



Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer

Landbouwkundig relevante eigenschappen van maaisel, bokashi en compost

P.F.A.M. Romkens, R.P.J.J. Rietra en J.H. Spijker



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer

Landbouwkundig relevante eigenschappen van maaisel, bokashi en compost

P.F.A.M. Romkens, R.P.J.J. Rietra en J.H. Spijker

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur & Waterstaat.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, mei 2020

Gereviewd door:

T. Slier MSc, Onderzoeker Bodem en Klimaat

Akkoord voor publicatie:

dr. ir. N.A.C. Smits, team Vegetatie, Bos- en Landschapsecologie

Rapport 3006
ISSN 1566-7197

P.F.A.M. Romkens, R.P.J.J. Rietra, J.H. Spijker, 2020. *Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer; Landbouwkundig relevante eigenschappen van maaisel, bokashi en compost*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3006. 46 blz.; 0 fig.; 17 tab.; 61 ref.

Toepassing van maaisel uit bermen, openbaar groen en natuurgebieden voor een betere bodemkwaliteit sluit aan op de doelen van circulair terreinbeheer.

In dit rapport zijn zowel de positieve effecten op bodemkwaliteit als de potentiële risico's van drie bewerkingwijzen verkend: rechtstreeks onderwerken van maaisel, toepassing van bokashi en van compost. De beschouwde positieve effecten van het gebruik van organische bodemverbetersaars zijn onder meer koolstofvastlegging in de bodem na toepassing, nutriënten-leverend vermogen, ziekteverwerendheid en stimulering van de bodembiodiversiteit. Aan de andere kant komen aspecten als emissie van broeikasgassen, risico's van accumulatie van zware metalen en onkruiddruk aan de orde. Voorts is aangegeven welke kennis nog ontbreekt. Het rapport sluit af met aanbevelingen voor een kennisagenda.

Trefwoorden: maaisel, circulaire economie, compost, bokashi, bodemkwaliteit

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/520312> 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.

© 2020 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.

Wageningen Environmental Research Rapport 3006 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Wageningen Environmental Research

Inhoud

	Verantwoording	5
	Samenvatting	7
1	Doel en Aanpak	9
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Doel	9
	1.3 Afbakening	10
2	Resultaten inventarisatie	11
	2.1 Kwaliteit van maaisel, compost en bokashi	11
	2.2 Effect op bodem en gewasopbrengst	14
	2.3 Bijdrage van maaisel, compost en bokashi aan de koolstofvastlegging in de bodem	17
	2.4 Emissie van broeikasgassen CO ₂ , CH ₄ en N ₂ O	22
	2.5 Aanwezigheid van contaminanten in maaisel, compost en bokashi	23
	2.6 Ziektewering en onkruiddruk	28
	2.7 Bodemleven	29
3	Discussie, conclusies en aanbevelingen	31
	3.1 Discussie	31
	3.2 Algemene conclusies	31
	3.3 Vergelijking van een aantal kerneigenschappen van maaisel, compost en bokashi	32
	3.4 Aanbevelingen in relatie tot de kennisagenda	35
	Literatuur	38
	Bijlage 1 Overzicht van relevante lopende onderzoeken	41
	Bijlage 2 Aanvullende data van de kwaliteit van berm- en slootmaaisel	43
	Bijlage 3 Enkele andere aspecten (wetgeving en kosten)	45

Verantwoording

Rapport: 3006

Projectnummer: 5200045714

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: Onderzoeker Bodem en Klimaat

naam: T. Slier MSc

datum: 21 april 2020

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: dr. ir. N.A.C. Smits, team Vegetatie, Bos- en Landschapsecologie

datum: 15 april 2020

Samenvatting

Dit rapport dient als onderbouwing voor een kennisprogramma voor circulair terreinbeheer. Hiertoe is een verkennende vergelijking uitgevoerd van relevante eigenschappen van vers maaisel, bokashi (organische bodemverbeteraar gemaakt door fermentatie van verschillende materialen, zoals maaisel) en compost voor toepassing in de bodem. Van deze drie is bokashi een relatief nieuw verwerkingsmateriaal dat verkregen wordt na fermentatie (zuurstofloos) van vers organisch materiaal (zie bijlage 1 voor een korte technische omschrijving van zowel compost als bokashi wat betreft overeenkomsten en verschillen in productiemethoden). Daarbij vergelijken we zowel een aantal kenmerken van de genoemde producten, zoals de gehalten aan nutriënten en contaminanten, maar vooral ook de effecten die de aanwending van deze producten hebben in de bodem en, waar mogelijk, op het gewas. Belangrijk daarbij zijn onder meer de koolstofvastlegging in de bodem na toepassing, het nutriënten-leverend vermogen, de gewasopbrengst, de ziekteverendheid en de stimulering van de bodembiodiversiteit. De te vermijden negatieve aspecten die beoordeeld worden, zijn onder meer de emissie van broeikasgassen, de risico's van accumulatie van zware metalen en de onkruiddruk.

Beschouwde uitgangsmaterialen zijn daarbij in eerste instantie droge maaisels afkomstig van gras- en kruidenvegetaties (bijv. van bermen, openbaar groen, natuurgebieden), bladresten en nat maaisel uit watergangen en oevers, die al dan niet worden gecomposteerd of gefermenteerd. Vaak is in de literatuur ook sprake van bokashi en/of compost gemaakt van andere materialen, zoals gft en dierlijke mest. Deze informatie is voor de volledigheid meegenomen.

Een belangrijke conclusie is dat de beschikbare informatie om de effecten in de bodem van de drie producten (vers maaisel, bokashi, compost) te evalueren, sterk uiteenloopt. Zo is veel onderzoek gedaan naar zowel de kwaliteit (samenstelling) als de effecten van compost in de bodem, deels in de vorm van meerjarig onderzoek in meerdere landen binnen en buiten de EU. Daarentegen zijn er voor het rechtstreeks toepassen van maaisel, en zeker voor bokashi, veel minder data beschikbaar over de met name langetermijneffecten bij gebruik als bodemverbeteraar. Voor bokashi en gft- en groencompost zijn er al wel veel gegevens beschikbaar over de samenstelling van het eindproduct dat toegepast wordt. Daarbij valt op dat met name voor bokashi de gebruikte bronmaterialen en de productiemethoden sterk kunnen verschillen, wat ook leidt tot grote verschillen in samenstelling. In hoofdstuk 2 zijn de huidige inzichten over de hiervoor genoemde positieve en potentieel negatieve effecten van de onderzochte producten op bodem en gewas beschreven.

In hoofdstuk 3 zijn de belangrijkste bevindingen samengevat en een aantal aanbevelingen opgenomen voor verder onderzoek. Voor compost wordt aangegeven dat er al veel kennis beschikbaar is, maar dat er nog lacunes zijn in de kennis over de werkingscoëfficiënten van fosfaat. Voor toepassing van vers maaisel en bokashi is er vooral meer inzicht gewenst in de langetermijneffecten in de bodem na toepassing. Daarbij is er vooralsnog een gebrek aan eenduidige methoden die een objectieve vergelijking op basis van samenstelling mogelijk maken. Voor bokashi zijn er daarnaast aanvullend vragen naar de invloed van het procedé (bijv. gebruikte additieven, processtappen) en voorts op aspecten m.b.t. de omzetting van bokashi in de bodem. Met name het aandeel van niet-stabiele organische stof op de vermeende koolstofvastlegging, maar ook het schoksgewijs vrijkomen van nutriënten, zijn daarbij belangrijke aandachtspunten. Voor de drie onderzochte producten (onbewerkt maaisel, bokashi en compost) resteren er nog veel vragen over de koolstofopbouw op middellange en lange termijn (> 1-5 jaar) in de bodem, mogelijke positieve effecten van instabiele organische stof in met name bokashi en emissies van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O), waarbij bij dit laatste de gehele keten (van oogst, via productie tot na de toepassing in de bodem) van belang is.

Voor de invloed op het (biologisch) functioneren van de bodem (met name ziekteverendheid) geldt dat de huidige proefgegevens uit veldstudies zowel voor compost als bokashi geen eenduidige werking laten zien. Tot slot is het belangrijk om, meer dan nu het geval is, oog te hebben voor een goede kwaliteitsborging. Mede daarvoor ontwikkelen de betrokken partijen in de keten een checklist voor toepassing van maaisel voor bodemverbetering. Het verdient aanbeveling om deze checklist te valideren bij verschillende pilots.

1 Doel en Aanpak

1.1 Aanleiding

Het programma Circulair Terreinbeheer is een van de genoemde voorbeelden in het Uitvoeringsprogramma Circulaire Economie (CE) 2019-2023. Dit zijn programma's en projecten die een bijdrage leveren aan een of meerdere actielijnen van het Uitvoeringsprogramma CE en de transitie naar een circulaire, biobased economie ondersteunen.

Momenteel zijn er vele initiatieven in binnen- en buitenland waarbij maaisel dat bij terreinbeheer vrijkomt niet langer wordt behandeld als reststof, maar vooral wordt gezien en toegepast als grondstof binnen een circulaire economie. Beleid en regelgeving zijn daar echter nog niet goed op ingericht.

Om beleid en regelgeving beter aan te laten sluiten bij de circulaire ambities om maaisel als grondstof toe te passen, is het nodig om meer kennis en data te ontwikkelen en te ontsluiten over de kwaliteit en de effecten van het toepassen van maaisel en andere groene reststromen als bodemverbeteraar. Maaisel kan zich zo bewijzen als nieuwe grondstof in plaats van afvalproduct. Hiervoor zijn onderzoek en metingen nodig, gebaseerd op goede onderliggende kennisvragen. De 'Aanzet Kennisprogramma Circulair Terreinbeheer' biedt een eerste inzicht in hoe dit aangepakt kan worden.

Onder maaisel dat bij terreinbeheer vrijkomt, wordt verstaan:

- Maaisel (gras en kruiden) van bijvoorbeeld bermen, dijken, openbaar groen en andere terreinen
- Maaisel (gras en kruiden) uit natuurgebieden
- Blad, meestal vrijkomend uit stedelijk groen
- Nat maaisel uit bijvoorbeeld watergangen en oevers

Deze stromen ondergaan in verschillende lopende en al afgesloten pilots die in hoofdstuk 2 vermeld staan verschillende bewerkingen voordat ze als bodemverbeteraar worden toegepast: direct op het land aanbrengen, inkuisen, omzetten, composteren en/of fermenteren. Bokashi is in dit overzicht zowel een procedé (namelijk het geconditioneerd fermenteren van materialen met gebruik van bepaalde additieven) als een eindproduct. De voordelen van inzet van o.a. maaisel als bodemverbeteraar worden vaak aangehaald en er worden in projecten metingen gedaan, soms ook in samenwerking met kennisinstellingen. Echter, het overzicht ontbreekt in wat wordt gemeten en wat de resultaten zijn, welke toepassingen, welke herkomst(en), waar, waarom en op wat voor soort bodem (zand, klei, veen etc.) en wat voor soort teelten worden toegepast. Met andere woorden: de opbouw van meetdata wordt ad hoc gedaan en onvoldoende ontsloten.

1.2 Doel

Uiteindelijk is het hoofddoel van het project in beeld te brengen wat de bijdrage van Circulair Terreinbeheer kan zijn aan de circulaire economie en andere beleidsopgaven, zoals klimaatmitigatie (en -adaptatie), bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid.

In deze beknopte evaluatie ligt de nadruk op een drietal bodemverbeteraars, namelijk maaisel¹, compost en bokashi, waarbij zowel naar de producteigenschappen van deze materialen als naar de effecten daarvan na aanwending in de bodem wordt gekeken. Deze evaluatie is een onderdeel van een groter project waarin de bijdrage in kaart wordt gebracht van Circulair Terreinbeheer voor de circulaire economie en andere beleidsopgaven. Daarbij ligt de nadruk op het evalueren van verschillende manieren van verwerken van organisch materiaal en de mate waarin dit bijdraagt een aantal

¹ Bermmaaisel, maaisel openbaar groen en slootmaaisel.

milieuaspecten, productiefuncties en, indien mogelijk, ecosysteemdiensten en maatschappelijke opgaven.

De drie genoemde materialen, onbehandeld bermmaaisel, compost en bokashi, vormen samen de bulk van alle organische reststromen die in het kader van circulair terreinbeheer gebruikt kunnen worden als bodemverbeteraar.

De volgende in dit rapport opgenomen relevante aspecten worden beoordeeld:²

- Koolstofvastlegging in de bodem en daaraan gerelateerd de opbouw van de stabiele humusfractie;
- Emissie van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O) naar de lucht tijdens productie en transport en na inbreng in de bodem;
- Effecten op de nutriëntenbalans (N, P, K, Mg, Ca) in de bodem;
- Risico op accumulatie in de bodem van zware metalen (Zn, Cd, Cr, Pb, Ni, Hg, Cu) en arseen (As);
- Invloed op ziektevering en onkruiddruk;
- Stimulering bodemleven;
- Verhogen van het watervasthoudend vermogen en/of verbeteren structuur van de bodem.

