen perceel als blokeffect. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns = niet significant.



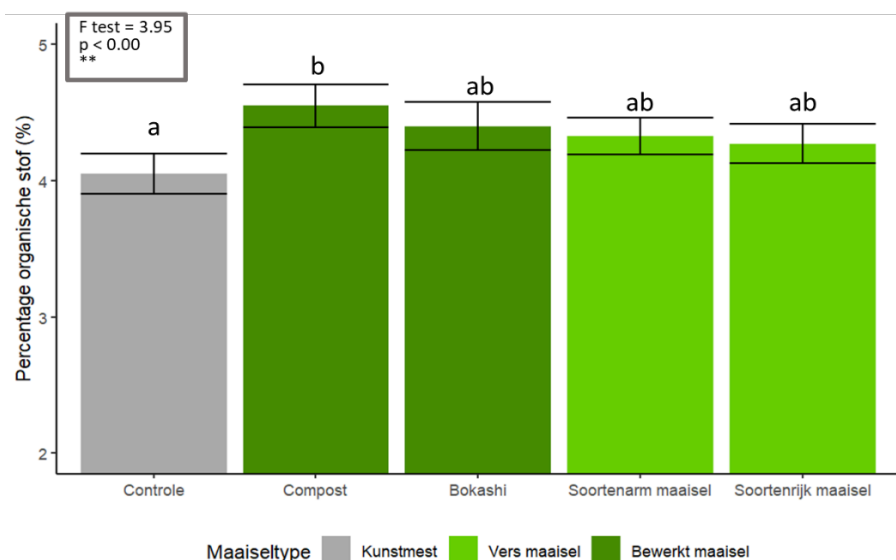
Figuur 2.14 Het organische stofgehalte in de bodemlaag van 0-10 cm in relatie tot tijd per maaiselbehandeling. Grijs omkaderd staat het resultaat van de statistische analyse. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns betekent niet significant.

Om te toetsen of de stijging in het organische stofgehalte in de bodem bij de verschillende maaiselbehandelingen significant is, is er een tweede analyse gedaan waarbij het effect van tijd is meegenomen als continue variabele (Fig. 2.14). Deze analyse is voor elke behandeling afzonderlijk gedaan en liet zien dat de stijging in organische stof in de bodem in alle maaiselbehandelingen significant was, terwijl er in de controlebehandeling geen sprake was van een stijging (geen significant effect van tijd). Aan het eind van het experiment was het organische stofgehalte overigens uitsluitend in de compostbehandeling significant verschillend van die van de controlebehandeling (Fig. 2.15). Als er dus alleen aan het eind van het experiment gemeten zou zijn geweest zou de conclusie anders zijn geweest ("alleen toediening van compost doet het organische stofgehalte van de bodem stijgen") dan bij continue metingen ("alle maaiselbehandelingen leiden tot een toename van het organische stofgehalte in de bodem door de tijd"). De ogenschijnlijk iets sterkere stijging van het organische stofgehalte in de plots met de compostbehandeling is volgens verwachting. Tijdens het composteren worden makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen al voor het opbrengen op de akkers verteerd door de organismen in de compost. Het materiaal dat als compost wordt opgebracht op de akkers bestaat dus uit moeilijker verteerbaar materiaal, met hoog lignine gehalte (Fig. 2.9) wat daardoor minder snel wordt afgebroken in de bodem en langer aanwezig blijft dan het gemiddeld makkelijk afbreekbare verse materiaal of de Bokashi.

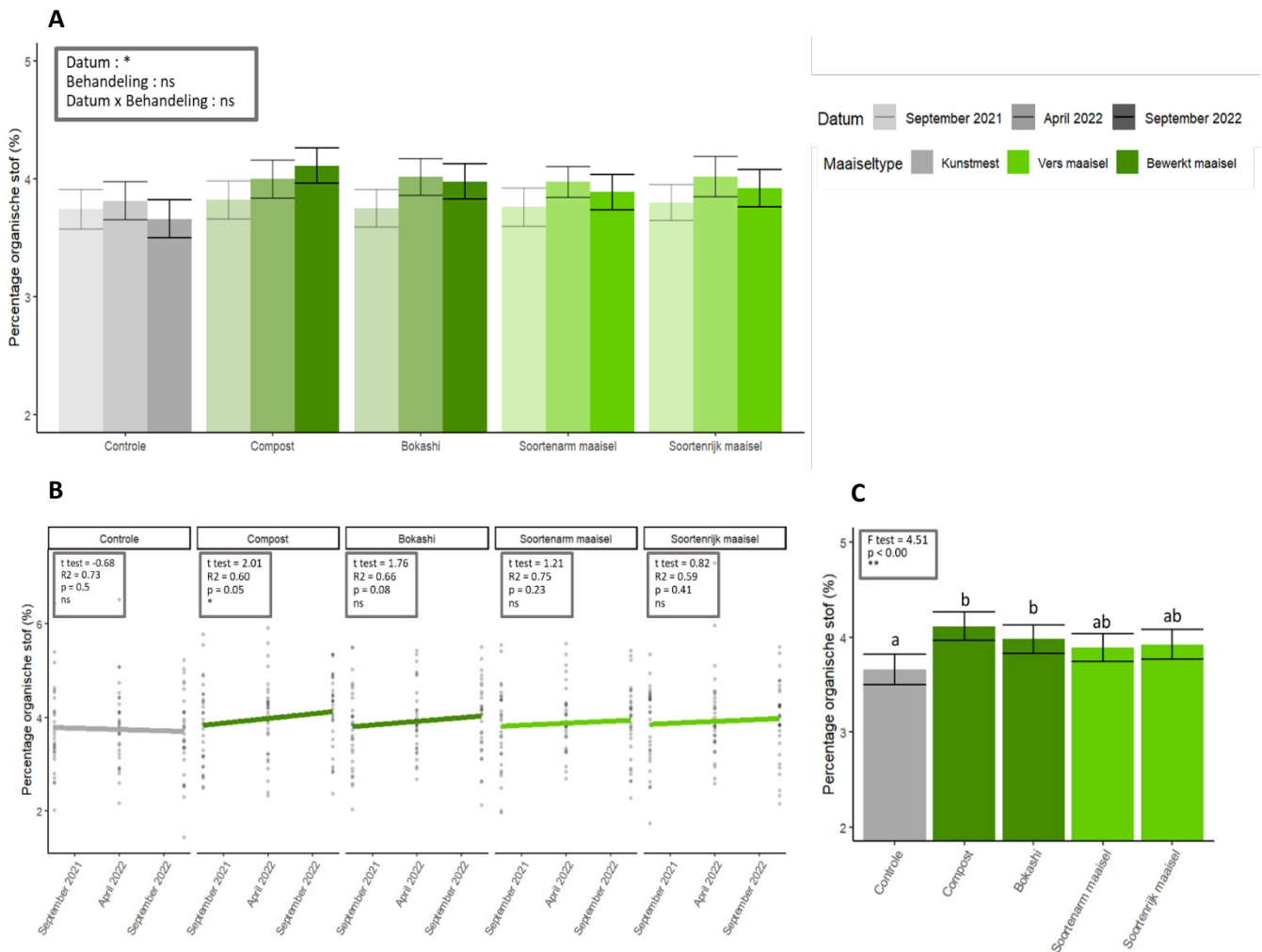
Diepere bodemlagen

Figuur 2.16 laat dezelfde analyses en grafieken zien voor het organische stofgehalte in de diepere bodem laag (10-40 cm), die we uitsluitend in het laatste jaar drie keer hebben gemeten (september 2021, april 2022 en september 2022).

De patronen in panel A zien er vergelijkbaar uit met die uit de bovenste 10 cm van de bouwvoor. In deze analyse werden echter geen significante verschillen gevonden tussen behandelingen en ook geen significante interactie tussen behandeling en datum. Dit is weinig verrassend omdat de steekproefomvang in deze analyse (3 deelmonsters per onderzoeksplot) veel kleiner was dan die van voorgaande analyse (5 deelmonsters per onderzoeksplot). Bij een analyse per behandeling met tijd als continue variabele (Fig. 2.16B) blijkt het organische stofgehalte in de bodemlaag van 10-40 cm van de compostbehandeling significant te stijgen terwijl de stijging in de Bokashi-behandeling net niet statistisch significant was. De trends in de verse maaiselbehandelingen en de controle waren niet significant maar waar de lijnen in de maaiselbehandelingen licht omhoog liepen liep deze in de controlebehandeling licht naar beneden. Ook hier moet bedacht worden dat deze resultaten gebaseerd zijn op slechts drie meetpunten en dat niet uitgesloten kan worden dat de trends in alle maaiselbehandelingen significant positief waren geweest als er gedurende de volledige drie jaar gemeten was. Dat wordt bevestigd door het feit dat bij een vergelijking van het organische stofgehalte van de behandelingen aan het eind van het experiment, zowel de compostbehandeling als de Bokashi-behandeling significant hoger scoorden dan de controlebehandeling (Fig. 2.16C). De verse maaiselbehandelingen zaten daar, zoals verwacht vanwege het makkelijker afbreekbare materiaal dat werd opgebracht, tussenin. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het jaarlijks opbrengen van 30 ton/ha maaisel leidt tot een significante toename van het organische stofgehalte in de bodem. Deze lijkt sneller te gaan bij het opbrengen van materiaal dat is voorbehandeld, zoals compost en Bokashi, dan bij vers materiaal.



Figuur 2.15 Het organische stofgehalte in de bodemlaag van 0-10 cm per behandeling aan het eind van het veldexperiment. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA waarbij gekeken is of de behandeling een significant effect had op het organische stofgehalte. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns = niet significant.



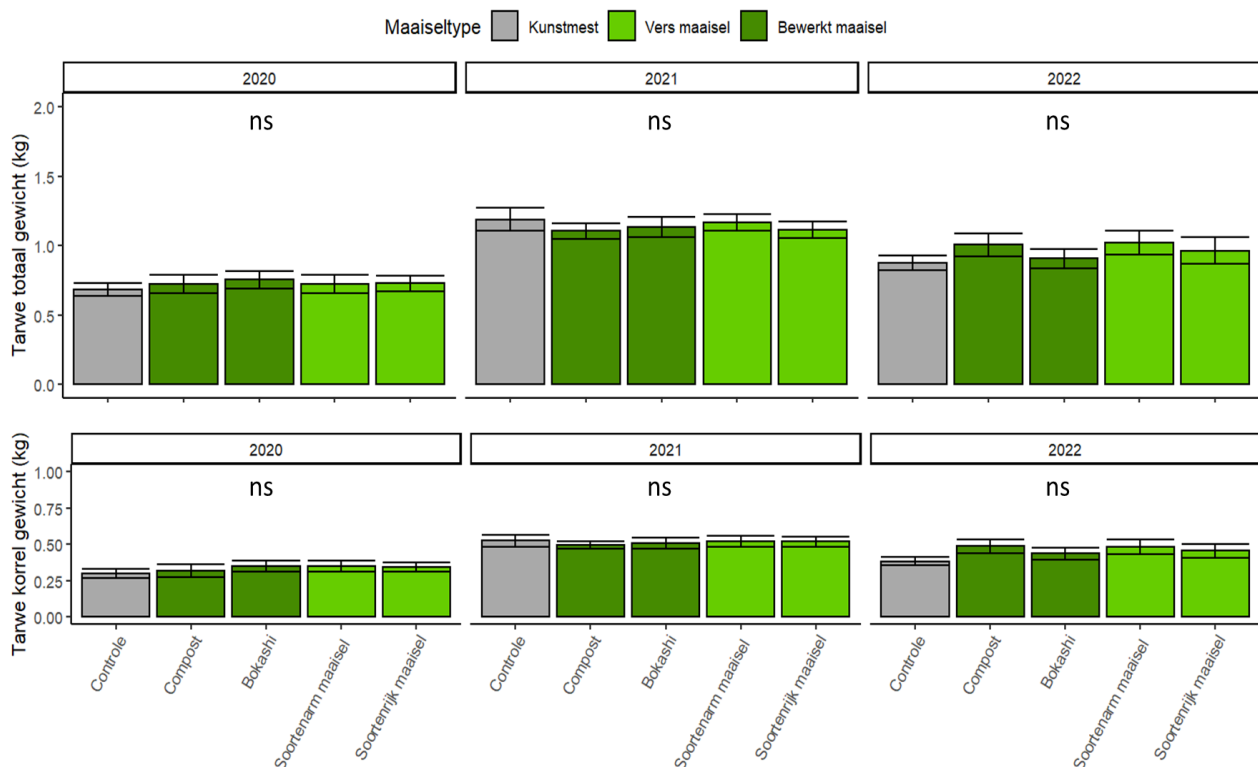
Figuur 2.16 Het organische stofgehalte in de bodemlaag van 10-40 cm. **A** Het organische stofgehalte per behandeling per bemonsteringstijdstip. **B** De trend in organische stofgehalte in de tijd voor de vijf verschillende behandelingen. **C** Verschillen in het organische stofgehalte aan het eind van het experiment. Grijs omkaderd staat het resultaat van de statistische analyses zien waarbij er gekeken is of de behandeling een significant effect had op het organische stofgehalte. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns = niet

2.3.7 Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op de gewasopbrengst?

