

KENNISPROGRAMMA CIRCULAIR TERREINBEHEER

Stand van zaken na 3½ jaar onderzoek



december 2024

KENNISPROGRAMMA CIRCULAIR TERREINBEHEER

STAND VAN ZAKEN NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Kunnen lokaal geproduceerde bodemverbeteraars veilig worden toegepast, en wat betekent dit voor bodem en gewassen? Deze belangrijke vragen van veel betrokkenen staan centraal in het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer (2021-2026). De antwoorden bieden inzicht in de voorwaarden voor het lokaal produceren en gebruiken van maaisel en blad als bodemverbeteraar. Voor ministeries vormen de resultaten belangrijke bouwstenen voor de ontwikkeling en uitvoering van beleid.

Deze memo geeft inzicht in de tussenresultaten en conclusies na 3½ jaar wetenschappelijk onderzoek door Wageningen University & Research.

De belangrijkste conclusie op basis van de huidige gegevens is dat de lokaal geproduceerde bodemverbeteraars veilig zijn voor mens en milieu. Wat betreft de effecten op de bodem: net als centraal geproduceerde groencompost voegen lokaal geproduceerde bodemverbeteraars organische stof toe aan de bodem. Voor het behoud of de verbetering van de bodemkwaliteit is dat essentieel! Er zijn kleine positieve effecten gevonden op de microbiologische eigenschappen van de bodem, maar het is nog niet duidelijk hoe blijvend deze effecten zijn. Er zijn geen negatieve effecten aangetoond. De meetperiode is voor de meeste bodemeigenschappen te kort om langetermijnveranderingen vast te stellen, bijvoorbeeld in het organische stofgehalte of het waterbergend vermogen.

Enkele andere bevindingen zijn:

- De gehalten aan zware metalen, arseen, bestrijdingsmiddelen en organische koolwaterstoffen vormen geen risico voor mens en milieu.
- Het gebruik van de lokale bodemverbeteraars levert geen extra risico voor de verspreiding van de azoolresistente schimmel *Aspergillus fumigatus*.
- De kiemkracht van onkruidzaden in lokaal geproduceerde bodemverbeteraars varieert, en is ongeveer in drie kwart van de monsters zeer laag of afwezig. Als bokashi strikt volgens de eisen wordt geproduceerd, kan de kiemkracht naar nul worden teruggebracht.
- De hoeveelheid stikstof en fosfaat die op korte termijn beschikbaar is voor planten uit lokale bodemverbeteraars is laag en vergelijkbaar met die in groencompost. Het ligt daarom niet voor de hand om lokale bodemverbeteraars in toekomstig beleid als meststof te beschouwen en te beoordelen.

In deze memo worden de volgende begrippen gebruikt:

Lokale bodemverbetersaars/ lokaal geproduceerde bodemverbetersaars.

Dit is een verzamelnaam van bodemverbetersaars die lokaal worden gemaakt van lokaal aangevoerd maaisel of blad. De volgende vormen worden in het Kennisprogramma 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 wordt gemaakt via een gecontroleerd compostingsproces zoals CMC-compost.
- **Maaisel met toevoegingen:** het maaisel wordt gemengd met een toevoeging zoals Compost-O of BioTerra en verder alleen 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 wordt toegepast in het Kennisprogramma 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.

1 HET CT-KENNISPROGRAMMA: VRAGEN EN AANPAK

Het CT Kennisprogramma is ontstaan uit een vraag van de ministeries van LNV² en lenW. Beide ministeries gaven aan bereid te zijn om beleid en, indien nodig wet- en regelgeving, aan te passen om circulair terreinbeheer te ondersteunen. Voordat deze stappen konden worden gezet, wilden zij echter dat een aantal cruciale kennisvragen wetenschappelijk werd beantwoord.

Dit leidde tot het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer, dat wordt uitgevoerd door Wageningen University & Research (WUR), in opdracht van het ministerie van LNV, lenW, de topsector DT en PPS-partners. Om praktijkervaringen te integreren, zijn ongeveer 50 pilots bij het programma betrokken, waar lokaal gemaakte bodemverbetersaars worden toegepast.³ Daarnaast zijn HAS green academy en Hogeschool Van Hall Larenstein in 2024 begonnen met aanvullend onderzoek dat zich vooral richt op de effecten van bokashi in de bodem.

Voor de start van het Kennisprogramma hebben het programma Circulair Terreinbeheer (CT)⁴, WUR en de ministeries van lenW en LNV de belangrijkste onderzoeksvragen opgesteld, gerangschikt op basis van hun relevantie voor het beleid. Elk jaar worden deze vragen en hun prioritering door WUR, de ministeries en het programma CT geactualiseerd, waarbij vragen kunnen worden toegevoegd, afgevoerd of aangepast.

