

Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer Jaarrapportage 2022

J.H. Spijker (red.), Hull, J.P. van 't, G.W. Korthals, P. Brinkman, V. Kurm, R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römkens
en J.H.M. Visser



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer Jaarrapportage 2022

J.H. Spijker¹ (red.), Hull, J.P. van 't, G.W. Korthals², P. Brinkman², V. Kurm², R.P.J.J. Rietra¹, P.F.A.M. Römkens¹
en J.H.M. Visser²

1 Wageningen Environmental Research, Wageningen University & Research

2 Plant Sciences Group, Wageningen University & Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Duurzame voedselvoorziening en -productieketens & Natuur' (projectnummer BO-43-124-001).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, juni 2023

Gereviewd door:

Dr. ir. Gert Jan Reinds, teamleider team Duurzaam bodemgebruik

Akkoord voor publicatie:

Dr. Eric Arets, teamleider team Vegetatie, Bos en Landschapsecologie

Rapport 3263
ISSN 1566-7197

J.H. Spijker (red.), Hull, J.P. van 't, G.W. Korthals, R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römken, J.H.M. Visser, 2023. *Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer. Jaarrapportage 2022. Onderzoek naar geschiktheid van restproducten uit het groenbeheer (maaisels, bladresten) als bodemverbeteraar*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3263. 110 blz.; 62 fig.; 44 tab.; 43 ref.

De samenstelling van 134 organische bodemverbeteraars zoals bokashi en verschillende vormen van bewerkt en onbewerkt maaisel en/of blad uit het groenbeheer in de stad, is gemeten in pilots aangesloten bij het Circulair Terreinbeheer. In 2021 en 2022 lag daarbij de nadruk op het bepalen van de gehalten aan macro- en micronutriënten, organische stof en relevante contaminanten, zoals metalen, fysieke verontreinigingen, PAK's, dioxines, PFAS en residuen van bestrijdingsmiddelen. Deze data zijn nodig om een oordeel te kunnen vormen over de landbouwkundige en milieukundige geschiktheid van deze producten. Om de langjarige effecten op onder meer organische stof te kunnen schatten, is onder laboratoriumcondities de humificatiecoëfficiënt bepaald. Om de landbouwkundige waarde te bepalen, is onder meer de gewasbeschikbaarheid van N en P bepaald in een selectie van deze producten. Deze geselecteerde producten zijn ook in een drietal proefbedrijven van WUR (Lelystad, Vredepeel en De Marke) aangewend in een regulier landbouwkundig systeem met mais als productiegewas. In een randomized block design (72 plots per proefbedrijf) is daarbij onderzocht in welke mate de bodemverbeteraars invloed hebben op o.a. de microbiologische activiteit, gehalten aan macrochemische parameters van de bodem (o.a. organische stof en pH) en op de gewasproductie.

The chemical composition of 134 organic soil improvers including bokashi and various forms of treated and untreated clippings and/or leaves collected from green spaces in cities has been determined. The samples originate from pilots associated with 'Circulair Terreinbeheer'. In 2021 and 2022 the focus was on the determination of macro- and micronutrients, organic matter and relevant contaminants including heavy metals, PAH's, dioxins, various PFC's and residues from plant protection chemicals. These data are needed to evaluate the agricultural and environmental impact of such organic soil improvers. To estimate long term effects on soil organic matter, the stability (humification coefficients) as well as agronomic value (availability of N and P) has been measured in a selection of these products. These selected products also have been used in a large-scale field experiment at three experimental farms of WUR (Lelystad, de Marke and Vredepeel). Here, these products have been applied in a regular agricultural production system (maïze) in a randomized block design. In 2021 and 2022 the effects of these products on microbiological parameters as well as organic matter and the soil nutrient content and crop production have been determined.

Trefwoorden: circulaire economie, bodem, organische stof, bodembiodiversiteit, groenbeheer, bokashi, maaisel, compost, broeikasgassen, humificatiecoëfficiënt, contaminanten

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/633075> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

Verantwoording	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Het programma Circulair Terreinbeheer	12
1.3 Probleemstelling	13
1.4 Doelstelling	13
1.5 Begrippenlijst (alfabetisch)	15
Verantwoording	15
2 Resultaten bodem en productonderzoek bij deelnemende pilots	16
2.1 Inleiding	16
2.2 Productonderzoek 2022	16
2.2.1 Inleiding en overzicht	16
2.2.2 Overzicht resultaten 2021 en 2022: nutriënten en organische stof	17
2.2.3 Overzicht resultaten 2021 en 2022: contaminanten, fysieke verontreinigingen en onkruiddruk	20
2.2.4 Overzicht resultaten 2021 en 2022: residuen van bestrijdingsmiddelen	24
2.2.5 Overzicht resultaten 2021 en 2022: algemene relaties voor nutriënten	24
2.3 Bodemonderzoek 2022	26
2.3.1 Algemene bodemkenmerken 2021-2022	27
2.3.2 Beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem	28
2.3.3 Organische stof, waterberging en micro-organismen in de bodem	29
2.4 Conclusies aangaande product- en bodemonderzoek	30
3 Veldproeven	32
3.1 Inleiding	32
3.2 Opzet en methoden onderzoek 2022	32
3.2.1 Behandelingen	32
3.2.2 Bemesting	33
3.2.3 Bodemmetingen en gewaswaarnemingen	34
3.3 Uitvoering	35
3.4 Resultaten Lelystad	35
3.4.1 PLFA	35
3.4.2 Milieuaaltjes	42
3.4.3 Bepaling Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)	49
3.4.4 Gewasontwikkeling en -productie	51
3.5 Hengelo (De Marke)	54
3.5.1 PLFA	54
3.5.2 Milieuaaltjes	56
3.5.3 Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)	63
3.5.4 Gewasontwikkeling en -productie	64
3.6 Resultaten Vredepeel	67
3.6.1 PLFA Vredepeel	67
3.6.2 Milieuaaltjes	70
3.6.3 Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)	77
3.6.4 Gewasontwikkeling en -productie	78
3.7 Discussie en conclusies	81

4	Aanvullend laboratoriumonderzoek	83
4.1	Inleiding	83
4.1.1	Inleiding bij incubatie-experimenten	83
4.1.2	Incubatieproef A: humificatie van lokale bodemverbeteraars	85
4.1.3	Incubatieproef B: stikstofmineralisatie van lokale bodemverbeteraars	86
4.1.4	Stikstofmineralisatie van grond uit veldproef 2021 (experiment C)	87
4.1.5	Meting van broeikasgassen in bokashi-hopen	87
4.2	Resultaten en discussie	88
4.2.1	Analyses aan lokale bodemverbeteraars	88
4.2.2	Humificatie van lokale bodemverbeteraars	90
4.2.3	Stikstofmineralisatie van lokale bodemverbeteraars	93
4.2.4	Stikstofmineralisatie van grond uit veldproef 2021	95
4.2.5	Broeikasgassen in bokashi-hopen	96
4.3	Conclusies aanvullende experimenten	97
5	Algemene Conclusies	98
5.1	Kwaliteit van bokashi en andere bodemverbeteraars	98
5.2	Effecten op bodemkwaliteit bij deelnemende pilots	99
5.3	Effecten van bodemverbeteraars op bodembioologie: proefveldonderzoek	99
5.4	Stabiliteit en beschikbaarheid van nutriënten	100
5.5	Voorlopige beantwoording vragen RISMAN	100
Literatuur		105
Bijlage 1	Overzicht bodem-biologische en bodemvruchtbaarheids- bepalingen uitgevoerd in de veldproeven	107
Bijlage 2	CO₂-emissie gedurende incubatie-experimenten	109

Verantwoording

Rapport: 3263

Projectnummer: 5200046885

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Teamleider team Duurzaam bodemgebruik

naam: Dr. ir. Gert Jan Reinds

datum: 26 mei 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Eric Arets

datum: 26 mei 2023

Samenvatting

Bij het beheer van stedelijk groen, infrastructuur, watergangen en natuur komt veel maaisel en blad vrij. Deze stromen kunnen in potentie lokaal toegepast worden als bodemverbeteraar om bij te dragen aan de instandhouding van de bodemkwaliteit. Daarbij is vooral de aanvoer van organische stof naar de bodem relevant; die kan van invloed zijn op onder meer het bodemleven, de bodemstructuur, het waterbergend vermogen en de levering van (micro)nutriënten. Op dit moment is lokale verwerking van deze materialen en het toepassen daarvan in de landbouw nog niet toegestaan. Om na te gaan welke mogelijkheden er in de toekomst zijn om dit mogelijk wettelijk te reguleren, is in opdracht van het Ministerie van LNV en in samenwerking met het Ministerie van I&W in 2021 een onderzoek gestart naar de samenstelling en werking van een aantal organische bodemverbeteraars die gemaakt zijn van maaisel en/of blad uit het landelijk en stedelijk gebied. Doel daarbij is het vaststellen van korte- en langetermijneffecten van gebruik van deze producten op de landbouwkundige bodemkwaliteit, gewasproductie, microbieel bodemleven en milieu, en om kennis te vergaren over de kwaliteit van de lokaal geproduceerde bodemverbeteraars.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met Circulair Terreinbeheer en zestig pilots verspreid over Nederland. De producten die daarbij centraal staan, zijn bokashi (gefermenteerd maaisel en/of blad), onbewerkt maaisel of maaisel met een lichte bewerking (anders dan bokashi) en, als referentie, compost. Het project had in 2021 en 2022 een drietal speerpunten, namelijk *i.* het karakteriseren van deze producten van de deelnemende pilots middels een aantal chemische, biologische en fysische methoden, *ii.* het vaststellen van het effect van een aantal geselecteerde producten op de bodemvruchtbaarheid, micro-organismen, aaltjes en maisproductie en *iii.* het bepalen van een aantal eigenschappen die relevant zijn voor het schatten van de langetermijnveranderingen van organische stof in de bodem. Dit laatste was in 2021 en 2022 vooral gericht op het meten van de humificatiecoëfficiënt (HC: de fractie van de organische stof die een jaar na toediening aan de bodem nog over is). Daarnaast is gewerkt aan het versterken van de informatie-uitwisseling tussen pilots door middel van het opzetten van een netwerk waarin pilots resultaten kunnen inzien en hun eigen bevindingen kunnen rapporteren.

Voor de beoordeling van de kwaliteit van producten als bokashi of bewerkt maaisel is op dit moment geen specifiek normkader van toepassing. Een feitelijke wettelijke toetsing is dus niet mogelijk en daarom vergelijken we in dit rapport de kwaliteit van deze producten in eerste instantie met normen en/of kwaliteitseisen geldend voor Keurcompost (cf. BRL Keurcompost versie 7.1).

Samenstelling en kwaliteit materialen geproduceerd door pilots

De karakterisering van de producten in voor- en najaar van 2021 en 2022 toont aan dat de chemische kwaliteit in vrijwel alle gevallen voldoet aan de eisen voor compost (voor zware metalen en gehalte aan organische stof). De producten bevatten vergelijkbare gehalten aan macronutriënten (N, P, K) als groencompost. De verhoogde gehalten aan metalen in een klein aantal monsters zijn te herleiden tot de herkomst van het materiaal uit gebieden waar sprake is van regionaal verhoogde gehalten in de bodem. Dit is met name het geval in monsters uit het zuidoosten van Nederland waar regionaal sprake is van verhoogde gehalten aan Cd en Zn in de bodem. Organische microverontreinigingen worden in een beperkt aantal gevallen aangetroffen in bokashi uit het stedelijk gebied en op percelen in of nabij een terrein met petrochemische industrie. Deze zijn niet aangetroffen in producten uit het landelijk gebied. Residuen van bestrijdingsmiddelen worden in ongeveer 25% van de monsters aangetroffen, maar in zeer lage gehalten (op of net boven het niveau van de detectiegrens). Onkruidkiemkracht is in ruim 75% van de monsters niet aanwezig, wat duidt op een voldoende mate van afdoding in deze monsters. In een aantal monsters is echter sprake van sterk verhoogde onkruidkiemkracht. Verhoogde kiemkracht komt vrijwel uitsluitend voor in bokashi van maaisel en niet in bokashi van blad. De reden voor de sterke variatie in de onkruidkiemkracht in een aantal bokashimonsters van maaisel is vooralsnog onbekend. Factoren die een rol spelen, zijn onder meer de hoeveelheid onkruid in het bronmateriaal, maar ook de condities gedurende de fermentatie. Dit zal in 2023 in een aantal geselecteerde pilots nader onderzocht worden. De aanwezigheid van fysieke verontreiniging is beperkt, maar ook hiervoor geldt dat een aantal monsters een te hoog gehalte bevat aan

stenen en, beperkt, glas. De aanwezigheid van plastic is in 2022 in een beperkt aantal monsters bepaald door middel van een oppervlaktemeting van de totale hoeveelheid plastic. Deze is in de meeste gevallen klein. Mogelijk is echter de monsternamen en monstervoorbehandeling van invloed op met name de aanwezigheid van grotere delen van plastic. In 2023 wordt daarom ook naar grotere elementen zwerfvuul gekeken. Daarbij wordt een groter monster (ca. 1 m³) aan een telling onderworpen zonder verdere voorbehandeling.

Veldonderzoek proefterreinen WUR en deelnemende pilots

Onderzoek naar de werking van de producten is in 2021 en 2022 vooral gedaan op drie proefterreinen van de WUR waar een achttal producten in dosering van 10 en 50 ton per hectare zijn opgebracht. Onderzochte producten zijn bokashi (5, waarvan 3 gemaakt van maaisel en 2 van blad), onbewerkt maaisel (1), bewerkt maaisel (1) en groencompost (1), waarbij elke behandeling in elke locatie in viervoud is aangelegd. Daarnaast is een referentiebehandeling met drijfmest uitgevoerd, evenals een viertal behandelingen met alleen mineraal stikstof (tussen 0 en 100% van de gewasbehoefte). Het onderzoek is uitgevoerd in Lelystad (kalkrijke klei), De Marke (zand) en Vredepeel (zand), waarbij mais als gewas is geteeld. Daarbij zijn vooraf aan het onderzoek, vier weken na toediening en na de oogst van het gewas, bodem- en gewasmonsters genomen. De bemonstering na vier weken diende vooral om de effecten op de aantallen en functioneren van belangrijke bodemmicro-organismen en aaltjes te testen. Na de oogst zijn ook effecten op productie en gewaskwaliteit (met name stikstofgehalte in de plant) bepaald. Na de oogst zijn ook van alle veldjes (72 per locatie) bodemmonsters genomen om te bepalen of er binnen één jaar meetbare veranderingen in relevante bodemeigenschappen zijn waar te nemen.

Het veldonderzoek op de drie proefterreinen toont dat de microbiologie positief reageert op het aanbod van organische stof in bokashi. De PLFA-scores in de met bokashi behandelde velden zijn hoger dan die van de velden met mineraal N (laagste score) of maaisel en compost (intermediair). Ook is er een effect op de soortensamenstelling van aaltjes, waarbij vooral de bacterie-etende aaltjes met een korte generatietijd toenemen als gevolg van het gestegen voedselaanbod. Dat maakt ook dat daardoor organische stof makkelijker verteerd kan worden, wat weer kan leiden tot een versneld vrijkomen van nutriënten uit organische stof. Dit laatste is overigens nog niet experimenteel vastgesteld.

Ook is er deels een sterker effect op aantallen micro-organismen waarneembaar in de hoge dosering, ofschoon dit niet bij alle producten en locaties waarneembaar is. De verschillen in effect tussen de drie proefterreinlocaties zijn groot. De sterkste en meest uitgesproken effecten (o.a. voor PLFA en saprofytische schimmels) traden op in de kalkrijke klei (Lelystad), terwijl de verschillen in effect en tussen producten in de zandgronden van De Marke en Vredepeel veel minder significant waren. Dit laatste hangt deels samen met de uitgangssituatie van de bodem, waarbij de twee zandlocaties een veel hogere bodemvruchtbaarheid (met name N en organische stof) hebben dan de kleilocatie. Voor kortetermijneffecten zoals hier waargenomen, geldt dus dat deze sterker lijken te zijn in bodems die meer nutriënt-gelimiteerd zijn dan wel een laag organischestofgehalte hebben. Bodems die bij aanvang van het seizoen al een hoge bodemvruchtbaarheid hebben, lijken minder voordeel te hebben van de aanwending van deze organische materialen als het gaat om effecten op microbiologisch functioneren. Een deel van het onderzoek beoogt echter ook specifiek vast te stellen wat langetermijneffecten zijn. Deze zijn op basis van de data in één jaar nog niet vast te stellen.

Het verschil in bodemvruchtbaarheid leidde ook tot grote verschillen in de gewasgroei op de onderzochte locaties. Met name in de kalkrijke klei bleken de onderzochte organische producten niet in staat voldoende stikstof te leveren. De groei en opbrengst in de velden met 10 en 50 ton organische producten bleef daarom ook ver achter in de locatie Lelystad ten opzichte van het veld met een reguliere N-bemesting. Daarbij nam de opbrengst bij de 50 ton-dosering als gevolg van immobilisatie van stikstof nog sterker af dan bij de dosering met 10 ton.

De eerste inventariserende metingen van de effecten op bodemkwaliteit bij de pilots laten zien dat deze gekenmerkt worden door een grote variatie in bodemtype, bodemvruchtbaarheid, teeltsysteem en management. De verschillen in de bodemmetingen voorafgaand aan het aanwenden van de lokaal geproduceerde producten (maart, T0) en die aan het einde van het seizoen (oktober, T1) laten mede daarom ook geen algemene (d.w.z. voor alle pilots geldend) effecten zien op bijvoorbeeld gehalten aan organische stof, micronutriënten of zuurgraad. De verschillen tussen de pilots onderling zijn zo groot, dat verschillen

tussen de T0 en T1 globaal gezien niet tot algemene effecten leiden voor alle pilots. Dit suggereert dat aan het gebruik van deze producten niet zozeer een overal te verwachten werking toe te kennen is, maar dat deze werking afhankelijk is van de bodem waar het product wordt opgebracht. De screening wordt in 2022 voortgezet om te zien of meerjarige resultaten een duidelijker beeld laten zien.

Bepaling humificatiecoëfficiënt (HC) en N en P beschikbaarheid in organische producten

Onder laboratoriumomstandigheden zijn de humificatiecoëfficiënten van de producten die in de veldproef zijn gebruikt, bepaald. De gemiddelde humificatiecoëfficiënt per onderzocht product varieert van 50% voor de maaisels met bewerkingen tot meer dan 90% voor een van de onderzochte bokashi's en Keurcompost. Voor bokashi van maaisel en onbewerkt maaisel varieert de HC tussen 65 en 70%, terwijl die van bokashi van blad 82% bedraagt. Metingen in 2022 verschillen in lichte mate met die in 2021, maar liggen in dezelfde ordegrootte. Wel is de HC in de kleigrond van Lelystad in veel gevallen lager dan die voor dezelfde producten in de zandgronden. Voor bokashi zijn deze waarden voor HC gemiddeld hoger dan die van een aantal andere organische mestsoorten zoals runder- of varkensdrijfmest, ofschoon de variatie in verschillende studies groot is en de vergelijkbaarheid mede door verschillen in bodem waar het product in is aangebracht, beperkt.

De iets lagere waarde van de HC voor sommige typen bokashi gemaakt van maaisel ten opzichte van onder meer die van groencompost bevestigt dat bokashi geen stabiel eindproduct is. Gedurende de fermentatie wordt (een deel) van de organische stof omgezet in relatief instabiele vormen van organische stof. Deze zullen in een incubatie, of na aanwenden in de bodem, snel afgebroken worden door de aanwezige micro-organismen en leiden dan tot een verandering van de bodembiodiversiteit. Bokashi van blad lijkt daarbij stabiel te zijn, met een vergelijkbare HC als die van groencompost.

De beschikbaarheid van zowel N als P in de onderzochte producten is laag tot zeer laag. Extracties van de monsters van de plantbeschikbaarheid van P laten zien dat deze varieert van 0 tot 10% van de totale hoeveelheid P in het monster. De beschikbaarheid van N is laag en stikstof in de producten zelf en in de bodem (monsters genomen na de oogst) is niet beschikbaar. De mineralisatieproef laat zien dat de N-beschikbaarheid zelfs lager is dan in grond waaraan geen N is toegediend (blanco). Dit is grotendeels het gevolg van de relatief hoge C/N-verhouding van de onderzochte producten die leidt tot netto stikstofimmobilisatie. Op basis van de metingen aan N en P is de voorlopige conclusie dat de hier onderzochte producten maar zeer beperkt geschikt zijn als bron voor plantbeschikbaar N of P, maar vooral dienen als bodemverbeteraar en bron van organische stof.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De productie van lokale organische bodemverbeteraars, zoals bokashi en lokale compost, maar ook het rechtstreeks opbrengen van vers maaisel, kan worden gezien als een circulaire manier om biomassa (met name maaisels van bermen, (droge) sloten, natuurterreinen en bladmateriaal) lokaal te verwerken tot een product dat lokaal ook weer aangewend kan worden. Dat past in het streven naar het circulair gebruiken van grondstoffen waardoor nutriënten en koolstof minder dan nu het geval is, verloren gaan dan wel er veel energie gaat zitten in transport van het materiaal. Daarbij kan bodemverbetering bijdragen aan beleidsdoelstellingen als klimaatadaptatie, kringlooplandbouw, biodiversiteit en een gezonde bodem.

Effecten van het gebruik van dergelijke lokale organische bodemverbeteraars op de bodem- en gewaskwaliteit worden sinds enkele jaren onderzocht in verschillende experimentele studies. Een overzicht van gerapporteerde effecten van bokashi en compost staat in WENR-rapport 3006 (Römkens et al., 2020).

Daar waar de samenstelling en werking van gft- en groencompost sinds enige jaren stabiel is en gedocumenteerd, ontbreekt dit nog grotendeels voor bokashi, lokale compost en het rechtstreeks opbrengen van vers maaisel. Door de grote variatie in gebruikte bronmaterialen en variatie in productieprocessen bestaat er geen eenduidig beeld van zowel de kwaliteit van de producten zelf als van de effecten op de bodem en de andere milieucompartimenten (water, biodiversiteit, broeikasgassen).

Hoewel er in verschillende studies positieve effecten van het rechtstreeks opbrengen van maaisel, bokashi en lokale compost op specifieke aspecten van bodemkwaliteit gerapporteerd worden, zijn de aard en opzet van veel studies zodanig verschillend (dosering, bodemtype, gewas, metingen in de bodem, gebruikt uitgangsmateriaal voor bokashi etc.) dat er geen eenduidig beeld is van de positieve werking van deze producten. Daarnaast zijn er nog onbeantwoorde vragen over onder andere gehalten aan contaminanten in geval van maaisel van wegbermen (incl. fysieke verontreiniging zoals glas, plastic en blik), onkruiddruk die kan ontstaan in lokale organische bodemverbeteraars van met name sloot- en bermmaaisel en de mogelijke aanwezigheid van ziekteverwekkers.

Mede daarom bestaan er op dit moment vragen over de kwaliteit (samenstelling) van bokashi en andere lokaal geproduceerde bodemverbeteraars. Verder is het nog onduidelijk wat de langetermijneffecten in de bodem zijn en de effecten op het functioneren van het gewas. Op dit moment wordt het bronmateriaal volgens de huidige wet- en regelgeving vaak gezien als afval en hebben de meeste lokaal geproduceerde bodemverbeteraars geen Einde Afval Status. Daarom worden lokale groenreststromen nu nog niet erkend als grondstof voor bodemverbeteraars (en staan dus niet op de lijst in Bijlage Aa van de Meststoffenwet). Rechtstreeks opbrengen van (onbewerkt) maaisel is wel toegestaan, mits dit valt onder de voorwaarden van de Vrijstellingsregeling Plantenresten.

Om de toepassingsmogelijkheden van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars te vergroten, is het dus noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in zowel de samenstelling als werking (na toediening in de bodem) van onder meer rechtstreeks opbrengen van maaisel, bokashi, CMC- en vermicompost en andere vormen van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars. Juist om de kwaliteit van deze bodemverbeteraars te borgen, is de Checklist Zorgplicht Maaisel en Blad opgesteld door SMK (Stichting Milieukeur) in opdracht van het Ministerie van I&W, Deltaplan Agrarisch Waterbeheer en de Provincie Gelderland, in samenwerking met het programma Circulair Terreinbeheer.

1.2 Het programma Circulair Terreinbeheer

In het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer wordt samengewerkt met het programma Circulair Terreinbeheer (CT), opgezet door de Biomassa Alliantie, een samenwerking van achttien organisaties: <https://circulairterreinbeheer.nl/biomassa-alliantie>. In het programma CT is een checklist ontwikkeld voor de procesgang van blad en maaisel (vanaf het bermbeheer tot en met het toepassen van de bodemverbeteraar) en zijn pilots geselecteerd voor deelname aan het onderzoek van het kennisprogramma.

In dit rapport wordt het programma Circulair Terreinbeheer aangeduid met CT. Dit ter onderscheid van het lopende Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer, dat wordt aangeduid met de volledige naam of kortweg kennisprogramma.

CT Checklist Zorgplicht Maaisel en Blad

Het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW) en de provincie Gelderland hebben gezamenlijk opdracht gegeven voor het ontwikkelen van de CT Checklist Zorgplicht Maaisel en Blad (zie www.circulairterreinbeheer.nl). Door het invullen van deze Checklist maken de ketenpartners van een pilotproject gezamenlijk, onder begeleiding van het programma CT, afspraken over de kwaliteit in het hele proces en de borging daarvan. Op die manier geeft de ingevulde Checklist ook informatie voor onder andere bevoegde gezagen en Omgevingsdiensten. Voor pilots die participeren in het kennisprogramma is het werken conform deze checklist verplicht. In 2021 hebben ca. 45 pilotprojecten de Checklist ingevuld; ongeveer 15 projecten starten later en hebben aangegeven dit in 2022 te gaan doen.

Voor de pilots van het kennisprogramma is een toetsingsmethode opgezet en zullen jaarlijks de ingevulde checklists van een steekproef van 15 pilots getoetst worden. Daarbij zal CT in de komende jaren de Checklist regelmatig monitoren, evalueren en verbeteren. Hierbij zal Circulair Terreinbeheer het landelijke coördinatiepunt zijn om dit op gang te brengen en te houden, in afstemming met de betrokken kennisinstellingen, overheden en regio's waarin de pilots draaien.

Deelname pilots

Om de pilots die bodemverbeteraars maken van gras en blad te werven voor deelname aan het CT Kennisprogramma, is in de tweede helft van 2020 tweemaal het netwerk van Circulair Terreinbeheer benaderd. In de eerste ronde waren er bijna 25 geschikte aanmeldingen en in de tweede ronde ruim 35. In november 2020 en januari 2021 zijn met deze aangemelde pilots intakegesprekken gehouden door de coördinatoren van CT en onderzoekers van de WUR. In 2022 is een zestal pilots gestopt en intussen heeft in hetzelfde jaar ook een drietal nieuwe pilots zich aangemeld. Voor 2023 worden nog maximaal 5 nieuw toetredende pilots verwacht. Hierbij wordt rekening gehouden met een maximaal aantal van 60 pilots voor deelname aan dit kennisprogramma.

De pilots die zich hebben aangemeld, hebben gemeen dat ze allemaal maaisel en/of blad als bodemverbeteraar gebruiken, maar verder zijn zij verschillend van aard:

- Soort bodemverbeteraar: bokashi, compost, maaisel met toevoegingen en onbewerkt maaisel. Bij maaisel met toevoegingen gaat het om producten aangeduid als (onder andere) Bioterra en compost-O;
- Landgebruik van de deelnemende pilots. Dit betreft onder meer akkerbouw, veeteelt, boomkwekerij, fruitteelt en stedelijke groenvoorzieningen;
- Bodemtype (veelal zand, zavel of klei; één pilot heeft een veenbodem);
- Periode waarin bodemverbeteraars geproduceerd worden. De productie vindt veelal plaats in de winter (najaarsmaaisel en/of blad) en het product wordt in het voorjaar aangewend voorafgaand aan de grondbewerking en bemesting. Daarnaast maakt een kleiner aantal pilots (met name) bokashi van voorjaarsmaaisel dat in het najaar aangewend wordt.

Pilots die in 2021 of 2022 zijn gestart, kregen ondersteuning van CT om in de praktijk bijvoorbeeld bokashi of lokale compost toe te kunnen passen in samenwerking met de ketenpartners. Hiervoor was afstemming nodig tussen o.a. de terreinbeheerders (gemeente, waterschap etc.), handhaving (omgevingsdiensten) en bevoegd gezag (gemeente, provincie).

Vanuit CT is hierbij expertise en ondersteuning ingezet om alle deelnemende pilots een stap verder te helpen, ook bijvoorbeeld in het begeleiden van het gezamenlijk invullen van de CT Checklist met de ketenpartijen van de pilots en hulp indien de aanvraag van een vergunning of ontheffing stroef liep.

CT Sharepoint omgeving

Om de zestig deelnemende pilots goed te kunnen coördineren en faciliteren, is een online Sharepoint-omgeving ingericht. Via deze Sharepoint worden voor elke pilot de volgende documenten gedeeld:

- De resultaten van de metingen van de producten en de bodem bij de deelnemende pilots;
- Het logboek waarin de pilot waarnemingen van bijvoorbeeld gewasgroei, onkruiddruk, droogteverschijnselen en wateroverlast bij kan houden;
- Foto's ter ondersteuning van de waarnemingen;
- De ingevulde CT Checklists.

Daarnaast biedt de Sharepoint overzichten van de pilots die zowel door de onderzoekers van de WUR als de coördinatoren van CT gebruikt worden. Het is daarvoor wel noodzakelijk dat de verschillende onderdelen goed ingevuld en up-to-date gehouden worden.

1.3 Probleemstelling

Eind 2019 is er door Wageningen Environmental Research binnen het programma Circulair Terreinbeheer (CT) een deskstudie uitgevoerd naar de huidige stand van kennis rondom maaisel en daarvan geproduceerde producten als bokashi die worden toegepast als bodemverbeteraar. Dit heeft geresulteerd in het rapport *Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer* (<https://edepot.wur.nl/520312>). In dit rapport is aangegeven dat er nog veel onbekend is over de effecten van toepassing van bewerkte producten uit het groenbeheer (maaisels, bladresten) op de kwaliteit van de (landbouw)bodem. Dit betreft zowel korte- als langetermijneffecten. Verder ontbreekt voldoende kennis – om een goed inschatting te kunnen maken voor het milieukundig verantwoord kunnen toepassen – over de effecten van toepassing van deze producten en dan onder meer gehalten aan metalen in de bodem, onkruiddruk en aanwezigheid van bijvoorbeeld plastic. Vanuit het oogpunt van circulaire economie en bodemgebruik (landbouw, groenvoorziening) ontbreekt ook een goede onderbouwing van de baten van toepassing van deze producten, zoals effecten op vochtvasthoudend vermogen van de bodem, bodembiodiversiteit, organischestofgehalte en reductie van de emissie van broeikasgassen.

1.4 Doelstelling

Op basis van de resultaten van de deskstudie *Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer* en vanuit eerdere kennisvragensessies met het netwerk van CT, is in overleg met de Ministeries van I&W en LNV, het programma Circulair Terreinbeheer en onderzoekers van WENR en PSG een overzicht gemaakt van relevante, openstaande kennisvragen. Deze zijn vervolgens met behulp van een risicoanalyse (RISMAN-methode) gezamenlijk geprioriteerd voor de urgentie die de beantwoording van deze vragen heeft voor het te ontwikkelen beleid bij zowel I&W en LNV.

De geprioriteerde kennisvragen zijn:

1. Wat is het aandeel labiele organische stof in de verschillende producten en wat is hier de betekenis van voor zowel de fysisch-chemische kwaliteit van de bodem (invloed op onder meer watervasthoudend vermogen of infiltratie) als de biodiversiteit (in de bodem)? Deze vraag richt zich vooral op het kortetermijneffect.
2. Wat is de werkingscoëfficiënt voor P (fosfaat) en stikstof (N) van maaisel, compost en bokashi dat direct op het land gebracht wordt?
3. Welke landbouwkundige, ecologische of milieukundige baten kunnen worden toegerekend aan het toepassen van de verschillende producten binnen een kleine kringloop (ecosysteemdiensten)?

-
4. Wat zijn langetermijneffecten op de bodem van het direct aanwenden van maaisel op het land of in de vorm van producten als bokashi en (CMC) compost? Ook daarbij staan fysische, chemische en biologische aspecten centraal.
 5. Zijn er verschillen in de hoeveelheid koolstof die wordt vastgelegd als gevolg van de bewerkingsmethode van de geselecteerde materialen (onbewerkt onderbrengen van maaisel, composteren of fermenteren)?
 6. Wat is het effect op de nutriëntenbalans van de bodem (N, P, K, Mg, Ca)?
 7. Wat is het effect op de aanwezigheid van zware metalen en arseen in de bodem (Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Hg, Zn en As), afhankelijk van de bewerkings- of toepassingsmethode?
 8. Wat zijn de emissies van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O) naar de lucht? Hoe groot is emissie van de verschillende broeikasgassen van de verschillende bewerkingsmethoden?
 9. Zijn er met betrekking tot de onderzochte producten en hun bronmaterialen nog aanvullende zorgen, met name gericht op de aanwezigheid van chemische bestrijdingsmiddelen (bijv. azolen), microplastics en PFAS-verbindingen?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, is bij de opzet van het onderzoek gekozen voor een drietal vormen van onderzoek, te weten inventariserend veldonderzoek bij deelnemende pilots (hoofdstuk 2), gecontroleerde procesgerichte veldproeven bij proefboerderijen (hoofdstuk 3) en experimenteel onderzoek in het laboratorium (de incubatieproef) (hoofdstuk 4).

In meer detail betreft het onderzoek in 2021 en 2022 de volgende aspecten:

1. Onderzoek in een zestigtal pilots verspreid over Nederland die lokale organische bodemverbeteraars van maaisel en blad maken en toepassen. Dit onderzoek betreft vooral het bepalen van de bodemkwaliteit voor en na toediening van de lokale organische bodemverbeteraar. Daarbij werd ook de kwaliteit van lokale organische bodemverbeteraar zelf gemeten, zowel wat betreft nutriëntensamenstelling alsook een breed palet aan contaminanten. Omdat de lokale organische bodemverbeteraars in twee perioden van het jaar gemaakt worden met voorjaars- en najaarsmaaisels (deels ook met blad), is ook de monitoring verdeeld over twee ronden. Dit deel van het onderzoek is erop gericht een goed en representatief beeld te leveren van de variatie in de kwaliteit van de lokale organische bodemverbeteraars die geproduceerd worden. Daarnaast is aan de hand van de metingen in de bodem vastgesteld of, en zo ja in welke mate, er veranderingen optreden in onder meer gehalten aan nutriënten, organische stof en bodemleven. Voor meer details over de deelnemende pilots en de daar uitgevoerde metingen verwijzen we naar hoofdstuk 2.
2. Experimenteel veldonderzoek op drie proefbedrijven van Wageningen University & Research. Omdat er tussen de pilots grote verschillen in bodemtype, landgebruik en bemesting bestaan, hebben zij op drie proefstations proeven uitgevoerd waarbij de werking van een viertal typen bokashi en één type maaisel met bewerkingen getest wordt onder gecontroleerde omstandigheden. Binnen elk van deze drie proefstations zijn de behandelingen in viervoud uitgevoerd. Als referentie heeft daarbij een behandeling met dierlijke mest en kunstmest gediend. In 2021 lag daarbij de nadruk op het bepalen van effecten van de lokale organische bodemverbeteraars op biodiversiteit (m.n. bacteriële en schimmelactiviteit en aaltjes), stikstoflevering en effecten op gewasproductie en kwaliteit. Evenals bij de pilots is voorafgaand en na afloop van de veldproeven de bodemkwaliteit bepaald (middels dezelfde metingen als in de pilots). Een samenvatting van de beschikbare data uit 2021 en 2022 en een uitgebreidere beschrijving van de proefopzet staan in hoofdstuk 3.
3. Aanvullende experimenteel laboratoriumonderzoek
Voor organische bodemverbeteraars geldt dat ze na opbrengen in de bodem voor een deel omgezet worden in CO₂ (mineralisatie). Het deel van de opgebrachte hoeveelheid dat na een jaar nog in de bodem aanwezig is, wordt bepaald met de humificatiecoëfficiënt. Met name voor bokashi, maar ook voor de maaisels met andere bewerkingen, is nog onduidelijk hoeveel van de organische stof die opgebracht wordt in het eerste jaar mineraliseert. Dit is uiteraard van belang om uitspraken te kunnen doen over de potentiële langetermijnopbouw van de koolstofvoorraad in de bodem. Resultaten van de incubatieproeven die in 2021 zijn uitgevoerd, staan samengevat in hoofdstuk 4.

In 2022 is de jaarrapportage 2021 over het eerste jaar van het onderzoek verschenen (Spijker et al., 2022). Het voorliggende rapport is de jaarrapportage 2022 die de resultaten over de periode 2021 en 2022 laat zien.

1.5 Begrippenlijst (alfabetisch)

Bokashi (B)	Lokaal gemaakte organische bodemverbeteraar door fermentatie van verschillende organische bronmaterialen volgens het procedé van Agriton of Bij de oorsprong. In dit project zijn deze bronmaterialen: maaisels vrijkomend uit natuur, infrastructuur, (openbare) groenvoorzieningen en watergangen alsmede blad uit het stedelijk gebied. <i>Noot:</i> de term 'organische bodemverbeteraar' wordt als zodanig ook in de FPR (EU2019/1009) benoemd als een PFC (PFC 3A, Organic Soil Improver). De hier als 'organische bodemverbeteraar' aangeduide producten vallen daar niet noodzakelijkerwijs onder en voldoen ook niet noodzakelijkerwijs aan de in de FPR opgenomen criteria t.a.v. kwaliteit of productievoorwaarden.
Compost (C)	Volgens de definitie Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (2021): 'product afkomstig uit een aeroob proces, dat bestaat uit een of meer organische afvalstoffen die al dan niet met bodembestanddelen zijn gemengd en die met behulp van micro-organismen zijn afgebroken en omgezet tot een homogeen en zodanig stabiel eindproduct dat daarin alleen nog een langzame afbraak van humeuze verbindingen plaatsvindt en dat niet mede bestaat uit dierlijke meststoffen en niet verpompbaar is.' In dit onderzoek betreft dit de volgende vormen van compost: CMC compost, Vermicompost en groencompost.
Kennisprogramma circulair terreinbeheer	Het lopende onderzoeksprogramma dat is geïnitieerd na de publicatie van de 'Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer: Landbouwkundig relevante eigenschappen van maaisel, bokashi en compost' (Römkens et al., 2021). Het voorliggende rapport is de tweede jaarrapportage van dit onderzoeksprogramma.
Lokale organische bodemverbeteraars	In dit rapport vallen hieronder alle beschouwde producten die <i>lokaal</i> zijn geproduceerd in de aan het onderzoeksprogramma deelnemende pilots: <ul style="list-style-type: none">• bokashi (B);• maaisel met overige bewerkingen (MT);• maaisel zonder bewerkingen (MO).
Maaisel onbewerkt (MO)	Product waarbij na de verzameling van het bronmateriaal (maaisel) geen bewerkingen zijn uitgevoerd, behalve het op een hoop leggen.
Maaisel met toevoegingen (MT)	Lokaal gemaakte organische bodemverbeteraar (niet zijnde compost en bokashi) door niet-standaard bewerkingen als (gedeeltelijke) compostering en/of toevoegingen anders dan die bij de productie van bokashi gebruikt worden. In de praktijk worden verschillende productnamen gehanteerd. Bij de deelnemende pilots zijn dit onder andere 'compost light', 'Compost-O' en Bioterra.
Programma Circulair Terreinbeheer (CT)	Het programma Circulair Terreinbeheer (CT) is opgezet om te bevorderen dat grondstoffen die vrijkomen bij terrein- en waterbeheer hoogwaardig worden benut. Het programma is een initiatief van de Biomassa Alliantie. Deze heeft tot doel om de transitie naar het circulair benutten van groene reststromen te versnellen. Zie www.circulairterreinbeheer.nl .

Verantwoording

Het onderzoek is in 2021 en 2022 uitgevoerd in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2021: BO-43-101-013; 2022: BO-43-124-001).

Het onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Research, onderdeel van Wageningen University & Research. Betrokkenen bij het onderzoek zijn werkzaam bij Wageningen Environmental Research en de Plant Sciences Group.

Bij het onderzoek is samengewerkt met Circulair Terreinbeheer (CT). CT heeft zo veel mogelijk de regie gevoerd in de contacten met de deelnemende pilots.

2 Resultaten bodem en productonderzoek bij deelnemende pilots

2.1 Inleiding

In 2022 is het onderzoek uit 2021 naar de kwaliteit van de door de pilots geproduceerde producten in het voorjaar en najaar van 2022 (par. 2.2) voortgezet. De data van het voorjaar 2022 (en data uit 2021) zijn reeds opgenomen in de jaarrapportage over 2021 (Spijker et al., 2022).

Ook is in 2022 de bodem van de percelen (of perken in geval van pilots in de stad) die door de pilots gebruikt worden om de bodemverbeteraars toe te passen, onderzocht (par 2.3). Daarbij is, voor de pilots die ook al in 2021 deelnamen (meerderheid van de pilots), steeds hetzelfde perceel bemonsterd als in 2021.

2.2 Productonderzoek 2022

2.2.1 Inleiding en overzicht

In 2022 zijn in zowel in het voorjaar (februari-april) als in het najaar (november-januari 2023) monsters genomen bij de deelnemende pilots. In Tabel 2-1 staat een totaaloverzicht van de aantallen monsters die tot op heden per periode genomen zijn. Daarbij worden in de rapportage vanaf 2022 de volgende productgroepen en bijbehorende coderingen gehanteerd:

- B: Bokashi indien gemaakt volgens procedé Agriton of Bij de Oorsprong
- C: Compost (CMC compost, Vermicompost of groen compost)
- MO: Maaisel Onbewerkt
- MT: Maaisel met toevoeging. Hier vallen alle niet standaard bewerkingen onder ('compost light', 'compost-O', Bioterra), deels worden hier toevoegingen bij gebruikt die de omzetting moeten stimuleren

Deze clustering is vooral gebaseerd op de mate van bewerking van maaisel en blad en maakt onderscheid tussen bokashi geproduceerd volgens de twee erkende procedés (Agriton, Bij de Oorsprong), compost, verschillende typen van bewerking van maaisel en onbewerkt maaisel.

Tabel 2-1 Overzicht van aantallen monsters en type product per jaar en seizoen.

		Jaar					
		2020 ¹	2021		2022		
Product	Code	V20	V21	N21	V22	N22 ²	Totaal
Bokashi	B	1	35	13	43	9	101
Compost	C		1	3	2	1	7
Maaisel Onbewerkt	MO		3			1	4
Maaisel met toevoeging	MT		9	2	9	2	22
Totaal per periode		1	48	18	54	13	134

¹ Valt formeel buiten de projectperiode, maar is een monster van een van de deelnemende pilots.

² Alle data die bij sluiting deadline voor jaarrapportage (januari 2023) beschikbaar zijn, zijn in deze rapportage verwerkt. Mochten nog nieuwe data beschikbaar komen, dan worden deze opgenomen in de jaarrapportage 2023.

Het merendeel van de in totaal 134 onderzochte producten is bokashi (101), gevolgd door bewerkt maaisel (22). Compost (7) en onbewerkt maaisel (4) worden slechts sporadisch toegepast door de deelnemende pilots.

In de meeste gevallen bevat de database met resultaten één meting (monster) per pilot. In een beperkt aantal gevallen zijn meerdere monsters van een pilot genomen. Dit zijn echter monsters van verschillende hopen die ook door verschillende deelnemende agrariërs in de pilot gemaakt en gebruikt worden. Deze meervoudige monsters van onder meer pilot 22 en pilot 51 worden daarom als afzonderlijke monsters in de analyse meegenomen.

Net als in 2022 vindt het merendeel (75-80%) van de productie van bokashi en andere organische bodemverbeteraars plaats in de winterperiode en wordt de bodemverbeteraar toegepast in het voorjaar. In de meeste gevallen (105 van de 134) zijn de producten gemaakt van maaisel, de overige van blad. In sommige gevallen kan ook een mengsel van blad en maaisel gebruikt worden, dit is niet altijd goed vermeld in de logboeken. Ook voegen sommige pilots mest toe aan het maaisel. Bij de analyse van de data is alleen onderscheid gemaakt tussen producten van maaisel en blad. Mengvormen zijn veelal geclassificeerd als producten van maaisel, omdat dit in de meeste gevallen de belangrijkste grondstof is.

De bemonstering en analyses in 2022 is volgens dezelfde protocollen uitgevoerd zoals beschreven in de jaarrapportage voor 2021 (Spijker et al., 2022) en voor een beschrijving van bemonstering en analysemethoden verwijzen we naar hoofdstuk 2 in die rapportage.

Voor de landbouwkundig relevante stoffen en eigenschappen, de fysieke verontreinigingen, residuen en zware metalen zijn alle bemonsterde producten onderzocht door Eurofins Agro. Daarbij zijn de volgende pakketten bepaald:

1. RVO pakket (droge stof, fosfaat, stikstof)
2. Overige nutriënten (organische stof, K, Mg, S, kalk, EC, pH en chloor)
3. C/N verhouding
4. Zware metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
5. Stabiliteit (respiratiemeting met oxitop-methode)
6. Onkruidkiemtoets
7. Overige verontreinigingen (steen, glas)
8. Residuen van bestrijdingsmiddelen

Dit is grotendeels overeenkomstig de metingen die standaard bij compost bepaald worden. In aanvulling daarop is hier ook de C/N-ratio bepaald, omdat die van invloed is op de stikstofmineralisatie dan wel -immobilisatie (bij hoge C/N-ratio's).

In de loop van 2022 is een aantal aanvullende monsters beschikbaar gekomen van een aantal pilots die in de jaarrapportage uit 2021 niet zijn opgenomen. Daarom staan in de tabellen tevens de gemiddelde en mediane waarden van de voorgaande periode (voorjaar en najaar 2021) naast die van 2022.

In 2022 is geen aanvullend onderzoek gedaan naar de andere contaminanten (PAK's, PCB's, PFAS, dioxines en minerale olie), omdat het onderzoek in 2021 uitwees dat de gehalten aan deze stoffen geen risico voor mens of milieu vormen.

2.2.2 Overzicht resultaten 2021 en 2022: nutriënten en organische stof

In Tabel 2-2 staat een overzicht van alle tot nu toe onderzochte producten zonder onderscheid te maken naar type product en/of periode.

In Tabel 2-3 staat voor een aantal relevante landbouwkundige parameters de mediane en gemiddelde waarde per periode (voorjaar-najaar en per jaar). Daarbij is ook de standaarddeviatie berekend voor elke periode. Verschillen tussen perioden zijn niet significant of niet consistent in 2021 en 2022. Zo is bijvoorbeeld het K-gehalte in het voorjaar van 2021 lager dan in het najaar, maar dit verschil is in 2022 niet gevonden. Gehalten aan bemestende waarde (N en P) lijken in deze periode ook niet afhankelijk van het seizoen of jaar.

Tabel 2-2 Ranges van landbouwkundige waarde van de onderzochte producten (alle periodes, op basis van droge stof).

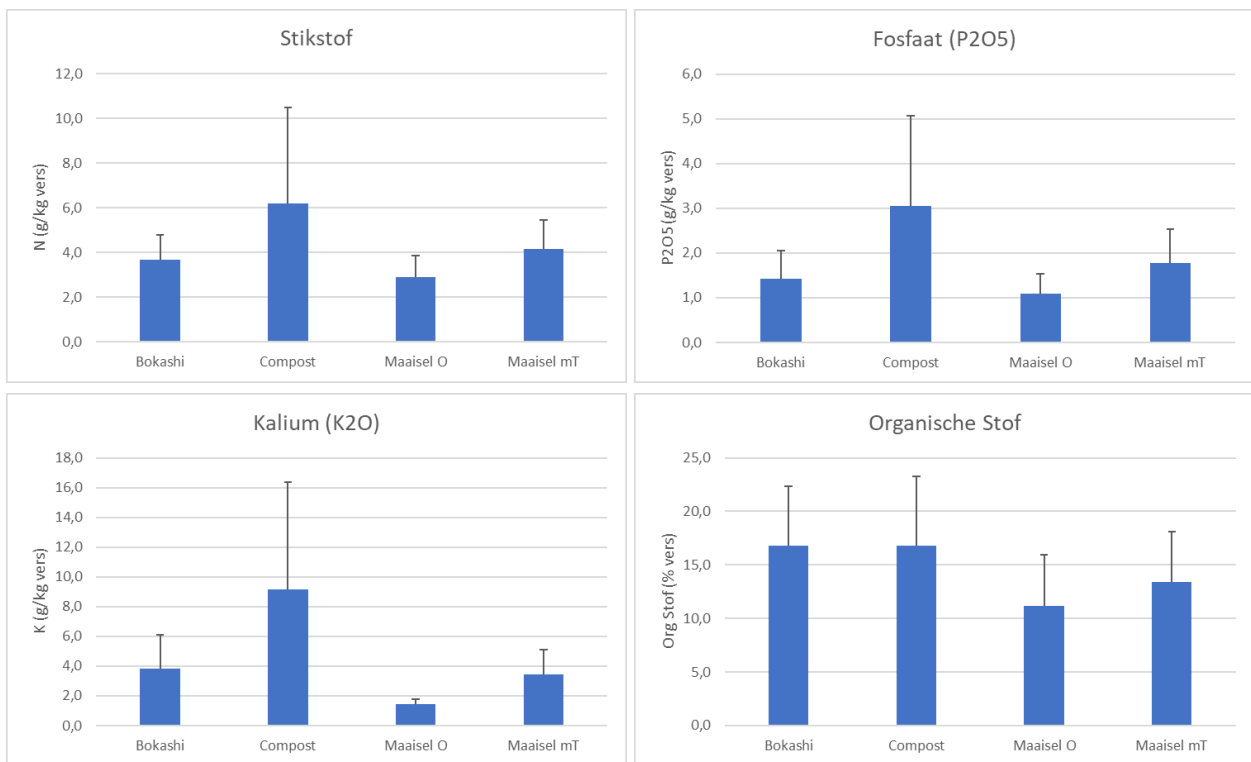
	Droge stof g/kg	Org. stof %	C gC/kg	C/N (-)	C/Org.Stof (-)	N-tot g/kg
min	138	9	51	10	42%	2.7
P5	198	16	91	11	48%	5.4
P50	344	47	265	23	54%	10.7
P95	574	81	421	39	65%	22.6
max	829	89	478	44	81%	34.3
aantal	133	130	117	117	116	131

	P g P ₂ O ₅ /kg	K g K ₂ O/kg	S g/kg	Mg g/kg	pH-KCl	EC mS/cm	Chloor g/kg
min	1.4	2.0	0.3	0.3	4.4	0.4	0.3
P5	1.9	3.6	0.7	1.5	5.2	0.8	0.3
P50	4.4	9.5	1.8	3.6	6.8	2.6	2.0
P95	8.5	27.6	3.8	7.2	7.8	10.6	11.0
max	13.7	41.0	5.2	9.5	8.5	15.2	17.0
aantal	128	129	129	129	128	99	128

Tabel 2-3 Overzicht van geselecteerde landbouwkundige waarden per periode (alle producten).

Periode		Droge stof %	Org. stof %	N-tot g/kg	P g P ₂ O ₅ /kg	K g K ₂ O/kg
Voorjaar 21	Mediaan	348	41	8.2	3.4	6.0
	Gemiddelde	374	42	10	4.1	9.1
	Std.dev.	107	19	6.3	2.2	7.3
	#	48	48	48	47	48
Najaar 21	Mediaan	338	55	12	6.3	22.0
	Gemiddelde	372	54	13	6.3	19.6
	Std.dev.	165	20	4.6	2.1	9.9
	#	18	18	18	18	18
Voorjaar 22	Mediaan	340	51	11	4.1	9.5
	Gemiddelde	350	51	12	4.4	11.5
	Std.dev.	105	20	6.0	2.3	7.8
	#	53	50	51	49	49
Najaar 22	Mediaan	350.0	59	11.9	4.4	10.0
	Gemiddelde	380	55	12.6	4.3	12.7
	Std.dev.	137	21	4.1	1.5	8.1
	#	13	13	13	13	13

De verschillen tussen jaren (2021 vs. 2020) en periodes (voorjaar vs. najaar) zijn in het algemeen klein. Wel zijn er kleine verschillen tussen de onderzochte producten (bokashi, compost, maaisel; Figuur 2-1) wat betreft de gemiddelde waarden voor onder meer N, P en K. De variatie binnen een productgroep is hier echter groot en de significantie van de verschillen tussen de productgroepen daarom laag (statistisch gezien is de variatie van de metingen voor een product zo groot dat verschillen tussen producten niet significant zijn. Dit geldt o.a. voor organische stof en stikstof, Figuur 2-1).



Figuur 2-1 Gemiddelde waarden en standaard deviatie voor N, P₂O₅, K₂O en organische stof per productgroep (alle data 2021-2022). Alleen voor P₂O₅ en K₂O is het verschil tussen compost en bokashi significant ($P < 0.05$).

Met name de nutriëntgehalten (K en P) in compost zijn iets hoger dan die in bokashi; dit is echter deels gerelateerd aan de mate van 'indikking' gedurende compostering die hoger is dan die voor bokashi. Verschillen tussen bokashi enerzijds en bewerkt maaisel (maaisel met toevoegingen) zijn vrijwel niet aantoonbaar, met uitzondering van de C/N-verhouding. Deze is in maaisel (19-23) net wat lager dan in bokashi (25-27). Voor compost wordt de laagste C/N-waarde gevonden (gemiddeld 15). Dit komt vooral doordat tijdens compostering een deel van de aanwezige koolstof verdwijnt door mineralisatie van organische stof, waardoor het aanwezig koolstof als CO₂ verdwijnt. Doordat bij bokashi fermentatie onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden plaatsvindt, wordt er, als de hoop goed is afgedicht, juist geen CO₂ gevormd en blijft de in maaisel en blad aanwezige koolstof gedurende fermentatie grotendeels aanwezig. Doordat meer koolstof tijdens de productie van bokashi behouden blijft, beïnvloedt dit uiteraard ook de C/N-verhouding van bokashi, die significant hoger is (gemiddeld 26) dan die van compost (gemiddeld 15, zie Tabel 2-4). Dit heeft consequenties voor onder meer de stikstofvastlegging in de bodem nadat compost dan wel bokashi wordt aangewend (zie ook hoofdstukken over stikstofmineralisatie en opbrengsten).