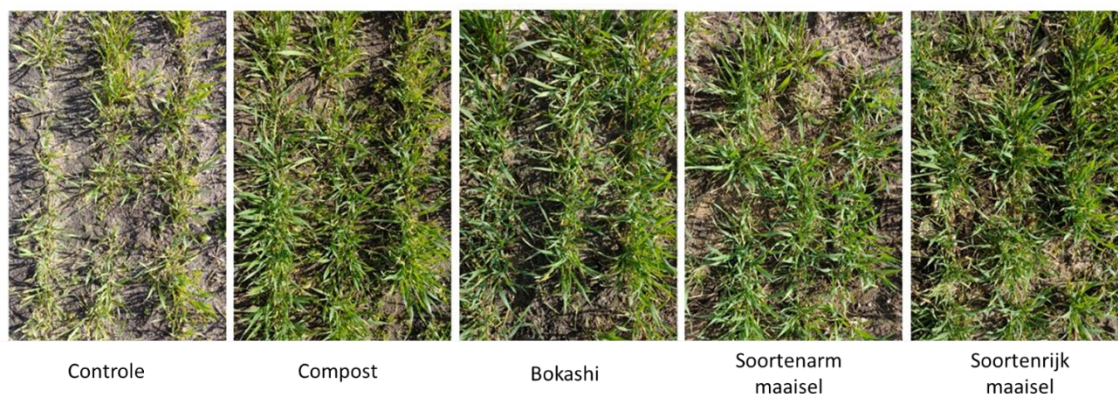
De opbrengst van tarwe verschilde sterk tussen de jaren, met lagere opbrengsten in de droge jaren 2020 en 2022 dan in 2021, een jaar met normale regenval. De korrelopbrengst noch de totaalopbrengst verschilde echter in geen enkel jaar significant tussen de behandelingen (Fig. 2.17). Interessant is dat de maaiselbehandelingen slechts de helft van de hoeveelheid kunstmest kregen die op de controlebehandeling werd opgebracht. Dit leidde dus niet tot significant lagere opbrengst, vermoedelijk vanwege de hoeveelheid stikstof die vrijkomt na mineralisatie van het opgebrachte maaisel. Het bemestende effect van het maaisel was voor het toepassen van de kunstmest ook regelmatig zichtbaar in het veld (Fig. 2.18). Vermoedelijk als gevolg van mineralisatie van het opgebrachte maaisel

was de tarwe in deze plots aanzienlijk verder ontwikkeld en groener dan in de controleplots. Na toediening van de kunstmest werden deze verschillen weer geneutraliseerd.

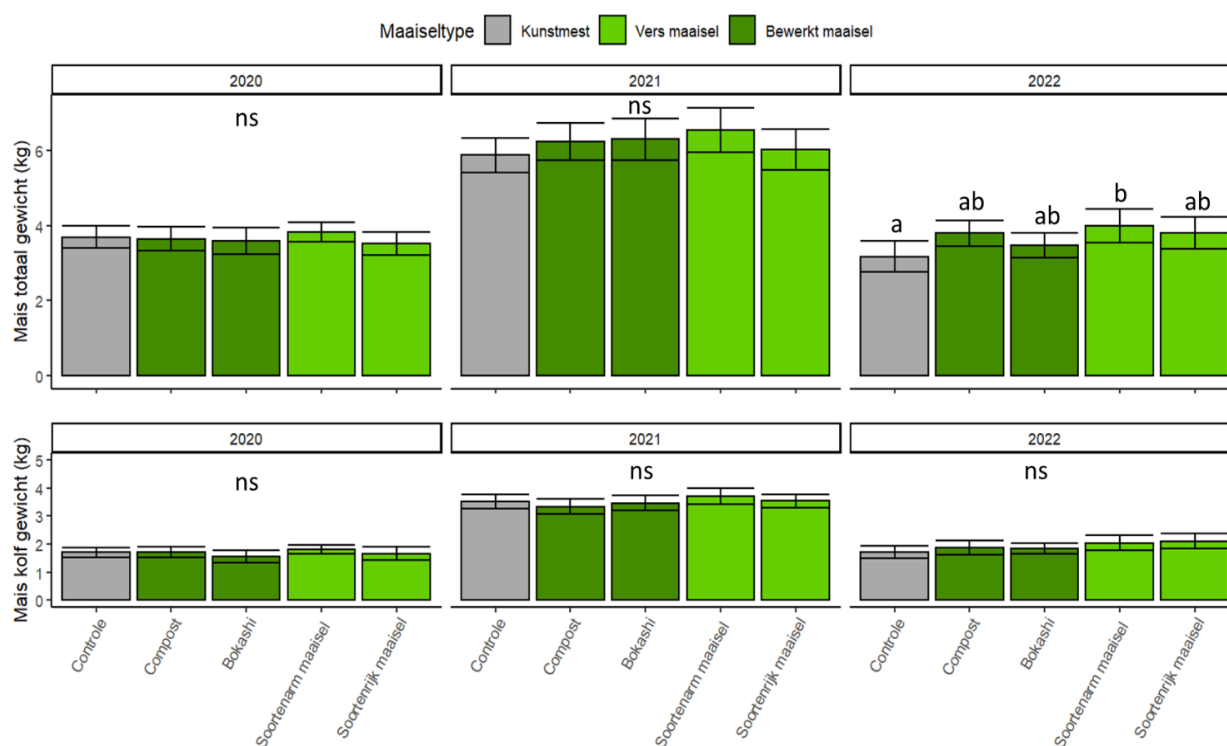
Bij de mais zien we gedeeltelijk vergelijkbare resultaten (Fig. 2.19). Wederom zien we grote verschillen tussen de jaren waarbij de plots na de droge zomers van 2020 en 2022 een substantieel lagere opbrengst hadden dan na de normale zomer van 2021. Net als in de tarwe waren er vrijwel geen significante verschillen in opbrengst tussen de behandelingen, voor zowel het kolfgewicht als het totale drooggewicht. In 2022, zien we echter dat het totaal gewicht van de mais in de soortenarme maaiselbehandeling significant hoger was dan die in de controlebehandeling (Fig. 2.19). Of dit komt door de (extra) stikstof die beschikbaar komt uit het maaisel, door een positief effect van de maaiselbehandelingen op de waterbeschikbaarheid van het gewas of door wat anders kunnen we niet zeggen. Wel kan geconcludeerd worden dat de maaiselbehandelingen zoals ze in deze studie zijn toegepast geen negatief effect hebben op de gewasopbrengst van tarwe en mais en soms zelfs een positief effect.



Figuur 2.17 De opbrengst van tarwe per behandeling per jaar uitgesplitst naar totaalgewicht en korrelgewicht. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$.



Figuur 2.18 Foto's van wintertarwe van het veldexperiment in locatie 3 vlak voor de eerste kunstmestgift in maart 2022



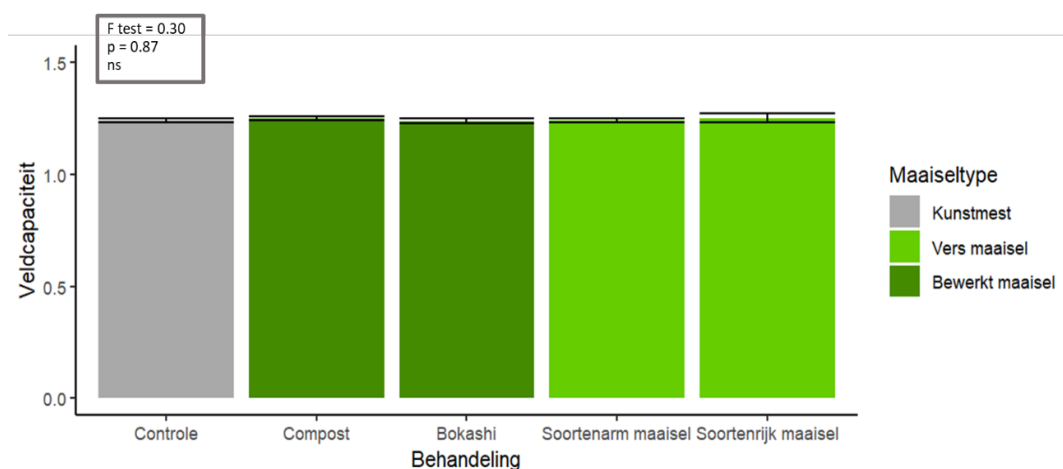
Figuur 2.19 De opbrengst van mais per behandeling per jaar uitgesplitst naar totaalgewicht en kolfgewicht. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$.

2.3.8 Wat is het effect van herhaalde toepassing van de verschillende maaiselbehandelingen op het watervasthoudend vermogen van de bodem?

Na drie jaar opbrengen van bermmaaisel verschilde het watervasthoudend vermogen van de bodem niet significant tussen de behandelingen (Fig. 2.20). Er was zelfs geen sprake van een trend met een licht hoger watervasthoudend vermogen bij de maaiselbehandelingen vergeleken met de controle. Eerder vonden (Eden et al., 2017) in een review wel een positief effect van organische toevoegingen op het watervasthoudend vermogen in landbouwbodems. In dat onderzoek ging het om studies die aanzienlijk langer duurden (≥ 9 jaar) dan de huidige studie. Mogelijk dat dit soort effecten dus pas optreden na langer opbrengen van organisch materiaal waardoor grotere verschillen ontstaan tussen controle en maaiselbehandelingen. Een andere mogelijke verklaring voor het verschil in bevindingen is dat de uitgangssituatie in de huidige studie met ongeveer 4% organische stofgehalte relatief hoog was waardoor de relatieve toename in vochtvasthoudend vermogen relatief klein was. Zo vond Eden et al. 2017 bij verschillende studies een positief effect op watervasthoudendheid maar dit was vaak bij startwaarden voor het organische stofgehalte rond de 1.5 % waardoor een stijging in het organische stofgehalte na toevoeging van het maaisel en een stijging in het watervasthoudend vermogen sneller bereikt.

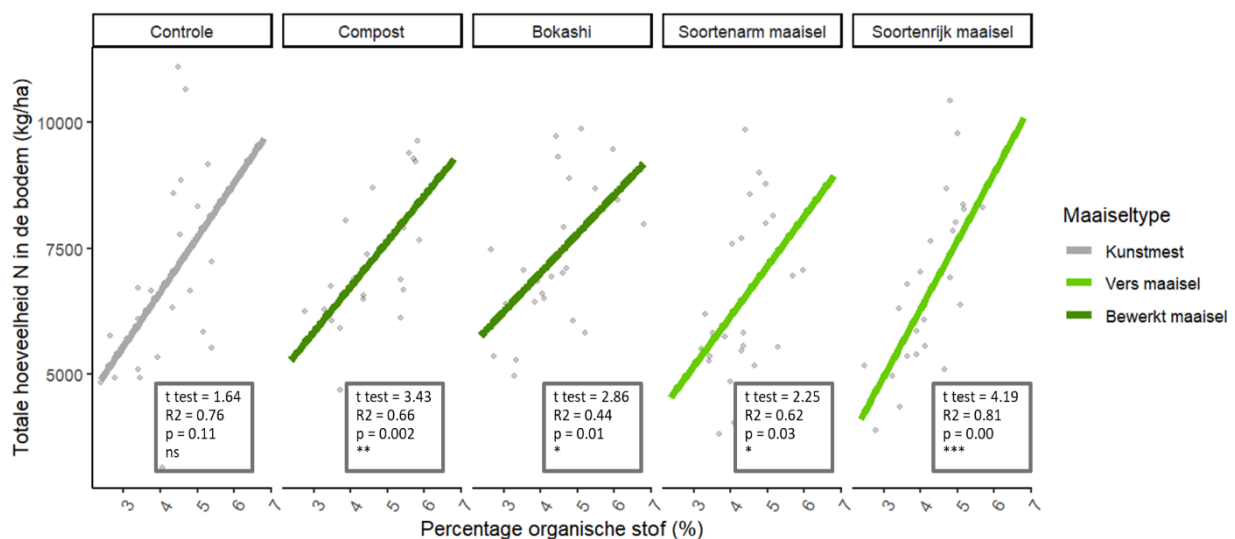
2.3.9 Wat is het effect van het meermaals toevoegen van verschillende maaiselbehandelingen op de hoeveelheden stikstof in de bodem?

Bij een verhoogd organische stofgehalte (Fig. 2.14) valt te verwachten dat de hoeveelheid stikstof die is opgeslagen in de bodem ook hoger is. In september 2022 was er inderdaad sprake van een positieve relatie tussen het percentage organische stofgehalte en de totale hoeveelheid stikstof in de bodem (Fig. 2.21). Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het verhogen van het organische stofgehalte met behulp van bermmaaisel leidt tot meer stikstofopslag in de bodem.

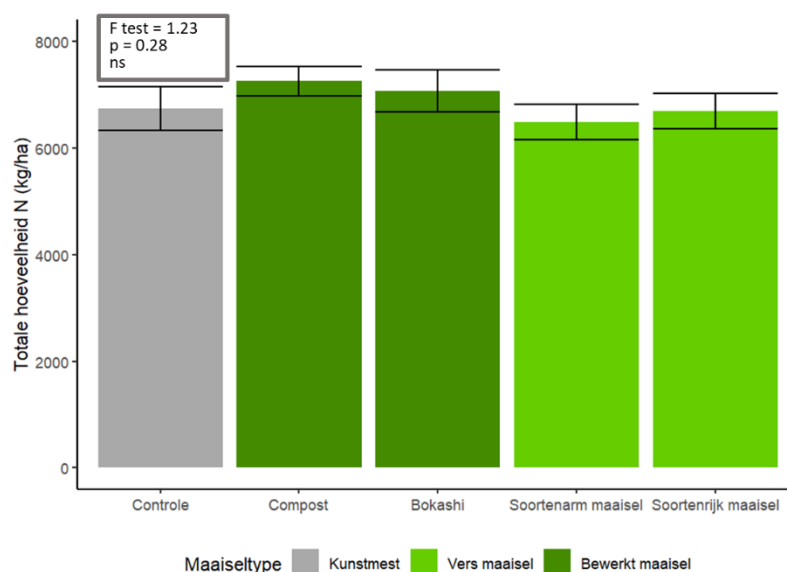


Figuur 2.20 Het watervasthoudend vermogen uitgedrukt in veldcapaciteit, na drie jaar opbrengen van 30 ton bermmaaisel per ha en de controle waarbij geen maaisel is opgebracht. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA-test. ns = niet significant.

De totale hoeveelheid stikstof in de gehele bodemkolom (0-40 cm) aan het eind van het experiment verschildte niet significant tussen de maaiselbehandelingen (Fig. 2.22). Bij de Bokashi- en de compostbehandeling waren de gemiddelden op het oog wat hoger maar bij de verse maaiselbehandelingen waren de gemiddelden van het soortenrijke maaisel en soortenarme maaisel zelfs op het oog niet verschillend van die van de controlebehandeling. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het gedurende drie jaar toevoegen van 30 ton/ha bermmaaisel de stikstofpool in de bouwvoor niet significant beïnvloedt, maar figuur 2.21 laat zien dat een stijging in het organische stofgehalte wel deze potentie heeft als de toename in organische stofgehalte in de toplaag (fig. 2.14) ook in diepere bodemlagen gaat doorwerken.



Figuur 2.21 Het organische stofgehalte in relatie tot de totale hoeveelheid stikstof in de bodem (0-40 cm) per maaiselbehandeling. Grijs omkaderd staat het resultaat van de statistische analyse. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns betekent niet significant.



