

KENNISPROGRAMMA CIRCULAIR TERREINBEHEER

samenvatting van de belangrijkste onderzoeksresultaten
2021–2026



juni 2026

KENNISPROGRAMMA CIRCULAIR TERREINBEHEER

SAMENVATTING VAN DE BELANGRIJKSTE

ONDERZOEKSRESULTATEN (2021–2026)

Kunnen lokaal geproduceerde bodemverbeteraars veilig worden toegepast, en wat betekent dit voor bodem, gewassen en milieu? Deze vragen stonden centraal in het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer (CT, 2021-2026).

De antwoorden bieden inzicht in de samenstelling en het effect van de toepassing van producten van maaisel en blad als bodemverbeteraar. Voor ministeries vormen de resultaten belangrijke bouwstenen voor de ontwikkeling en uitvoering van beleid.

Deze samenvatting presenteert de eindresultaten en conclusies na ruim 5 jaar wetenschappelijk onderzoek door Wageningen University & Research, aangevuld met resultaten uit onderzoek van HAS Green Academy en Hogeschool Van Hall Larenstein. De uitgebreide WUR-resultaten worden later in 2026 gepubliceerd.

In deze samenvatting gebruiken we de term lokale bodemverbeteraars (LBV) als verzamelnaam voor bodemverbeteraars die lokaal worden gemaakt van lokaal aangevoerd maaisel of blad. Binnen het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer worden de volgende vormen onderscheiden:

- **Bokashi:** een voor Nederland relatief nieuwe bodemverbeteraar die ontstaat door een zuurstofloos fermentatieproces. Bokashi komt momenteel nog niet voor in wet- en regelgeving.
- **Lokale compost:** een organische bodemverbeteraar die lokaal wordt gemaakt via een gecontroleerd composteringsproces, zoals CMC-compost.
- **Maaisel met toevoegingen:** maaisel dat wordt gemengd met een toevoeging zoals Compost-O of BioTerra, en verder alleen wordt gekeerd als de hoop te warm wordt.
- **Onbewerkt maaisel:** maaisel dat niet wordt bewerkt tot bodemverbeteraar, maar vers wordt ondergewerkt in de bodem.
- **Groencompost:** een organische bodemverbeteraar die centraal en op grotere schaal wordt geproduceerd. De groencompost die in het Kennisprogramma wordt toegepast, voldoet aan de eisen van Keurcompost, klasse A.¹

1. Keurcompost is een kwaliteitskeurmerk voor compost, waarmee wordt geborgd dat het product voldoet aan de eisen uit de Meststoffenwet en aan de eisen die de markt stelt aan de landbouwkundige eigenschappen en plantgezondheid. De kwaliteitseisen voor de samenstelling zijn vastgelegd in de 'Beoordelingsrichtlijn Keurcompost', zie bijlage II.

BELANGRIJKSTE CONCLUSIES EN BEVINDINGEN

In het onderzoek van het CT-Kennisprogramma is vastgesteld dat lokaal geproduceerde bodemverbeteraars veilig zijn voor mens en milieu. Net als centraal geproduceerde groencompost voegen zij organische stof toe aan de bodem, wat belangrijk is voor het behoud en de verbetering van de bodemkwaliteit. Daarnaast werden positieve effecten gevonden op de bodemvruchtbaarheid en het bodemleven (micro-organismen en aaltjes). In de veldproeven zijn geen negatieve effecten op de bodemkwaliteit aangetoond.

- Na meerjarige toepassing van hoge doseringen (50 ton/ha) werden positieve effecten gevonden op de bodemvruchtbaarheid en het bodemleven: een licht maar significant hoger organisch stofgehalte op kleigrond, een gunstigere schimmel-bacterieverhouding, een toename van bacterie- en schimmel-etende aaltjes, een toename van wormenbiomassa, hogere nutriëntengehalten (zoals kalium, stikstof, magnesium en calcium) en een lagere bodemdichtheid. Bij lage doseringen (10 ton/ha) werden vaak vergelijkbare effecten gevonden die echter niet significant waren.
- Lokale bodemverbeteraars zijn primair gericht op bodemverbetering, niet op directe stikstof- of fosfaatlevering. De beschikbaarheid van stikstof en fosfaat op korte termijn is laag en vergelijkbaar met die van groencompost. Bij hoge doseringen leverden de bodemverbeteraars wel stikstof, maar niet genoeg voor een maximale gewasopbrengst. De opbrengsten lagen lager dan bij gangbare bemesting, maar hoger dan bij percelen zonder enige stikstofbemesting. Dit hangt samen met tijdelijke stikstofimmobilisatie: bij de afbraak van koolstofrijk materiaal onttrekken micro-organismen tijdelijk stikstof aan de bodem. In de proefopzet werd geen aanvullende stikstof toegediend. In de landbouwpraktijk gebeurt dat doorgaans wel, binnen de wettelijke gebruiksnorm.
- Vrijwel alle (94%) geanalyseerde lokale bodemverbeteraars voldeden aan de normen van de Meststoffenwet voor compost, voor wat betreft zware metalen, PAK's en bodemvreemde niet-biologisch afbreekbare materialen. Verhoogde gehalten zware metalen (cadmium, zink en nikkel) komen beperkt regionaal voor, maar vormen geen extra risico bij toepassing in de herkomstregio.

- Aanvullend is getoetst aan de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost: voor fysieke verontreinigingen voldeed 91% van de monsters, en in drie kwart van de monsters was de kiemkracht zeer laag of afwezig. De aanwezigheid van kiemkrachtige zaden in bokashi kan tot nul gereduceerd worden bij strikte uitvoering van het proces.
- Er is geen extra risico op verspreiding van azolen-resistente *Aspergillus fumigatus*.
- De meetperiode van vijf jaar is te kort voor betrouwbare uitspraken over langetermijneffecten op organische stof en waterbergend vermogen. Daarom is in het onderzoek met hogere doseringen gewerkt, om effecten te benaderen die bij lagere doseringen pas op langere termijn zichtbaar worden.

1 OVER HET CT-KENNISPROGRAMMA

Het CT-Kennisprogramma ontstond vanuit de behoefte aan wetenschappelijke onderbouwing voor het lokaal produceren en toepassen van maaisel en blad als bodemverbeteraar. De ministeries van LNV en IenW hadden inzicht nodig in een aantal cruciale kennisvragen, als basis voor eventuele aanpassingen van beleid en wet- en regelgeving.

Het CT-Kennisprogramma werd uitgevoerd door Wageningen University & Research (WUR), in opdracht van het ministerie van LNV, het ministerie van IenW, de topsector Deltatechnologie en PPS-partners. Om praktijkervaringen te integreren, waren 60 pilots bij het programma betrokken, waar lokaal geproduceerde bodemverbeteraars werden gemaakt en toegepast.² Daarnaast voerden HAS Green Academy en Hogeschool Van Hall Larenstein aanvullend onderzoek uit, vooral gericht op de effecten van bokashi in de bodem.

Voor de start van het Kennisprogramma stelden het programma Circulair Terreinbeheer (CT)³, WUR en de ministeries van IenW en LNV de belangrijkste onderzoeksvragen op, geprioriteerd naar hun relevantie voor het beleid.