De hier gerapporteerde waarden voor onder meer N, P en K komen goed overeen met de gemeten concentraties in de meerjarige studie door OMAB (Bovendeert, 2022) en Van der Sloot et al. (2023); in deze studie zijn vergelijkbare materialen als bronmateriaal gebruikt. Ook de meerjarige studie van Iepema et al. (2021) geeft vergelijkbare gehalten aan nutriënten.

Voor onbewerkt maaisel geldt dat de zoutsterkte en het daaraan gerelateerd chloridegehalte, evenals het gehalte aan kalk, lager is dan in de andere producten. Dat laatste is deels het gevolg van het toevoegen van kalk aan maaisel of blad (in geval van bokashi gemaakt volgens het procedé van Agriton). Toch is de pH van onbewerkt maaisel – gemiddeld – niet anders dan die van bokashi of compost.

Tabel 2-4 Landbouwkundige kentallen gesplitst naar product (gemiddelde waarden per product op basis van droge stof tenzij anders vermeld).

	Droge stof g/kg	Org. stof %	Org. stof % vers	N-tot g/kg	P g P2O5/kg
Bokashi Alles	349	52	17	11,4	4,3
Bokashi Blad	352	48	17	10,0	3,2
Bokashi Maaisel	348	53	17	11,9	4,7
Compost	496	37	17	12,5	6,2
Maaisel Toevoeging	404	38	13	12,5	5,0
Maaisel Onbewerkt	346	45	11	12,5	4,2

	K g K2O/kg	S-tot g S/kg	Mg g MgO/kg	Cl g/kg	pH-KCl -
Bokashi Alles	12	1.8	3.9	3.5	6.7
Bokashi Blad	9	1.3	3.6	2.0	6.6
Bokashi Maaisel	13	2.0	4.0	4.0	6.8
Compost	18	2.3	4.9	4.1	7.1
Maaisel Toevoeging	10	1.7	3.1	2.9	6.6
Maaisel Onbewerkt	6	1.6	2.6	1.6	6.6

	KZK %	EC mS/cm	Koolstof g/kg	C/SOM %	C/N -
Bokashi Alles	2,0	3,4	281	55%	25
Bokashi Blad	1,8	2,2	265	55%	27
Bokashi Maaisel	2,1	4,0	287	55%	25
Compost	1,5	4,5	171	53%	15
Maaisel Toevoeging	1,6	3,7	209	56%	19
Maaisel Onbewerkt	0,2	0,5	271	56%	23

2.2.3 Overzicht resultaten 2021 en 2022: contaminanten, fysieke verontreinigingen en onkruiddruk

Voor gebruik in de landbouw is het relevant om te toetsen of de geproduceerde bodemverbeteraars geschikt zijn. Dat betekent dat gebruik van deze producten niet mag leiden tot ongewenste accumulatie van metalen, tot kieming van onkruid of ophoping van plastic, blik en andere fysieke verontreinigingen. Voor deze drie specifieke groepen zijn in Nederland normen geldend, deels gebaseerd op de Meststoffenwet (metalen), deels op de eisen aan Keurcompost (fysieke verontreinigingen en onkruiddruk). Deze hanteren we hier als maatstaf bij de beoordeling van alle producten.

Zware Metalen

De gehalten aan zware metalen (zie Tabel 2-5) in de onderzochte maaisels (onbewerkt) zijn normaal, d.w.z. in overeenkomst met eerdere metingen in 2020 en voorheen gerapporteerde gehalten. Gehalten aan zink en koper komen overeen met waarden zoals gerapporteerd in ruwvoer (BLGG) en andere studies naar de kwaliteit van gras en maaisel (Römkens et al., 2007; Römkens en Linders, 2019). De gehalten in de bewerkte producten (maaisel met toevoeging, bokashi en compost) zijn eveneens normaal en zijn grotendeels te verklaren door de mate van 'indikking' gedurende compostering dan wel fermentatie.

Tabel 2-5 Zware metalen (data alle producten in mg/kg op basis van droge stof).

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Minimum	0.06	1.6	4.7	0.02	1.3	3.1	21	0.55
5%	0.11	3.7	7.9	0.02	1.4	3.2	42	0.55
Mediaan	0.25	12	13	0.04	6.4	11	85	2.4
95%	1.0	25	24	0.09	14	29	188	8.6
Maximum	2.1	44	29	0.51	35	45	314	14
Aantal	125	127	125	127	127	125	125	127
Norm compost cf Meststoffenwet en EU 2009/1009	1 - 2	50 - 2 ¹	90 - 300	0.3 - 1.0	20 - 50	100 - 120	290-800	15 - 40
Aantal Overschrij- dingen NL - EU	8 - 1	0 - nb	0 ² - 0	1 - 0	2 - 0	0 ² - 0	1 ² - 0	0 - 0

¹ De norm voor Cr in NL is gebaseerd op de analyse van totaal-Cr; de norm in EU2009/1009 geldt voor het gehalte aan Cr(VI). Deze normgetallen zijn daarom niet met elkaar te vergelijken. Wel is de verwachting dat een gehalte aan Cr(VI) van 2 mg/kg voor de hier onderzochte producten tot een (veel) hoger Cr-totaalgehalte dan de norm van 50 leidt.

Uitschieter voor Cu, Zn en Pb (zoals vermeld in analyserapport 900969) zijn hier niet meegenomen.

Het aantal monsters dat niet aan de norm voor compost volgens de Mestwetgeving voldoet, is zeer laag. Voor Cr, Cu, Pb en As geldt dat alle monsters aan de norm voldoen. Voor Hg, Ni en Zn liggen de gemeten gehalten net boven de geldende (Nederlandse) norm voor compost in één (Hg, Zn) respectievelijk twee (Ni) monsters. Wanneer we de EU Directive voor meststoffen hanteren, voldoen deze monsters wel aan de daarin opgenomen normen voor Hg, Zn en Ni.

Voor Cd zijn er acht monsters die niet aan de Nederlandse norm voor compost volgens de Mestwetgeving voldoen. Dit zijn ofwel monsters afkomstig uit gebieden met een verhoogd Cd-gehalte in de bodem, ofwel monsters afkomstig uit industrieel beïnvloede gebieden. De gemeten gehalten aan Cd in die monsters ligt ruwweg in dezelfde orde grootte als het Cd-gehalte in de bodem. Voor deze monsters is er dus steeds een duidelijke oorzaak aan te wijzen voor de verhoogde gehalten. In de meeste gevallen bevat bij lokale toepassing de ontvangende bodem daarom ook hogere gehalten aan Cd en is er, net zoals voor koolstof, sprake van een circulaire stroom van Cd van bodem naar gewas naar bokashi en weer naar de bodem.

In de nieuwe EU-richtlijn voor de kwaliteit van EU-meststoffen is er voor compost overigens een hogere grenswaarde voor Cd opgenomen. Deze bedraagt momenteel 2 mg/kg (NL meststoffenwet: 1 mg/kg). De waarde van 2 mg/kg wordt in één monster licht overschreden (2.1 mg/kg). Ook voor andere metalen zijn de grenswaarden voor 'organic soil improvers' (cat. PFC 3) hoger dan de maximale gehalten volgens de Meststoffenwet (zie Tabel 2-5). Indien we deze EU-normen voor compost hanteren, overschrijden de gehalten aan metalen (m.u.v. Cd) de normen niet.

De verschillen tussen bokashi van maaisel dan wel van blad (zie Tabel 2-6) zijn klein, alleen voor Cr, Cu, Hg en Pb worden in bokashi van blad iets hogere gehalten aangetroffen dan in bokashi van maaisel. Deze elementen zijn ook typisch elementen die niet zozeer door opname door gewassen bepaald worden, maar veeleer door aanhangende grond of ander materiaal. De kans dat dat in geval van blad leidt tot hogere gehalten dan in maaisel kan deels gerelateerd zijn aan de manier van verzamelen van blad (o.a. via vegen).

Voor de productgroep met de meeste waarnemingen (bokashi van maaisel) is er geen verschil in metaalgehalten tussen voorjaars- en najaarsproducten. Dit komt deels door de variatie tussen pilots die voor de meeste onderzochte pilots groter is dan de variatie in samenstelling per pilot. Wellicht kan er op pilootniveau dus wel een verschil zijn in samenstelling tussen voor- en najaarsbokashi. Dit zal moeten blijken als er data beschikbaar komen over meerdere jaren bij dezelfde pilots.

Tabel 2-6 Zware metalen per productgroep (gemiddelde over alle perioden in mg/kg ds).

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Bokashi Alles	0,41	13	14	0,04	7,9	13	97	3,3
Bokashi Blad	0,31	16	16	0,05	8,5	16	90	2,9
Bokashi Maaisel	0,45	12	14	0,04	7,7	11	99	3,4
Compost	0,32	14	19	0,11	7,6	20	95	3,8
Maaisel Toevoeging	0,22	10	13	0,03	4,5	9,2	75	2,0
Maaisel Onbewerkt	0,19	4	8,0	0,03	2,4	6,4	60	2,5

Fysieke Verontreinigingen

De aanwezigheid van glas, steen en overige verontreinigingen, zoals plastic of blik in bodemverbeteraars, is ongewenst. Mede daarom zijn in de Beoordelingsregeling Keurcompost eisen ten aanzien van deze materialen gesteld. Deze zijn Tabel 2-7 opgenomen (conform BRL Keurcompost versie 7.1 met daarin de gewijzigde eisen overeenkomstig de VVAK-eisen uit 2021).

Tabel 2-7 Fysieke verontreinigingen, onkruidruk en stabiliteit (respiratiesnelheid).

	Glas 2-20 mm %	Glas >20mm %	Steen >5mm %	Verontr >2mm %	Onkruid kiemkracht [§] (aantal)	Tot.verontr. %	Resp.snelh mmol O ₂ /kgOS/uur
<i>Verdeling van alle data</i>							
Minimum	0.00	0.00	0.0	0.00	0	0.00	3.0
5%	0.00	0.00	0.0	0.00	0	0.00	7.8
Mediaan	0.00	0.00	0.2	0.00	0	0.00	19
95%	0.03	0.00	3.2	0.10	29	0.15	52
Maximum	0.27	1.00	7.1	0.44	143	2.6	100
Aantal	109	88	108	109	100	107	76
<i>Gemiddelde waarden per productgroep</i>							
Bokashi Alles	0.01	0.02	0.78	0.02	5 ¹	0.0	28
Bokashi Blad	0.03	0.05	1.35	0.03	0	0.1	29
Bokashi Maaisel	0.00	0.00	0.57	0.02	6 ¹	0.0	28
Compost (n=7)	0.03	0.00	0.68	0.01	0	0.0	8
Maaisel Toevoeging (n=25)	0.00	0.00	0.61	0.02	4	0.1	15
Maaisel Onbewerkt (n=4)	0.00	0.00	0.26	0.00	29 (n=1)	0.0	na ²
Norm (in % ds)	0.05	0	1	0.05	0	0.5% (excl steen)	nvt

§ Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen ontkiemde zaden of wortelstokken.

¹ Het gemiddelde wordt sterk bepaald door een aantal uitschieters, de mediane waarde voor kiemkracht in bokashi (voor de groepen 'alles' en 'maaisel') is 0.

² Onbewerkt maaisel blijkt in de hier verzamelde monsters ongeschikt voor de bepaling van de respiratie.

Tabel 2-8 Aantallen monsters per productgroep die niet aan de eisen voor fysieke verontreiniging voldoen.

	glas > 2mm	glas > 20mm	Steen > 5mm	Overig > 2mm	Totale verontreiniging > 2mm excl. steen
Bokashi	2	1	19	8	1
Maaisel	0	0	7	4	0
Blad	2	1	12	4	1
Compost	1	0	3	0	0
Maaisel met toevoeging	0	0	3	4	1
Maaisel onbewerkt	0	0	0	0	0
Norm/eis	0.05%	afwezig	1%	0.05%	0.5% cf MWG ¹

¹ MWG=MestWetGeving.

De hoeveelheid aan fysieke verontreiniging in de onderzochte producten is veelal laag. Het aantal monsters waarin voor glas en overige verontreinigingen de kwaliteitseis van 0.05% overschreden wordt, varieert van 0 voor maaisel tot 8 voor bokashi (voor overige verontreinigingen). Voor glas geldt dat dit in 2021 en 2022 alleen is aangetroffen in bokashi van blad (2 monsters) en compost (1 monster), maar niet in bokashi van maaisel, maaisel met toevoeging of onbewerkt maaisel. Voor overige verontreinigingen (niet zijnde glas) waaronder plastic, zien we zowel in bokashi (8) als maaisel met toevoeging (4) een aantal monsters dat niet aan de eis voldoet. Verder overschrijdt vooral de hoeveelheid steen in 19 monsters bokashi (20% van alle monsters) de eis van 1%. Dit is voor compost (3 van de 7 monsters) en maaisels met toevoeging (3 van de 22 monsters) ook het geval. De aangetroffen hoeveelheid steen is veelal grondeigen materiaal en vormt daarmee niet meteen een milieurisico, maar is gerelateerd aan de kwaliteit van het ingangsmateriaal en de hoeveelheid grond die daarbij meegenomen wordt.

Er dient echter een kanttekening gemaakt te worden bij de beoordeling van de hoeveelheid fysieke verontreiniging. Want van het materiaal dat wordt gebruikt voor de analyse worden vooraf met de hand de grotere verontreinigingen (met name grotere delen plastic en blik) verwijderd, omdat dit de analyses stoort. Metingen in dit gezuiverde materiaal zijn daarmee niet noodzakelijk representatief voor het materiaal zoals dat uitgereden wordt op het ontvangende perceel. In 2023 zal daarom voorafgaand aan de veldproeven op de proefbedrijven een kwantitatieve bepaling gedaan worden van de hoeveelheid grofvuil in de gebruikte materialen.

Er zijn kleine verschillen tussen de productgroepen waarbij vooral in bokashi van blad iets hogere gehalten aan steen, glas en totale verontreinigingen aangetroffen worden (Tabel 2-8). Dit is mogelijk het gevolg van de herkomst (stad) en de manier van verzamelen van het materiaal, ofschoon ook in geval van blad verschillende methoden worden gehanteerd (vegen versus blazen) die wellicht ook weer van invloed zijn op de gehalten aan dergelijke verontreinigingen.

Onkruiddruk (kiemkracht) en stabiliteit

De mediane waarde (P50) voor de onkruidkiemkracht in bokashi is nul, maar in 23% (bokashi) tot 29% (maaisel met toevoegingen) van de monsters is er sprake van een of meer kiemkrachtige onkruidzaden. (zie ook Tabel 2-9)). Dit geldt niet voor compost waarin geen onkruidkiemkracht gemeten is. Dit toont aan dat in driekwart van de monsters het fermentatieproces zorgt voor een onderdrukking van de kiemkracht. Op dit moment is nog onvoldoende duidelijk wat maakt dat er in 23 tot 29% van de bokashi en maaisel met toevoegingen monsters sprake is van kiemkrachtige onkruidzaden. Dit kan te wijten zijn aan een niet volledig anaeroob milieu (niet goed afgedichte hoop, scheuren in het plastic) of de aanwezigheid van specifieke soorten onkruid. Dit zal nader onderzocht worden, mede op basis van de logboeken. Aanvullend kan determinatie van de onkruidzaden inzicht geven in de soorten onkruid die de fermentatiestap overleven en of ook zaden of levende delen van invasieve exoten een rol spelen.

Tabel 2-9 *Onkruiddruk in de onderscheiden productgroepen (hier weergegeven als het aantal monsters boven de norm en het totaal aantal kiemkrachtige zaden).*

	Aantal monsters ¹	> 0 ²	% > 0	gemiddelde	mediaan	maximum
Bokashi	74	17	23%	5	0	143
Compost	4	0	0	0	0	0
Maaisel met toevoeging	21	6	29%	4	0	63
Maaisel onbewerkt	1	1	-	-	-	29

¹ Kiemkracht is niet in alle monsters onderzocht.

² De eis voor Keurcompost cf BRL 7.1 is 0.

De stabiliteit (oxytop-methode) van de onderzochte producten neemt af in de volgorde compost (gemiddeld zuurstofverbruik 8 mmol O₂/kg OS/uur) > maaisel met toevoegingen (gemiddeld zuurstofverbruik 15 mmol O₂/kg OS/uur) > bokashi (gemiddeld zuurstofverbruik 28 mmol O₂/kg OS/uur). De instabiliteit (hoge waarde voor respiratie) van bokashi wordt veroorzaakt door de omzetting van een deel van de aanwezig koolstof in zeer labiele vormen die tijdens de respiratieproef met de oxytop-methode vervolgens snel gemineraliseerd worden. Voor maaisel met toevoeging geldt dat dit veelal meer lijkt op een –

gedeeltelijke – compostering waardoor het uiteindelijke materiaal ook iets stabiel is dan bokashi. Op dit moment bestaat er geen eis of norm voor een maximale respiratiesnelheid. Volgens Moolenaar et al. (2002) kunnen producten met een respiratiesnelheid lager dan 10 tot 15 echter als stabiel beoordeeld worden. In België hanteert VLACO een kwaliteitsdoelstelling van 10 mmol O₂/kg OS/uur en een maximale waarde van 15 mmol O₂/kg OS/uur als bovengrens voor de stabiliteit (Vanhoof et al., 2008)

2.2.4 Overzicht resultaten 2021 en 2022: residuen van bestrijdingsmiddelen

In 2021 en 2022 is in totaal in 72 monsters een analyse op residuen gedaan (Tabel 2-10). Dit mede naar aanleiding van zorgen rondom de aanwezigheid van de schimmel *Aspergillus fumigatus*. Deze kan, in aanwezigheid van (residuen van) azolen, resistentie voor antibiotica ontwikkelen, wat nadelig is voor de behandeling van deze schimmel voor mensen die daar gevoelig voor zijn.

Per periode (voorjaar/najaar 2021-2022) varieert het aantal monsters waarin een middel is aangetroffen tussen de 20 en 31% van het totaal aantal onderzochte monsters.

De gehalten in die monsters waarin residuen zijn aangetroffen, zijn veelal zeer laag: voor de meeste residuen is de detectiegrens 10 ppb (µg/kg); het merendeel van de metingen ligt tussen 10 en 20 ppb; slechts twee keer is een concentratie van meer dan 30 ppb gemeten.

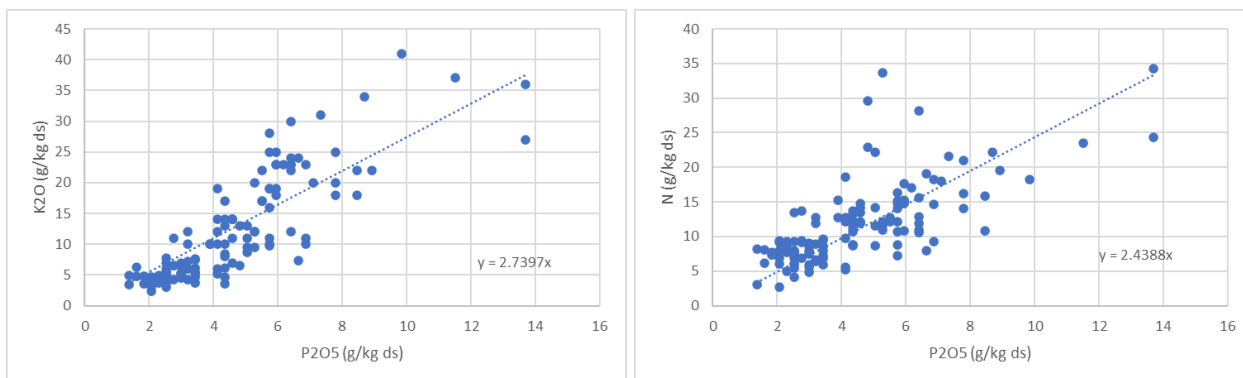
Tabel 2-10 Residuen van bestrijdingsmiddelen.

ronde	% pos. scores	positieve scores/totaal	Concentratie range ppb	Aangetroffen residuen
voorjaar 21	24%	7-24	13-20	Anthrachinon (3x); Prosulfocarb (2); Thiabendazool; Imazalil; Difenconazool
najaar 21	25%	3-12	12-34	Anthrachinon; Dieldrin; Fluopyram; Mandipropamid
voorjaar 22	31%	8-26	10-54	2-hydroxybenzothiazool (3x); Prosulfocarb; Anthrachinon; Triclopyr; Benzovindiflupyr, Fluroxypyr, 2-Phenylphenol
najaar 22	20%	2-10	17-20	Anthrachinon; Fluopyram

Azolen worden beperkt aangetroffen, in totaal in vijf monsters in het voorjaar van 2021 en 2022. Dit betreft zowel bokashimonsters van blad als van maaisel. In de monsters uit het najaar zijn geen azolen aangetroffen en worden ook minder verschillende middelen aangetroffen. Voor residuen bestaan overigens geen eisen of normen m.b.t. maximaal toegestane gehalten.

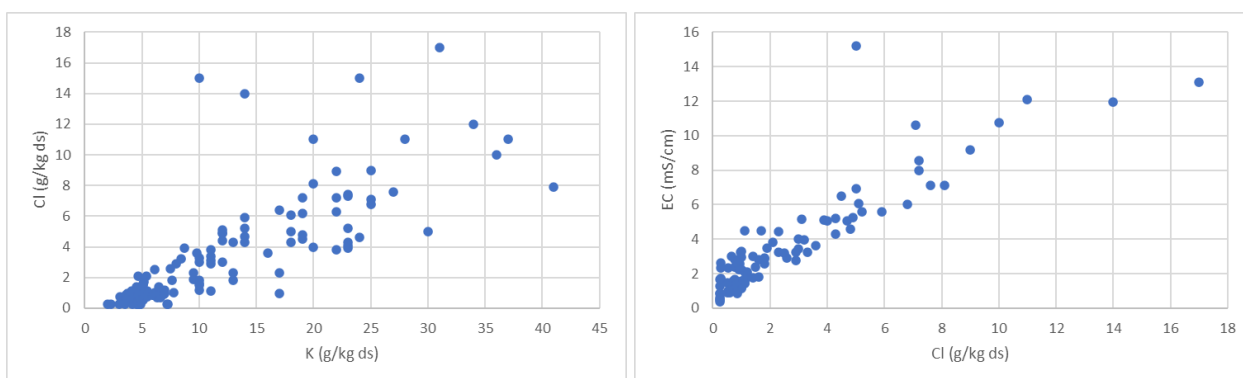
2.2.5 Overzicht resultaten 2021 en 2022: algemene relaties voor nutriënten

In de hierna volgende figuren staan een paar algemene relaties voor de onderzochte producten. Daaruit blijkt dat in de tot nu toe geanalyseerde producten de onderlinge verhoudingen tussen zowel de gehalten aan nutriënten als die aan zware metalen een relatief kleine variatie kennen. Dat wijst erop dat het uitgangsmateriaal eveneens vergelijkbaar van kwaliteit is; er komen geen of weinig uitschieters voor (zie Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Relatie tussen het fosfaatgehalte in de onderzochte producten en het kalium- (links) en stikstofgehalte (rechts).

Voor de macronutriënten N, P en K geldt dat er redelijk eenduidige relaties zijn in de gehalten ongeacht het product (maaisel, bokashi of compost, Figuur 2-2). Voor de landbouwpraktijk betekent dat er per kilogram P_2O_5 ruwweg 2.7 kg K en 2.4 kg N aangevoerd wordt. In hoofdstuk 4 wordt meer in detail ingegaan op de beschikbaarheid van N en P in een aantal producten. Daaruit, en ook uit de resultaten in hoofdstuk 4 zal blijken dat voor bemestingsdoelen de hoeveelheid beschikbaar N toegediend via bokashi of compost veel lager is dan de totale hoeveelheid berekend op basis van deze samenstellingscijfers alleen.



Figuur 2-3 Relatie tussen K en Cl (links) en Cl en de EC (zoutsterkte) rechts in alle onderzochte producten.

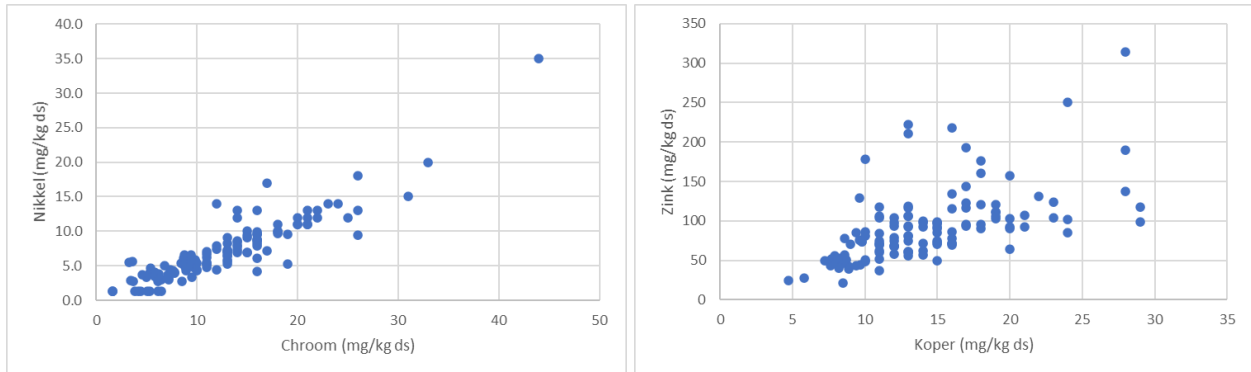
Ook tussen de zouten (o.a. K en Cl) bestaat er een eenduidig verband (Figuur 2-3, links), evenals tussen het Cl-gehalte en de EC (Figuur 2-3, rechts). In een aantal monsters is namelijk sprake van een relatief hoge zoutsterkte (EC hoger dan 4), ofschoon niet verwacht wordt dat dit tot problemen in de bodem leidt (zie ook rapportage 2021; Spijker et al., 2022). Eerder onderzoek bij maaisel heeft namelijk laten zien dat chloridegehalten tussen 7 en 20 g/kg als normaal te beschouwen zijn. De hier gemeten range aan Cl – en dus ook van de EC – valt geheel binnen de range van normale gehalten aan Cl in maaisel.

Voor zware metalen geldt dat de gehalten in maaisel (of blad) dat als grondstof gebruikt wordt voor het maken van bokashi of compost bepaald worden door een aantal factoren:

1. De opname door het gewas (in dit geval gras of andere vegetatie) via de bodem;
2. Gronddeeltjes die aan het gemaide gewas kleven;
3. Depositie uit de lucht.

Voor de meeste metalen geldt dat deze laatste factor (depositie) de laatste decennia sterk is gedaald. Daar waar tot 1980 het gehalte aan lood in maaisel vrijwel volledig bepaald werd door depositie uit de lucht (a.g.v. lood in de benzine die via de uitlaatgassen in de lucht kwam) is dit in de jaren daarna vrijwel tot nul gedaald. Daarom zijn opname door de plantenwortels en aanhangende grond de belangrijkste factoren die de variatie aan de gehalten in maaisel bepalen. Zeker in geval van bodems met verhoogde gehalten aan

metalen kan de betekenis van de aanwezigheid van zware metalen in de grond belangrijker zijn dan de opname door het gewas zelf. Daarnaast kunnen metalen als zink, cadmium en koper (relatief) gemakkelijker door de plant opgenomen worden dan metalen als chroom, nikkel, lood of kwik. De gehalten van deze laatste vier metalen zijn daardoor vaak bepaald door de hoeveelheid bodemmateriaal in het product en dan vinden we vaak sterke relaties tussen de gevonden gehalten van deze metalen, zoals voor chroom en nikkel is weergegeven in Figuur 2-4 (links).



Figuur 2-4 Relatie tussen het chroom- en nikkelgehalte (links) en tussen het koper- en zinkgehalte (rechts) in de onderzochte producten.

Ook in niet specifiek verontreinigde bodems zijn de gehalten van deze elementen vaak aan elkaar gerelateerd en dat zien we ook terug in de analyse van deze metalen in de onderzochte producten. Voor koper en zink geldt dat deze vaak specifiek door het gewas opgenomen worden, omdat het essentiële micronutriënten zijn. Ook hier zien we dat de gehalten aan beide metalen in de producten aan elkaar gerelateerd zijn (Figuur 2-4, rechts). Het feit dat deze relaties bestaan, kan ook helpen om uitschieters sneller te identificeren, want die zullen in de meeste gevallen dan afwijken van het verband zoals getoond in Figuur 2-4.

Zowel voor de landbouwkundig relevante stoffen (N, P, K) als voor metalen geldt dat deze relaties niet verschillen per product (compost, bokashi, maaisel).

2.3 Bodemonderzoek 2022

Zowel in 2021 als in 2022 zijn 57 bodemonsters onderzocht, verdeeld over voor- en najaar zoals in onderstaande tabel vermeld staat. Dit betreft niet allemaal monsters van individuele pilots, omdat in sommige gevallen meerdere monsters genomen zijn per pilot. Ook hebben sommige pilots een referentieperceel meegenomen in het onderzoek, maar dit is niet door alle pilots op dezelfde manier gedaan. Om te bepalen of er sprake is van veranderingen in de bodemkwaliteit als gevolg van het gebruik van bodemverbeteraars zal in 2024 specifiek aanvullend onderzoek naar de bodemkwaliteit van niet-behandelde velden gedaan worden.

Ook voor de bodembemonstering geldt dat in 2022 dezelfde monster- en analyseprotocollen gevolgd zijn als in 2021 en voor een verwijzing naar methoden verwijzen we naar de jaarrapportage van 2021 (Spijker et al., 2022). In de rapportage over 2021 staan voor de bodemanalyses alleen de data van de voorjaarsronde (2021) opgenomen. Hier vatten we daarom ook de data uit het najaar 2021 t/m die van het najaar 2022 samen. Dit betreft voornamelijk een weergave van de algemene bodemkwaliteit van de onderzochte percelen zonder specifiek te kijken naar verschillen die op kunnen treden in behandelde en niet-behandelde percelen. Dit aspect zal in 2024 deel uitmaken van het onderzoek.

Tabel 2-11 *Overzicht van aantal bodemmonsters in 2021 en 2022.*

Jaar	Periode	Aantal monsters
2021	Voorjaar	26
	Najaar	31
2022	Voorjaar	31
	Najaar	26

2.3.1 Algemene bodemkenmerken 2021-2022

Zoals ook al in de jaarrapportage 2021 gerapporteerd (Spijker et al., 2022), varieert de bodemsamenstelling van de deelnemende pilots sterk. De textuur van de meeste van de onderzochte pilots is zand (gemiddeld 4% klei) met een normaal tot hoog organischestofgehalte (4 à 5%). Daarnaast zijn er 8 pilots met kleigrond en 12 met een lemige bodem (voor zover onderzocht). Verreweg het grootste deel van de bodems kan als 'minerale' bodem geclassificeerd worden (organische stof < 10%), 1 pilot heeft een organischestofgehalte van meer dan 20% (veen) en 4 hebben een organischestofgehalte tussen 10 en 20% (moerige bodem).

Het aantal pilots met een laag organischestofgehalte (hier gedefinieerd als bodems met minder dan 2% organische stof) is 5. Daarvan is er echter maar 1 die als 'arm' omschreven kan worden, omdat die bodem ook een zeer lage nutriëntenstatus heeft. De overige 4 gronden met een organischestofgehalte van minder dan 2% zijn wat nutriëntenstatus betreft normaal tot rijk.

De zuurgraad van de bodem is, voor zandgrond in gebruik als akkerbouw, normaal en wijst op het gebruik van kalk om de pH op een geschikte waarde voor akkerbouw te houden. In het algemeen is de nutriëntenstatus (hier geïllustreerd voor fosfaat) voldoende tot goed. Zowel voor P-PAE als P-AI vallen de meeste bodems in de klasse 'ruim', wat aangeeft dat het veelal bemeste bodems betreft die langdurig bemest zijn met dierlijke mest. Wel is duidelijk dat er ook zeer arme bodems (P-PAE < 0.8 mg P/kg) en extreem rijke bodems (P-PAE > 3.4) voorkomen. Voor het gebruik van bokashi of compost als meststof geldt dus dat dit in de meeste bodems niet heel veel zal toevoegen aan de toch al hoge nutriëntstatus van de bodem.

Datzelfde geldt feitelijk ook voor het mogelijk verhogen van de organische stofvoorraad van de bodem. Voor de meeste bodems met een organische stof gehalte van 4% à 5% of meer, geldt dat het daadwerkelijk verhogen van de bodem koolstofvoorraad zeer grote hoeveelheden aan organisch materiaal vergt. Dit omdat bij dergelijke gehalten ook de jaarlijkse afbraak van al in de bodem aanwezig organisch materiaal een behoorlijke hoeveelheid C betreft die al aangevoerd moet worden om het bodem C gehalte constant te houden.

Tabel 2-12 *Overzicht van onderzochte bodemeigenschappen¹.*

	Org stof %	C-ORG %	CEC mmol(+)/kg	pH NIRS	Klei %
Minimum	0.5	0.1	27	4.2	1 ²
P5	1.9	0.9	33	4.8	1
Mediaan	4.2	2.2	77	5.8	4
Gemiddelde	5.3	2.7	118	6.0	9
P95	14.1	7.5	314	7.5	33
Maximum	33.9	10.1	448	7.6	43

	P-Al mg P₂O₅/100g	P-PAE mg P/kg	C/N-bodem -	Cu-PAE µg/kg	Zn-PAE µg/kg
Minimum	4.0	0.3 ²	5	21 ²	100 ²
P5	24	0.6	10	21	100
Mediaan	49	2.9	13	39	810
Gemiddelde	60	4.1	13	45	1402
P95	128	12	17	97	4390
Maximum	175	17	19	139	7570

	Microbiële activiteit mg N/kg	Microbiële biomassa mg C/kg	Bacteriële biomassa mgC/kg	Schimmel biomassa mgC/kg	schim./bact -
Minimum	1.0	24	10	5.0	0.1
P5	16	101	44	29	0.3
Mediaan	42	332	127	99	0.7
Gemiddelde	67	492	201	143	0.8
P95	212	1799	805	479	1.3
Maximum	493	3097	1204	680	2.6

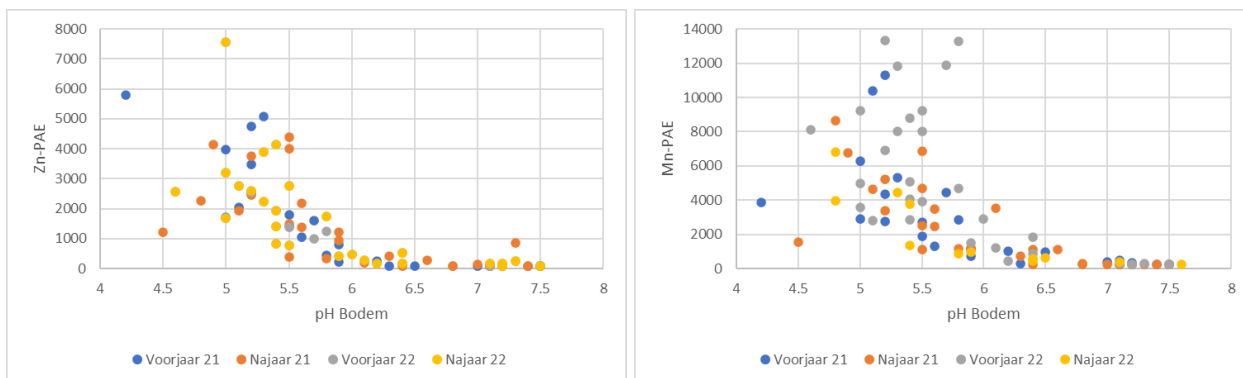
¹ In dit overzicht is van pilot 22 de gemiddelde waarde meegenomen van de in totaal 14 bodemonsters die zijn genomen van percelen met een verschillende behandeling.

² Deze waarde is de detectielimiet (klei: 1; P-PAE: 0.3; Cu-PAE: 21 en Zn-PAE: 100).

2.3.2 Beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem

Voor zink en mangaan geldt dat de beschikbaarheid in de bodem sterk gereguleerd wordt door de zuurgraad (Figuur 2-5). Daarbij bestaat er een soort van omslagpunt bij een pH van 6 (zink) en 6.5 (mangaan). Bij pH-waarden boven dit omslagpunt daalt daarbij de beschikbaarheid voor planten voor beide elementen sterk (minder beschikbaar). Voor mangaan is inderdaad aangetoond dat er bij hoge pH-waarden in de bodem (pH > 7) sprake kan zijn van mangaangebrek bij planten. Ook voor mangaan geldt dat dit bij hoge pH sterk gebonden is aan de bodem en bemesting (via de bodem) levert dan vaak een beperkt effect op, omdat het toegediende mangaan aan de bodem gebonden wordt. In dat geval kan bladbemesting uitkomst bieden, omdat de plant dan een deel van het aangeboden mangaan via de bladeren kan opnemen. Zowel voor zink als mangaan is de variatie in de metingen gelijk in alle meetrondes (voor- en najaar 2021 en 2022).

Bij pH-waarden lager dan 6 is de beschikbaarheid van zink voldoende tot hoog, terwijl bij pH-waarden van meer dan 6 de – chemische – beschikbaarheid sterk afneemt. Bij pH-waarden van 7 of meer ligt de meetwaarde van beschikbaar zink vrijwel altijd onder de detectiegrens van 100 µg/kg. Overigens betekent een lage meetwaarde voor zink niet automatisch dat een plant geteeld op die bodem een gebrek aan zink heeft. Planten zijn namelijk in staat ook bij een hoge pH een deel van de hoeveelheid zink die ze nodig hebben uit de bodem op te nemen. Formeel bestaat er daarom ook geen advies voor bemesting met zink. Dat zelfde geldt ook voor koper. Bovendien geldt voor beide micronutriënten dat ze in vrijwel alle landbouwbodems in grote hoeveelheden via dierlijke mest jaarlijks aan de bodem toegevoegd worden.



Figuur 2-5 Beschikbaarheid van zink (links) en mangaan (rechts) in de bodem in afhankelijkheid van de zuurgraad (pH).

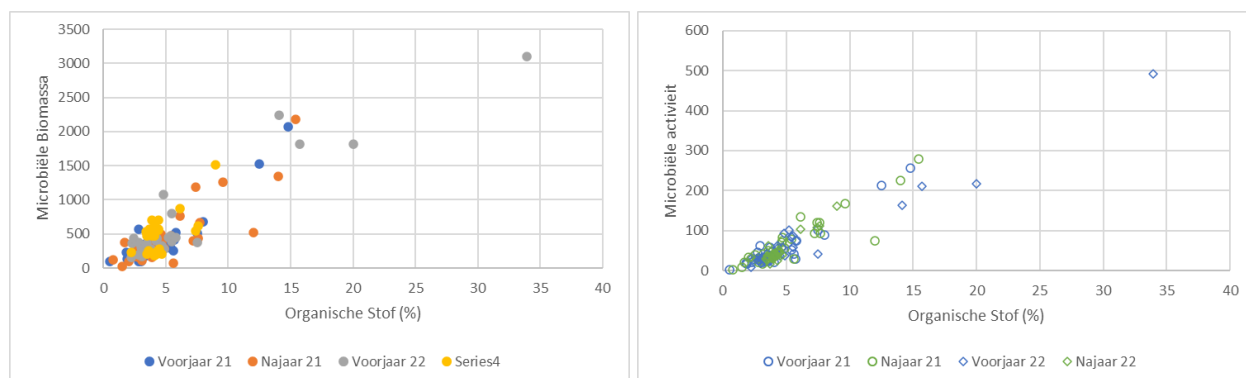
2.3.3 Organische stof, waterberging en micro-organismen in de bodem

De data over de micro-organismen in de bodem zijn op dit moment niet eenduidig te interpreteren. Volgens de criteria die door Eurofins voor deze parameters gebruikt worden, varieert het streeftraject voor de microbiële biomassa en activiteit afhankelijk van de bodemsamenstelling. Zo neemt de gewenste biomassa (en activiteit) toe met het organischestofgehalte (Figuur 2-6). In de meeste gevallen wordt de kwaliteit van de microbiële biomassa als voldoende tot goed beoordeeld, terwijl de beoordeling van de microbiële activiteit als zeer wisselend (van laag tot goed) beoordeeld wordt.

In 2024 en 2025 zal met behulp van de jaarlijks herhaalde meting geprobeerd worden om trends op pilotniveau in deze bodemeigenschappen vast te stellen. Op dit moment is dit op basis van twee jaren aan meetdata (nog) niet mogelijk.

Het belang van organische stof voor het functioneren van de microbiële biomassa blijkt ook uit de data van deze studie. Zowel de biomassa als de activiteit van bodem micro-organismen neemt toe met organische stof (Figuur 2-6).

De data uit 2021 en 2022 liggen daarbij allemaal op één lijn; er is geen verschil in het verband tussen organische stof enerzijds en biomassa (of activiteit) anderzijds in 2021 en 2022 (of tussen voor- en najaar). De relatie tussen organische stof en microbiële biomassa (of activiteit) die nu op basis van de data uit 2021 en 2022 is afgeleid (zoals te zien in Figuur 2-6) kan daarom voor de komende jaren als een soort basislijn dienen. Als gebruik van bokashi of andere bodemverbeteraars leidt tot een toename van organische stof dan zou dat, op basis van deze relatie, moeten leiden tot een toename van microbiologisch biomassa en activiteit. Of het gebruik van bodemverbeteraars op de microbiologische bodemkwaliteit inderdaad meetbaar is, zal blijken uit de monitoring van de bodemkwaliteit op pilot niveau in 2024 en 2025.



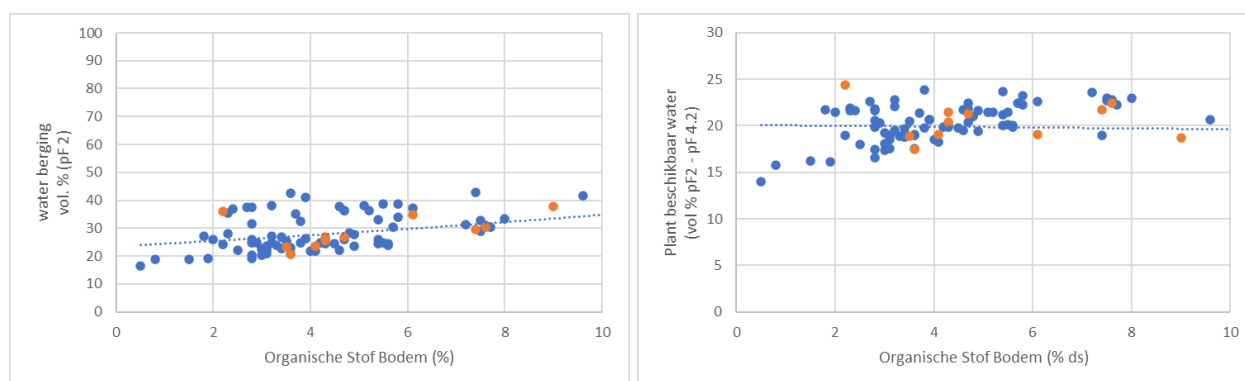
Figuur 2-6 Relatie tussen organische stof en de microbiële biomassa (links) en de microbiële activiteit (rechts).

Een belangrijke vraag is of organische stof bijdraagt aan de waterberging van de bodem en of door het gebruik van bokashi dan wel compost de waterberging kan toenemen. Eerder is aangetoond dat het verhogen van organische stof kan leiden tot een toename van de waterberging, maar dit effect is vooralsnog niet of zeer beperkt waarneembaar in de onderzochte bodemonsters in deze studie (Figuur 2-7). Dat komt vooral omdat – tot nu toe – op pilotniveau geen duidelijke veranderingen in het bodem-organischestofgehalte waarneembaar zijn. In het algemeen is de relatie tussen de hoeveelheid water die in de bodem bij pF 2 ('veldcapaciteit'; dit betreft overigens een berekende waarde) aanwezig is en het organischestofgehalte zwak. Zo ligt een deel van de punten uit het najaar van 2022 duidelijk boven de puntenwolk van de data uit 2021 en het voorjaar van 2022. De verklaring hiervoor is dat deze specifieke punten afkomstig zijn van pilots met een hoger kleigehalte. Zowel organische stof als klei is een sturende eigenschap van de bodem die de capaciteit om water vast te houden, bepaalt.

Voor de hoeveelheid plantbeschikbaar water (Figuur 2-7, rechts) geldt dat in de range van 2 tot 8% aan organische stof in de bodem er nauwelijks sprake is van een toename van de hoeveelheid water die voor de plant beschikbaar is. Bodems met minder dan 2% organische stof wijken dan wel af van bodems met meer dan 2%. De grootste potentie van het gebruik van organische stof om een toename van het waterbergend vermogen te realiseren, is dan ook juist in deze arme gronden.

Overigens betekent dit niet dat gebruik van organische bodemverbeteraars per definitie geen invloed heeft op de waterhuishouding. Juist omdat producten als bokashi en compost vaak in grotere hoeveelheden in een beperkte laag grond aangewend worden (bijvoorbeeld in het groenbeheer), heeft dit gebruik ook invloed op onder meer de structuur en de warmte- en waterhuishouding. Dat kan daardoor ook resulteren in een verbeterde groei van de vegetatie, zoals in een aantal pilots in stedelijke gebieden gerapporteerd wordt.

In 2023 en 2024 zal meer aandacht besteed worden aan de aspecten gerelateerd aan waterberging van de bodem. Dat betreft dan zowel het vermogen van de bodem om water langer en beter beschikbaar te houden voor planten (waterberging) als het verhogen van de infiltratiecapaciteit bij hoge neerslagintensiteit. Beide zijn, zowel in landelijk als stedelijk gebied, belangrijk om schade door te weinig (in geval van droogte) en te veel water (in geval van natte perioden) te voorkomen.



Figuur 2-7 Relatie tussen het organischestofgehalte en de hoeveelheid water in de bodem bij pF 2 (veldcapaciteit; links) en de hoeveelheid beschikbaar water voor de plant (rechts, hier berekend als het verschil in de hoeveelheid volume % water bij pF 2 en pF 4.2).

2.4 Conclusies aangaande product- en bodemonderzoek

Uit de metingen aan de producten in 2021 en 2022 blijkt dat verschillen in producteigenschappen tussen seizoenen van productie (voor- of najaar) of wijze van productie (bokashi, maaisel met toevoeging of onbewerkt) klein en veelal niet significant zijn. De data laten kleine significante verschillen in gehalten aan nutriënten (K en P) tussen compost en bokashi zien. Deze zijn deels gerelateerd aan de mate van omzetting, die bij compost hoger is dan bij bokashi. Daardoor zijn de gehalten aan P en K in compost significant

($P < 0.05$) hoger dan die in bokashi. Voor N en organische stof is de variatie te groot en zijn de verschillen niet significant.

Gehalten aan schadelijke stoffen (metalen) of zout zijn niet verschillend tussen seizoenen of productgroepen. De onkruiddruk (hier bepaald als het aantal kiemkrachtige zaden in het eindproduct) is laag, de mediaan (50 percentiel, d.w.z. de middelste waarde van alle waarneming) is nul in alle perioden (voor alle producten). Voor compost en bokashi van blad is het gemiddelde eveneens nul, terwijl dat voor bokashi van maaisel (gem. 5), onbewerkt maaisel (gem. 29) en maaisel met toevoegingen (gem. 4) afwijkt van nul. Voor deze drie groepen geldt echter steeds dat het gemiddelde sterk bepaald wordt door uitschieters, de mediaan voor deze drie groepen is ook nul.

Wel is de C/N-verhouding van bokashi (26) hoger dan die van compost (11), wat van betekenis is voor de beschikbaarheid van stikstof in de bodem.

Ook is compost stabielere dan bokashi, wat onder meer blijkt uit de respiratiesnelheid die voor compost gemiddeld 8 mmol O₂/kg OS/uur bedraagt en voor bokashi 28 mmol O₂/kg OS/uur. Een hogere zuurstofconsumptie wijst daarbij op een snellere afbraak ofwel een minder stabiel product. Dit is overigens in lijn met de verwachting, omdat een deel van de koolstofverbindingen in bokashi tijdens de fermentatie omgezet is in makkelijk afbreekbaar (labiel) koolstof.

Effecten op bodemkwaliteit zijn op pilotniveau (nog) niet waarneembaar. Dit komt deels ook doordat de bodemkwaliteit van de onderzochte percelen van de meeste pilots goed is. De, meest zandige, bodems hebben een voldoende tot hoog organischestofgehalte en de gehalten aan stikstof en fosfaat zijn in veel gevallen hoog te noemen. In een klein aantal pilots is sprake van een laag organischestofgehalte. Dit zijn daarmee ook pilots die in het vervolg van het project vooral interessant zijn om te zien of er sprake is van effecten op bodemkoolstofvoorraden door het meerjarig gebruik van organische bodemverbeteraars.

Een mogelijk knelpunt is de aanwezigheid van fysieke verontreinigingen. De bepaling van steen en glas in de onderzochte monsters zijn weliswaar veelal laag, maar bij de bemonstering wordt meestal het grovere vuil (> 2 cm) van onder meer plastic en blik niet meegenomen. In 2023 zal daarom de hoeveelheid grofvuil in de producten die in de veldproef worden gebruikt, geteld worden. In aanvulling daarop vindt onderzoek bij de pilots plaats om te bepalen of er sprake is van visueel aanwezig grofvuil na uitrijden.

3 Veldproeven

3.1 Inleiding

De aandacht voor circulair terreinbeheer neemt toe in de landbouw. Agrariërs realiseren zich dat de bodemgezondheid belangrijk is, zeker op intensief gebruikte landbouwbodems. Aandacht voor het bodemleven en hoe je dit moet voeden en herstellen, zijn belangrijke thema's. Een van de mogelijkheden is het toevoegen van organische reststromen zoals bokashi, compost of maaisel. Binnen dit project willen we in veldproeven bepalen wat de gevolgen zijn van het gebruik van deze reststromen op onder andere de bodemmicrobiologie, aaltjes, bodemvruchtbaarheid en de gewasproductie van mais. Omdat de omstandigheden bij de deelnemende 60 pilots verspreid over Nederland heel divers zijn, kan dit beter bestudeerd worden op goed geselecteerde proeflocaties waarbij op elk van deze drie locaties dezelfde producten in dezelfde toediening aangewend worden.

Dit onderzoek is gestart in 2021 waarbij op drie proefboerderijen van WUR (Lelystad, Hengelo (De Marke) en Vredepeel) verschillende organische producten (bokashi, onbewerkt maaisel, maaisel met toevoegingen en een compost) aan de grond zijn toegevoegd in twee doseringen (10 ton/ha en 50 ton/ha). In 2022 zijn deze behandelingen herhaald. Deze behandelingen zijn vergeleken met enkele controleplots zonder toevoeging en een behandeling met een normale bedrijfsvoering waarbij dierlijke mest wordt gebruikt als bron van N en P. Om extra inzicht te krijgen in de bemestende waarde van de organische producten zijn er ook objecten met verschillende stikstofgiftten in de vorm van kunstmest in de veldproeven aangelegd. Per locatie is dit uitgevoerd in een random block design met achttien verschillende behandelingen in vier herhalingen. Gedurende het teeltseizoen is in 2022, net zoals in 2021, op alle veldjes mais geteeld en zijn metingen gedaan naar de bodembioïologie (PLFA/NLFA, aaltjes), de bodemvruchtbaarheid, de gewasgroei en de gewasopbrengst.

3.2 Opzet en methoden onderzoek 2022

3.2.1 Behandelingen

In de proeven zijn achttien objecten aangelegd in vier herhalingen. Daarbij is bokashi van maaisel gebruikt (drie producten), bokashi van blad (één product), maaisel met toevoegingen (twee producten)¹ en onbewerkt maaisel (één product). Deze zijn, met uitzondering van onbewerkt maaisel, alle in twee doseringen toegediend (10 en 50 ton/ha). Als referentie voor organische bodemverbeteraars is één behandeling met Keurcompost (groencompost) opgenomen, ook in dezelfde twee doseringen. Daarnaast zijn vijf referentieobjecten opgenomen in de proef. Dit betreft een met voor de regio gangbare bemesting met runderdrijfmest, aangevuld met kunstmest (GBORG). Daarnaast zijn vier referentieobjecten met een stikstofreeks aangelegd. Dit omvat een behandeling als controle – zonder stikstofbemesting maar met P- en K-bemesting – en drie objecten met een oplopende stikstofgift van respectievelijk 33, 66 en 100 procent van de stikstofgebruiksnorm. Doel van deze laatste vier behandelingen is om inzicht te krijgen in het stikstof leverend vermogen van de bodem en de producten. De fosfaat en kali (bij)bemesting is in alle objecten uitgevoerd volgens het fosfaat- en kalibemestingsadvies (zie uitvoering, Tabel 2).

In Tabel 3-1 zijn de verschillende producten, doseringen en objectcodes weergegeven. Alle bokashi-producten en maaisel met toevoegingen zijn in een dosering van 10 ton/ha (Laag: L) en 50 ton/ha (Hoog: H) toegepast. Het verse, onbewerkte maaisel is om praktische redenen alleen toegepast in de dosering van 10 ton/ha. Het cijfer in de objectcode geeft de herkomst van de Bokashi aan. De proeven zijn aangelegd als gewarde blokkenproef in vier herhalingen. Proefveldschema's zijn opgenomen in Bijlage 1.

¹ Twee verschillende producten zijn gebruikt. MT5b is gebruikt in Vredepeel en De Marke en MT5c is gebruikt in Lelystad.

Tabel 3-1 *Overzicht van de verschillende behandelingen met Bokashi, maaisel, maaisel met toevoegingen, Keurcompost en controlebehandelingen met gangbare praktijk en vier niveaus van stikstofbemesting op drie proefveldlocaties.*

Objectcode	Product/omschrijving	Type†	Dosering (ton/ha)	Herkomst	Proefvelden#
GBORG	Gangbaar	RDM + kunstmest			Ls – HI – Vp
0%N	Geen N-bemesting				Ls – HI – Vp
33%N	33% N-bemesting	KAS			Ls – HI – Vp
66%N	66% N-bemesting	KAS			Ls – HI – Vp
100%N	100% N-bemesting	KAS			Ls – HI – Vp
B3-L	Bokashi	Maaisel	10	Zuiderzeeland	Ls – HI – Vp
B3-H			50		Ls – HI – Vp
B5-L	Bokashi	Maaisel	10	Leeuwarden	Ls – HI – Vp
B5-H			50		Ls – HI – Vp
B51-L	Bokashi	Maaisel	10	Barendrecht	Ls – HI – Vp
B51-H			50		Ls – HI – Vp
B1-L	Bokashi	Blad	10	Noordenveld	Ls – HI – Vp
B1-H			50		Ls – HI – Vp
MT5b-L	Maaisel met toevoegingen	Maaisel met Compost-O	10	Leeuwarden	HI – Vp
MT5b-H			50		HI – Vp
MT5c-L	Maaisel met toevoegingen	Maaisel met Compost-O	10		Ls
MT5c-H			50		Ls
MO41b-L	Onbewerkt Maaisel	Maaisel	10	Putten	Ls – HI – Vp
Cgc-L	Keurcompost	Groencompost	10	Schijndel	Ls – HI – Vp
Cgc-H			50		Ls – HI – Vp

† RDM = Runderdrijfmest, KAS = Kalkammonsalpeter.