Een integratie op hoger niveau kan leiden tot uitspraken over de invloed van deze producten op:

- De biodiversiteit van de bodem, mede in relatie tot de weerbaarheid van de bodem;
- De bijdrage aan ecosysteemdiensten, onder meer de koolstofvastlegging en/of invloed op de waterberging;
- De bijdrage aan milieu-hygiënisch verantwoorde gebiedseigen verwerking van grondstoffen.

Uiteraard zijn er vele manieren om organisch materiaal te verwerken, al dan niet na een verwerkingsstap (zoals inkuielen, composteren, productie van bokashi). Dit varieert van het eenvoudigweg laten liggen van vers materiaal op plaats van vrijkomen tot het elders aanwenden van het materiaal, al dan niet verwerkt volgens een van de eerdergenoemde procedures.

1.3 Afbakening

Een quickscan van de literatuur vormt de basis voor de hier opgenomen samenvatting van de belangrijkste kwaliteitsaspecten (samenstelling, o.a. gericht op nutriënten en contaminanten) en beoogde functies (o.a. C-vastlegging en biodiversiteit). Daarbij vergelijken we met name de drie soorten materiaal (vers, niet verwerkt (berm)maaisel, compost en bokashi).

Hierbij is met name gefocust op toepassingen van maaisels waarover nog weinig data beschikbaar zijn, zoals (direct) onderwerken in de kleine kringloop en toepassing van gefermenteerd maaisel (bokashi). Een aantal tabellen en referenties geeft informatie over meerdere producten, vaak worden gegevens over zowel bokashi als compost gegeven. Deze informatie is door de auteur(s) van de betreffende bronnen bijeengebracht en eventuele afwijkingen, met soms meer recente data van andere bronhouders, zijn verder niet onderzocht.

Eventuele fouten in de informatie in deze tabellen vallen daarmee buiten de verantwoordelijkheid van de opstellers van het onderhavige rapport.

² In deze studie zijn de bodemfysische aspecten van mulchen (om de grond minder uit te laten drogen en onkruid tegen te gaan) en waterdoorlatendheid niet meegenomen.

2 Resultaten inventarisatie

2.1 Kwaliteit van maaisel, compost en bokashi

Vergelijkende studies van de kwaliteit van maaisel, compost en bokashi laten zien dat er duidelijk verschillen zijn, onder meer in droge stof, N- en P-gehalte, en C/N-ratio (samengevat in de Tabellen 1 t/m 5 hierna). Daarbij is de kwaliteit van met name bokashi wel sterk afhankelijk van het uitgangsmateriaal en kent bokashi mede daarom een grote variatie in samenstelling (Quiroz en Cespédes, 2019). Daarbij is het relevant rekening te houden met het beoogde gebruik. In eerste instantie betreft dat hier het gebruik als bodemverbeteraar. Een deel van de resultaten dat echter beschikbaar is, richtte zich ook specifiek op de kwaliteit als meststof. Doordat in dat geval andere (veelal hogere) doseringen zijn gebruikt, levert dit mogelijk andere resultaten of effecten op dan in geval van lagere doseringen.

Daarbij geldt dat bokashi een veelvoud aan productiemethoden kent, evenals gebruikte bronmaterialen. Zo varieert de aanbevolen tijd voor fermentatie van 7 tot 21 dagen (Quiroz en Cespédes, 2019) en wordt er wereldwijd een veelvoud aan materialen gebruikt, variërend van delen van rijstplanten, vismeel, gerst, guano, molasse, gist, yoghurt en zogenaamde Effectieve Micro-organismen (EM) (Quiroz en Cespédes, 2019). Deze verschillen in zowel methode als bronmateriaal en zijn, uiteraard, van invloed op de eigenschappen van het product (noot: bokashi is zowel een methode als een product). Zo varieert de C/N-verhouding, een belangrijke eigenschap als het gaat om de dynamiek van C in de bodem en de beschikbaarheid van stikstof voor bodemorganismen en planten, tussen 7 tot 40 (Quiroz en Cespédes, 2019). Ook het al dan niet gebruiken van toevoegingen gedurende de productie, onder meer EM-organismen, kleimineralen of verschillende typen van kalk, is van invloed op het proces en eigenschappen. Op dit moment worden verschillende typen van organismen als EM gebruikt, onder andere zelf opgekweekte micro-organismen of bacteriën in yoghurt. In deze studie is geen poging gedaan om dergelijke verschillen in kaart te brengen, veelal omdat ook niet precies bekend was welk procedé, welke toevoegingen of welk bronmateriaal is (zijn) gevolgd.

Uiteraard bepaalt de kwaliteit van het uitgangsmateriaal deels de kwaliteit van een product. Een studie van Russchen (2016) laat zien dat als het uitgangsmateriaal maaisel is, de nutriëntgehalten (N, P, K, Mg) in bokashi lager zijn dan die in groencompost (Tabel 1a), wat zich ook vertaalt naar een lagere vracht per hectare (bij aanwending van 20 ton per hectare (Tabel 1b)). Van de compostsoorten en bokashi levert gft-compost daarbij de hoogste nutriëntwaarden op. Het verschil tussen groencompost en gft-compost wordt veroorzaakt door het gebruikte materiaal, waarbij met name groencompost deels bestaat uit houtige biomassa met relatief lage nutriëntgehalten, daar waar gft-compost een hoog aandeel N-rijker materiaal bevat (groente en fruit).

Overigens suggereren de data van Russchen (2016) dat de verschillen in nutriëntsamenstelling van bokashi gemaakt door inoculatie met effectieve micro-organismen (EM) t.o.v. die van ingekuuld gras in balen zonder toevoeging van EM klein en niet-significant zijn. Dit laatste mede doordat het aantal monsters in het onderzoek van Russchen (2016) klein is (n=3 voor bokashi gemaakt van grasbalen).

Onderzoek van Kusters (2015) naar vergelijkbare mestsoorten laat een soortgelijk beeld zien met lagere nutriëntgehalten in bokashi (m.n. die gemaakt van maisstro) dan in compost of dierlijke (geiten- en varkens)mest (Tabel 2). Als gevolg van de hogere C/N-ratio in de bokashi werd bovendien vastgesteld dat een deel van de N-voorraad in de bodem microbieel werd vastgelegd (immobilisatie), wat feitelijk kan leiden tot een *verlaagde* N-beschikbaarheid. Het feit dat er bij de productie van bokashi wellicht minder N verloren gaat dan bij de productie van compost, betekent derhalve niet meteen dat er ook meer N beschikbaar is voor gewassen in de bodem.

Tabel 1a Overzicht van verschillen in samenstelling en bemestende waarde op productbasis voor verschillende organische meststoffen met onder meer dierlijke mest, compost en bokashi (Bron: Russchen, 2016).

Product	DS	OS	N	Nm	Norg	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	dichtheid Kg m ⁻³
	-----kg ton ⁻¹ vers product -----									
Rundveedrijfmest	85	64	4.1	2.0	2.1	1.5	5.8	1.2	0.7	1005
Vleesvarkensdrijfmest	93	43	7.1	4.6	2.5	4.6	5.8	1.5	1.2	1040
Vaste geitenmest	291	174	9.9	2.4	7.5	5.3	12.8	4.0	1.9	-
Gft-compost	696	242	12.8	1.2	11.6	6.3	11.3	4.8	-	800
Groencompost	559	179	5.0	0.5	4.5	2.2	4.2	1.8	-	-
Bokashi van Gras-balen (n=3)	237	195	2.7	-	2.7	0.9	3.3	0.6	-	-

Tabel 2b Overzicht van verschillen in samenstelling en bemestende waarde in vracht per hectare bij een gift van 20 ton ha⁻¹ voor verschillende organische meststoffen met onder meer dierlijke mest, compost en bokashi (Bron: Russchen, 2016).

Product	Gift (ton ha ⁻¹)	OS	N	Nwerkzaam ¹	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
		-----kg ha ⁻¹ -----					
Rundveedrijfmest	20	1280	82	45	30	116	24
Vleesvarkensdrijfmest	20	860	142	121	92	116	30
Vaste geitenmest	20	3480	198	-	106	256	80
Gft-compost	20	4840	256	26	126	226	96
Groencompost	20	3580	100	10	44	84	36
Bokashi van Gras-balen (n=3)	20	3900	54	-	18	66	12

¹ N-werkzaam is de werking van organische N ten opzichte van de minerale referentie KAS (Kalkammonsalpeter).

Een recent overzichtartikel van Quiroz en Cespédes (2019) toont verder aan dat ook de samenstelling van bokashi gemaakt van diverse uitgangsmaterialen zeer sterk verschilt (Tabel 3). Daarbij zijn vooral veel gegevens over N, P, K, organische stof en C/N-ratio's voorhanden. Overigens betreft deze studie vooral bokashi gemaakt van verschillende, veelal wat nutriëntrijkere materialen, zoals dierlijke mest en landbouwgewassen, en niet zozeer maaisel. De data in Tabel 3 zijn daarom wat nutriënten betreft gemiddeld wat hoger dan die in bijvoorbeeld Tabel 2 voor bokashi gemaakt van graan- of maaisel. Dit geeft daarmee wel de min of meer te verwachten range aan voor nutriënten en andere factoren die in bokashi aangetroffen kunnen worden. Voor maaisel liggen deze dus veeleer aan de onderkant van deze ranges.

Tabel 3 Vergelijking van bemestende waarde voor dierlijke mest, compost en bokashi (Bron: Kusters, 2015).

Bepaling	Eenheid	Varkens drijfmest	Compost	Bokashi graanstro	Bokashi maaisel	Geiten- mest
Stikstof totaal	g N kg ⁻¹	5.2	10.6	6.2	3.3	10
Stikstof-Ammonium	g N-NH ₃ kg ⁻¹	3.6	-	3.0	1.3	1.4
Stikstof-Organisch	g N-org kg ⁻¹	1.6	-	3.2	2.0	7.0
Fosfaat	g P ₂ O ₅ kg ⁻¹	2.5	4.7	2.7	1.8	4.7
Kali	g K ₂ O kg ⁻¹	4.7	8.1	6.6	3.6	14
Magnesium	g Mg kg ⁻¹	0.8	-	0.9	0.6	1.6
Natrium	g Na kg ⁻¹	1	-	0.7	0.4	1.3
Drogestof	g DS kg ⁻¹	50	738	221	199	462
Ruw as	g RAS kg ⁻¹	15	-	42	48	284
Organische stof	g OS kg ⁻¹	35	297	179	151	178
C/N-verhouding	-	3	14	13	20	10

Tabel 4 Minimum, gemiddelde en maximumgehalten aan N, P, K, SOM en variatie in C/N-ratio, EC en pH in bokashi (Quiroz en Cespédes, 2019).

	N	P	K	SOM	C/N	EC	pH
	%	%	%	%	-	dS m ⁻¹	
Minimum	0.50	0.09	0.63	20.10	7.00	4.20	4.20
Gemiddelde	1.50	1.04	1.90	47.43	18.52	9.79	7.05
Maximum	3.54	6.11	6.60	94.30	40.00	21.20	8.80
Aantal	30	23	25	29	29	14	14

Zowel de absolute gehalten aan nutriënten kunnen daarbij sterk variëren, maar ook de variatie in de mate waarin N gemineraliseerd kan worden (door variatie in C/N-ratio's) is daarbij groot. Ook opvallend zijn de verschillen in EC en pH, die van invloed kunnen zijn op de algemene bodemkwaliteit. Voor een kleiner deel van de monsters is tevens aangetoond dat NH₄-gehalten (ammonium) in bokashi gemiddeld hoger zijn dan in andere organische meststoffen. Vergeleken met nitraat kan ammonium toxisch zijn voor veel planten (en bodemorganismen) en is de opneembaarheid van ammonium door planten veelal lager dan die van nitraat. In een deel van de monsters was het merendeel van de minerale N-voorraad (nitraat plus ammonium) in ammoniumvorm, zoals bij dierlijke mest. Zoals eerder vermeld, betreft de studie van Quiroz en Cespédes (2019) vooral de wat rijkere bronmaterialen. Voor bokashi van armer materiaal (maaisel met hoge C/N-ratio) zijn echter minder data voorhanden om deze mogelijke effecten te evalueren.

Tabel 5 Gemiddelde gehalten aan nutriënten (g kg⁻¹ droge stof; Bron: Ros et al., 2012).