Belangrijke onderzoeksvragen waren:

- Wat is de samenstelling van de lokaal gemaakte bodemverbeteraars, en zijn deze veilig voor mens en milieu?
- Wat zijn de effecten van het toepassen van de lokaal gemaakte bodemverbeteraars op bodem, bodemecologie en gewassen?
- Wat zijn de praktijkervaringen van de betrokken agrariërs, en wat zijn de economische aspecten van de werkwijze?

². Deze kregen een tijdelijke vergunning voor het lokaal bewerken van maaisel en blad voor bodemverbetering.

³. Het programma Circulair Terreinbeheer (CT) is in 2016 opgezet om te bevorderen dat grondstoffen die vrijkomen bij terrein- en waterbeheer hoogwaardig worden benut.

In het onderzoek ging veel aandacht uit naar bokashi, omdat dit een relatief onbekende bodemverbeteraar is die nog niet in wet- en regelgeving is opgenomen. Daarnaast werden onbewerkt maaisel, maaisel met toevoegingen, CMC-compost en groencompost onderzocht.

Op hoofdlijn bestond het onderzoek uit de volgende onderdelen:

- Onderzoek bij de betrokken pilots: dit omvatte chemische analyses van de lokaal geproduceerde bodemverbeteraars vóór toepassing door de deelnemende bedrijven, onderzoek naar effecten op de bodemkwaliteit (chemisch, biologisch en fysisch) en het verzamelen van praktijkervaringen. Bij tien pilots werd aan het einde van de proefperiode (2025) op praktijkschaal gekeken naar de effecten van vijf jaar toepassing van de bodemverbeteraars. Daarbij werden percelen mét en zonder toepassing met elkaar vergeleken.
- Veldproeven op WUR-proefterreinen: Op drie proefbedrijven (Lelystad, De Marke en Vredepeel) is systematisch onderzocht wat de effecten zijn van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars op gewasproductie, gewaskwaliteit, microbiologie, aaltjesgemeenschappen en bodemvruchtbaarheid. Deze effecten werden vergeleken met die van centraal geproduceerde groencompost en gangbare bemesting met drijfmest en kunstmest. De kunstmestgift varieerde daarbij van geen tot de maximaal toegestane hoeveelheid stikstof volgens de gebruiksnorm. De proeven vonden plaats binnen reguliere landbouwsystemen, inclusief gewasbescherming en grondbewerking.
- Aanvullende laboratoriumproeven: Onderzoek naar onder meer de stabiliteit van organische stof, emissie van CO₂ en N₂O, en de beschikbaarheid van stikstof en fosfor voor gewassen.

2 RESULTATEN EN CONCLUSIES

De onderzoeksresultaten zijn samengevat in twee delen:

Bescherming van mens en milieu

Dit deel richt zich op het veilig toepassen van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars. Hiervoor zijn drie aspecten onderzocht:



Milieukundige kwaliteit van de producten per pilot



Aanwezigheid van de schimmel *Aspergillus fumigatus* in een aantal geselecteerde producten



Kiemkracht van zaden in de bodemverbeteraars

Bodemverbetering en optimalisatie landbouwkundig gebruik

Dit deel gaat in op de bijdrage van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars aan het behouden en verbeteren van de bodemkwaliteit en de optimalisatie van landbouwkundig gebruik. Onderzochte factoren zijn:



Stabiliteit en afbraak van organische stof



Bodemleven



Beschikbaarheid van nutriënten en bodemvruchtbaarheid



Watervasthoudend vermogen en infiltratie

2.1 BESCHERMING VAN MENS EN MILIEU

In dit deel van het onderzoek werden lokaal geproduceerde bodemverbeteraars onderling vergeleken en daarnaast vergeleken met groencompost.



Milieukundige kwaliteit

Achtergrond:

In de Meststoffenwet zijn eisen opgenomen voor de samenstelling van compost, gericht op zware metalen, PAK's en de totale hoeveelheid bodemvreemde niet-biologisch afbreekbare materialen.

De Beoordelingsrichtlijn Keurcompost klasse A bevat aanvullende eisen, onder meer voor kiemkracht en de grootte van verontreinigende deeltjes (zie bijlage I).

Omdat lokaal geproduceerde bodemverbeteraars zoals bokashi niet specifiek in de wetgeving zijn opgenomen, werd de samenstelling van de onderzochte producten binnen het CT-Kennisprogramma getoetst aan zowel de Meststoffenwet als de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost klasse A.

CONCLUSIES: MILIEUKUNDIGE KWALITEIT

De veiligheid van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars voor mens en milieu is onderzocht op basis van de gehalten aan zware metalen, de aanwezigheid van fysieke verontreinigingen en, in een beperkt aantal monsters, organische contaminanten.

Vrijwel alle geanalyseerde monsters voldeden aan de normen van de Meststoffenwet en de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost klasse A.

Zware metalen: Met uitzondering van enkele monsters met verhoogde cadmium-, nikkel- en zinkgehalten, veroorzaakt door historische regionale bodemverontreiniging (in de Kempen, langs beken en uiterwaarden), voldeden de gehalten in de onderzochte monsters aan de eisen van de Meststoffenwet. Wanneer verhoogde gehalten voorkomen, vormt lokale toepassing geen extra risico, zolang de bodemverbeteraars in de regio van herkomst worden toegepast.

Fysieke verontreinigingen: 98% van de monsters bleef ruim onder de wettelijke limiet van 0,5 gewichtsprocent aan bodemvreemde, niet-biologisch afbreekbare materialen. Ook voldeed 91% van de monsters aan de normen van Keurcompost klasse A voor deeltjes tot 20 mm.

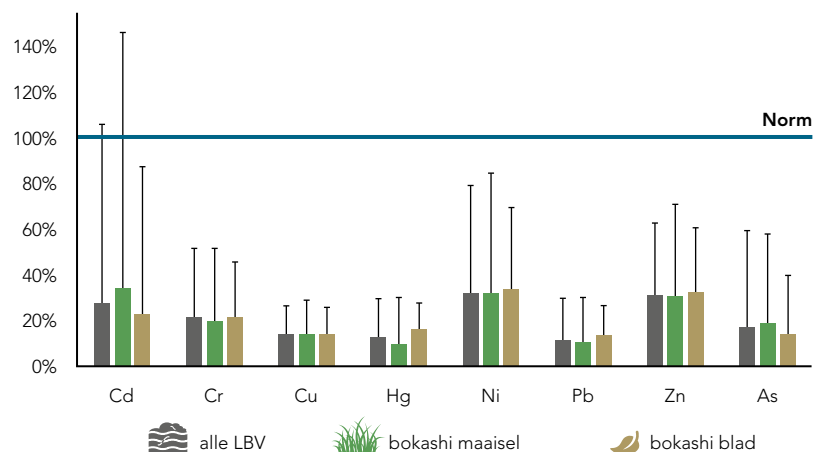
>>

In een deel van de monsters kwamen grotere verontreinigingen (>20 mm) voor. Het risico hiervan wordt in de praktijk echter als gering ingeschat. Daarbij is nog onduidelijk of de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost maatgevend moet zijn, of dat de criteria uit de Meststoffenwet voldoende zijn. Verspreiding kan eenvoudig worden voorkomen door maaisel of blad vooraf te schonen of verontreinigingen na toepassing te verwijderen. De CT Checklist Zorgplicht Maaisel en Blad biedt hiervoor praktische handvatten.