Ls=Lelystad, HI=De Marke, Vp=Vredepeel.

3.2.2 Bemesting

In Tabel 3-2 is de bemesting met stikstof, fosfaat en kali per object per proeflocatie weergegeven. De bemesting is uitgevoerd volgens de stikstofgebruiksnorm en de fosfaat- en kaligift volgens het bemestingsadvies voor mais (zie object 100%N in Tabel 2). Deze bemestingsadviezen verschillen per regio (grondsoort). In de objecten behandeld met bokashi, Keurcompost en maaisel met toevoegingen is geen extra stikstofbemesting uitgevoerd. De fosfaat- en kaligift is gecorrigeerd voor de geschatte nalevering van fosfaat en kali vanuit de toegepaste producten. Voor fosfaat is gerekend met een werkingscoëfficiënt van 60% en voor kali met 100%.

In de proef in Lelystad is in het praktijk-object (GBORG) 40 m³ rundveedrijfmest (RDM) toegepast. In Vredepeel en Hengelo is 35 m³ RDM gegeven.

Tabel 3-2 *Overzicht van de kunstmestgiften N, P en K per locatie.*

Objectcode	Lelystad			Hengelo			Vredepeel		
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
GBORG	90	55	60	67	42	69	29	0	71
0%N		70	200		60	200		40	200
33%N	53	70	200	46	60	200	37	40	200
66%N	106	70	200	92	60	200	74	40	200
100%N	160	70	200	140	60	200	112	40	200
B3-L	-	66	192	-	56	192	-	36	192
B3-H	-	48	161	-	38	161	-	18	161
B5-L	-	66	192	-	56	192	-	36	192
B5-H	-	48	161	-	38	161	-	18	161
B51-L	-	67	194	-	57	194	-	37	194
B51-H	-	53	172	-	43	172	-	23	172
B1-L	-	66	167	-	56	167			
B1-H	-	52	37	-	42	37			
MT5b-L	-			-	52	135	-	32	135
MT5b-H	-			-	21	0	-	1	0
MT5c-L		62	135						
MT5c-H		31	0						
MO41b-L	-	63	190	-	53	190		33	190
Cgc-L	-	65	166	-	55	166	-	35	166
Cgc-H	-	43	29	-	33	29	-	13	29

3.2.3 Bodemmetingen en gewaswaarnemingen

Circa vijf weken nadat de producten zijn toegepast (T-1) en na de oogst van de mais (T-2) zijn grondmonsters genomen om het effect van de producten op respectievelijk bodembioïologie (T-1 monsters) en bodemvruchtbaarheid (T-2-monsters) te bepalen. Bij de T-1- en T-2-bemonstering is in elk veldje een grondmonster gestoken (72 veldjes per proeflocatie). Bij elke monsternamen is per veld met een 13 mm gutsboor circa 3L grond verzameld uit de bovenste 20 cm van de bouwvoor. De grond is gemengd en vervolgens zijn er submonsters genomen voor de verschillende analyses (PLFA, nematoden en bodemvruchtbaarheid).

In 2022 is daarbij gebruikgemaakt van dezelfde methoden en analysetechnieken als eerder in 2021. Voor details over de hierna beschreven parameters verwijzen we naar Bijlage 1 en de Jaarrapportage uit 2021 (Spijker et al., 2022).

Samengevat zijn in 2022 de volgende vier aspecten onderzocht:

1. *PLFA-bepalingen.* PLFA is de afkorting voor Phospholipid derived Fatty Acids. Dit zijn vetzuren die de membranen vormen van alle levende cellen. Verschillende groepen organismen hebben verschillende PLFA's. Een dertigtal PLFA's wordt gebruikt als biomarkers voor de samenstelling van de microbiële gemeenschap (community structure), waarmee effecten van beheer zichtbaar worden gemaakt. Deze methode geeft informatie over relatieve hoeveelheden schimmels, bacteriën en actinomyceten. Bovendien wordt onderscheid gemaakt tussen saprotrofe schimmels (die kunnen leven op dood organisch materiaal) en mycorrhiza schimmels (die symbiotisch samenleven met plantenwortels). Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën die kunnen worden beschouwd als respectievelijk langzame en snelle groeiers.
2. *Aaltjesgemeenschappen.* Een submonster van 100 ml (120 g) verse grond werd gebruikt voor het bepalen van de samenstelling van de aaltjesgemeenschap. Na het tellen van het totale aantal werden de milieuaaltjes gedetermineerd. Daarbij werden willekeurig ca. 150 nematoden gedetermineerd tot op familie, geslacht of soort (Bongers, 1988). Dauerlarven werden wel geteld, maar niet meegerekend in het aantal te determineren nematoden.

3. *Bodemvruchtbaarheid*. Na de oogst (T-2) zijn alle veldjes nogmaals bemonsterd voor de bepaling van de belangrijkste aspecten van de bodemvruchtbaarheid. De bodemvruchtbaarheidsanalyse is uitgevoerd door Eurofins-Agro. Gekozen is voor het pakket Bemestingswijzer Compleet.
4. *Gewasontwikkeling en -opbrengst*. Een aantal weken na opkomst van de mais is een opkomstbeoordeling uitgevoerd en is het aantal planten per netto veld geteld. Gedurende het groeiseizoen is de gewasontwikkeling gevolgd door een aantal keer de gewashoogte te meten. Begin oktober is de mais geoogst en is de opbrengst bepaald. Per netto veld is het versgewicht en drogestofgewicht gemeten. Van een selectie van objecten is de gewasinhoud (nutriëntensamenstelling) van het geoogste product bepaald. Op basis van gewasinhoud en drogestofproductie is de afvoer van nutriënten berekend.

3.3 Uitvoering

De proeven zijn aangelegd op een zavelperceel te Lelystad en op zandpercelen te Hengelo (De Marke) en Vredepeel. In Vredepeel zijn de producten in 2022 op 6 april opgebracht. In Hengelo en Lelystad was dit op respectievelijk 15 en 26 april. Direct na het opbrengen zijn de producten licht ingewerkt in de bovenste 15-20 cm van de bouwvoor. Circa vijf weken na het inwerken van de producten is de T-1-grondbemonstering uitgevoerd. Per netto veldje is met een gutsboor circa 3 L grond verzameld uit de bovenste 20 cm van de bouwvoor. Kort voorafgaand aan het zaaien van de mais is de (bij)bemesting met stikstof, fosfaat en kali uitgevoerd. De mais is eind april-begin mei gezaaid en begin/half oktober geoogst. Bij de drie veldproeven is een- à tweemaal chemische onkruidbestrijding toegepast. De proef in Hengelo is twee keer berekend (18 jul en 3 aug) en de proef in Vredepeel vijf keer (23 jun, 19 jul, 25 jul, 4 aug en 18 aug). Details van de uitvoering van de veldproeven zijn weergegeven in Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Details bij het uitvoeren van de veldproeven CT/Bokashi op drie locaties, 2022.

	Lelystad	Hengelo	Vredepeel
Grondsoort	zavel	zand	zand
Bruto veld	6 x 18m	6 x 12m	6 x 12m
Netto veld	1.5 x 12m	1.5 x 8m	1.5 x 9m
Inwerken producten	26-4-2022	15-4-2022	6-4-2022
Zaaimoment	12-5-2022	26-4-2022	28-4-2022
Ras	LG31.219	LG31.219	LG31.219
Oogstmoment	20-9-2022	5-9-2022	15-9-2022
Bemonsteringen			
T1	7-6-2022	20-5-2022	16-5-2022
T2	22-9-2022	14-9-2022	26-9-2022

3.4 Resultaten Lelystad

3.4.1 PLFA

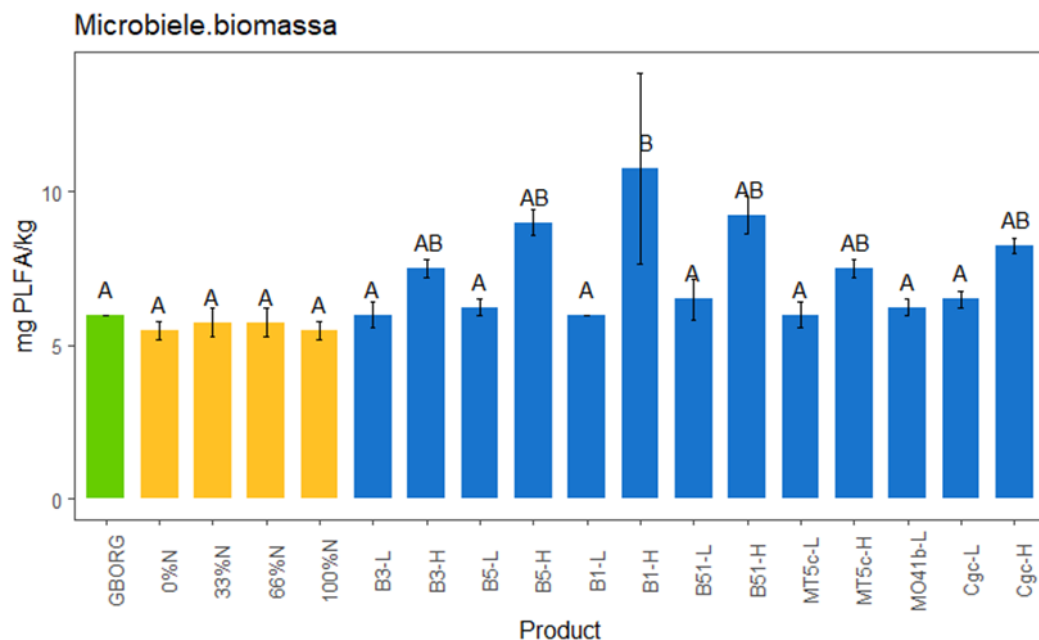
Op de locatie Lelystad werd bij veertien van de negentien gemeten parameters een significant verschil gevonden tussen een of meerdere producten (Tabel 3-4). Hieronder bespreken we de meeste parameters die een significant verschil te zien gaven.

Tabel 3-4 Resultaten van de statistische analyse van het effect van producttoediening op PLFA-parameters in Lelystad in 2022: Significante effecten zijn vet gedrukt.

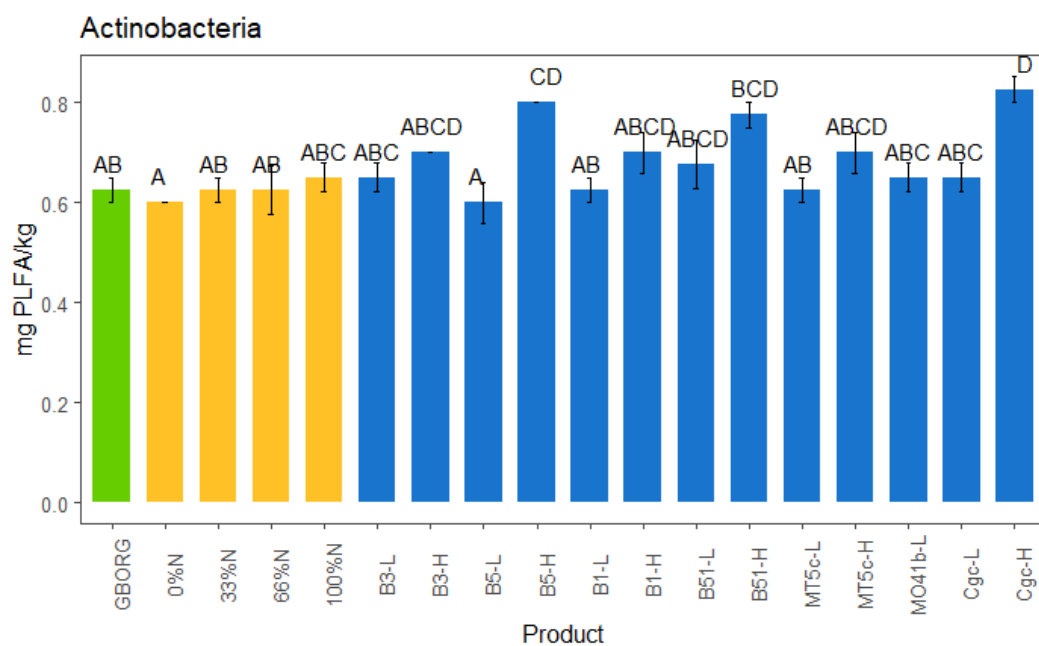
Parameter bodemleven	Variabele	Chisq	Df	P
Microbiële biomassa (mg PLFA/kg grond)	Product	60.57	17	0.00
Bacteriën totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	115.98	17	0.00
Grampositieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	115.45	17	0.00
Actinobacteria (mg PLFA/kg grond)	Product	86.80	17	0.00
Gramnegatieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	133.93	17	0.00
Schimmels totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	130.61	17	0.00
Saprofyten (mg PLFA/kg grond)	Product	89.94	17	0.00
Arbusculaire mycorrhiza (AMF) (mg PLFA/kg grond)	Product	124.92	17	0.00
Protozoa (mg PLFA/kg grond)	Product	21.25	17	0.22
Schimmels/Bacteriën	Product	117.91	17	0.00
Grampositieve/Gramnegatieve bacteriën	Product	36.60	17	0.00
Diversiteit	Product	20.39	17	0.25
Microbiële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	56.77	17	0.00
Bacteriële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	128.94	17	0.00
Schimmel biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	168.13	17	0.00
pH	Product	26.66	17	0.06
Organische koolstof (%)	Product	26.86	17	0.06
Organische stof (%)	Product	69.71	17	0.00
C/organische stof	Product	21.53	17	0.20

Op de locatie Lelystad was de microbiële biomassa alleen significant hoger na toediening van het product B1-H (Figuur 3.4-1). Veel van de andere microbiologische parameters, zoals Actinobacteria (Figuur 3.4-2), AMF (Figuur 3.4-3), Gramnegatieve-en Grampositieve bacteriën (Figuur 3.4-4, Figuur 3.4-5), saprophyten (Figuur 3.4-6), het totaal aantal bacteriën (Figuur 3.4-7) en het totaal aantal schimmels (Figuur 3.4-8) gaven significant hogere waarden te zien na de toepassing van de hoge doseringen van verschillende bokashi's en de compost in vergelijking met ten minste een van de kunstmestbehandelingen en de lage productdoseringen. Eenzelfde trend werd gevonden bij de verhouding tussen schimmels en bacteriën, wat duidt op een relatief grotere hoeveelheid schimmels in deze behandelingen (Figuur 3.4-9). Er waren amper verschillen in de verhouding tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën (Figuur 3.4-10).

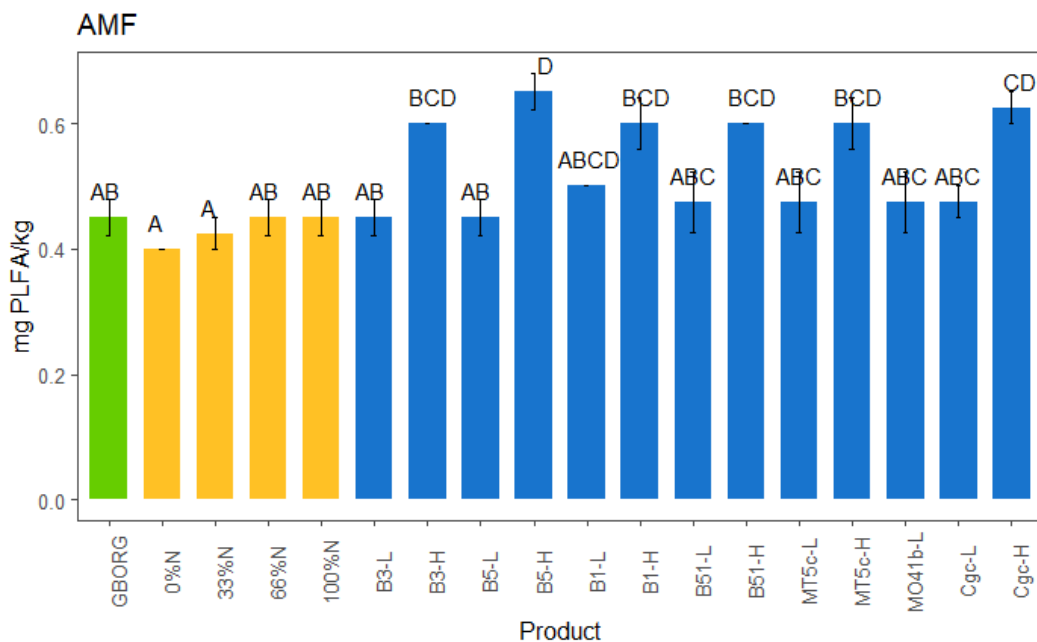
Voor organische stof zien we een wisselend beeld wat betreft de effecten van de behandelingen op het gehalte in de bodem. Daarbij was de hoeveelheid organische stof significant verhoogd in de behandelingen B1-H, MT5c-H en Cgc-H (Figuur 3.4-11), maar niet in de overige combinaties van producten en doseringen.



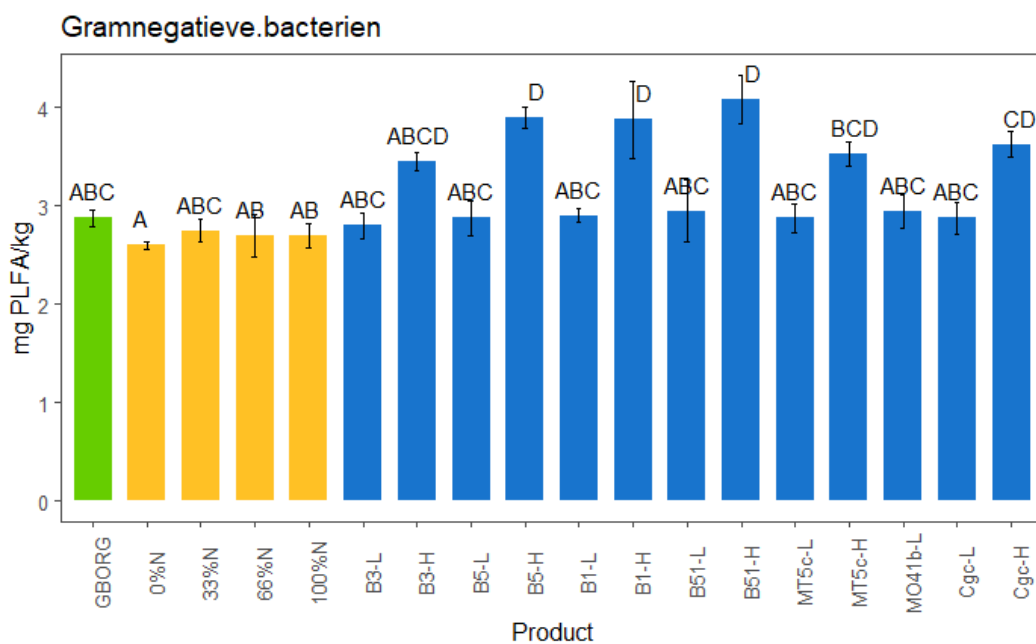
Figuur 3.4-1 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van de microbiële biomassa na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



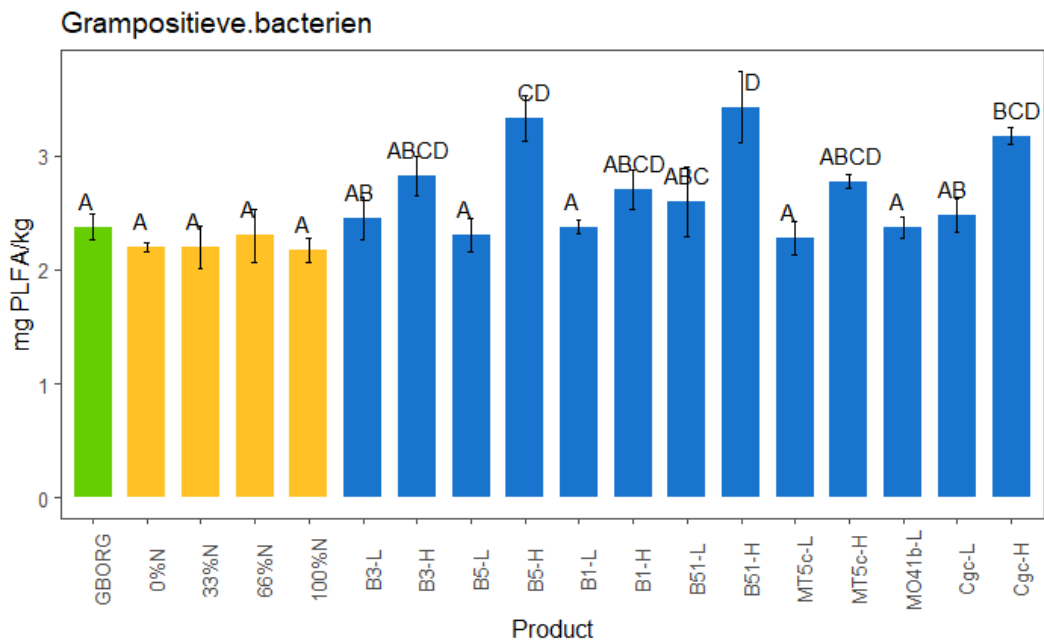
Figuur 3.4-2 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van Actinobacteria na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



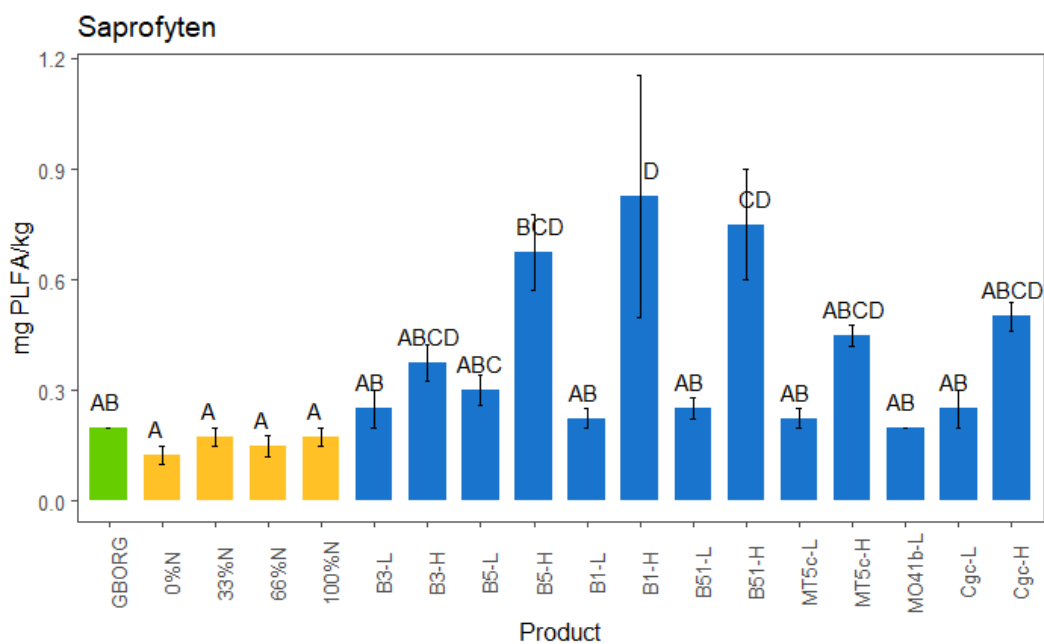
Figuur 3.4-3 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van AMF na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



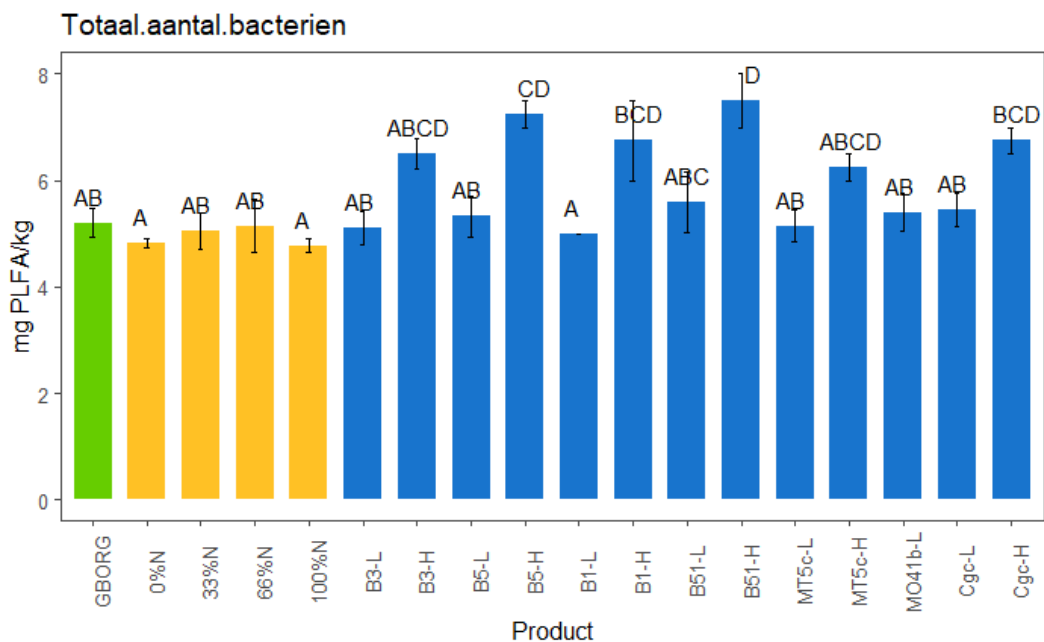
Figuur 3.4-4 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van Gramnegatieve bacteriën na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



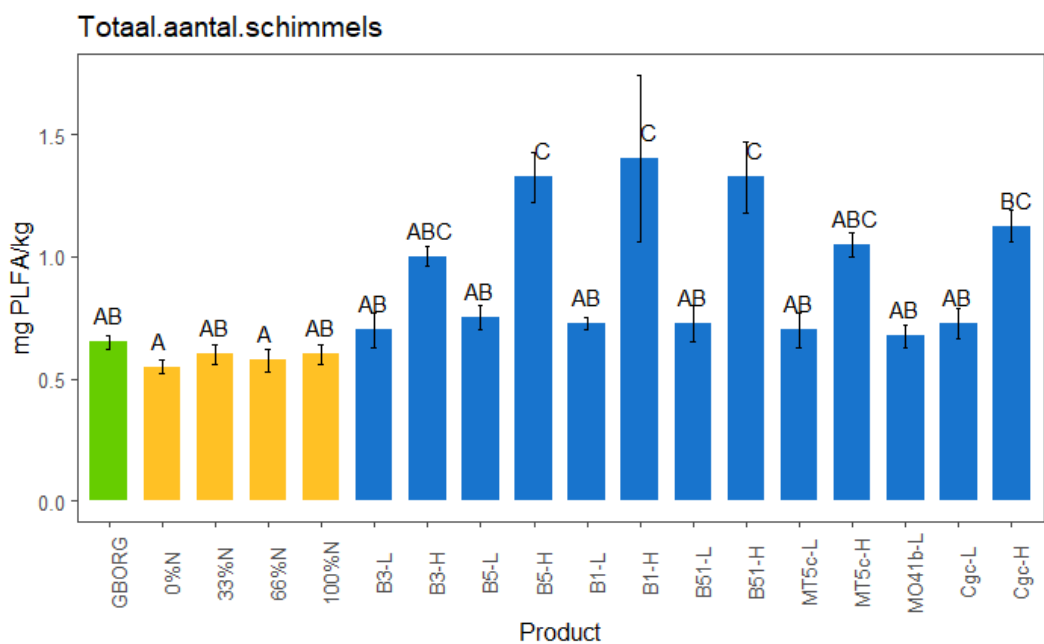
Figuur 3.4-5 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van Grampositieve bacteriën na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



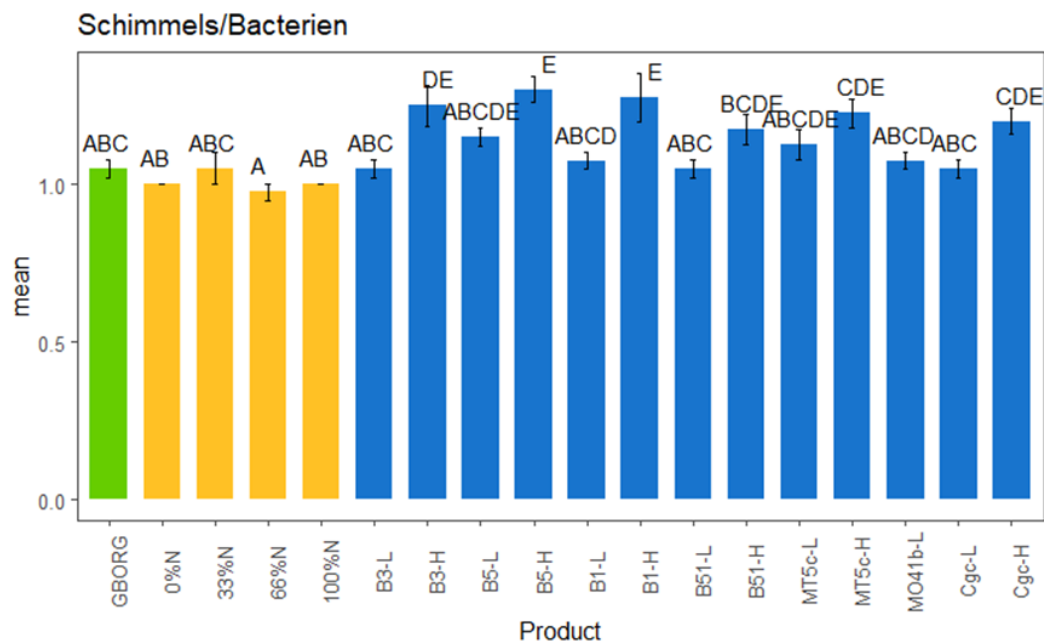
Figuur 3.4-6 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van saprofytische schimmels na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



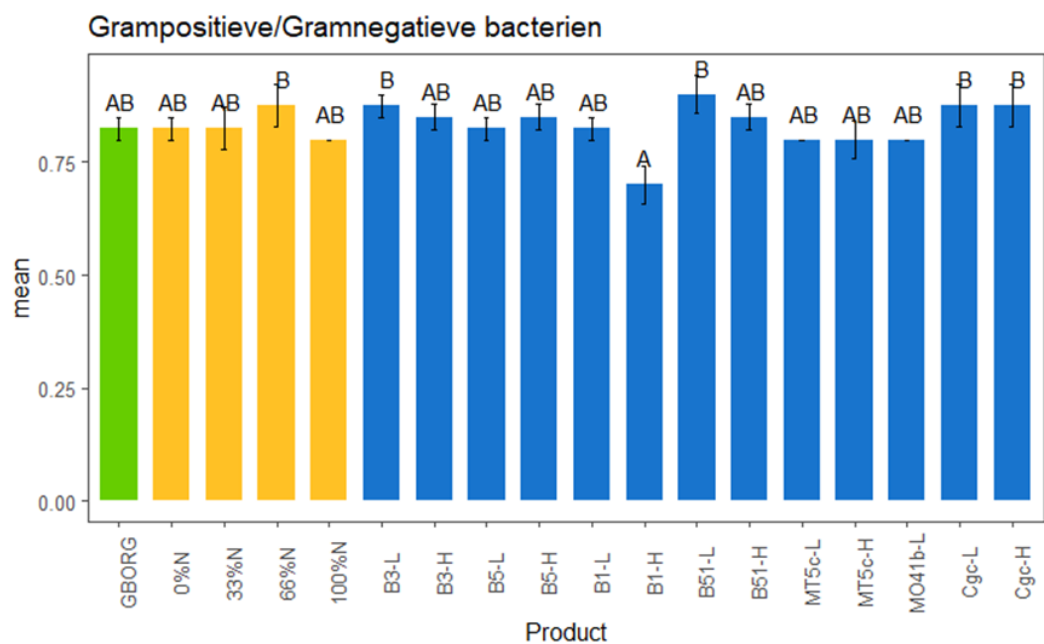
Figuur 3.4-7 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van het totale aantal bacteriën na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



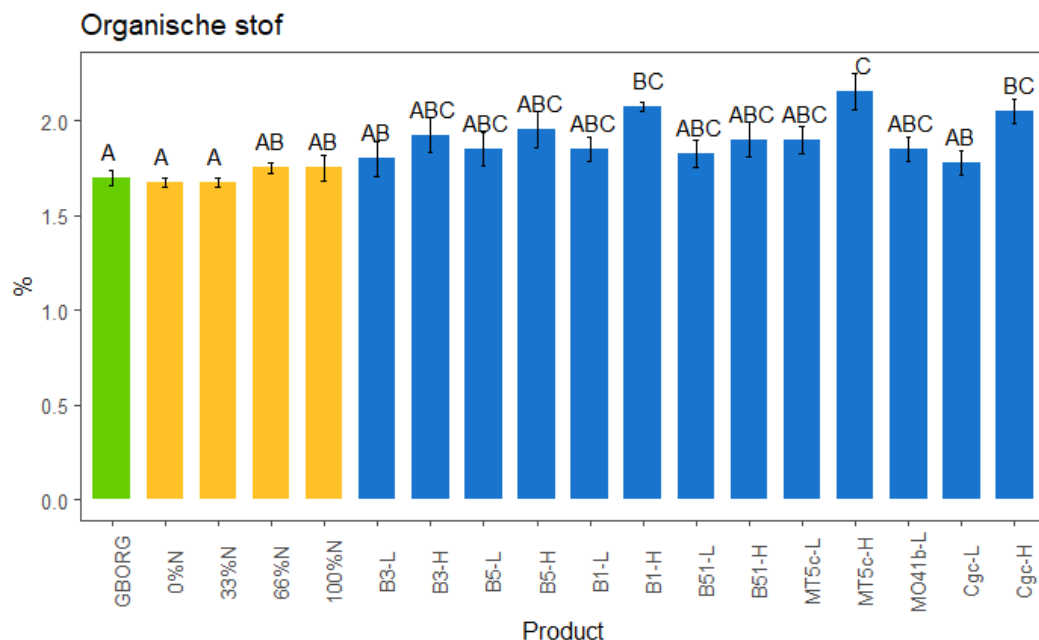
Figuur 3.4-8 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van het totale aantal schimmels na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



Figuur 3.4-9 Gemiddelde verhouding tussen schimmel en bacterie PLFA na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



Figuur 3.4-10 Gemiddelde verhouding tussen grampositieve en gramnegatieve bacterie PLFA na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.



Figuur 3.4-11 Gemiddelde hoeveelheid organische stof na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Lelystad.

3.4.2 Milieuaaltjes

In de proef in Lelystad was er bij 12 van de 29 aan milieuaaltjes gerelateerde parameters een significant effect van toedienen van de producten (Tabel 3-5). Het gemiddelde en de spreiding van de parameters zonder significant effect zijn weergegeven in Tabel 3-6. Er was geen effect van toedienen van de organische producten op het aantal plantenetende aaltjes, dat in lage aantallen aanwezig was. De voornaamste groepen planteneters waren de semi-endoparasieten *Helicotylenchus* spp. en de wortelhaarvoeders Tylenchidae.

Er was een significant effect van de producten op het vochtpercentage van de grond, maar de verschillen waren klein (Tabel 3-6). Het vochtpercentage was iets hoger na toedienen van B1-H dan bij 100% N en B3-L. Er was ook een effect op het aantal getelde taxa, maar de verschillen waren klein (Tabel 3-6) en alleen significant tussen B51-L (lager) en MT5c-L (hoger).

Tabel 3-5 Resultaten van de statistische analyse (Anova; Chi-kwadraat met 17 vrijheidsgraden, de overschrijdingskans Pr en de significantie van de toets) van verschillende parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in Lelystad, 2022 (n=4).

Parameter†	Chisq	Pr(>Chisq)	Significantie
Vochtpercentage grond	41.1	<0.001	***
Maturity Index (MI)	68.0	<0.001	***
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	78.2	<0.001	***
Plant Parasite Index (PPI)	15.3	0.57	
Channel Index (CI)	18.3	0.37	
Basal Index (BI)	27.3	0.05	.
Enrichment Index (EI)	17.7	0.41	
Structure Index (SI)	85.9	<0.001	***
Aantal taxa (getelde groepen)	36.5	<0.01	**
Biomassa (mg · 100 g grond-1)	48.7	<0.001	***
Dauer larven (# · 100 g grond-1)	9.0	0.94	
Totaal (zonder dauer larven; # · 100 g grond-1)	52.6	<0.001	***
Planteneters	15.6	0.55	
Schimmeleeters	29.9	0.03	*
Bacterie-eters	108.3	<0.001	***
Predatoren	48.8	<0.001	***
Omnivoren	27.2	0.06	.
Sedentaire endoparasieten	16.9	0.46	
Migratoire endoparasieten	17.0	0.45	
Semi-endoparasieten	13.3	0.72	
Ectoparasieten	9.8	0.91	
Wortelhaarvoeders	16.9	0.46	
CP1-aaltjes	33.9	<0.01	**
CP2-aaltjes	95.5	<0.001	***
CP3-aaltjes	26.2	0.07	.
CP4-aaltjes	21.3	0.21	
CP5-aaltjes	14.3	0.65	
PP2-aaltjes	16.9	0.46	
PP3-aaltjes	12.7	0.76	
PP4-aaltjes	-	-	
PP5-aaltjes	-	-	

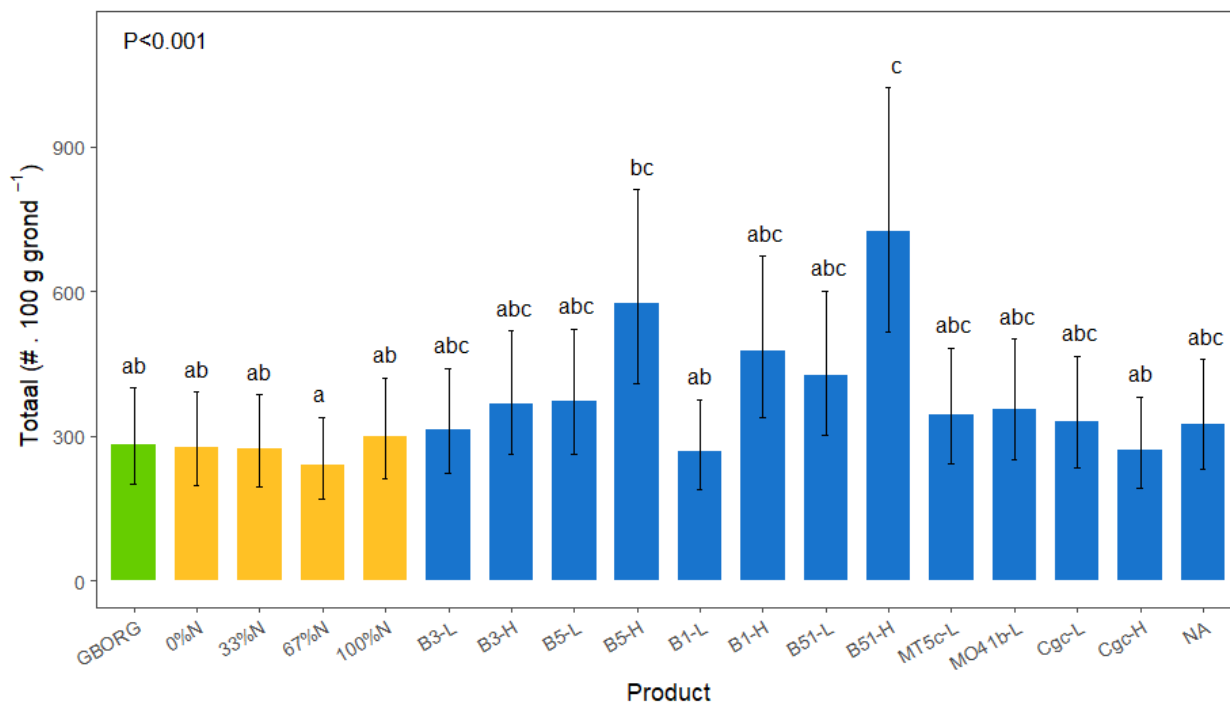
† Biomassa was log10-getransformeerd en aantallen waren log10(x+1)-getransformeerd om aan de voorwaarde voor Anova te voldoen. In de grond werden geen planteneters uit de klassen PP4 en PP5 aangetroffen. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05, P<0.1.

Tabel 3-6 Gemiddelde en 95%-betrouwbaarheidsinterval van de parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in Lelystad, 2022 (n=72). Voor de overige parameters (met significante verschillen tussen de behandelingen) wordt verwezen naar de afzonderlijke figuren.

Parameter	Gemiddelde†	Betrouwbaarheidsinterval
Vochtpercentage grond	20.9	20.8 - 21.1
Plant Parasite Index (PPI)	2.41	2.37 - 2.46
Channel Index (CI)	67.9	62.3 - 73.4
Basal Index (BI)	42.7	40.7 - 44.7
Enrichment Index (EI)	38.5	35.9 - 41.1
Aantal taxa (getelde groepen)	19.8	19.2 - 20.3
Biomassa (mg · 100 g grond-1)	0.19	0.16 - 0.22
Dauer larven (# · 100 g grond-1)	7	5 - 11
Planteneters	111	98 - 125
Omnivoren	0.8	0.5 - 1.1
Sedentaire endoparasieten	1.1	0.7 - 1.5
Migratoire endoparasieten	0.02	0 - 0.08
Semi-endoparasieten	33	25 - 42
Ectoparasieten	1.4	1.0 - 2.0
Wortelhaarvoeders	61	54 - 69
CP3-aaltjes	39	35 - 44
CP4-aaltjes	2.6	1.9 - 3.4
CP5-aaltjes	0.08	0.00 - 0.18
PP2-aaltjes	61	54 - 69
PP3-aaltjes	39	32 - 49
PP4-aaltjes	0	0 - 0
PP5-aaltjes	0	0 - 0

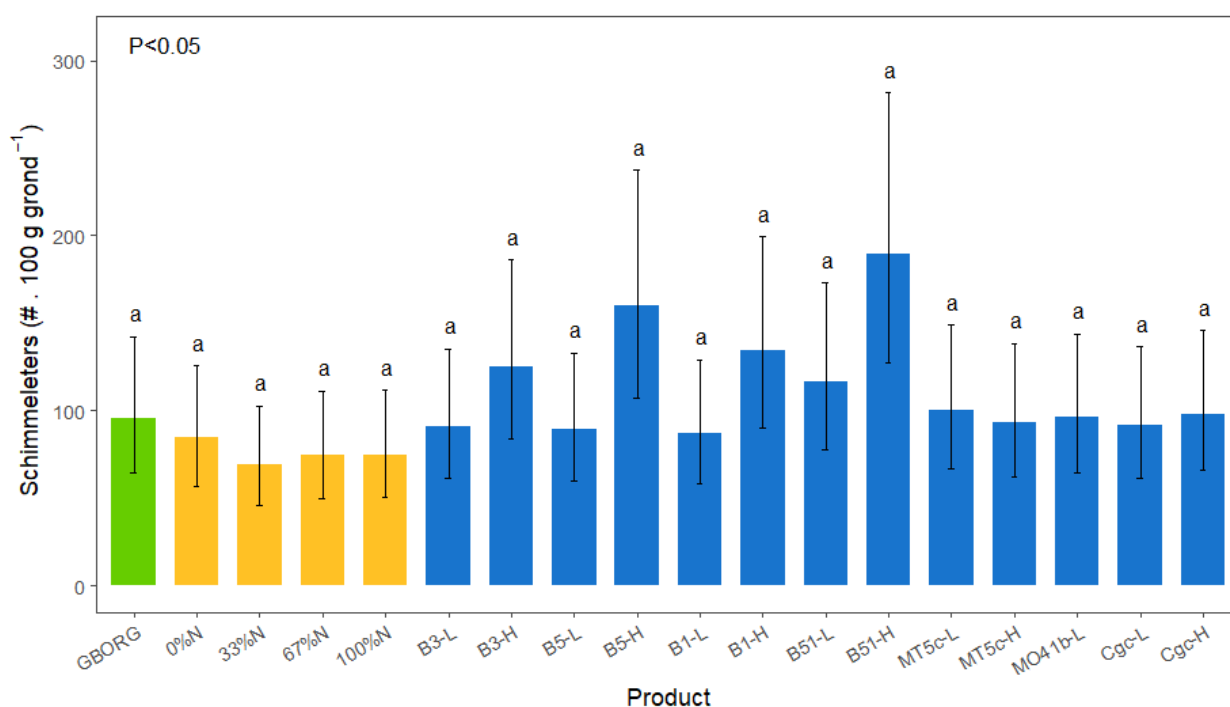
† Aantallen aaltjes (per 100 g droge grond) zijn gebaseerd op gemiddelden van log-getransformeerde waarden. De aantallen uit de verschillende groepen komen daarom niet overeen met het berekende totale aantal.

Toedienen van de organische producten had in de meeste gevallen geen significant effect op het totale aantal aaltjes vergeleken met de gangbare controle of alleen minerale stikstof. Alleen na toedienen van B51-H was het totale aantal aaltjes ruim twee keer zo hoog als in de controles (Figuur 3.4-12). Het effect op de biomassa van de aaltjes was vergelijkbaar, maar wel met grotere verschillen tussen lagere en hogere waarden.



Figuur 3.4-12 Effect van toedienen van producten op het totale aantal aaltjes in 2022 in Lelystad (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

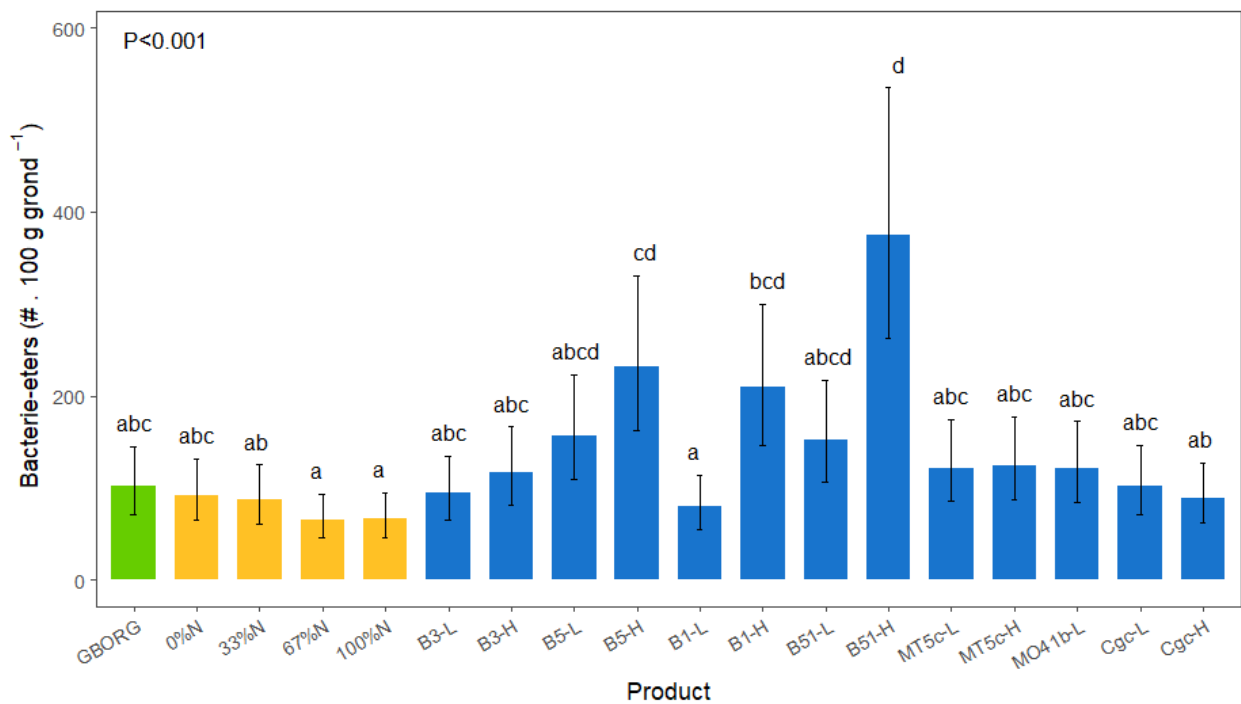
Er was een significant effect van toedienen van de producten op het aantal schimmel-etende aaltjes, maar dit kwam niet tot uiting in onderling significante verschillen (Figuur 3.4-13).



Figuur 3.4-13 Effect van toedienen van producten op het aantal schimmeleeters in 2022 in Lelystad (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

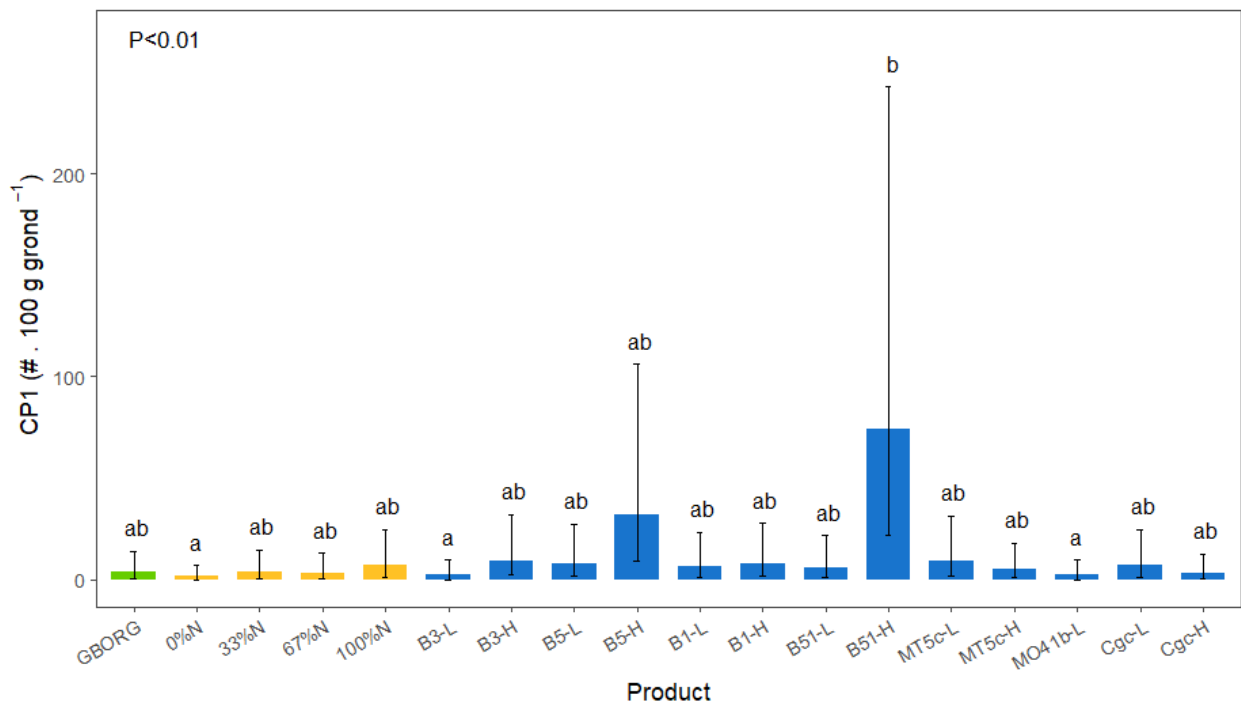
Toedienen van de organische producten had in de meeste gevallen geen effect op het aantal bacterie-etende aaltjes (Figuur 3.4-13). Na toedienen van B51-H was het aantal bacterie-etters 4-5 keer hoger dan in de gangbare controle en de behandelingen met minerale stikstof. Na toedienen van B5-H was het aantal bacterie-etters alleen significant hoger in de 33-67-100% stikstofbehandelingen.

In de meeste behandelingen kwamen 0-2 predatoren per 100 g grond voor, maar na toedienen van B51-H was dat significant verhoogd tot ca. 15 per 100 ml grond.



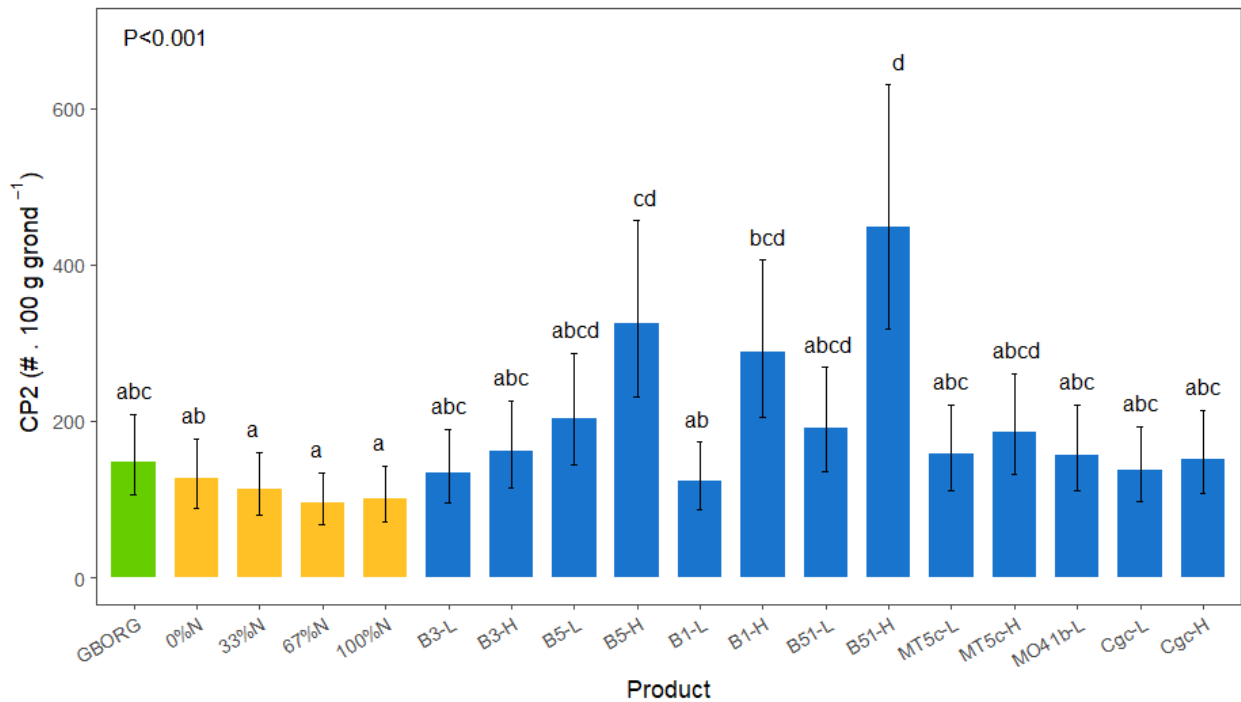
Figuur 3.4-14 Effect van toedienen van producten op het aantal bacterie-eters in 2022 in Lelystad (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

Het aantal CP1-aaltjes was in de meeste behandelingen laag en de meeste organische producten hadden weinig effect op het aantal. Alleen na toedienen van B51-H was het aantal CP1-aaltjes hoger dan in 0% N, B3-L en MO41b-L (Figuur 3.4-15).