Bron	N	P	K	S	Mg	Na	C/N	Ca
Bermmaaisel	8-27	0,9-6,3	2-47	<1,7	1,4-2,0	0,7-2,1	22,5	6-13
Slootmaaisel	6-30	1-10	4-28	1-17	1-6	<1	10-80	8-35
Groenafval	4-21	1-3	7-18	1-20	1-5	<1,5	20-80	<35

Uit Tabel 4 blijkt dat de verschillen in nutriëntgehalten voor N en K tussen de verschillende maaisels en groenresten enerzijds en de data voor bokashi anderzijds (Tabel 3) beperkt zijn (noot: de eenheden gehanteerd in Tabel 3 en Tabel 4 zijn niet dezelfde). De gehalten aan P in bokashi, zoals gerapporteerd door Quiroz en Cespédes (2019), zijn gemiddeld hoger dan in maaisel en groenresten. Ook de C/N-ratio is in bokashi iets hoger dan in de uitgangsmaterialen. Verschillen tussen de maaisels (data Tabel 4) zijn vooral het gevolg van verschillen in soortensamenstelling van het maaisel en de leeftijd van het maaisel op het moment van maaien, waarbij bij toename van de leeftijd bijvoorbeeld ook de C/N ratio stijgt (Ros et al., 2012).

De samenstelling van compost wordt al lang gemonitord en blijkt gedurende de periode 2012-2018 heel constant (Tabel 5, data beschikbaar gesteld door T. Brethouwer, pers. inf.). Compost wordt daarbij beschouwd als een bron van stabiel koolstof. Een groot deel van de aangewende koolstof is ook een jaar na toediening nog aanwezig in de bodem (zie ook par. 2.3). Wel is er enige discussie over de beschikbaarheid van een aantal nutriënten zoals P, wat van invloed is op de hoeveelheid compost die gebruikt mag worden volgens de mestwetgeving. Naast de genoemde macro-elementen (N, P, K) bevat compost daarnaast ook nog relatief hoge gehalten aan micronutriënten als zink en koper (zie onder meer Tabel 13).

Tabel 6 Samenstelling van GFT- en Groencompost in Nederland in de periode 2012-2018 (gehalten in kg ton⁻¹ basis van droge stof). Data: BVOR (2020).

	Groencompost		GFT-compost	
	gemiddelde	standaard deviatie	gemiddelde	standaard deviatie
D.S.	628	12	662	10.0
O.S.	261	25	336	5.9
N	7.6	0.4	12.0	0.3
P ₂ O ₅	3.7	0.3	6.6	0.3
K ₂ O	7.0	0.4	10.4	0.2
MgO	3.4	0.3	5.5	0.7
S	1.6	0.2	2.3	0.2
Cl	1.4	0.2	2.9	0.1
EC	2.2	0.8	3.4	0.3
CaCO ₃	3.4	3.3	2.3	0.2
pH-KCl	7.4	0.1	7.2	0.0

2.2 Effect op bodem en gewasopbrengst

Vooralsnog lijkt het gebruik van bokashi voor het merendeel van de onderzochte gewassen niet te leiden tot een significante meeropbrengst of een hogere kwaliteit (bepaald door onder andere het suikergehalte) bij onder meer bieten (Russchen, 2016; Tabel 6 en Tabel 7), tarwe (Slabbekoorn en Dekker, 2009; Van 't Westeinde et al., 2016) en aardappelen (Kusters, 2015). Daarbij gold in de meeste gevallen een bemesting met minerale kunstmest als referentie en is de verwachting dat bemesting via bokashi tot vergelijkbare opbrengsten leidt als andere meststoffen. Effecten van de organische stof uit bokashi zijn, net zoals bij dierlijke mest of compost, pas op lange termijn te verwachten ten opzichte van een bemesting met alleen minerale meststoffen. Voor zomergerst daarentegen is in de behandeling met bokashi een significante opbrengststijging gerapporteerd ten opzichte van die met uitsluitend minerale mestaanwending (Slabbekoorn en Dekker, 2008). Daarbij was de aanname dat N in bokashi beperkt beschikbaar was voor het gewas (12 kg ha⁻¹ van de 46 kg ha⁻¹ die aanwezig was in bokashi). Er is echter niet vastgesteld wat de werkelijke N-mineralisatie is geweest en de gerapporteerde meeropbrengst is daarom mogelijk het gevolg van de extra N-gift die gedurende het groeiseizoen uit bokashi kan zijn gemineraliseerd.

Tabel 7 Effecten van gebruik maaisel (baal), bokashi of geitenmest op de opbrengst en kwaliteit van bieten (Bron: Russchen, 2016).

Code	Object	x1000/ha Aantal ¹	Ton/ha Opbrengst	% Suiker	Ton ha ⁻¹ Suiker
A	Geen org. meststof	103	94.0	18.7	17.6
B	Bokashi-baal	112	89.8	18.6	16.7
C	Gras-baal	100	87.0	19.0	16.6
D	Geitenmest	99	87.7	18.9	16.6

¹ Er zijn 100.000 bietenzaden per hectare uitgezaaid. Doordat het perceel bieten is overgezaaid vanwege vorstschade, is een plantaantal van meer dan 100.000 bieten mogelijk door overleving van enkele van de vroegst gezaaide bieten.

Tabel 8 Effecten van gebruik maaisel (baal), bokashi of geitenmest op de kwaliteit van bieten (Bron: Russchen, 2016).

Code	Object	% Tarra		mmol kg ⁻¹		%	
		Grond	K	Na	AmN ¹	Glu ²	WIN ³
A	Geen org. meststof	5.9	37.8	7.2	10.6	2.3	91.7
B	Bokashi-baal	5.4	36.9	6.0	9.2	2.0	92.0
C	Gras-baal	4.2	40.9	5.4	9.7	2.2	91.7
D	Geitenmest	3.3	43.5	5.3	7.8	2.2	91.2

¹ Amino-N-gehalte.

² Glucose gehalte.

³ Winbaarheid van suikerbieten.

De studie van Kusters (2015) toont aan dat effecten tegengesteld kunnen zijn wanneer uitgevoerd op verschillende locaties (bodemtype). Zo wordt in een proef met aardappel uitgevoerd op een lössbodem een fijnere sortering (grootteklasse) gevonden in de met bokashi behandelde velden, terwijl in een kleigrond nabij Lelystad juist een grovere sortering als effect van het gebruik van bokashi gerapporteerd wordt. Het toeschrijven van bepaalde effecten aan het gebruik van een bepaalde meststof lijkt daarmee voorbarig en is conditioneel.

De studie van Van 't Westeinde (2016) geeft de effecten van de aanwending van compost of bokashi op de ontvangende bodem (Tabel 8; effecten op o.a. microbiële activiteit en onkruiddruk komen later aan de orde). Hieruit blijkt dat voor de meeste onderzochte bodemparameters (o.a. N, P, K, Ca) en micronutriënten (Si, Fe, Zn, Mn, Cu) er geen significant verschil gevonden kan worden in bodems behandeld met compost of bokashi ten opzichte van een minerale bemesting. Ook kon gedurende drie seizoenen (2013-2016) geen effect op de opbrengst noch de kwaliteit (o.a. gehalte aan eiwit, zetmeel) van tarwe vastgesteld worden.

Dit sluit aan bij de conclusies van Janmaat (2017), die stelt dat het vooralsnog niet duidelijk is of bokashi in de eerste jaren een meerwaarde heeft ten opzichte van compost ten aanzien van veranderingen in de bodemvruchtbaarheid. Juist omdat deze meerwaarde (groten)deels bepaald moet worden door de omzetting van bokashi in de bodem zelf door aanwezige micro-organismen en er daarvoor langdurige experimenten nodig zijn.

Opvallend is dat Van 't Westeinde et al. (2016) concluderen dat de verschillen in organische stof 'net niet significant zijn', terwijl er in populaire akkerbouwtijdschriften, op basis van hetzelfde onderzoek, vermeld wordt dat er sprake is van een duidelijke stijging van het bodem-organischestofgehalte door het gebruik van bokashi ('Bokashi stuwt OS-gehalte in Bodem', in *Akker van het Noorden*, nr. 2, pagina 18 en 19, juni 2017). Feitelijk is de kans dat in een dergelijke proef(opzet) een significante verhoging vast te stellen is, klein. Om een significante verhoging te meten van het bodem-organischestofgehalte, gegeven de variatie binnen en tussen (proef)velden, zijn veeleer meerjarige experimenten nodig (5 à 10 jaar of langer).

Tabel 9 Overzicht effecten van gebruik van bokashi en compost op de bodemkwaliteit en de significantie van de verschillen daartussen (Bron: Westeinde et al., 2016).

	Eenheid	Bokashi	Compost	Onbehandeld	L.S.D. ³ (p=0,05)
N-totale bodemvoorraad	mg N kg ⁻¹	2403	2298	2217	139,0
C/N-ratio	-	10,7	10,3	10,0	n.s.
N-leverend vermogen	kg N ha ⁻¹	121	118	120	n.s.
S-totale bodemvoorraad	mg S kg ⁻¹	477	418	410	n.s.
C/S-ratio	-	55	57	57	n.s.
S-leverend vermogen	kg S ha ⁻¹	23	20	20	n.s.
P p.b. ¹	mg P kg ⁻¹	1,4	1,3	1,2	n.s.
P-bodemvoorraad	mg P ₂ 100 g ⁻¹	41	41	37	3,14
Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	29	27	26	2,17
K p.b.	mg K kg ⁻¹	97	91	83	9,69
K-bodemvoorraad	mmol+ kg ⁻¹	5,9	5,4	5,7	0,21
Ca p.b.	kg Ca ha ⁻¹	348	444	420	n.s.
Ca-bodemvoorraad	kg Ca ha ⁻¹	16515	16143	16758	n.s.
Mg p.b.	mg Mg kg ⁻¹	103	94	100	6,41
Na p.b.	mg Na kg ⁻¹	18	17	18	n.s.
Si p.b.	µg Si kg ⁻¹	69375	69133	73237	n.s.
Fe p.b.	µg Fe kg ⁻¹	-	-	-	n.s.
Zn p.b.	µg Zn kg ⁻¹	-	-	-	n.s.
Mn p.b.	µg Mn kg ⁻¹	-	-	-	n.s.
Cu p.b.	µg Cu kg ⁻¹	-	-	-	n.s.
Co p.b.	µg Co kg ⁻¹	-	-	-	n.s.
B p.b.	µg B kg ⁻¹	443	409	416	n.s.
Mo p.b.	µg Mo kg ⁻¹	7	7	6	n.s.
Se p.b.	µg Se kg ⁻¹	4,0	4,1	4,3	n.s.
Zuurgraad	-	7,5	7,5	7,6	n.s.
C-organisch	%	2,6	2,4	2,3	n.s.
Organische stof	%	5,2	4,7	4,6	~0,57*
C-anorganisch	%	0,26	0,25	0,23	n.s.
Koolzure kalk	%	1,5	1,5	1,3	n.s.
Klei	%	39	39	41	1,44
Silt	%	41	41	40	n.s.
Zand	%	14	15	13	n.s.
Klei-humus (CEC ²)	mmol+kg ⁻¹	319	307	316	n.s.
CEC ² -bezetting	%	100	100	100	n.s.

* ~net niet significant~

¹ p.b.: plant beschikbaar.

² CEC: kationenomsomwisselingscapaciteit.

³ L.S.D. Least Significant Difference-test.

In de internationale literatuur is het effect van EM onderzocht. Zo toont een studie van Formowitz (et al., 2007) aan dat het al dan niet toevoegen van EM aan bokashi gemaakt van bananenblad, geen invloed heeft op de kwaliteit en opbrengst van bananen of op de mineralisatie van de aanwezige koolstof. Het enige effect dat aan de aanwezigheid van EM kon worden toegeschreven, was een verhoogde K-opname door jonge bananen. Onder Europese condities rapporteren ook Mayer et al. (2010) dat er in de onderzochte gewassen en bodems geen sprake was van een significant effect van het gebruik van EM.

Onderzoek naar de verliezen van C na aanwending van bokashi in de bodem is nog heel schaars. Een bron van informatie betreft de studie van Viaene et al. (2017b). Daarbij dient opgemerkt te worden dat dit onderzoek naar ensilage betreft en geen bokashi geproduceerd volgens de daartoe opgestelde richtlijnen. Desalniettemin zijn beide producten verkregen door fermentatie en vatten we de resultaten hier daarom samen als enigszins representatief voor de dynamiek van C na aanwending in de bodem.

De studie van Viaene et al. (2017b) bevestigt het beeld dat er tijdens het fermentatieproces gedurende de productie van in dit geval ensilage relatief weinig C verloren gaat wanneer men dat vergelijkt met de verliezen tijdens de productie van compost. Daarentegen is de mineralisatie na incubatie in de bodem uit ensilage veel hoger binnen een tijdsbestek van 82 dagen. Daarbij was de mineralisatie van C uit ensilages uitgedrukt in snelheid van zuurstofopname (OUR, oxygen uptake rate), met een waarde van 80-140 mmol kg⁻¹ OM h⁻¹, waar die voor compost 0 tot 15 bedroeg (Viaene et al., 2017b). Uit de samenstelling van ensilage versus compost bleek verder dat een groot deel van het mineraal N in ensilage uit ammonium bestaat, terwijl dat in compost afwezig is. Een opvallend verschil was verder de pH van ensilage (4.4). Voor bokashi geldt echter dat door de toevoeging van kalk (zeeschelpen) deze verzuring als gevolg van fermentatie voorkomen wordt. Daardoor zal in bokashi wellicht ook minder ammonium aanwezig zijn dan in de onderzochte ensilages doordat het proces bij een hogere pH plaats heeft. Dit vergt vooralsnog meer onderzoek.