Resultaten in meer detail:

- **Zware metalen:** Voor zware metalen is de normering uit de meststoffenwetgeving identiek aan die voor Keurcompost A. Vrijwel alle 280 geanalyseerde monsters voldeden aan die normen. In een beperkt aantal monsters werden te hoge concentraties gemeten: cadmium in 6% van de monsters, nikkel en zink in respectievelijk 2% en 1%.

De verhoogde cadmiumgehalten hangen samen met de herkomst van het bronmateriaal uit de Kempen, dalen van de Roer of het Rijnmondgebied. In deze gebieden komen door historische vervuiling en natuurlijke variatie verhoogde cadmiumgehalten in de bodem voor, die gedeeltelijk door gras kunnen worden opgenomen. Zolang de bodemverbeteraars binnen de herkomstregio van het materiaal worden toegepast, vormen de verhoogde gehalten geen extra risico.

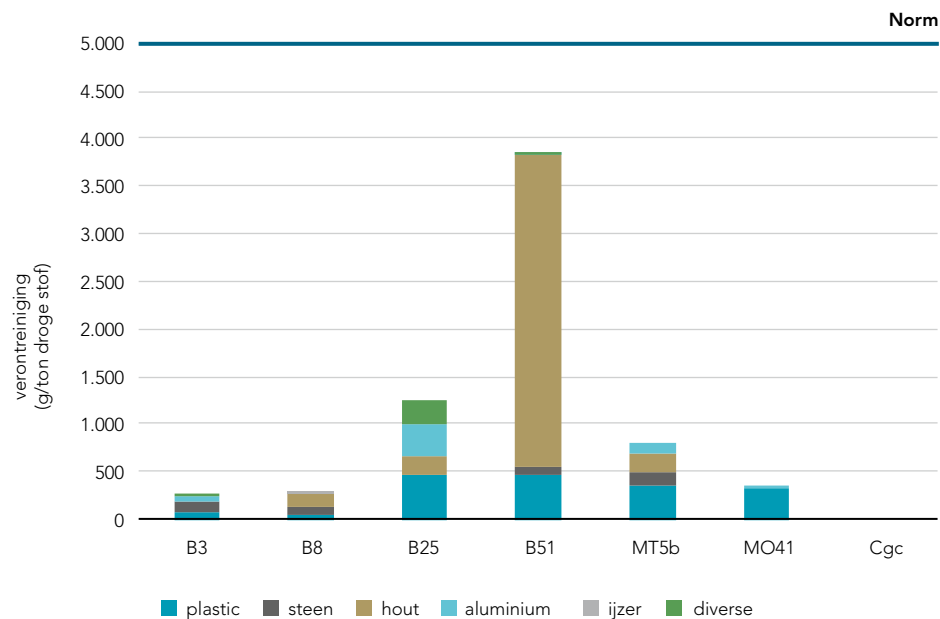


Relatieve gehalten aan zware metalen in lokale bodemverbeteraars ten opzichte van de norm voor Keurcompost klasse A. De lijn geeft de norm weer, genormaliseerd op 100%. De balken tonen de relatieve mediane gehalten per metaal ten opzichte van de norm; de verticale lijnen geven de 95^e percentielwaarde weer. Bron: Spijker et al., in prep. (bewerkt).

- **PAK's en PFAS:** PAK's en PFAS werden in 14 monsters onderzocht. De monsters voldeden aan de wettelijke kwaliteitseisen voor PAK's in organische meststoffen. Voor PFAS zijn er in Nederland nog geen specifieke normen vastgesteld. Om toch een referentiekader te hebben werd vergeleken met de Belgische normering voor meststoffen. Op basis van de Belgische norm werden de gemeten gehalten als laag beoordeeld. Eén monster vormde daarop een uitzondering; dit was afkomstig uit een zwaar geïndustrialiseerd gebied en werd lokaal toegepast op een toekomstig industrieterrein.

- **Fysieke verontreinigingen:** Volgens de mestwetgeving mag maximaal 0,5 gewichtsprocent aan bodemvreemde, niet biologisch afbreekbare delen aanwezig zijn. Van de in het laboratorium onderzochte monsters voldeed 98% hieraan. Voor de Keurcompost klasse A-normering wordt daarnaast een onderscheid gemaakt op basis van de grootte van verontreinigende deeltjes:

- **Deeltjes van 2 tot 20 mm:** 91% van de monsters voldeed aan de norm voor Keurcompost voor glas en overige verontreinigingen. Wel werd in 20% van de monsters van lokale bodemverbeteraars de norm voor Keurcompost voor steen (maximaal 1% steenachtige deeltjes groter dan 5 mm) overschreden.
- **Deeltjes groter dan 20 mm:** Volgens de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost mogen deze niet voorkomen. In 2023 en 2024 werden in veldproeven batches onderzocht op zichtbare verontreinigingen. In meerdere monsters uit de veldproeven werden grotere verontreinigingen aangetroffen. Het aantal deeltjes en het type varieerde sterk per bodemverbeteraar en per jaar, met materialen zoals plastic, hout en metaal (zie figuur op de volgende pagina). De risico's van deze deeltjes voor de bodemkwaliteit worden als gering ingeschat door hun aard en hoeveelheid. Ter bescherming van vee dient metaalafval te worden verwijderd. Verspreiding van fysieke verontreinigingen kan worden voorkomen door maaisel of blad vooraf te schonen, of door verontreinigingen na toepassing te verwijderen.



Fysieke verontreinigingen (deeltjes >20 mm) in verschillende bodemverbeteraars, uitgedrukt in gram per ton droge stof. De blauwe lijn geeft de wettelijke norm weer voor niet-biologisch afbreekbare bodemvreemde deeltjes (maximaal 0,5% in droge stof). B3 = Bokashi maaïsel, B8 = Bokashi blad, B25 = Bokashi blad, B51 = Bokashi maaïsel, MT5b Maaïsel met toevoegingen, MO41 = Onbewerkt maaïsel, Cgc = Gecertificeerde groencompost.



Aanwezigheid van de schimmel *Aspergillus fumigatus*

Achtergrond:

Aspergillus fumigatus is een schimmel die van nature groeit op dood plantenmateriaal, zoals hooi, compost en andere vormen van groen materiaal. De schimmel is meestal ongevaarlijk voor gezonde mensen, maar kan ernstige infecties veroorzaken bij mensen met verzwakte immuunsystemen of bepaalde longproblemen. In de landbouw worden tegen schimmelziekten zogenaamde azolen ingezet als gewasbeschermingsmiddel. Dit kan ertoe leiden dat *Aspergillus fumigatus* resistentie ontwikkelt, waardoor medische toepassingen van azolen bij mensen minder effectief kunnen worden. Medicijnen werken niet meer en infecties zijn moeilijker te bestrijden.