Belangrijke vragen die daarbij centraal staan in het onderzoek zijn:

- Wat is de samenstelling van de lokaal gemaakte bodemverbetersaars (landbouwkundig, milieukundig en biologisch)? Zijn deze veilig voor mens en milieu?
- Wat zijn de effecten van het toepassen van de lokaal gemaakte bodemverbetersaars op bodem, milieu, bodemecologie en gewassen?
- Wat zijn de praktijkervaringen van de betrokken agrariërs, en wat zijn de economische aspecten van de werkwijze?

2. Thans: het ministerie van LNV.

3. Deze hebben een tijdelijke vergunning voor het lokaal bewerken van maaisel en blad voor bodemverbetering.

4. 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 gaat veel aandacht uit naar bokashi, omdat dit een relatief onbekende bodemverbeteraar is, die nog niet in de wet- en regelgeving is opgenomen. De andere onderzochte bodemverbeteraars zijn onbewerkt maaisel, maaisel met toevoegingen, CMC-compost en een groencompost.

Op hoofdlijn bestaat het onderzoek uit de volgende onderdelen:

- Onderzoek bij de deelnemende pilots: analyse van de producten (voordat deze worden toegepast door de deelnemende bedrijven), onderzoek naar effecten op de bodem (chemisch, biologisch en fysisch) en het verzamelen van praktijkervaringen.
- Veldproeven op WUR-proefferreinen: systematisch en wetenschappelijk geborgd onderzoek naar de effecten van de bodemverbeteraars op bodem- en gewasopbrengst en gewaskwaliteit. Deze proeven vinden plaats op percelen die conform de reguliere landbouwsystemen gebruikt worden. Daaronder valt ook het gebruik van bestrijdingsmiddelen en grondbewerking. In dit onderzoek staan met name ook effecten op het microbiologisch functioneren van de bodem centraal.
- Aanvullende laboratoriumproeven: daarbij staat vooral het bepalen van de stabiliteit van organische stof, emissie van CO₂ en N₂O en de beschikbaarheid van nutriënten (N en P) centraal.

2 RESULTATEN: BESCHERMING ÉN VERBETERING VAN HET MILIEU

De resultaten na 3½ jaar zijn samengevat in twee delen:

Bescherming van mens en milieu

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



Milieukundige effecten



Aanwezigheid van de schimmel *Aspergillus fumigatus*



Kiemkracht van zaden

Verbetering van het milieu

Dit deel gaat in op de bijdrage van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars aan het behouden/ verbeteren van de bodemkwaliteit en de optimalisatie van landbouwkundig gebruik. Hoewel dit aspect in de huidige regelgeving weinig aandacht krijgt, is het essentieel voor het aanpakken van veel actuele vraagstukken. Onderzochte factoren zijn:



Stabiliteit en afbraak van organische stof



Bodemleven



Watervasthoudend vermogen en infiltratie



Werkingscoëfficiënt van stikstof en fosfor

2.1 BESCHERMING VAN MENS EN MILIEU



Milieukundige effecten

Toelichting:

In de Meststoffenwet⁵ zijn eisen opgenomen voor de samenstelling van compost, gericht op het gehalte aan zware metalen, PAK's en de totale hoeveelheid bodemvreemde niet biologisch-afbreekbare materialen. Andere lokaal geproduceerde bodemverbeters, zoals bokashi, worden in de wetgeving echter niet genoemd, en er zijn nog geen randvoorwaarden voor vastgesteld.

Daarom vergelijkt het Kennisprogramma de samenstelling ervan met de normen voor Keurcompost klasse A⁶. Ten opzichte van de wetgeving voegt Keurcompost aanvullende eisen toe, zoals kiemkracht en een onderscheid in de grootte van verontreinigende deeltjes (zie bijlage I voor meer informatie over de verschillende eisen).

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Lokaal geproduceerde bodemverbeters zijn veilig voor mens en milieu. Vrijwel alle geanalyseerde monsters voldoen aan de normen van de Meststoffenwet. Daarnaast voldoen de monsters, met uitzondering van de eisen voor kiemkracht en fysieke verontreinigingen, ook aan de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost. Voor kiemkracht en fysieke verontreinigingen is echter nog onduidelijk of de Beoordelingsrichtlijn maatgevend moet zijn, of dat de criteria in de Meststoffenwet voldoende zijn.

Zware metalen: Met uitzondering van enkele monsters met verhoogde cadmiumwaarden (veroorzaakt door regionale herkomst), blijven alle monsters binnen de toegestane waarden. De verhoogde waarden vormen geen risico zolang de bodemverbeters in de herkomstregio's worden gebruikt.