2.3 Bijdrage van maaisel, compost en bokashi aan de koolstofvastlegging in de bodem

Een groot verschil tussen maaisel en bokashi enerzijds en compost anderzijds, is de dynamiek van koolstof, zowel tijdens het compostering- of bokashi-proces als na inbreng van het product in de bodem.

Bij het produceren van bokashi onder zuurstofloze condities gaat een relatief klein deel van de C-voorraad verloren (3 à 6%, Hitman en Bosch, 2017, Tabel 9), omdat er feitelijk geen of maar zeer beperkt omzetting naar CO₂ plaatsvindt. Daarentegen wordt een groter deel van C omgezet in melkzuurachtige verbindingen (zie ook par. 2.6). Bij het composteren daarentegen kan tot 70% van de (labiele) C-verbindingen afgebroken worden door de aanwezige micro-organismen (Tabel 9). Datzelfde geldt ook voor N, waarvoor de verliezen gedurende het procedé variëren van 0 tot 2% voor bokashi en tussen 10 en 16% voor compost. Uiteraard is de variatie in de afbraak afhankelijk van onder meer het uitgangsmateriaal en de duur van composteren dan wel fermenteren en kunnen verliezen van C oplopen naarmate het proces langer duurt.

Het verlies van koolstof tijdens het procedé is echter geen goede of volledige maat voor de beoordeling van het aandeel van een product bij de koolstofvastlegging. Dit aandeel wordt namelijk grotendeels bepaald door de vorming van humus in de bodem zelf. Daar waar vers maaisel nog volledig omgezet moet worden door de aanwezige bodem(micro)flora en -fauna en bokashi nog maar deels is omgezet, is de omzetting van biomassa naar stabiele humus in compost al in een vergevorderd stadium. Hierdoor zal een jaar na toediening een groter deel van de aangewende humus nog aanwezig zijn. Op dit moment is er nog geen meerjarig onderzoek gedaan naar de verschillen in de langetermijnopbouw van organische stof gericht op de vergelijking tussen compost, maaisel en bokashi. STOWA (2003) concludeert dat de mate waarin maaisel bijdraagt aan de opbouw van bodemkoolstof nog slecht onderzocht is. Men verwacht dat er wel een relatie is tussen de N-gehalten in maaisel en de mate waarin koolstof in de bodem behouden blijft, waarbij maaisel met een hoog N-gehalte tot meer mineralisatie leidt dan maaisel met een laag N-gehalte. De suggestie is echter dat onder meer kwaliteitsverschillen in de gebruikte bokashi afkomstig van verschillende locaties en gemaakt van materiaal op verschillende tijden gedurende het groeiseizoen een grotere rol spelen bij het bepalen van de uiteindelijke effectiviteit. Hierover zijn echter nog geen data voorhanden. Indicatieve schattingen laten zien dat bij een dosering van 2 ton ha⁻¹ en een humificatiecoëfficiënt (HC) van 40%, de jaarlijkse aanvoer van bodemkoolstof maximaal 1% bedraagt van de totale C-voorraad in de bodem.

Tabel 10 Verliezen aan organisch C tijdens productie van bokashi en compost (Bron: Bosch et al., 2016).

Jaar:	Bokashi ¹		Compost	
	2013	2015	2013	2015
Totale hoeveelheid bij de start (kg)	14,330	13,750	13,400	12,820
kg na 6 (2013) of 8 (2015) weken	13,870	12,850	5,070	5,070
Verlies OM (%)	2.2	4.8	49	48
C verliezen (%)	2.9	5.6	59	69
N verliezen (%)	0.0	1.7	9.6	16.0

¹ Voor bokashi bevat het startmateriaal 930 kg aan toevoegingen (Microferm, Edasil klei mineralen en kalk van Ostrea zeeschelpen).

Russchen (2016) voorspelt dat het aandeel van organische stof uit bokashi geproduceerd van maaisel (Engels raaigras) minder dan 30% is na 1 jaar en verder daalt naar 5% na 10 jaar, daar waar dit voor zowel groen compost als gft-compost respectievelijk 75% (na 1 jaar) en 31% (na 10 jaar) betreft (Tabel 10). De waarden na 5 en 10 jaar zijn voorspeld aan de hand van de gemeten HC na één jaar. De door Russchen (2016) gerapporteerde HC's komen overeen met die gerapporteerd door Van Groenigen en Zwart (2007), Zwart (et al., 2013) en Inagro (2011). Voor gras wordt daarin een HC van rond 30% gerapporteerd, terwijl voor de meeste compostsoorten dit rond 90% varieert. Voor mest varieert dit van 40% voor drijfmest tot 50% voor vaste mest (Inagro, 2011).

Tabel 11 Humificatiecoëfficiënten van verschillende organische mestsoorten en de berekende resterende fractie in de bodem van de aangewende organische stof na 1, 5 en 10 jaar (uit: Russchen, 2016).

Mestsoort	HC ¹	Fractie resterend in de bodem t.o.v. de hoeveelheid bij aanwending		C/N ²
		Na 5 jaar	Na 10 jaar	
Rundveedrijfmest	0.70	0.36	0.26	15
Vleesvarkensdrijfmest	0.33	0.09	0.06	9
Vaste geitenmest	0.70	0.36	0.26	12
GFT-compost	0.75	0.42	0.31	9
Groencompost	0.75	0.42	0.31	18
Engels raaigras	0.27	0.07	0.05	22

¹ HC = humificatiecoëfficiënt: de fractie die één jaar na toediening van het vers organisch materiaal nog over is in de bodem.

² C/N-verhouding van de organische stof in de mest (C/N-org.)

In een recenter advies van de CDM (CDM, 2017) is een overzicht gegeven van HC voor onder meer mest en compost. Daaruit blijkt dat met name voor gft- en groencompost een HC van 0,9 gehanteerd wordt, wat aangeeft dat voor compost zeker in het eerste jaar een groot deel van de aangewende koolstof uit compost behouden blijft. Helaas is in dit advies geen informatie opgenomen over maaisel en/of bokashi.

Dit bevestigt dat voor toepassing in Nederland – waar vooralsnog de nadruk ligt op het gebruik van bokashi gemaakt van maaisel dat wordt toegepast als bodemverbeteraar – nog relatief weinig gegevens beschikbaar zijn. Voor bokashi gemaakt van onder meer dierlijke mest geldt daarentegen dat er meer bekend is over de werkzaamheid in bodem en op gewasopbrengst. Zo presenteren Vanrespaille et al. (2019) recente gegevens van bokashi gemaakt van stalmest en effecten op opbrengst en kwaliteit van cichorei, mais en suikerbiet in veldproeven bij deelnemende landbouwbedrijven. De resultaten tonen dat er geen wezenlijk verschil is in de gehalten aan organische stof, K of N tussen de uitgang producten (runderstalmest) en de daarvan gemaakte bokashi. Verschillen in de bodem waarin mest of bokashi werd toegediend, zoals hogere N-gehalten in de bouwvoor bij gebruik van bokashi (cichorei) waren het gevolg van de hogere dosering en niet van de eigenschappen van bokashi. In vergelijking met drijfmest bevat cichorei meer K indien bemest werd met bokashi of stalmest, waarbij het verschil tussen stalmest

en bokashi weer niet-significant was. Verschillen in opbrengst waren niet significant tussen alle behandelingen.

Voor suikerbiet, mais en cichorei zijn er zijn geen verschillen in de hoeveelheden organische koolstof in de bodem een jaar na toediening gemeten tussen de referentie, met stalmest en met bokashi behandelde velden. Wel is er een hogere N-mineraal-hoeveelheid in de bodem behandeld met bokashi. Dit is deels een gevolg van de lage opname in het (droge) jaar ervoor. Vanrespaille et al. (2019) concluderen derhalve dat in dergelijke situaties de kansen op verhoogde nitraatuitspoeling bij bokashi na het groeiseizoen (voor mais en cichorei) hoger zijn.

Dit werd ook gevonden in maispercelen waar gedurende het groeiseizoen (in het jaar van toediening) hogere N-mineraalwaarden zijn gemeten vergeleken met stalmest (of houtsnippers). In deze (veld)studie werd evenwel geen verschil gevonden tussen de N-status van een veld behandeld met drijfmest en die met bokashi. Wel concluderen Vanrespaille et al. (2019) dat er dus bij gebruik van bokashi sprake kan zijn van een hogere mineralisatie van N gedurende het seizoen van aanwending dan in geval van stalmest. Opvallend was dan wel dat de productie van mais in de met bokashi behandelde velden *lager* was dan in de overige behandelingen, ondanks de hogere N-beschikbaarheid (Viaene et al., 2017a).

Ook voor suikerbiet werden dezelfde trends gevonden, d.w.z. veelal een hogere N-beschikbaarheid in de bodem gedurende en (in geval van mais en cichorei) na de oogst, maar geen effect op organische koolstofgehalten in de bodem, gewasproductie en/of kwaliteit. Een vergelijking tussen compostering en ingekuilde mest (een vorm van bokashi) van de dikke fractie van rundveedrijfmest laat een hoge N- beschikbaarheid en daarmee een hogere gewasopbrengst zien bij ingekuilde mest (Viane et al., 2017b).

Zoals gesteld, betreft dit resultaten van relatief rijke bokashi, gezien het bronmateriaal. Mogelijk zijn effecten zoals de relatief hoge mineralisatie van N in deze vormen van bokashi daarom niet een-op-een te vertalen naar het vrijkomen van N uit bokashi gemaakt van maaisel. Dit laatste product is namelijk niet alleen (gemiddeld) armer aan nutriënten, maar wordt bij gebruik als bodemverbeteraar ook – meestal – in lagere doseringen aangewend.

Van Geel et al. (2020) tonen aan dat de hoeveelheid effectieve organische stof voor zowel stro (als representant van een product met veel OS en een lage HC) als compost vergelijkbaar is (218 kg/ton voor compost met een HC van 0.9 versus 230 kg/ton voor stro met een HC van 0.3). Deze conclusie is echter gebaseerd op relatief weinig data en bovendien ontbreekt veelal informatie (zeker voor bokashi) over de samenstelling en stabiliteit van de bodemorganische stof die op korte termijn gevormd is in de bodem.

Conclusies over de uiteindelijke koolstofvastlegging en carbon footprint (of verliezen) tussen bokashi en compost gebaseerd op producteigenschappen (o.a. in Bosch et al., 2016) zijn daarom deels misleidend. Vooral omdat een groot deel van de verschillen in de emissie van koolstof naar de lucht gedurende de productie (met name als CO₂) tussen bokashi (weinig verlies) en compost (groot verlies) na toediening in de bodem weer verdwijnen. Met name in het eerste jaar zijn de verliezen door mineralisatie van compost beperkt (HC van 0.9), terwijl die van bokashi zeer groot kunnen zijn en in dezelfde orde van grootte liggen als emissie uit dierlijke mest. Zo tonen metingen in eenjarige veldproeven aan dat de gehalten aan organische stof in de bodem in percelen behandeld met bokashi niet verschillen van die in velden behandeld met dierlijke mest (drijfmest of stalmest; Vanrespaille et al., 2019). De beschikbare data voor maaisel suggereren dat de HC in dezelfde orde van grootte liggen als die voor bokashi (o.a. Russchen, 2016), hoewel langetermijnstudies naar de opbouw van bodemkoolstof bij gebruik van maaisel schaars zijn. Aan de hand van HC voor gras (o.a. in Ros et al., 2012) is de hypothese vooralsnog dat bij beperkte doseringen (2 ton ha⁻¹ jaar⁻¹) van maaisel of andere onbewerkte groenresten, de bijdrage aan de opbouw van bodemkoolstof (zeer) gering is. In het buitenland (Thomsen et al., 2013; Frøseth et al., 2014) zijn wel studies gedaan naar het effect van vergisten en dierlijke mest ten opzichte van vers gras op de bodem na 245 dagen. Hieruit blijkt dat bij vergelijkbaar gebruik van gras (direct, in vergister of via koe als mest) er in de bodem 12 tot

14% van de initiële C overblijft (Thomsen et al., 2013). Het C-verlies tijdens het proces (vergisting of vertering in koe) heeft dus uiteindelijk geen meetbaar effect op koolstof in de bodem.

Conclusies over de opbouw van organische stof en de rol van maaisel, bokashi en compost en de verschillende daartussen, zijn daarom vooralsnog gebaseerd op een te klein aantal studies die, voor bokashi, deels ook nog gebaseerd zijn op bokashi gemaakt van mest of andere bronmaterialen (niet-zijnde maaisel). Voor compost is er in reguliere bemestingsproeven al wel meer onderzoek verricht naar de langetermijneffecten (Arthur et al., 2011; Tits et al., 2014). Resultaten laten onder meer zien dat bij toename van organische stof door gebruik van compost de bodem een hogere infiltratiecapaciteit krijgt (De Clerq et al., 2015). In het algemeen leidt een hogere bodemorganische stof, bij voldoende bemesting van nutriënten, bij een klein aantal gewassen tot een lichte stijging van de oogst (Hijbeek et al., 2017).