In het onderzoek werd daarom gekeken of de lokaal geproduceerde bodemverbeteraars hogere gehalten aan azoolresistente *Aspergillus fumigatus* bevatten dan bekende achtergrondniveaus in West-Europa.

CONCLUSIES: *ASPERGILLUS FUMIGATUS*

Lokaal geproduceerde bodemverbeteraars van maaïsel en blad worden door WUR-Genetica aangemerkt als een 'cold spot'. Dit betekent dat de bodemverbeteraars geen risico vormen voor de verspreiding van azoolresistente *Aspergillus fumigatus*.

De azoolresistente fractie van *Aspergillus fumigatus* in de lokaal geproduceerde bodemverbeteraars was zeer laag en lag op hetzelfde achtergrondniveau als in luchtmonsters in West-Europa.

Resultaten in meer detail:

- **Gehalten aan *Aspergillus fumigatus*:** Uit de analyses van bermmaaïsel en blad bleek dat de niveaus van *Aspergillus fumigatus* vergelijkbaar waren met die in ander organisch materiaal. Dit betekent dat er geen extra risico is op verspreiding van deze schimmel via deze groenstromen.
- **Invloed van de bewerking:** De manier waarop de groenstromen werden verwerkt tot bodemverbeteraars had geen merkbare invloed op de fractie die resistent is tegen azolen.
- **Gezondheidsrisico's:** Er is geen verhoogd gezondheidsrisico door de aanwezigheid van *Aspergillus fumigatus* in het maaïsel en blad dat wordt gebruikt voor lokaal geproduceerde bodemverbeteraars. Slechts 0–3% van de aangetroffen *Aspergillus fumigatus* was resistent tegen azolen, gelijk aan het achtergrondniveau in luchtmonsters in West-Europa.



Kiemkracht

Achtergrond:

Het productieproces van lokale bodemverbeteraars wijkt af van het gangbare composteerproces. Bij de productie van lokale bodemverbeteraars wordt doorgaans niet gedurende 72 uur een temperatuur boven 50°C bereikt, terwijl dit bij centraal geproduceerde groencompost een proceseis is. Andere processtappen, zoals het luchtdicht afsluiten bij bokashi, kunnen zorgen voor het afsterven van onkruidzaden. Een belangrijke vraag is daarom in hoeverre de kiemkracht van ongewenste plantensoorten, waaronder invasieve soorten, afneemt tijdens de productie van lokale bodemverbeteraars.

Voor biologische boeren is het risico van kiemkrachtige zaden een zorg, omdat zij geen chemische gewasbeschermingsmiddelen gebruiken om onkruid te bestrijden. Voor veel gangbare boeren is dit doorgaans een minder groot probleem, omdat zij wel chemische onkruidbeheersing toepassen.

CONCLUSIES: KIEMKRACHT EN ONKRUIDZADEN

De kiemkracht van onkruidzaden in lokaal geproduceerde bodemverbeteraars varieert, maar is over het algemeen laag: 0 tot 1 zaad per liter.⁴ Er bestaat wel grote variatie tussen de onderzochte monsters, waarbij de hoogste kiemkracht werd gemeten in onbewerkt maaisel. Bij correct geproduceerde bokashi kan de kiemkracht in veel gevallen tot nul worden teruggebracht.

Resultaten in meer detail:

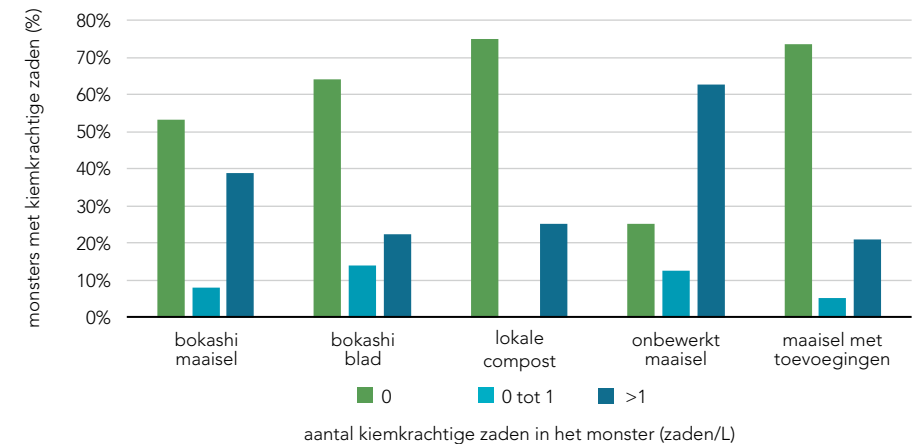
Uit het onderzoek bleek dat de kiemkracht van onkruidzaden in lokaal geproduceerde bodemverbeteraars varieerde:

- **Resultaten praktijkpilots:** In 71% van de monsters van lokaal gemaakte bodemverbeteraars werd geen of een zeer lage kiemkracht gemeten: 0 of 1 zaad per liter. In de overige monsters varieerde de kiemkracht en waren er enkele uitschieters, vooral in onbewerkt maaisel. In groencompost werden geen kiemkrachtige zaden aangetroffen. Er is niet onderzocht of de monsters met hoge kiemkracht afkomstig waren van niet goed afgesloten bokashi-bulten. Onderzoek van Hogeschool Van Hall Larenstein toonde wel aan dat bij correct afgesloten bokashi-bulten vrijwel geen kiemkracht overblijft.

4. Ter vergelijking: in groencompost zijn volgens de eisen van Keurcompost klasse A geen kiemkrachtige zaden toegestaan (norm: 0 zaden per liter).

Aanvullend experimenteel werk door Hogeschool Van Hall Larenstein:

Kiemproeven lieten een beperkte kieming van melganzenvoetzaad zien aan de buitenkant van de bokashibult. Zaden uit het midden van de hoop kiemden niet, vermoedelijk door de sterk anaerobe omstandigheden. Laboratoriumproeven met bokashi gemaakt van ridderzuring, jacobskruiskruid en Japanse duizendknoop toonden geen ontkieming. Dit werd na 21 dagen ook bevestigd in een praktijkproef.



Kiemkracht van onkruidzaden in lokaal gemaakte bodemverbeteraars. De groene balken tonen het percentage monsters per producttype zonder kiemkrachtige zaden (0 zaden/liter). De lichtblauwe balken geven het aandeel monsters met maximaal 1 kiemkrachtig zaad per liter. De donkerblauwe balken tonen het aantal monsters met meer dan 1 kiemkrachtig zaad per liter.

2.2 BODEMVERBETERING EN OPTIMALISATIE LANDBOUWKUNDIG GEBRUIK

In dit deel van het onderzoek werden behandelingen met lokaal geproduceerde bodemverbeteraars onderling vergeleken en daarnaast met groencompost en een referentiebehandeling met gangbare bemesting (drijfmest en kunstmest).