Figuur 2.22 De totale hoeveelheid stikstof (N) in de gehele bodemkolom (0-40 cm) aan het einde van het experiment uitgedrukt in kg/ha. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA-test. ns = niet significant.

Hoofdstuk 3

Het effect van het opbrengen van
bermmaaisel op de weerbaarheid van
landbouwgrond tegen ziektes



Het effect van het opbrengen van bermmaaisel op de weerbaarheid van landbouwgrond tegen ziektes

3.1 Achtergrond

Organisch materiaal dat wordt toegevoegd aan agrarische bodems wordt afgebroken door micro-organismen. Toevoeging van bermmaaisel kan daarom zorgen voor een toename in het aantal en de activiteit van micro-organismen in de bodem. Dit kan vervolgens niet alleen effect hebben op de nutriëntencycli in bodems maar ook op het onderdrukken van ziektes en plagen. Plantenziektes veroorzaakt door bodemorganismen als *Pythium*, *Rhizoctonia* of *Fusarium* kunnen bijzonder schadelijke effecten hebben op de groei van planten en de opbrengst van gewassen zoals mais, tarwe of katoen met wel 50-75% reductie in gewasopbrengst (Panth et al., 2020).

Het opbrengen van bermmaaisel in verschillende vormen zou daarom invloed kunnen hebben op de weerbaarheid van bodems tegen ziektes. In een eerdere studie werd een positief effect van het toevoegen van organisch materiaal op de onderdrukking van plantenziektes gevonden, hoewel niet alle toevoegingen een positief effect hadden (Bonanomi et al., 2010). Het positieve effect bleek in belangrijke mate af te hangen van het type organisch materiaal en het moment waarop het werd opgebracht. Ons veldexperiment op de 15 locaties bood een uitstekende mogelijkheid om de potentie van bermmaaisel, zowel vers als in de vorm van compost en Bokashi, aangaande het verhogen van de weerbaarheid van bodems tegen ziektes te testen.

Onderzoeksvraag

Is de bodemziekteweerbaarheid verhoogd na eenmalig of meermaals toevoegen van verschillende maaiselbehandelingen aan de bodem?

3.2 Algemene opzet

Om het effect van het opbrengen van de vier verschillende vormen bermmaaisel op de weerbaarheid van de bodem tegen ziektes te kunnen vaststellen is gebruik gemaakt van een biotoets. Bij een dergelijke biotoets laat men een plant van een standaard soort met hoge ziektegevoeligheid groeien in de grond waarvan je de ziekte weerbaarheid wilt weten (Fig. 3.1). In ons geval werden grondmonsters gebruikt uit percelen van het veldexperiment. Elk grondmonster werd verdeeld over vier potjes (6 x 6 x 7 cm) waarna de grond in twee van de potjes werd gesteriliseerd. Vervolgens werd telkens een potjes met gesteriliseerde en een potje

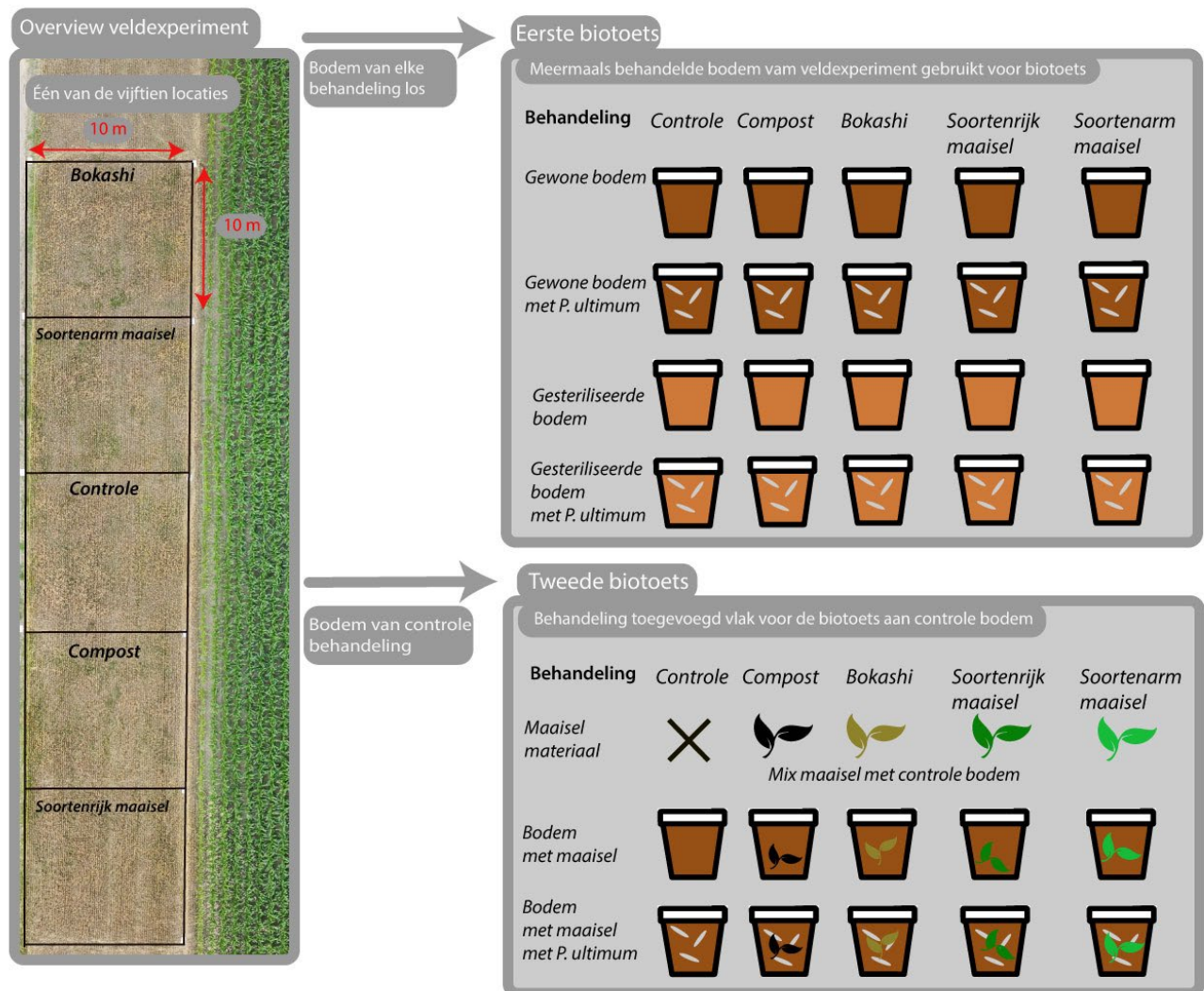


Figuur 3.1 Foto's van de biotoets die is uitgevoerd om het effect van bermmaaisel op de weerbaarheid van akkerbodems op zand tegen de plantenziekte *Pythium* te testen.

met niet-gesteriliseerde grond geïnoculeerd met de generalistische plantenziekteverwekker *Pythium ultimum*. De overige twee potjes met niet- en wel-gesteriliseerde grond werden niet geïnoculeerd. Hierdoor kan in de potjes met gesteriliseerde grond, waar het bodemleven is uitgeschakeld, het effect van uitsluitend de *Pythium* worden vastgesteld. In de potjes met niet-gesteriliseerde grond kan de invloed van het bodemleven op het effect van de *Pythium* vastgesteld worden, maar ook of er in de bodem al een andere pathogeen aanwezig was. Vervolgens werd in de grond in alle potjes tuinkers (*Lepidium sativum*) gezaaid en werden deze in een incubator gezet bij optimale groeiomstandigheden (20.5 °C, daglengte van 16 uur, 80% luchtvochtigheid). Tijdens de biotoets werd indien nodig water gegeven. Na één week werd de tuinkers afgeknipt tot bodem hoogte en werd het versgewicht gewogen. Het verschil in groei van de tuinkers op bodem met en zonder ziekte geeft de maat van ziekteweerbaarheid aan. Als er weinig verschil is tussen de biomassa van tuinkers met en zonder ziekte in de bodem geeft dat aan dat de bodem beter tegen de ziekte bestand was. Op deze wijze zijn in het najaar van 2021 twee experimenten uitgevoerd (Fig. 3.2).

Experiment 1

Het eerste experiment bestond uit een biotoets waarbij grond is gebruikt uit 10 percelen (in het veldexperiment waren dit perceel nr 2, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14 en 15) van ons veldexperiment. De selectie was gebaseerd op de locaties die ook vóór de start van het experiment al intensief werden gebruikt als landbouwgrond. Op deze percelen werd elke onderzoeksplot waarin op dat moment tarwe stond bemonsterd. De monsters zijn genomen in Oktober 2021, dus na twee jaar op rij maaisel toevoegen. Dit resulteerde in 200 potjes (10 percelen x 5 maaiselbehandelingen x 2 sterilisatie behandelingen x 2 *Pythium* behandelingen).



Figuur 3.2 Grafische weergave van de opzet van de twee biotoets-experimenten.

Experiment 2

In het tweede experiment werd specifiek gekeken naar het directe effect van het toevoegen van maaisel op de bodemziekteweerbaarheid (Fig. 3.2). Hiervoor werd grond gebruikt uit de controlebehandelingen van twee locaties, namelijk locatie nr 9 en 13 van het veldexperiment. Deze locaties werden geselecteerd op basis van het eerste experiment waarbij de zagen dat er vermoedelijk een pathogeen aanwezig was in de bodem. De bodem van locaties voor experiment 2 zijn geselecteerd omdat hier vermoedelijk weinig pathogeen druk was en daarom beter het effect van het toevoegen van maaisel konden aantonen. Aan de controlegrond van deze locaties werden in een biotoets dezelfde maaiselbehandelingen toegevoegd als in het najaar van 2021 gebruikt werden in het veldexperiment. Ook de hoeveelheid maaisel was hetzelfde als die gebruikt werd in het veldexperiment (het equivalent van 30 ton/ha). Direct na de toevoeging van het maaisel werd *Pythium* toegevoegd. Daarna werd tuinkers gezaaid en de potjes in een incubator geplaatst. Ook hier werd na één week de tuinkers geoogst en gewogen voor de bepaling van het vers gewicht. Dit experiment bevatte dus geen behandelingen met gesteriliseerde grond.

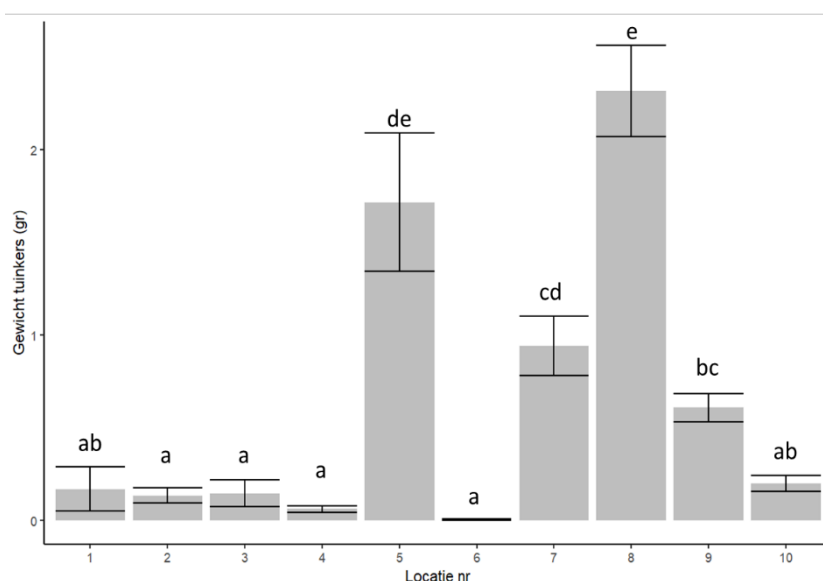
Statistische analyses

Data verwerking en analyse vond plaats met behulp van het programma R studio versie 4.1.2 (Team, 2013). Om vast te stellen wat het effect van de behandelingen was op de weerbaarheid van de bodem tegen *Pythium* hebben we zogenaamde *linear mixed effects*-modellen gebruikt. In het eerste experiment is in eerste instantie gekeken naar het effect van sterilisatie en inoculatie met *Pythium*, gemiddeld over alle maaiselbehandelingen. Hierbij werd het gewicht van tuinkers als afhankelijke variabele genomen en sterilisatie, *Pythium* inoculatie en hun interactie als verklarende variabelen. Perceel werd gebruikt als zogenaamde *random factors* om te corrigeren voor het herhaald bemonsteren van hetzelfde perceel. Omdat hieruit bleek dat sterilisatie van de grond het effect van *Pythium* inoculatie niet significant beïnvloedde, is vervolgens het effect van de maaiselbehandelingen, *Pythium* inoculatie en hun interactie geanalyseerd met vergelijkbare modellen. De data van het tweede experiment werden met eenzelfde model geanalyseerd. Het gewicht van tuinkers was wederom de afhankelijke variabele en de maaiselbehandelingen, *Pythium* inoculatie en hun interactie waren de verklarende variabelen. Perceel werd wederom gebruikt als zogenaamde *random factor*. Significantie van verschillen werd vervolgens getest met behulp van een Satterthwaite t-toets (Satterthwaite, 1946) met $\alpha = 0.05$.