Al langer tracht men om aan de hand van de samenstelling van organische stof uitspraken te kunnen doen over de stabiliteit na inbreng in de bodem (Lashermes et al., 2009). Metingen van C-mineralisatie binnen drie dagen en verteerbaarheid (opgelost, hemicellulose, lignine) zoals die standaard bij veevoeranalyses gebruikt worden, bleken een goede voorspelling te geven van de C-mineralisatie binnen een jaar. Recent is ook de voorspellende waarde van pyrolyse gebruikt als schatter voor de respiratie van C voor verschillende producten. Met alleen droge stof en organischestofgehalte als variabelen kon tot 42% van de respiratie van C uit verschillende organische materialen verklaard worden. In combinatie met informatie op basis van pyrolyse stijgt dit tot maximaal 78% (De Boer et al., 2020). Daarbij bleek vooral de verhouding alkanen/alkenen (33% verklaarde variantie), DS (12% verklaarde variantie), OS (14% verklaarde variantie), totaal guaicolen (12% verklaarde variantie) en de pH (7% verklaarde variantie) relevant.

Het voordeel van deze en andere technieken zou kunnen zijn dat op termijn analyse van de samenstelling een nauwkeurige schatting van langetermijneffecten (opbouw bodem-C) mogelijk maakt. Vooralsnog ontbreekt een dergelijke, eenduidige analysemethode.

Recentelijk is door Koopmans et al. (2018) een inventariserende vergelijking gemaakt van de effecten van de belangrijkste organische meststoffen op onder andere productie, koolstofvastlegging en biologische activiteit (Tabel 11). Deze samenvatting bevestigt een deel van de resultaten van andere studies en laat zien dat de werking van bokashi deels overeenkomt met die van compost daar waar het onder andere de fysische bodemkwaliteit betreft. In de analyse van Koopmans et al. (2018) scoort bokashi wat betreft de chemische kwaliteit echter minder dan dierlijke (drijf)mest en compost, terwijl de invloed op biologische parameters niet eenduidig is. Daarbij moet bedacht worden dat de vergelijking op productbasis mogelijk niet geheel correct is, omdat voor bokashi, meer dan voor compost, geldt dat het product in de bodem verder omgezet wordt. Alleen na verloop van tijd kan bepaald worden in welke mate bodemkoolstof dan opbouwt of N vrijkomt door mineralisatie.

Tabel 12 Inventarisatie van de kwaliteit en effecten van organische meststoffen op bodemkwaliteit, productie en diensten. Matrix: Samenstelling van diverse mest- en compostsoorten en hun effect op bodemkwaliteit, landbouwkundige productie en diensten. Scores lopen van -2 (zeer ongunstige, rood), -1 (ongunstig, rood), 0 (neutraal, geel), +1 (gunstig, groen) en +2 (zeer gunstig, groen) (Bron: Koopmans et al., 2018).

Mestsoorten	Kwaliteit mest										Bodemkwaliteit			Landbouwkundige productie		Diensten			Werking			
	Droge stof (kg/ton)	Organische stof (kg/ton)	Stikstof totaal (kg/ton)	Stikstof mineraal (kg/ton)	Stikstof organisch (kg/ton)	Fosfaat (kg/ton)	Stikstof stikstof (kg/ton)	Humificatiecoëfficiënt	Effectieve organische stof (kg/ton)	Effectieve organische stof (kg/ton)/Effectieve organische stof (kg/ton)/Fosfaat (kg/ton)	Fysische bodemkwaliteit (structuur)	Chemische bodemkwaliteit (nutriënten)	Biologische bodemkwaliteit (bodemleven)	Productie	Effectiviteit voor Grasland	Effectiviteit voor bouwland	C-vastlegging	Beperken emissie naar water		Beperken emissie naar lucht	Biodiversiteit (bijzonder soorten)	
Mineralen concentraat varkensmest	37	14	8,2	7,5	0,7	0,4	4,9	0,33	5	0,98	12,5	2	-2	2	2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	kort
Gier rundvee	25	10	4	3,8	0,2	0,2	3,2	0,7	7	0,46	35	2	-2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	-2	kort
Dunne fractie varkensmest	66	53	6	3,7	2,3	2,4	4,8	0,33	17	0,28	7,08	-1	-2	2	2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	kort
Dunne fractie rundermest	52	33	3	2	1	0,8	2,4	0,70	23	0,1	28,8	-1	-2	2	2	2	-2	-2	-1	-2	-2	kort
Digestaat covergisting runderdrijfmest 50%	53	32	4,1	3,1	1	1,5	2,5	0,75	24	0,1	16	-1	0	2	2	0	-1	-1	-2	-2	-2	kort
Varkensdrijfmest	107	79	7	3,7	3,3	3,9	4,2	0,33	26	0,16	6,67	0	0	2	2	-1	-1	-2	-2	-2	-2	kort
Dikke fractie varkensdrijfmest	250	116	10,5	3,8	6,7	12,4	5,8	0,33	38	0,15	3,06	1	-2	1	0	-1	0	-2	-2	0	0	kort
Runderdrijfmest	92	71	4	1,9	2,1	1,5	2,4	0,70	50	0,05	33,3	0	1	2	2	2	0	0	-1	-2	-2	middel
Vaste rundermest	267	155	7,7	1,1	6,6	4,3	3,1	0,70	109	0,03	25,3	2	0	2	1	0	1	1	0	2	2	middel
Bokashi bermmaaisel (8 weken)	281	157	3,6	0,04	3,6	1,9	-	0,80	126	-	66,3	2	0	0	-1	0	1	1	2	2	2	middel
Dikke fractie runderdrijfmest	250	188	7,8	1,6	6,2	4,4	3,1	0,70	132	0,02	30	2	0	0	0	2	1	1	0	0	0	lang
Groencompost	599	179	5	0,5	4,5	2,2	0,5	0,75	134	0	60,9	2	1	1	-1	0	2	2	2	2	1	lang
GFT-compost	696	242	8,9	0,8	8,1	4,4	0,9	0,75	182	0	41,4	2	0	1	0	2	2	2	2	1	1	lang

2.4 Emissie van broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O

Bij alle routes (laten liggen, onbewerkt toepassen van maaisel, toepassen na fermentatie en toepassing na compostering) wordt een wisselend deel van de organische stof afgebroken waarbij de broeikasgassen koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) vrijkomen. De hoeveelheden en samenstelling (CO₂ versus CH₄ bijvoorbeeld) van de gassen hangt sterk af van de procescondities. daarbij is vooral het verschil in de mate van anaerobie van belang. Daar waar compostering idealiter onder zuurstofhoudende condities verloopt, is er bij fermentatie juist sprake van anaerobe condities. Ook in maaisel kan sprake zijn van zuurstofarme condities (afhankelijk van de omstandigheden in het veld). Dat maakt dat C- verliezen in geval van compostering grotendeels leiden tot emissie van CO₂, terwijl onder anaerobe veldomstandigheden ook CH₄ kan ontstaan. In geval van bokashi is het absolute verlies van C gedurende de fermentatie beperkt (zie ook Tabel 9) en blijft het grootste deel van de hoeveelheid C behouden. Na aanwenden in de bodem wordt alsnog een groot deel van het makkelijk afbreekbare C gemineraliseerd (zie ook Tabel 10). Welk deel van deze gemineraliseerde hoeveelheid C in de bodem zelf wordt opgeslagen (hetzij als microbiële biomassa dan wel als bodem-C) of als CO₂ naar de atmosfeer verdwijnt, is voornamelijk onduidelijk, behalve dat experimenten van 245 dagen erop wijzen dat gebruik van vers gras, vergisting of vertering in een koe weinig effect heeft op de uiteindelijke hoeveelheid C die in de bodem achterblijft (Thomsen et al., 2013).

Feitelijke data over de hoeveelheden en samenstelling van de emissie van broeikasgassen, ook voor compost, zijn echter nog schaars of afwezig dan wel gebaseerd op data uit het buitenland (Dekker et al., 2010).

Voor de emissie van N₂O geldt dat er wel onderzoek is gedaan naar de emissie uit gewasresten die achterblijven op het perceel. Emissie uit gewasresten lijkt gecorreleerd aan de N-gehalten in de gewasresten: er wordt ruwweg 0,5 tot 2% van de hoeveelheid N in gewasresten als N₂O geëmitteerd (Velthof en Kuikman, 2000). Daarbij is deze emissie ook gekoppeld aan de C/N-ratio en neemt de emissie toe bij een lagere C/N-ratio. Een andere factor die een rol speelt, is grondbewerking. Zo neemt de emissie toe indien geen grondbewerking wordt toegepast, omdat in dat geval de kans op het voorkomen van zuurstofloze omstandigheden groter wordt. Overigens lag in de studie van Velthof en Kuikman (2000) de nadruk op landbouwgewassen en niet zozeer op bermmaaisel. Toch kan bermmaaisel, en dan met name stikstofrijk slotmaaisel dat in vochtige omstandigheden op een hoop naast sloten blijft liggen, potentieel leiden tot N₂O-emissies. Daarbij is het N-gehalte in het gewas relevant, zoals blijkt uit de studie van Larsson et al. (1998). Uit een mulchlaag van 7-9 cm opgebracht materiaal gemaakt van gras met een laag N-gehalte (1,15% N) ontweek 0,4 kg N ha⁻¹ als N₂O (ofwel 0,1% van de opgebrachte hoeveelheid N), terwijl uit de mulchlaag gemaakt van gras met een N-gehalte van 2,1% N, 6 kg N ha⁻¹ als N₂O vrijkwam (1% van de toegediende hoeveelheid N).

Vooralsnog is dit, voor zover bekend, in Nederland niet onderzocht voor de specifieke producten die hier aan de orde zijn.

Onderzoek van Viaene et al. (2017b) laat zien dat N₂O-emissies uit zowel compost, ensilages of digestaten bij incubatie relatief laag zijn.

Concluderend kunnen we stellen dat voor een goede vergelijking van de verschillende routes, het best gekeken kan worden over de gehele keten en – in geval van bodem-C – ook over een aantal jaren. Bokashi bijvoorbeeld leidt eerst tot minder uitstoot, omdat de biomassa anaeroob wordt opgeslagen, waardoor afbraakprocessen waarbij broeikasgassen gevormd worden, niet of vertraagd verlopen.

Wanneer het tussenproduct bokashi met compost wordt vergeleken direct voordat deze als meststof wordt toegepast, ontstaat een verkeerd beeld, omdat compost een relatief stabiel product is, terwijl de natuurlijke aerobe afbraak van bokashi of vers toegepast maaisel nog merendeels moet plaatsvinden, veelal na aanwending in de bodem zelf. Interessant is het eindbeeld en welke verschillen er dan zijn opgetreden. Op dit moment ontbreken echter de data voor een dergelijke analyse.

2.5 Aanwezigheid van contaminanten in maaisel, compost en bokashi

De aanwezigheid van contaminanten in organische meststoffen is in hoge mate van twee factoren afhankelijk, namelijk de kwaliteit van het *uitgangsmateriaal* en de *verwerkingsprocedure*. Beide zijn van invloed op de gehalten in een product of de beschikbaarheid van stoffen daarin. Daarnaast zouden de additieven, zoals kleimineralen en kalk uit zeeschelpen, die worden toegevoegd aan het bokashimengsel, mogelijk van invloed kunnen zijn op de gehalten in de uiteindelijke bokashi. De hoeveelheden van deze additieven die toegevoegd worden aan de biomassa zijn echter relatief klein t.o.v. de massa van de organische materialen, zodat dit effect vermoedelijk klein zal zijn. Zo vermeldt het standaard 'recept' voor bokashi het gebruik van 12 kg kleimineralen en 12 kg zeeschelpen per ton organische stof. Daarnaast bevatten dergelijke producten van nature normaal gesproken ook geen sterk verhoogde gehalten aan de stoffen (metalen) die hier beoordeeld worden. De gebruikte klei- en kalkmaterialen zijn over het algemeen bekend en worden gecontroleerd, bijvoorbeeld via het RHP-keurmerk (<https://www.rhp.nl/nl/product/klei>). Bij de bespreking van de kwaliteit zal dit nader toegelicht worden.