Stabiliteit en afbraak van organische stof

Organische stof in de bodem bestaat ruwweg uit twee fracties: de organische stof die binnen een jaar afbreekt (ook wel labiele koolstof genoemd) en stabiele organische stof (ook wel effectieve organische stof genoemd). Beide fracties spelen een belangrijke rol in de bodem. Labiele organische stof wordt in de bodem snel afgebroken door micro-organismen⁵ en levert daardoor direct beschikbare voeding voor het bodemleven en planten. Stabiele organische stof daarentegen bestaat uit moeilijker afbreekbare verbindingen. Deze dragen juist bij aan het verbeteren van de bodemstructuur door de vorming van aggregaten, kleine klontjes die de porositeit vergroten. Dit helpt de bodem om zowel meer water vast te houden bij droogte als water beter door te laten bij een overschot, wat essentieel is voor de bodemkwaliteit. Het proces waarbij stabiele organische stof wordt opgebouwd in de bodem verloopt echter traag.

Tijdens het maken van compost verteren micro-organismen tot wel 50% van de organische stof in de composthoop dankzij de aanwezigheid van zuurstof. Bij bokashi blijft door de zuurstofloze omstandigheden veel van deze labiele organische stof behouden tijdens het fermentatieproces. De afbraak van de labiele organische stof in bokashi vindt daarom vooral plaats nadat de bokashi op de bodem is aangebracht.

Voor een vitale bodem is het van groot belang dat het organisch stofgehalte op peil blijft. Zonder toevoeging van extra organische stof zal het gehalte door voortdurende afbraak dalen en de bodemkwaliteit verslechteren. Het toepassen van lokale bodemverbeteraars draagt daarom, net als groencompost, bij aan het behoud van de bodemkwaliteit.

⁵. Binnen het Kennisprogramma wordt één jaar gehanteerd, zoals gangbaar voor effectieve organische stof.

CONCLUSIES: ORGANISCHE STOF

Bokashi en zowel bewerkt als onbewerkt maaisel bevatten meer snel afbreekbare (labiele) organische stof dan groencompost.⁶ Groencompost bestaat uit een groter deel stabiele organische stof.

Na ruim vijf jaar gebruik van lokale bodemverbeteraars en groencompost waren in de veldproeven de eerste effecten op het organisch stofgehalte meetbaar. Op kleigrond nam het gehalte bij hoge dosering (jaarlijks 50 ton per hectare van bokashi of compost) licht maar significant toe ten opzichte van de referentie. In de zandgronden, die bij aanvang van het onderzoek al een hoger organisch stofgehalte hadden, bleef ook bij hoge dosering het gehalte gelijk. Dit resultaat komt overeen met eerder meerjarig onderzoek naar veranderingen in bodemkoolstof in zandgronden. Om de langetermijnbijdrage wetenschappelijk vast te stellen, is een langere onderzoeksperiode nodig.

Resultaten in meer detail:

- **Stabiele organische stof in de bodemverbeteraars:** Uit laboratoriumproeven op een beperkt aantal locaties, met dezelfde materialen als in de veldproeven, bleek dat bokashi van grasmaaisel iets minder stabiele organische stof bevatte dan groencompost⁷. Bladbokashi en maaisel uit natuurerreinen bleken relatief rijk aan stabiele organische stof, met gehalten die vergelijkbaar waren met die in groencompost.
- **Organische stof in de bodem na vijf jaar:** Het organisch stofgehalte in kleigrond nam licht maar significant toe na het aanbrengen van bokashi en groencompost bij een dosering van 50 ton per hectare. In de zandgronden bleef het gehalte gelijk. Bij nader onderzoek op elf daarvoor geselecteerde pilotlocaties zijn behandelde en onbehandelde bodems met elkaar vergeleken. Op de behandelde locaties werd meer bodemorganische stof gemeten.

⁶. Zie volgende paragraaf voor het effect van labiele organische stof als voedingsbron voor bodemorganismen.

⁷. De stabiliteit van organische stof wordt uitgedrukt in de humificatiecoëfficiënt (HC): een maat voor het aandeel organische stof dat na één jaar nog in de bodem aanwezig is. Bokashi van grasmaaisel scoorde HC 78-88% (drie locaties), groencompost HC 93-96% (één locatie), bladbokashi HC 85-97% (één locatie) en maaisel uit natuurerrein St. Jansklooster HC 56-91%.



Bodemleven

Achtergrond:

Het bodemvoedselweb bestaat uit een grote diversiteit aan bodemorganismen. De basis wordt gevormd door micro-organismen zoals bacteriën en schimmels. Zij spelen een cruciale rol bij de vertering van organische stof, waarbij ze voedingsstoffen vrijmaken voor planten en ander bodemleven.

Bacteriën zijn vooral actief bij de snelle afbraak van gemakkelijk afbreekbaar materiaal, terwijl schimmels zorgen voor een langzamere afbraak van moeilijker verteerbaar materiaal. Mycorrhiza-schimmels vormen een bijzondere groep schimmels die plantenwortels helpen bij het opnemen van water en voedingsstoffen, in ruil voor suikers die de plant produceert. Daarnaast dragen micro-organismen bij aan de bodemstructuur. Bacteriën produceren slijmstoffen die bodemdeeltjes aan elkaar hechten, en schimmeldraden verbinden deze structuren verder. Een hogere schimmel-bacterieverhouding wordt in het algemeen gunstig beoordeeld voor het microbiologisch functioneren van de bodem.

Naast micro-organismen vormen aaltjes een belangrijke schakel in het bodemvoedselweb. Plant-parasitaire aaltjes kunnen schadelijk zijn voor gewassen, terwijl aaltjes die bacteriën en schimmels eten vaak samenhangen met een gezond bodemvoedselweb.

CONCLUSIES: BODEMLEVEN

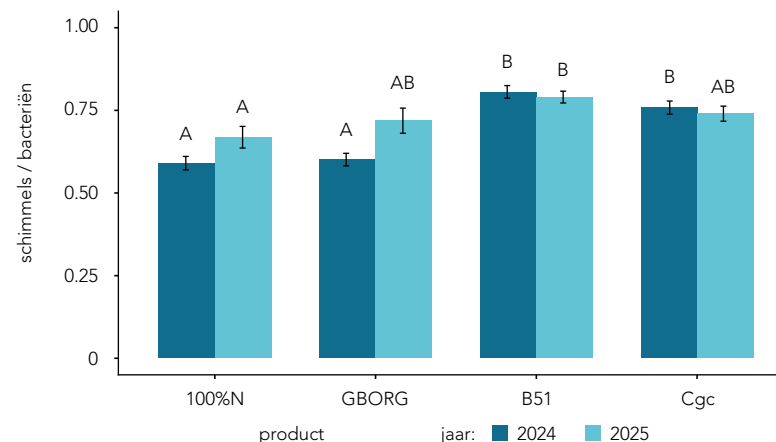
Na meerdere jaren toepassing van hoge doseringen lokale bodemverbeteraars of groencompost werden veranderingen in het bodemleven waargenomen. De verhouding tussen schimmels en bacteriën in de bodem verschoof in het voordeel van de schimmels. Ook het aandeel mycorrhiza-schimmels nam toe. Lage doseringen gaven minder duidelijke effecten.

Aaltjesgemeenschappen bleken gevoeliger voor veranderingen in beheer en bodemtoestand dan micro-organismen. Vooral de aantallen aaltjes die bacteriën en schimmels eten namen toe op momenten waarop tijdelijk meer voedsel in de bodem beschikbaar was.