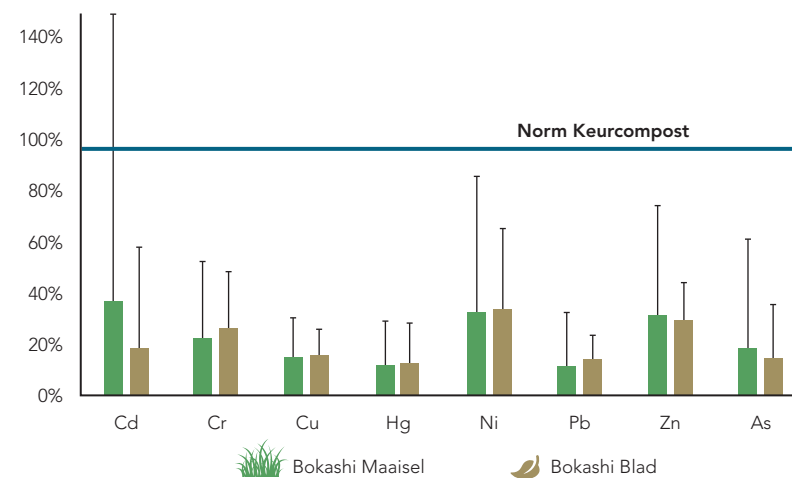
Fysieke verontreinigingen: Alle monsters blijven ruim onder de wettelijke limiet van 0,5 gewichtsprocent aan bodemvreemde, niet-biologisch afbreekbare materialen. De normen van Keurcompost-A voor deeltjes tot 20 mm worden in 94% van de monsters gehaald. Wel kwamen er in meerdere monsters grotere verontreinigingen (> 20 mm) voor, variërend in soort en hoeveelheid. Het risico hiervan wordt als gering ingeschat. Bovendien kan de verspreiding eenvoudig worden voorkomen door het maaisel of blad vooraf te schonen of de verontreinigingen na toepassing te verwijderen.

5. Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, geldig van 01-01-2024 t/m heden.

6. Beoordelingsrichtlijn Keurcompost (versie 8.0).

Resultaten in meer detail:

- **Zware metalen:** Vrijwel alle 200 geanalyseerde monsters voldeden aan zowel de wettelijke normen als die van Keurcompost A. Een uitzondering was cadmium (Cd), waarbij in enkele monsters te hoge concentraties werden gemeten. Deze verhoogde waarden zijn het gevolg van de herkomst van het organisch materiaal uit de Kempen en het Rijnmondgebied, waar door historische vervuiling en natuurlijke variatie verhoogde cadmiumwaarden voorkomen. Zolang deze bodemverbeters binnen hun herkomstregio worden toegepast, vormen de verhoogde waarden geen extra risico.

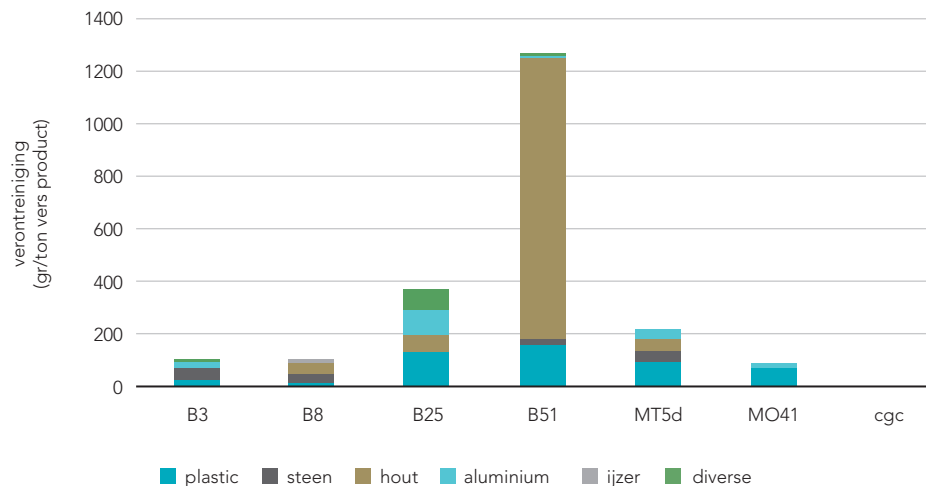


Gehalten zware metalen in bokashi van maaisel en blad ten opzichte van de norm voor Keurcompost. De blauwe lijn geeft de norm (voor alle metalen genormaliseerd naar een waarde van 1) voor Keurcompost aan. De groene en bruine balken tonen de mediane concentraties van maaiselbokashi en bladbokashi, uitgedrukt als percentage van de norm. De foutbalken laten de spreiding zien tot de 95e percentielwaarde (P95). Bron: Spijker et al., 2023 (bewerkt).