Voor bokashi zijn nog relatief weinig data bekend over de gehalten aan contaminanten in vergelijking met compost of (berm)maaisel. Ehlert et al. (2010) geven een overzicht van een scala aan contaminanten in (berm)maaisel en constateren dat de gehalten aan koper, cadmium, nikkel en zink in maaisel verzameld langs een aantal provinciale wegen (binnen 1 m) licht verhoogd zijn ten opzichte van maaisel dat verder weg ligt (> 1m; Tabel 12). Daarnaast vindt men een klein effect van seizoen waarbij voor sommige stoffen (o.a. Pb en Ni) de gehalten in het najaar licht verhoogd zijn t.o.v. die in het voorjaar, hoewel in deze studie dit seizoenseffect voor andere metalen niet significant is. Verhoogde gehalten aan onder meer koper in vers maaisel uit het najaar of winterseizoen zijn ook aangetroffen in gras (Römkens en Linders, 2019), waarbij gehalten in gras afkomstig van dezelfde locatie variëren van 5 à 8 mg kg⁻¹ in de zomer tot meer dan 15 mg kg⁻¹ in de herfst- en winterperiode. Dit laatste kan overigens door meerdere factoren verklaard worden, zoals groeisnelheid en de hoeveelheid aanhangende grond (hoger in de winter). Gehalten in maaisel zijn daarmee niet uitsluitend het gevolg van depositie of verkeersdruk.

Voor organische contaminanten zijn de gehalten veelal laag met een enkele uitschieter. Bovendien laat onderzoek van Zwart en De Boer (2015) zien dat compost gemaakt van maaisel met bijmenging van wegbermmaaisel hogere gehalten aan metalen bevat dan compost zonder bijmenging. In de Nederlandse wetgeving gelden naast eisen op basis van het product ook eisen per waardegevend bestanddeel, zoals onder andere N, P en organische stof (zie Tabel 1 van Bijlage II van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet). De gehalten aan onder meer metalen worden in dat geval uitgedrukt per kilogram organische stof in plaats van per kilogram product. Indien deze correctie (op basis van organische stof) wordt gedaan voor verschillende typen compost met en zonder, dan blijkt dat de metaalgehalten in de compost *zonder* bijmenging hoger zijn dan die met bijmenging.

Dit sluit ook aan bij onderzoek van Spijker et al. (2010), waaruit blijkt dat voor metalen de gehalten in maaisel weliswaar op productbasis (d.w.z. in mg kg⁻¹ product) vaak aan de norm voor metalen voldoen (lichte overschrijding voor Cd en Zn). Wanneer de gehalten aan metalen in bokashi uitgedrukt worden in mg metaal per kilo organische stof, blijkt dat het gehalte aan metalen in een aantal gevallen niet meer voldoet aan de daarvoor gestelde eis. Dit is, net zoals in het onderzoek van Zwart en De Boer (2015), het gevolg van de variatie in organischestofgehalten in een deel van de onderzochte maaisels en/of de compost die daarvan gemaakt is. Met name in producten met relatief weinig organische stof kan dit tot overschrijding van de eis voor metalen leiden (zie ook Tabel 15). Bij de productie van bokashi zou het streven dus moeten zijn om producten met een zo hoog mogelijk organischestofgehalte te maken. Onder meer door het goed scheiden van bijvoorbeeld aanhangende grond en biomassa kan dit – deels – bereikt worden. Doordat vaak, zeker in geval van slootmaaisel, gehalten aan metalen of andere contaminanten in slootbodem of bagger hoger zijn dan in de biomassa, zal een betere scheiding ook direct leiden tot lagere gehalten aan metalen in de bokashi (of compost).

Voor de samenstelling van compost zijn veel gegevens beschikbaar en voor vrijwel alle metalen geldt dat de gemiddelde gehalten in compost op productbasis (zowel groencompost als gft) hoger zijn dan die in maaisel zoals gerapporteerd door Ehlert et al. (2010). In Tabel 13 staat een overzicht van de gehalten aan metalen uit de EU op basis van een grote inventarisatie door Amlinger (2004), later aangevuld met data van JRC (Saveyn en Eder, 2014) en data voor Nederland (bron: ATERO, T. Brethouwer, pers. comm.).

Over het algemeen liggen de gehalten in gft-compost een factor 3 tot 10 hoger dan in maaisel. Daarbij moet bedacht worden dat een deel van de hogere gehalten in compost gerelateerd zijn aan het hogere drogestofgehalte in compost. Deels zijn de hogere gehalten dus alleen al te verklaren door de 'indikking' van de gehalten aan metalen door vochtverlies. Uit de verschillen in de concentratiestijging tussen metalen blijkt dat metalen als zink, chroom en nikkel een factor 2 à 4 stijgen, wat ongeveer het verschil in vochtgehalte is tussen maaisel en compost. Voor lood, cadmium en arseen is de stijging in het gehalte veel sterker (factor 6 à 10), wat erop wijst dat de gehalten in het bronmateriaal van compost duidelijk hoger zijn dan die in het maaisel uit de studie van Ehlert et al. (2010).

Voor bokashi zijn nog weinig vergelijkende gegevens voorhanden en deels geven deze ook een wisselend beeld. Zo is in 2017 aangetoond dat gehalten aan zink min of meer in overeenstemming met de indikking (voor bokashi is die dus gering) zijn, d.w.z. gehalten aan zink in maaisel zijn vergelijkbaar met die in bokashi, terwijl deze een factor 2 hoger waren in compost. Ook voor stoffen als zink geldt daarmee dat metingen aan samenstelling in het verse product niet vergelijkbaar zijn met producten die een sterkere mate van concentratie kennen (o.a. compost), omdat ook bokashi na aanwending voor een deel verder zal 'indikken'. Een recente studie (Laan, 2019) bevat een vergelijking tussen data van zuiveringsslib, compost en bokashi (Tabel 14).

Tabel 13 Gemiddelde (Gem.) en standaarddeviatie (stdev) van waarde-geevende bestanddelen, chloride en zware metalen en arseengehalten van bermmaaisel van wegvakken van N46, N360 en N993 van de eerste meter direct grenzend aan het asfalt van de provinciale wegen ('1M') en overig maaisel ('OM') (Bron: Ehler et al. 2010).

Monstertype seizoen	Droge stof gram kg ⁻¹ product	-----g kg ⁻¹ DS -----															
		N totaal	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	
1M	Gem.	435	19.4	<0.2	2.6	19.2	8.6	1.8	3.3	11.0	0.06	6.3	<0.01	6.5	8.1	52.6	<0.5
	Stdev.	30	2.1	na	0.2	1.9	1.7	0.2	1.3	2.2	0.04	3.2	na	1.9	4.1	10.4	na
OM	Gem.	590	15.7	<0.2	2.5	20.0	8.9	1.8	1.1	10.0	0.02	5.6	<0.01	4.0	6.1	26.0	<0.5
	Stdev.	120	2.7	na	0.4	1.9	1.9	0.4	0.5	1.0	n=1	3.9	na	2.9	3.9	4.6	na
1M	Gem.	416	15.7	<0.2	2.4	14.0	12.2	2.4	2.4	8.9	0.09	9.9	<0.01	4.3	11.4	63.8	0.61
	Stdev.	71	1.5	na	0.3	2.8	3.7	0.7	0.5	1.0	0.06	6.6	na	2.5	8.3	22.4	n=1
OM	Gem.	537	14.4	<0.2	2.4	15.5	9.8	2.0	1.3	8.8	0.04	5.2	<0.01	8.0	7.8	38.8	0.54
	Stdev.	145	2.3	na	0.2	2.1	1.5	0.2	0.4	1.6	0.03	1.4	na	4.2	6.0	8.3	n=1

Tabel 14 Overzicht van gehalten aan contaminanten in gift-compost, groencompost en slibcompost uit alle EU-landen (data EEA, 2014) en specifiek voor Nederland gedurende de periode 2012-2018 (data BVOR, T. Brethouwer, pers. comm.). Alle gehalten uitgedrukt in mg kg⁻¹ droge stof.

Soort Compost	Data EU (EEA, 2014) en Nederland (2020)									
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As		
Gift-compost	0.51	23.5	46.0	0.15	14.6	51.6	186.7	4.1		
Gift-compost NL	0.38	23.4	39.7	0.08	11.3	49.7	175.7	4.4		
Groencompost excl. Frankrijk	0.57	22.6	38.7	0.12	13.8	47.5	161.8	4.8		
Groencompost NL	0.39	16.5	21.5	0.09	9.3	33.3	114.0	4.8		
Groencompost incl. Frankrijk	0.84	30.7	42.9	0.26	16.6	60.8	170.0	6.3		
Slibcompost	1.10	37.7	141.4	1.03	21.1	53.4	438.4	3.9		

De gehalten aan zware metalen in gft-compost en, meer nog, in groencompost uit NL, zijn iets lager (m.n. voor Cd, Cu, Hg, en Ni) dan in compost uit de overige EU-landen, al dient vermeld te worden dat de variatie tussen landen groot is (zie EEA, 2014). Ook het al dan niet scheiden van groenafval leidt tot grote verschillen tussen landen. Zo bevat met name groencompost uit Frankrijk (waar minder of niet gescheiden ingezameld wordt) duidelijk hogere gehalten (hier niet getoond) dan groencompost uit landen waar wel gescheiden ingezameld wordt. Door de (veel) hogere gehalten aan metalen in (zuiverings)slib zijn gehalten in slibcompost (op EU-niveau, geen data NL) veel hoger dan die in groencompost of gft-compost.

Tabel 15 Overzicht van gehalten aan metalen en waarde-gevende bestanddelen in slib, mest, compost en bokashi (Bron: Laan, 2019).

	Zuiveringsslib ¹		Mestsoorten ²			Compostsoorten ³	
	Steekvast slib Zwolle, 2017	Surplus slib Apeldoorn 2017	Vleesvarkens (drijfmest)	Rundvee	Vleeskuiken (droog)	Groen-compost	Bokashi
pH	nb	nb	nb	nb	nb	7,5	6,5
DS (%)	23	7,6	10,7	9,2	62	68,5	49,3
Org.stof %	33,3	25,4	87	69	85	29,3	38
N _{kjeldahl} (g N kg ⁻¹)	nb	nb	6,4	4	31,1	13	6,3
P _{tot} (g P kg ⁻¹)	34,6	39,9	3,8	1,5	15,4	7,5	2,8
K ₂ O (g kg ⁻¹)	13,6	31,2	5,3	5,4	20	11,2	4,1
MgO (g kg ⁻¹)	10	14,2	1,4	1,2	7	5,5	2,5
Ca (g kg ⁻¹)	5,3	13,7				17,8	20
Fe (g kg ⁻¹)	47	11,7				5-7,3	
B (mg kg ⁻¹)	61	34				17-20	
Mn (mg kg ⁻¹)	835	194				200-274	
Si (mg kg ⁻¹)	880	1037				69	
Mo (mg kg ⁻¹)	6,1	4,6				1,3-1,7	
Co (mg kg ⁻¹)	5,5	4,4					
S (g kg ⁻¹)	18	9,4	0	0,7	5		0,9
totaalgehalte aan metalen mg kg ⁻¹ (droge stof)							
Cd	2,2	1,1	0,35	0,25	< 0,21	0,4	0,25
Cr	34	15	8,1	< 6,4	3,9	25	12
Cu	481	142	404	135	78	24-35	23
Hg	0	0	< 0,14	< 0,12	< 0,04	0,09	0,03
Ni	21	15	9,2	4,5	3,3	14	5
Pb	103	64	<5,6	< 4,8	< 6,3	53	19
Zn	1081	721	952	198	266	150-174	94

¹ Laan (2019). Metingen zuiveringsslib 2017, B-Ware Nijmegen.

² Römken en Rietra (2008), Deltares (2018) en Nutrinorm (2018)).

³ Data groencompost Attero 2016-2018, Bokashi op basis van groencompost, AGRITON, Noordwolde.

In vergelijking met dierlijke mest (of zuiveringsslib) zijn de metaalgehalten in bokashi of compost lager voor koper en zink, maar hoger voor chroom, lood en kwik (in vergelijking met mest). Voor koper en zink komt dit doordat beide metalen in mest deels ook uit krachtvoer en andere additieven aan veevoer komen (die dus niet in bokashi grondstoffen zitten), terwijl metalen als chroom, lood en kwik typerend zijn voor het bronmateriaal van zowel compost als (klaarblijkelijk) bokashi. Overigens geldt ook voor bokashi dat de gehalten aan dergelijke metalen (Cd, Cr, Pb) ook sterk variëren; zo zijn de gehalten in bokashi van maaisel in de studie van Russchen (2016) zonder uitzondering laag en in dezelfde orde van grootte als gras van onverdachte locaties.

Een landelijk (maar ouder) onderzoek naar de kwaliteit van maaisel (STOWA, 2003, Tabel 15) toont dat metaalgehalten in maaisels inclusief maaisels van verdachte locaties (d.w.z. locaties waarvan bekend is dat er sprake is van bodemverontreiniging) boven de grenswaarde kunnen liggen (op basis van organische stof gecorrigeerde waarden). Tussen 18% (Cu) en 73% (Ni) van de onderzochte

monsters voldeed daarbij niet aan de grenswaarde. Ook in deze database is te zien dat vooral maaisels met aanhangende grond of opwaaiend stof (te)hoge gehalten hebben. Dit betreft metalen als lood, chroom en nikkel en arseen. Overigens daalde het percentage van overschrijding met bijna de helft wanneer alleen monsters met meer dan 70% organische stof in deze analyse meegenomen werden. Deels zijn de hoge overschrijdingen van de kwaliteitseisen dus het gevolg van lage organischestofgehalten in een deel van de maaisels, waardoor er in die monsters – per kilo organische stof (norm voor Overige Organische Meststoffen in Bijlage II, Tabel 1 Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet) – hogere gehalten aan contaminanten berekend worden.