3.3 Resultaten

Experiment 1

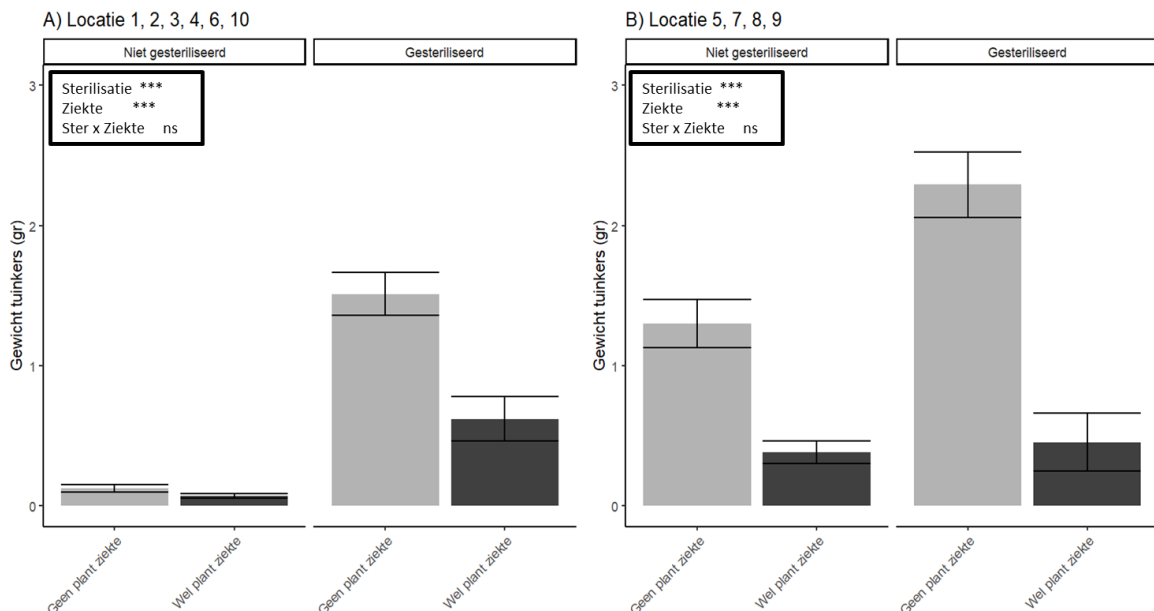
In de grond van een zestal locaties bleek het gewicht van tuinkers ook in niet met *Pythium* geïnoculeerde grond extreem laag te zijn (Fig. 3.3). Dit suggereert dat in deze grond al *Pythium* of een ander pathogeen micro-organisme aanwezig was die de groei van tuinkers beperkte. We hebben daarom een separate analyse gedaan



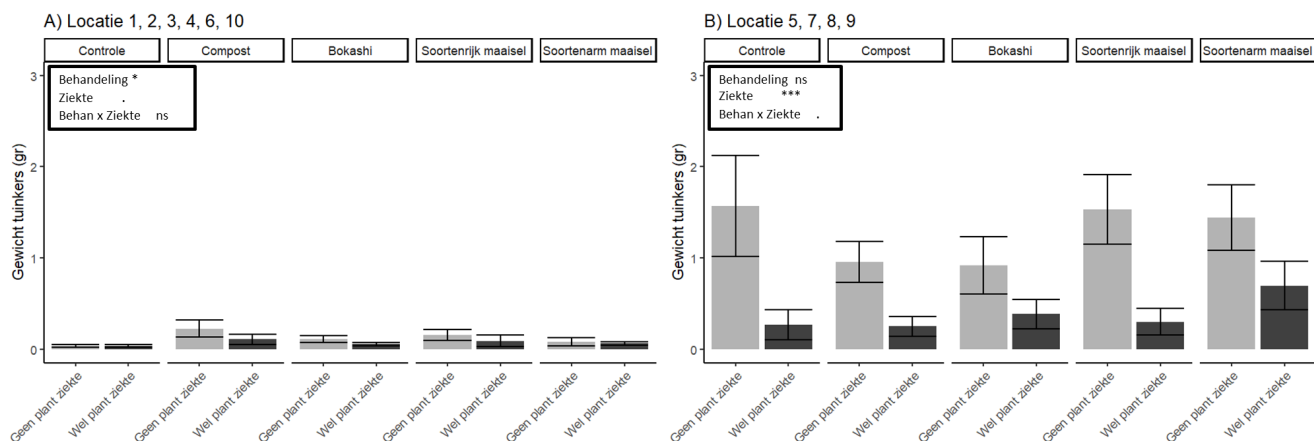
Figuur 3.3 Het gewicht van de tuinkers (in gram) gemiddeld over alle maaiselbehandelingen per locatie zonder sterilisatie van de grond of toevoeging van *Pythium*. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$.

voor locaties waarvan we vermoedden dat er al een pathogeen aanwezig was (1, 2, 3, 4, 6 en 10) en locaties waarvoor dat niet gold (5, 7, 8 en 9). Hier zagen we dat voor locaties waar we de aanwezigheid van een bodempathogeen vermoedden de biomassa van tuinkers extreem laag was maar dat het toevoegen van *Pythium* desondanks hetzelfde effect had als op tuinkers groeiend op gesteriliseerde grond waar tuinkers wel een redelijk plantgewicht bereikte (Fig. 3.4A; interactie tussen sterilisatie van de grond en inoculatie met *Pythium* niet significant). Op de overige vier locaties groeide tuinkers in alle behandelingen redelijk tot goed maar waren de effecten van de behandelingen desondanks vergelijkbaar: zowel sterilisatie van de grond (positief) als inoculatie met *Pythium* (negatief) hadden een significant effect (Fig. 3.4B). Het effect van *Pythium* was vergelijkbaar op gesteriliseerde en niet gesteriliseerde grond (geen significante interactie) en leidde tot een reductie van 75-80% in biomassa tuinkers.

Gemiddeld over de twee sterilisatiebehandelingen hadden zowel het toevoegen van *Pythium* (marginaal, negatief) als de maaiselbehandelingen (positief) een significant effect op de biomassaproductie van tuinkers, maar het effect van *Pythium* werd niet beïnvloed door de maaiselbehandelingen. Op de zes locaties waar vermoedelijk al een plantenziekte aanwezig was produceerde tuinkers in geen enkele behandeling noemenswaardige biomassa (Fig. 3.5A). Desondanks vonden we een significant behandelingseffect, waarbij de totale hoeveelheid tuinkersbiomassa op grond waaraan compost was toegevoegd significant hoger was dan die van de controlebehandeling. Die van de overige maaiselbehandelingen zaten tussen deze extremen in. Het toevoegen van *Pythium* had een significant negatief effect op de biomassaproductie. Het effect van de beide behandelingen beïnvloedde elkaar niet. Op de vier locaties waar vermoedelijk geen plantenziekte



Figuur 3.4 Het gemiddelde gewicht van tuinkers (in gram) op grond van (A) locaties 1, 2, 3, 4, 6 en 10 en (B) locaties 5, 7, 8 en 9 die wel of niet gesteriliseerd was en waar wel of niet de plantenpathogeen *Pythium* aan toegevoegd is. Grijs omkaderd staan de resultaten van de *linear mixed effects*-modellen. *** $p < 0.001$, ns betekent niet significant.

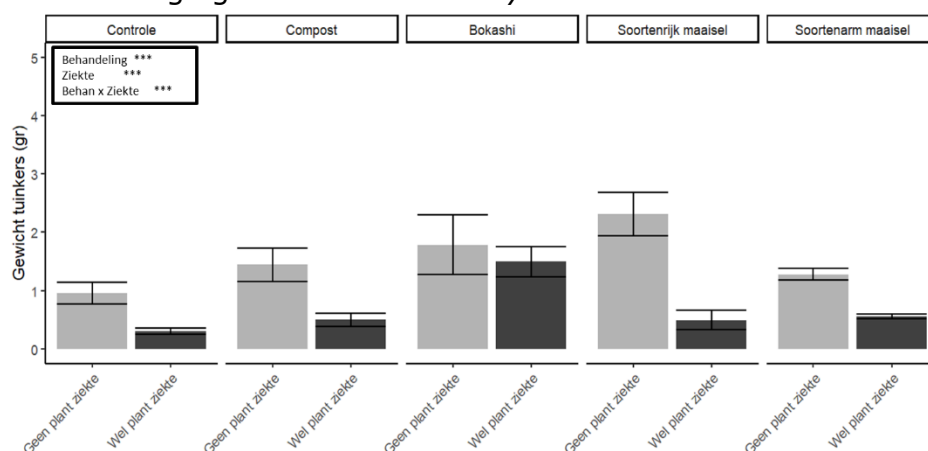


Figuur 3.5 Het gemiddelde gewicht per maaiselbehandeling van de tuinkers (in gram) op grond van (A) locaties 1, 2, 3, 4, 6 en 10 en (B) locaties 5, 7, 8 en 9 waaraan wel of geen *Pythium* is toegevoegd. Grijs omkaderd staan de resultaten van de *linear mixed effects*-modellen. . $p < 0.1$, * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, ns betekent niet significant.

in de grond aanwezig was werd het gewicht van tuinkers significant gereduceerd door toevoeging van *Pythium*, maar dat gebeurde in alle maaiselbehandelingen in gelijke mate als in de controle (Fig. 3.5B; geen significante interactie tussen maaiselbehandeling en *Pythium* toevoeging). Hier had de maaiselbehandeling geen significant effect.

Experiment 2

Het effect op de groei van tuinkers van het toevoegen van bermmaaisel vlak voor het inoculeren van de grond met *Pythium* verschilde per maaiselbehandeling (Fig. 3.6; significante interactie tussen maaiselbehandeling en *Pythium* toevoeging). Bij de Bokashi-behandeling was het drooggewicht van planten groeiend op grond met en zonder toevoeging van *Pythium* nagenoeg gelijk, terwijl deze voor de overige maaiselbehandelingen significant en met minimaal 50% gereduceerd was. Dit betekent dat toevoeging van Bokashi een *Pythium* onderdrukkende werking heeft,



Figuur 3.6 Het gemiddelde gewicht per maaiselbehandeling van de tuinkers (in gram) op grond van locaties 5 en 8 (locatie nr 9 en 13 in het veldexperiment) waaraan wel of geen *Pythium* is toegevoegd. Grijs omkaderd staan de resultaten van de *linear mixed effects*-modellen. *** $p < 0.001$.

tenminste kort na de toevoeging van Bokashi. Deze verschillen waren overigens al tijdens de biotoets zichtbaar in de groei van de tuinkers (Fig. 3.7).

3.4 Conclusies

Op zes van de tien onderzochte percelen waren hoogstwaarschijnlijk al een of meerdere plantenziektes aanwezig. Tuinkers groeiend op niet-gesteriliseerde grond van deze locaties produceerde ook zonder toevoeging van *Pythium* bijzonder weinig biomassa terwijl dit op gesteriliseerde grond wel het geval was. Het toevoegen van *Pythium* had een negatief effect op de groei van tuinkers, maar dit effect was in alle bermmaaiselbehandelingen gelijk (Fig. 3.5). Dit suggereert dat het toevoegen van bermmaaisel geruime tijd na toevoeging van dit materiaal niet leidt tot een sterkere onderdrukking van *Pythium*. Op grond van de percelen waar aanwezigheid van pathogene bodemorganismen vermoed werd, was de biomassaproductie van tuinkers in de compostbehandeling echter significant hoger dan die in de controlebehandeling. Dit positieve effect hoeft natuurlijk niet veroorzaakt te worden door de ziekte-onderdrukkende werking van compost. Omdat echter de tuinkers in de grond van de controlebehandeling afkomstig van percelen zonder inherent aanwezige pathogene bodemorganismen gemiddeld net zo veel biomassa produceerde als de maaiselbehandelingen (en de gemiddelde biomassa van de niet met *Pythium* geïnoculeerde controlebehandeling zelfs het hoogst van allemaal was; Fig. 3.5B) kunnen we een bemestend effect van de maaiselbehandelingen uitsluiten. Hiermee wordt het aannemelijker dat het effect dat weergegeven is in Fig. 3.5A verklaard wordt door een beperkte onderdrukking door bermmaaiselbehandelingen van schadelijke bodemorganismen anders dan *Pythium*.

We vonden wel een significant positief kortetermijneffect van het toevoegen van Bokashi op de onderdrukking van *Pythium* (Fig. 3.6). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de micro-organismen die gebruikt worden voor het maken van Bokashi, voornamelijk melkzuurbacteriën die nodig zijn voor de fermentatie van



Figuur 3.7 Visuele verschillen in tuinkersgroei tussen de vijf maaiselbehandelingen tijdens de tweede biotoets.

het plantmateriaal, een onderdrukkende werking hebben op deze bodem pathogeen. Eerder vonden (Shin et al., 2017) met een vergelijkbare studieopzet echter geen effect van de bij Bokashi gebruikte micro-organismen op de weerbaarheid van bodems tegen ziekten. Wel vonden ze dat gesteriliseerd Bokashi-materiaal de weerbaarheid van de bodem tegen ziektes bevorderde. Mogelijk dus dat het toevoegen van Bokashi zelf de micro-organismen in de bodem activeert die competitief werken tegen *Pythium* en dat de melkzuurbacteriën een minder belangrijke rol spelen. Een andere mogelijke verklaring voor het verschil in ziekte onderdrukkende werking van de verschillende maaiselbehandelingen zou kunnen liggen in het verschil in afbreekbaarheid van het opgebrachte materiaal. Bonanomi et al. (2010) vonden dat de afbreekbaarheid van organisch materiaal in ieder geval deels gerelateerd is aan de weerbaarheid van een bodem tegen ziektes. Toevoeging van slecht afbreekbaar organisch materiaal leidde tot een minder actief microbiom in de bodem dan toevoeging van makkelijk afbreekbaar materiaal. Deze relatie werd overigens vooral gevonden bij gebruik van compost. Gebruik van verser plant materiaal, zoals bijvoorbeeld onze Bokashi en de soortenarme en soortenrijke maaiselbehandelingen, leidde tot een meer variabele respons in de ziekte onderdrukkende werking van het toevoegen van bermmaaisel (Bonanomi et al., 2010).

Op basis van de resultaten van deze studie en de beschikbare literatuur kan geconcludeerd worden dat het toevoegen van bermmaaisel in bepaalde vormen en onder bepaalde omstandigheden soms een licht positief effect heeft op het onderdrukken van bepaalde bodempathogenen. De in deze studie gebruikte methode is vermoedelijk aanzienlijk gevoeliger dan de gemiddelde praktijksituatie. De kiemplantfase is over het algemeen de meest kwetsbare fase van een plant waarin deze het meest vatbaar is voor ziekten en plagen. Verwacht mag worden dat goed verzorgde gewassen minder last zullen hebben van bodempathogenen dan tuinkers die opgekweekt is onder de huidige proefomstandigheden. Dat bleek ook wel uit de resultaten van het veldexperiment waarin voor Nederland normale tarwe- en maisopbrengsten werden behaald ondanks het feit dat de biotoetsen lieten zien dat op zes van de locaties bodempathogenen in de grond voorkwamen. Daar staat tegenover dat in de praktijk meer plantenziekten in de bodem voorkomen dan *Pythium* en dat op basis van de huidige studie over die andere ziektes geen uitspraken gedaan kunnen worden. Een voorzichtige conclusie is misschien dat in eerste instantie niet te veel verwacht worden van de onderdrukkende werking van bermmaaisel op bodempathogenen bij toepassingen in de praktijk.