- **PFAS en PAK's:** De monsters voldeden aan de wettelijke kwaliteitseisen voor PAK's. Voor PFAS zijn er in Nederland nog geen specifieke normen, maar de gemeten waarden werden als laag beoordeeld, met uitzondering van één monster uit een zwaar geïndustrialiseerd gebied.⁷

7. Indien het monster in dezelfde regio wordt toegepast.

- **Fysieke verontreinigingen:** Alle monsters voldeden ruimschoots aan de wettelijke grens van 0,5 gewichtsprocent aan niet-biologisch afbreekbare bodemvreemde materialen. De normen voor Keurcompost-A voegen aanvullend daarop een onderscheid toe op basis van de grootte van de verontreinigende deeltjes:
 - **Deeltjes van 2 tot 20 mm:** 94% van de monsters voldeed aan de Keurcompostnormen. In sommige bokashimonsters werd de norm voor steen (<1% overschreden), namelijk in 20% van de maaisel bokashimonsters en in 25% van de bladbokashi. De glasnorm (minder dan 0.05%) werd overschreden in 3 van de 61 bladbokashimonsters, maar niet in de maaiselbokashi.
 - **Deeltjes groter dan 20 mm:** Hoewel deze volgens de Beoordelingsrichtlijn Keurcompost niet mogen voorkomen (norm = 0%), werden bij de veldproeven in veel monsters grotere verontreinigingen groter dan 20 mm aangetroffen. Het aantal deeltjes en het type varieerden sterk, met materialen zoals plastic, hout of metaal (zie figuur). De risico's van deze stoffen worden als gering ingeschat door hun aard en hoeveelheid. Verspreiding kan eenvoudig worden voorkomen door het maaisel of blad vooraf te schonen of de verontreinigingen na toepassing te verwijderen.



Fysieke verontreinigingen (deeltjes > 20 mm) in gram per ton bodemverbetersaars.



Aanwezigheid van de schimmel *Aspergillus fumigatus*

Toelichting:

Aspergillus fumigatus is een schimmel die van nature groeit op dood plantenmateriaal, zoals in bossen, hooi, compost en andere vormen van groen materiaal. Hoewel de schimmel meestal ongevaarlijk is voor gezonde mensen, kan hij ernstige infecties veroorzaken bij mensen met verzwakte immuunsystemen of specifieke longproblemen.

In de landbouw wordt *Aspergillus fumigatus* momenteel nog veel bestreden met azolen, wat vaak leidt tot resistentie. Omdat de behandeling van *Aspergillus*-infecties bij mensen ook vaak met azolen gebeurt, werken deze medicijnen dan niet meer, waardoor de infectie moeilijker te bestrijden is.

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Het maken van lokale bodemverbetersaars van maaisel en blad wordt door WUR-Genetica aangemerkt als een zogenaamde 'cold spot'. Dat wil zeggen dat de bodemverbetersaars geen risico vormen voor de verspreiding van azoolresistente *Aspergillus fumigatus*. De azoolresistente fractie van *Aspergillus fumigatus* in de lokaal gemaakte bodemverbetersaars is zeer laag en ligt op hetzelfde achtergrondniveau als in luchtmonsters in West-Europa.

Resultaten in meer detail:

- **Gehalten aan *Aspergillus fumigatus*:** De analyses van bermmaaisel en blad tonen aan dat de niveaus van *Aspergillus fumigatus* vergelijkbaar zijn 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 worden verwerkt tot bodemverbetersaars heeft geen merkbare invloed op de azoolresistente fractie. De aanwezigheid van azoolresistente *Aspergillus fumigatus* in lokaal gemaakte bodemverbetersaars is uiterst gering en ligt op het achtergrondniveau, zoals vastgesteld in luchtmonsters in West-Europa.
- **Gezondheidsrisico's:** Er is geen verhoogd gezondheidsrisico door de aanwezigheid van *Aspergillus fumigatus* in het maaisel en blad dat wordt gebruikt voor de productie van lokale bodemverbetersaars. Dit komt door de lage gehalten en de geringe resistentie van de schimmel.



Kiemkracht

Toelichting:

Een veelgestelde vraag is in hoeverre de kiemkracht van ongewenste plantensoorten (zoals invasieve soorten) afneemt tijdens het maken van bokashi. Bokashi bereikt namelijk een lagere temperatuur (circa 40° C) dan composteren (circa 60° C), wat mogelijk invloed heeft op het afsterven van onkruidzaden. In het CT Kennisprogramma is de kiemkracht van zaden bij alle lokale bodemverbeteraars onderzocht.

Vooraf voor biologische boeren is het risico van kiemkrachtige zaden een zorg, aangezien zij geen chemische bestrijdingsmiddelen gebruiken om onkruid te bestrijden. In de Meststoffenwet vormt de kiemkracht van zaden geen issue, en veel gangbare boeren zien het als een minder groot probleem omdat zij aan onkruidbeheersing doen.

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

De kiemkracht van onkruidzaden in lokaal geproduceerde bodemverbeteraars varieert, maar is over het algemeen laag (0 – 1 zaden per liter⁸). Wel is er een grote variatie tussen de onderzochte monsters, waarbij de hoogste kiemkracht wordt gemeten in onbewerkt maaisel. Een goed uitgevoerd bokashi-proces, met een juiste afdichting en beheer van de kuil, lijkt de kiemkracht in de meeste gevallen tot nul te reduceren. Ook lijkt de temperatuur van 40 graden afdoende om de kiemkracht van invasieve soorten als duizendknoop en Jacobskruiskruid te doden.