Voor de meeste maaisels (niet afkomstig van dergelijke locaties of de eerste meterstrook langs wegen) is echter de conclusie dat de gehalten aan metalen en/of organische contaminanten laag zijn en – voor zover bekend – niet leiden tot overschrijding van kwaliteitseisen noch effecten in de bodem (Ros et al., 2012). De hier gerapporteerde variatie in de gehalten is voor een groot deel te relateren aan bekende bronnen (wegen/bodemverontreiniging), waarvoor geldt dat deze de kwaliteit voor de doorsnee maaisels niet zullen beïnvloeden.

Tabel 16 Aandeel van monsters van maaisel dat niet voldoet aan de eisen voor zware metalen op basis van waarde gevende bestanddelen (organische stof) (bron: STOWA 2003).

Bestanddeel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Grenswaarde (mg kg ⁻¹) organische stof) volgens STOWA	0,64 ¹	40	40	0,4	16	54	160	8
	Aantal monsters							
Totaal	122	45	122	45	45	45	122	45
Aantal > grenswaarde	37	21	22	16	33	23	43	29
Percentage > grenswaarde alle monsters	30	47	18	36	73	51	35	64
Percentage > grenswaarde monsters met OS > 70%	17	21	4	5	53	32	31	37

¹ noot: deze waarden (Tabel 16 van het STOWA-rapport 2003) wijken af van de officiële grenswaarden zoals vermeld in Bijlage II, Tabel 1 van het UBM. Deze zijn respectievelijk 0,8, 50, 50, 0,5, 20, 67, 200 en 10 voor de elementen zoals genoemd in deze tabel.

De meest problematische component is zwerfvuil in het maaisel, zoals plastics, blikjes, glas en andere verpakkingen. Spijker et al. (2013) geven aan dat de aanwezigheid van zwerfafval op de plaats van maaien sterk afhankelijk is van het type terrein (natuurgras, bermgras). De wet stelt eisen aan compost (o.a. geen deeltjes groter van 50 mm, 0,5% bodemvreemde, niet-biologisch afbreekbare delen). Om in aanmerking te komen voor de kwalificatie Keurcompost zijn voor compost aanvullende eisen geformuleerd met betrekking tot de maximale aanwezigheid van steen, glas en overige verontreinigingen (beoordelingsrichtlijn Keurcompost, 2018; Zie Tabel 16).

Tabel 17 Overzicht van te analyseren parameters en eisen voor het certificaat Keurcompost (Beoordelingsrichtlijn Keurcompost 2018).

Parameter	Eisen voor verschillende kwaliteitsklassen van Keurcompost		
	Klasse A	Klasse B	Klasse C
<i>Verontreinigingen (gewichtsprocent ds.)</i>			
Overige verontreinigingen > 2 mm	≤ 0,05%	≤ 0,10%	≤ 0,20%
Steen > 5 mm	≤ 1,00%	≤ 2,00%	≤ 2,00%
Glas 2-20 mm	≤ 0,05%	≤ 0,10%	≤ 0,20%
Glas > 20 mm	Afwezig	Afwezig	Afwezig

Voor vers maaisel is er niet zo'n kwantitatieve norm. De Vrijstellingsregeling Plantenresten stelt dat "er sprake is van schoon en onverdacht bermmaaisel" (artikel 3a daarin), en dat "het bermmaaisel gelijkmatig wordt verspreid over het ontvangende perceel en dit niet significant bijdraagt aan de

verspreiding van nutriënten en zware metalen” (artikel 3d). Voor bokashi zijn er geen normen, omdat op dit moment de aanwending daarvan als meststof volgens het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet niet is gereguleerd. Vooralnog mag bokashi gemaakt van eigen organisch materiaal wel als bodemverbeteraar worden gebruikt op eigen terrein.

Een verschil tussen bermmaaisel enerzijds en bokashi van bermmaaisel anderzijds, is dat bermmaaisel toegepast mag worden volgens de Vrijstellingsregeling Plantenresten, maar bokashi niet. Bermmaaisel waaraan toevoegingen zijn gedaan, zoals bokashi van bermmaaisel, valt volgens de recentste versie van de Vrijstellingsregeling plantenresten (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0019048/2019-01-01>) niet onder deze vrijstellingsregeling.

Indien maaisel van een bepaalde herkomst mogelijk is vervuild met zwerfvuil, dan kunnen de volgende maatregelen worden overwogen door beheerders van bermen/verwerkers:

- Voorlichting aan weggebruikers, passanten, gericht op verminderen van zwerfvuil;
- Inspectie op de aanwezigheid van zwerfvuil voor de maaironde;
- Ruimronde van zwerfvuil voor de maaironde;
- Verwijderen van zwerfvuil op de plaats van opwerking (bijvoorbeeld composteerinrichting);
- Uitspreiden van vers maaisel op het land en zwerfvuil handmatig verwijderen alvorens maaisel onder te werken. Deze maatregel lijkt geen goed alternatief voor bokashi en compost.

2.6 Ziektewering en onkruiddruk

In de studie van Westeinde et al. (2017) wordt geen significant verschil aangetoond in de ziekteaan­tasting in wintertarwe tussen de onbehandelde, met bokashi of met compost behandelde velden. Voor onkruid­druk en voor een aantal schadelijke nematoden geldt dat er geen verschil is aangetoond tussen de compost- en bokashi-behandelingen.

De studie van Shin et al. (2017) bevestigt dat het gebruik van bokashi, met of zonder effectieve micro-organismen, leidt tot een verhoogde bodemademhaling door micro-organismen. Dit is zeer waarschijnlijk gekoppeld aan de aanvoer van organisch materiaal dat door al in de bodem aanwezige bacteriën en schimmels gebruikt kan worden als voedsel en niet specifiek een effect van bokashi zelf. Wat betreft ziektewerendheid leverde dit onderzoek geen consistent beeld op. Aanwezigheid van effectieve micro-organismen of bokashi kon niet eenduidig gekoppeld worden aan de waargenomen ziektedruk in de twee onderzochte gewassen (komkommer en wortel). In de studie van Shin werd overigens ook waargenomen dat de samenstelling (soorten) van effectieve micro-organismen in de bokashi wisselend van aard is in verschillende partijen, wat mogelijk tot verschillende effecten heeft geleid.

In de studie van Kusters (2015) wordt uitvoerig onderzoek gerapporteerd naar de overleving van verschillende pathogenen bij de productie van bokashi zoals aardappelcystenaaltjes, *Rhizoctonia solani* (plantpathogene schimmel), *Sclerotinia sclerotiorum* (plantpathogene schimmel, ook wel bekend onder de naam rattenkeutelziekte), *Fusarium oxysporum* (schimmel verantwoordelijk voor verwelkingsziekte) en *Sclerotium cepivorum* (witrot). Daarbij is de mate van afdoding zoals getest onder veldomstandigheden variabel en varieert van vrijwel compleet voor witrot tot gemiddeld 10% overleving voor aardappelcysteaaltjes. Voor een aantal pathogenen is de variatie in overleving dan wel kiemkracht in het product zeer variabel, wat deels verklaard kon worden door scheuren in het plastic (waardoor lucht kon intreden). De conclusie was dat zowel de herkomst van het materiaal (al dan niet geïnfecteerd) als de lokale productieomstandigheden (inclusief factoren als scheuren in plastic) zeer bepalend zijn voor het al dan niet overleven van de meest voorkomende pathogenen in bokashi.

In de studie van Janmaat (2015) worden zowel in bokashi als in compost geen levensvatbare onkruidzaden aangetroffen. Janmaat stelt dat de anaerobe fermentatie in de proef voldoende is geweest om de zaden effectief te doden, daar waar dat in de compostering gebeurt door de hoge temperatuur. Overigens is de mate van doding in de studie van Janmaat gebaseerd op het kunstmatig toedienen van zaden aan partijen materiaal die zijn gebruikt voor de productie van bokashi. In de praktijk is waargenomen dat onkruid opkomt na toediening van bokashi (Janmaat, 2015). Of dit komt

door de in de bokashi aanwezige zaden of een verhoogde opkomst van onkruid uit de bodem zelf, valt niet te achterhalen.

Een aparte studie betreft die van Van Bruggen et al. (2008), in die zin dat dit specifiek onderzoek in biologisch beheerde bodems betreft. Zoals de auteurs zelf stellen, maakt dit dat de uitgangssituatie (biologische bodemkwaliteit) afwijkt van reguliere landbouwgronden. Hoofdvraag was of de toevoeging van effectieve micro-organismen (EM) leidt tot een verhoogde ziekteverendheid van de bodem in vergelijking met bodems behandeld met bokashi zonder effectieve micro-organismen of zonder bokashi (controle). Onderzoek naar onder andere *Pythium ultimum* in komkommer toonde aan dat er in de met bokashi met effectieve micro-organismen behandelde bodems méér infectie voorkwam dan in de controle-bodems. Voor andere pathogenen (*Rhizoctonia solani*) werd wel een onderdrukkend effect vastgesteld in de met effectieve micro-organismen behandelde bodem, onder meer in wortel, maar weer niet in alle bodems. Over het algemeen was de conclusie dat effectieve micro-organismen de ziekteverendheid niet eenduidig beïnvloeden, maar dat voor specifieke pathogenen (en bodems) een mogelijk ziekteverend effect kan optreden.

Een overzicht van de invloed van het aanwenden van onbewerkt maaisel op de onkruiddruk en aanwezigheid van pathogenen door Ros et al. (2012) laat zien dat, anders dan voor bokashi, er in veel gevallen sprake is van hoge onkruiddruk. Met name Jacobskruiskruid (voor bermmaaisel), wortelonkruiden (met name voor slootmaaisel) en *Phytophthora* (groenresten) worden als grootste risicofactoren genoemd. Voor schimmels geldt dat aanwenden van maaisel zowel tot verhoogde ziekteverendheid (in 45% van de gevallen) kan leiden als tot een verhoogde ziektegevoeligheid (20% van de studies).

Voor compost geldt dat, mits geproduceerd volgens bepaalde eisen voor temperatuur en tijdsduur, het vrij is van pathogenen en (levensvatbare) onkruidzaden. Onderzoek van Termorshuizen et al. (2006) en Bonanomi et al. (2010) laat zien dat compost een matige tot sterke ziektevering heeft tegen bodemgebonden plantenpathogenen. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de hogere stabiliteit van het aangewende organisch materiaal dat daardoor minder makkelijk als voedselbron voor dergelijke pathogenen kan dienen dan vers organisch materiaal zoals maaisel.

Een recente studie van Termorshuizen et al. (2019) geeft een overzicht van gerapporteerde effecten van met name compost en een aantal andere, specifieke organische materialen (o.a. slachtafvalmeel, chitine, en biochar). En hoewel dergelijke producten buiten de scope van dit project vallen (m.u.v. compost), is de conclusie voor de meerderheid van de uitkomsten dezelfde, namelijk dat op basis van de samenstelling van organische stof alleen er geen eenduidige effecten zijn op ziekteverendheid. Toediening van organische stof kan zelfs tegengesteld werken, onder meer door de verbeterde bewortelbaarheid van de bodem, waardoor de kans op infectie met nematoden juist stijgt. Een compilatie van proeven door Larkin (2013) laat zien dat het aantal positieve effecten (significant) in aardappel varieert van 41% (d.w.z. in 59% van de gevallen was er geen positief effect of zelfs negatief) voor gewone schurft (n=54) tot 100% voor verticillium (n=3). Gemiddeld genomen ligt het effect voor alle onderzochte ziekten rond de 55%, d.w.z. de kans dat er een significant positief effect is, is vrijwel even groot als de kans dat er geen of een negatief effect optreedt.

2.7 Bodemleven

Bodemleven (soms ook omschreven met bodembiodiversiteit) is een complex begrip en omvat een breed spectrum aan zowel individuele soorten die in en op de bodem leven alsook hun interactie. Veelal 'beperkt' het meten van het bodemleven zich tot het meten van enkele relevante micro-organismen en/of mesofauna in de bodem. Daarbij worden met name wormen en nematoden vaak bepaald als de belangrijkste organismen van het bodemvoedselweb. Minder vaak wordt ook de bacteriële en/of schimmelactiviteit gemeten als maat voor de activiteit van het bodemecosysteem.

Over het algemeen wordt aangenomen dat bodemleven gevoed moet worden en hoe meer voeding je geeft, hoe meer bodemleven. Het toedienen van bermmaaisel zal dan leiden tot meer bodemleven t.o.v. een situatie zonder die toevoeging. Het ontbreekt in de literatuur aan onderzoek aan dit

substraat. Wel is bekend wat in het algemeen het effect is van organischestof-rijke substraten (dierlijke mest, digestaat, plantenresten): meer bodemorganische stof, een hogere bodemenzymactiviteit en meer microbiële C en N (Luo et al., 2018).