Hoofdstuk 4

Het relatieve belang van kwaliteit en kwantiteit van bermmaaisel voor gewas en bodem



Het relatieve belang van kwaliteit en kwantiteit van bermmaaisel voor gewas en bodem

4.1 Achtergrond

Het gebruik van organische reststromen heeft in de praktijk niet altijd hetzelfde effect op bodem en gewas. Niet alleen op de lange termijn, maar ook kort na toevoegen van organisch materiaal kunnen effecten op bijvoorbeeld nutriëntencycli en gewasopbrengst enorm variëren. Eerder onderzoek schrijft die verschillen toe aan bepaalde eigenschappen van het organisch materiaal waarbij vooral de verhouding tussen koolstof (C) en stikstof (N) belangrijk lijkt te zijn (Kaleem Abbasi et al., 2015; Nicolardot et al., 2001). De C:N-verhouding kan wel gezien worden als een indicator van de kwaliteit van het maaisel. De C:N-verhouding bepaalt in sterke mate de snelheid van decompositie van organisch materiaal en hoeveel stikstof daarbij vrijkomt (Flavel and Murphy, 2006). Bij de afbraak van koolstof door micro-organismen wordt stikstof verbruikt. Afbraak van organisch materiaal met een hoge C:N-verhouding kan leiden tot een verlaging van de hoeveelheid beschikbare stikstof voor de plant omdat alle stikstof die vrijkomt bij afbraak van organisch materiaal onmiddellijk wordt opgenomen door de micro-organismen. Dit proces heet stikstofimmobilisatie. Omdat in materiaal met een lage C:N-verhouding meer stikstof zit dan wordt opgenomen door de micro-organismen, wordt er stikstof in minerale vorm vrijgemaakt die kan worden opgenomen door de plant (stikstof-mineralisatie).

Voor de praktische toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar op zandige akkers is het belangrijk meer inzicht te hebben in de C:N-verhoudingen die leiden tot immobilisatie dan wel mineralisatie en waar het ene overgaat in het andere. Stikstofmineralisatie is wenselijk in periodes van gewas groei om aan de stikstofbehoefte van het gewas te voorzien. Het is echter onwenselijk in periodes zonder gewasgroei omdat de vrijgekomen stikstof dan kan worden omgezet in gasvormige verbindingen (neutraal N_2 of broeikasgas N_2O) of kan uitspoelen naar het grondwater met schadelijke gevolgen voor (drink)waterkwaliteit of eutrofiering van nabijgelegen natuurgebieden. Naast de C:N-verhouding van het maaisel is de hoeveelheid opgebracht materiaal mogelijk ook van invloed op de effecten ervan op het vrijkomen van minerale stikstof. Zo is het niet zeker of de hoeveelheid stikstof die nodig is voor afbraak van organisch materiaal rechtlijnig stijgt met de hoeveelheid materiaal of dat bij grote hoeveelheden juist relatief meer of minder stikstof nodig is dan bij kleine hoeveelheden.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van kwaliteit en kwantiteit van het maaisel hebben we een potexperiment uitgevoerd waarbij we tarweplanten hebben laten groeien op grond waarin organisch materiaal was toegevoegd in 18

verschillende combinaties van C:N-verhouding en hoeveelheid. Hiermee probeerden we de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- 1) *Wat is het directe en indirecte effect van de C:N-verhouding en de hoeveelheid bermmaaisel op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie?*
- 2) *Hoe verhoudt het effect van bermmaaisel zich ten opzichte van reguliere vormen van bemesting op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie?*

4.2 Opzet experiment

Het potexperiment liep van januari tot juni 2020 op het proefbedrijf van Wageningen Universiteit & Research. De potten stonden onder een afdak zodat de temperatuur en de luchtvochtigheid mee kon fluctueren met die van de buitenlucht maar de waterbeschikbaarheid gecontroleerd kon worden (Fig. 4.1). Voor deze proef werd zandige landbouwgrond uit de omgeving van Wageningen gebruikt. De potten bestonden uit PVC buizen (40 cm hoog, diameter 20 cm) met een open onderkant die werd afgedekt met worteldoek, en stonden elk op een eigen schaal. Door de halfopen onderkant was het mogelijk eventueel uitspoelend water op te vangen zodat we konden bepalen hoeveel stikstof er uitspoelde. In de potten werd tarwe (*Triticum aestivum*) gezaaid in de grond met de maaiselbehandelingen (zie hieronder) of in onbehandelde grond die gebruikt werd voor de controles. Hierbij werd een plantdichtheid gebruikt die overeenkomt met de praktijk, wat resulteerde in 10 plantjes per pot.

Behandelingen

Als basis voor de behandelingen werd bermmaaisel gebruikt dat in september 2019



Figuur 4.1 Een fotografische impressie van het potexperiment.

in de wegbermen van de gemeente land van Cuijk was verzameld (vers soortenarm maaisel). Om de C:N-verhouding van dit maaisel te manipuleren werd het gemengd met stro (C:N van 310.7) om de C:N-verhouding te verhogen en met drijfmest (C:N van 7.3) om de C:N-verhouding te verlagen. Op deze wijze werd organisch materiaal aan de grond toegevoegd met zes verschillende C:N-verhoudingen: 10, 20, 30, 40, 50 en 60. Van elke C:N-verhouding werd organisch materiaal toegediend in drie hoeveelheden die neerkwamen op het equivalent van 10, 30 en 50 ton/ha. Het experiment bevatte combinaties van alle niveaus van beide behandelingen, in totaal dus 18 combinaties van C:N-verhouding en hoeveelheid waarbij elke behandelingscombinatie in vijf herhalingen aanwezig was. Elke behandelingscombinatie werd één week voor zaaien van de tarwe aan de potten toegevoegd en gemengd met de bovenste 10 cm van de bodem zoals over het algemeen ook in de praktijk gebeurt.

Het effect van deze maaiselbehandeling werd vergeleken met een aantal controlebehandelingen. Een eerste controle bestond uit bemesting met kunstmest (KAS, 24% N, 50:50 nitraat en ammonium) toegepast in drie niveaus: het equivalent van 21, 80 en 164 kg N per ha. De tweede controle bestond uit bemesting met drijfmest: het equivalent van 80 kg N per ha. De kunstmest en drijfmest behandelingen kwamen voor in zeven herhalingen en werden aan de potten toegediend na opkomst van de tarwe. Een derde controle bestond uit potten met tarwe die niet bemest werden zodat kon worden bepaald hoeveel stikstof beschikbaar kwam door mineralisatie. Tenslotte bestond de vierde controle uit onbemeste potten zonder planten. Beide onbemeste controles waren aanwezig in zes herhalingen.

Regenbui simulaties

Om te bepalen hoeveel uitspoeling van stikstof er plaatsvond zijn er tijdens het experiment meerdere regenbuien gesimuleerd. In zes-wekelijkse intervallen werden in totaal drie (zware) regenbuien van 20 mm gesimuleerd. Vertaald naar het oppervlak van de potten werd voor elke gesimuleerde regenbui 750 ml gegeven wat verspreid over drie uur werd toegediend in drie giften van elk 250 ml water. De hoeveelheid was gebaseerd op data van een nabijgelegen weerstation van het KNMI (KNMI, n.d.). De dag na een gesimuleerde regenbui werd eventueel uitgespoeld water uit de schalen onder de potten verzameld en gewogen. Hiermee werd vervolgens het percentage toegediend water berekend dat werd vastgehouden in de pot. Een deelmonster van het verzamelde water werd ingevroren waarna een dag later de concentratie van stikstof geanalyseerd werd (zie hieronder).

4.3 Meetmethodes

Gewas

Aan het eind van het experiment werden de tarweplanten per pot afgeknijpt,

gedurende drie dagen gedroogd bij 70 °C en gewogen. Het plantgewicht per pot werd gebruikt als indicator voor gewasopbrengst.

Bodem

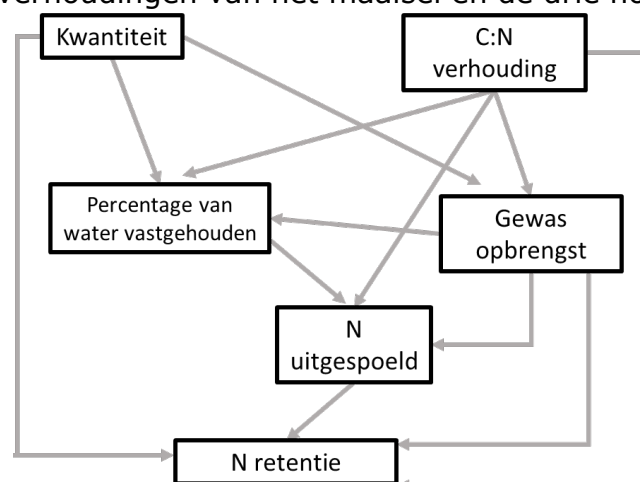
Om vast te stellen hoeveel minerale N er aan het eind van het experiment nog aanwezig was in de grond zijn na oogst van de tarweplanten in elke pot vijf bodemonsters gestoken met een grondboor en samengevoegd tot een mengmonster. In deze mengmonsters werd de concentratie minerale N bepaald in een 0.01 ml/L CaCl_2 oplossing met behulp van een *segmented flow-analyser* (Temminghoff, 2010).

Uitgespoelde N

De N concentratie in watermonsters die verzameld zijn na de gesimuleerde regenbuien werden op een vergelijkbare manier geanalyseerd als de bodem monsters. Een vaste hoeveelheid water werd opgelost in een CaCl_2 oplossing waarna de N concentratie met een *segmented flow-analyser* werd bepaald (Temminghoff, 2010). Middels het gewicht van het uitgespoelde water kon de absolute hoeveelheid uitgespoelde stikstof berekend worden. Deze hoeveelheden werden voor alle drie de regenbuisimulaties bij elkaar opgeteld om te komen tot een totale hoeveelheid N die is uitgespoeld gedurende het gehele experiment.

Statistische analyse

Data verwerking en analyse werd gedaan met R studio versie 4.1.2 (Team, 2013). Om de directe en indirecte effecten op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie van de C:N-verhouding en de hoeveelheid maaisel te bepalen is gebruikt gemaakt van een *Structural Equation Model* (SEM). In deze analyse is uitsluitend gebruik gemaakt van data afkomstig uit de potten met de maaiselbehandelingen en zijn de controles buiten beschouwing gelaten. De externe factoren in dit model waren de C:N-verhoudingen van het maaisel en de drie hoeveelheden maaisel die



Figuur 4.2 Het a priori-model dat gebruikt is voor de analyse met het *Structural Equation Model*

zijn gemengd met de grond. De afhankelijke interne factoren waren de gewasopbrengst, percentage vastgehouden water, uitgespoeld N en N-retentie (de hoeveelheid minerale stikstof in de grond na oogst van het gewas). Voor de analyse werd een concept model gemaakt (Fig. 4.2) waarbij de pijlen tussen de variabelen de relaties weergeven. Na het experiment werd de data in het model toegepast en werd er gekeken of het model een goede fit weergaf ($0 \leq \chi^2$, vrijheidsgraden ≤ 2 en $P > 0.05$).

In een tweede analyse werd het effect van de behandelingen, inclusief de controles, geanalyseerd door middel van *Linear Mixed Effects Models* met gewasopbrengst, uitgespoeld N en N-retentie als responsvariabelen en de verschillende behandelingen als verklarende variabelen. *One-way ANOVA's* en *Post-hoc Tukey tests* werden vervolgens gebruikt om te toetsen of verschillen tussen behandelingen statistisch significant waren.

Tenslotte is geanalyseerd of de relatie tussen respectievelijk gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie en de hoeveelheid toegediende N verschilde tussen de verschillende behandelingen. In deze analyse werd de hoeveelheid stikstof die met de behandelingen werd toegediend (continue variabele), de C:N-verhouding van de behandeling en hun interactie gebruikt als verklarende variabelen en gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie als responsvariabelen. Significantie van verschillen werd vervolgens getest met behulp van een Satterthwaite t-toets (Satterthwaite, 1946).

4.4 Resultaten en discussie

4.4.1 Effecten van de C:N-verhouding en de hoeveelheid bermmaaisel op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie

De resultaten van de *Structural Equation Model* duiden er op dat naarmate er meer maaisel werd toegevoegd de biomassa van het gewas minder werd (Fig. 4.3, rode pijl) en de minerale N in de bodem aan het eind van het experiment toenam (groene pijl). De C:N-verhouding van het maaisel was significant negatief gerelateerd aan gewasopbrengst. Indirecte effecten van het opbrengen van maaisel liepen uitsluitend via de gewasopbrengst. Een lagere gewasopbrengst leidde tot meer water dat werd vastgehouden in de bodem en tot meer minerale N die aan het eind van het experiment nog aanwezig was in de bodem. De overige relaties waren niet statistisch significant.