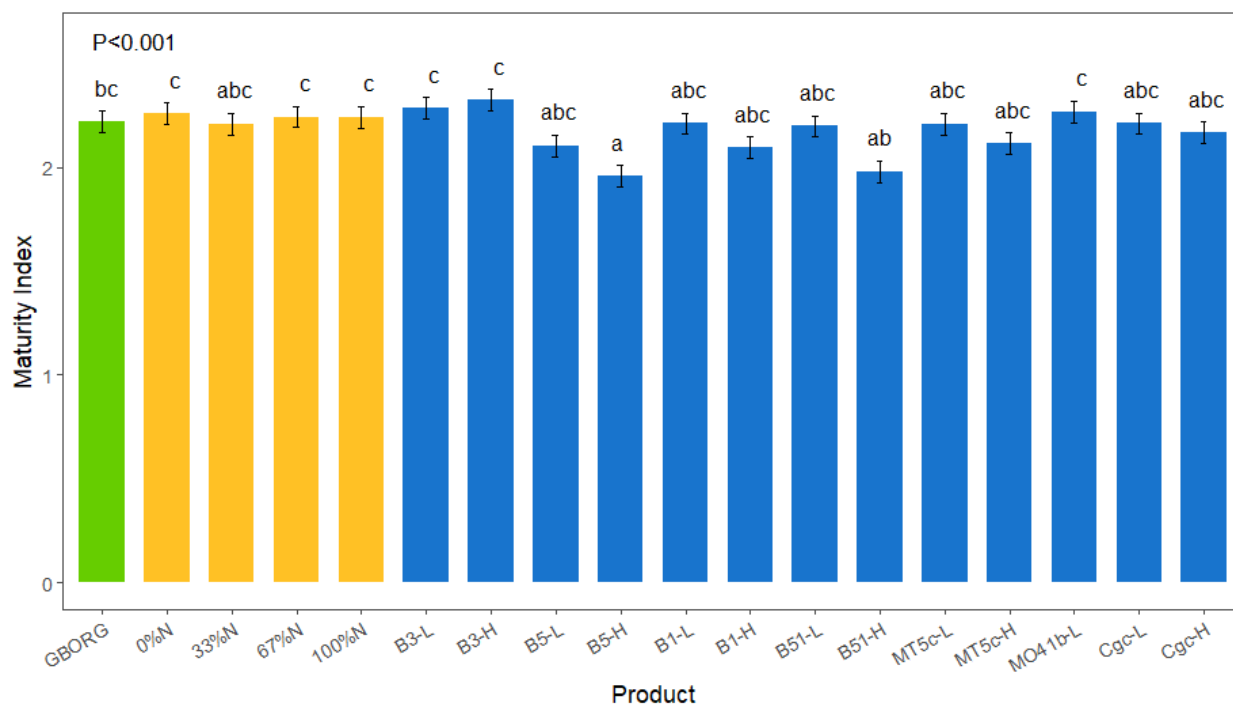
Figuur 3.4-15 Effect van toedienen van producten op het aantal CP1-aaltjes in 2022 in Lelystad (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

De meeste organische producten hadden geen effect op het aantal CP2-aaltjes, zeker niet in lage dosering. Na toedienen van B51-H was het aantal CP2-aaltjes 3-4 keer hoger dan na de gangbare controle en de behandelingen met minerale stikstof. Na toedienen van B5-H en B1-H was het aantal CP2-aaltjes ongeveer drie keer zo hoog als in 33-100% N.



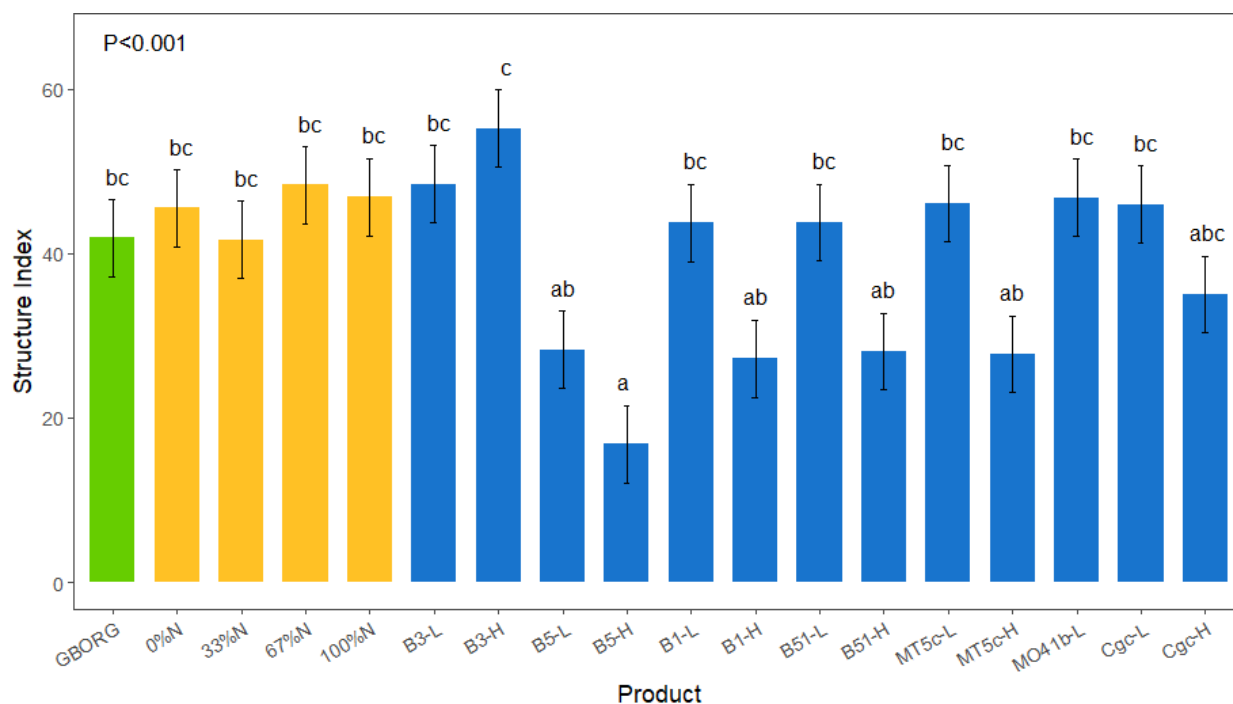
Figuur 3.4-16 Effect van toedienen van producten op het aantal CP2-aaltjes in 2022 in Lelystad (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

Er waren weinig significante verschillen in de Maturity Index (MI) na toedienen van de organische producten (Figuur 3.4-17). De MI was lager na toedienen van B5-H dan in de gangbare controle en de meeste behandelingen met minerale stikstof. Dit werd veroorzaakt door een relatief hoger aandeel CP1- en CP2-aaltjes in deze behandelingen.



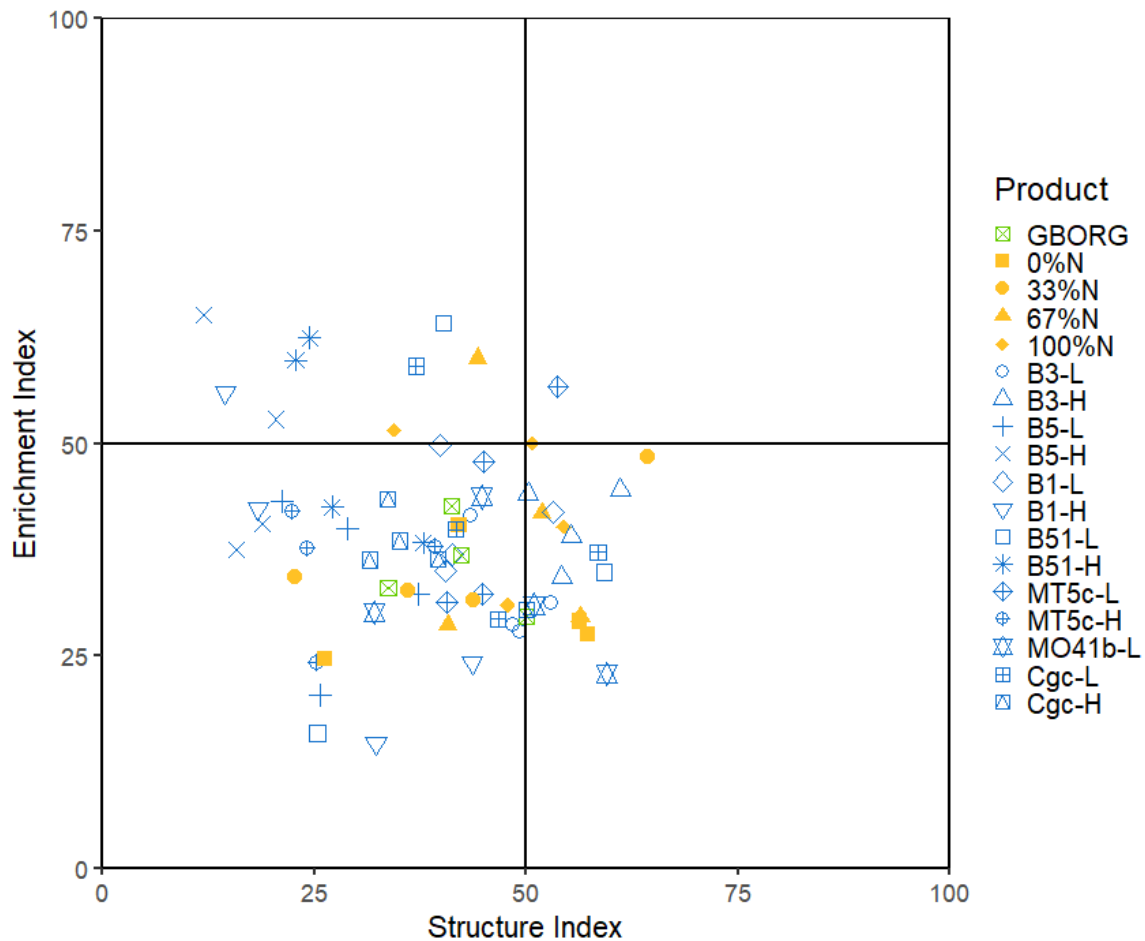
Figuur 3.4-17 Effect van toedienen van producten op de Maturity Index in 2022 in Lelystad (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

Toedienen van de producten had een significant effect op de Structure Index (SI), waarbij vooral opvalt dat deze effecten met name optreden in de behandelingen met de hoge dosering en niet in de lage dosering. In alle behandelingen met de hoge dosering is er sprake van een tendens tot lagere waarden voor de SI t.o.v. die in de controle en behandeling met minerale meststoffen (niet significant m.u.v. die in B5-H). Voor de lage dosering geldt dat er geen verschillen zijn met de metingen van S in de controle en behandelingen met minerale stikstof. Na toedienen van B5-H bleek dat de SI meer dan halveerde ten opzichte van de controles.



Figuur 3.4-18 Effect van toedienen van producten op de Structure Index in 2022 in Lelystad (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

De punten in het voedselweb-diagram concentreerden zich met name in het linker onderkwadrant (Figuur 3.4-19). Meestal wordt dit gezien als een verstoord systeem waar weinig stikstof beschikbaar is. Het is onduidelijk wat de relatie is met het vrij lage aantal aaltjes in deze grond. Toedienen van de organische producten had geen eenduidige verschuiving binnen het diagram tot gevolg, met uitzondering van B5-H, waarbij de punten meer links in het diagram kwamen te liggen.



Figuur 3.4-19 Effect van toedienen van producten op de Enrichment en Structure Index in 2022 in Lelystad ($n=4$).

3.4.3 Bepaling Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)

In onderstaande Tabel 3-7 is een overzicht gemaakt van alle bodemvruchtbaarheidsparameters die door Eurofins zijn bepaald. De parameters waarbij er, binnen één locatie, significante verschillen tussen de behandelingen ($F_{pr} < 0.05$) zijn gevonden, zijn vetgedrukt.

De behandelingen hebben op alle drie locaties een significant effect gehad op K-PAE, K-getal en B. In Lelystad werd daarnaast een significant effect van behandelingen op N-totaal, N-levering Mg-PAE, Na-PAE, organische stof, S-PAE en C/OS gemeten. In Hengelo werd op nog zes parameters een significant effect van de behandelingen gemeten, namelijk S-levering, S-aanvoer, pH-NIRS, S-PAE, C/S ratio en microbiële biomassa. De meeste behandelingseffecten werden gemeten in de proef in Vredepeel. De behandelingen hebben onder andere een effect gehad op de elementen K, Mg, Na, B, Mn, Zn, Ca en Si. Ook werd een significant effect op de microbiële biomassa en bacteriële biomassa gevonden.

Tabel 3-7 Bodemvruchtbaarheid per locatie na de teelt van mais, najaar 2022.

Parameter	Toelichting	Eenheid	Lelystad		Hengelo		Vredepeel	
			Gemiddeld	F pr.	Gemiddeld	F pr.	Gemiddeld	F pr.
N-Tot	voorraad	mgN/kg	794	<0.01	1332	n.s.	1414	n.s.
N	levering	kgN/ha	45	<0.01	51	n.s.	51	<0.10
CN	-	-	11	n.s.	17	n.s.	18	<0.05
P	pbr ¹	mgP/kg	1.5	n.s.	7.2	n.s.	5.1	<0.10
Pw	advieswaarde	mg P ₂ O ₅ /L	33	n.s.	83	n.s.	73	n.s.
PAL	voorraad	mg P ₂ O ₅ /100gr	45	n.s.	75	n.s.	81	n.s.
K	pbr	mg K/kg	104	<0.001	66	<0.001	60	<0.001
K	Bvr	mmol/kg	3.4	<0.10	1.6	n.s.	2.2	<0.05
K-getal	advieswaarde	-	24	<0.001	15	<0.001	16	<0.001
S	totaal	mgS/kg	498	n.s.	218	<0.10	241	n.s.
S	levering	kg/ha	37	n.s.	5.9	<0.05	6.7	n.s.
S	aanv	kg/ha	40	n.s.	8.9	<0.05	9.7	n.s.
S-PAE	pbr	mg/kg	17	<0.001	7.5	<0.01	3.8	n.s.
Mg	pbr	mg Mg/kg	41	<0.001	46	n.s.	94	<0.001
Mg-vrd	voorraad	mmol/kg	4.8	n.s.	6.4	n.s.	8.6	n.s.
Ca	pbr	mmol/L	461	n.s.	39	n.s.	114	n.s.
Ca	Voorraad	kg Ca/ha	6647	n.s.	1953	<0.10	4006	<0.01
Ca	voorraad	mmol/kg	119	n.s.	34.6	<0.10	62	<0.01
Ca besch		mmol/l	1.8	n.s.	0.2	n.s.	0.4	n.s.
Na	pbr	mg Na/kg	16	<0.001	13	n.s.	7.9	<0.01
Na-vrd	voorraad	mmol/kg	0.8	n.s.	0.4	n.s.	0.5	n.s.
B	pbr	ug/kg	153	<0.05	93	<0.01	120	<0.01
Cu	pbr	ug/kg	22	n.s.	63	n.s.	25	n.s.
Mn	pbr	ug/kg	250	n.s.	5364	n.s.	1004	<0.05
Co	pbr	ug/kg	2.6	n.s.	39	n.s.	2.7	n.s.
Zn	pbr	ug/kg	100	n.s.	3151	n.s.	1894	<0.001
Si	PAE	ug/kg	36313	<0.10	8561	n.s.	3382	<0.001
Mo	PAE	ug/kg	4.7	<0.001	4.0	n.s.	4.0	n.s.
Fe	PAE	ug/kg	2074	n.s.	2089	n.s.	2020	n.s.
Se	pbr	ug Se/kg	2.9	n.s.	3.3	n.s.	2.1	n.s.
pH	NIRS	-	7.5	<0.10	4.9	<0.01	5.7	<0.05
pH	CaCl ₂	-	7.5	<0.10	4.8	n.s.	5.7	<0.05
kalk	Koolzure kalk	%	5.0	n.s.	0.3	n.s.	0.3	<0.10
Klei	Lutum	%	11	n.s.	2.1	n.s.	1.4	n.s.
Silt		%	34	n.s.	15	n.s.	12	n.s.
Zand		%	49	n.s.	79	n.s.	82	n.s.
SOM	organische stof totaal	%	1.7	<0.05	4.1	n.s.	4.5	n.s.
C Organisch		%	0.8	<0.01	2.3	n.s.	2.5	n.s.
C Anorganisch		%	0.6	n.s.	0.0	n.s.	0.0	n.s.
C/S ratio		-	18	<0.10	104	<0.05	103	<0.05
C/OS ratio		-	0.5	<0.05	0.6	n.s.	0.6	n.s.
Microbiële activiteit		mgN/kg	19	<0.10	33	n.s.	21	n.s.
Microbiële biomassa		mgC/kg	170	n.s.	213	<0.05	193	<0.05
Bacteriële biomassa		mgC/kg	61	n.s.	59	n.s.	68	<0.01
Schimmel biomassa		mgC/kg	76	n.s.	69	n.s.	27	n.s.
schimmel/bacterie ratio		-	1.3	n.s.	1.2	n.s.	0.4	n.s.
CEC		mmol/kg	112	n.s.	48	n.s.	81	<0.10
CEC-Bez.		%	100	n.s.	79	<0.10	90	n.s.
H-bez		%	0.1	n.s.	0.4	n.s.	0.1	n.s.
Al-bez		%	0.1	n.s.	2.0	n.s.	0.1	n.s.
Ca-bezetting		%	92	n.s.	62	n.s.	76	n.s.
Mg-bezetting		%	4.2	n.s.	13	n.s.	11	<0.01
K-bezetting		%	3.0	n.s.	3.3	n.s.	2.8	n.s.
Na-bezetting		%	0.7	n.s.	0.9	n.s.	0.6	n.s.
verkruijmelbaarheid		-	8.5	n.s.	10	n.s.	10	n.s.
Stuifgevoeligheid		-	8.4	n.s.	5.7	n.s.	5.3	n.s.
Verslemping		-	3.4	n.s.	7.8	n.s.	7.9	n.s.

¹ Plant beschikbaar.

In onderstaande tabel wordt het effect van de producten die in het voorjaar zijn toegepast op een aantal belangrijke elementen (bodemvruchtbaarheid) van de proef in Lelystad weergegeven.

De behandelingen hebben een significant effect gehad op het organischestofgehalte (OS), de totale hoeveelheid stikstof (N-tot) en de beschikbare hoeveelheid kalium, magnesium en borium. Er is geen effect gevonden van de maatregelen op de P bodemvoorraad (P-AL). Met name bij de hoge doseringen van de organische stof-toepassingen werden hogere waarden voor OS en N-totaal gemeten. Met uitzondering van BOK3-H en CMP-H verschillen de bodemvruchtbaarheidsmetingen in de behandelingen niet van die in het gangbare object (GBR).

De beschikbare hoeveelheid Kalium (K-PAE) is bij de toepassingen BOK3, BOK5, BOK51 en Cgc significant hoger dan bij het gangbare object maar verschillen, met uitzondering van de hoge doseringen van BOK5a en BOK51, niet van het niet-bemeste object (0%N). Bij de hoogste dosering van de producten BOK5a, BOK1, MRT5c en Cgc neemt de beschikbare hoeveelheid magnesium toe in vergelijking tot 0%N en ook het gangbare object. De hoogste gehalten aan beschikbare borium werd gevonden bij de hoogste dosering van MRT5c en Cgc. Deze was significant hoger dan bij het gangbare object.

Tabel 3-8 Effect van maatregelen op de bodemvruchtbaarheid na de teelt van mais, Lelystad, najaar 2022.

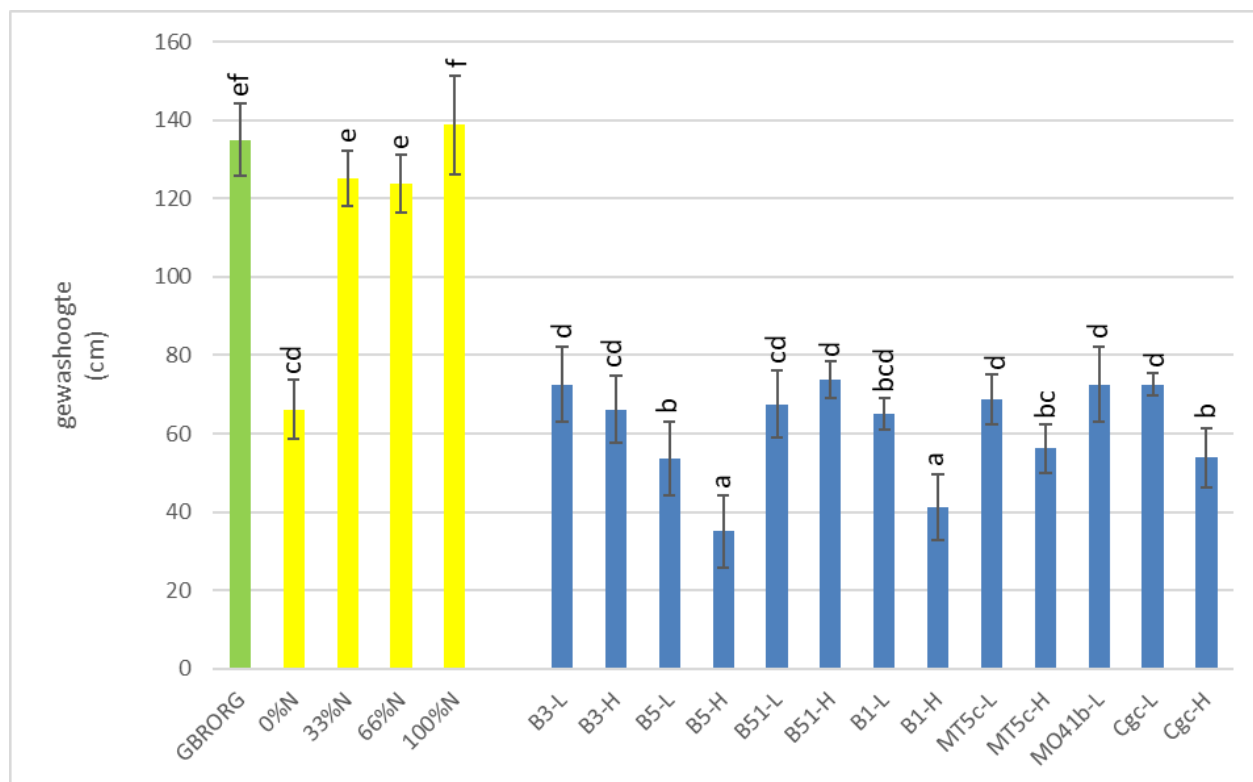
Parameter	OS (%)	N-tot (mg/kg)	P-AL (mg P2O5/100 g)	K-PAE (mg/kg)	S-tot (mg/kg)	Mg-PAE (mg/kg)	B-PAE (ug/kg)
GBRORG	1.6 abc	740 abc	44 abc	86 ab	500 abcd	39 bcd	142 abcd
0%N	1.6 abcd	713 ab	45 abc	107 efg	543 bcd	39 bcd	171 def
33%N	1.5 a	670 a	43 abc	79 a	544 bcd	35 a	149 abcde
66%N	1.6 abcd	738 abc	45 abc	87 abc	529 abcd	38 bc	127 ab
100%N	1.5 ab	704 ab	44 abc	88 abc	493 abcd	39 bcd	136 abc
B3-L	1.6 abcde	785 abcd	44 abc	108 efg	400 a	41 def	149 abcde
B3-H	1.9 f	915 e	45 abc	114 fg	451 abc	41 cde	161 bcdef
B5-L	1.7 abcdef	845 cde	46 bc	118 g	455 abc	41 cde	139 abcd
B5-H	1.7 abcde	833 cde	46 bc	140 h	500 abcd	44 fgh	153 abcde
B51-L	1.6 abc	798 bcde	44 abc	108 efg	515 abcd	38 ab	159 abcdef
B51-H	1.8 bcdef	840 cde	47 c	141 h	498 abcd	41 cde	169 cdef
B1-L	1.6 abcd	753 abc	45 abc	99 cde	508 abcd	39 bcd	124 a
B1-H	1.8 def	845 cde	41 a	93 bcd	518 abcd	45 gh	149 abcde
MT5c-L	1.5 ab	795 bcd	46 bc	97 bcde	626 d	39 bcd	148 abcde
MT5c-H	1.7 abcde	780 abcd	44 abc	90 abcd	423 ab	43 efg	179 ef
MO41b-L	1.8 cdef	848 cde	48 c	108 efg	480 abc	41 cde	150 abcde
Cgc-L	1.7 abcdef	805 bcde	42 ab	102 def	568 cd	41 def	162 cdef
Cgc-H	1.9 ef	893 de	47 bc	101 de	415 ab	46 h	192 f
gemiddeld	1.66	794	45	104	498	40.5	153
Lsd	0.251	118.2	4.8	12.2	140.4	2.974	34.6
F pr.	<0.05	<0.01	n.s.	<0.001	n.s.	<0.001	<0.05

3.4.4 Gewasontwikkeling en -productie

3.4.4.1 Gewasontwikkeling mais in Lelystad

Het toepassen van de producten heeft geen effect gehad op de opkomst en het opkomstpercentage van de mais. In Figuur 3.4-20 is de gemiddelde gewaslengte 60 dagen na zaai weergegeven. De gewaslengte in de referentie objecten GBRORG en 100%N was, 60 dagen na zaai, circa 135 cm. Bij de kunstmestobjecten nam de gewasgroei af bij de bij de lagere N-gift, waarbij er geen verschil werd gevonden tussen de 33%N- en de 66%N-gift. De gewaslengte was bij het object zonder N-gift (0%N) circa de helft van de referentie GBRORG.

Bij alle toepassingen met organische reststromen (bokashi's, maaisel en compost) bleef de gewasontwikkeling sterk achter in vergelijking tot de vijf controleobjecten en verschilde de gewas lengte voor de meeste objecten niet significant van die van het niet-bemeste object (0%N). Bij beide doseringen van B5 en de hoge dosering B1 was de gewas lengte 60 dagen na zaai zelfs significant lager dan bij het object zonder bemesting. Met uitzondering van B3 en B51 is de gewasontwikkeling bij de hoge dosering minder sterk dan bij de lage dosering. Dit geeft aan dat de vertering van de aangebrachte organische stof tijdelijk stikstof heeft onttrokken aan de voor de mais vrij opneembare hoeveelheid N, met een lagere gewashoogte tot gevolg. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die uit 2021.



Figuur 3.4-20 Effect van de verschillende maatregelen op de gewasontwikkeling (gewashoogte) van mais, Lelystad 11 juli 2022.

3.4.4.2 Gewasproductie

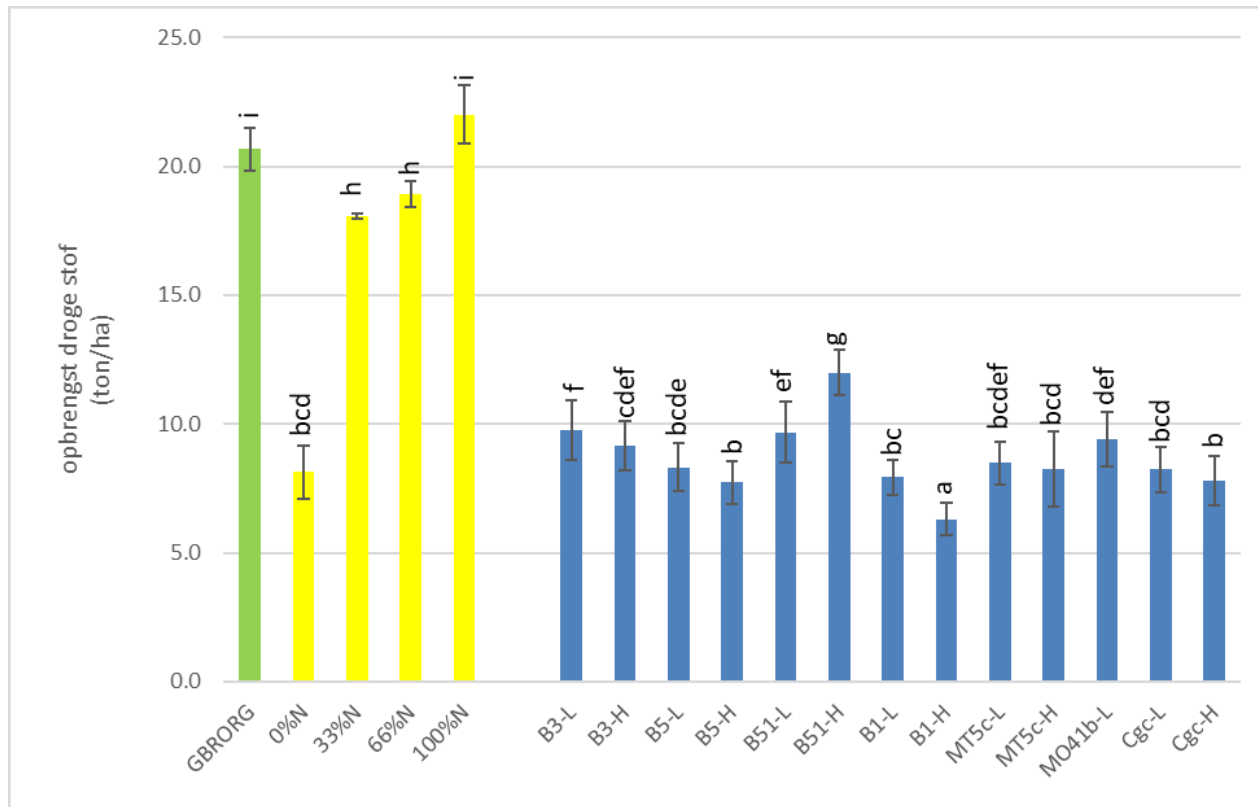
In Figuur 3.4-21 is de gemiddelde drogestofopbrengst weergegeven voor de mais in Lelystad.

In de referentie GBRORG en de 100%N-gift werd een goede maisproductie behaald van ruim 20 ton ds/ha. Voor de plots die minder mineraal N of een van de organische producten hebben gekregen, werd een significant lagere drogestofproductie van mais gemeten. De opbrengst zonder N-bemesting (0%N) was gemiddeld 8,1 ton/ha. Tussen de 33%N en 66%N gift werd geen significant opbrengstverschil gevonden; in beide gevallen was de opbrengst ruim 18 ton/ha.

Bij de organischestof-toepassingen bleven alle opbrengsten ruim achter bij die van de reguliere behandeling met drijfmest en de 100% N mineraal behandeling. Wel zijn er verschillen tussen de behandelingen en werd de hoogste productie gemeten bij de toepassingen van B51-L, B51-H en B3-L. De opbrengst in deze behandelingen was significant hoger dan de gemiddelde opbrengst bij 0%N, wat erop wijst dat er nog wel sprake is van aanlevering van plantopneembaar N, zij het in veel mindere mate dan in de corresponderende behandelingen met drijfmest of 100% N mineraal.

Bij alle andere organischestof-toepassingen verschilde de opbrengst niet significant van de opbrengst zonder N-bemesting (0%N), wat erop wijst dat de stikstof in deze producten niet, althans niet gedurende het groeiseizoen, beschikbaar komt voor de plant. In geval van B1-H is er zelfs sprake van een significant lagere

opbrengst dan die van de 0%N-behandeling. Dit geeft aan dat hier in ieder geval op de korte termijn sprake is geweest van N-immobilisatie. Het gebruik van deze producten als bron voor plantbeschikbaar N als aanvulling op of vervanger van andere mestsoorten is in deze bodem daarom geen goede strategie.



Figuur 3.4-21 Effect van de maatregelen op de drogestofopbrengst van mais, Lelystad 2022.

3.4.4.3 Inhoud (mineralensamenstelling) geoogst product

Van de referentie objecten GBRORG, 0%N en 100%N en de Bokashi-toepassingen B5a en het Cgc-object is bij de oogst van de mais ook de mineralensamenstelling van het geoogste product bepaald. In onderstaande Tabel 3-9 staan de belangrijkste mineralen die gemeten zijn.

Tabel 3-9 Effect van de behandelingen op nutriëntengehalte van mais, Lelystad 2022.

object	N (g/kg ds)	P (g/kg ds)	K (g/kg ds)	S (g/kg ds)	Mg (g/kg ds)	Zn (mg/kg ds)	Fe (mg/kg ds)	Cu (mg/kg ds)
GBRORG	7.0 a	1.4 a	11.4 a	0.73 c	0.70 a	19.0 ab	101 a	2.9 b
0%N	8.9 bc	1.8 b	11.8 a	0.65 abc	0.90 bc	25.8 cd	228 c	2.2 a
100%N	9.5 c	1.3 a	12.0 a	0.73 c	0.73 a	18.0 a	99 a	3.0 b
B5-L	7.1 a	1.8 b	11.4 a	0.58 a	0.88 b	24.5 bc	163 b	2.3 a
B5-H	8.6 b	2.0 c	11.5 a	0.68 bc	0.90 bc	31.8 d	109 a	2.6 ab
Cgc-L	7.1 a	1.8 b	11.9 a	0.60 ab	0.98 d	25.5 cd	211 c	2.2 a
Cgc-H	7.6 a	1.9 bc	11.1 a	0.65 abc	0.95 cd	29.0 cd	169 b	2.5 ab
gemiddeld	8.0	1.70	11.6	0.66	0.86	24.8	154.1	2.53
Lsd	0.703	0.206	0.951	0.0945	0.058	6.483	33.62	0.622
F pr.	<0.001	<0.001	n.s.	<0.05	<0.001	<0.01	<0.001	<0.10

3.5 Hengelo (De Marke)

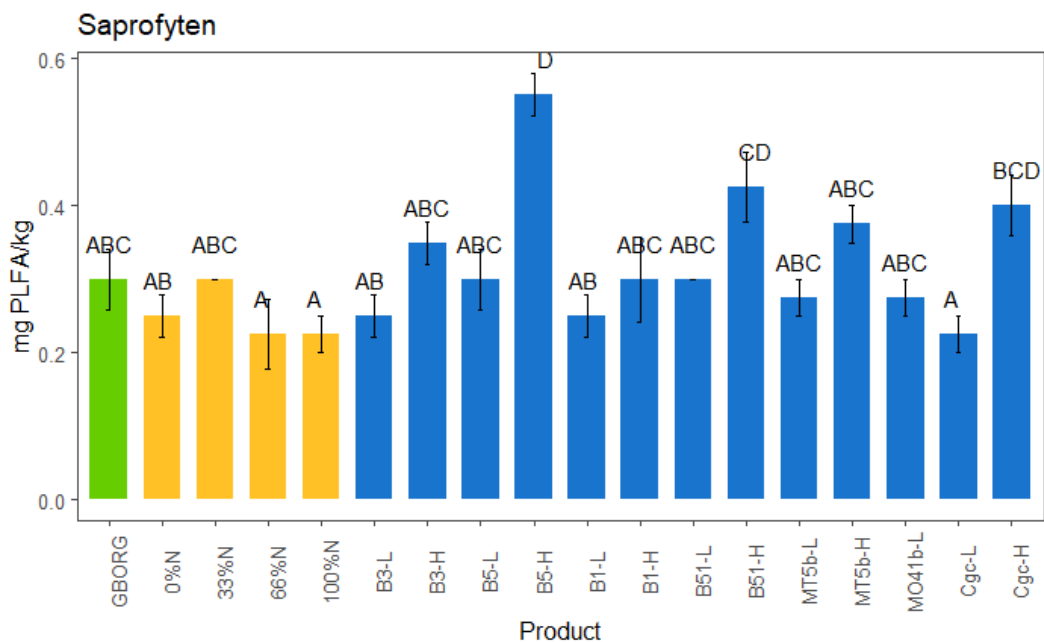
3.5.1 PLFA

Op de locatie De Marke werd bij slechts vijf van de negentien gemeten parameters een significant verschil gevonden tussen een of meerdere producten (Tabel 3-10). Hieronder bespreken we de meeste parameters die een significant verschil te zien gaven.

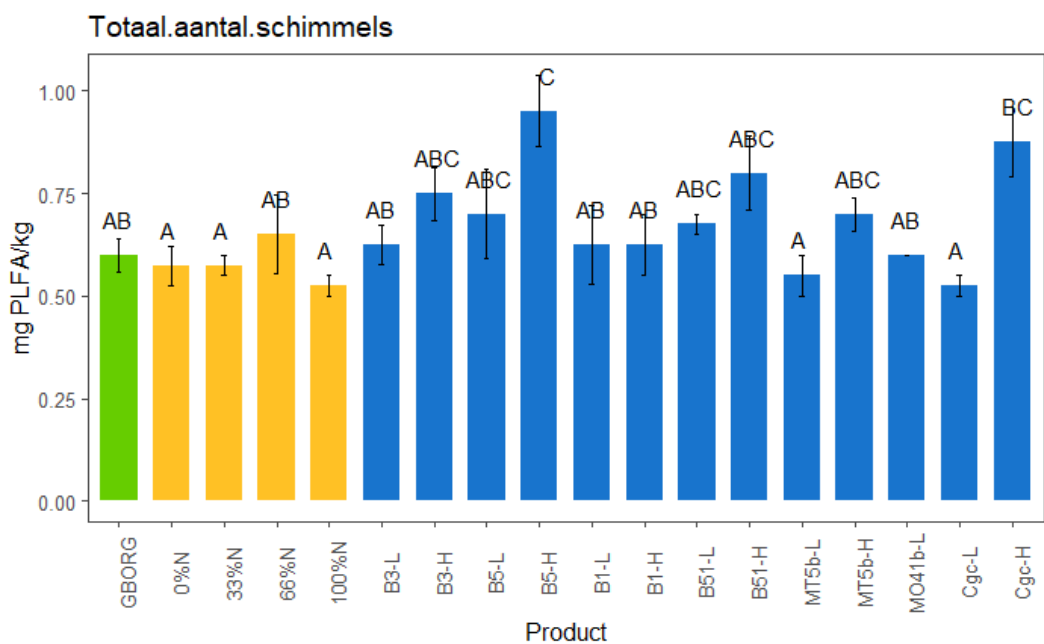
Tabel 3-10 Resultaten van de statistische analyse van het effect van producttoediening op PLFA-parameters in De Marke in 2022: significante effecten zijn vet gedrukt.

Parameter bodemleven	Variabele	Chisq	Df	P
Microbiële biomassa (mg PLFA/kg grond)	Product	18.23	17	0.37
Bacteriën totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	21.27	17	0.21
Grampositieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	13.63	17	0.69
Actinobacteria (mg PLFA/kg grond)	Product	14.46	17	0.63
Gramnegatieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	25.94	17	0.08
Schimmels totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	80.85	17	0.00
Saprofyten (mg PLFA/kg grond)	Product	116.82	17	0.00
Mycorrhiza (mg PLFA/kg grond)	Product	28.10	17	0.04
Protozoa (mg PLFA/kg grond)	Product	25.43	17	0.09
Schimmels/Bacteriën	Product	28.04	17	0.04
Grampositieve/Gramnegatieve bacteriën	Product	26.02	17	0.07
Diversiteit	Product	11.57	17	0.83
Microbiële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	25.89	17	0.08
Bacteriële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	19.59	17	0.30
Schimmel biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	48.48	17	0.00
pH	Product	9.66	17	0.92
Organische koolstof (%)	Product	15.35	17	0.57
Organische stof (%)	Product	19.06	17	0.33
C/organische stof	Product	20.31	17	0.26

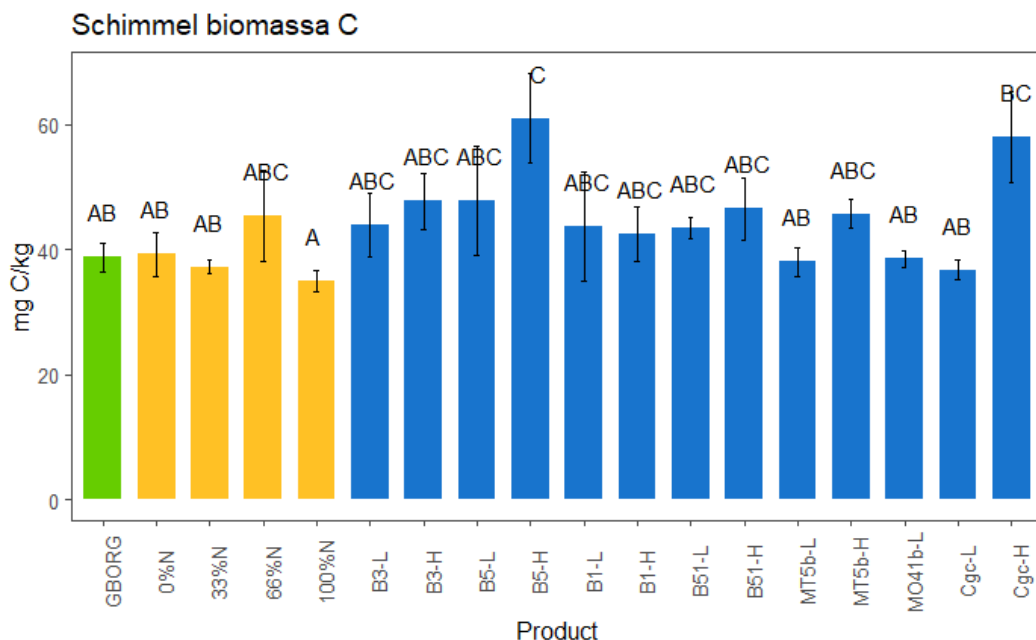
Deze data tonen dat er in De Marke vooral sprake is van significante effecten van de behandelingen op de schimmel-gerelateerde parameters. Zowel saprofyten (Figuur 3.5-1) als het totaalaantal schimmels (Figuur 3.5-2) en de schimmelbiomassa (Figuur 3.5-3) waren significant verhoogd na toediening van bokashi B5-H of de groencompost Cgc-H in vergelijking met de andere toepassingen. Een dergelijk effect wordt echter weer niet gevonden voor andere producten zoals B3, B1, MO41b en MT5b. Dit suggereert daarmee dat er een positief effect van bepaalde organische producten op het aantal saprofyten en schimmels en de schimmelbiomassa kan zijn, maar dat dit productafhankelijk is. Op dit moment is nog onduidelijk waarom dit effect bij gebruik van B5-H en GC wel en bij de overige producten niet optreedt.



Figuur 3.5-1 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van saprophyten na toedienen van de verschillende producten in 2022 in De Marke.



Figuur 3.5-2 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van het totaal aantal schimmels na toedienen van de verschillende producten in 2022 in De Marke.



Figuur 3.5-3 Gemiddelde hoeveelheid C afkomstig van de schimmelbiomassa na toedienen van de verschillende producten in 2022 in De Marke.

3.5.2 Milieuaaltjes

Toedienen van de producten had in de proef in De Marke een significant effect op elf van de dertig aan milieuaaltjes gerelateerde parameters (Tabel 3-11). Er was geen effect op de plantenetende aaltjes, maar wel op groepen aaltjes die betrokken zijn bij de afbraak van organisch materiaal. Het gemiddelde en de spreiding van de parameters zonder significant effect zijn weergegeven in Tabel 3-12. In de proef in De Marke was er geen significant effect op het vochtpercentage van de grond. De voornaamste groepen planteneters waren migratoire endoparasieten (*Pratylenchus* spp.) en ectoparasieten (*Tylenchorhynchus dubius* en Trichodoridae). Daarnaast waren er lagere aantallen wortelhaarvoeders (Tylenchidae), die waarschijnlijk weinig invloed hebben op de groei van de plant.

Tabel 3-11 Resultaten van de statistische analyse (Anova; Chi-kwadraat met zeventien vrijheidsgraden, de overschrijdingskans Pr en de significantie van de toets) van verschillende parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in De Marke, 2022 (n=4).

Parameter†	Chisq	Pr(>Chisq)	Significantie
Vochtpercentage grond	25.9	0.08	.
Maturity Index (MI)	32.9	0.01	*
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	25.2	0.09	.
Plant Parasite Index (PPI)	21.2	0.22	
Channel Index (CI)	33.9	<0.01	**
Basal Index (BI)	33.3	0.01	*
Enrichment Index (EI)	41.1	<0.001	***
Structure Index (SI)	22.6	0.16	
Aantal taxa (getelde groepen)	38.0	<0.01	**
Biomassa (mg · 100 g grond-1)	67.6	<0.001	***
Dauer larven (# · 100 g grond-1)	70.4	<0.001	***
Totaal (zonder dauer larven; # · 100 g grond-1)	28.6	0.04	*
Planteneters	7.4	0.98	
Schimmelelers	26.9	0.06	.
Bacterie-eters	58.2	<0.001	***
Predatoren	21.6	0.20	
Omnivoren	17.2	0.44	
Sedentaire endoparasieten	-	-	
Migratoire endoparasieten	11.8	0.81	
Semi-endoparasieten	17.0	0.45	
Ectoparasieten	11.2	0.85	
Wortelhaarvoeders	17.9	0.40	
CP1-aaltjes	70.5	<0.001	***
CP2-aaltjes	31.7	0.02	*
CP3-aaltjes	14.6	0.62	
CP4-aaltjes	23.7	0.13	
CP5-aaltjes	24.4	0.11	
PP2-aaltjes	17.2	0.44	
PP3-aaltjes	10.0	0.90	
PP4-aaltjes	17.8	0.40	
PP5-aaltjes	15.2	0.58	

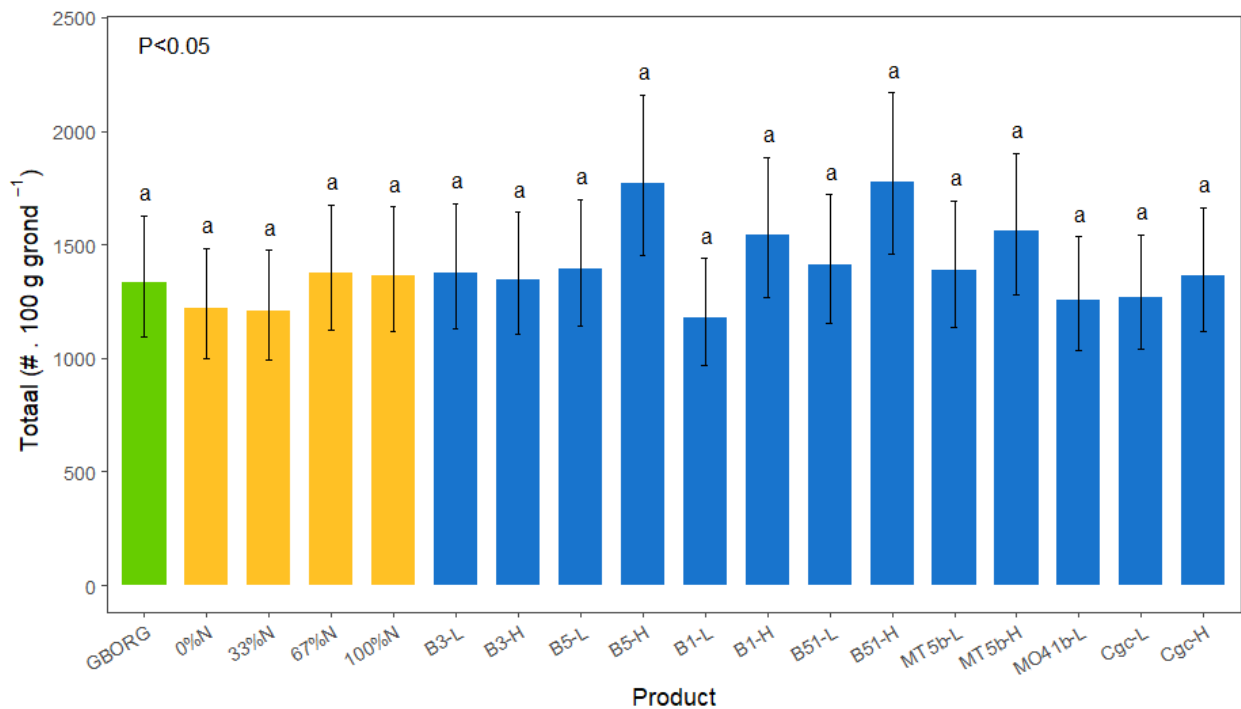
† Biomassa was log10-getransformeerd en aantallen waren log10(x+1)-getransformeerd om aan de voorwaarde voor Anova te voldoen. In de grond werden geen sedentaire endoparasieten aangetroffen. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05, P<0.1.

Tabel 3-12 Gemiddelde en 95%-betrouwbaarheidsinterval van de parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in De Marke, 2022 (n=72). Voor de overige parameters (met significante verschillen tussen de behandelingen) wordt verwezen naar de afzonderlijke figuren.

Parameter	Gemiddelde [‡]	Betrouwbaarheidsinterval
Vochtpercentage grond	17.1	16.8 - 17.4
Maturity Index (MI)	2.34	2.29 - 2.39
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	2.66	2.62 - 2.70
Plant Parasite Index	2.92	2.91 - 2.94
Basal Index	20.9	19.7 - 22.1
Structure Index	66.2	64.2 - 68.1
Aantal taxa (getelde groepen)	25.2	24.5 - 26.0
Planteneters (# · 100 g grond-1)	717	670 - 766
Schimmeleters	124	111 - 138
Predatoren	37	32 - 43
Omnivoren	36	30 - 43
Sedentaire endoparasieten	0	0 - 0
Migratoire endoparasieten	300	279 - 323
Semi-endoparasieten	0.03	0 - 0.09
Ectoparasieten	334	305 - 365
Wortelhaarvoeders	61	52 - 72
CP3-aaltjes	29	24 - 34
CP4-aaltjes	115	105 - 127
CP5-aaltjes	16	13 - 20
PP2-aaltjes	63	54 - 73
PP3-aaltjes	623	578 - 673
PP4-aaltjes	8	5 - 11
PP5-aaltjes	0.09	0 - 0.21

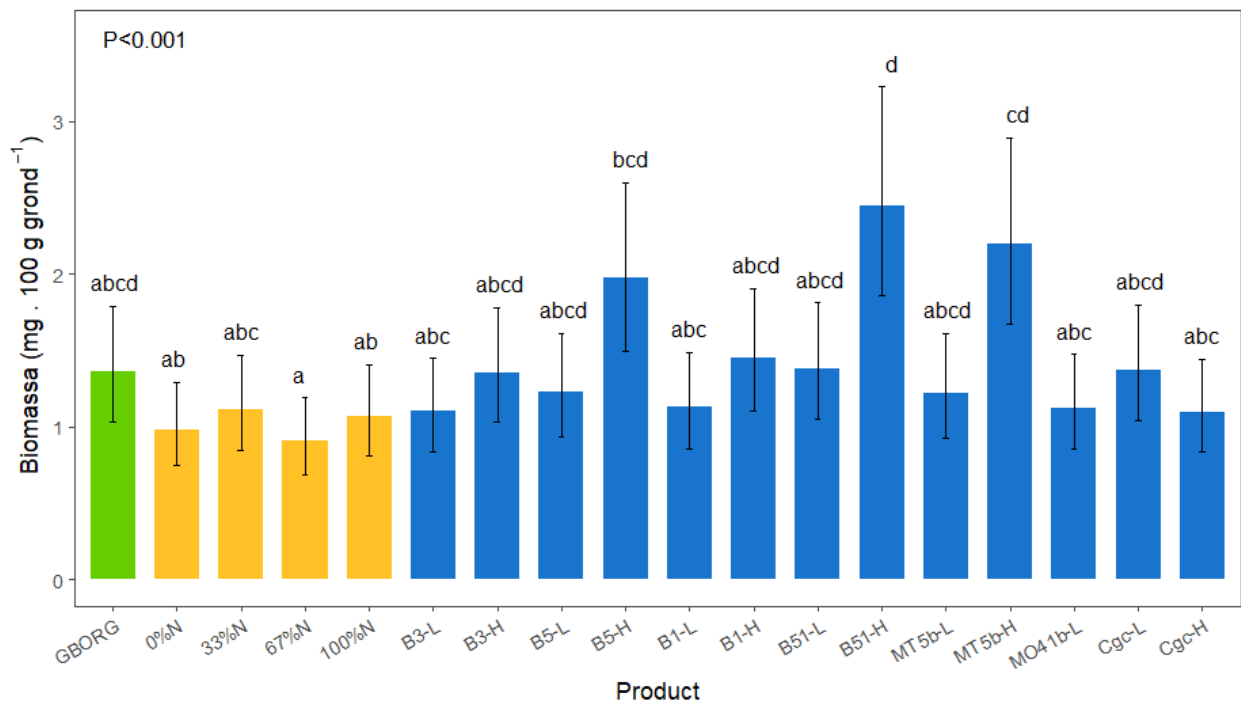
[‡] Aantallen aaltjes (per 100 g droge grond) zijn gebaseerd op gemiddelden van log-getransformeerde waarden. De aantallen uit de verschillende groepen komen daarom niet overeen met het berekende totale aantal.

Er was wel een significant effect van toedienen van de producten op het totale aantal aaltjes, maar dit kwam niet tot uiting in onderlinge verschillen (Figuur 3.5-4).