Resultaten in meer detail:

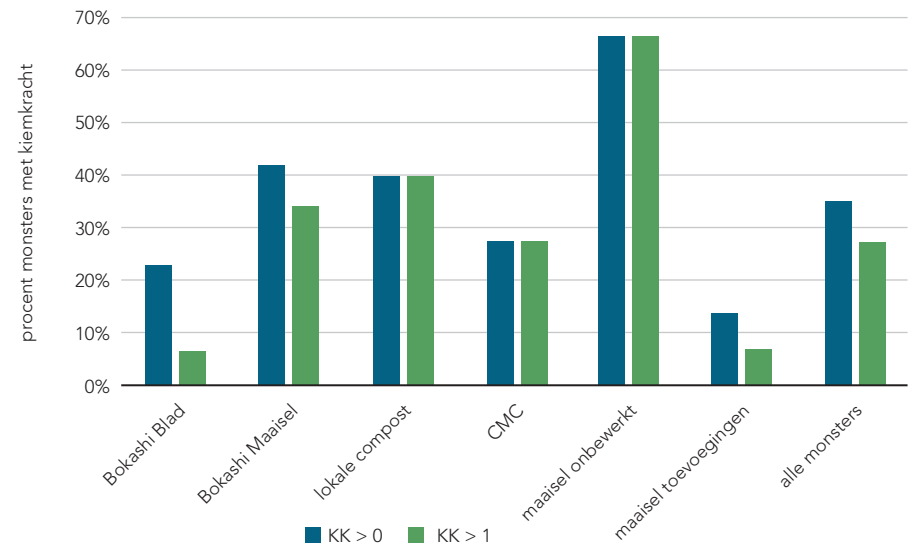
Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de kiemkracht van onkruidzaden in lokaal geproduceerde bodemverbeteraars varieert:

- **WUR-onderzoek:** In 73% 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. De gemiddelde kiemkracht was het hoogst in onbewerkt maaisel. In groencompost zijn geen kiemkrachtige zaden aangetroffen.
- **Van Hall Larenstein proeven:** Kiemproeven lieten een beperkte kieming van melganzenvoetzaden zien aan de buitenkant van de bokashibult. Zaden uit het

⁸ De norm voor Keurcompost klasse A is 0 zaden per liter. De Meststoffenwet bevat geen norm voor kiemkracht.

midden 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.

- **Variatie in kiemkracht:** Het is nog niet onderzocht of de monsters met hoge kiemkracht afkomstig zijn van niet goed afgesloten bokashi-bulten. Onderzoek van Hogeschool Van Hall Larenstein toont aan echter dat bij correct afgesloten bokashi-bulten vrijwel geen kiemkracht overblijft.



Kiemkracht in lokaal gemaakte bodemverbeteraars. De blauwe balken weerspiegelen de percentages van het aantal monsters waarin kiemkracht is aangetoond (kiemkracht groter dan 0 zaden per liter). De groene balken geven het percentage monsters aan met een kiemkracht van 2 zaden per liter of meer (27% van alle onderzochte monsters).

2.2 BODEMVERBETERING EN OPTIMALISEREN LANDBOUWKUNDIG GEBRUIK



Stabiliteit en afbraak van de organische stof

Toelichting:

Organische stof in de bodem bestaat uit instabiele (ook wel 'labiele koolstof' genoemd) en stabiele organische stof. Beide spelen een belangrijke rol. Instabiele organische stof wordt snel afgebroken door micro-organismen⁹ en levert direct beschikbare voeding voor het bodemleven en planten. Stabiele organische stof bestaat uit moeilijk afbreekbare moleculen die de bodemstructuur verbeteren door de vorming van aggregaten, kleine 'klontjes' die de porositeit vergroten. Dit helpt de bodem meer water vast te houden en beter door te laten, wat essentieel is voor de bodemkwaliteit en gezonde planten. Het proces van stabiele organische stof opbouwen verloopt echter traag.

Tijdens het maken van compost verteren micro-organismen al een groot deel van de snel afbreekbare organische stof in de composthoop. Bij bokashi blijft veel van deze instabiele organische stof behouden tijdens het fermenteren, en de afbraak vindt vooral plaats nadat de bokashi op de bodem is aangebracht. Bij compost gaat tot 50% van de koolstof verloren als CO₂ tijdens het composteren, terwijl dit bij goed afgesloten bokashi grotendeels behouden blijft.

Het verschil in netto koolstofverlies tussen compost en bokashi neemt echter af zodra beide in de bodem worden aangebracht. Een groot deel van de koolstof in bokashi gaat binnen de eerste maanden na toediening alsnog als CO₂ verloren. Om meer inzicht te krijgen in de koolstofbalans, wordt dit verder onderzocht.