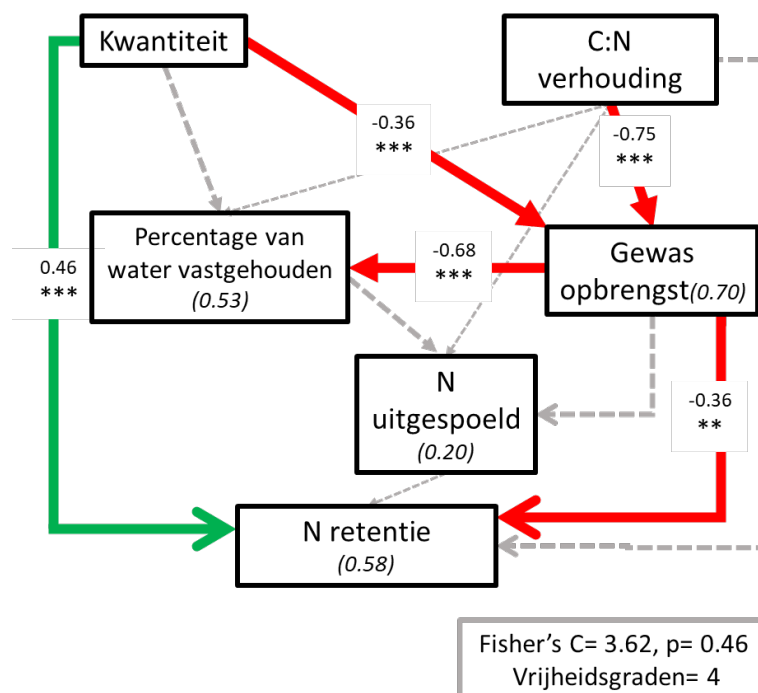
De gewasopbrengst werd dus zowel door de hoeveelheid maaisel als de C:N-verhouding van het maaisel negatief beïnvloed. Dit duidt er op dat de effecten elkaar versterken. Maaisel met een hoge C:N-verhouding leidt tot N-immobilisatie waarbij meer maaisel zorgt voor meer immobilisatie. Over het algemeen is het watervasthoudend vermogen positief gecorreleerd met het percentage organisch stof in de bodem. Onze resultaten lieten echter geen positief verband zien tussen de hoeveelheid ingebracht organisch materiaal en de hoeveelheid water die werd vastgehouden in de potten tijdens de regenwatersimulaties. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt doordat het indirecte effect via het gewas sterker was. Mogelijk

dat de beter doorwortelde bodemkolom in de potten het makkelijker maakte voor water om door de bodemkolom heen te zakken en de bodem van de potten te bereiken.

De cumulatieve hoeveelheid uitgespoelde stikstof tijdens het experiment werd door geen enkele factor beïnvloed: niet door de C:N-verhouding van het maaisel, niet door de gewasopbrengst en niet door het watervasthoudend vermogen van de grond. De hoeveelheid stikstof die aan het eind van het experiment nog in de bodem aanwezig was (N-retentie) werd daarentegen positief beïnvloed door de hoeveelheid opgebracht maaisel waarschijnlijk omdat met meer maaisel meer stikstof werd aangevoerd. De N-retentie werd negatief beïnvloed door gewas opbrengst wat niet verassend is aangezien een beter groeiend gewas meer stikstof opneemt.

4.4.2 Het effect van bermmaaisel ten opzichte van reguliere vormen van bemesting op gewasopbrengst, N-uitspoeling en N-retentie

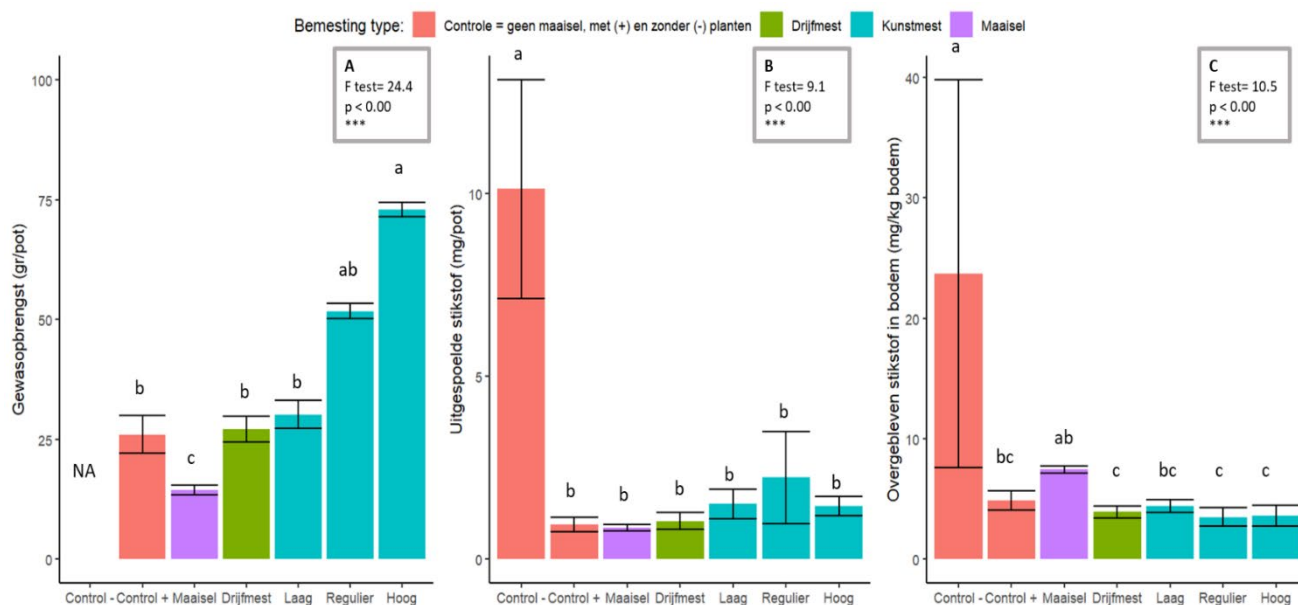
Het drooggewicht van tarwe was significant hoger in de potten met de hoogste kunstmestgift dan in potten van alle andere behandelingen behalve die van de reguliere kunstmestgift. Daarnaast was het gemiddelde drooggewicht van de tarweplanten significant lager in de potten met de maaiselbehandelingen (alle



Figuur 4.3 De resultaten van het *Structural Equation Model* naar de relaties tussen de C:N-verhouding en hoeveelheid maaisel en gewasopbrengst, percentage vastgehouden water, N uitgespoeld en N retentie. Groene pijlen geven positieve relaties aan, rode pijlen geven negatieve relaties aan en grijze pijlen zijn niet significant. Getallen op significante pijlen geven gestandaardiseerde coëfficiënten aan waarbij de significantie is aangegeven met asterisken. Tussen haakjes weergegeven is de verklaarde variatie (R^2). Grijs omkaderd staat het resultaat van de Fisher's exact-toets, gebruikt om het model te valideren, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$.

maaiselbehandelingen op een hoop) dan in die van alle ander behandelingen (Fig. 4.4A). Opmerkelijk is dat zelfs onbemeste tarweplanten significant meer biomassa produceerden dan planten op grond waaraan maaisel was toegevoegd. Dit suggereert dat niet alleen de stikstof uit het organisch materiaal wordt geïmmobiliseerd door bodemorganismen, maar ook stikstof die al in de bodem zelf aanwezig was.

Uitspoeling van stikstof was hoog in potten zonder planten (en zonder mestgift) en verschilde significant van alle overige behandelingen waarin de uitspoeling vergelijkbaar laag was (Fig. 4.4B). Het bemesten van beplante potten met gemakkelijk beschikbare stikstofbronnen zoals kunstmest of drijfmest leidde dus niet tot meer uitspoeling dan toevoegen van bermmaaisel wat slechter toegankelijk stikstof bevat die gemiddeld ook nog eens tot stikstofimmobilisatie leidt. De aanwezigheid van plantenwortels die stikstof opnemen zodra het beschikbaar komt lijkt dus de belangrijkste factor te zijn die bepaalde of er uitspoeling van stikstof plaatsvond. Dit werd bevestigd door de hoeveelheid minerale stikstof die aan het eind van het experiment nog in de bodem aanwezig was. Die was significant hoger in de onbemeste controlebehandeling zonder planten dan in alle andere behandelingen met uitzondering van de maaiselbehandelingen. In de maaiselbehandelingen was meer stikstof overgebleven in de bodem dan in de kunstmest- en drijfmestbehandelingen. Stikstof uit het relatief moeilijk afbreekbare maaisel komt meer geleidelijk en later beschikbaar voor planten dan stikstof uit kunstmest en drijfmest. Dit heeft in ons experiment mogelijk tot gevolg gehad dat er in de maaiselbehandelingen relatief veel stikstof vrijkwam nadat het gewas al aan het afsterven was waardoor deze niet alle beschikbaar gekomen stikstof meer opnam. De resultaten gepresenteerd in Fig. 4.4 vergelijken de verschillende behandelingen zonder rekening te houden

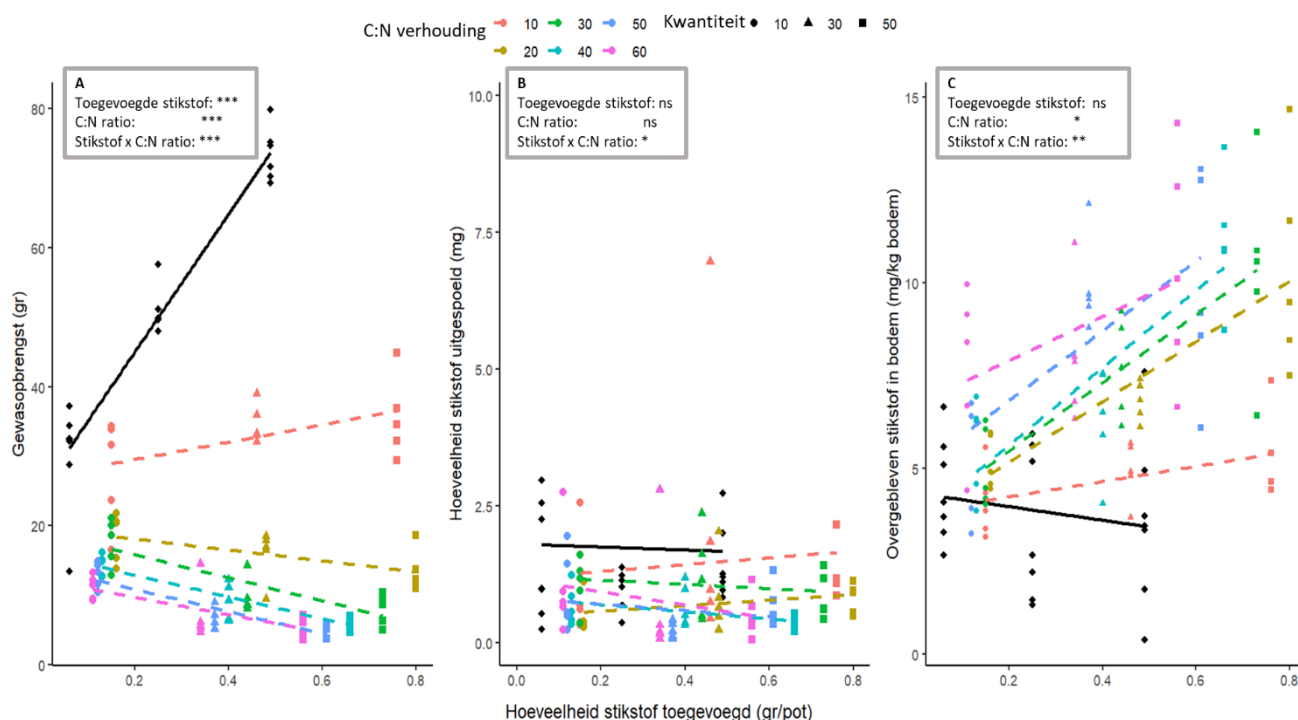


Figuur 4.4. Het effect van opbrengen van maaisel en het toedienen van kunstmest en drijfmest vergeleken met verschillende controlebehandelingen op (A) gewasopbrengst, (B) uitgespoelde stikstof en (C) overgebleven stikstof in de bodem. Weergegeven is het gemiddelde \pm de standaardfout. Verschillende letters geven een significant verschil weer bij $p < 0.05$. Grijs omkaderd staat het resultaat van de ANOVA-test.

met het feit dat met de ene behandeling veel meer stikstof wordt toegevoegd dan met de andere behandeling. Figuur 4.5 geeft weer of het drooggewicht van tarwe, de uitspoeling van stikstof en de hoeveelheid stikstof die overbleef in de grond aan het eind van het experiment op dezelfde manier veranderde naarmate er meer stikstof werd toegediend met de verschillende behandelingen. Dat was niet het geval, blijktens de significante interacties tussen de hoeveelheid toegevoegde stikstof en behandeling voor alle drie de responsvariabelen. Dit wordt het mooist geïllustreerd door de respons van gewasopbrengst (Fig. 4.5C). Meer stikstof toegediend als kunstmest leidt tot de verwachte positieve relatie met gewasopbrengst. Meer stikstof toegediend als maaisel met een C:N-verhouding van 10 leidt ook nog tot een stijgende lijn hoewel deze relatie veel minder positief is. Bij maaisel met hogere C:N-verhoudingen slaat de trend om in lagere opbrengsten bij meer stikstof.

Hoewel de interactie tussen de maaiselbehandelingen en de hoeveelheid toegevoegde stikstof ook statistisch significant was, waren de verschillen in de hoeveelheid uitgespoelde stikstof een stuk minder duidelijk tussen de behandelingen (Fig. 4.5B). Dit gold voor zowel de aard van de relatie (hellingshoek van de lijnen) als de hoeveelheid (gemiddelde hoogte van de lijnen).

De hoeveelheid overgebleven stikstof in de bodem aan het eind van het experiment toonde wel duidelijk verschillende relaties met toegevoegd stikstof voor de verschillende behandelingen (Fig. 4.5C). Het patroon was vrijwel het spiegelbeeld van het patroon van de gewasopbrengst. Toediening van meer



Figuur 4.5 De relaties tussen (A) gewasopbrengst, (B) uitgespoelde stikstof en (C) overgebleven stikstof in de bodem en de hoeveelheid stikstof die is toegevoegd via de verschillende maaiselbehandelingen (gekleurde punten en lijnen) en de kunstmestbehandeling (zwarte punten en lijnen). In deze analyse zijn de data van de drijfmestbehandeling en de controles buiten beschouwing gelaten. Grijs omkaderd staan de resultaten van de *linear mixed effects*-modellen. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns betekent niet significant.

stikstof in de vorm van kunstmest leidde tot minder overgebleven stikstof in de bodem. Toediening van meer stikstof in de vorm van maaiselbehandelingen leidde juist tot meer overgebleven stikstof in de bodem, waarbij gemiddeld genomen de hoeveelheid overgebleven stikstof ook toenam met de C:N-verhouding van het maaisel. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het eerder beschreven proces dat stikstof uit relatief moeilijk afbreekbaar maaisel meer geleidelijk en later beschikbaar komt dan stikstof uit kunstmest en drijfmest waardoor met toenemende hoeveelheden en C:N-verhoudingen relatief steeds meer stikstof vrijkwam nadat het gewas al aan het afsterven en deze dus niet meer kon opnemen.