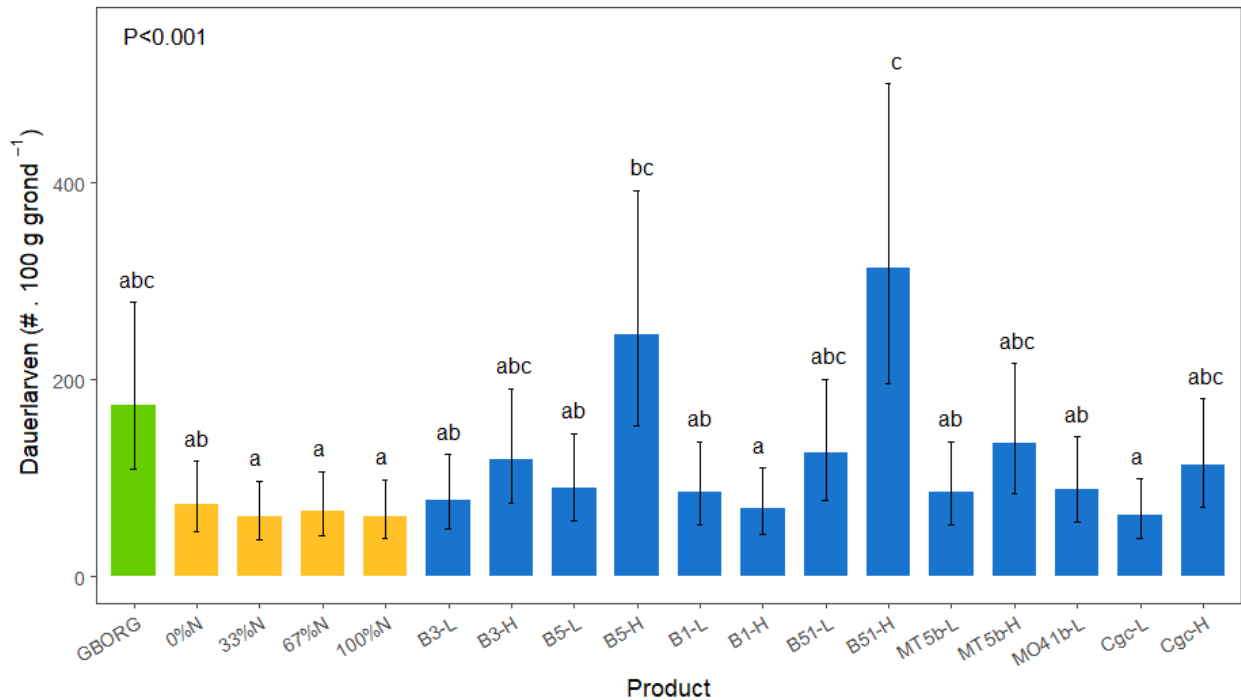
Figuur 3.5-4 Effect van toedienen van producten op het totale aantal aaltjes in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

Toedienen van de meeste organische producten had in het merendeel van de gevallen geen effect op de biomassa van de aaltjes (Figuur 3.5-5). Wel was na toedienen van B51-H en MT5b-H de biomassa ongeveer twee keer zo hoog als in de behandeling met minerale stikstof. B5-H verschilde alleen van 67% N.



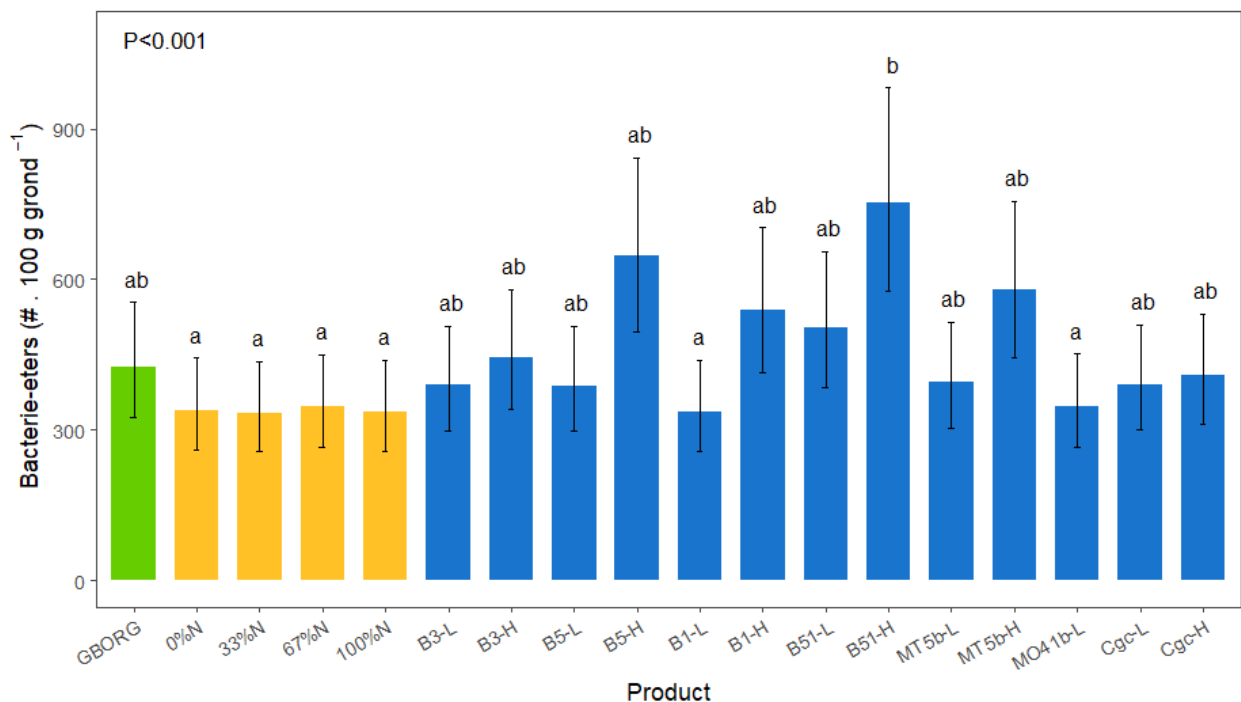
Figuur 3.5-5 Effect van toedienen van producten op de biomassa van de aaltjes in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

Het aantal dauerlarven in de grond verschilde weinig na toedienen van de meeste organische producten (Figuur 3.5-6). Alleen in geval van B5-H en B51-H was het aantal dauerlarven ongeveer vier keer zo hoog als in de behandelingen met 33%N tot en met 100%N.



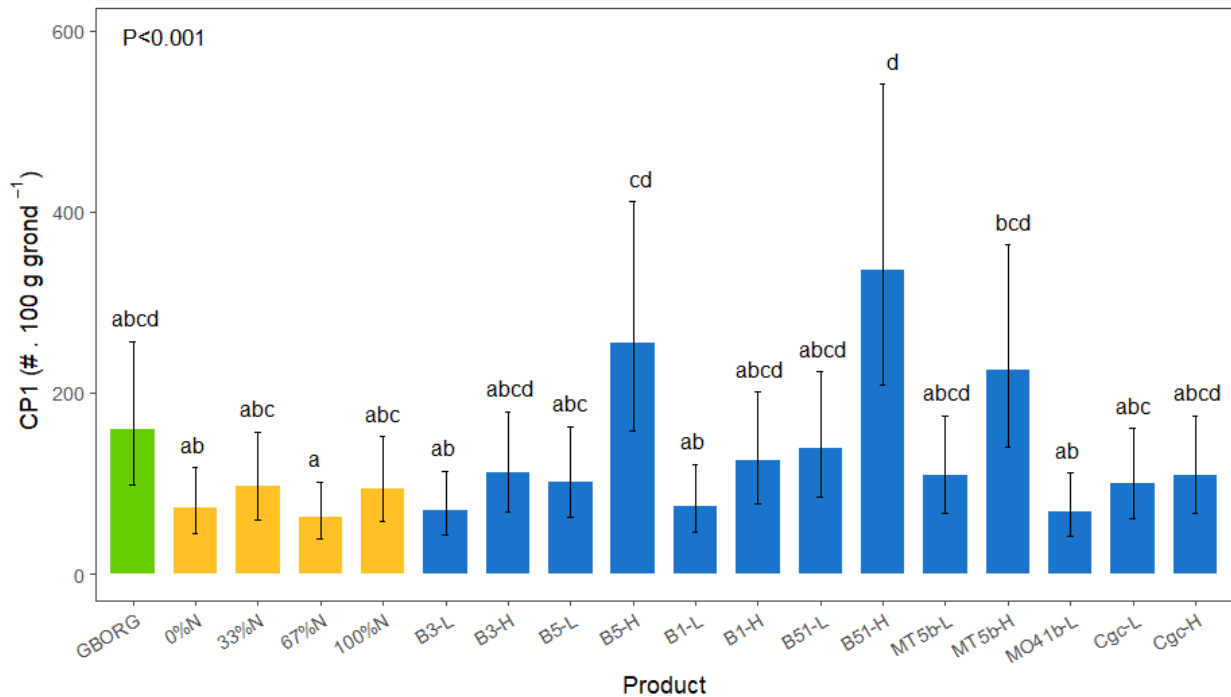
Figuur 3.5-6 Effect van toedienen van producten op het aantal dauerlarven in 2022 in De Marke (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

Met uitzondering van de behandeling B51-H was er geen effect op het aantal bacterie-eters in vergelijking met de GBORG en minerale N-behandelingen als gevolg van toedienen van de organische producten (Figuur 3.5-7).



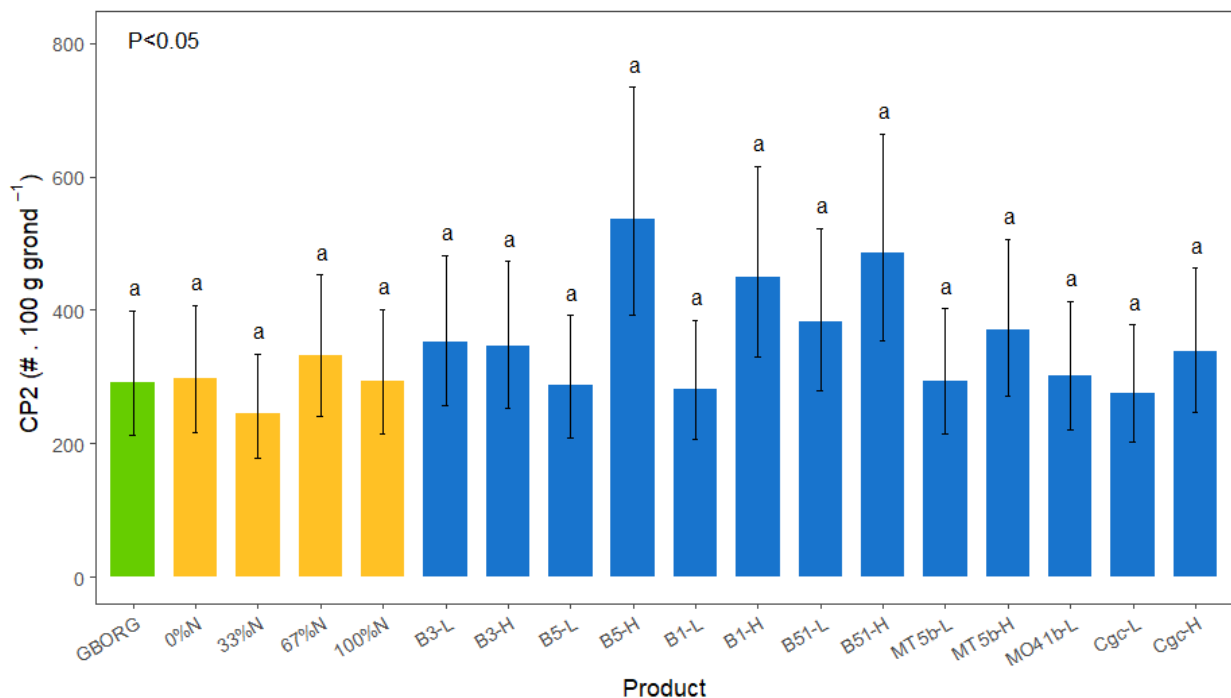
Figuur 3.5-7 Effect van toedienen van producten op het aantal bacterie-eters in 2022 in De Marke (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

Er waren weinig onderlinge verschillen in aantal CP1-aaltjes na toedienen van de meeste producten (Figuur 3.5-8). Na toedienen van B51-H was het aantal CP1-aaltjes wel 3-4 keer zo hoog als in de behandelingen met minerale stikstof. Toedienen van B5-H gaf alleen een hoger aantal CP1-aaltjes vergeleken met 0 en 67%N.



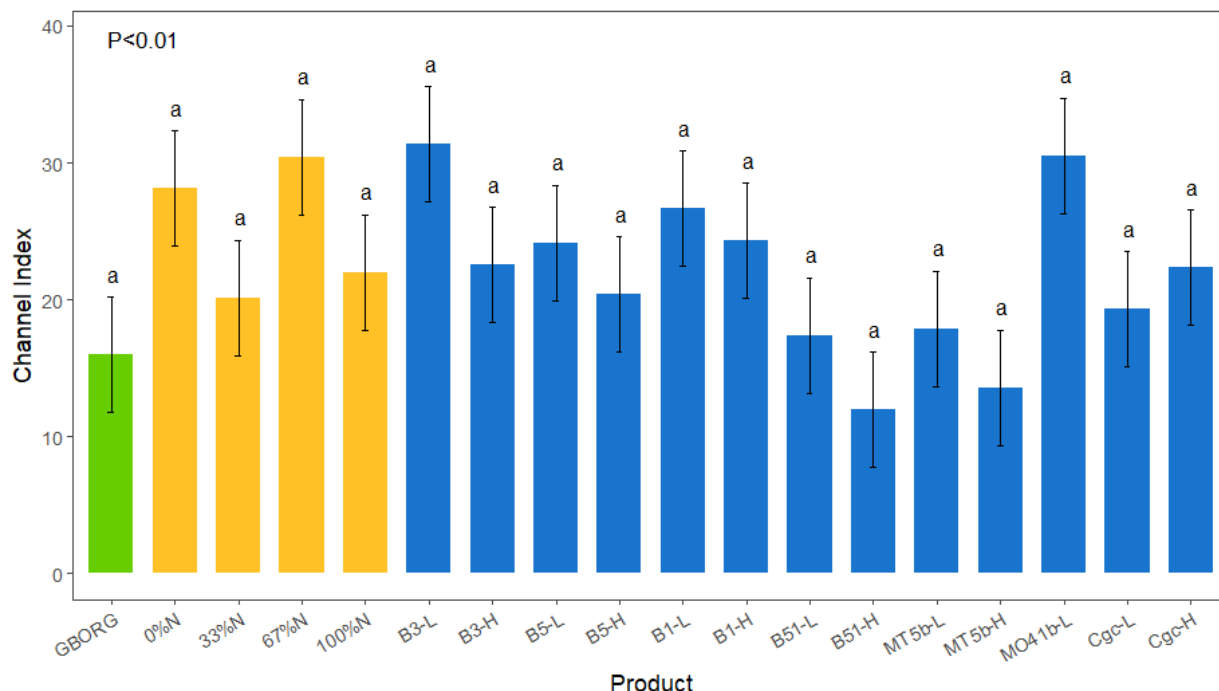
Figuur 3.5-8 Effect van toedienen van producten op het aantal CP1-aaltjes in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

Er was wel een klein significant effect van de producten op het aantal CP2-aaltjes, maar bij het verder vergelijken van de onderlinge verschillen bleek dit tussen alle behandelingen niet significant (Figuur 3.5-9).



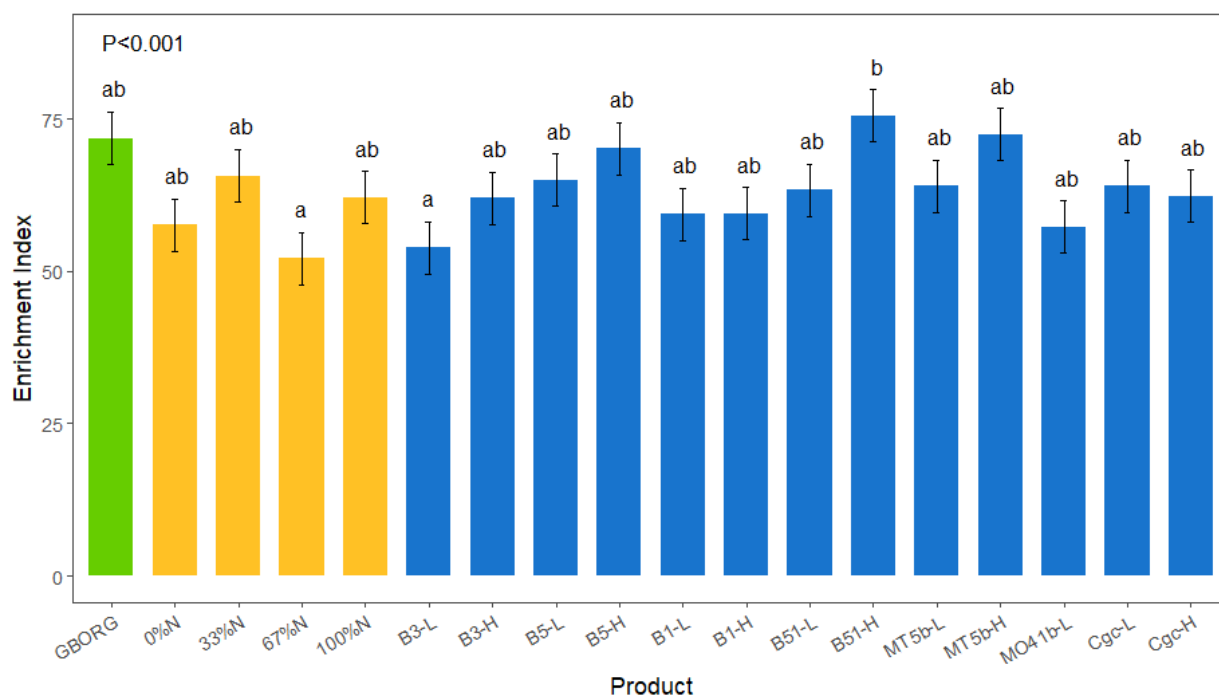
Figuur 3.5-9 Effect van toedienen van producten op het aantal CP2-aaltjes in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

Ook bij de Maturity Index bleek in Tabel 3-11 sprake van een licht significant effect van toedienen van de producten, maar bij het onderzoek naar de onderlinge verschillen bleek dit toch niet significant (Tabel 3-12). De Channel Index was vrij hoog voor een landbouwgrond (Figuur 3.5-10). Een significant effect van toedienen van de producten resulteerde niet in onderlinge verschillen door de grote variatie tussen de veldjes.



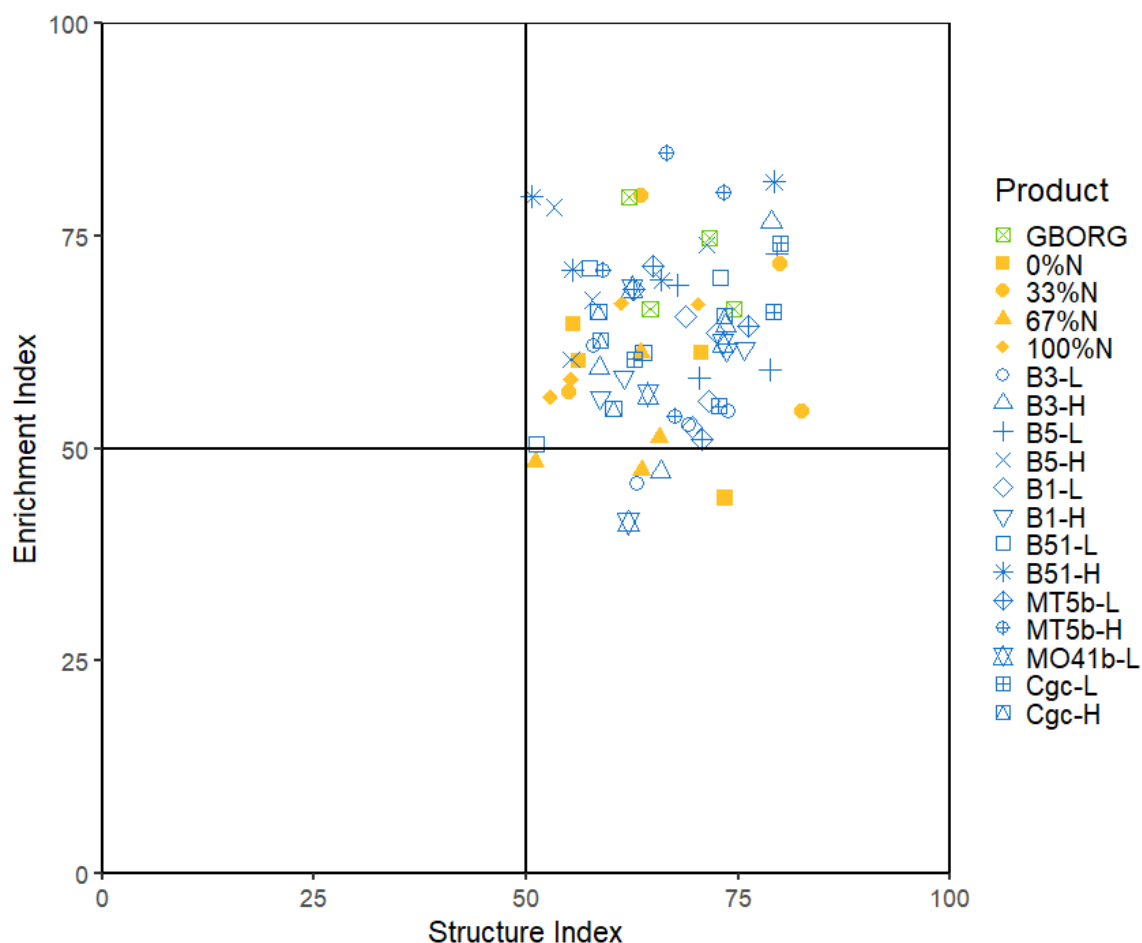
Figuur 3.5-10 Effect van toedienen van producten op de Channel Index in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

Toedienen van de producten had ook een significant effect op de Enrichment Index (EI), maar gaf weer weinig onderlinge verschillen tussen de producten (Figuur 3.5-11). De EI was ongeveer twintig punten hoger na toedienen van B51-H dan bij 67% N.



Figuur 3.5-11 Effect van toedienen van producten op de Enrichment Index in 2022 in De Marke (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

In de proef in De Marke lagen de meeste punten in het voedselweb-diagram in de rechter bovenhoek (Figuur 3.5-12). Dit duidt op een relatief hoge bodemvruchtbaarheid met een stabiel ecosysteem, met een hoge mate van structuur in de aaltjesgemeenschap. Toedienen van de organische producten resulteerde niet in grote verschuivingen binnen het diagram.



Figuur 3.5-12 Effect van toedienen van producten op de Enrichment en Structure Index in 2022 in De Marke ($n=4$).

3.5.3 Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)

Na de teelt van de mais op locatie Hengelo is de bodemvruchtbaarheid gemeten. In Tabel 3-13 wordt voor een aantal belangrijke elementen het effect van de producten die in het voorjaar zijn toegepast op de bodemvruchtbaarheid weergegeven.

De meeste behandelingen hebben geen significant effect gehad op de totale hoeveelheid stikstof (N-tot), de bodemvoorraad P (P-AL) en beschikbare hoeveelheid magnesium in vergelijking tot het gangbare object (GBRORG).

Tabel 3-13 Effect van maatregelen op de bodemvruchtbaarheid na de teelt van mais, Hengelo, najaar 2022.

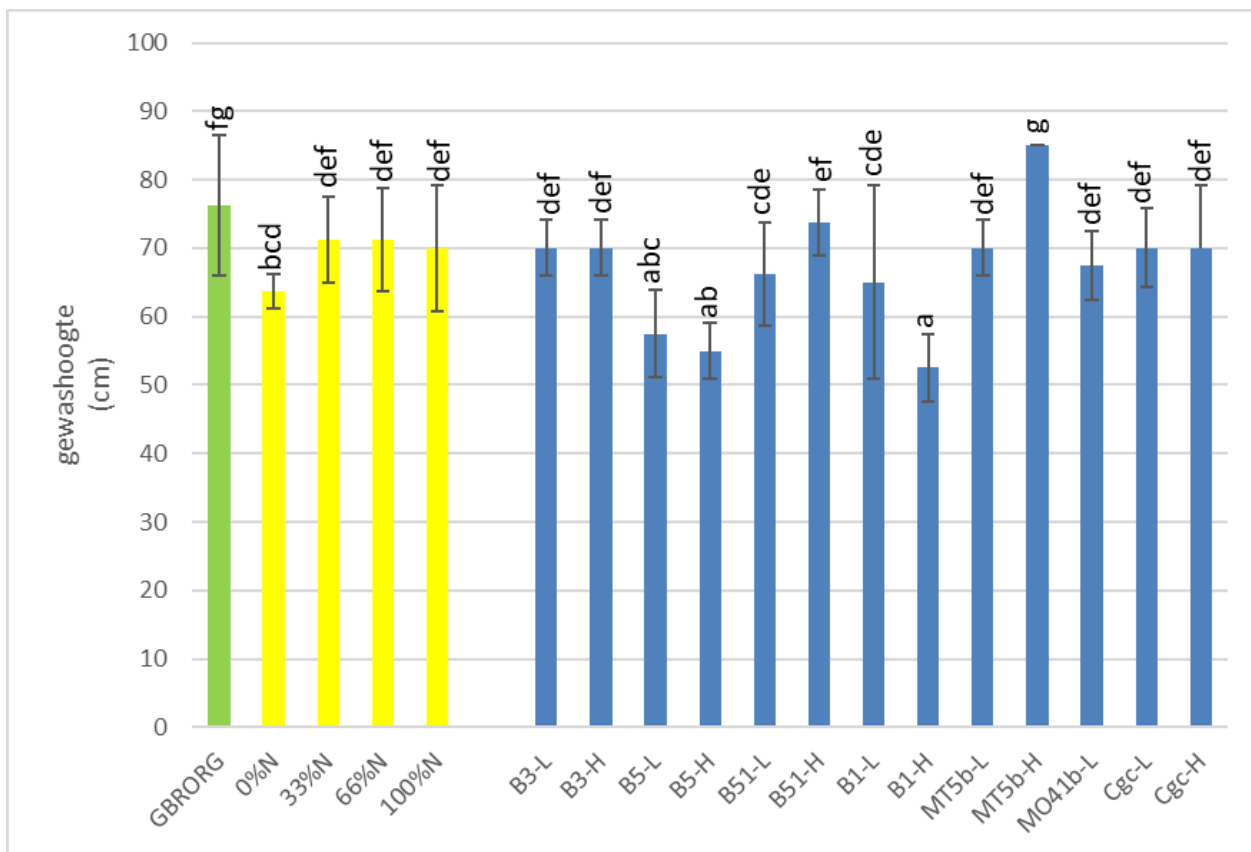
Parameter	N-tot (mg/kg)	P-AL (mg P2O5/100 g)	k-PAE (mg/kg)	S-tot (mg/kg)	Mg-PAE (mg/kg)	B-PAE (ug/kg)
GBRORG	1332 ab	73 ab	51 ab	223 abcd	42 abc	86 abc
0%N	1285 ab	77 abc	61 bcd	215 abc	40 a	82 ab
33%N	1328 ab	73 ab	63 bcd	223 abcd	45 abcd	99 bcde
66%N	1358 ab	78 bc	61 bcd	205 a	45 abcd	81 ab
100%N	1365 ab	70 a	59 bcd	213 ab	43 abcd	84 ab
B3-L	1300 ab	76 abc	62 bcd	203 a	43 abcd	94 abcde
B3-H	1285 ab	73 ab	75 def	210 ab	46 abcd	92 abcd
B5-L	1310 ab	71 ab	69 cde	218 abc	45 abcd	93 abcd
B5-H	1385 b	77 abc	101 h	243 d	51 cd	106 de
B51-L	1295 ab	74 abc	80 efg	213 ab	44 abcd	85 abc
B51-H	1360 ab	75 abc	92 gh	223 abcd	52 d	104 de
B1-L	1330 ab	81 c	65 bcd	210 ab	49 abcd	94 abcd
B1-H	1308 ab	76 abc	38 a	225 abcd	47 abcd	104 de
MT5b-L	1372 ab	74 abc	62 bcd	230 bcd	42 ab	86 abc
MT5b-H	1368 ab	76 abc	90 fgh	238 cd	46 abcd	103 cde
MO41b-L	1265 a	81 c	52 ab	205 a	47 abcd	81 a
Cgc-L	1348 ab	77 abc	56 bc	210 ab	45 abcd	85 ab
Cgc-H	1375 ab	73 ab	59 bc	223 abcd	50 bcd	112 e
gemiddeld	1332	75	66	218	45	93
Lsd	110.8	7.2	15.3	24.3	8.9	17.9
F pr.	n.s.	n.s.	<0.001	<0.10	n.s.	<0.01

3.5.4 Gewasontwikkeling en -productie

3.5.4.1 Gewasontwikkeling

Het toepassen van de verschillende producten heeft geen effect gehad op de opkomst (uitgedrukt als opkomstpercentage) van de mais op locatie Hengelo. In onderstaande Figuur 3.5-13 is de gewaslengte weergegeven, gemeten 52 dagen na zaai. De gewaslengte in de referentie objecten GBRORG was, 52 dagen na zaai, ruim 75 cm. De gewaslengte bij de kunstmestobjecten verschilde niet significant van het referentieobject GBRORG. Met uitzondering van het object zonder N-bemesting (0%N), met een significant minder sterke gewasontwikkeling.

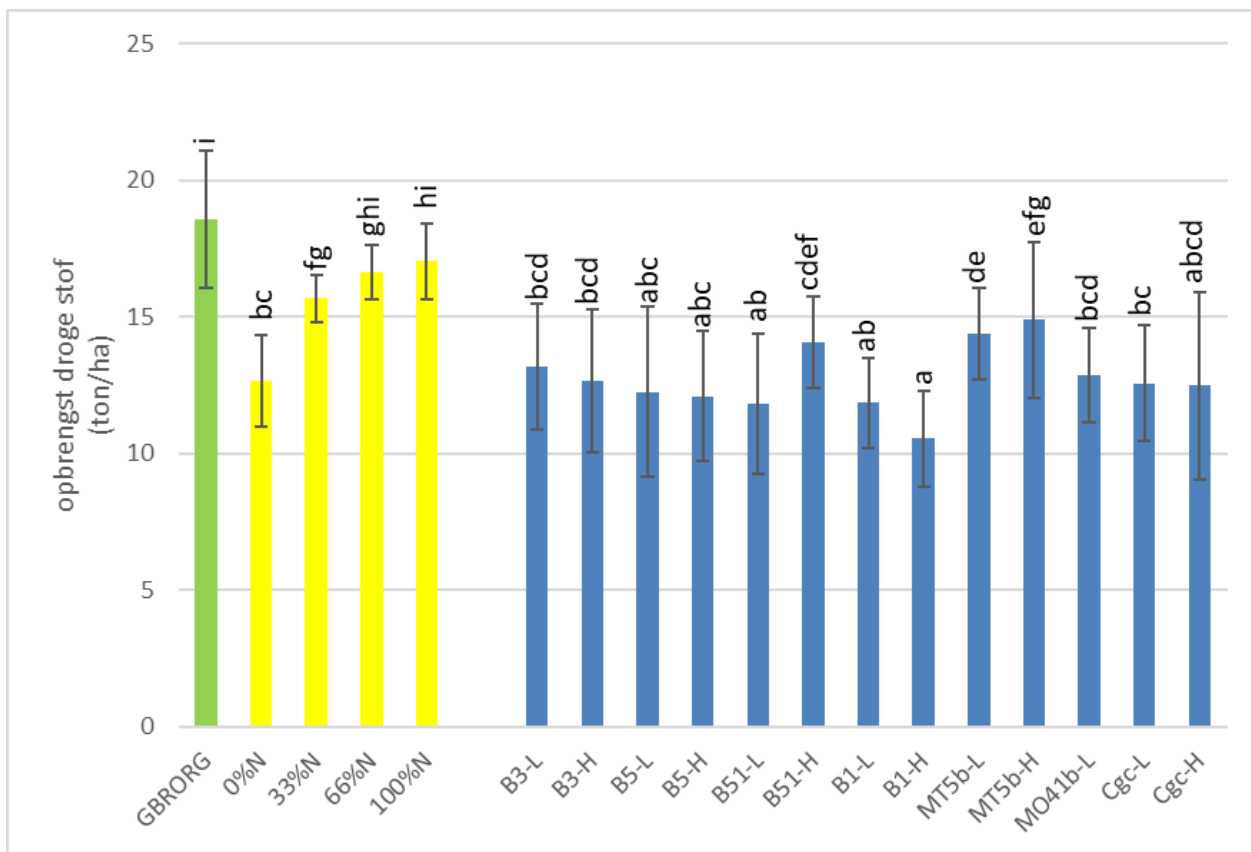
De meeste organischestof-toepassingen hebben geen significant effect gehad op de gewasontwikkeling. De gewaslengte, 52 dagen na zaai, verschilde niet significant van de gewaslengte bij de referentie objecten GBRORG en de 100%N-gift. Dit geldt echter niet voor de toepassing van B5-L, B5-H en B1-H, waarbij de gemiddelde gewaslengte significant lager was dan bij de referentie objecten GBRORG en 100%N en de meeste andere toepassingen van de organische producten.



Figuur 3.5-13 Effect van de maatregelen op gewasontwikkeling van mais, Hengelo 17 juni 2022.

3.5.4.2 Gewasproductie

In onderstaande Figuur 3.5-14 is de gemiddelde drogestofopbrengst van de proef in Hengelo weergegeven. In de proef in Hengelo behaalde het referentieobject GBRORG de hoogste gewasproductie (18,6 ton ds/ha). Deze was significant hoger dan bij de N-bemeste objecten 0%N (12,6 ton/ha) en 33%N (15,6 ton/ha). De opbrengst van de objecten met de hoogste N-bemesting (66% en 100% N) verschilde niet significant van de referent GBRORG. Daarentegen is bij alle organischestof-toepassingen sprake van een significant lagere gewasproductie in vergelijking met die in de referentieobjecten GBRORG en 100%N. De opbrengst bij de organischestof-toepassingen was daarbij gemiddeld circa 25% lager dan in geval van GBRORG en 100%N. B51-H, MT5b-L en MT5b-H waren de toepassingen met de hoogste gewasproductie, maar de verschillen met de meeste andere organischestof-toepassingen zijn relatief klein en niet significant.



Figuur 3.5-14 Effect van maatregelen op de drogestofopbrengst van mais, Hengelo 2022.

3.5.4.3 Inhoud (mineralensamenstelling) geoogst product

Van de referentieobjecten GBRORG, 0%N en 100%N en de Bokashi-toepassingen BOK5a en het Cgc-object is bij de oogst van de mais ook de mineralensamenstelling van het geoogste product bepaald. In onderstaande Tabel 3-14 staan de belangrijkste mineralen die gemeten zijn.

Tabel 3-14 Effect van de behandelingen op nutriëntengehalte van mais, Hengelo 2022.

object	N (g/kg ds)	P (g/kg ds)	k (g/kg ds)	S (g/kg ds)	Mg (g/kg ds)	Zn (mg/kg ds)	Fe (mg/kg ds)	Cu (mg/kg ds)
GBRORG	X	1.6 a	9.5 a	0.88 b	1.23 a	34.0 a	153 a	4.0 b
0%N	X	2.0 b	10.7 ab	0.65 a	1.35 abc	33.8 a	216 c	3.0 a
100%N	X	1.6 a	9.4 a	0.83 b	1.28 ab	38.5 a	150 a	4.2 b
B5-L	X	2.1 bc	10.7 ab	0.63 a	1.28 ab	34.8 a	203 bc	2.8 a
B5-H	X	2.5 d	12.3 b	0.70 a	1.38 bc	34.0 a	208 c	2.9 a
Cgc-L	X	2.4 cd	9.7 a	0.68 a	1.40 c	34.8 a	173 abc	2.7 a
Cgc-H	X	2.0 b	9.1 a	0.68 a	1.35 abc	32.5 a	159 ab	2.8 a
gemiddeld		2.03	10.20	0.718	1.33	34.6	180.1	3.20
Lsd		0.32	1.689	0.105	0.137	8.58	43.88	0.591
F pr.		<0.001	<0.05	<0.001	<0.05	n.s.	<0.05	<0.001

X Data (nog) niet beschikbaar.

3.6 Resultaten Vredepeel

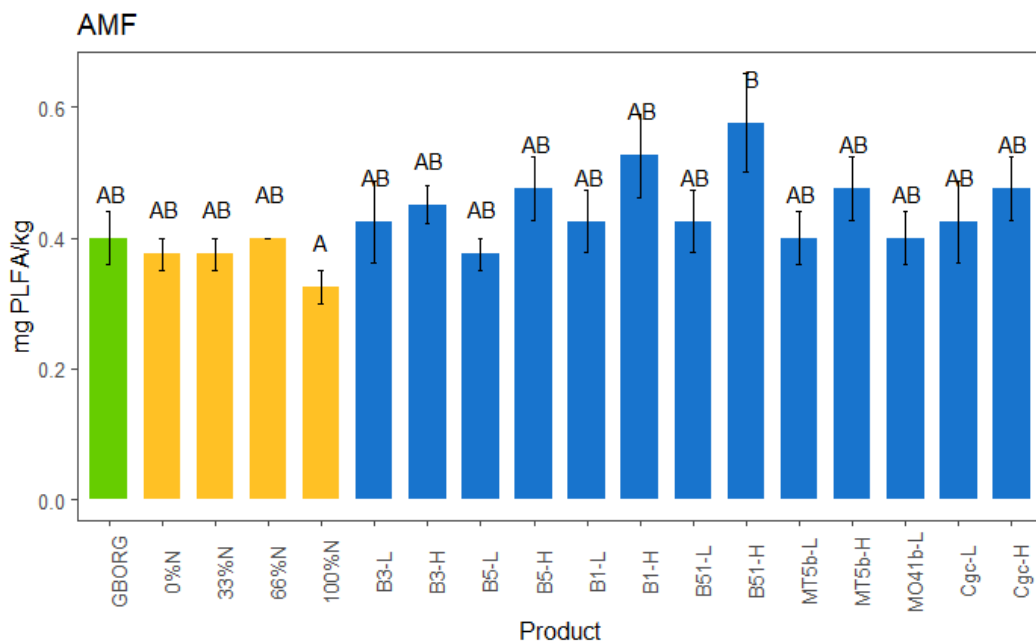
3.6.1 PLFA Vredepeel

Op de locatie Vredepeel werd bij zeven van de negentien gemeten parameters een verschil gevonden tussen twee of meerdere producten (Tabel 3-16). Hieronder bespreken we de meeste parameters die een significant verschil te zien gaven.

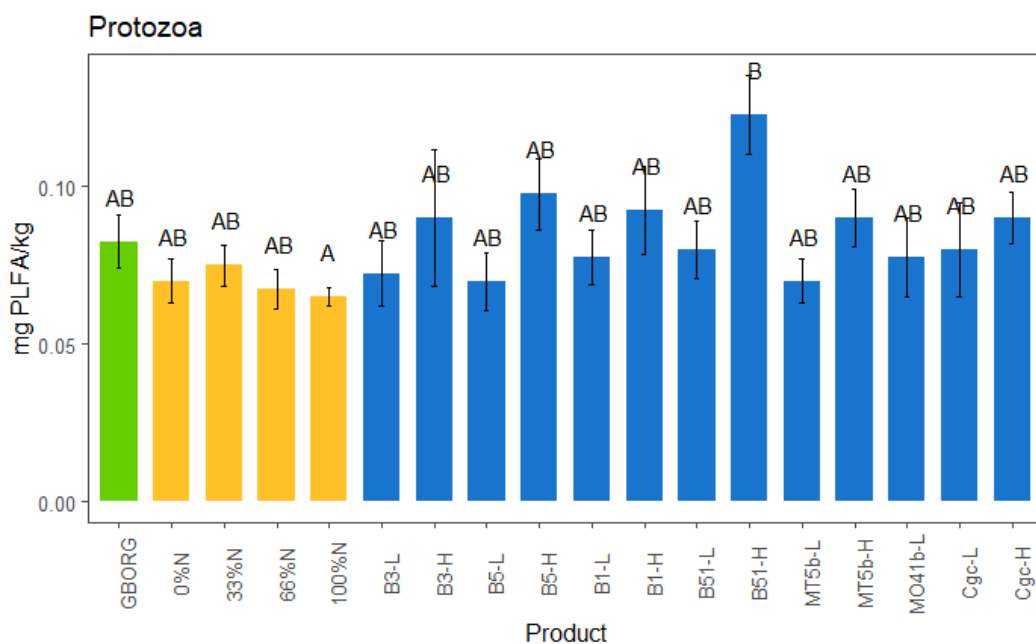
Tabel 3-15 Resultaten van de statistische analyse van het effect van producttoediening of PLFA-parameters in Vredepeel in 2022: Significante effecten zijn vet gedrukt.

Parameter bodemleven	Variabele	Chisq	Df	P
Microbiële biomassa (mg PLFA/kg grond)	Product	17.42	17	0.43
Bacteriën totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	14.97	17	0.60
Grampositieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	11.13	17	0.85
Actinobacteria (mg PLFA/kg grond)	Product	13.38	17	0.71
Gramnegatieve bacteriën (mg PLFA/kg grond)	Product	17.68	17	0.41
Schimmels totaal (mg PLFA/kg grond)	Product	77.34	17	0.00
Saprofyten (mg PLFA/kg grond)	Product	121.26	17	0.00
Mycorrhiza (mg PLFA/kg grond)	Product	29.66	17	0.03
Protozoa (mg PLFA/kg grond)	Product	28.93	17	0.04
Schimmels/Bacteriën	Product	150.18	17	0.00
Grampositieve/Gramnegatieve bacteriën	Product	7.09	17	0.98
Diversiteit	Product	15.08	17	0.59
Microbiële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	14.85	17	0.61
Bacteriële biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	13.49	17	0.70
Schimmel biomassa C (mg C/ kg grond)	Product	55.61	17	0.00
pH	Product	41.78	17	0.00
Organische koolstof (%)	Product	20.20	17	0.26
Organische stof (%)	Product	24.59	17	0.10
C/organische stof	Product	18.29	17	0.37

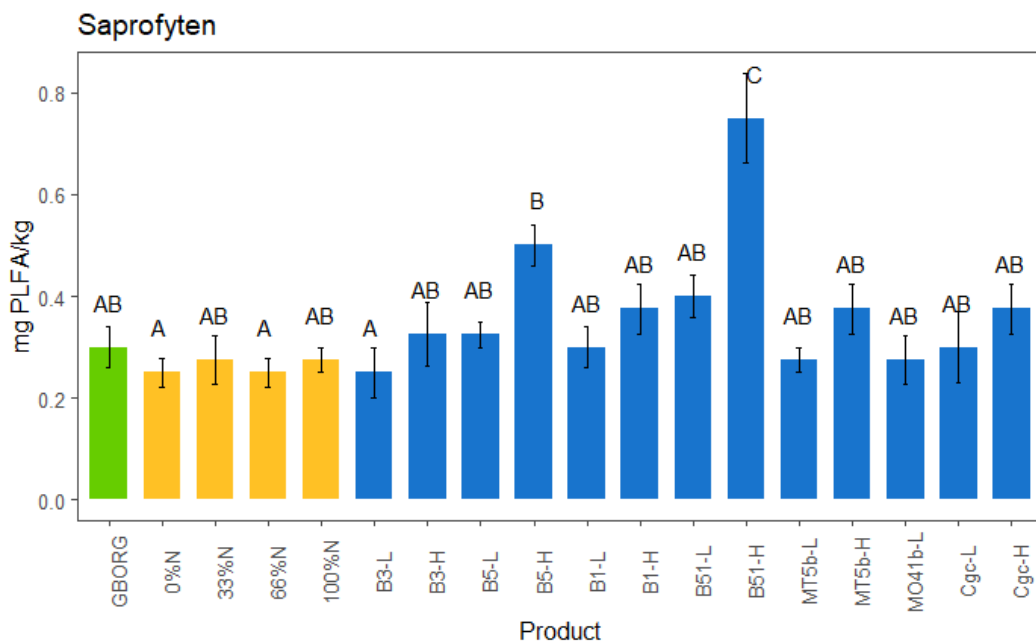
Op de locatie Vredepeel werden vooral met de bokashi B51-H significant hogere waarden gemeten bij de parameters AMF (Figuur 3.6-1), protozoa (Figuur 3.6-2), saprofyten (Figuur 3.6-3) en het totaal aantal schimmels (Figuur 3.6-4). Het aantal schimmels en saprofyten was ook significant verhoogd na toepassing van bokashi B5-H. De verhouding tussen schimmels en bacteriën bleek een gevoelige parameter, want deze was voor bijna alle producten, behalve voor B1, significant hoger na toediening van de hoogste dosering (Figuur 3.6-5).



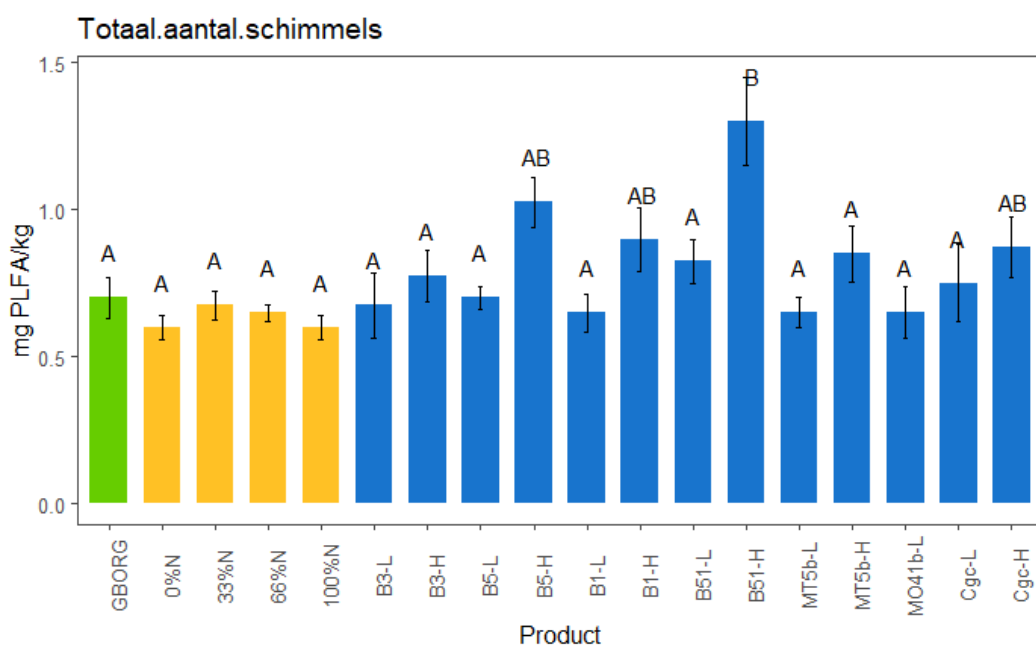
Figuur 3.6-1 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van AMF na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Vredepeel.



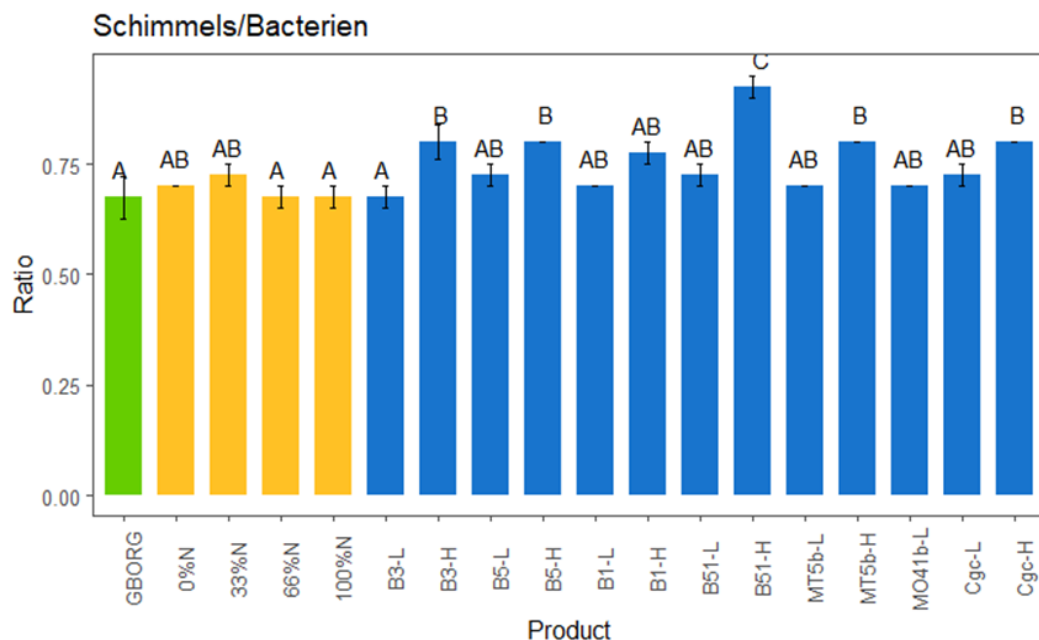
Figuur 3.6-2 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van protozoa na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Vredepeel.



Figuur 3.6-3 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van saprophyten na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Vredepeel.



Figuur 3.6-4 Gemiddelde hoeveelheid PLFA afkomstig van het totale aantal schimmels na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Vredepeel.



Figuur 3.6-5 Gemiddelde verhouding tussen schimmel en bacterie PLFA na toedienen van de verschillende producten in 2022 in Vredepeel.

3.6.2 Milieuaaltjes

Toedienen van de organische producten had in de proef in Vredepeel een significant effect op 15 van de 29 aan milieuaaltjes gerelateerde parameters (Tabel 3-16). Er was een effect op het vochtpercentage van de grond, maar er waren weinig en slechts kleine onderlinge verschillen. Toedienen van de producten had vooral effect op het aantal aaltjes dat betrokken is bij de decompositie van organisch materiaal en minder op de planteneters. Er was een effect op het aantal sedentaire endoparasitaire aaltjes, maar omdat de extractie niet gericht was op een nauwkeurige bepaling van deze groep, kan daar niet te veel waarde aan worden gehecht. Effecten op het aantal PP2- en PP4-aaltjes (respectievelijk vooral Tylenchidae/wortelhaarvoeders en Trichodoridae/ectoparasieten) en de Plant Parasite Index waren wel significant, maar waren niet te herleiden tot onderlinge verschillen tussen de producten.

Tabel 3-16 Resultaten van de statistische analyse (Anova; Chi-kwadraat met 17 vrijheidsgraden, de overschrijdingskans Pr en de significantie van de toets) van verschillende parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in Vredepeel, 2022 (n=4).

Parameter†	Chisq	Pr(>Chisq)	Significantie
Vochtpercentage grond	40.8	<0.001	***
Maturity Index (MI)	54.4	<0.001	***
Maturity Index 2-5 (MI2-5)	18.6	0.35	
Plant Parasite Index (PPI)	32.6	0.01	*
Channel Index (CI)	38.2	<0.01	**
Basal Index (BI)	62.2	<0.001	***
Enrichment Index (EI)	73.0	<0.001	***
Structure Index (SI)	17.7	0.41	
Aantal taxa (getelde groepen)	23.1	0.15	
Biomassa (mg · 100 g grond-1)	129.3	<0.001	***
Dauer larven (# · 100 g grond-1)	30.9	0.02	*
Totaal (zonder dauer larven; # · 100 g grond-1)	128.1	<0.001	***
Planteneters	21.9	0.19	
Schimmeleters	26.1	0.07	.
Bacterie-eters	176.8	<0.001	***
Predatoren	14.2	0.66	
Omnivoren	7.6	0.97	
Sedentaire endoparasieten	38.6	<0.01	**
Migratoire endoparasieten	14.0	0.67	
Semi-endoparasieten	-	-	
Ectoparasieten	27.5	0.05	.
Wortelhaarvoeders	26.1	0.07	.
CP1-aaltjes	162.9	<0.001	***
CP2-aaltjes	104.5	<0.001	***
CP3-aaltjes	25.8	0.08	.
CP4-aaltjes	18.9	0.34	
CP5-aaltjes	15.8	0.54	
PP2-aaltjes	31.9	0.02	*
PP3-aaltjes	21.0	0.23	
PP4-aaltjes	30.2	0.03	*
PP5-aaltjes	-	-	

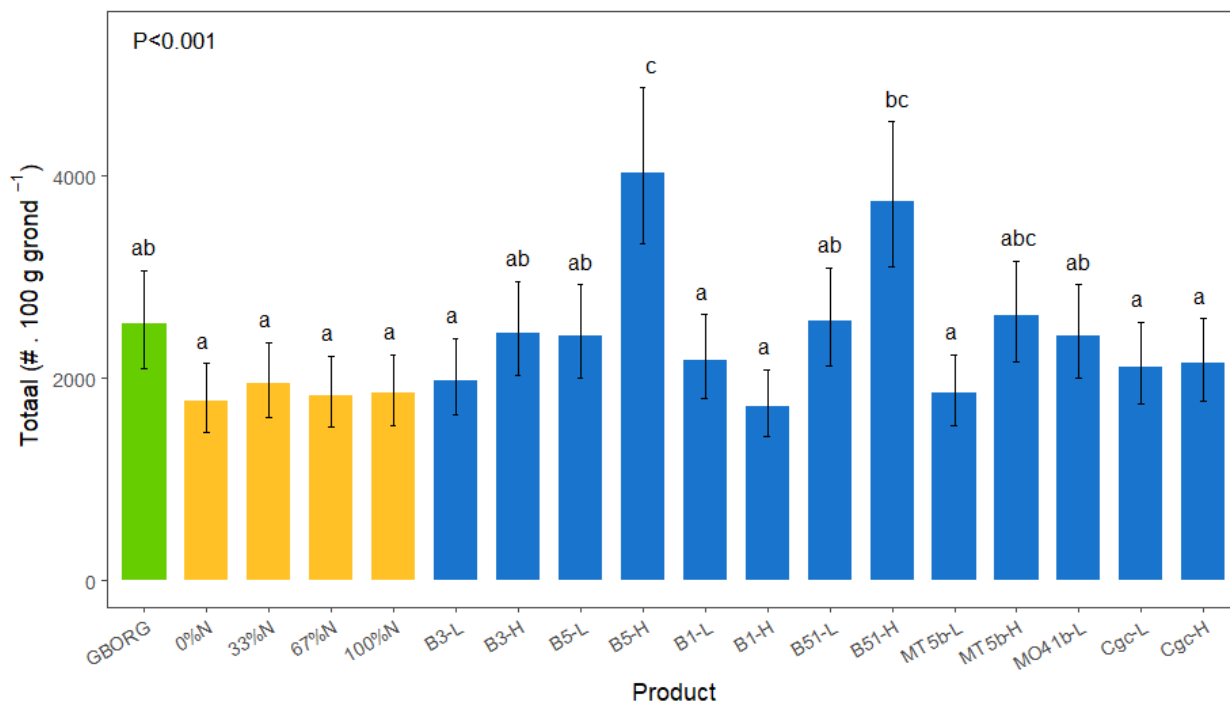
† Biomassa was log10-getransformeerd en aantallen waren log10(x+1)-getransformeerd om aan de voorwaarde voor Anova te voldoen. In de grond werden geen semi-endoparasieten en planteneters uit de klasse PP5 aangetroffen. *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05, P<0.1.