De praktijkpilots lieten dezelfde algemene trend zien als de veldproeven, ondanks grote variatie tussen locaties. De verschillen tussen bodemverbeteraars bleven daarbij beperkt.

Resultaten in meer detail:

- **Micro-organismen:** In de proeven werd zowel gekeken naar verschillen tussen jaren als naar schommelingen binnen het groeiseizoen. Bij aardappel (2024) en suikerbiet (2025) was de microbiële activiteit bij bokashi en compost over het algemeen hoger dan bij de referentiebehandelingen met kunstmest en drijfmest. De verschillen waren echter meestal niet significant. Binnen de teeltseizoenen kwamen twee pieken in microbiële activiteit voor, in april en juni. De aprilpiek hing waarschijnlijk samen met grondbewerking en de start van de nieuwe teelt; de junipiek met de gewasgroei en hogere fotosynthetische activiteit. Op enkele meetmomenten was de schimmel-bacterieverhouding bij bokashi en compost significant hoger dan bij de referentiebehandelingen. Dit wijst op een relatief groter aandeel schimmels, mogelijk door een hoger aanbod aan complexere organische stoffen.

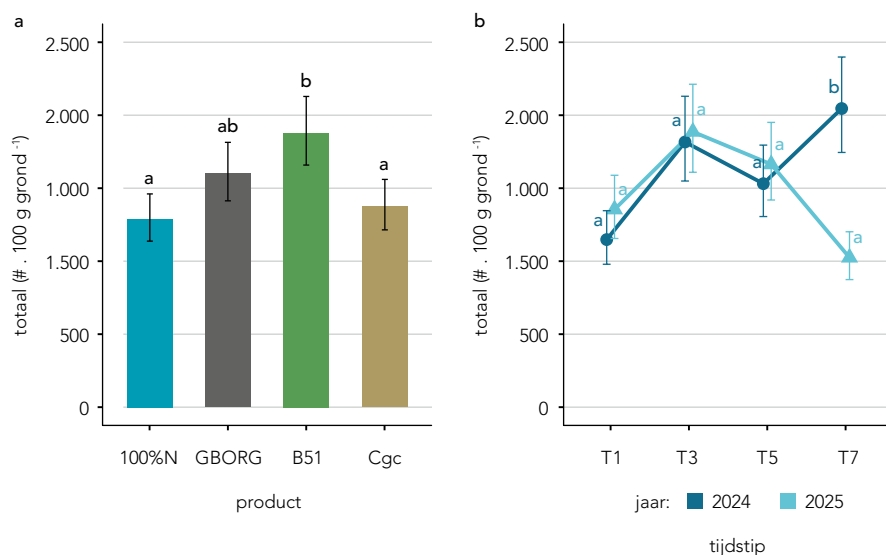


Verhouding tussen schimmels en bacteriën in de bodem bij verschillende behandelingen in 2024 (aardappel) en 2025 (suikerbiet) op proeflocatie Vredepeel. Een hogere waarde betekent relatief meer schimmels ten opzichte van bacteriën. 100%N is de referentiebehandeling met een stikstofgift volgens de gebruiksnorm. GBORG staat voor gangbare bemesting met organische mest en kunstmest. B51 staat voor een bokashi van maaisel (50 ton/ha) en Cgc is een compostbehandeling (50 ton/ha). De foutbalken geven het betrouwbaarheidsinterval weer. De letters boven de balken geven aan welke behandelingen significant van elkaar verschillen.

- **Milieuaaltjes:** Aaltjesgemeenschappen bleken gevoeliger voor de behandelingen dan micro-organismen. Na toepassing van bokashi was het totale aantal aaltjes significant hoger dan bij de referentiebehandelingen met kunstmest en groencompost. Het totale aantal aaltjes verschilde op de meeste meetmomenten niet significant tussen 2024 en 2025, maar aan het einde van het seizoen was het aantal in 2025 lager dan in 2024.

Midden in het groeiseizoen kwamen sommige groepen aaltjes in hogere aantallen voor. Dit betrof vooral aaltjes die bacteriën en schimmels eten. Dit wijst erop dat er tijdelijk meer voedsel in de bodem beschikbaar was.

De duidelijkste effecten van het gewasstype, aardappel of suikerbiet, werden gevonden bij plant-parasitaire aaltjes, die afhankelijk zijn van het gewas als voedselbron.



Totaal aantal aaltjes in de bodem op proeflocatie Vredepeel: a) na toepassing van verschillende behandelingen en b) op verschillende meetmomenten in 2024 en 2025. De onderzochte behandelingen waren bokashi (B51, 50 ton/ha), compost (Cgc, 50 ton/ha), gangbare bemesting met organische mest en kunstmest (GBORG) en een stikstofgift volgens de gebruiksnorm (100%N). De foutbalken geven het betrouwbaarheidsinterval weer. De letters boven de balken geven aan welke behandelingen significant van elkaar verschillen.

- **Wormen:** Uit een praktijkproef van Hogeschool Van Hall Larenstein bleek dat het aantal wormen na het aanbrengen van bokashi niet significant veranderde. De biomassa nam echter wel toe: de wormen werden zwaarder. Het aandeel strooiselwormen nam af, terwijl het aantal bodemwormen en pendelaars toenam. Op maisland was dit effect niet zichtbaar.
- **Praktijkpilots bodemleven:** In 2025 werden bij elf locaties verspreid over Nederland metingen uitgevoerd aan het bodemleven in praktijkpilots met en zonder toepassing van lokale bodemverbetersaars.

De eerste resultaten lieten een grote variatie zien tussen de locaties. Ondanks deze variatie kwam in de praktijkpilots hetzelfde beeld naar voren als in de veldproeven, waar bokashi en compost werden vergeleken met gangbare bemesting met kunstmest en drijfmest. De microbiële activiteit was bij bokashi meestal hoger, al waren de verschillen vaak niet significant. De schimmel-bacterieverhouding was in de meeste gevallen significant hoger in de percelen met bokashi.



Beschikbaarheid van nutriënten en bodemvruchtbaarheid

Achtergrond:

De werkingscoëfficiënt van stikstof (N) en fosfor (P) in bodemverbeteraars geeft aan welk deel van deze voedingsstoffen beschikbaar komt voor planten of door hen worden opgenomen. Dit is relevant bij de beoordeling van bodemverbeteraars binnen de mestwetgeving.⁸

Een belangrijke factor hierbij is de verhouding tussen koolstof en stikstof (C/N-verhouding) in de bodemverbeteraar, die de snelheid van stikstofvrijgave beïnvloedt.

Bodemverbeteraars met een lage C/N-verhouding (< 15 – 20) breken sneller af, waardoor stikstof eerder beschikbaar komt. Bij een hoge C/N-verhouding (>20), zoals bij de meeste vormen van bokashi, verloopt de afbraak trager. Dit kan leiden tot stikstofimmobilisatie, doordat de micro-organismen tijdens de afbraak van organische stof stikstof uit de bodem opnemen. Daardoor is deze tijdelijk niet beschikbaar voor landbouwgewassen. Later kan deze deels weer vrijkomen.