Voor een vitale bodem en een gezond bodemleven is het altijd van groot belang dat het organische stofgehalte van de bodem minimaal op peil blijft. Zonder toevoeging van organische stof verslechtert de bodemkwaliteit. Het toepassen van lokale bodemverbeteraars draagt daarom, net als groencompost, sowieso bij aan de bodemkwaliteit.

⁹. Binnen het Kennisprogramma wordt één jaar gehanteerd.

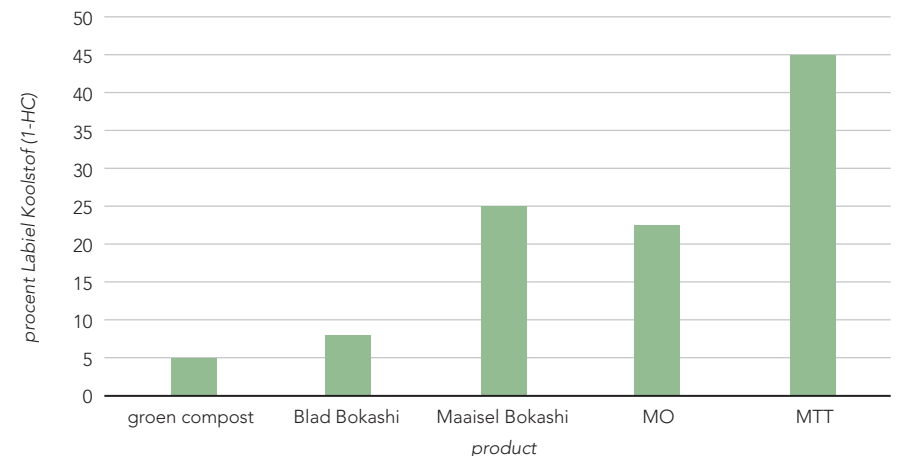
CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Bokashi en zowel bewerkt als onbewerkt maaisel bevatten meer snel afbreekbare (instabiele) organische stof dan groencompost.¹⁰ Groencompost bestaat uit een groter deel stabiele organische stof, die langer in de bodem behouden blijft.

Wat betekent dit voor het organisch stofgehalte in de bodem? Na ruim drie jaar onderzoek zijn de eerste effecten meetbaar op het proefboerderijterrein op kleigrond. Bij de hoge dosering (jaarlijks 50 ton per hectare) nam het organisch stofgehalte licht maar significant toe. In de zandgronden, die bij de start van het onderzoek al een hoger organisch stofgehalte hadden dan de kleigronden, bleef het gehalte gelijk. Dit resultaat komt overeen met eerder meerjarig onderzoek naar veranderingen in bodemkoolstof in zandgronden.

Resultaten in meer detail:

- **Instabiele organische stof in de bodemverbeteraars:** Uit de laboratoriumproeven blijkt dat bokashi, maaisel met toevoegingen en onbewerkt maaisel meer snel afbreekbare (instabiele) organische stof bevatten dan groencompost (zie figuur hieronder). Er is echter een groot verschil tussen bladbokashi (5-10% instabiele organische stof) en maaisel met toevoegingen (40-50%).¹¹



Aandeel instabiele organische stof (koolstof) van de verschillende bodemverbeteraars. Onbewerkt maaisel (MO) en Maaisel met toevoegingen (MTT) bevatten de meeste instabiele koolstof.

¹⁰. Zie volgende paragraaf voor het effect van instabiele organische stof als voedingsbron voor bodemorganismen.

¹¹. Het aantal monsters van maaisel met toevoegingen (MTT) is veel kleiner dan dat van bokashi.

- **Afbraak in de bodem:** Na het aanbrengen van bokashi op de bodem, is na 80 dagen 10% (bij kleigrond) tot 20% (bij zandgrond) van de aangevoerde hoeveelheid koolstof afgebroken. Ter vergelijking: bij het gebruik van groencompost is in dezelfde periode slechts 3 tot 5% van de koolstof afgebroken in dezelfde periode. Vooral de instabiele koolstof wordt op korte termijn afgebroken.
- **Organische stof in de bodem na drie jaar:** Uit het onderzoek van WUR op proefvelden blijkt dat het organisch stofgehalte in kleigrond licht, maar significant, toenam na het aanbrengen van bokashi en groencompost bij een dosering van 50 ton per hectare. In de zandgronden, die bij de start van het onderzoek al meer organische stof bevatten dan de kleigronden, bleef het organisch stofgehalte gelijk.

In de pilots blijkt het echter lastig om de ontwikkeling van het organisch stofgehalte nauwkeurig vast te stellen, vanwege variaties in bodemtype, landgebruik, historie en bemonsteringsmethoden.