Tabel 3-17 Gemiddelde en 95%-betrouwbaarheidsinterval van de parameters van milieuaaltjes die zijn bepaald in de veldproef Circulair Terreinbeheer/Bokashi in Vredepeel, 2022 (n=72). Voor de overige parameters (met significante verschillen tussen de behandelingen) wordt verwezen naar de afzonderlijke figuren.

Parameter	Gemiddelde [†]	Betrouwbaarheidsinterval
Vochtpercentage grond	11.4	11.2 - 11.6
Maturity Index 2-5	2.32	2.29 - 2.35
Channel Index	5.80	4.88 - 6.72
Basal Index	25.2	23.7 - 26.6
Structure Index	42.8	40.0 - 45.6
Aantal taxa (getelde groepen)	34.3	33.2 - 35.4
Biomassa (mg · 100 g grond-1)	3.62	3.30 - 3.97
Dauer larven (# · 100 g grond-1)	34	24 - 49
Planteneters (# · 100 g grond-1)	598	520 - 686
Schimmelelers	128	105 - 158
Predatoren	44	35 - 57
Omnivoren	27	18 - 38
Sedentaire endoparasieten	1.4	0.7 - 2.4
Migratoire endoparasieten	105	73 - 149
Semi-endoparasieten	0	0 - 0
Ectoparasieten	297	256 - 345
Wortelhaarvoeders	116	96 - 139
CP3-aaltjes	35	27 - 46
CP4-aaltjes	116	103 - 130
CP5-aaltjes	3.6	2.1 - 6.0
PP2-aaltjes	135	114 - 159
PP3-aaltjes	388	328 - 459
PP4-aaltjes	17	11 - 26
PP5-aaltjes	0	0 - 0

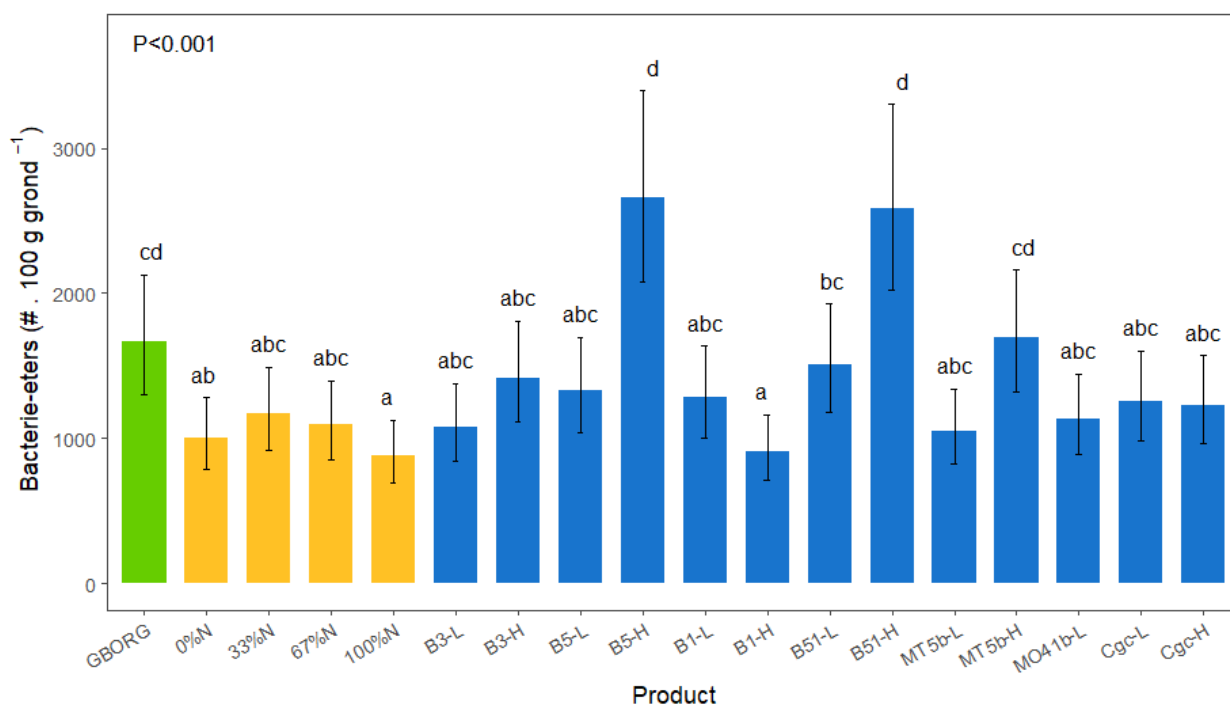
[†] Aantallen aaltjes (per 100 g droge grond) zijn gebaseerd op gemiddelden van log-getransformeerde waarden. De aantallen uit de verschillende groepen komen daarom niet overeen met het berekende totale aantal.

Toedienen van de organische producten had in de meeste gevallen geen effect op het totale aantal aaltjes (Figuur 3.6-6). Het totale aantal aaltjes was wel ongeveer twee keer zo hoog na toedienen van B5-H en B51-H als bij toedienen van minerale stikstof. Het effect op de biomassa van de aaltjes was vergelijkbaar, alleen was hier ook de biomassa in de gangbare controle hoger dan bij minerale stikstof.



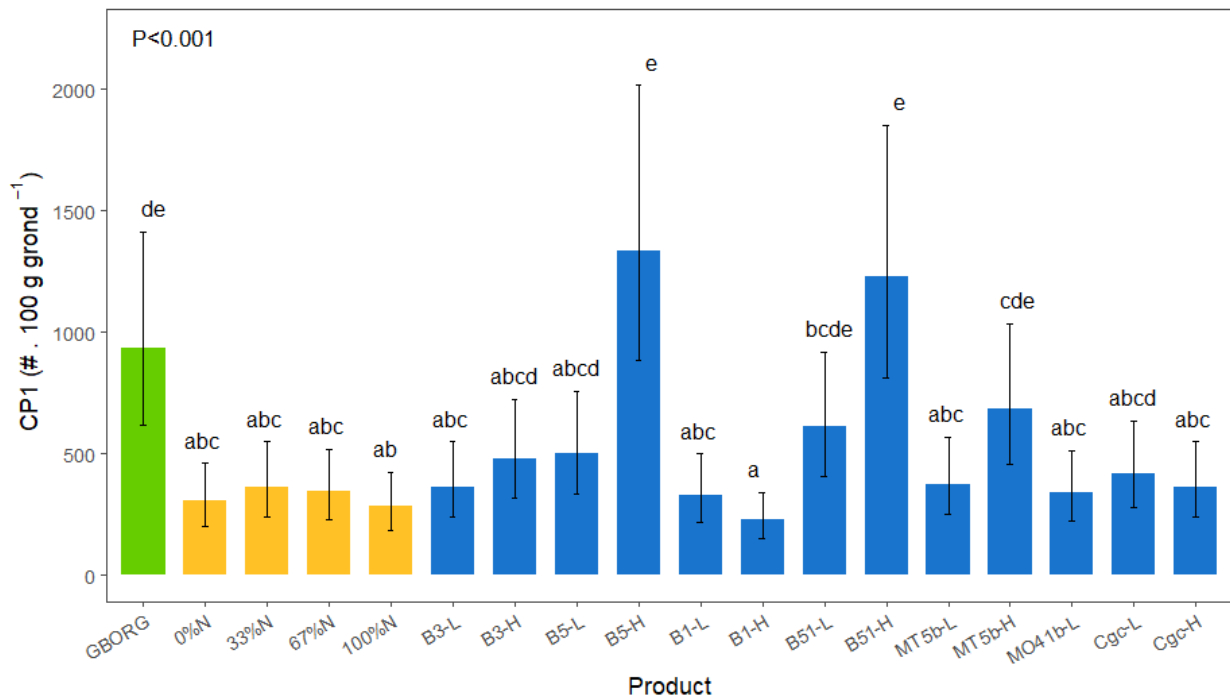
Figuur 3.6-6 Effect van toedienen van producten op het totale aantal aaltjes in 2022 in Vredepeel (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

De meeste producten hadden geen effect op het aantal bacterie-etende aaltjes (Figuur 3.6-7). Na toedienen van B5-H en B51-H was het aantal bacterie-etters ruim twee keer zo hoog als in de behandelingen met minerale stikstof. Ook de gangbare controle en MT5b-H hadden een verhoogd aantal bacterie-etters vergeleken met 0 en 100%N.



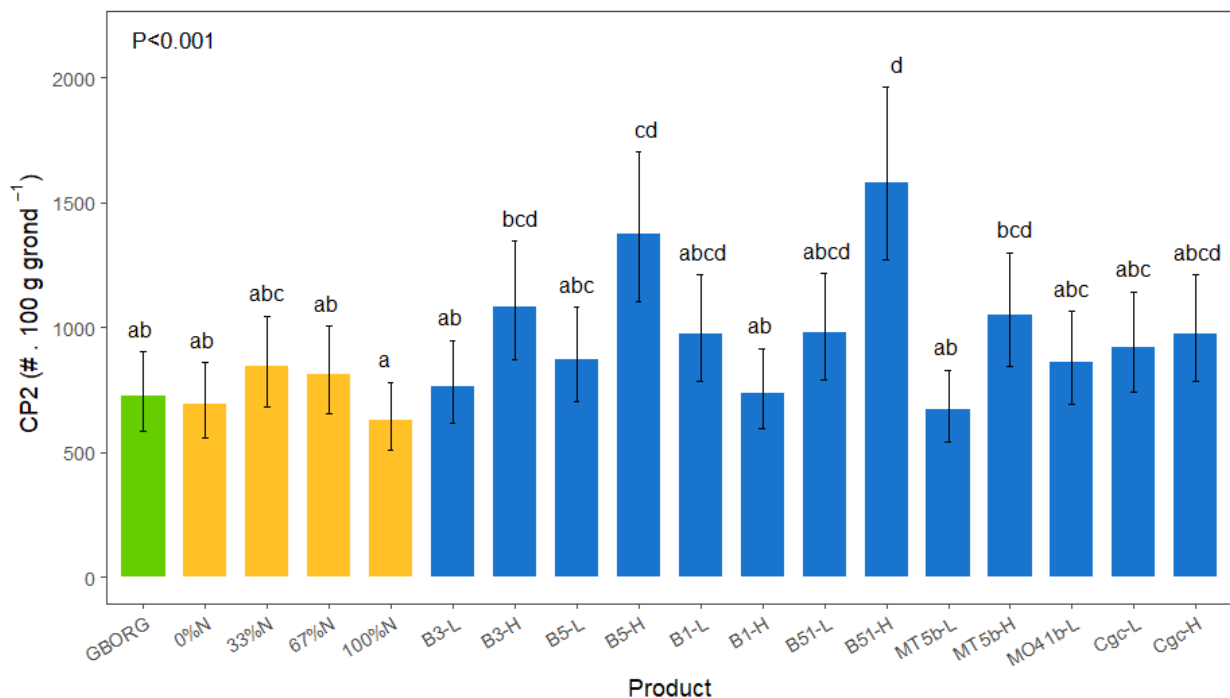
Figuur 3.6-7 Effect van toedienen van producten op het aantal bacterie-etters in 2022 in Vredepeel (gemiddelde \pm betrouwbaarheidsinterval; $n=4$).

De meeste producten hadden geen effect op het aantal CP1-aaltjes (Figuur 3.6-8). Toedienen van B5-H en B51-H en de gangbare controle leidden tot een 3-4 keer zo hoog aantal CP1-aaltjes als in de behandelingen met minerale stikstof.



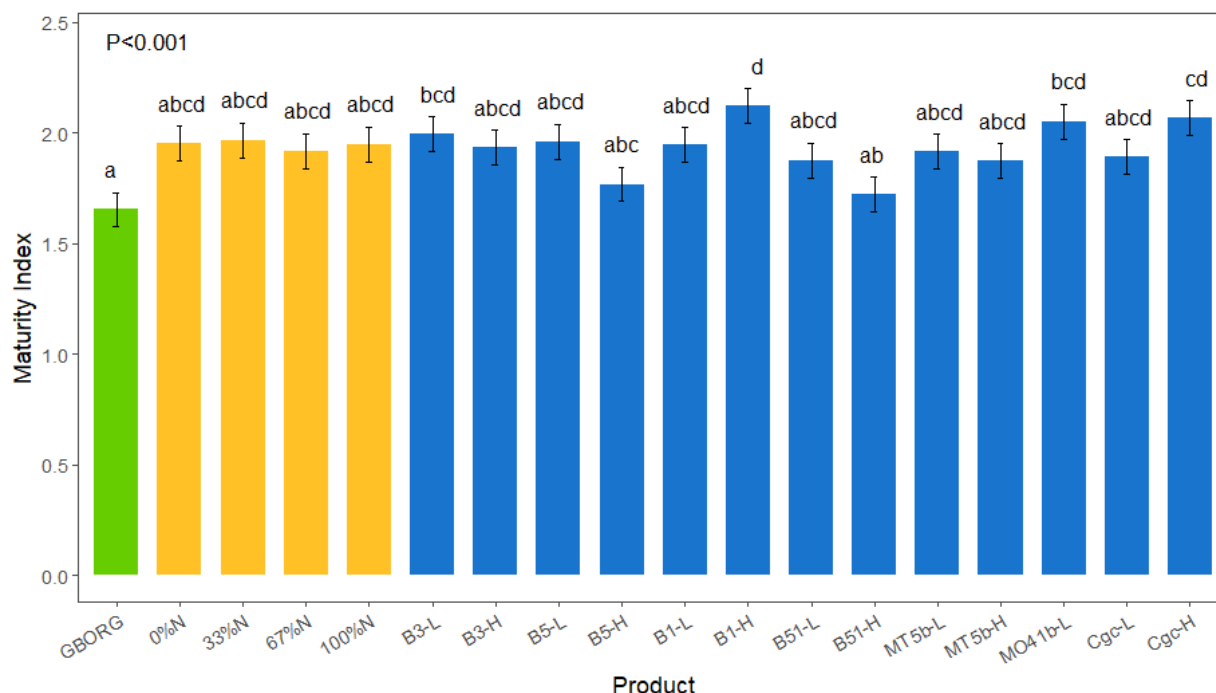
Figuur 3.6-8 Effect van toedienen van producten op het aantal CP1-aaltjes in 2022 in Vredepeel (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

De meeste organische producten hadden geen effect op het aantal CP2-aaltjes in de grond (Figuur 3.6-9). Alleen na toedienen van B5-H en B51-H was het aantal CP2-aaltjes hoger dan in drie van de vier minerale stikstofbehandelingen.



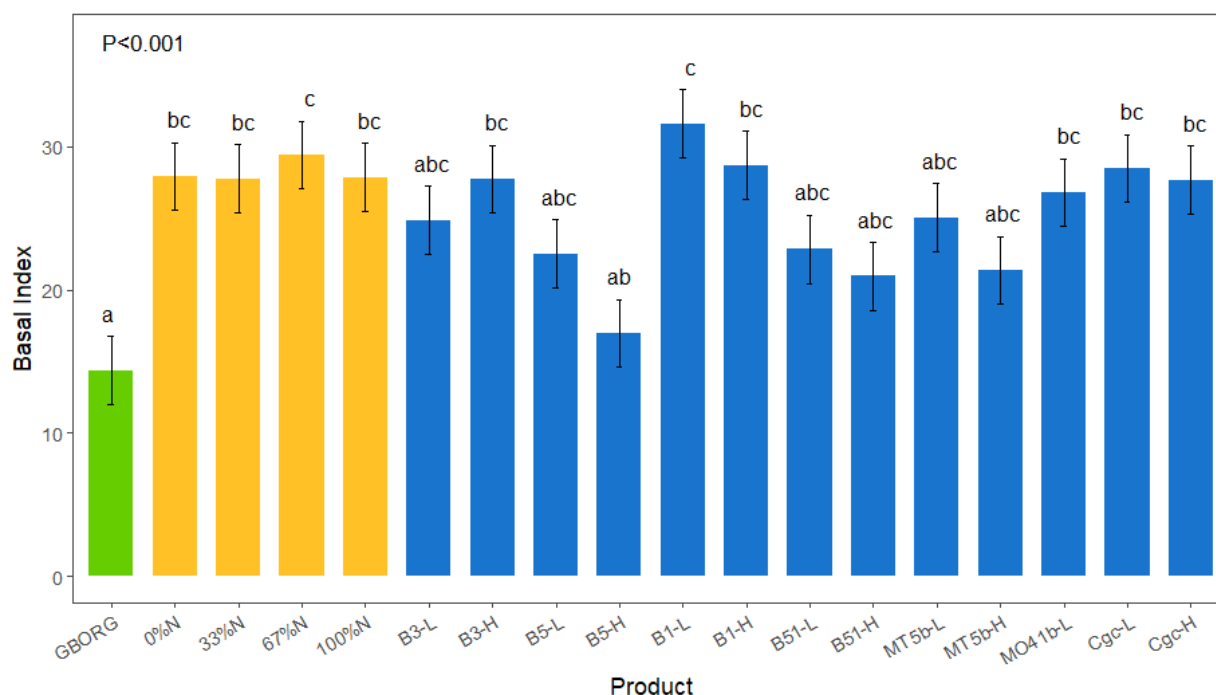
Figuur 3.6-9 Effect van toedienen van producten op het aantal CP2-aaltjes in 2022 in Vredepeel (gemiddelde ± betrouwbaarheidsinterval; n=4).

De Maturity Index was hoger na toedienen van een aantal van de organische producten (B3-L, B1-H, MO41b-H en Cgc-H) dan in de gangbare controle, maar er was geen verschil met de behandelingen met minerale stikstof.



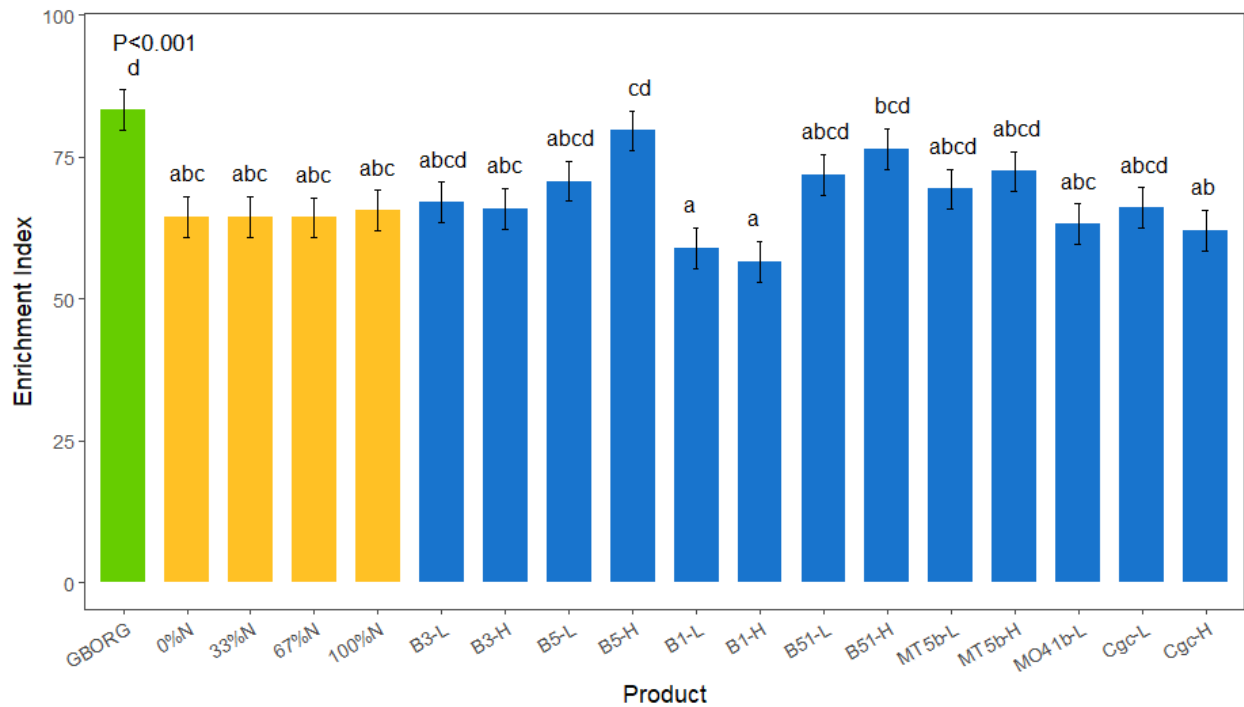
Figuur 3.6-10 Effect van toedienen van producten op de Maturity Index in 2022 in Vredepeel (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

Toedienen van de producten had een effect op de Channel Index, maar dit leidde niet tot onderlinge verschillen. De organische producten hadden wel effect op de Basal Index (BI; Figuur 3.6-11). De BI was lager in de gangbare controle dan bij de behandelingen met minerale stikstof. Toedienen van B3-H, B1-L, B1-H, MO41b-H, Cgc-L en Cgc-H leidde tot een hogere BI dan de gangbare controle, maar deze behandelingen verschilden niet van de behandelingen met minerale stikstof.



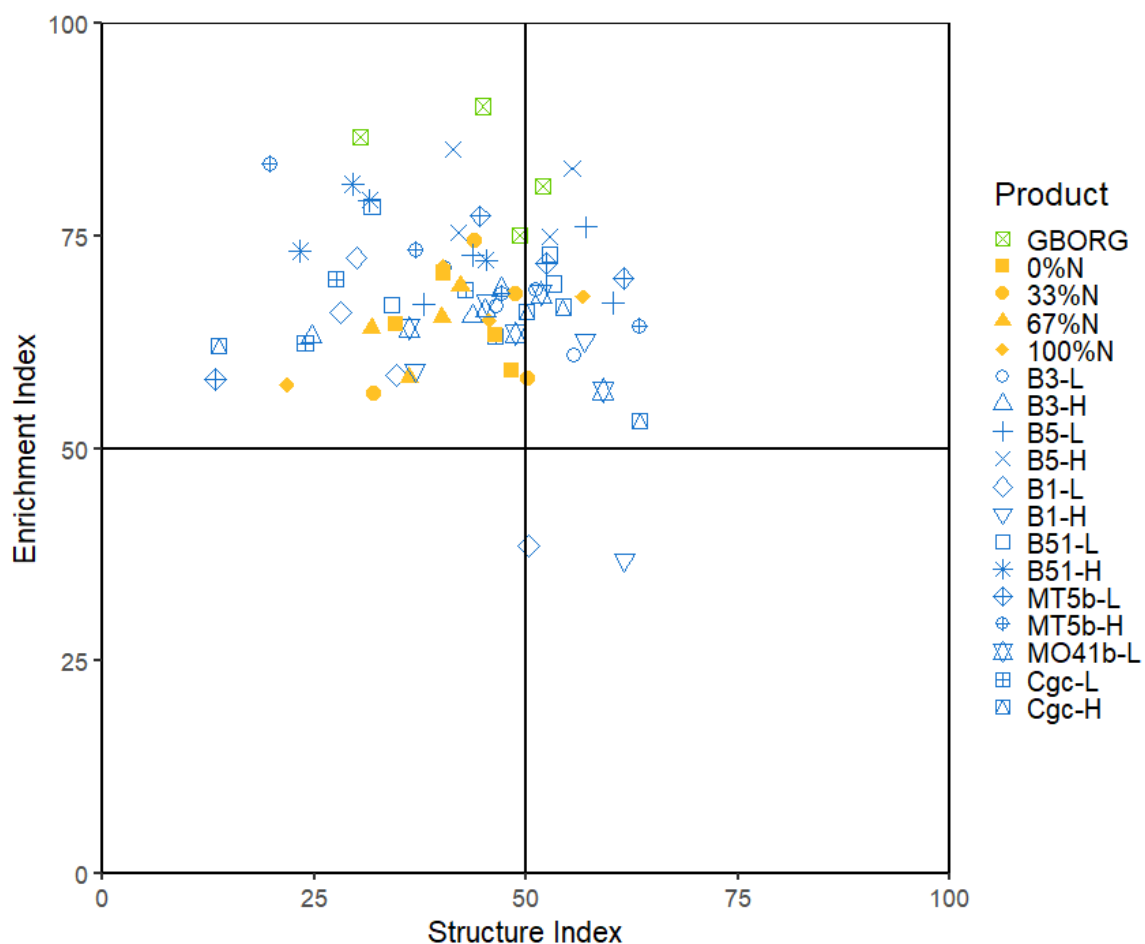
Figuur 3.6-11 Effect van toedienen van producten op de Basal Index in 2022 in Vredepeel (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

De Enrichment Index (EI) was hoger in de gangbare controle dan in de behandelingen met minerale stikstof (Figuur 3.6-12). De EI was lager in de behandelingen B3-H, B1-L, B1-H, MO41b-H en Cgc-H dan in de gangbare controle, maar deze behandelingen verschilden niet van de behandelingen met minerale stikstof.



Figuur 3.6-12 Effect van toedienen van producten op de Enrichment Index in 2022 in Vredepeel (gemiddelde \pm standaardfout; $n=4$).

De punten in het voedselweb-diagram van de proef in Vredepeel lagen vooral in het linker bovenkwadrant en daaraan grenzend in het rechter bovenkwadrant. Dit duidt op een systeem dat rijk is aan stikstof, met een vrij lage C:N-verhouding en decompositie gereguleerd door bacteriën.



Figuur 3.6-13 Effect van toedienen van producten op de Enrichment en Structure Index in 2022 in Vredepeel ($n=4$).

3.6.3 Bodemvruchtbaarheid na de teelt (T-2)

Na de teelt van de mais op locatie Hengelo is de bodemvruchtbaarheid gemeten. In onderstaande tabel wordt voor een aantal belangrijke elementen het effect van de producten die in het voorjaar zijn toegepast op de bodemvruchtbaarheid weergegeven.

In vergelijking met het gangbare object (GBRORG) hebben de behandelingen geen significant effect gehad op de totale hoeveelheid stikstof (N-tot), zwavel (S-tot) en de bodemvoorraad P (P-AL).

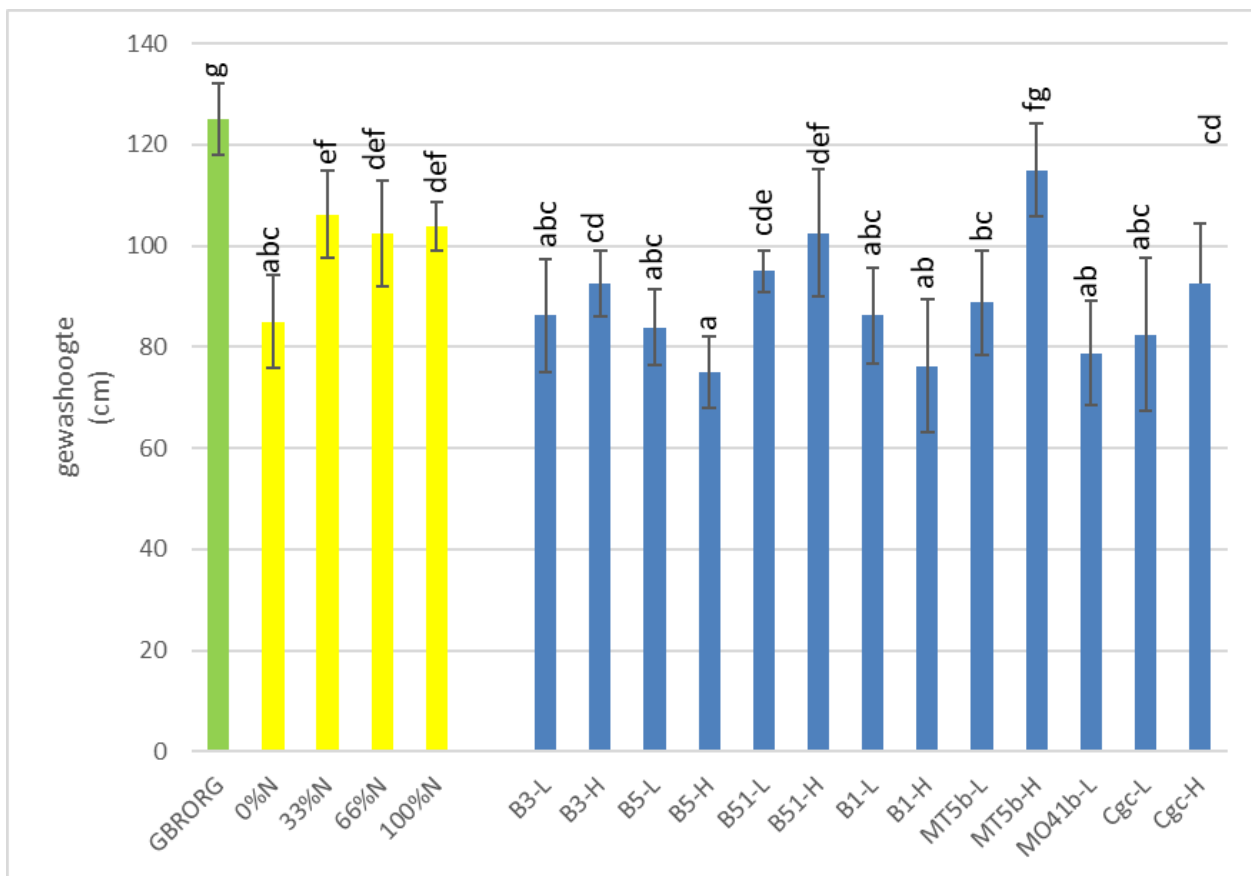
Tabel 3-18 Effect van maatregelen op de bodemvruchtbaarheid na de teelt van mais, Vredepeel, najaar 2022.

Parameter	N-tot (mg/kg)	P-AL (mg P2O5/ 100 g)	k-PAE (mg/kg)	S-tot (mg/kg)	Mg-PAE (mg/kg)	B-PAE (ug/kg)
GBRORG	1360 a	78 ab	50.00 ab	236 abcd	100 cde	131 bcde
0%N	1375 a	78 a	53.80 ab	236 abcd	90 bc	110 ab
33%N	1398 a	82 ab	51.80 ab	248 abcd	89 bc	120 abcd
66%N	1468 ab	78 a	53.80 ab	248 abcd	91 bcd	111 ab
100%N	1358 a	84 ab	40.80 a	220 a	77 a	110 ab
B3-L	1400 a	84 ab	51.50 ab	236 abcd	94 bcd	113 abc
B3-H	1422 ab	80 ab	70.80 cd	246 abcd	99 cde	149 e
B5-L	1418 ab	83 ab	61.80 bc	238 abcd	95 bcd	103 a
B5-H	1438 ab	81 ab	82.00 d	259 d	99 cde	122 abcd
B51-L	1358 a	83 ab	71.50 cd	236 abcd	94 bcd	111 ab
B51-H	1558 b	81 ab	79.80 d	261 d	93 bcd	134 bcde
B1-L	1365 a	79 ab	56.20 abc	230 abc	91 bcd	108 ab
B1-H	1402 a	81 ab	49.00 ab	238 abcd	98 cd	134 bcde
MT5b-L	1412 a	84 ab	57.80 bc	243 abcd	96 bcd	102 a
MT5b-H	1435 ab	82 ab	101.50 e	254 cd	109 e	139 cde
MO41b-L	1422 ab	76 a	51.20 ab	225 ab	85 ab	110 ab
Cgc-L	1382 a	83 ab	52.00 ab	239 abcd	97 cd	118 abcd
Cgc-H	1472 ab	88 b	56.80 bc	251 bcd	102 de	144 de
gemiddeld	1414	81	61	241	94	120
Lsd	143	9.733	15.59	28.42	10.89	26.69
F pr.	n.s.	n.s.	<0.001	n.s.	<0.001	<0.01

3.6.4 Gewasontwikkeling en -productie

3.6.4.1 Gewasontwikkeling

De organischestof-toepassing had geen effect gehad op de opkomst (kiemingspercentage) van de mais op Vredepeel. In onderstaande Figuur 3.6-14 is de gemiddelde gewaslengte – gemeten op 24 juni, 57 dagen na zaai – weergegeven. De gewasontwikkeling 57 dagen na zaai was het sterkst bij de referent GBRORG. De gewaslengte van dit object was op 24 juni gemiddeld 125 cm. Bij alle N-bemesting-objecten en alle organischestof-toepassingen, met uitzondering van MRT5b_H, was de gewaslengte significant lager dan bij de referent GBRORG. De gewaslengte van het object zonder N-bemesting is significant lager dan de N-bemestingsobjecten 33%N, 66%N en 100%N, die niet significant van elkaar verschillen. Met uitzondering van BOK51-H en MRT5b-H verschilt de gewaslengte bij alle organischestof-toepassingen niet van het object zonder N-bemesting (0%N).

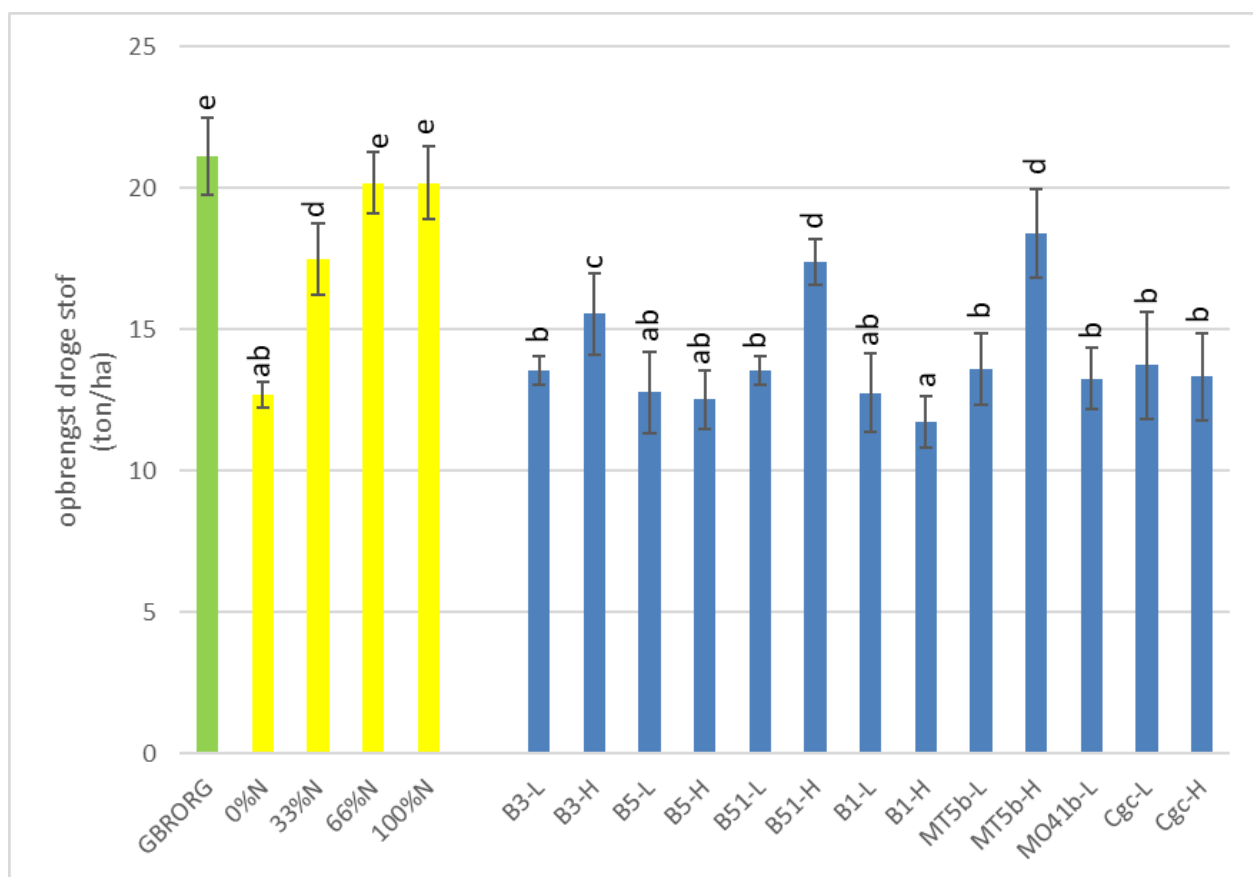


Figuur 3.6-14 Effect van de maatregelen op de gewasontwikkeling van mais, Vredepeel 24 juni 2022.

3.6.4.2 Gewasproductie

In onderstaande Figuur 3.6-15 is de gemiddelde drogestofopbrengst weergegeven voor mais op Vredepeel.

De gewasproductie van het referentie object GBRORG is goed, ruim 21 ton ds/ha. Bij de kunstmestobjecten is een doseringseffect te zien waarbij de opbrengst van de twee hoogste doseringen (66%N en 100%N) niet significant van de referent GBORG en ook niet significant van elkaar verschillen. De maximale opbrengst wordt al bij 66% N-bemesting gehaald. Bij alle organischestof-toepassingen is de gewasproductie significant lager dan van de referentieobjecten GBRORG, 66%N en 100%N. De opbrengst bij de organischestof-toepassingen was gemiddeld circa 25% lager dan de referenten GBRORG en 100%N. De hoogste dosering van de producten B3, B51 en MRT5b gaven een gewasproductie die significant hoger was dan de productie van het object zonder N-bemesting (0%N), waarbij de productie van B51-H en MRT5b-H nog weer significant hoger was dan van B3-H. De gewasproductie bij alle andere organischestof-toepassingen verschilde niet significant van het 0%N-object.



Figuur 3.6-15 Effect van de maatregelen op de drogestofopbrengst van mais, Vredepeel 2022.

3.6.4.3 Inhoud (mineralensamenstelling) geoogst product

Van de referentieobjecten GBRORG, 0%N en 100%N en de Bokashi-toepassingen B5 en het Cgc-object is bij de oogst van de mais ook de mineralensamenstelling van het geoogste product bepaald. In onderstaande tabel staan de belangrijkste mineralen die gemeten zijn.

Tabel 3-19 Effect van de behandelingen op nutriëntengehalte van mais, Vredepeel 2022.

object	N (g/kg ds)	P (g/kg ds)	K (g/kg ds)	S (g/kg ds)	Mg (g/kg ds)	Zn (mg/kg ds)	Fe (mg/kg ds)	Cu (mg/kg ds)
GBRORG	8.9 cd	1.5 a	9.9 a	0.723 ab	1.1 a	20.3 bcd	220 ab	2.2 cd
0%N	7 a	2.2 b	14.8 c	0.65 a	1.3 ab	17.5 a	312 c	1.8 a
100%N	10 d	1.5 a	9.7 a	0.75 b	1.1 ab	20.8 d	201 a	2.2 d
B5-L	7.8 abc	2.2 b	13.3 bc	0.65 a	1.1 ab	18.5 abc	288 bc	1.8 ab
B5-H	8.4 bc	2.5 c	13.7 bc	0.70 ab	1.3 b	23.3 e	281 bc	1.9 abc
Cgc-L	7.3 ab	2.15 b	13.1 b	0.68 ab	1.2 ab	18.3 ab	257 abc	1.9 abc
Cgc-H	7.8 abc	2.3 bc	13.3 bc	0.68 ab	1.2 ab	20.5 cd	284 bc	2.1 bcd
gemiddeld	7.79	2.28	13.4	0.68	1.20	20.1	277.5	1.92
Lsd	1.179	0.204	1.54	0.0858	0.162	2.167	73.2	0.26
F pr.	<0.001	<0.001	<0.001	n.s.	n.s.	<0.001	<0.10	<0.05

3.7 Discussie en conclusies

Er zijn nu slechts twee meetjaren geweest. Van langetermijneffecten op de bodem en met name het bodemleven is bekend dat deze pas na meerjarige toepassingen zichtbaar worden en is twee jaar een te korte termijn. Mede daarom worden de veldproeven in 2023 in ongewijzigde vorm uitgevoerd en zullen we met de uitgebreidere dataset betere analyses kunnen gaan doen om te zien wat de effecten van organische bodemverbeteraars, zoals bokashi's, maaisel en compost, op de langere duur zijn. Desalniettemin zijn er nu al enkele interessante conclusies en discussiepunten te bespreken, die deels aansluiten bij de eerder opgestelde hypothese en risicoanalyse (risman)-vragen. We zetten hier de belangrijkste op een rij.

PLFA

In Lelystad waren veel meer significante verschillen in het microbiële bodemleven te zien dan bij de twee zandlocaties in De Marke en Vredepeel. Bij bestudering waar die verschillen optreden, viel een aantal zaken op. Bij veel organische bodemverbeteraars en controlebehandelingen was er geen sprake van een significant verschil. Significante effecten traden bij enkele organische bodemverbeteraars op, maar alleen in geval van de hoge doseringen. Deze effecten waren niet op elke locatie hetzelfde. Van de organische bodemverbeteraars hadden met name B51 en B5 een duidelijk en consistent effect in de meeste locaties. Als duidelijke trend kwam naar voren dat op alle locaties de toevoeging van organische bodemverbeteraars in de vorm van bokashi's, maaisel of compost een stimulerend effect op het microbiële bodemleven gaf in vergelijking met de toediening van stikstof en de gangbare controle. De aard en omvang van de waargenomen effecten van de organische bodemverbeteraars waren echter in hoge mate afhankelijk van de locatie. In De Marke had de bokashi B5-H het grootste effect. In Vredepeel werd het microbiële bodemleven vooral gestimuleerd door B51-H en gedeeltelijk door B5-H. In Lelystad (klei) hadden de meeste organische bodemverbeteraars een positief effect in geval van de hoge dosering. Ook in 2021 werden meer significante effecten gevonden op kleigrond dan op zandgrond, maar de reden hiervoor is nog onduidelijk. Lelystad was ook de enige locatie waar het organischestofgehalte in de grond verhoogd bleek na de toepassing van verschillende organische bodemverbeteraars.

Op de twee locaties met zandgrond, De Marke en Vredepeel, werden veel minder significante verschillen gevonden, maar werden met name de schimmel-gerelateerde parameters positief beïnvloed door het toevoegen van organische bodemverbeteraars. Mogelijk komt dit doordat de in deze proef toegepaste organische bodemverbeteraars vooral moeilijk afbreekbare stoffen bevatten die voornamelijk door schimmels kunnen worden verteerd.

Milieuaaltjes

Bij de milieuaaltjes gerelateerde parameters was eenzelfde soort trend te zien als bij de microbiële data, namelijk dat bij veel organische bodemverbeteraars en controlebehandelingen geen significante verschillen optraden. Significante verschillen traden slechts op bij enkele organische bodemverbeteraars, en alleen in de hoge dosering (B51-H, B5-H) en waren niet op elke locatie hetzelfde. Hier waren o.a. het totaal aantal

aaltjes, de biomassa, bacterie-etende aaltjes met CP 1 of CP2 flink hoger en dan in met name de met 33-67-100% stikstof behandelde bodems. Er was geen effect op de planten-etende aaltjes en schimmel-etende aaltjes, maar wel op groepen aaltjes die betrokken zijn bij de afbraak van organisch materiaal. Het opvallendste is dat de belangrijkste verschuivingen bij het microbiom optraden bij de schimmel-gerelateerde parameters, terwijl dit niet het geval bij de schimmel-etende aaltjes. Hetzelfde geldt voor de plant-parasitaire aaltjes.

Bodemvruchtbaarheid na de maisteelt

De behandelingen hebben op alle drie locaties significant effecten gehad op K-PAE, K-getal en B. Daarnaast werden op de verschillende locaties voor andere parameters effecten gevonden, waarbij de meeste effecten werden gemeten in Vredepeel. Het ging hier om effecten op o.a. N, Mg, Na, organische stof, S, pH, K, Mn, Zn, Ca en Si. Bij nadere bestudering viel op dat ook hier bij veel van de organische bodemverbeteraars (bokashi's, maaisels en compost) en de vijf controlebehandelingen geen significante verschillen optraden. Dit trad alleen op bij BOK3-H en Cgc. Bij de bodemvruchtbaarheidsdata is wel interessant om te vermelden dat N-totaal neigt naar hogere waarden in een aantal behandelingen met de hoge dosering, maar dat we dat in de labproeven tot nu toe nog niet hebben terugzien bij de mineralisatie. Een potentiële verklaring kan zijn dat de mineralisatieproeven uitgevoerd werden met grond verzameld in het voorjaar van 2022, en dat de bodemvruchtbaarheidsdata zijn gebaseerd op grond afkomstig uit het najaar van 2022. Ook hier moeten aanvullende waarnemingen een beter beeld gaan geven. Met de nieuwe data van 2023 gaan we met aanvullende statistiek beoordelen wat de langetermijneffecten van de behandelingen zijn op de bodembioologie en de bodemvruchtbaarheid en of hier deels correlaties of verbanden zijn te leggen tussen de resultaten en de toegepaste organische bodemverbeteraars.

Gewasontwikkeling en -productie

Bij alle toepassingen met organische bodemverbeteraars (bokashi's, maaisel en compost) bleef de gewasontwikkeling van mais in Lelystad sterk achter in vergelijking tot de vijf controleobjecten. In de meeste gevallen trad de gewasgroeiremming op bij de hoge doseringen, en leken de resultaten erg veel op die van 2021. Een vergelijkbare trend, maar veel minder extreem, werd voor de groei en productie van maïs gevonden in de zandlocaties Vredepeel en De Marke. Deze resultaten kunnen het best verklaard worden aan de hand van twee (mogelijke) oorzaken. Ten eerste is in deze proeven de bemesting uitgevoerd volgens de stikstofgebruiksnorm en de fosfaat- en kaligift volgens het bemestingsadvies voor maïs. Deze bemestingsadviezen verschillen per regio (grondsoort). In de objecten behandeld met bokashi, Keurcompost en maaisel met toevoegingen is geen extra stikstofbemesting uitgevoerd. De fosfaat- en kaligift is gecorrigeerd voor de geschatte nalevering van fosfaat en kali vanuit de toegepaste producten. Voor fosfaat is gerekend met een te verwachten werkingscoëfficiënt van 60% en voor kali met 100%. Uit metingen van de beschikbaarheid van fosfaat blijkt echter dat die beschikbaarheid heel laag is en in veel gevallen minder dan 10% bedraagt van de hoeveelheid P in de geteste organische bodemverbeteraars. Het effect daarvan op de groei en oogst is het zichtbaarst in Lelystad (klei). Bij de zandlocaties Vredepeel en Hengelo kwam dit minder duidelijk naar voren, waarschijnlijk omdat hier de nalevering vanuit de bodem veel hoger is. Een tweede oorzaak voor de groeiemming is een gevolg van het feit dat de aangebrachte organische bodemverbeteraars door vertering (tijdelijk?) stikstof hebben onttrokken aan de voor maïs vrij opneembare hoeveelheid N. Voor de praktijk betekent dit dat, afhankelijk van de grondsoort en de N-behoefte van het gewas, de hoeveelheid N en P in de organische bodemverbeteraars niet of zeer beperkt mee zou moeten tellen voor het vaststellen van de mestgift. Ook hier moeten langetermijndata uitsluitsel gaan geven of deze vastlegging van stikstof (en andere elementen) tijdelijk is of dat deze op de langere termijn wel beschikbaar gaan komen. Ook is nog niet vastgesteld of er gedurende of na het groeiseizoen uitspoeling van met name N naar grondwater optreedt.

De verschillende organische bodemverbeteraars (zowel bokashi, als maaisel als compost) in hoge doseringen gaven een stimulerend effect op de bodembioologie. In welke mate dit effect tijdelijk is, valt nog niet af te leiden uit de data. Die effecten waren met name zichtbaar op de schimmelsamenstelling, maar ook op bij de decompositie betrokken aaltjes-groepen. Deze (korte termijn) trends vormen meestal een indicatie voor veranderingen naar een duurzamer en stabiel systeem op de langere termijn. Het is daarom van groot belang de proeven in de huidige vorm door te zetten in de resterende projectperiode. We hebben tot nu toe geen negatieve effecten op de bodembioologie gevonden.

4 Aanvullend laboratoriumonderzoek

4.1 Inleiding

Met veldexperimenten en de standaardanalyses van de organische meststoffen kan een aantal vragen met betrekking tot stabiliteit en werking of beschikbaarheid van nutriënten niet voldoende beantwoord worden.

Het gaat daarbij om:

- de hoeveelheid stabiele organische stof die na één jaar achterblijft na bemesting. Een maat voor de schatting hiervan is de humificatiecoëfficiënt (HC),
- de hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt uit de meststof binnen een aantal maanden na bemesting (stikstofmineralisatie), en
- de hoeveelheid fosfaat die beschikbaar kan komen uit een meststof.

Om deze drie vragen te kunnen beantwoorden, zijn aanvullende laboratoriumexperimenten uitgevoerd.

Omdat bekend is dat bij opslag van kuilvoer broeikasgassen kunnen vrijkomen (Krommweh et al., 2020; Schmithausen et al., 2022), is ook indicatief gekeken of broeikasgassen in bokashi-kuilen gemeten kunnen worden.

4.1.1 Inleiding bij incubatie-experimenten

De afbreekbaarheid van organische stof (hierna verder als 'humificatie' aangeduid) en de stikstofmineralisatie van verschillende producten die zijn toegepast in de veldproeven, zijn bepaald in twee aparte incubatie-experimenten (A en B, zie Tabel 4-1). De experimenten zijn apart uitgevoerd, omdat bij de stikstofmineralisatie voor elke tijdstap en behandeling aparte monsters geanalyseerd worden, terwijl voor de humificatie de CO₂-emissie alle tijdstappen achtereenvolgens aan één monster bepaald worden, en het monster niet opgeofferd hoeft te worden. Tot slot is naast het totaalgehalte fosfor van de producten ook de fosfaatbeschikbaarheid gekarakteriseerd.

Experiment A: de humificatie van de organische stof is gemeten van acht bodemverbeteraars, elk ingebracht in de drie gronden van de proefterreinen.

Experiment B: de stikstofmineralisatie is gemeten van acht bodemverbeteraars die zijn toegevoegd aan een en dezelfde grond.

Experiment C: de stikstofmineralisatie is bepaald van grond die bemonsterd is op 31 maart 2022 uit behandelingen uit de veldproef; aan deze grond is voorafgaand aan de proef geen extra bodemverbeteraar meer toegevoegd. Hierdoor kan bepaald worden of de behandelingen in 2021 nog een nawerking hebben in 2022.

Experiment D: de fosfaatbeschikbaarheid is gekarakteriseerd via 1) zure ammonium-oxalaat extraheerbare Fe, Al en P, en 2) extractie met 0,01 M CaCl₂, met en zonder aanzuren. De methoden worden hieronder toegelicht.

Tabel 4-1 Experimenten 2022.

Experiment	Producten*	Gronden
A Humificatie-experiment	8	0%N uit veldproef Vredepeel, De Marke, kalkloze kleigrond ("Lange Bos")
B Stikstofmineralisatie	8	Onbemeste zandgrond Wageningen ("Bio-7")
C Stikstofmineralisatie	-	0%N, CMP-H, BOK51-H uit veldproef Vredepeel, De Marke, Lelystad
D Fosfaatbeschikbaarheid	8	-

* Het betreft een selectie van acht producten uit de veldproef; zie Tabel 3.1 in Spijker et al. (2022).

De zandgronden zijn afkomstig van proefbedrijven de Marke en Vredepeel, uit dezelfde percelen als waar de veldproeven zijn uitgevoerd, en specifiek uit de behandeling waarbij geen N-meststof is toegevoegd (0%N; zie Tabel 3-1).

De kleigrond van de veldproef in Lelystad is niet gebruikt voor het humificatie-experiment (Experiment A), omdat die rijk is aan kalk, en kalk kan storen met de gasanalyse van CO₂. Als vervanger van deze kleigrond is gebruikgemaakt van een kalkloze kleigrond die voor dergelijke experimenten op voorraad wordt gehouden (code: "Lange Bos"; bemonsterd op 24 nov 2020).

Voor het stikstofmineralisatie experiment (experiment B) zijn dezelfde acht producten gebruikt als bij het humificatie-experiment. Deze zijn toegevoegd aan een zandgrond; in dit geval een onbemeste zandgrond van Biologische proef- en leerbedrijf Droevendaal, Wageningen (code: bak "Bio 7"; bemonsterd in 2020; Porre et al., 2022; in dit geval 'zandgrond' in Tabel 3, en Bijlage 1 van dat rapport). Voor het stikstofmineralisatie-experiment (experiment C), waarin de nalevering van stikstof wordt bepaald van de toegepaste bodemverbeteraars in de gronden van de veldproef in 2021, zijn de grondmonsters uit de verschillende behandelingen verzameld (31 maart 2022).

De producten zijn in tweevoud bemonsterd uit de big-bags alvorens ze zijn toegepast in de veldproef in Vredepeel. Vervolgens is bij deze producten een aantal analyses gedaan; analyses zijn uitgevoerd door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem van Wageningen Universiteit (CBLB) en deze producten zijn gebruikt in de experimenten (Tabel 4-1).

Door het CBLB zijn de volgende analyses gedaan:

- Bepaling van het totaalgehalte aan organische stof via gloeiverlies in een moffeloven (NEN 5754, 1992).
- Het totaal stikstof- en totaal fosforgehalte volgens standaardmethoden (Houba et al., 1997), ontsluiting met zwavelzuur, waterstofperoxide en selenium (Novozamsky et al., 1983) en N- en P-analyse via *segmented flow analysis* (SFA).
- Het koolstofgehalte is bepaald met de LECO element analyzer, conform NVN-CEN/TS 17776 (2022). Deze methode bevat een zuurfumigatie zodat alle anorganische C wordt verwijderd alvorens C wordt geanalyseerd.
- Fe_{ox}, Al_{ox} en P_{ox} via zure ammonium-oxalaatextractie methode (Schwertmann, 1964) en analyse via ICP-AES (Houba et al., 1997) conform NEN 5776 (2014).

Voor het bepalen van de fosfaatbeschikbaarheid in organische bodemverbeteraars bestaat op dit moment nog geen protocol. Om toch enig inzicht te krijgen in de chemische beschikbaarheid van P is (deels) het protocol voor grond gebruikt. Dit is een extractie met een calciumchlorideoplossing (0,01M) conform Houba et al. (2000); extractie volgens NEN 5704 (1996), PO₄-meting volgens NEN-ISO 15923-1 (2013) en P-meting met ICP-AES, en pH met electrode (ISO 10390, 2021).

In aanvulling hierop zijn extracties met oplopende zuurgraad gemaakt. Eerder is namelijk gebleken dat bij dierlijke meststoffen de fosfaatbeschikbaarheid sterk toeneemt bij aanzuren, omdat bepaalde mineralen van calcium en fosfaat oplossen (Regelink en Rietra, 2021).