CONCLUSIES: BESCHIKBAARHEID VAN NUTRIËNTEN EN BODEMVRUCHTBAARHEID

De beschikbaarheid van stikstof en fosfaat uit bokashi is op korte termijn beperkt en vergelijkbaar met die van groencompost. Slechts een klein deel van de aangevoerde stikstof komt binnen één jaar beschikbaar voor gewassen.

Bij bodemverbeteraars met een hoge C/N-verhouding kan tijdelijk stikstof-immobilisatie optreden, waardoor stikstof minder beschikbaar is voor gewassen.

Na meerjarige toepassing van bokashi en compost werden hogere gehalten van diverse nutriënten en bodemparameters gemeten ten opzichte van de referentiebehandelingen. Tegelijkertijd waren de gewasopbrengsten bij de onderzochte hoge doseringen bokashi en compost lager dan bij de referentiebehandelingen. Dit hing samen met een stikstoftekort, deels door stikstofimmobilisatie en deels doordat in de proefopzet geen aanvullende stikstof werd toegediend.

Bodemverbeteraars worden primair toegepast om het organische stofgehalte en het bodemleven op peil te houden of te verbeteren. In de praktijk kan bij toepassing van grote hoeveelheden organisch materiaal met een hoge C/N-verhouding aanvullende stikstofbemesting nodig zijn. De interactie tussen bodemverbeteraars en aanvullende bemesting werd binnen het kennisprogramma niet onderzocht.

8. De wettelijke limieten voor meststoffen zijn vastgelegd in de Meststoffenwet en de bijbehorende "Lijst van Werkingscoëfficiënten", beschikbaar via de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Resultaten in meer detail:

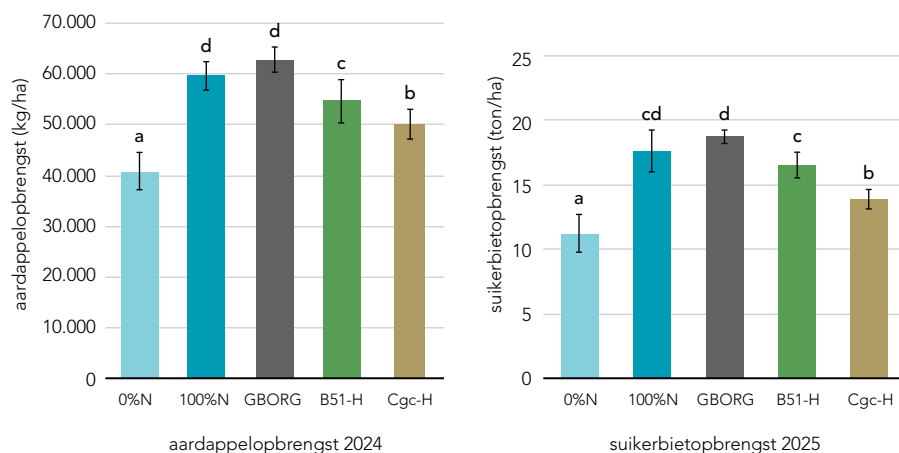
- **Stikstof:** In veldproeven van 2021 tot en met 2023 is onderzocht hoeveel van de aangevoerde stikstof daadwerkelijk beschikbaar kwam voor gewassen bij een dosering van 10 ton/ha. Bij bokashi van grasmaaisel, afkomstig van drie pilots, varieerde de stikstofwerking tussen 6% en 33% van de totale aangevoerde stikstof. Bladbokashi had een stikstofwerking van -2%, terwijl de referentiecompost uitkwam op 2%.

Bij bodemverbeteraars met een hoge C/N-verhouding (>20), zoals bij de meeste vormen van bokashi, trad stikstofimmobilisatie op in incubatie-experimenten.

Na vijf jaar bemesting met organische bodemverbeteraars werd in het voorjaar van 2025 een incubatieproef uitgevoerd met enkele grondmonsters uit de veldproeven. Hieruit bleek dat hoge giften groencompost en bokashi leidden tot een lichte toename van mineraliseerbaar stikstof (15-24 kg N per ha) in respectievelijk Vredepeel en Lelystad. Deze extra hoeveelheid stikstof kan gedurende het seizoen gedeeltelijk beschikbaar komen voor gewassen.

- **Fosfaat:** Net als bij groencompost komt er uit lokale bodemverbeteraars op korte termijn minder dan vijf procent van het aanwezige fosfaat beschikbaar voor gewassen.
- **Bodemvruchtbaarheid:** Na de oogst van aardappel (2024) en suikerbiet (2025) werd de bodemvruchtbaarheid gemeten. In de bodems die gedurende meerdere jaren hoge doseringen bokashi en compost ontvingen, waren de gehalten van diverse nutriënten en de waarden van bodemparameters significant hoger dan bij de referentiebehandelingen met kunstmest en drijfmest. Dit betrof onder meer kalium, stikstof, plantbeschikbare zwavel, magnesium, calcium, silicium, borium, CEC, pH en organische koolstof.
- **Gewasopbrengsten:** In 2024 bij aardappel en in 2025 bij suikerbiet waren de gewasopbrengsten bij de onderzochte hoge doseringen bokashi en compost significant lager (10-20%) dan bij de referentiebehandelingen met 100% kunstmest en drijfmest. In de proefopzet werd bij bokashi en compost bewust geen aanvullende stikstof toegediend. Omdat er ook een onbemeste behandeling (met 0% stikstof) was, kan worden geconcludeerd dat dit verschil veroorzaakt is door een stikstoftekort. Daarnaast kan het toegenomen bodemleven extra stikstof hebben geïmmobiliseerd tijdens de afbraak van organische stof. Wel waren de opbrengsten van aardappel en suikerbiet steeds significant hoger dan bij de onbemeste behandeling.

Zonder aanvullende bemesting was de nalevering van stikstof uit de jaarlijks toegepaste organische bodemverbeteraars daarom onvoldoende voor maximale gewasopbrengsten. In de gangbare landbouwpraktijk wordt bemest tot de gebruiksnorm, waardoor zulke tekorten niet zullen optreden.



Aardappelopbrengst in 2024 (links) en suikerbietopbrengst in 2025 (rechts) op Vredepeel. 0%N is de referentiebehandeling zonder stikstofbemesting. 100%N is de referentiebehandeling met een stikstofgift volgens de gebruiksnorm. GBORG staat voor gangbare bemesting met organische mest en kunstmest. B51-H is een bokashi van maaisel (50 ton/ha) en Cgc-H een compostbehandeling (50 ton/ha). De foutbalken geven het betrouwbaarheidsinterval weer. De letters boven de balken geven aan welke behandelingen significant van elkaar verschillen.



Watervasthoudend vermogen en infiltratie

Achtergrond:

Het vermogen van de bodem om water op te nemen en door te laten, wordt aangeduid als de infiltratiecapaciteit. Het waterbergend vermogen van de bodem verwijst naar het vermogen van de bodem om water vast te houden en beschikbaar te stellen voor planten. Beide factoren zijn cruciaal om schade door droogte of overmatig water te voorkomen. Organische stof kan hierbij een rol spelen, onder andere via de bodemstructuur. Een organisch rijke bodem met een goede structuur helpt bovendien bij het voorkomen van erosie, bodemdegradatie en wateroverlast benedenstrooms.