4.5 Conclusies

Onze resultaten laten zien dat de bepalende factor voor stikstofuitspoeling de aanwezigheid van (wortelstelsels van) planten is. Het beste bewijs hiervoor is dat uit onbemeste potten zonder planten ongeveer vier keer meer stikstof uitspoelde dan uit (zwaar) bemeste potten met planten. Deze resultaten ondersteunen de huidige verplichting in het kader van het zesde actieprogramma van de Nitraatrichtlijn om op zand en lössgrond, na teelt van mais en aardappel (twee gewassen die relatief veel stikstof nalaten in de bodem) vanggewassen te telen (zie ook Dekkers and Haagsma, 2021; Thapa et al., 2018). Als na de oogst onmiddellijk volg- of vanggewassen worden gezaaid mag dus verwacht worden dat het toepassen van bermmaaisel als bodemverbeteraar de uitspoeling van stikstof niet verder zal beïnvloeden, in positieve dan wel negatieve zin.

Het toevoegen van bermmaaisel leidde op de korte termijn van het experiment tot een significant lagere gewasopbrengst. Dit negatieve effect nam ten opzichte van kunstmest toe naarmate de C:N-verhouding van het materiaal hoger werd. Dit duidt er op dat, gedurende de relatief korte periode die het experiment in beslag nam, er voornamelijk stikstof werd geïmmobiliseerd, niet alleen uit het maaisel maar ook uit de grond. Het omslagpunt van immobilisatie naar mineralisatie vonden we bij C:N-verhoudingen tussen de 10 en 20 wat overeenkomt met eerdere bevindingen (Kaleem Abbasi et al., 2015; Nicolardot et al., 2001). De hoeveelheid beschikbaar stikstof in de bodem aan het eind van het experiment was juist hoger na toepassing van maaiselbehandelingen en nam toe met C:N-verhoudingen van het ingewerkte materiaal. Dit is waarschijnlijk het gevolg geweest van het proces waarbij de stikstof in het maaisel tijdens de vertering door micro-organismen in de bodem eerst wordt geïmmobiliseerd door micro-organismen en pas als die micro-organismen bij verdergaande vertering weer afsterven gemineraliseerd wordt, waardoor het beschikbaar komt voor het gewas (Kaleem Abbasi et al., 2015; Lazicki et al., 2020). Stikstof in bodems waar maaisel aan is toegevoegd komt dus met vertraging beschikbaar voor het gewas waarbij een hogere C:N-verhouding leidt tot sterkere vertraging.

Het tijdstip van het opbrengen van maaisel is dus belangrijk. In het experiment is maaisel een week voor het zaaien van de tarwe, aan het begin van het groeiseizoen, gemengd met de grond. Hierdoor was het vrijkomen van de stikstof in de maaiselbehandelingen vermoedelijk niet goed gesynchroniseerd met de

stikstof behoefte van het gewas. Voor de praktijk betekent dit dat bermmaaisel beter niet vlak voor de start van het groeiseizoen kan worden toegediend omdat de afbraak van het organisch materiaal dan gaat concurreren met het gewas om stikstof. Een oplossing hiervoor is bijvoorbeeld toediening in het najaar voor het zaaien van het hoofdgewas of het vanggewas. Hoewel de exacte timing nader onderzoek verdient mag verwacht worden dat dan bij de start van het groeiseizoen stikstof uit het maaisel vooral gemineraliseerd wordt. Eventueel kan een beperkte kunstmestgift de ergste nadelige vroegtijdige effecten van de stikstofimmobilisatie tegengaan. Dit werd ook gedaan in het eerder beschreven veldexperiment (Hoofdstuk 2), waarna in vergelijking met bemesting met uitsluitend kunstmest geen nadelige effecten van het opbrengen van maaisel op gewasopbrengst werden gevonden. Een combinatie van het opbrengen van bermmaaisel en het beperkt bij-bemesten met makkelijker beschikbaar komende stikstofbronnen, zoals kunstmest of drijfmest, kan de toepassing van bermmaaisel eventueel ook in het voorjaar mogelijk maken.

Hoofdstuk 5

Discussie



Discussie

Het onderzoek had tot doel de belangrijkste voor- en nadelen van toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar op zandige akkers op een rij te zetten.

5.1 Potentiële nadelen van toepassing van bermmaaisel

De vier belangrijkste risico's die genoemd worden bij de toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar zijn het introduceren van onkruidzaden op de akkers, het inwerken van zware metalen uit het maaisel, een hogere kans op uitspoeling van de via het maaisel opgebrachte stikstof en verontreiniging met zwerfafval op de akker.

Ons onderzoek liet geen toename zien in zowel de bedekking als het aantal soorten onkruiden dat werd aangetroffen op onderzoeksplots waar gedurende drie jaar bermmaaisel in verschillende vormen was opgebracht. Dit komt overeen met de bevindingen van een recent gepubliceerd onderzoek dat weinig kiemkrachtige zaden aantrof in bermmaaisel dat werd gebruikt als bodemverbeteraar (Spijker et al. 2021). Er kan daarom geconcludeerd worden dat het risico dat, bij regulier agrarisch beheer, het opbrengen van bermmaaisel op akkers leidt tot een toename van onkruiddruk verwaarloosbaar klein is.

De concentraties zware metalen in het door ons gebruikte maaisel vielen allemaal (ruim) onder de toegestane waarden voor compost in Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet bijlage II, tabel 3. Dit maaisel was afkomstig uit wegbermen van veelal 60 en 80 km/uur wegen in de voormalige gemeente Sint Anthonis en strikt genomen kan daarmee uitsluitend iets over deze wegbermen geconcludeerd worden. De concentraties in het maaisel waren echter vergelijkbaar met die in reguliere compost van een professionele composteerder die doorgaans gemaakt worden van een mix van maaisel, blad afval, hout afval en andere organische materialen. Ook komen onze bevindingen overeen met de resultaten van het al eerder genoemde onderzoek van Spijker et al (2021). Zij vonden na analyse van maaisel van meer dan 70 pilots slechts twee overschrijdingen van de maximaal toegestane waarden voor zware metalen. In dat onderzoek werden niet alleen zware metalen geanalyseerd maar ook PFAS-waarden en andere micro verontreinigingen, waarvoor ook geen noemenswaardige overschrijdingen werden gevonden. Vermoedelijk bestaat uitsluitend in zeer verontreinigende gebieden gevaar dat te veel zware metalen en andere verontreinigingen in het maaisel belanden. De kwaliteit van de omgeving zal daarom deels bepalend zijn en op basis hiervan concludeerden Spijker et al. (2021) dat een locatie-specifieke risicobenadering uitsluitsel kan bieden bij de toepassing van bermmaaisel op akkers. Op basis van deze resultaten kan echter wel de conclusie getrokken worden dat in het overgrote deel van het landelijk gebied het materiaal schoon genoeg is om zonder risico's gebruikt te kunnen worden op landbouwgrond en dus als "Schoon en onverdacht" beschouwd kan worden zoals vereist in de wetgeving.

De resultaten van dit onderzoek ten aanzien van de effecten van toediening van bermmaaisel op uitspoeling van stikstof zijn tweeledig. Enerzijds liet het potexperiment zien dat het risico op extra uitspoeling van stikstof door toepassing van bermmaaisel klein is als een (vang)gewas de bodem bedekt. Het experiment vergeleek extreme situaties. Enerzijds werd een in de praktijk gangbare hoeveelheid stikstof equivalent aan 164 kg/ha gegeven aan tarweplanten. Het andere extreem bestond uit tarweplanten groeiend op onbemeste grond. De maaiselbehandelingen zaten daar gemiddeld genomen tussenin, zeker als bedacht wordt dat de stikstof uit maaisel minder snel beschikbaar komt dan kunstmest. De stikstofuitspoeling in geen van deze behandelingen verschilde noemenswaardig van elkaar. Uitsluitend de controlebehandeling met onbemeste grond zonder tarweplanten had een veel hogere uitspoeling van stikstof dan de overige behandelingen. Tegenover de resultaten van het potexperiment staan de resultaten van de analyse van de stikstofbalans van het veldexperiment. Hoewel de hoge spreiding interpretatie lastig maakt, lijkt het opbrengen van gecomposteerd maaisel of Bokashi niet te leiden tot grote kans op stikstofuitspoeling. Voor vers materiaal is de onzekerheid groter en lijken de stikstofverliezen na opbrengen van (soortenarm) vers materiaal in dezelfde orde te liggen als voor kunstmest. Gezien het feit dat de totale stikstofinput via maaisel hoger is dan via kunstmest, betekent dit dat de verliezen relatief gezien meevallen. Immers, om eventuele nadelige gevolgen van stikstofimmobilisatie te voorkomen, kregen de maaiselbehandelingen ook kunstmest toegediend hoewel dit slechts 50% was van de dosering van de controle. Een negatieve stikstofbalans duidt op verlies van stikstof uit het systeem. Dit kan deels gebeuren via omzetting naar de gasen N_2 en N_2O en deels door uitspoeling uit de bouwvoor. Aangezien er in absolute zin geen heel grote verschillen in de gewasopbrengst waren in de verschillende behandelingen en het stikstofgehalte van het gewas ook niet noemenswaardig verschilde suggereert dit dat er in de maaiselbehandelingen meer stikstof is toegevoegd dan door het gewas opgenomen kon worden. Het missende stikstof is ook niet teruggevonden in het organische materiaal, wat netto verlies aannemelijk maakt. Helaas mislukte onze pogingen om directe metingen te doen aan uitspoeling van stikstof uit de bouwvoor met behulp van de *resin bags*. Hiermee hadden we meer uitsluitsel kunnen geven over verschillen in uitspoeling tussen de kunstmest en de maaiselbehandelingen. Gezien de resultaten van het potexperiment is het echter onwaarschijnlijk dat het gebruik van bermmaaisel leidt tot extra uitspoeling van stikstof als hiermee een gelijke hoeveelheid wordt gegeven als met reguliere bemestingsvormen zoals drijfmest of kunstmest. Of het gewas dan ook nog evenveel opbrengst produceert is de vraag. Dit verdient nader onderzoek.

De aanwezigheid van zwerfafval is zonder meer een belangrijk praktisch probleem bij het gebruik van bermmaaisel op landbouwgrond. Voor zover we weten is dit een van de eerste studies die de hoeveelheid zwerfafval heeft gekwantificeerd. In onze studie werd wel tot 9 kilo afval per hectare gevonden bij het opbrengen van 30 ton maaisel per ha. Al ons bermmaaisel komt uit de voormalige gemeente Sint Anthonis en het is onduidelijk of dit gebied representatief is voor (het landelijk gebied van) Nederland. Het grootste deel van het afval bestond uit weggegooid blikjes, wat extra problematisch is omdat de meeste akkers op zandgrond gebruikt worden voor productie van veevoer en blikjes in veevoer een bedreiging zijn voor

de gezondheid van vee. Hier staan tegenover dat per 1 april 2023 statiegeld op blikjes wordt ingevoerd, waarmee verwacht mag worden dat na deze datum aanzienlijk minder blikjes in de bermmen zullen belanden. Zwerfafval is momenteel vooral een probleem bij het vers opbrengen van maaisel en kleinschalig composteren of Bokashi maken. Grotere composteringsbedrijven hebben vaak de beschikking over methoden om afval uit het organisch materiaal te verwijderen, via magneten en zeven bijvoorbeeld. Echter zorgen deze extra bewerkingen voor hogere kosten maar het voorkomen van zwerfafval in ten allen tijde aan te bevelen. Ook zijn er op een aantal plekken in Nederland initiatieven waarbij zwerfafval wordt verwijderd uit wegbermen door vrijwilligers voor het maaien, zoals het initiatief Helemaal Groen wat ontstaan is in Geesteren waarbij lokale inwoners met een app de bermmen schoon houden.

5.2 Potentiële voordelen van toepassing van bermmaaisel

De belangrijkste potentiële voordelen die genoemd worden bij de toepassing van bermmaaisel als bodemverbeteraar zijn de toename van het organische stofgehalte en daarmee een beter watervasthoudend vermogen van de bodem, een verbeterde nutriëntencyclus, een beter vermogen van de bodem om plantenziekten te onderdrukken en hierdoor uiteindelijk mogelijk hogere opbrengsten van het gewas.

Het jaarlijks opbrengen van bermmaaisel leidde tot een significante toename van het organische stofgehalte in de bodem. Dit effect was op het oog het sterkst in compost maar in alle maaiselbehandelingen nam het organische stofgehalte toe terwijl dit niet het geval was in de controlebehandeling. Na drie jaar maaisel opbrengen was het organische stofgehalte in de gehele bouwvoor (0-40 cm) significant hoger in de compost en Bokashi-behandelingen dan in de controle. De verse maaiselbehandelingen zaten daar tussenin. Onderzoekspots waarop drie jaar lang 30 ton compost per ha was opgebracht hadden een organische stofgehalte dat ruim 10% hoger was dan naastgelegen plots waarop uitsluitend kunstmest was opgebracht (Fig. 2.16C). Opslag van meer koolstof in de bodem is een van de maatregelen die wordt voorgesteld om klimaatverandering tegen te gaan (bijvoorbeeld het internationale "4 per 1000" initiatief, dat tot doel heeft om wereldwijd koolstofopslag in de bodem met 0.4% te verhogen; <https://4p1000.org/?lang=en>). Onze resultaten duiden er op dat dat op lokaal niveau goed haalbaar is door toepassing van bermmaaisel. Of dat op grotere schaal ook haalbaar is, is de vraag omdat dan de hoeveelheid bermmaaisel en andere organische reststromen al snel beperkend worden. Het is onwaarschijnlijk dat er in Nederland genoeg materiaal voorhanden is om op elke akker jaarlijks 30 ton/ha op te brengen.

De duidelijke toename in het organische stofgehalte van de bodem resulteerde niet in een toename van het watervasthoudendheid van de bodem. Het watervasthoudend vermogen is vaak sterk gerelateerd aan het organische stofgehalte van bodems, maar studies die een dergelijke relatie aantonen betrekken meestal percelen in hun onderzoek die een veel grotere spreiding in organische stofgehalte hebben dan onze studie. Zo zijn start waarden voor het

organische stofgehalte uit de studie van Eden et al. 2017 rond de 1.5 % waardoor een stijging in het organische stofgehalte na toevoeging van het maaisel en een stijging in het watervasthoudend vermogen sneller bereikt. Vermoedelijk was het verschil aan het eind van het experiment tussen gemiddeld ongeveer 3.7% (controle) en 4.2% (compostbehandeling) te klein om te resulteren in verschillen in het watervasthoudend vermogen van de bodem.