Daarbij gebruiken we steeds porties van 50 gram vers product waaraan 500 ml 0,01 M CaCl₂, en 0, 2,5, 5, 7,5 en 10 ml 1 M HCl respectievelijk zijn toegevoegd. Hierdoor worden na schudden, afhankelijk van de hoeveelheid toegediend zuur, verschillende pH-waarden verkregen. Dit geeft niet alleen een kwantificering van het zuur bufferend vermogen van de materialen, maar ook de pH-afhankelijkheid van de fosfaatbeschikbaarheid. In deze test is een schudtijd van twee uur gebruikt, hetgeen afwijkt van de voorgeschreven schudtijd conform NEN-EN 14429 (48 uur).

Indien uit deze extractie bij verschillende pH blijkt dat de fosfaatbeschikbaarheid slechts geleidelijk wordt verhoogd (of verlaagd) door de zuurtoediening, dan zijn er waarschijnlijk geen snel oplosbare mineralen van calcium en fosfaat in het product. Alle analyses zijn uitgevoerd door CBLB-WUR (Wageningen). Het laboratorium werkt conform ISO 17025.

4.1.2 Incubatieproef A: humificatie van lokale bodemverbeteraars

In het humificatie-experiment (experiment A) zijn de producten gebruikt die in 2022 zijn bemonsterd. Dit zijn dezelfde als die zijn gebruikt in de veldproef van 2022. Wel is in 2022 de codering van de monsters voor de producten gewijzigd. In onderstaande tabel staan daarom zowel de codes zoals gebruikt in 2021 als die uit 2022.

Tabel 4-2 Gebruikte producten in het humificatie experiment (experiment A; hierbij is steeds 20 gram vers materiaal per 200 gram grond gebruikt).

Nr.	Productcodes		Herkomst en type materiaal	Bronmateriaal
	2022	2021		
1	B3	BOK3	Bokashi Zuiderzeeland	maaisel
2	B5	BOK5a	Bokashi Leeuwarden	Maaisel
3	B1	BOK1	Bokashi Noordenveld	Blad
4	B51	BOK51	Bokashi Hoekse Waard en B	maaisel
5	MO41b	MAAI41b*	Maaisel Nijeveen*	Maaisel (natuurgras)
6	C _{gc} #	CMP	Reguliere Groencompost Schijndel	Groenafval
7	MT5c	MRT5c***	"Compost-O" Leeuwarden	Blad
8	MT5b	MRT5b**	"Compost-O" Leeuwarden	Maaisel

* Maaisel van pilot 41 was op, en daarom is in Nijeveen een andere hoop (b) met maaisel van natuurgras bemonsterd.

**Toegepast in veldproef in Hengelo en Vredepeel.

***Toegepast in veldproef in Lelystad #groencompost uit Schijndel (geen pilot, dus ook geen pilotonummer, in dit onderzoek een referentiemateriaal).

Voordat de organische bodemverbeteraars zijn toegevoegd aan de grond, is het vochtgehalte in de zandgronden op 60% van de veldcapaciteit gebracht, voor kleigronden was dit 40% (voor details, zie Bijlage A). De kleigrond is aanvankelijk tot 40% van de vloeigrens gebracht, omdat een hoger vochtgehalte het moeilijker maakt om de bodemverbeteraar homogeen te mixen. Na toevoegen van de bodemverbeteraars, is ook bij de kleigrond het vochtgehalte op 60% van veldcapaciteit gebracht.

De bodemverbeteraar is daarna homogeen door de veldvochtige gronden gemengd. Daarbij is steeds 20 gram (vers gewicht) bodemverbeteraar toegevoegd aan 200 gram veldvochtige grond in een afsluitbare plastic pot van 500 ml en een diameter van 6,5 cm.

Na menging van (klei)grond en bodemverbeteraars is ook de kleigrond op 60% van de veldcapaciteit gebracht. De zandgronden waren al op 60% van de veldcapaciteit gebracht en daarom is geen extra water aan de potten met zandgrond toegevoegd. Vervolgens is het mengsel van grond en bodemverbeteraar in de incubatiepotten gezet.

De incubatiestudie is uiteindelijk uitgevoerd met de acht verschillende organische bodemverbeteraars die aan elk van de drie gronden zijn toegevoegd. Daarnaast is ook de emissie bepaald uit de drie gronden zonder toevoegingen; deze dient als referentie. Dit resulteert in 27 (24 grond-mest plus 3 grond) verschillende behandelingen, ofwel 81 potten.

De totale incubatieperiode bedroeg 93 dagen. Daarbij is op dag 1, 2, 4, 7, 10, 16, 21, 35, 43, 57, 73 en 93 gemeten. De incubatieproef is uitgevoerd in het lab bij een constante temperatuur van 17°C. De CO₂-gasmetingen zijn uitgevoerd met de INNOVA 1512 (LumaSense Technologies, Denemarken). De INNOVA 1512 gasmonitor is aangesloten aan de incubatiepotten met twee slangen met naalden aan het uiteinde, welke in het rubberen membraan van de deksel gestoken werden. Voordat de metingen van de CO₂ werden uitgevoerd, zijn de incubatiepotten voor 10 minuten gesloten door deksels met een rubberen membraan.

Buiten de metingen stonden de potjes gedurende de incubatieperiode in contact met lucht van het laboratorium. Hierdoor is er enig verlies van vocht door verdamping opgetreden. Hiervoor is gecompenseerd door het vochtgehalte van de geïntubeerde grondmonsters gedurende de proef constant te houden. Om de twee weken zijn alle potjes op het oorspronkelijke gewicht gebracht met gedemineraliseerd water.

Gemiddeld bedroeg de hoeveelheid toegevoegd water 1 à 2 ml per potje per twee weken. Gedurende het incubatie-experiment zijn de monsters in het donker bewaard met behulp van een zwart plastic dat losjes over de potten lag. De potten zijn gedurende de incubatieperiode niet verplaatst.

Voor de fluxkamer methode, fluxberekeningen en de berekening van de humificatiecoëfficiënt zijn dezelfde methoden gebruikt als in Spijker et al. (2022).

4.1.3 Incubatieproef B: stikstofmineralisatie van lokale bodemverbeteraars

De methode voor het meten van de stikstofmineralisatie wordt in heel veel publicaties (Choi & Nelson, 1996, Pansu & Thuries, 2003; Egene et al., 2021, Lazicki et al., 2020) gebruikt, maar is desalniettemin niet genormeerd (behalve in Vlaanderen) voor het toetsen van snel vrijkomend stikstof (BAM deel1/12; bepaling van snel vrijkomende organisch stikstof; <https://reflabos.vito.be/2021/BAM-deel1-12.pdf>). We hanteren de hieronder beschreven methode; deze wordt standaard gebruikt in Wageningen (Marcelis et al., 2003; De Visser et al., 2004; Van Groenigen & Zwart, 2007; Velthof & Oenema, 2010; Ehler et al., 2012).

In deze proefopzet wordt de mineralisatie van stikstof van 8 producten bepaald door middel van een incubatie-experiment. De gebruikte zandgrond ("Bio 7") is eerder beschreven in Porre et al. (2022). De grond is grof gezeefd, en niet gedroogd om extra mineralisatie als gevolg van het drogen te voorkomen. De grond is op 60% van de veldcapaciteit gebracht voorafgaand aan het experiment. Vervolgens is de stikstofmineralisatie bepaald op vijf tijdstippen gedurende 100 dagen en zijn monsters verzameld na 7, 26, 50, 75 en 100 dagen. Bij aanvang is grond met het product gemengd. Voor elk gepland bemonsteringstijdstip is een apart zakje met 200 gram verse grond gevuld. De hoeveelheid bodemverbeteraar die is toegevoegd per plastic zakje (audiothene, www.audio.com) is gestandaardiseerd op 5 gram materiaal per 200 gram grond. De proef is in viervoud uitgevoerd en de blanco (zonder meststof) in tienvoud. Dit laatste is nodig vanwege de lage verwachte mineralisatie en de daaruit volgende mogelijke variatie in de referentiemineralisatie. Op elk van de vijf tijdstippen is steeds een zakje uit het betreffende potje gehaald en is de grond geanalyseerd op mineraal N (N_{min}).

De N_{min} -metingen zijn uitgevoerd conform ISO 14256 voor de bepaling van nitraat, nitriet en ammonium in veldvochtige grond door extractie met kaliumchloride. De grond is daarvoor gezeefd op 2 mm en 40 gram veldvochtige grond is geëxtraheerd met 200 ml 1 M KCl gedurende 1 uur bij 20°C, waarna de suspensie is gefiltreerd en totaal anorganische N (NO_3+NO_2 , NH_4) is gemeten in het filtraat. De metingen zijn uitgevoerd bij het laboratorium CBLB-WUR.

Die hier gehanteerde methode wijkt op enkele punten af van de Vlaamse norm. Onbeschreven in de Vlaamse methode is de voorbereiding van het product. Hier wordt de bokashi of compost in stukken van ongeveer 1 cm gesneden met een keukenmes, zoals eerder beschreven (Spijker et al., 2022).

De netto stikstofmineralisatie per product is bepaald als het verschil tussen de totale hoeveelheid N_{min} in het zakje waaraan de bodemverbeteraar is toegediend en die uit een zakje grond zonder bodemverbeteraar (de blanco). De data zijn geanalyseerd met Genstat.

Tabel 4-3 Geteste producten in de stikstof incubatieproef: 5 gram per 200 gram grond.

Nr	Code	Pilot
1	B3	Zuiderzeeland
2	B5	Leeuwarden
3	B1	Noordenveld
4	B51	Hoekse Waard en B
5	MO41b	Nijeveen
6	C _{gc}	nvt
7	MT5c	Leeuwarden Compost-O (100%blad)
8	MT5b	Leeuwarden Compost-O (maaisel)

4.1.4 Stikstofmineralisatie van grond uit veldproef 2021 (experiment C)

Onderzocht is de stikstofmineralisatie van een selectie van grondmonsters afkomstig uit de veldproef in Vredepeel, De Marke en Lelystad. Doel is om vast te stellen of en zo ja in welke mate stikstof die is toegediend in het voorjaar van 2021 nog beschikbaar is in het voorjaar van 2022. Hiervoor zijn bodemonsters uit drie velden geselecteerd:

- de referentie (nulbehandeling REF-1),
- de behandeling met groencompost (CMP-L),
- de behandeling met een bokashi (BOK51-H) (zie Spijker et al., 2022).

De grond is bemonsterd in de laatste week van maart 2022, dus voordat er opnieuw bemest is in 2022. De metingen zijn bedoeld om te bepalen of compost of bokashi een effect heeft op N_{\min} en of er organische stikstof kan mineraliseren door de toevoegingen in 2021. Hiervoor wordt N_{\min} gemeten gedurende 100 dagen incubatie.

De grondmonsters betreffen mengmonsters per veldje: elk mengmonster is dus afkomstig uit één veldje in de veldproef. Elke behandeling/product heeft in de veldproef vier herhalingen. Het incubatie-experiment is daardoor per product ook in viervoud onderzocht. De methoden zijn hetzelfde als bij incubatie-experiment B, behalve dat in experiment C de onderzochte gronden steeds verschillen en er geen product aan de grond is toegevoegd. Na 0 (aanvang proef), 25, 50, 75 en 100 dagen zijn daarbij monsters genomen uit de geïncubeerde potten voor de bepaling van N_{\min} .

Tabel 4-4 Selectie van 12 behandelingen voor stikstofmineralisatie uit veldproeven.

Behandeling (dosering)	Veldjes	herkomst
REF-1	11, 27, 42, 57	Vredepeel, De Marke en Lelystad
B51 (50 ton/ha)*	1, 35, 40, 72 (object H)	Vredepeel, De Marke en Lelystad
C _{gc} (50 ton/ha)*	6, 20, 47, 63 (object L)	Vredepeel, De Marke en Lelystad

* Hoge dosis in de veldproef.

4.1.5 Meting van broeikasgassen in bokashi-hopen

Bij twee bokashi-hopen zijn broeikasgassen in de bokashi-hoop bepaald, terwijl de hopen deels geopend werden. De concentratie van de gassen is gemeten in het deel van de hoop waar het plastic nog over de hoop lag. Beide keren is gemeten bij bokashi gemaakt van bladresten. De metingen vonden plaats op 21 maart 2022 in Apeldoorn en op 5 april 2022 in Rotterdam. Metingen bij bokashi zijn tot nu toe onbekend. Metingen gedurende 49 dagen van de gassen in gekuild gras en luzerne (Schmithausen et al., 2022) laten de vorming zien van kooldioxide (CO₂), lachgas (N₂O) en methaan (CH₄).

In Apeldoorn en Rotterdam zijn de concentraties aan CO₂, CH₄ en N₂O gemeten middels *infrared photoacoustic spectroscopy* (PAS) met een Multi-Gas Analyser INNOVA 1312 (LumaSense Technologies SA, Ballerup, Denmark).

Hiervoor word een klein scheurtje in het plastic gemaakt en een plastic pijp minimaal 0,5 m in de kuil geduwd. In de plastic pijp werd een teflonslang geduwd. De teflonslang werd aangesloten op de INNOVA waarna het kleine scheurtje in het plastic en de rest van de plastic pijp dichtgemaakt werd met bokashi. Vanuit de meetpunten in de kuil wordt het gas vervolgens aangezogen door de INNOVA. Het is bekend dat hoge CO₂-concentraties in lucht interfereren met de N₂O-meting. Daarom is afwisselend gemeten met en zonder filter (Borax) tussen de INNOVA en de aanvoerslang. Dit filter verwijdert een belangrijk deel van het CO₂ uit de lucht, waardoor N₂O meetbaar wordt zonder interferenties.

Bij het openen van de hoop in Apeldoorn was te zien dat de hoop aan de onderzijde natter was dan de rest van de hoop. De hoop wordt bereiden door een bulldozer (grijskraan). De hoop is ongeveer 30 m lang, 8 m breed aan de onderzijde en 4 m hoog. De gassen worden gemeten aan de gesloten zijde van de hoop, in een

hoop die onderin nat is. De hoop in Rotterdam is ongeveer 12 m lang, 6 m breed en 3 m hoog. De hoop is warm, ongeveer 40°C.

De precisie en juistheid van de lachgasmetingen van INNOVA apparatuur zijn laag, met name als meerdere gasen bij hoge concentraties gemeten worden, maar de apparatuur is heel eenvoudig in gebruik (Butterbach-Bahl et al., 2016). In de bokashi-hoop zijn hoge CO₂-concentraties waardoor de meting van de N₂O-concentraties beïnvloed wordt. Negatieve metingen van N₂O (niet gegeven) duiden op een onjuiste meting door interferentie als gevolg van hoge concentraties van andere gasen en zijn daarom niet gerapporteerd.

4.2 Resultaten en discussie

4.2.1 Analyses aan lokale bodemverbeteraars

Voor de incubatie-experimenten zijn de gebruikte lokale bodemverbeteraars geanalyseerd op de hoeveelheid koolstof, stikstof en fosfor. De gehalten aan koolstof en stikstof variëren dusdanig dat ook de C/N-quotiënten verschillen van 12 tot 40 (Tabel 4-5). Dit is relevant, omdat de stikstofmineralisatie van verschillende meststoffen na 100 dagen vaak gecorreleerd is met de C/N-quotiënten van de meststoffen. Daarbij mineraliseert er meer stikstof bij lage C/N-quotiënten, terwijl stikstof wordt vastgelegd (immobilisatie) bij hoge C/N-quotiënten. De grens tussen mineralisatie en immobilisatie ligt bij een C/N-ratio tussen de 15 en 21, afhankelijk van de soort meststof en de in het onderzoek gebruikte grond (Lazicki et al., 2019).

Tabel 4-5 Landbouwkundig relevante eigenschappen van de onderzochte bodemverbeteraars (alles op basis van droge stof).

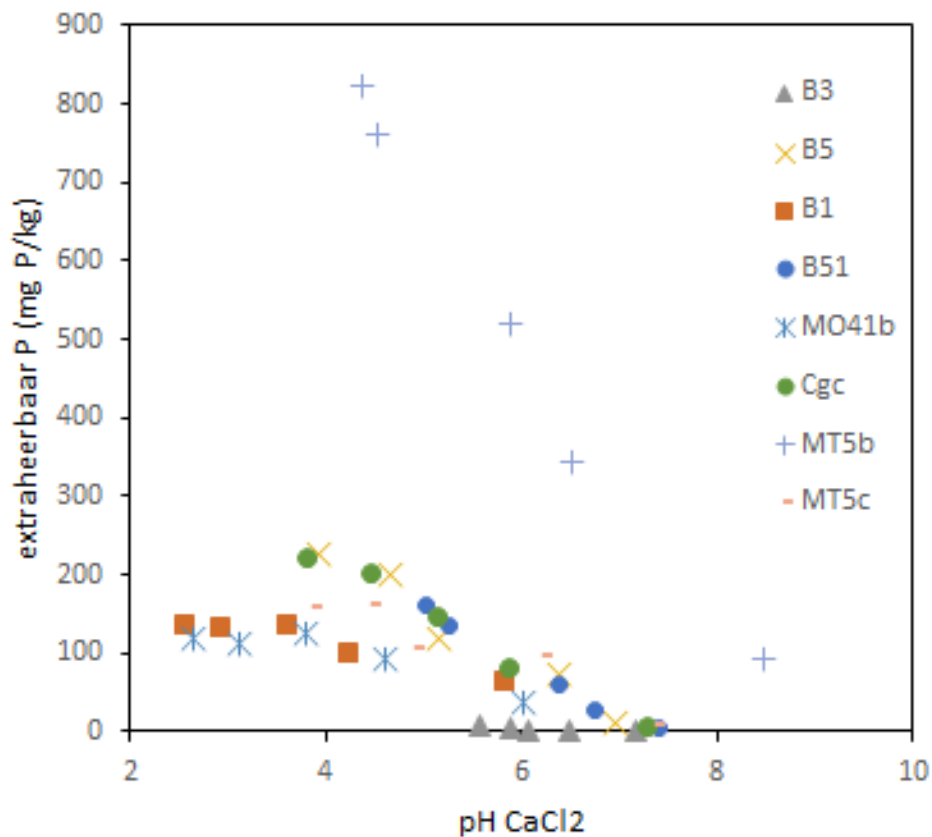
nr	code	pilot	ds	OS	C-org	C/N	P-tot	N-tot	Fe _{ox}	Al _{ox}	P _{ox}	P/ (Fe+Al)
			%		g/ kg	-	g kg ⁻¹	×	mg kg ⁻¹			mol/mol
1	B3	Zuiderzeeland	44	28	108	13	1.2	8.5	279	4379	707	0.26
2	B5	Leeuwarden	37	85	377	29	1.6	12.9	69	718	1100	2.23
3	B1	Noordenveld	41	45	283	40	0.9	7.1	581	923	687	0.59
4	B51	Hoekse Waard en B	32	59	338	22	2.6	15.5	395	2396	2300	1.29
5	MO41b	Nijeveen	26	67	308	16	1.9	19.8	161	1289	989	1.12
6	C _{gc}	n.v.t.	55	32	179	21	1.5	8.6	455	2001	1012	0.62
7	MT5c	Leeuwarden Compost-O (100%blad)	37	48	226	22	1.7	10.3	320	1508	797	0.66
8	MT5b	Leeuwarden Compost-O (maaisel)	29	63	344	14	6.5	24.0	49	1011	4740	7.57

Aan de hand van de P- en P_{ox}-gehalten is te zien dat het deel van de totale fosfor extraheerbaar is als P_{ox} varieert van 46 tot 88%. Enkele producten bevatten relatief veel ijzer en aluminium, waardoor naar verwachting een deel van het aanwezige fosfaat gebonden is. Dit deel van het aanwezige fosfaat is slechts beperkt beschikbaar. Voor compost is dat bekend en was het de reden om in de Meststoffenwet maar 25% van de fosfor uit compost mee te laten tellen binnen de fosfaatgebruiksnorm (was 50% tot 1 januari 2023).

In (kalkloze) bodems in Nederland bedraagt de P/(Fe+Al) verhouding gemiddeld 0,22 (Koopmans et al., 2006). De in dit onderzoek gebruikte groencompost heeft een P/(Fe+Al) van 0,66. De in dit onderzoek meegenomen bodemverbeteraars hebben in vergelijking hiermee zowel lagere (B3) als vergelijkbare P/Fe+Al ratio's (B1, MT5c). Twee materialen (MO41b en MT5b) bevatten veel meer ongebonden fosfaat dan gebonden fosfaat. De lage gehalten aan P/(Fe+Al), in combinatie met hoge gehalten aan Fe+Al kunnen veroorzaakt zijn door de aanwezigheid van grond. De hoge gehalten aan P/(Fe+Al) passen bij plantaardig materiaal zonder aanhangende grond (weinig Fe_{ox} + Al_{ox}), maar kan ook worden veroorzaakt door materiaal dat rijk is aan mineralen (hoge N_{tot}, P_{tot}), bijvoorbeeld slootmaaisel.

De beschikbaarheid van fosfaat van de meststoffen is geanalyseerd door een extractie met 0,01 M CaCl_2 na aanzuren. Bij dierlijke meststoffen neemt de fosfaatbeschikbaarheid sterk toe bij aanzuren, omdat bepaalde mineralen van calcium en fosfaat oplossen (Regelink en Rietra, 2021; Regelink et al., 2021). Bij de in dat onderzoek onderzochte groencompost is het percentage van totaal P dat bij pH 5,5 vrijkomt kleiner dan 13%, terwijl bij de dierlijke mesten tussen 37 en 87% vrijkomt. Een pH van 5,5 wordt hier gehanteerd, omdat dat een veelvoorkomende pH in de bodem is.

De hoeveelheid fosfaat die in de bodemverbeteraars die hier onderzocht zijn vrijkomt, varieert tussen vrijwel 0 bij pH-waarden van 7 of meer tot 800 mg/kg voor MT5b. Daarbij valt op dat, met uitzondering van MT5b, de beschikbaarheid van fosfaat relatief laag is, ook bij lagere pH. Bij de hier onderzochte materialen is het percentage P extraheerbaar met 0,01 M CaCl_2 ten opzichte van totaal P, dat extraheerbaar is lager dan 10% (bij pH 5.5; Tabel 4-6).



Figuur 4-1 Extraheerbaar fosfor in 0,01M CaCl_2 -extract als functie van pH.

Tabel 4-6 Percentage van totaal P dat extraheerbaar is in CaCl_2 .

nr	code	pilot	P- CaCl_2 bij pH initieel (%P-tot)	P- CaCl_2 bij pH 5,5 (%P-tot)
1	B3	Zuiderzeeland	0%	1%
2	B5	Leeuwarden	2%	8%
3	B1	Noordenveld	7%	7%
4	B51	Hoekse Waard en B	1%	5%
5	MO41b	Nijveen	2%	3%
6	Cgc	n.v.t.	0%	8%
7	MT5c	Leeuwarden compost-o (100%blad)	1%	6%
8	MT5b		2%	10%

4.2.2 Humificatie van lokale bodemverbeteraars

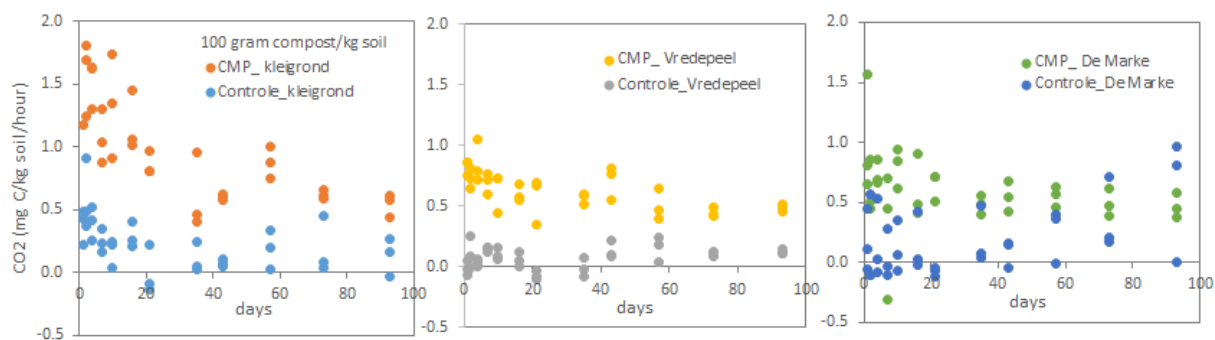
De hoeveelheid toegevoegd organische stof, en organisch koolstof in de grond bij aanvang van het experiment, is berekend op basis van de gemeten gehalten aan organische stof, organisch C en N in de uitgangsubstraten (Tabel 4-2). De toegediende hoeveelheid van SOM en C-org in gram per kg grond staat vermeld in Tabel 4-7.

Tabel 4-7 Hoeveelheid organische stof en organisch koolstof toegediend in de incubatieproef (in gram per kg grond)

nr	code	pilot	Vers materiaal (g vers/ kg)	Organische stof (g OS/kg)	Organische koolstof (g C/kg)
1	B3	Zuiderzeeland	100	12	4.7
2	B5	Leeuwarden	100	31	13.9
3	B1	Noordenveld	100	18	11.5
4	B51	Hoekse Waard en B	100	19	10.9
5	MO41b	Nijeveen	100	17	7.9
6	C _{gc}	n.v.t.	100	18	9.9
7	MT5c	Leeuwarden compost-o (100%blad)	100	18	8.3
8	MT5b	Leeuwarden compost-o (maaisel)	100	18	9.8

Emissie van CO₂ uit de bodemverbeteraars

Gedurende de hele meetperiode was de CO₂-flux in de potjes met organische bodemverbeteraar hoger dan die uit de blanco potjes zonder organische bodemverbeteraar. Figuur 4-2 toont de CO₂-fluxen voor de groencompost bij de drie onderzochte gronden gedurende de incubatieperiode (voor de overige bodemverbeteraars wordt gerefereerd naar Bijlage x). De emissie van CO₂ neemt af gedurende de meetperiode en het verschil tussen de blanco potjes en de potjes met groencompost wordt kleiner, waardoor het effect van de groencompost met name bij De Marke na 60 dagen niet meer te meten is, maar wel bij de kleigrond en Vredepeel. Dit verschil tussen de blanco en de grond met groencompost is belangrijk, want dat bepaalt de nauwkeurigheid van de humificatiecoëfficiënt, want dat is de fractie toegevoegde hoeveelheid C die na 1 jaar niet is vrijgekomen als CO₂.



Figuur 4-2 Gemeten CO₂-fluxen van groencompost gedurende incubatieperiode bij de drie onderzochte gronden.

De CO₂-emissie uit de onbemeste grond (blanco) is zeer laag gedurende de gehele incubatieperiode en vertoont geen trend in de tijd, wat duidt op een constante, maar lage afbraak van bodemorganische stof. Gedurende de incubatieperiode van 93 dagen zijn de fluxen bij alle potjes na 4 dagen laag: < 0.5 mg CO₂-C kg⁻¹ h⁻¹. Alleen enkele controlepotjes met grond van de Marke geven na 73 en 93 dagen enkele potjes met CO₂-emissies > 0,5 mg CO₂-C kg⁻¹ h⁻¹. De gemiddelde CO₂-flux bij de blanco's is, aan het eind van de incubatieperiode, 93 dagen: 0,28 ± 0,22 mg CO₂-C kg⁻¹ h⁻¹ voor alle drie de gronden. De gemiddelde CO₂-flux bij de in grond geïncubeerde bodemverbeteraars is 0,56 ± 0,29 mg CO₂-C kg⁻¹ h⁻¹.

Tabel 4-8 Gemiddelde cumulatieve emissie van CO₂ (g C/kg grond) uit producten, met tussen haakjes de standaarddeviatie.

Product-code	Pilot	De Marke	Kleigrond	Vredepeel
B3	Zuiderzeeland	3.78 (0.28)	6.48 (1.28)	3.82 (0.48)
B5	Leeuwarden	7.72 (2.35)	10.37 (1.88)	7.84 (1.17)
B1	Noordenveld	2.72 (0.10)	2.86 (0.29)	2.10 (0.32)
B51	Hoekse Waard en B	9.81 (1.91)	11.58 (3.15)	7.31 (1.05)
MO41b	Nijeveen	2.31 (0.21)	2.09 (0.59)	2.42 (0.67)
C _{gc}	n.v.t.	2.98 (0.42)	4.18 (0.25)	3.19 (0.52)
MT5c	Leeuwarden compost-o (100%blad)	4.15 (0.17)	5.12 (0.82)	3.44 (0.41)
MT5b	Leeuwarden compost-o (maaisel)	2.16 (0.19)	2.91 (0.72)	1.76 (0.43)
	Blanco gronden	1.05 (0.84)	0.77 (0.38)	0.65 (0.10)

De gemiddelde cumulatieve emissie aan het einde van de meetperiode (93 dagen) varieert van 0,65 en 1,05 g CO₂-C kg⁻¹ bij de blanco's, de onbemeste gronden en varieert van 1,76 tot 11,58 g CO₂-C kg⁻¹ voor alle producten (Tabel 4-8). Ondanks dat, zoals eerder gezegd, het verschil tussen de producten en de blanco's afneemt na verloop van de incubatietijd, is op basis van de cumulatieve emissie, het effect van alle producten goed meetbaar. De CO₂-emissie is relatief laag bij de meeste producten (C_{gc}, B1, MO41b, MT5b, MT5c), en hoog bij bokashi's B3, B5 en B51. De CO₂-emissie bij de producten is bij De Marke en Vredepeel vergelijkbaar van niveau, en hoger bij de kleigrond.

Humificatiecoëfficiënt

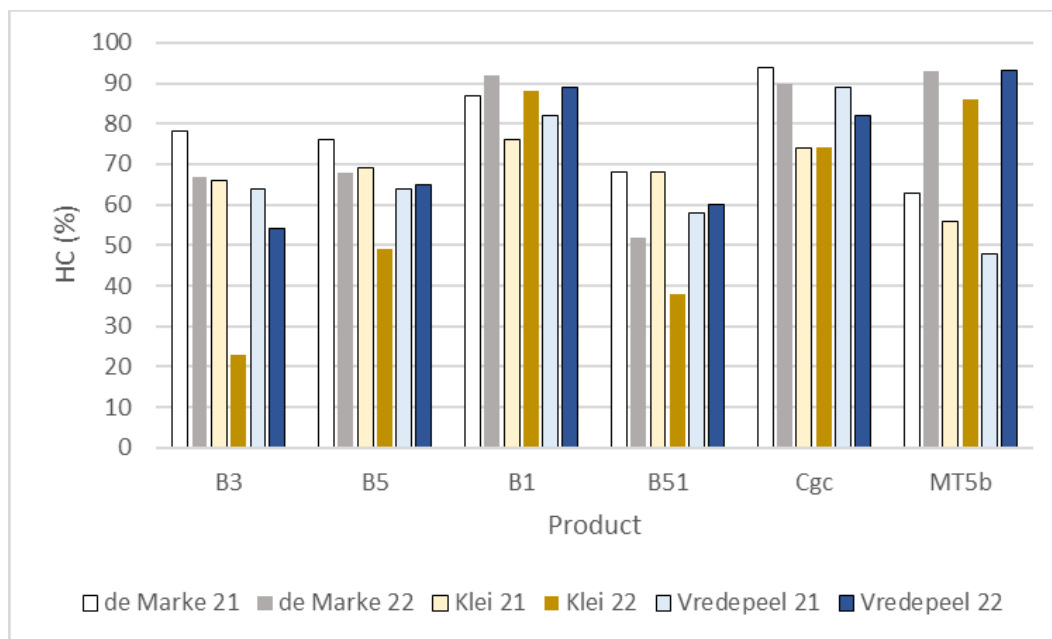
Tabel 4-9 geeft de gemiddelde HC van elk bodemverbeteraar per grond weer en daarnaast het gemiddelde voor de drie gronden samen. In dit onderzoek is de groencompost meegenomen als een soort referentie, omdat de samenstelling door de jaren heen relatief stabiel geacht wordt te zijn. De humificatiecoëfficiënt voor groencompost (G_{gc}) bedraagt in 2022 gemiddeld 82%, waarbij de laagste waarde in de kalkloze kleigrond (74%) gemeten wordt en de hoogste in de zandgrond van De Marke (90%). Deze metingen zijn vergelijkbaar met de resultaten van vorig jaar (Spijker et al., 2022); toen was de gemiddelde HC voor groencompost 86% en werd ook in kleigrond de laagste waarde gemeten (74%) en de hoogste in de grond van De Marke (94%). De vergelijkbaarheid van de HC-bepaling bij groencompost suggereert dat de bepaling van de HC herhaalbaar is.

De gemiddelde HC, d.w.z. de HC per product als gemiddelde voor de drie gronden, varieert tussen 48% (B3) en 91% (MT5b). Er zijn drie bodemverbeteraars (B3, B5, B51) die een relatief lage HC (<70%) hebben, met waarden die variëren tussen de 48% en 60%, terwijl vier andere bodemverbeteraars (B1, MT5b, MT5c, MO41b) een relatief hoge HC (>70%) hebben die vergelijkbaar is met de HC van groencompost (G_{gc} 82%).

Tabel 4-9 Berekende humificatiecoëfficiënten (voor t=365 dagen en standaard temperatuur van 9 graden) voor elke combinatie van organische bodemverbeteraar en grond. Tevens staan de gemiddelde berekende waarden voor f, k1 en k2 voor elke organische bodemverbeteraar gegeven. De standaarddeviatie is tussen haakjes weergegeven.

Product-code	pilot	HC	HC	HC	HC	f	k1	k2
		De Marke n=3	kleigrond n=3	Vredepeel n=3	gemiddeld n=9			
B3	Zuiderzeeland	67 (5)	23 (12)	54 (2)	48 (20)	0.61	0.0065	0.0050
B5	Leeuwarden	68 (12)	49 (7)	65 (2)	60 (11)	0.45	0.0141	0.0085
B1	Noordenveld	92 (1)	88 (2)	89 (2)	90 (2)	0.55	0.0068	0.0063
B51	Hoekse Waard en B	52 (11)	38 (15)	60 (5)	50 (15)	0.49	0.0108	0.0084
MO41b	Nijeveen	89 (2)	85 (5)	84 (2)	86 (4)	0.47	0.0019	0.0004
C _{gc}	n.v.t.	90 (2)	74 (2)	82 (1)	82 (7)	0.27	0.0121	0.0022
MT5c	Le compost-o (100%blad)	79 (2)	64 (10)	76 (5)	73 (9)	0.45	0.0107	0.0043
MT5b	Le compost-o (maaisel)	93 (1)	86 (5)	93 (1)	91 (4)	0.44	0.0141	0.0118

In deze studie is ook getoetst hoe de meting van de HC varieert bij gebruik van verschillende gronden. Tabel 4-9 laat zien dat de HC sterk kan verschillen per grond en per bodemverbeteraar. Dit betekent dat de interactie tussen bodemverbeteraar en grond bij de beoordeling van de stabiliteit van de gebruikte bodemverbeteraars een factor is waarmee rekening moet worden gehouden.



Figuur 4-3 Variatie in de berekende HC tussen gronden, producten en jaren.

Zo blijkt uit de metingen dat de berekende HC in 2022 van de kleigrond veelal lager is (snellere afbraak) dan die gemeten in de zandgronden en dit verschil neemt toe in materialen met een lage HC zoals B3 en B51. De verschillen in HC tussen de zandgronden van de Marke en Vredepeel zijn daarentegen klein. Toch zijn ook deze verschillen niet consistent, d.w.z. de verschillen in de berekende HC tussen gronden en producten uit 2022 zijn niet noodzakelijk dezelfde als die uit 2021. Zo is het verschil voor één product tussen jaren (bijv. in geval van MT5b of B51) groter dan het verschil voor datzelfde product tussen gronden. Dit is – met uitzondering van de groencompost en B1 – voor alle producten het geval. Of dit met de variatie in de producteigenschappen dan wel de proefomstandigheden te maken heeft, kan niet geconcludeerd worden uit deze data.

Bij het fitten van de afbraak van C voor de berekening van de HC wordt onderscheid gemaakt tussen een labiele (snel afbreekbare; f) en stabiele (langzaam afbrekende; $1-f$) pool van organische stof. De variatie tussen de waarden voor f , k_1 en k_2 (Tabel 4-9) geeft geen aanleiding om constante waarden voor f , k_1 of k_2 voor de verschillende hier onderzochte producten te veronderstellen.

Een vergelijking tussen het 1^e en 2^e meetjaar wordt gemaakt in Tabel 4-10. De verschillen tussen de gemiddelde HC's voor MT5b en B3 in 2021 en 2022 zijn zeer groot (verschil > 20%), aanzienlijk voor B5, B51 (verschil 10% tot 20%) en beperkt voor B1 en groencompost (verschil < 10%). Groencompostering is een proces dat al vele jaren op dezelfde manier wordt gedaan met dezelfde ingangsmaterialen en dat is de reden om groencompost als referentiemateriaal mee te nemen in de metingen. Het kleine verschil voor groencompost suggereert daarom dat de meting goed is. De grote verschillen in de berekende HC tussen 2021 en 2022 suggereren dat de samenstelling van sommige producten daarom juist sterk verschilt (B3, MT5b, en in mindere mate B5 en B51). Of dit komt door variatie in het ingangsmateriaal of de condities tijdens het maken van de producten valt uit deze data niet op te maken.

Tabel 4-10 Humificatiecoëfficiënten van bodemverbeteraars 2021 (Spijker et al., 2022) en 2022 (dit onderzoek).

Productcode	Pilot	De marke		Kleigrond		Vredepeel		Gemiddeld	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
B3	Zuiderzeeland	78	67	66	23	64	54	70	48
B5	Leeuwarden	76	68	69	49	64	65	70	60
B1	Noordenveld	87	92	76	88	82	89	82	90
B51	Hoekse Waard en B	68	52	68	38	58	60	65	50
Cgc	n.v.t.	94	90	74	74	89	82	86	82
MT5b	Leeuwarden compost-o (maaisel)	63	93	56	86	48	93	55	91

De vergelijking tussen 2021 en 2022 is voor een aantal bodemverbeteraars niet mogelijk, omdat het een product van verschillende locaties betreft (MAA41 in 2021 en MO41b in 2022) of andere grondstoffen (MT5c is compost-o 100%blad) en die staan daarom niet in deze vergelijking tussen 2021 en 2022.

4.2.3 Stikstofmineralisatie van lokale bodemverbeteraars

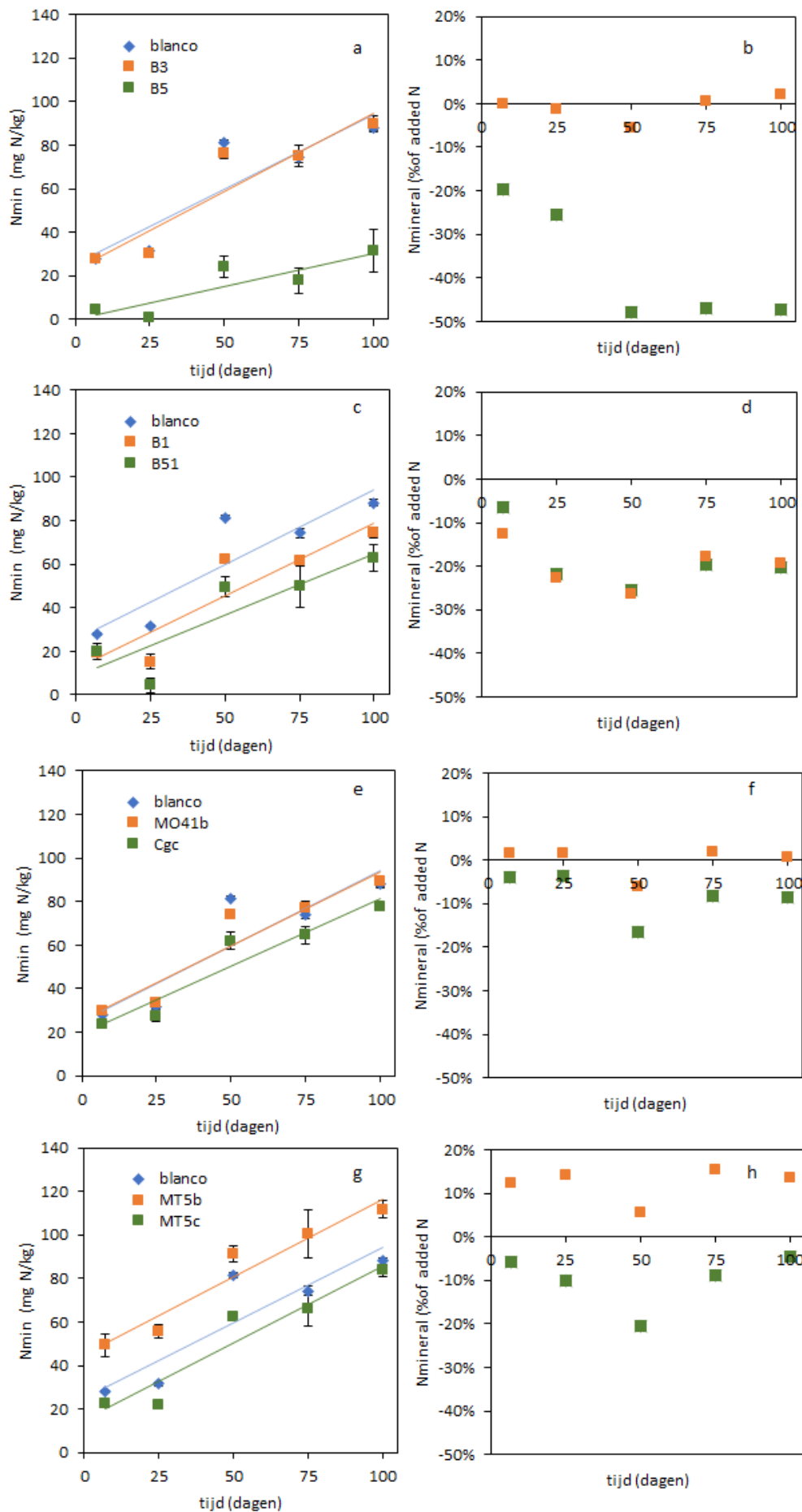
In Tabel 4-11 staat de initiële hoeveelheid N in de verschillende producten (data kolom 1), de totale hoeveelheid N die is toegevoegd aan de grond via de producten (data kolom 2) en hoeveel hiervan gedurende 100 dagen incubatie is gemineraliseerd (data kolom 3). Daarbij meten we de mate van N-mineralisatie als fractie van de toegevoegde hoeveelheid stikstof, via bodemverbeteraars, door de toename van het mineraal N als functie van de tijd te meten in grond waaraan de bodemverbeteraar is toegevoegd. Een positief getal in de laatste kolom betekent dus dat er netto stikstof vrijkomt uit de producten t.o.v. de mineralisatie uit de bodem, een negatief getal suggereert dat N juist is vastgelegd, d.w.z. dat er mineraal N uit de bodem (met bodemverbeteraars) is omgezet in organisch N.

In Figuur 4-4 is de verandering van mineraal N te zien als functie van de incubatietijd. In elke figuur is ook de blanco gegeven, in dit geval de grond waaraan geen bodemverbeteraar is toegevoegd. Voor de meeste producten geldt dat er sprake is van een netto N-immobilisatie; de waarden voor N_{\min} liggen namelijk lager dan die van de blanco. Alleen in geval van MT5b is er sprake van een netto mineralisatie van N uit het maaisel. Verder toont Figuur 4-5 dat de regressielijnen lineair zijn en parallel lopen voor de meeste producten. Er is blijkbaar sprake van een initieel effect op mineraal N, waarna bij alle producten, behalve B5, de mineralisatie van N op dezelfde manier verloopt als die bij de blanco. Bij B5 is de hoeveelheid mineraal N na 100 dagen het laagst. De groencompost (C_{gc}) heeft vrijwel geen invloed op mineraal N ten opzichte van de blanco. Dat komt overeen met andere onderzoeken (Lazicki et al., 2019).

Tabel 4-11 Hoeveelheid stikstof in bodemverbeteraars, hoeveel stikstof toegevoegd aan grond ("Bio 7") via de bodemverbeteraars in incubatieproef en percentage N dat na 100 dagen is gemineraliseerd uit de aan de grond toegevoegde bodemverbeteraar.

Nr	Code	Pilot	N gehalte product (mg N kg ⁻¹ vers)	Toegevoegd stikstof (mg N kg ⁻¹ grond)	Mineraal N na 100 dagen (% totaal toegevoegd N)
1	B3	Zuiderzeeland	3789	95	2%
2	B5	Leeuwarden	4792	120	-47%
3	B1	Noordenveld	2866	72	-19%
4	B51	Hoekse Waard en B	4983	125	-20%
5	MO41b	Nijeveen*	5076	127	1%
6	C_{gc}	#	4699	117	-9%
7	MT5c	Leeuw. Comp-o (100%blad)	3767	94	-5%
8	MT5b	Leeuw. comp-o (maaisel)	6885	172	14%

Groencompost.



Figuur 4-4 Verandering van mineraal N als functie van incubatietijd (a, c, e, g) en netto mineralisatie van totaal toegevoegd stikstof (b, d, f, h).

In Figuur 4-4 is te zien dat alle mineraal-N-data na 25 dagen relatief laag en de data na 50 dagen relatief hoog liggen. De oorzaak hiervan is onduidelijk.

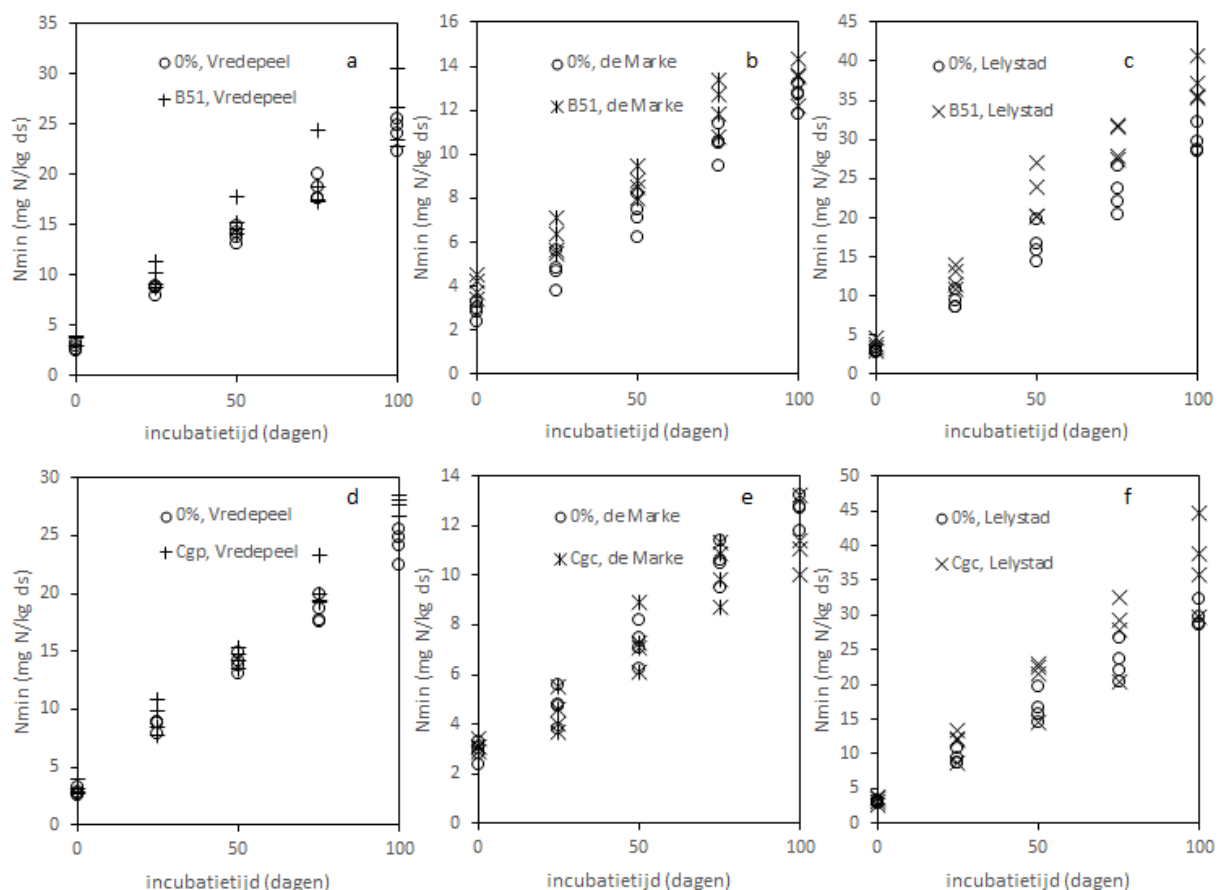
4.2.4 Stikstofmineralisatie van grond uit veldproef 2021

Het vrijkomen van N uit de gronden met daarin de bodemverbeteraars in het voorjaar van 2022 is gemeten in twee behandelingen met grond van de drie locaties (Vredepeel, De Marke en Lelystad). Voor alle gronden (drie) zijn hiervoor grondmonsters van de behandelingen met 50 ton groencompost en bokashi (B51) gebruikt. Daarnaast is ook de mineralisatie in de grond zonder toevoeging bepaald. Op tijdstip 0 blijkt dat er geen verschillen tussen de behandelingen zijn en is de hoeveelheid N_{min} gemeten in de verschillende behandelingen en de blanco in voorjaar 2022 gelijk, ongeacht wat er het jaar daarvoor aan de bodem is toegevoegd.

Gedurende de incubatie tijd komt mineraal stikstof vrij: bij de behandelde gronden, maar ook bij de referentie die in 2021 niet is bemest. Lineaire regressie van de data van de verschillende behandelingen (B) als groep laat zien dat er geen significante verschillen zijn tussen de behandelingen. Daarbij is de hoeveelheid N_{min} geschat op basis van tijd, behandeling en interactie van beide:

$$N_{min} = a + b \cdot \text{tijd} + c \cdot B + d \cdot \text{tijd} \cdot B$$

In geen van de drie bodems, ook niet voor de behandeling, zijn de hellingen van regressievergelijkingen of N_{min} op tijdstip nul significant verschillend.



Figuur 4-5 N_{min} als functie van incubatietijd bij grond uit Vredepeel (a, d), de Marke (b, e), en Lelystad (c, f). Deze zijn in het voorjaar van 2021 bemest met 50 ton ha^{-1} bokashi (B51; figuren a, b en c) of 50 ton ha^{-1} groencompost (Cgc; figuren d, e en f).

Tabel 4-12 Toets van verschillen tussen behandelingen met lineaire regressielijnen per veldproef. In Genstat (*) is het verschil tussen de behandeling met compost (CGC) of de nul-behandeling (0%) berekend met die van B51.

Code	Vredepeel	SE	prop	De Marke	SE	prop	Lelystad	SE	prop
Constance	3.89	0.341	<.001	3.89	0.341	<.001	4.36	1.06	<.001
tijd	0.0997	0.00557	<.001	0.0997	0.00557	<.001	0.3364	0.0172	<.001
objectcode CGC	-1.05	0.483	0.26	-1.05	0.483	0.034	-1.14	1.49	0.45
objectcode REF (0%)	-1.35	0.483	0.35	-1.35	0.483	0.007	-1.39	1.49	0.356
tijd.objectcode CGC	-0.0104	0.00788	0.101	-0.0104	0.00788	0.193	-0.0011	0.0244	0.964
tijd.objectcode REF (0%)	0.0014	0.00788	0.588	0.0014	0.00788	0.86	-0.067	0.0244	0.008

(*) Simple linear regression with groups, estimate differences from reference level.

De gemiddelde hoeveelheid N_{\min} in de bodem van de referenties van De Marke, Lelystad en Vredepeel bedraagt bij aanvang 3 à 4 mg N kg⁻¹. Gerekend met een bouwvoor van 20 cm (aannee dichtheid 1370 kg/m³) is dat 8 à 11 kg N ha⁻¹. De hoeveelheid N die is gemineraliseerd na 100 dagen is bij de referentiebehandeling van Vredepeel, De Marke en Lelystad respectievelijk 24, 13, en 30. Voor een bouwvoor van 20 cm komt dat overeen met 66, 36, en 82 kg N ha⁻¹. Dit zijn relatief lage hoeveelheden wanneer we rekening houden met de maisopbrengst van de veldproef in 2021. In de onbemeste velden (0%N) van Vredepeel en De Marke was de N-opname door het gewas even hoog als die in de bemeste veldjes en bedroeg ongeveer 180 kg N/ha. Dat betekent dat het stikstof leverend vermogen van de gronden laag is, in tegenstelling tot de verwachting, omdat de oogst in de onbemeste veldjes hoog was. De enige verklaring hiervoor kan zijn dat in 2021 het stikstof leverend vermogen nog wel hoog was, maar in 2022 niet meer.

In de grond uit de veldproef is dus na één jaar geen toename van N_{\min} meetbaar onder invloed van de hoge giften via de bodemverbeteraars (10 en 50 ton ha⁻¹). De in het huidige onderzoek gebruikte bodemverbeteraars geven na één jaar dus ook geen extra risico's op nitraatuitspoeling. Dit suggereert dat het via de bodemverbeteraar toegevoegde stikstof zich nog in de bodem bevindt in een vorm van organische stof. Dit is relevant, omdat vaak de zorg is geuit dat nutriënten uit reststromen langzaam vrijkomen (Bakker et al., 2020). In vergelijkbare incubatiemetingen, met grond uit lange termijn bemestingsproeven, nam de hoeveelheid mineraliseerbaar N beperkt toe: na 20 jaar bemesting met 0, 15 of 45 ton ha⁻¹ GFT-compost. De hoeveelheid N_{\min} verhoudt zich daarbij tot het bodemorganische stof (Elsen, 2017).

4.2.5 Broeikasgassen in bokashi-hopen

In Tabel 4-13 staan de resultaten van de indicatieve metingen van de concentraties van CO₂ en CH₄ (methaan). Deze metingen laten zien dat de concentraties aan CO₂ en CH₄ in de bokashi-hoop in Apeldoorn sterk verhoogd zijn ten opzichte van de concentratie in de buitenlucht (de gemeten waarde bedroeg ongeveer 350 ppm). Wel blijkt ook dat verschillen in de concentraties aan CO₂ en CH₄ tussen de hopen in Apeldoorn en Rotterdam groot zijn.

Data van N₂O zijn hier niet opgenomen, omdat de kwaliteit daarvan onvoldoende is (negatieve waarden). Waarschijnlijk is dit het gevolg van interferentie met andere gasen die de meting van N₂O storen.