Bodemleven

Toelichting:

Micro-organismen zoals bacteriën en schimmels spelen een cruciale rol bij de vertering van instabiele organische stof, waarbij ze voedingsstoffen vrijmaken voor planten en ander bodemleven. Bacteriën zijn vooral actief bij de snelle afbraak van organisch materiaal, terwijl schimmels, waaronder mycorrhiza-schimmels, zorgen voor een langzamere afbraak. Deze mycorrhiza-schimmels helpen plantenwortels bij het opnemen van water en voedingsstoffen in ruil voor suikers en andere organische stoffen. Daarnaast dragen micro-organismen bij aan de bodemstructuur; bacteriën produceren slijmstoffen die bodemdeeltjes aan elkaar kitten, en schimmeldraden verbinden deze deeltjes door de bodem heen. Een hogere schimmel-bacterie verhouding wordt in het algemeen als gunstig beoordeeld voor het bodemmicrobiologisch functioneren van de bodem.

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Na het aanbrengen van lokale bodemverbeteraars of groencompost lijkt de verhouding tussen schimmels en bacteriën in de bodem te verschuiven in het voordeel van de schimmels. Verder neemt het aandeel mycorrhiza-schimmels toe bij hoge doseringen van de bodemverbeteraars. Daarbij lijkt het erop dat het niet zoveel uitmaakt in welke vorm organische stof toegevoegd wordt. Hoewel het totale aantal wormen niet significant verandert, neemt hun biomassa toe, wat duidt op andere en/of zwaardere wormen.

Resultaten in meer detail:

- **Micro-organismen:** Na het aanbrengen van de bodemverbeteraars lijkt de verhouding tussen schimmels en bacteriën licht te verschuiven ten gunste van de schimmels, zowel in zand- als kleigrond. Dit effect varieerde echter per onderzoeksjaar. In 2022 nam het aantal schimmels aanzienlijk toe bij alle behandelingen, maar in 2023 keerde het terug naar bijna het uitgangsniveau van 2021. Waarschijnlijk spelen weersomstandigheden (nat of droog) een grote rol in deze schommelingen.¹²

¹². Het onderzoek naar schimmels is complex, omdat ze zeer gevoelig zijn voor verschillende factoren zoals weersomstandigheden, ploegen en het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Dit specifieke onderzoek wordt uitgevoerd binnen een regulier landbouwsysteem (dus niet biologisch).

- **Mycorrhiza:** Uit drie jaar onderzoek van WUR blijkt dat hoge doseringen bodemverbeteraars (50 ton per hectare) leidden tot een toename van mycorrhiza-schimmels. Dit effect werd niet waargenomen bij het aanbrengen van tien ton bokashi of groencompost. Het type bodemverbeteraar maakte daarbij nauwelijks verschil.
- **Wormen:** Uit een praktijkproef van Hogeschool Van Hall Larenstein, die inmiddels drie jaar loopt, blijkt 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 er meer bodemwormen en pendelaars verschenen. Op maisland was dit effect niet zichtbaar.



Watervasthoudend vermogen en infiltratie

Toelichting:

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. Het gehalte organische stof kan hierbij een rol spelen, onder andere via invloed op de bodemstructuur. Een organisch rijke bodem met een goede structuur en hoog watervasthoudend vermogen helpt bovendien bij het voorkomen van erosie en bodemdegradatie.

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

In bodems met weinig organische stof (minder dan 2%), lijkt het gebruik van lokaal geproduceerde bodemverbeteraars te zorgen voor een lichte stijging van het watervasthoudend vermogen. Vooral in de pilots in de stad zijn de ervaringen tot nu toe positief, waarbij de planten in de behandelde plots beter groeien dan in de niet behandelde plots. Het watervasthoudend vermogen is op de proefvelden echter nog niet verder onderzocht en staat gepland voor nader onderzoek in de periode 2024-2025.



Landbouwkundig: werkingscoëfficiënt van N (stikstof) en P (fosfor)

Toelichting:

De werkingscoëfficiënt van stikstof (N) en fosfor (P) in bodemverbeteraars geeft aan hoeveel van deze voedingsstoffen beschikbaar komen voor planten of door hen worden opgenomen. Dit is relevant bij de beoordeling van bodemverbeteraars binnen de mestwetgeving.¹³ Een belangrijke factor hierbij is de verhouding tussen koolstof en stikstof (C/N-verhouding) in de bodemverbeteraar, die invloed heeft op de snelheid waarmee stikstof vrijkomt. 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. Daardoor komt stikstof langzamer vrij of kan de hoeveelheid beschikbare stikstof in de bodem zelfs afnemen.

CONCLUSIE NA 3½ JAAR ONDERZOEK

Binnen het eerste jaar na toediening wordt er relatief veel stikstof door het bodemleven vastgelegd, waardoor er netto geen stikstof beschikbaar komt voor planten. Dit leidde vooral op kleigrond zonder aanvullende bemesting tot duidelijk lagere gewasopbrengsten in vergelijking met percelen bemest met drijfmest. Op zandgrond was het verschil minder duidelijk, aangezien deze percelen bij aanvang van het onderzoek al meer stikstof bevatten.