CONCLUSIES: WATERVASTHOUDEND VERMOGEN EN INFILTRATIE

Meerjarige toepassing van bodemverbeteraars leidde tot een lagere bodemdichtheid. Een aantoonbaar effect op het watervasthoudend vermogen of de infiltratiesnelheid werd in de veldproeven niet gevonden. Mogelijk komt dit door een te korte onderzoeksperiode. In de pilots bleek de bodem van behandelde locaties in natte omstandigheden meer water vast te houden dan die van onbehandelde locaties.

Resultaten in meer detail:

De bulkdichtheid was lager bij behandelde bodems, zowel in de veldproef als bij de pilots. Verschillen tussen de onderzochte behandelingen waren niet significant. Na vier jaar toepassing werd geen significant effect op het watervasthoudend vermogen gemeten in de proefvelden.

Het aanbrengen van bokashi als mulchlaag op de bodem had binnen een half jaar geen aantoonbaar effect op de infiltratiesnelheid. Bij de pilots werd onder natte omstandigheden (pF2) wel een hoger watervasthoudend vermogen gemeten dan bij de referentielocaties, wat erop wijst dat behandelde bodems bij wateroverschot iets beter water vasthouden.

3 TOT SLOT

Resultaten van het vijfjarig Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer tonen aan dat lokaal geproduceerde bodemverbeteraars zoals bokashi, maaisel met toevoegingen en CMC-compost veilig zijn voor mens en milieu. Net als groencompost leveren de lokaal gemaakte producten een belangrijke bijdrage aan het op peil houden van het organische stofgehalte en het bodemleven. Dit is essentieel voor het behouden of verbeteren van de bodemkwaliteit.

De effecten zijn sterk afhankelijk van product, dosering, grondsoort en seizoen, en vijf jaar is te kort voor betrouwbare uitspraken over langetermijneffecten. Daarnaast zou het moment van toediening invloed kunnen hebben op de bodem en het gewas. In dit onderzoek werden lokale bodemverbeteraars toegepast in het voorjaar, terwijl ook toepassing in het najaar mogelijk is. Verdere monitoring is daarom wenselijk. De resultaten van dit kennisprogramma vormen belangrijke bouwstenen voor nieuw beleid voor het lokaal produceren en toepassen van bodemverbeteraars.



BIJLAGE I

EISEN AAN COMPOST UITVOERINGSBESLUIT MESTSTOFFENWET

Wettelijke eisen, conform Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, geldend van 01-01-2024 t/m heden.⁹

Artikel 17

1. Compost bevat geen biologisch afbreekbare delen met een diameter groter dan 50 millimeter en niet meer dan 0,5 gewichtsprocent aan bodemvreemde niet-biologisch afbreekbare delen.
2. Compost bevat ten minste tien gewichtsprocenten organische stof van de droge stof.
3. Het is uitsluitend toegestaan om bij de bereiding van compost bodembestanddelen te gebruiken, indien dit betreft grond als bedoeld in artikel 1 van het Besluit bodemkwaliteit, die voldoet aan de kwaliteitseisen voor grond die gelden voor de kwaliteitsklasse landbouw/natuur als bedoeld in artikel 25d, tweede lid, van het Besluit bodemkwaliteit.
4. Compost overschrijdt niet de in bijlage II, onder tabel 3, bij dit besluit opgenomen maximale waarden voor zware metalen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram droge stof.

Uit bijlage II, tabel 3:

Maximale waarden voor zware metalen in compost per kilogram droge stof (ds)

Zware metalen	in mg per kg ds
Cd (Cadmium)	1 mg/kg ds
Cr (Chroom)	50 mg/kg ds
Cu (Koper)	90 mg/kg ds
Hg (Kwik)	0,3 mg/kg ds
Ni (Nikkel)	20 mg/kg ds
Pb (Lood)	100 mg/kg ds
Zn (Zink)	290 mg/kg ds
As (Arseen)	15 mg/kg ds

⁹. https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2024-01-01#HoofdstukIII_Paragraaf4_Artikel17

BIJLAGE II

EISEN UIT BEOORDELINGSRICHTLIJN KEURCOMPOST 8.0¹⁰

Parameter	Eis Keurcompost Klasse A	Eis Keurcompost Klasse B
Algemeen		
Organische stof (% van ds.)	≥ 10 0 0	≥ 10 0 0
Organische delen > 50 mm	0	0
Zware metalen en arseen (mg/kg ds.)		
Cadmium	≤ 1	≤ 1
Chroom	≤ 50	≤ 50
Koper	≤ 90	≤ 90
Kwik	≤ 0,3	≤ 0,3
Nikkel	≤ 20	≤ 20
Lood	≤ 100	≤ 100
Zink	≤ 290	≤ 290
Arseen	≤ 15	≤ 15
Diversen		
Onkruidkiemen (aantal/l)	0	0
Bodemvreemde verontreinigingen (gewichtsprocent droge stof)		
Overige verontreinigingen 2-20 mm	≤ 0,05 %	≤ 0,10 %
Glas 2-20 mm	≤ 0,05 %	≤ 0,10 %
Steen 5-20 mm	≤ 1,00 %	≤ 2,00 %
Micro-organismen (alléén voor gft-bedrijven)		
Enterococcen óf E.Coli tijdens of onmiddellijk na de hygiënisatie	≤ 1000 ¹	≤ 1000 ¹
Salmonella	0	0

¹ Eén van de 5 monsters mag tussen de 1.000 en 5.000 kolonievormende eenheden/gram liggen.

¹⁰. <https://keurcompost.nl/wp-content/uploads/images/Beoordelingsrichtlijn-Keurcompost-8.0-DEF-.pdf> pagina 37

COLOFON

Auteurs

- Pella Brinkman Wageningen Plant Research
- Gerard Korthals Wageningen Plant Research
- Viola Kurm Wageningen Plant Research
- Rene Rietra Wageningen Environmental Research
- Paul Römkens Wageningen Environmental Research
- Joop Spijker Wageningen Environmental Research
- Lotte Stokkermans Wageningen Environmental Research
- Johnny Visser Wageningen Plant Research

Redactie

Moniek Löffler [Bureau Landwijzer]

Grafische vormgeving

Ilva Besselink-Noorda [Studio Ilva]

Het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Duurzame voedselvoorziening en -productieketens Natuur (projectnummer BO-43-101-013) alsmede door de Topsector Deltatechnologie (projectnummer DT-43-210-003).

Voor de uitvoering van het onderzoek is ondersteuning ontvangen van Agriton B.V., Bij de Oorsprong, BO Akkerbouw, Branche Vereniging Organische Reststoffen (BVOR), Gemeente Apeldoorn, Gemeente Rotterdam, GKB Realisatie B.V., Groene Verbinders B.V., Protanso, Provincie Gelderland, Provincie Noord-Brabant, Provincie Overijssel, Provincie Utrecht, Provincie Zuid-Holland, Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Vereniging Stadswerk Nederland, Vereniging van Hoveniers en Groenvoorzieners (VHG).