Tabel 4-13 Gehalten aan CO₂ en CH₄ bij en in hopen van bladbokashi in Apeldoorn en Rotterdam.

Locatie		CO ₂ ppm	CH ₄ ppm	n
Apeldoorn	Buitenlucht naast hoop 21 maart 2022	351±2	14±19	2
Apeldoorn	In de hoop (bladbokashi) 21 maart 2022	133000±9967	111±144*	12
Rotterdam	In de hoop (bladbokashi) 5 april 2022	35485±24689	21611±11245*	3
	Achtergrond buitenlucht Europa	405	1,8	

* Met CO₂-filter.

Ook in aerobe composthopen wordt soms methaan gemeten. Het is dus niet heel vreemd dat in bokashi-hopen ook methaan gevormd wordt, temeer omdat er plaatselijk in de hoop vochtige plekken zijn.

Overigens, de emissie van broeikasgassen uit gras- en maaskuilen wordt gering geacht bij goede kuilen en bedraagt 0,2-0,3% van de totale emissie op bedrijfsniveau (Schooten en Philipsen, 2010), waardoor de lachgas- en methaanemissies op landelijk niveau niet meegerekend worden (Van der Zee et al., 2022).

Als test zijn er indicatieve gasmetingen uitgevoerd bij twee bladbokashi-hopen. Beide keren is geen lachgas gemeten, maar wel methaan. Indicatief is de verhouding tussen CH_4/CO_2 niet veel anders dan bij compostering, waardoor bokashi mogelijk niet leidt tot een hogere emissie van broeikasgassen dan bij compostering.

4.3 Conclusies aanvullende experimenten

De aanvullende experimenten zijn gedaan om vragen over met name de beschikbaarheid en stabiliteit van koolstof, stikstof en fosfor te beantwoorden die niet via de veldproef beantwoord kunnen worden.

De humificatiecoëfficiënten geven aan dat, zoals verwacht, deze voor de vier onderzochte bokashi's en maaisels lager of gelijk zijn dan van de referentiegroencompost. De verschillen tussen de materialen in 2021 en 2022 zijn echter groot, en het effect van de drie onderzochte gronden is groot. Doordat er een grote variatie zit in de humificatiecoëfficiënt per materiaal, hebben de gemiddelde HC's een grote onzekerheid.

De oxalaatextraheerbare P-, Fe-, en Al-gehalten van de materialen geven aan dat de fosfor grotendeels gebonden is, vergelijkbaar met grond. Dit wordt bevestigd via de pH-afhankelijk CaCl_2 -extracties. Op basis van beide type metingen is het mogelijk om, net als bij compost, een aandeel te formuleren dat niet werkzaam is en dus vrijgesteld zou kunnen worden binnen de fosfaatgebruiksnorm. Een procedure is daarvoor niet voorhanden, maar zou geformuleerd kunnen worden op basis van metingen per type materiaal.

De veldproef in 2021, maar ook in 2022, laat zien dat de bokashi's en compost niet tot meer maisopbrengst leiden dan de onbemeste behandelingen, of zelfs minder maisopbrengst bij de hoge giften. Dit soort effecten van bokashi's en groencompost is mogelijk als deze materialen leiden tot immobilisatie van stikstof. Om dat effect aan te tonen, zijn stikstofmineralisatie-experimenten uitgevoerd. Daarbij is het gehalte aan extraheerbaar mineraal stikstof gemeten als functie van de tijd gedurende 100 dagen in grond met en zonder producten. In deze mineralisatie-experimenten is inderdaad te zien dat er bij een aantal bokashi's immobilisatie optreedt van stikstof. In geen van de onderzochte producten komt stikstof vrij gedurende 100 dagen. Om de langetermijneffecten van de materialen beter te begrijpen, is ook grond bemonsterd uit een selectie van behandelingen in de veldproef in april 2022. Dit betrof plots die in 2021 bemest zijn met bokashi of groencompost. Mineralisatie-experimenten met grond uit de veldproef laten geen verschil zien met de onbemeste veldjes. Dit suggereert dat de stikstof uit de groencompost en bokashi's in het daaropvolgende jaar dus niet beschikbaar komt. Beide mineralisatie-experimenten tonen daarmee aan dat de geselecteerde bokashi's en groencompost in het eerste jaar geen bijdrage geven aan de stikstofbemesting; of anders gezegd, de stikstofwerkingscoëfficiënt is nul of lager. Dit is relevant indien de bokashi's onderdeel worden van de mestboekhouding. Onbekend is vooralsnog of het effect van de verlaging van de stikstofbeschikbaarheid ook optreedt in een reguliere toepassing waarbij ook bemest wordt. Onbekend is ook wat het effect na één jaar is. Mede daarom herhalen we deze mineralisatie-experimenten in 2023 met grond die op dat moment twee jaar lang behandeld is met de hier gebruikte organische bodemverbeteraars.

5 Algemene Conclusies

5.1 Kwaliteit van bokashi en andere bodemverbeteraars

De variatie in de *chemische kwaliteit* van bokashi, maaisel, compost en 'maaisel met toevoegingen' in de metingen van 2022 komt overeen met die uit 2021. Wel zien we dat gevonden verschillen in 2021, zoals die in organische stof of nutriënten tussen seizoenen en/of producten, veelal klein of niet significant zijn wanneer we data uit 2022 toevoegen. Dit komt deels door variatie in metingen tussen pilots die groter is dan verschillen tussen seizoenen.

De metingen in 2022 bevestigen de eerdere waarnemingen dat de producten in *milieukundig opzicht* geschikt zijn voor toepassing in landbouw- en stadsbodems en, voor zover het contaminanten, glas, steen en zout betreft, niet leiden tot risico's voor mens en milieu. De geconstateerde normoverschrijdingen (voor Cadmium) zijn vrijwel altijd te herleiden naar de kwaliteit van bodem waar het uitgangsmateriaal (maaisel) vandaan komt. De eventuele aanwezigheid van grover vuil (plastic, blik) blijft een aandachtspunt en zal in 2023 verder onderzocht worden. Dit komt mede doordat, voorafgaand aan de in 2021 en 2022 uitgevoerde analyses, het grovere vuil verwijderd wordt en dus niet gekwantificeerd wordt. Wel overschrijdt een groot aantal monsters de norm voor steen > 5 mm, waarbij opgemerkt moet worden dat dit waarschijnlijk gebiedseigen materiaal is, afkomstig van grond.

In het merendeel van de onderzochte bokashi en maaisel met toevoegingen is er geen aanwezig kiemkrachtig onkruid aangetroffen. Bij een kleiner deel van deze stromen echter wel. Het verdient aanbeveling in 2023 na te gaan vanuit logboeken of anderszins of de aanwezigheid van kiemkrachtig onkruid kan worden verklaard.

De *landbouwkundige waarde* van de onderzochte producten, met name de gehalten aan nutriënten en organische stof en de stabiliteit van deze laatste, liggen in dezelfde ordegrootte als in 2021. De gehalten aan organische stof zijn, op basis van vers product, vergelijkbaar met die van compost, al is de stabiliteit van de organische stof in bokashi duidelijk minder dan die in compost (zie hierna). Ook de gehalten aan macronutriënten (N, P, K) liggen in dezelfde ordegrootte. Wel is aangetoond (zie ook onderdeel 'aanvullende laboratoriumexperimenten') dat de plantbeschikbaarheid van met name stikstof en fosfaat in het merendeel van de producten laag is. Indien deze producten als aanvulling op de mestgift gebruikt worden, dient hier rekening mee gehouden te worden. Dit om te voorkomen dat er oogstderving optreedt, met name als gevolg van stikstofgebrek (zie ook conclusies veldonderzoek). Dit is vooral te wijten aan de relatief hoge C/N-verhouding van bokashi en bewerkte maaisels die kan leiden tot stikstofimmobilisatie. Of dit gebeurt, hangt ook af van de uitgangssituatie (m.n. de stikstoftoestand) van de bodem zelf. Met name in bodems met een relatief laag N-mineraalgehalte is de kans dat stikstofvastlegging optreedt groot, terwijl de kans dat dit in een bodem met een hoge uitgangssituatie niet gebeurt, klein is.

Ook is de *stabiliteit* van organische stof – bepaald als de zuurstofconsumptie onder laboratoriumomstandigheden – in bokashi, vergeleken met compost, laag. Dit is het gevolg van de verschillen in de productie (fermentatie versus composteren). Tijdens fermentatie van maaisel of blad gaat weliswaar slechts een klein deel van het in het materiaal aanwezige koolstof verloren, maar de stabiliteit van de gevormde verbindingen is laag, wat snel na aanbrengen in de bodem leidt tot mineralisatie (en verlies via CO₂). Dit wordt experimenteel bevestigd door de deels zeer hoge zuurstofconsumptie (oxytop metingen) in met name bokashi (gemiddeld 28 mmol O₂/kg OS/uur ten opzichte van 8 mmol O₂/kg OS/uur voor compost). Daarmee ligt de stabiliteit van organische stof in bokashi in dezelfde ordegrootte als die van digestaat. Overigens lijkt de stabiliteit van een aantal producten dat hier samengevat wordt als maaisel met toevoegingen (o.a. Bioterra) hoger dan die van bokashi (gemiddeld 15 mmol O₂/kg OS/uur). Deze producten worden, anders dan bokashi, gemaakt na (gedeeltelijke) aerobe compostering, wat de hogere stabiliteit (volgens de oxytop-methode) verklaart.

5.2 Effecten op bodemkwaliteit bij deelnemende pilots

De metingen van de bodemkwaliteit op de percelen waar bokashi, compost of (on)bewerkt maaisel wordt gebruikt, laten zien dat er geen duidelijke trends of verschillen waarneembaar zijn in onder meer organische stof, nutriëntgehalten of microbiële activiteit. Dit komt grotendeels door de grote variatie *tussen* pilots. Of er op pilootniveau sprake is van een effect kan op basis van metingen in 2021 en 2022 nog niet vastgesteld worden. De metingen in 2023 en (voorjaar) 2024 zullen hier meer inzicht in bieden. Wel laten de beschikbare data van onder meer organische stof en gehalten aan nutriënten (met name P) zien dat een groot deel van de deelnemende pilots gebeurt op gronden met een goede landbouwkundige kwaliteit. Omdat het organischestofgehalte in het merendeel van de percelen al voldoende tot hoog is, zijn effecten van het gebruik van organisch materiaal op het bodemkoolstofgehalte wellicht maar beperkt te verwachten. Mede daarom zal in 2023 en 2024 meer aandacht besteed worden aan de fysische eigenschappen van de bodem, waarbij met name de waterberging en het watervasthoudend vermogen gemeten worden. Dit aspect is niet alleen van belang in pilots in het landelijk gebied (akkerbouw), maar ook in de pilots in de steden. In een klein (2 à 3) aantal pilots is in de uitgangssituatie wel sprake van een (zeer) laag organischestofgehalte (minder dan 2%) en in deze pilots zal specifiekere gekeken worden naar de mogelijke veranderingen in het organischestofgehalte van de bodem in 2023 en 2024.

5.3 Effecten van bodemverbeteraars op bodembioologie: proefveldonderzoek

Voor langetermijneffecten op de bodembioologie is bekend dat deze pas na meerjarige toepassingen zichtbaar worden en is twee jaar een te korte termijn. Toch zijn er nu al enkele interessante conclusies en discussiepunten te bespreken. We zetten hier de belangrijkste op een rij.

PLFA: Significante effecten traden bij enkele organische bodemverbeteraars op, maar alleen in combinatie met de hoge doseringen. De significante effecten kwamen veel meer naar voren op klei (Lelystad) dan bij de twee locaties met zandgrond (De Marke en Vredepeel). Als duidelijke trend kwam naar voren dat op alle locaties de toevoeging van organische bodemverbeteraars in de vorm van bokashi's, maaisel of compost een stimulerend effect had op het microbiële bodemleven in vergelijking met de toediening van stikstof en de gangbare controle. Hierbij ging het met name om de schimmel-gerelateerde parameters. Mogelijk komt dit doordat de in deze proef toegepaste organische bodemverbeteraars vooral moeilijk afbreekbare stoffen bevatten die voornamelijk door schimmels kunnen worden verteerd.

Milieuaaltjes: Bij de milieuaaltjes gerelateerde parameters was eenzelfde soort trend te zien als bij de microbiële data, namelijk dat bij enkele organische bodemverbeteraars significante verschillen optraden bij de hoge dosering (B51-H, B5-H). Er waren geen effecten bij plantenetende aaltjes en schimmel-etende aaltjes, maar wel op groepen aaltjes die betrokken zijn bij de afbraak van organisch materiaal. De effecten bleken locatiespecifiek. Het ging hierbij met name om het totaal aantal aaltjes, de biomassa, bacterie-etende aaltjes met CP1 of CP2 die significant verhoogd waren ten opzichte van de met 33-67-100% stikstof behandelde bodems. Het opvallendste is dat de belangrijkste verschuivingen bij het microbioom (PLFA) optraden bij de schimmel gerelateerde parameters, terwijl dit niet werd gevonden bij de schimmel-etende aaltjes, maar bij de bacterie-etende aaltjes.

De verschillende organische bodemverbeteraars (zowel bokashi, als maaisel als compost) in hoge doseringen gaven een stimulerend effect op de bodembioologie. In welke mate dit effect tijdelijk is, valt nog niet af te leiden uit de huidige data. Die effecten waren met name zichtbaar op de schimmelsamenstelling, maar ook op bij de decompositie betrokken aaltjes-groepen. Deze (korte termijn) trends vormen meestal een indicatie voor veranderingen naar een duurzamer en stabiel systeem op de langere termijn. Het is daarom van groot belang de proeven in de huidige vorm door te zetten in de resterende projectperiode. We hebben tot nu toe geen negatieve effecten op de bodembioologie gevonden.

5.4 Stabiliteit en beschikbaarheid van nutriënten

De selectie bodemverbeteraars die onderzocht is in de veldproef, is ook gebruikt in aanvullende incubatieproeven om de effecten van koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P) uit de bodemverbeteraars beter te begrijpen. Incubatie-experimenten zijn uitgevoerd om de humificatiecoëfficiënten te bepalen. De humificatiecoëfficiënt (HC) is het aandeel koolstof uit de bodemverbeteraar dat na één jaar nog in de bodem aanwezig is. In 2021 en 2022 is dat bij groencompost respectievelijk 86 à 82%. Bij de bokashi's en maaisel met toevoegingen variëren de gemiddelden van de HC tussen 50 en 93%; deels komen deze waarden overeen met de metingen uit 2021, maar deels zijn er grote verschillen, zowel tussen bodem als locatie. De oorzaak van deze verschillen zijn op grond van de samenstelling van de producten niet te verklaren. In 2022 zijn incubatie-experimenten uitgevoerd met een aantal bodemverbeteraars in één standaardgrond om de stikstofmineralisatie te bepalen. De resultaten laten zien dat de stikstofbeschikbaarheid in alle hier onderzochte bodemverbeteraars laag is; er komt nauwelijks of geen minerale stikstof vrij. In de meeste gevallen is de mineralisatie zelfs lager dan die in een grond waaraan geen stikstof is toegevoegd. Dit is het gevolg van de hoge C/N-ratio die leidt tot immobilisatie van N door bodemorganismen. Dit geeft aan dat er geen stikstofwerking is te verwachten in het eerste jaar na toepassing. Dit is relevant bij het gebruik van deze meststoffen, omdat een stikstofwerkingscoëfficiënt nodig is om binnen de stikstofgebruiksnorm te blijven. Dit suggereert ook dat toepassing van bokashi vóór of in de winter wellicht mogelijk is zonder dat dit leidt tot extra nitraatuitspoeling. Ten slotte is het bij gebruik van meststoffen nodig om een fosfaatwerkingscoëfficiënt te weten om binnen de fosfaatgebruiksnorm te blijven. Recentelijk, in 2023, zijn de werkingscoëfficiënten voor organischestof-rijke meststoffen in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet aangepast (artikel 33c daarin); voor compost telt nu 25% van het fosfaat mee in de berekening van de fosfaatgebruiksnorm. Uit laboratoriumanalyses blijkt dat de P beschikbaarheid uit de onderzochte bodemverbeteraars laag is (<10%). Dit is grotendeels in overeenstemming met de gemeten gehalten aan extraheerbaar ijzer en aluminiumgehalten in deze meststoffen, die voor de binding zorgen van fosfaat, net zoals in de bodem.

5.5 Voorlopige beantwoording vragen RISMAN

Een van de doelen van dit project is om op basis van de metingen bij pilots, het veldonderzoek op de proefbedrijven en de aanvullende laboratoriumexperimenten een antwoord te geven op de vragen van de RISMAN. Hieronder gaan we in op deze vragen, voor zover de resultaten van het onderzoek dat al toelaten.

1. *Wat is het aandeel labiele organische stof in de verschillende producten en wat is hier de betekenis van voor zowel de fysisch-chemische kwaliteit van de bodem (invloed op onder meer watervasthoudend vermogen of infiltratie) als de biodiversiteit (in de bodem)? Deze vraag richt zich vooral op het kortetermijneffect.*

De metingen van de stabiliteit (oxytop) en humificatiecoëfficiënt laten zien dat bokashi's onderling en tussen de jaren heel variabel is. De humificatiecoëfficiënt komt overeen met de fractie van de hoeveelheid koolstof die één jaar na toediening nog over is (ook wel 'effectieve organische stof' genoemd). De humificatiecoëfficiënt van bokashi's is lager of even hoog (48 tot 90%) als de groencompost die als referentie gebruikt is (82-86%). Op dit moment is nog niet duidelijk wat de oorzaak is van de variatie in de HC voor vergelijkbare typen van bokashi. Wel lijkt bokashi van blad gemiddeld genomen stabiel (hogere HC) dan bokashi van maaisel.

Effecten op waterberging en infiltratie zijn in 2021 en 2022 nog niet onderzocht, maar staan in 2023 en 2024 op de onderzoeksagenda, o.a. in het kader van het samenwerkingsproject met de Agrarische Hogeschool Den Bosch en Hogeschool Van Hall Larenstein. Wel laten bodemmetingen bij de pilots zien dat effecten op organische stof en daaraan gerelateerd de (berekende) waterberging vooralsnog beperkt zijn. Dit komt vooral doordat het organischestofgehalte in de bodem van het merendeel van de pilots al voldoende tot goed is en effecten van gebruik van bokashi op het gehalte van organische stof na twee jaar nog niet aantoonbaar zijn.

De verschillende organische bodemverbeteraars (zowel bokashi, als maaisel als compost) in hoge doseringen gaven een stimulerend effect op de bodembioëcologie. In welke mate dit effect tijdelijk is, valt nog niet af te leiden uit de huidige data. Die effecten waren met name zichtbaar op de schimmelsamenstelling, maar ook op bij de decompositie betrokken aaltjes-groepen. Deze (korte termijn) trends vormen meestal een indicatie voor veranderingen naar een duurzamer en stabiel systeem op de langere termijn. Daarbij zijn geen verschillen waargenomen tussen de effecten van bokashi of compost op de verschillende bodemmicro-organismen. Het is daarom van groot belang de proeven in de huidige vorm door te zetten in de resterende projectperiode. We hebben tot nu toe geen negatieve effecten op de bodembioëcologie gevonden.

2. *Wat is de werkingscoëfficiënt voor P (fosfaat) en stikstof (N) van maaisel, compost en bokashi dat direct op het land gebracht wordt?*

De werkingscoëfficiënt wordt meestal gedefinieerd als het aandeel N of P dat effect heeft ten opzichte van kunstmest in het eerste jaar na toediening van een organische meststof. In de veldproef worden organische bodemverbeteraars vergeleken met minerale stikstof, waardoor de veldproef geen uitspraak kan doen over de beschikbaarheid van fosfaat uit de bodemverbeteraars. Laboratoriumproeven zijn gedaan om inzicht te krijgen in de werkingscoëfficiënt voor stikstof en fosfaat. Laboratoriummetingen van de beschikbaarheid van P laten zien dat deze laag is voor bokashi en vergelijkbaar met die van compost. De bokashi's en compost bevatten grond, en daarmee Fe en Al, dat zorgt voor vastlegging van een deel van het fosfaat in de bokashi of compost. Dit wordt bevestigd door de P-beschikbaarheid gemeten met de 0,01 M CaCl₂-extractie, die standaard voor bodem wordt toegepast. Beide metingen bij de bodemverbeteraars, zowel de Fe-+Al-gehalten als de P-extractie met 0,01 M CaCl₂, geven aan dat de werkingscoëfficiënt voor P uit bokashi's lager is dan 10%.

Voor N geldt dat de beschikbaarheid in bokashi lager is of gelijk aan die van N in groencompost, door de hoge C/N-verhouding van sommige bokashi's. Hierdoor wordt bij toepassing in de grond zelfs stikstof vastgelegd, wat nadelig is voor de opbrengst als hier niet voor gecorrigeerd wordt. Dit is ook gebleken uit de veldproeven in Lelystad (klei) waar de opbrengst van de behandelde velden (met bokashi) een vergelijkbare opbrengst hadden als de (onbemeste) controlebehandeling. Ook in de zandgrond was, anders dan in 2021, een duidelijke reductie van de oogst te zien als gevolg van stikstofvastlegging.

De langzame afbraak van organische meststoffen, zoals bokashi, composten en dierlijke meststoffen, wordt vaak als lastig beschouwd voor een bemestingsplan dat gericht is op een precieze toediening van nutriënten op het juiste tijdstip (Bakker et al., 2020). De N- en P-bemesting in Nederland wordt niet alleen gereguleerd door de gebruiksnormen, maar ook via de toestand van de grond. Bij fosfaat omdat de gebruiksnorm afhankelijk is van de fosfaattoestand, en bij stikstof doordat het bemestingsadvies rekening houdt met het stikstof leverend vermogen (NLV) van een grond. Bij toepassing van bokashi's met veel P of juist weinig beschikbaar P vanwege veel Fe+Al, wordt dus daar impliciet rekening mee gehouden en als het organischestofgehalte van een perceel toeneemt onder invloed van bokashi of compost, dan wordt daar impliciet ook rekening mee gehouden door de toename in NLV.

Methoden om het stikstof leverend vermogen te voorspellen, zijn echter heel grof, en tot nu toe slechts gebaseerd op het stikstofgehalte van grond, leeftijd graszode en grondsoort (Ros van Eekeren, 2016).

Het experimentele NLV van de met bokashi bemeste bodem kan bepaald worden door een veldje zonder bemesting te vergelijken met een veldje dat met bokashi is bemest: door de gewasopbrengst te bepalen (zie veldproef) of door stikstofmineralisatie van grond met/zonder bokashi te bepalen in een incubatie-experiment. Ook na één jaar wordt onder laboratoriumomstandigheden nog steeds een netto vastlegging van N gemeten in gronden die het jaar daarvoor met bokashi behandeld zijn. Dit geeft aan dat de N-beschikbaarheid ook in het tweede jaar na toepassing van de organische bodemverbeteraars heel laag is.

3. *Welke landbouwkundige, ecologische of milieukundige baten kunnen worden toegerekend aan het toepassen van de verschillende producten binnen een kleine kringloop (ecosysteemdiensten)?*

Toepassing van maaisels in een kleine kringloop, kan leiden tot afnemende kosten van ecologisch beheer van bermen en bloemrijk grasland in de groenvoorziening en natuur, waardoor belemmeringen voor de

uitvoering van dit beheer kunnen worden weggenomen. Deskundigen schatten dat een belangrijk deel van het berm- en slootmaaisel blijft liggen, waardoor de ecologische kwaliteit van bermen veel lager is dan mogelijk (Spijker en Van der Zee, 2022).

Het voordeel van een kleine kringloop is milieukundig een verminderde hoeveelheid transport, waardoor er minder afstand met vrachtauto's gereden hoeft te worden. Een analyse van de effecten van de gehele kringloop staat nog op de rol van dit onderzoek, samen met het HBO-onderzoek dat in 2023 is gestart.

De landbouwkundige baten zijn nog niet helemaal duidelijk, want hangen af van de meerjarige effecten op de bodemkundige eigenschappen (organischestofgehalte, watervasthoudend en -opnemend vermogen). De proefveldresultaten geven hier al eerste aanwijzingen voor, maar bedacht moet worden dat een boer in zijn bedrijfsvoering de toepassing van organische bodemverbeteraars altijd zal combineren met andere inputs.

Met betrekking tot de ecologische baten kunnen we concluderen dat de (korte termijn) trends een indicatie geven voor veranderingen naar een duurzamer en stabiel ecosysteem op de langere termijn. Het is daarom van groot belang de proeven in de huidige vorm door te zetten in de resterende projectperiode.

4. *Wat zijn langetermijneffecten op de bodem van het direct aanwenden van maaisel op het land of in de vorm van producten als bokashi en (CMC) compost? Ook daarbij staan fysische, chemische en biologische aspecten centraal.*

Op basis van de humificatiecoëfficiënt kan berekend worden dat bij een uitgangssituatie van een bodem met 3% organische stof het gebruik van compost en bladbokashi (10 ton product per jaar) leidt tot een kleine (max. 0.5%) in toename van het gehalte aan organische stof. Gebruik van maaisel en bokashi van maaisel zou in dat geval leiden tot een netto afname (-0.5 tot -1%) van de voorraad aan organische stof doordat de in deze producten aanwezige koolstof minder stabiel is (noot: deze berekening is gedaan zonder rekening te houden met potentiële aanvoer via gewasresten of groenbemesters dan wel dierlijke mest). Dit dient echter verder onderbouwd te worden waarbij de netto verandering ook berekend moet worden voor een reële bedrijfsvoering. Ook zijn de metingen van de humificatiecoëfficiënt (voor producten en bodem) variabel en is meerjarig onderzoek (in 2023 en 2024) nodig om een betrouwbaarder schatting te maken van de variatie in de humificatiecoëfficiënt.

Langetermijneffecten voor de milieukwaliteit van de bodem (zie ook punt 7) lijken vooralsnog beperkt als het gaat om metalen, zout en/of residuen van bestrijdingsmiddelen. Gehalten aan overige verontreinigingen (o.a. PFAS, dioxines, PAKs, olie) zijn in geval van bokashi van maaisel vrijwel altijd laag of afwezig. In bladbokashi zijn incidenteel verhoogde gehalten aan PAKs of minerale olie vastgesteld. Het voorkomen van dergelijke verhoogde gehalten is onder meer afhankelijk van de hoeveelheid vuil die bij de bladverzameling mee verzameld wordt. Ook in een monster uit een zwaar industrieel beïnvloed gebied zijn duidelijk verhoogde gehalten aan onder meer olie, PFAS en minerale olie vastgesteld. Gebruik in de stad zelf (groenbeheer) of binnen de grenzen van het industriegebied, lijkt op grond van de samenstelling echter niet tot risico's te leiden, omdat er in de ontvangende bodem zelf ook al sprake is van verhoogde gehalten van deze stoffen.

Conclusies over de langetermijneffecten voor de bodembiologie en daarmee bodemkwaliteit van de ontvangende bodem zijn vooralsnog niet te trekken. Data uit het derde en vierde jaar (2023-2024) van het veldonderzoek, evenals een vergelijking met bestaande data moeten hier uitsluitsel over gaan geven.

5. *Zijn er verschillen in de hoeveelheid koolstof die wordt vastgelegd als gevolg van de bewerkingsmethode van de geselecteerde materialen (onbewerkt onderbrengen van maaisel, composteren of fermenteren?)*

Vooralsnog is er in de proefvelden en deelnemende pilots nog geen duidelijk meetbare trend waarneembaar in bodemkoolstof. Enerzijds omdat de uitgangssituatie, d.w.z. het organischestofgehalte in de bodem, in de meeste pilots voldoende tot hoog is en anderzijds omdat de hoeveelheid effectieve koolstof in de onderzochte producten binnen twee jaar niet aantoonbaar tot hogere gehalten kan leiden. Er zijn wel verschillen in de humificatiecoëfficiënten tussen een aantal producten vastgesteld, waarbij bokashi van blad en groencompost gemiddeld genomen een hoger aandeel effectieve organische stof hebben. De variatie in de

metingen van de HC tussen 2021 en 2022 is echter nog te groot om dit te vertalen naar mogelijke verschillen in de opbouw van bodemkoolstof op langere termijn.

6. *Wat is het effect op de nutriëntenbalans van de bodem (N, P, K, Mg, Ca)?*

Op dit moment zijn nog geen nutriëntenbalansen opgesteld. De gehalten aan N, P en K en Mg in bokashi op productbasis zijn iets lager dan die in compost (voor P, K en Mg) en vergelijkbaar voor N. Voor onbewerkt maaisel zijn deze iets lager. Het effect van de bodemverbeteraars op mineraal stikstof (nitraat en ammonium), gemeten tijdens een incubatie-experiment van 100 dagen, laat geen verhoogde nitraatgehalten (nitraatresidu) zien, maar eerder verlaagde nitraatgehalten (gemeten als N mineraal). Hierdoor is aannemelijk dat er geen nitraatuitspoeling optreedt in het eerste jaar na toepassing van de bodemverbeteraars. Hierdoor kunnen dergelijke materialen ook in de winter toegepast worden zonder risico op nitraatuitspoeling.²

7. *Wat is het effect op de aanwezigheid van zware metalen en arseen in de bodem (Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Hg, Zn en As), afhankelijk van de bewerkings- of toepassingsmethode?*

De gehalten aan metalen in bokashi en maaisel met toevoegingen zijn vergelijkbaar of iets lager (voor Cr, Pb en Ni) dan die in compost. Dit is echter deels het gevolg van de mindere mate van 'indikking' van bokashi ten opzichte van compost. Mede hierdoor voldoen vrijwel alle monsters aan de huidige eisen in de Meststoffenwet voor compost. Gebruik van bokashi in vergelijkbare doseringen als compost zal dus niet leiden tot afwijkende gehalten aan metalen in de bodem. Voor Cd en in mindere mate Zn is een aantal normoverschrijdingen van de Nederlandse normen voor compost geconstateerd. Dit betreft zonder uitzondering bokashi uit gebieden met verhoogde gehalten aan Cd en/of Zn in de bodem. Lokaal gebruik van dit materiaal heeft daarom geen negatief effect op de lokale bodemkwaliteit. Verschillen in bewerking (maaisel met toevoeging, onbewerkt, bokashi of compost) leiden niet tot wezenlijke verschillen in de belasting van de bodem.

8. *Wat zijn de emissies van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O) naar de lucht? Hoe groot is de emissie van de verschillende broeikasgassen van de verschillende bewerkingsmethoden?*

De emissie van broeikasgassen uit compostering valt onder emissies uit de sector energie, industrie en afval (code CRF 1.A.1.a) in IPCC statistiek (Honig et al., 2022). De emissies na toepassing in de bodem vallen onder de sector landbouw. Op dezelfde manier kan de emissie uit bokashi-hopen apart behandeld worden van de emissies na toepassing. Bij bokashi is het materiaal bedekt met plastic, zodat de emissie met name te verwachten is bij het openen van de bokashi-hoop. Door de anaerobe opslag wordt lachgas (N₂O) en mogelijk methaan (CH₄) verwacht. Daarom is de emissie van broeikasgassen bij bokashi mogelijk hoger dan bij composteren van hetzelfde uitgangsmateriaal. Initiële metingen in 2022 van onder meer N₂O, CH₄ en CO₂ tonen aan dat met name CH₄ en CO₂ aanwezig kunnen zijn in sterk verhoogde concentraties, maar ook dat de absolute concentraties zeer sterk variëren in tijd en ruimte. Metingen van N₂O zijn voornamelijk onbetrouwbaar. Voorlopig zijn op basis van de verzamelde data nog geen betrouwbare schattingen te maken over de verschillen in potentiële emissie tussen de bewerkingsmethoden.

9. *Zijn er met betrekking tot de onderzochte producten en hun bronmaterialen nog aanvullende zorgen, met name gericht op de aanwezigheid van chemische bestrijdingsmiddelen (bijv. azolen), microplastics en PFAS-verbindingen?*

Voor de chemische verontreinigingen geldt dat de gehalten laag (PFOA, PFOS, olie) tot niet detecteerbaar zijn (o.a. voor de meeste overige PFAS-verbindingen, dioxines en residuen bestrijdingsmiddelen). Gebruik van bokashi leidt voor deze stoffen dus niet tot risico's.

² In de Belgische mestwetgeving worden meststoffen met minder dan 15% minerale stikstof, en een som snel vrijkomende stikstof (na 112 dagen) plus minerale stikstof kleiner dan 30%, beschouwd als meststof waarvan slechts een beperkt gedeelte vrijkomt in het jaar van opbrenging. Dergelijke meststoffen, bijvoorbeeld compost, mogen op grond van dergelijke metingen het hele jaar door gebruikt worden.

In een klein aantal (5) monsters van blad en maaiselbokashi zijn azolen aangetroffen in lage gehalten (0.01-0.02 mg/kg droge stof). Lopend onderzoek naar de aanwezigheid en resistentie van de schimmel *Aspergillus fumigatus* moet uitwijzen of dergelijke lage gehalten aan azolen nog van invloed zijn op de resistentie. Dit wordt nader onderzocht en in de loop van 2023 gerapporteerd.

Literatuur

- Aarts, H. F. M., Verhoeven, J. T. W., de Ruijter, F. J., & Roelsma, J. (2011). Het benutten van maaisel van niet-agrarische grond (No. 445). PPO AGV. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/188286>
- Bakker, M. M., Ros, G. H., van Bodegom, P., Kok, D. J., & de Vries, W. (2020). Moet hergebruik van groenafval op akkerland gestimuleerd worden?: Een kritische evaluatie van gebruiksmogelijkheden. *Bodem*, 19-21.
- Bongers, T. (1988). *De nematoden van Nederland: een identificatietabel voor de in Nederland aangetroffen zoetwater- en bodembewonende nematoden*. Utrecht: Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging.
- Bovendeert, A.P.W. (2022). EINDRAPPORT - Pilot Organisch (rest) Materiaal Als Bodemverbeteraar - ONDERZOEK'. Agrarische Natuur Vereniging 'De Ommer Marke', 26pp.
- Butterbach-Bahl, K., Sander, B. O., Pelster, D., & Díaz-Pinés, E. (2016). Quantifying greenhouse gas emissions from managed and natural soils. In: *Methods for measuring greenhouse gas balances and evaluating mitigation options in smallholder agriculture* (pp. 71-96). Springer, Cham. DOI 10.1007/978-3-319-29794-1_4.
- Choi, J. M., & Nelson, P. V. (1996). Developing a slow-release nitrogen fertilizer from organic sources: II. Using poultry feathers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(4), 634-638.
- DHV (2010). Update of emission factors for N₂O and CH₄ for composting, anaerobic digestion and waste incineration, DHV 2010, final report, Amersfoort.
- Egene, C. E., Sigurnjak, I., Regelink, I. C., Schoumans, O. F., Adani, F., Michels, E., Sleutel, S., Tack, F.M.G., & Meers, E. (2021). Solid fraction of separated digestate as soil improver: implications for soil fertility and carbon sequestration. *Journal of Soils and Sediments*, 21(2), 678-688.
- Ehlert, P. A. I., Nelemans, J. A., & Velthof, G. L. (2012). Stikstofwerking van mineralenconcentraten: stikstofwerkingscoëfficiënten en verliezen door denitrificatie en stikstofimmobilisatie bepaald onder gecontroleerde omstandigheden (No. 2314). Alterra.
- Elsen, A. (2017) Vlaco viert 25 jaar 13 juni 2017
<https://vlaco.be/sites/default/files/generated/files/news/annemie-elsen.pdf>
- Groenigen, J. W. van, & Zwart, K. B. (2007). Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost: een laboratorium studie (No. 1503). Alterra, Wageningen.
- Honig, E., J.A. Montfoort, R. Dröge, B. Guis, C. Baas, B. van Huet, O.R. van Hunnik, A.C.W.M. van den Berghe (2022) Methodology report on the calculations of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste RIVM Report 2022-0001, Bilthoven. DOI 10.21945/RIVM-2022-0001.
- Houba, V. J. G., Van der Lee, J. J., & Novozamsky, I. (1997). Soil analysis procedures; other procedures (soil and plant analysis, part 5B), Wageningen Agricultural University.
- Houba, V. J. G., Temminghoff, E. J. M., Gaikhorst, G. A., & Van Vark, W. (2000). Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in soil science and plant analysis*, 31(9-10), 1299-1396.
- Iepema, G., E. Elferink, en M. Jelsma (2021). Resultaten onderzoek bokashi. Versie 1.1 Rapportage Hogeschool van Hall Larenstein, Leeuwarden, 85pp.
- Koopmans, G.F., Chardon, W.J., Dekker, P.H.M., Romkens, P.F.A.M., Schoumans, O.F., (2006). Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. *Soil Sci.* 171, 103-116.
- Krommweh, M. S., Schmithausen, A. J., Deeken, H. F., Büscher, W., & Maack, G. C. (2020). A new experimental setup for measuring greenhouse gas and volatile organic compound emissions of silage during the aerobic storage period in a special silage respiration chamber. *Environmental Pollution*, 267, 115513.
- Lazicki, P., Geisseler, D., & Lloyd, M. (2020). Nitrogen mineralization from organic amendments is variable but predictable. *Journal Environ. Quality* 49 (2) 483-495.
- Marcelis, L. F. M., Voogt, W., de Visser, P. H. B., Postma, J., Heinen, M., de Werd, H. A. E., & Straatsma, G. (2003). Organische stofmanagement in biologische kasteelt; chrysantenproef 2002 (No. 70). Plant Research International.
- Moolenaar, S.W., A.Veecken en R. Postma (2002). Toetsen en normeren stabiliteit van bodemverbeteraars. NMI Rapport 844.02

-
- ISO 10390 (2021). Bodem, slib en behandeld biologisch afval - Bepaling van de pH waarde. ISO, Geneva, Switzerland.
- NEN 5776 (2014). Bodem - Bepaling van ijzer, aluminium en fosfor in een ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract voor het vaststellen van de fosfaatverzadiging. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.
- NEN 5704 (1996). Bodem- Monstervoorbehandeling van grond -Extractie met een calciumchloride-oplossing (0,01 mol/l), Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.
- NEN-5754 (1992). Bodem: bepaling van het gehalte aan organische stof in grond volgens de gloeiverliesmethode. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.
- NEN-ISO 15923-1 (2013). Waterkwaliteit - Bepaling van de ionen met een discreet analysesysteem en spectrofotometrische detectie - Deel 1: Ammonium, chloride, nitraat, nitriet, ortho-fosfaat, silicaat en sulfaat. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.
- NEN-EN 14429 (2015). Karakterisering van afval - Uitloogproef - Invloed van pH op uitloging met initiële toevoeging van zuur/base. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.
- NVN-CEN/TS 17776 (2022). Organische en organominerale meststoffen - Bepaling van het organisch koolstofgehalte, CEN, Brussel, België.
- Novozamsky, I., V. J. G. Houba, R. Van Eck, and W. Van Vark (1983). A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Communications in soil science and plant analysis* 14 (3) 239-248.
- Pansu, M., & Thuriès, L. (2003). Kinetics of C and N mineralization, N immobilization and N volatilization of organic inputs in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 37-48.
- Porre, R. J., Westerik, D., Velthof, G., & Lesschen, J. P. (2022). Effecten van plantaardig digestaat op bodem, emissies en gewasopbrengst: Resultaten van een literatuurstudie, incubatieproef en potproef. Rapport 3191, Wageningen Environmental research, Wageningen.
- Regelink, I, Rietra, R.P.J.J. (2021). Fosfaatvormen in Compost en andere organische meststoffen; Rapport 3057, Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Regelink, I. C., Egene, C. E., Tack, F. M., & Meers, E. (2021). Speciation of P in solid organic fertilisers from digestate and biowaste. *Agronomy*, 11(11), 2233.
- Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg, en W. de Vries (2007). Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1442.
- Römkens, P.F.A.M. en J. Linders (2019). Bodem-, gewas- en ecologische kwaliteit IJperveld; Monitoringsresultaten 2015-2017. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2938.
- Van Schooten, H. A., & Philipsen, A. P. (2011). Effect van inkuilmanagement op emissie van broeikasgassen op bedrijfsniveau (No. 403). Wageningen UR Livestock Research.
- Spijker, J. H., Korthals, G. W., Rietra, R. P. J. J., Römkens, P. F. A. M., Timmermans, L., & Visser, J. H. M. (2022). *Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer Jaarrapportage 2021: Bokashi, lokale organische bodemverbeteraars en compost: chemische kwaliteit en effecten op micro-organismen in landbouwbodems*. Rapport 3163, Wageningen Environmental Research.
- Spijker, J. H., & van der Zee, F. F. (2022). Ecologisch bermbeheer: wenselijkheid en gebruik standaardbeheerovereenkomsten (No. 3198). Wageningen Environmental Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/577116>
- Schwertmann, U. (1964). Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraction mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 105 (3), 194-202.
- Spijker, J.H., Korthals, G.W., Rietra, R.P.J.J., Römkens, P.F.A.M., Timmermans, L., & Visser, J.H.M. (2022). *Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer Jaarrapportage 2021: Bokashi, lokale organische bodemverbeteraars en compost: chemische kwaliteit en effecten op micro-organismen in landbouwbodems*. (Rapport Wageningen Environmental Research; No. 3163). Wageningen Environmental Research.
- Van Bezooijen, J., & Ettema, C. (1996). Practicumhandleiding nematologie (gedeeltelijk herziene versie). Wageningen: Vakgroep Nematologie.
- Vanhoof, C., J. De Wit en K. Tire (2008). Proefronde stabiliteitsbepaling compost met respirometrische methode. Finaal rapport. Contract 071187-2008/MIM/R/016.
- Velthof, G. L., & Oenema, O. (2010). Estimation of plant-available nitrogen in soils using rapid chemical and biological methods. *Communications in soil science and plant analysis*, 41(1), 52-71.
- de Visser, P. H. B., Voogt, W., Assinck, F. B. T., Heinen, M., Postma, J., Amsing, J. J., Straatsma, G. & Marcelis, L. F. M. (2004). Organische stofmanagement in biologische kasteelt: resultaten paprikaproef en modellering stikstofdynamiek (No. 86). *Plant Research International (PRI)*.

Bijlage 1 Overzicht bodem-biologische en bodemvruchtbaarheids- bepalingen uitgevoerd in de veldproeven

PLFA's

PLFA is de afkorting voor Phospholipid derived Fatty Acids. Dit zijn vetzuren die de membranen vormen van alle levende cellen. Verschillende groepen organismen hebben verschillende PLFA's. Een dertigtal PLFA's wordt gebruikt als biomarkers voor de samenstelling van de microbiële gemeenschap (community structure), waarmee effecten van beheer zichtbaar worden gemaakt. Deze methode geeft informatie over relatieve hoeveelheden schimmels, bacteriën en actinomyceten. Bovendien wordt onderscheid gemaakt tussen saprotrofe schimmels (die kunnen leven op dood organisch materiaal) en mycorrhiza schimmels (die symbiotisch samenleven met plantenwortels). Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën die kunnen worden beschouwd als respectievelijk langzame en snelle groeiers.

Voor PLFA-analyses is een submonster van het veldverse grondmonster gedroogd (bij 40°C), geklapperd (om grovere stukken grond te homogeniseren), gemalen, zonder dat daarbij de textuurdelen intact blijven en gezeefd door een zeef van 2 mm (NPR-CEN-ISO/TS 29843-1 en CEN ISO/TS 29843-2). De extractie is uitgevoerd met vaste-fase-extractie, een extractiemethode waarmee op basis van fysische en chemische eigenschappen opgeloste stoffen vanuit de grond kunnen worden gescheiden. Daarna zijn de extracties doorgemeten met een GC-MS (Christie, 1989; Zelles, 1997). De kalibratie van de data is gebeurd met retentieoplossingen in drie concentraties. Specifieke fragmenten zijn gebruikt voor de bepaling van het type en hoeveelheid van de verschillende vetzuren (voor meer info zie Frostegård et al. (2011)).

Aaltjesgemeenschappen

Een submonster van 100 ml (120 g) verse grond werd gebruikt voor het bepalen van de samenstelling van de aaltjesgemeenschap (Lelystad en Hengelo) en de plant-parasitaire nematoden (Vredepeel). Dit submonster is over een 180 µm zeef gespoeld. Het op de zeef achtergebleven organisch materiaal (> 180 µm) is vier weken geïncubeerd bij 20°C om aanwezige eieren af te laten rijpen en uit te laten komen (incubatiemonster). De nematoden in de opgevangen suspensie (met deeltjes <180 µm) zijn vervolgens opgespoeld met een Oosterbrink-trechter en opgevangen op drie gestapelde 45 µm zeven. Het materiaal dat is opgevangen op deze zeven is drie dagen op een Torkfilter geïncubeerd bij 20°C, waarna de nematoden zijn afgetapt in 100 ml water (spoelmonster). De plant-parasitaire nematoden zijn zowel in het spoel- als in het incubatiemonster geteld, de milieuaaltjes alleen in het spoelmonster.

Het totale aantal nematoden in het spoelmonster is bepaald door uit de suspensie van 100 ml twee submonsters van 10 ml te tellen. De plant-parasitaire nematoden in deze twee submonsters zijn gedetermineerd tot op geslacht. In een op de vijf monsters is een determinatie tot op soort uitgevoerd voor de families Meloidogyne, Pratylenchidae en Trichodoridae.

Na het tellen van het totale aantal en de plantparasitaire nematoden werd de rest van het spoelmonster (80 ml) gefixeerd met TAF om de milieuaaltjes te kunnen determineren. TAF is een oplossing van 7,6 ml formaline (37% formaldehyde), 2,0 ml triethylamine en 90,4 ml gedestilleerd water (Van Bezooijen en Ettema, 1996). Hiertoe werden de nematoden in de watersuspensie eerst overgebracht in glazen potjes van 25-30 ml en 24 uur te bezinken gezet, waarna de bovenstaande vloeistof werd afgezogen tot 2 ml. Er werd 4 ml TAF van 90°C bij gepipetteerd en meteen daarna 4 ml TAF van 20°C. Bij een vergroting van 400-1000x werden willekeurig ca. 150 nematoden gedetermineerd tot op familie, geslacht of soort (Bongers, 1988). Dauerlarven werden wel geteld, maar niet meegerekend in het aantal te determineren nematoden.

Bodemvruchtbaarheid

Na de oogst (T-2) zijn alle veldjes nogmaals bemonsterd voor de bepaling van de belangrijkste aspecten van de bodemvruchtbaarheid. De bodemvruchtbaarheidsanalyse is uitgevoerd door Eurofins-Agro. Gekozen is

voor het pakket Bemestingswijzer. Tabel B1.1 geeft een overzicht van de chemische, fysische en biologische parameters die door Eurofins zijn bepaald en de gebruikte analysetechnieken.

Tabel B1.1 Overzicht van de door Eurofins gebruikte methodes voor bodemvruchtbaarheidsanalyse.

Element	Eenheid	Methode	Element	Eenheid	Methode
Stikstof-totaal	mg N/kg	Em: NIRS (TSC®)	C-organisch	%	Em: NIRS (TSC®)
C/N-ratio		afgeleide waarde	Organische stof	%	Em: NIRS (TSC®)
N-leverend vermogen	kg N/ha	afgeleide waarde	C-anorganisch	%	Em: NIRS (TSC®)
Zwavel-totaal	mg S/kg	Em: NIRS (TSC®)	Koolzure kalk	%	Em: NIRS (TSC®)
C/S-ratio		afgeleide waarde	Klei-humus (CEC)	mmol/kg	Em: NIRS (TSC®)
S-leverend vermogen	kg/ha	afgeleide waarde	Ca-bezetting	%	afgeleide waarde
P-beschikbaar (P-PAE)	mg P/kg	Em: CCL3(PAE®)	Mg-bezetting	%	afgeleide waarde
P-voorraad (P-AI)	mg P2O5/100gr	Em: NIRS (TSC®)	K-bezetting	%	afgeleide waarde
Pw	mg P2O5/L	afgeleide waarde	Na-bezetting	%	afgeleide waarde
K-getal		afgeleide waarde	Mg-beschikbaar	mg Mg/kg	Em: CCL3(PAE®)
K-beschikbaar (K-PAE)	mg K/kg	Em: CCL3(PAE®)	Na-beschikbaar	mgNa/kg	Em: CCL3(PAE®)
K-voorraad	mmol /kg	Em: NIRS (TSC®)	CEC-bezetting	%	afgeleide waarde
Ca-beschikbaar	kg Ca/ha	Em: NIRS (TSC®)	Microbiële biomassa	mg C/kg	Em: NIRS (TSC®)
Ca-bodemvoorraad	kg Ca/ha	Em: NIRS (TSC®)	Microbiële activiteit	mg N/kg	Em: NIRS (TSC®)
Zuurgraad (pH)		Em: PHC3:(Gw ISO 10390)	Schimmel biomassa	mg C/kg	Em: NIRS (TSC®)
Lutum		Em: NIRS (TSC®)	Bacterie biomassa	mg C/kg	Em: NIRS (TSC®)

Em: Eigen methode; Gw: Gelijkwaardig aan.

Gewasontwikkeling en opbrengst

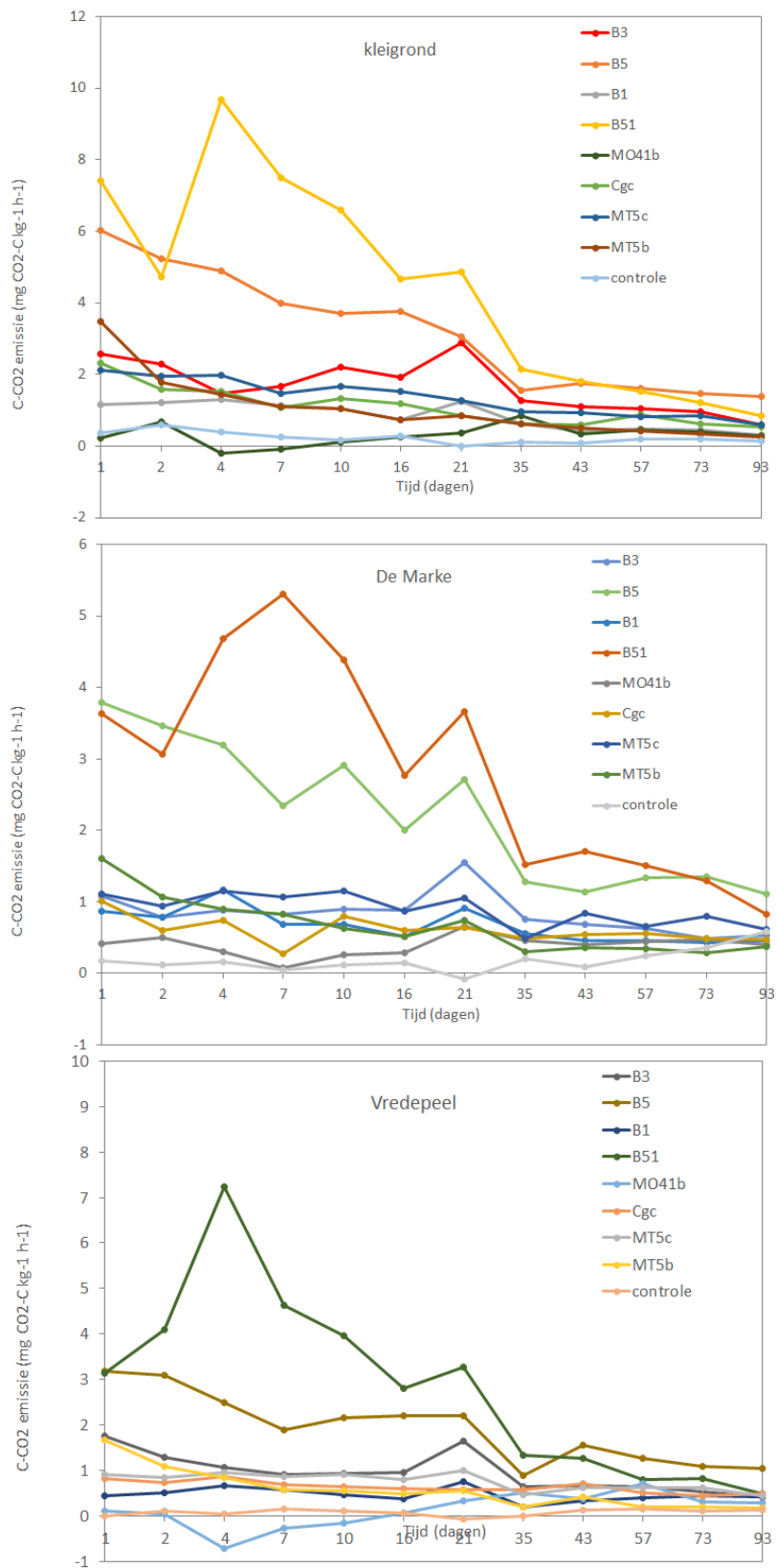
Een aantal weken na opkomst van de mais is een opkomstbeoordeling uitgevoerd en is het aantal planten per netto veld geteld. Gedurende het groeiseizoen is de gewasontwikkeling gevolgd door een aantal keer de gewashoogte te meten. Begin oktober is de mais geoogst en is de opbrengst bepaald. Per netto veld zijn het versgewicht en het drogestofgewicht gemeten. Van een selectie van objecten is de gewasinhoud (nutriëntensamenstelling) van het geoogste product bepaald. De gewasanalyse is uitgevoerd door Eurofins-Agro. In Tabel B1.2 zijn de elementen die gemeten zijn en de eenheden weergegeven. Op basis van gewasinhoud en drogestofproductie is de afvoer van nutriënten berekend.

Tabel B1.2 Overzicht van de elementen en de door Eurofins gebruikte analysemethoden, gewasanalyse mais.

Element	Eenheid	Methode
Droge stof	gr/kg	Em: GEWAS.OVB
N-totaal	gram/kg DS	Em: NIRS
Nitraat	gram/kg DS	Em: WTR1
Fosfor	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Kalium	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Zwavel	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Magnesium	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Calcium	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Mangaan	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Zink	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
IJzer	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Koper	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Kobalt	µg/kg DS	Em: SPZ2:(Cf NEN 17294-2)
Molybdeen	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Cf NEN 17294-2)
Borium	mg/gr DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Natrium	gram/kg DS	Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Chloor	gram/kg DS	Em: WTR1
Kation-verschil	meq	Berekende waarde

Em: Eigen methode; Gw: Gelijkwaardig aan.

Bijlage 2 CO₂-emissie gedurende incubatie-experimenten



Figuur B2.1 Gemiddelde CO₂-fluxen van de bodemverbetersaars gedurende de incubatieperiode.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3263
ISSN 1566-7197



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

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



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3263
ISSN 1566-7197

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