Vanwege de beperkte beschikbaarheid van stikstof en fosfaat in organische bodemverbeteraars is het daarom niet logisch om lokale bodemverbeteraars als meststof te classificeren in het beleid. De gemeten beschikbaarheid van stikstof en fosfaat uit bokashi lijkt daarbij sterk op die in groencompost.

Resultaten in meer detail:

- **Stikstof:** Het onderzoek wees uit dat stikstof uit lokale bodemverbeteraars op de korte termijn (< 1 jaar) een werkingscoëfficiënt van minder dan tien procent heeft. Bij bodems waar bodemverbeteraars met een C/N-verhouding van meer dan 20 werden toegepast, trad 'immobilisatie van stikstof' op. Dit houdt in dat de micro-organismen, die de organische stof verteren, stikstof uit de bodem opnemen. Daardoor is deze op korte termijn niet beschikbaar voor landbouwgewassen.

¹³ De wettelijke limieten voor meststoffen zijn vastgelegd in de Meststoffenwet en de bijbehorende "Lijst van Werkingscoëfficiënten", beschikbaar via de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

- **Fosfaat:** De werkingscoëfficiënt van fosfaat op korte termijn is lager dan vijf procent en bleek vergelijkbaar te zijn voor bokashi en groencompost. Net als bij stikstof suggereert dit dat lokale bodemverbeteraars eigenlijk niet als meststof kunnen worden beschouwd of beoordeeld.
- **Gewasopbrengsten:** De gewasopbrengsten op percelen die behandeld werden met lokale bodemverbeteraars zonder aanvullende bemesting, waren tot 50% lager dan die op percelen bemest met drijfmest. Dit verschil was in 2021 vooral duidelijk op kleigrond.¹⁴ Dit komt omdat stikstof uit drijf- en kunstmest veel sneller beschikbaar is voor planten dan stikstof uit bodemverbeteraars, die (eerst) door het bodemleven wordt vastgelegd. Dit verschil is echter niet zorgwekkend, omdat boeren meststoffen als aanvulling gebruiken. De toepassing van bodemverbeteraars is vooral gericht op het op peil houden of verhogen van het organische stofgehalte in de bodem.

¹⁴. De totale stikstofgift was in alle behandelingen gelijk.

3 TOT SLOT

Na ruim drie jaar onderzoek bevestigt het Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer 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 in de bodem. Dit is essentieel voor het behouden of verbeteren van de bodemkwaliteit. De effecten van lokale bodemverbeteraars worden echter mede bepaald door andere factoren, zoals weersomstandigheden, grondbewerking, bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Deze variabelen bemoeilijken het trekken van harde conclusies over de afzonderlijke producten binnen de duur van dit onderzoek. Desondanks tonen de resultaten aan dat er geen negatieve effecten zijn vastgesteld, en in sommige gevallen zelfs lichte positieve effecten waarneembaar zijn.

Het onderzoek vormt een stevige basis voor het versterken van circulair terreinbeheer en draagt bij aan een duurzamer bodembeheer. De resultaten bieden waardevolle input voor de Topsectoren en TKI's die zich richten op circulaire innovaties.

Volgend jaar richt het Kennisprogramma zich onder andere op de effecten van het gebruik van lokale bodemverbeteraars op het watervasthoudend vermogen van de bodem. Ook worden 10 pilots geselecteerd, waaronder stedelijke gebieden, voor onderzoek naar aanvullende effecten op de bodemkwaliteit.

BIJLAGE I EISEN AAN COMPOST UITVOERINGSBESLUIT MESTSTOFFENWET

Wettelijke eisen, conform Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, geldend van 01-01-2024 t/m heden.¹⁵

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

¹⁵. https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2024-01-01#HoofdstukIII_Paragraaf4_Artikel17

BIJLAGE II EISEN UIT BEOORDELINGSRICHTLIJN KEURCOMPOST 8.0¹⁶

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 (gewichtprocent 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)		
Enterococci 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.

¹⁶. <https://keurcompost.nl/wp-content/uploads/images/Beoordelingsrichtlijn-Keurcompost-8.0-DEF-.pdf> pagina 37

COLOFON

Wageningen University & Research (WUR)

- Joop Spijker, Wageningen Environmental Research
- Paul Römkens, Wageningen Environmental Research
- René Rietra, Wageningen Environmental Research
- Gerard Korthals, Wageningen Plant Research
- Johnny Visser, Wageningen Plant Research

Redactie

Moniek Löffler [Bureau Landwijzer]

Grafische vormgeving

Ilva Besselink-Noorda [Studio Ilva]

Meer informatie:

<https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/kennisprogramma-circulair-terreinbeheer.htm>