Aan het eind van het veldexperiment was de totale hoeveelheid stikstof in de bodem ook niet verschillend tussen de maaiselbehandelingen en de controle die met uitsluitend kunstmest was bemest (Fig. 2.21). Dit suggereert dat toevoeging van bermmaaisel, in ieder geval binnen de termijn van deze studie, niet leidt tot een hogere retentie van stikstof in de wortelzone van het gewas. In het potexperiment was de retentie van de voor de plant beschikbare stikstof positief gerelateerd aan de hoeveelheid opgebrachte stikstof en negatief gerelateerd aan de biomassaproductie van het gewas. Omdat de opbrengst van het gewas in het veldexperiment slechts beperkt verschilde tussen de behandelingen (veel minder dan in het potexperiment) en van elke maaiselbehandeling even veel materiaal werd opgebracht, is het niet vreemd dat in het veldexperiment de hoeveelheid stikstof die na de laatste oogst nog in de bodem aanwezig was ook niet verschilde tussen de maaiselbehandelingen. Het is hooguit merkwaardig dat de stikstofretentie niet significant lager was in de kunstmestbehandeling omdat met deze behandeling minder stikstof werd toegediend dan met de maaiselbehandelingen.

We vonden geen positieve effecten van toepassing van bermmaaisel op de weerbaarheid van de bodem tegen *Pythium*, een belangrijke plantenziekte die in landbouwbodems huist. In de praktijk komen uiteraard meer plantenziekten in de bodem voor dan *Pythium*. Eerdere studies vonden al wisselende effecten van het opbrengen van organisch materiaal op onderdrukking van plantenziekten (Bonanomi et al., 2010)(Shin et al., 2017). Op basis hiervan kan voorzichtig geconcludeerd worden dat bij toepassingen in de praktijk in eerste instantie niet te veel verwacht worden van de onderdrukkende werking van bermmaaisel op bodempathogenen, en het grootste effect vermoedelijk te zien is kort na de toevoeging van het bermmaaisel in de vorm van Bokashi.

De opbrengst van mais en wintertarwe werd niet of licht positief beïnvloed door het opbrengen van bermmaaisel. Tarwe liet in geen van de drie jaren significante verschillen zien tussen de verschillende behandelingen hoewel in het derde jaar de gemiddelde opbrengst in alle maaiselbehandelingen licht hoger waren dan in de controlebehandeling. In mais was de opbrengst van de behandeling waarbij vers soortenarm maaisel werd opgebracht in het laatste jaar significant hoger dan die van de controlebehandeling. In de soortenarme maaisel plot is gemiddeld 26% meer mais gegroeid ten opzichte van de controle. De overige maaiselbehandelingen zaten tussen deze twee verschillen in. Ook in het tweede jaar leek er in de mais al een trend te zijn van hogere opbrengsten in de maaiselbehandelingen dan in de controle maar in dat jaar waren de verschillen nog niet statistisch significant. Dit duidt er mogelijk op dat de positieve effecten van het opbrengen van bermmaaisel op gewasopbrengst zich pas manifesteren na een paar jaar toepassen van deze praktijk. Mais lijkt daarbij gevoeliger voor de

positieve effecten van bermmaaisel dan tarwe. Het positieve effect op opbrengst kan het gevolg zijn van de grotere hoeveelheid stikstof die, in vergelijking met de controlebehandelingen, met de maaiselbehandelingen zijn opgebracht en die langzaam, via mineralisatie, vrijkomt. De zomer van het laatste jaar was echter bijzonder droog waardoor het de vraag is of nutriënten de meest beperkende factor waren tijdens dit groeiseizoen. Ook viel tijdens het tweede groeiseizoen een voor Nederlandse begrippen normale hoeveelheid neerslag. Aan het eind van dat seizoen waren geen significante verschillen in opbrengst meetbaar, wat tegen een simpele respons op een hogere stikstofbeschikbaarheid in de maaiselbehandelingen pleit. Het blijft speculeren wat de precieze processen zijn die hebben bijgedragen aan de hogere opbrengst van mais in de soortenarme maaiselbehandeling (en vergelijkbare trends in de overige maaiselbehandelingen). Vermoedelijk is het een combinatie van meerdere processen die allen na toediening van bermmaaisel net iets beter functioneren wat leidt tot wat in de volksmond wel wordt samengevat als 'een gezondere bodem'.

De C:N-verhouding van het maaisel dat is opgebracht in het veldexperiment varieerde tussen de 10 en de 40. Binnen deze range had uitsluitend compost een lage C:N-verhouding van rond de 10 waarbij, op basis van de resultaten van het potexperiment, onmiddellijk nutriënten beschikbaar kwamen aan het gewas. De overige drie maaiselbehandelingen hadden een C:N-verhouding waarbij in eerste instantie stikstof wordt geïmmobiliseerd. Met name het verse soortenrijke maaisel in het tweede jaar had een hoge C:N-verhouding (ca. 40; Fig. 2.8). Desondanks uitte dit zich niet in verschillen in de opbrengst van het gewas. Dit komt vermoedelijk mede door het feit dat de maaiselbehandelingen zijn bijbemest om eventuele negatieve effecten op het gewas van stikstofimmobilisatie tegen te gaan. Een andere mogelijke reden is dat er genoeg tijd zat tussen het opbrengen van het maaisel en de start van het groeiseizoen, waardoor er ten tijde van de grootste groei van het gewas in alle behandelingen vooral stikstof werd gemineraliseerd.

5.3 Conclusies en aanbevelingen

Een belangrijk positief effect van het opbrengen van bermmaaisel als bodemverbeteraar op akkers is dat het maaisel niet in de berm blijft liggen. Door het afvoeren van maaisel wordt vermesting en verruiging van wegbermen voorkomen waardoor hun waarde als half-natuurlijk landschapselement in stand blijft of vergroot wordt. Dit voordeel van het gebruik van bermmaaisel is in de huidige studie niet onderzocht maar dit is al eerder vastgesteld (Noordijk et al., 2009), onder andere in de wegbermen in het Land van Cuijk waar het maaisel van het huidige onderzoek van afkomstig is (Kleijn, 2022).

Het huidige onderzoek is uitgevoerd op 15 afzonderlijke locaties verspreid over een groot deel van de provincies Gelderland en Noord-Brabant. Het is daarmee behoorlijk representatief voor de akkerbouw op de hogere zandgronden. Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat toepassing van bermmaaisel potentie heeft. De belangrijkste positieve effecten zijn een toename van het organische stofgehalte van de bodem, een licht positief effect op gewasopbrengst

van mais als bermmaaisel vers wordt opgebracht en mogelijk ook bij de andere behandelingen als langer met deze praktijk wordt doorgegaan. Tenslotte hoeven boeren bij het gebruik van bermmaaisel minder kunstmest of drijfmest te gebruiken om een optimale opbrengst te realiseren. In huidige tijden van hoge kunstmestprijzen en discussie over de omvang van de veestapel in Nederland kan dat een belangrijk voordeel zijn of worden van het gebruik van bermmaaisel.

Een aantal van de zorgen omtrent het gebruik van bermmaaisel op akkers wordt weggenomen door deze studie. Veronkruiding van het land blijkt niet op te treden en onacceptabel hoge gehalten aan zware metalen blijken niet voor te komen. Het belangrijkste probleem waar een oplossing voor gezocht moet worden is zwerfafval. Daarbij kan gedacht worden aan oplossingen die er voor zorgen dat ofwel minder zwerfafval in de bermen terecht komt (bij voorkeur) ofwel dat zwerfafval voor het opbrengen op het land uit het maaisel verwijderd wordt.

De effecten van compost, Bokashi of vers maaisel op de verschillende in de huidige studie onderzochte aspecten was vrijwel identiek. Met uitzondering van de stikstofbalans, waar Bokashi beter scoorde dan de overige drie maaiselbehandelingen, verschilden de vier maaiselbehandelingen nooit significant van elkaar. Vanwege het feit dat in het najaar vers maaisel direct kan worden opgebracht na de oogst van gewassen heeft dit mogelijk de voorkeur omdat dit transport- en verwerkingskosten bespaart en daarmee resulteert in minder CO₂ uitstoot. Bij maaien gedurende het groeiseizoen, als er gewassen op de akker staan, zal het maaisel moeten worden opgeslagen voordat het opgebracht kan worden. In die periode ligt verwerking van maaisel tot compost of Bokashi meer in de rede.

Bermmaaisel kan beter niet worden toegevoegd vlak voor het begin van het groeiseizoen omdat vertering van maaisel dan met het gewas concurreert om de beschikbare stikstof. Dit probleem kan mogelijk worden opgelost door bij te bemesten met een snel beschikbare stikstofbron, zoals kunstmest of drijfmest. Dat kan echter tot gevolg hebben dat er meer stikstof wordt opgebracht dan kan worden opgenomen door het gewas, waardoor het risico van uitspoeling groter wordt. Bij toepassing van in de praktijk reguliere hoeveelheden stikstof vonden we in het potexperiment geen significant toegenomen risico op uitspoeling als er een (vang)gewas aanwezig was, maar in het veldexperiment werd met de combinatie bermmaaisel en bij-bemesting met kunstmest meer dan de reguliere hoeveelheid stikstof opgebracht. Dit leverde normale, of in het geval van mais soms zelfs hogere gewasopbrengsten op maar het is onduidelijk wat het effect op stikstofuitspoeling is geweest. Het is daarmee het belangrijkste punt wat vervolgonderzoek verdient: Wat is de trade-off tussen gewasopbrengst en het risico op uitspoeling van stikstof en uitstoot van lachgas (N₂O) bij verschillende combinaties van opgebrachte hoeveelheden bermmaaisel en toepassing van kunstmest of drijfmest? En hoe wordt die trade-off beïnvloed door het moment van toepassing (in de herfst dan wel in de lente)?

Literatuur

- Batjes, N.H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 151–163.
- Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., Scala, F., 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biol. Biochem.* 42, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.012>
- Dekkers, M.-F., Haagsma, W., 2021. Groenbemesters: Een overzicht van kennisvragen, Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten. <https://doi.org/10.18174/549699>
- Diacono, M., Montemurro, F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>
- Eden, M., Gerke, H.H., Houot, S., 2017. Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 11.
- EEA, 2005. Agriculture and environment in the EU-15-the IRENA indicator report. EEA Copenhagen.
- Flavel, T.C., Murphy, D. V., 2006. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *J. Environ. Qual.* 35, 183–193. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0022>
- Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M., Kara, E.E., 2004. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biol. Biochem.* <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.012>
- Hoogsteen, M.J.J., Lantinga, E.A., Bakker, E.J., Groot, J.C.J., Tittonell, P.A., 2015. Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 320–328.
- Huang, Y., Zou, J., Zheng, X., Wang, Y., Xu, X., 2004. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. *Soil Biol. Biochem.* 36, 973–981. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.02.009>
- IPCC, 2019. IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Kaleeem Abbasi, M., Mahmood Tahir, M., Sabir, N., Khurshid, M., 2015. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization–immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. *Solid Earth* 6, 197–205. <https://doi.org/10.5194/se-6-197-2015>

- Kleijn, D., 2022. Bloemen in de bermen betekent nog niet dat bijen ook terugkomen. *Tuin + Landsch.* 2022, 28-31.
- KNMI, n.d. KNMI Weather stations [WWW Document]. URL <https://daggegevens.knmi.nl/klimatologie/monv/reeksen>
- Lal, R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *L. Degrad. Dev.* 17, 197–209. <https://doi.org/10.1002/ldr.696>
- Lazicki, P., Geisseler, D., Lloyd, M., 2020. Nitrogen mineralization from organic amendments is variable but predictable. *J. Environ. Qual.* 49, 483–495. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20030>
- Multikraft, n.d. BB boden, EM aktiv by Multikraft [WWW Document]. URL <https://www.multikraft.com/nl/shop/landbouw-en-akkerbouw/26/mk-bodem>
- Multikraft, n.d. eMB starter [WWW Document]. URL <https://www.multikraft.com/nl/shop/vijvers-und-wateren/173/emb-starter?number=116>
- Nicolardot, B., Recous, S., Mary, B., 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant Soil.* <https://doi.org/10.1023/A:1004813801728>
- Noordijk, J., Delille, K., Schaffers, A.P., Sýkora, K. V., 2009. Optimizing grassland management for flower-visiting insects in roadside verges. *Biol. Conserv.* <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.04.009>
- Novozamsky, I., Houba, V.J.G., Van Eck, R., Van Vark, W., 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14, 239–248.
- Oenema, O., Kros, H., de Vries, W., 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Eur. J. Agron.* 20, 3–16.
- Panth, M., Hassler, S.C., Baysal-Gurel, F., 2020. Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture* 10, 16.
- RVO, 2019. Tabel Stikstof landbouwgrond. Mestbeleid 2019-2021 Tabellen.
- Satterthwaite, F.E., 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics Bull.* 2, 110–114.
- Shin, K., van Diepen, G., Blok, W., van Bruggen, A.H.C., 2017. Variability of Effective Micro-organisms (EM) in Bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. *Crop Prot.* 99, 168–176.
- Spijker, J.H., Korthals, G.W., Rietra, R.P.J.J., Römken, P.F.A.M., Timmermans, L., Visser, J.H.M., 2021. Bokashi, lokale organische bodemverbeteraars en compost: chemische kwaliteit en effecten op micro-organismen in landbouwbodems.
- Team, R.C., 2013. R: A language and environment for statistical computing.
- Temminghoff, E.J.M., 2010. Methodology of chemical soil and plant analysis.

Wageningen University.

- Thapa, R., Mirsky, S.B., Tully, K.L., 2018. Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. *J. Environ. Qual.* 47, 1400–1411. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/jeq2018.03.0107>
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., Itävaara, M., 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.* 72, 169–183. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
- Van Beek, C.L., Brouwer, L., Oenema, O., 2003. The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 67, 233–244.
- Van Groenigen, J.W., Van Kessel, C., Hungate, B.A., Oenema, O., Powlson, D.S., Van Groenigen, K.J., 2017. Sequestering soil organic carbon: a nitrogen dilemma.