Omdat de interacties tussen de organismen onderling en de specifieke omstandigheden van verschillende bodems sterk variëren, is de beschikbare informatie deels nog lastig te duiden. Zo blijkt uit een onderzoek van Van 't Westeinde (2016) dat de *totale* hoeveelheid aan bodemorganismen (o.a. protozoën, 'nuttige' nematoden, potwormen, springstaarten en mijten) *groter* was in de onbehandelde velden vergeleken met die behandeld met compost of bokashi. Ook bleek de soortensamenstelling per groep van organismen niet significant te verschillen. Eenduidige conclusies over de verschillen tussen met bokashi en met compost behandelde velden kunnen op basis van deze studie daarom niet getrokken worden.

De studie van Van Bruggen et al. (2008) laat zien dat er wel sprake is van een verhoogde bodemrespiratie na aanwending van bokashi, maar dat dit niet gerelateerd is aan de gebruikte effectieve micro-organismen. Ook kon er geen invloed op de bacteriële samenstelling vastgesteld worden; de in effectieve micro-organismen aanwezige bacteriën werden in deze studie na aanwending meteen weggeconcentreerd door de al in de bodem aanwezige bacteriepopulatie. De verhoogde respiratie is waarschijnlijk dan ook grotendeels te wijten aan de aanwezigheid van gemakkelijk mineraliseerbare voeding voor de reeds in de bodem aanwezige bacteriën. In welke mate dit op langere termijn leidt tot een blijvende verhoging van de microbiële activiteit, is vooralsnog onduidelijk.

De studie van Koopmans et al. (2018) suggereert ook dat bokashi geen merkbare invloed had op de biologische bodemkwaliteit als geheel (zie ook Tabel 8), maar laat zien dat er voor bepaalde, niet specifiek genoemde soorten wel een positief effect gevonden is.

In de studie van Mayer et al. (2010) wordt geen significant effect van gebruik van EM op respiratie, microbiële biomassa, dehydrogenase activiteit en microbiële samenstelling in bodems in Zwitserland gevonden. De effecten die gevonden werden, konden in veel gevallen gerelateerd worden aan de extra nutriënten die aan de bodem toegevoegd werden en niet zozeer aan eigenschappen van bokashi.

Een eenduidig antwoord op de stelling (of hypothese) dat verse producten als bokashi beter zijn voor het bodemleven dan meer gestabiliseerde organische producten als compost, is daarom vooralsnog niet te geven.

3 Discussie, conclusies en aanbevelingen

3.1 Discussie

- Bij de beoordeling van de kwaliteit en effecten (in de bodem) van maaisel, compost en bokashi is er sprake van een grote diversiteit aan gebruikte bronmaterialen. Dit is niet altijd volledig gedocumenteerd, terwijl verschillen in eindproducten mede afhankelijk zijn van de keuze van bronmateriaal. De vergelijking van eigenschappen en daarmee ook van effecten in de bodem tussen bijvoorbeeld bokashi en compost, is dus a priori al beperkt door dergelijke verschillen in eigenschappen van bronmateriaal.
- Voor alle producten moet bedacht worden dat een gebruiker, vaak de boer, een bepaald doel voor ogen heeft en daar de keuze van een product op afstemt. Voor dat specifieke doel, bijv. het leveren van nutriënten (soms zelfs voor een specifieke teelt), kan een product voldoen, terwijl het voor andere doelen (bijv. het ophogen van organische stof) veel minder geschikt is. Hier beoordelen we producten echter steeds op een heel scala aan eigenschappen, wat voor een deel van de gebruikers niet relevant hoeft te zijn bij de keuze van dat product.
- Voor de praktijk geldt bovendien dat het beoogde type gebruik sterk verschilt: zo kan een boer de wens hebben om oogstresten te verwerken of vaste mest op te slaan (evt. te verbeteren), terwijl vanuit de circulaire economie het streven is bermgras en slootmaaisel nuttig toe te passen. Dat verschil is belangrijk, want het merendeel van de onderzoeken test de producten met het oog op gebruik als meststof (bij hoge aanwendingsniveaus), terwijl vanuit de gedachte van het stimuleren van circulair gebruik van reststromen vaak geen werking als meststof beoogd wordt. Dat legt daarmee juist de nadruk op aanwending van heel lage applicatieniveaus om zo, net zoals in de Vrijstelling Plantenresten, het bermmaaisel toe te voegen aan de bodem. Daarmee is de bijdrage aan bemesting heel klein, met uitzondering wellicht van de bijdrage aan organische stof. Dat maakt dat sommige gerapporteerde risico's, bijvoorbeeld die op uitspoeling of N-vastlegging door bokashi bij die lage applicatieniveaus, niet zo relevant is.
- Over een aantal hypothesen zijn ons geen relevante onderzoeksgegevens bekend: Mogelijk is er een positief effect van de instabiele organische stof bij toediening van vers maaisel of bokashi. Deze extra opgebrachte organische stof is een voedingsstof voor het bodemleven en creëert gedurende de eerste maanden na opbrengen extra bodembiodiversiteit die mogelijk ook een (indirect) positief effect heeft op bijv. vogels en andere predatoren omdat er meer voedsel beschikbaar is voor insecteneters. Ook zou deze instabiele organische stof een effect kunnen hebben op het vochtvasthoudend vermogen van de bodem. Dat kan gunstig zijn in droge voorjaren, mits de organische stof dit vocht niet zo sterk bindt dat het niet voor de plant beschikbaar is.

3.2 Algemene conclusies

Doel van deze inventarisatie is een overzicht te geven van de beschikbare kennis over het rechtstreeks toepassen van maaisel en over compost en bokashi wat betreft een aantal belangrijke eigenschappen, zoals de kwaliteit van de producten als bodemverbeteraar, milieueffecten, opbouw bodemkoolstof en invloed op bodemleven.

Allereerst concluderen we dat de beschikbare informatie om deze drie producten te evalueren, sterk uiteenloopt, niet alleen wat betreft de *hoeveelheid* informatie, maar deels ook de *kwaliteit* ervan. Zo is redelijk veel onderzoek gedaan naar zowel de kwaliteit als de effecten van compost in de bodem, deels ook meerjarig onderzoek in meerdere landen, binnen en buiten de EU. Voor het rechtstreeks toepassen van maaisel en zeker voor bokashi geldt dat er veel minder data beschikbaar zijn over de samenstelling en langetermijneffecten bij gebruik als bodemverbeteraar.

Daar komt bij dat voor de productie van zowel groencompost als gft-compost het procedé en de gebruikte bronmaterialen bij compostering in grote lijnen vergelijkbaar zijn bij de grote compost producerende bedrijven. Variatie in de kwaliteit van compost is grotendeels gekoppeld aan de mate van scheiding van bronmateriaal. Anders dan voor bokashi bestaat het bronmateriaal voor de grote compost-producerende bedrijven daarbij voornamelijk uit (stedelijke) groenresten of verzameld huishoudelijk organisch materiaal.

Toekomstige lokale productie van compost op landbouwbedrijven valt buiten de scope van deze studie. Op dit moment is in Nederland de mate van scheiding van groen- en gft-afval sterk georganiseerd; dit heeft tot gevolg dat de kwaliteit van compost (groen- en gft-compost) stabiel is en een groot deel van de compost voldoet aan de geldende kwaliteitscriteria voor gebruik in de landbouw.

Voor het gebruik van onbewerkt maaisel geldt feitelijk dat er geen bewerkingsstap gedaan wordt, maar ook dat er diverse uitgangsmaterialen zijn (met name: grasmaaisel, bermmaaisel en slootmaaisel). Voor bokashi geldt dat er nog geen eenduidig protocol is voor het proces en de toevoegingen en dat er op dit moment van veel soorten materialen bokashi gemaakt wordt (mest, gewasresten, maaisel, bermmaaisel, slootmaaisel). Dit leidt tot een grote range aan producten met een daarbij horende range aan fysisch-chemische eigenschappen. Het vergelijken van een aantal van deze producten is daarom alleen mogelijk als hetzelfde proces, dezelfde typen uitgangsmaterialen en dezelfde toevoegingen gehanteerd worden.

Wat betreft de communicatie rondom de effecten van verschillende organische bodemverbeteraars of meststoffen valt op dat in de 'populaire' vakliteratuur stellingen ten aanzien van de vermeende werking genoemd worden die maar ten dele gevalideerd zijn. Dat betreft zowel de opbouw van organisch koolstof in de bodem als het biologisch functioneren van de bodem bij gebruik van verschillende organische bodemverbeteraars of meststoffen. Vaak zijn dergelijke conclusies niet te valideren aan de hand van de data of zijn de experimentele condities zodanig dat verschillen tussen behandelingen feitelijk niet significant of niet van toepassing zijn op andere landbouwsystemen.

3.3 Vergelijking van een aantal kerneigenschappen van maaisel, compost en bokashi

Kwaliteit als bodemverbeteraar

Voor de bemestende waarde geldt dat compost en bokashi vergelijkbaar zijn wat betreft de totaalgehalten aan N en P, maar dat ze verschillen in de C/N-ratio, waarbij een deel van de geproduceerde soorten aan bokashi ook hogere C/N-ratio's heeft, met name bokashi gemaakt van nutriëntenarm maaisel. Dit is daarnaast ook het gevolg van het lagere verlies van koolstof bij de productie van bokashi (anaeroob) ten opzichte van het verlies aan C bij compostering. Op productbasis zijn de nutriëntengehalten (zeker voor P) in maaisels veelal lager, ook al verschilt de kwaliteit (bemestende waarde) sterk tussen maaisels van verschillende herkomst (natuurgras, bermmaaisel, slootmaaisel, regulier graslandmaaisel). De C/N-ratio in maaisel is daarbij niet alleen afhankelijk van de soortensamenstelling van het maaisel, maar ook het tijdstip van het maaien (de 'ouderdom van het maaisel'), waarbij de C/N-ratio toeneemt bij gebruik van 'ouder' maaisel.

Een belangrijk verschil tussen bokashi enerzijds en maaisel en compost anderzijds is dat in bokashi (evenals in dierlijke mest) hogere ammoniumgehalten gemeten zijn. Dit is grotendeels gerelateerd aan het zuurstofloze productieproces, waardoor de omzetting naar ammonium kan worden bevorderd. Ook de hoge mineralisatie van organisch materiaal na toediening van bokashi is genoemd als een mogelijk knelpunt, wat tot uitspoeling van met name nitraat kan leiden. Dit treedt vooral in het najaar op als gewassen geoogst zijn of weinig N meer uit de bodem opnemen. Zowel emissie van ammonium als nitraatuitspoeling is veelal wel gekoppeld aan (zeer) hoge doseringen, waarbij er vooral naar de werking als meststof is gekeken en niet zozeer naar de werking als bodemverbeteraar. Dit effect kan wellicht bij doseringen die aan de orde zijn bij gebruik als bodemverbeteraar minder sterk of afwezig zijn, maar data om dit te onderbouwen, ontbreken vooralsnog.

Anderzijds kan, wanneer bokashi een hoge C/N-ratio heeft, immobilisatie van N bij afbraak door micro-organismen optreden. Over de emissie van lachgas (N₂O) uit bokashi is minder bekend. Voor zowel compostering als de productie van bokashi geldt dat, indien de procedures goed gevolgd worden (m.n. ook de afdekking), er weinig sprake zal zijn van emissie van lachgas. De kans op lachgasvorming is nog het grootst bij het aanwenden van vers maaisel dat onder natte condities op het land achterblijft. Data om de emissie te kwantificeren zijn, ook in geval van maaisel, echter schaars.

Een ander verschil tussen compost en bokashi is dat bokashi minder homogeen van samenstelling kan zijn door de grotere variatie in zowel productieprocedé als ingrediënten. Dit is ook het gevolg van het feit dat het merendeel van de compost onder gereguleerde condities bij een aantal grote installaties geproduceerd wordt én compost al gereguleerd is, waardoor de kwaliteit constant is. Zolang bokashi lokaal geproduceerd wordt, leidt dit automatisch tot grotere verschillen in samenstelling en kwaliteit.

In de bodem zijn na gebruik van bokashi positieve effecten gemeten, onder andere voor extraheerbaar P en K, evenals de al eerdergenoemde gestegen minerale N-hoeveelheid (die deels in ammoniumvorm aanwezig is); wel heeft dit in sommige studies tot toxiciteit (ammonium) of verhoogde uitspoeling (nitraat) geleid. Het vrijkomen van N en P uit compost is veelal trager.

Opbouw bodemkoolstof

Met betrekking tot de opbouw van bodemkoolstof op lange termijn bestaat nog onduidelijkheid over het effect van bewerkingen – zoals composteren en fermenteren – op diverse materialen, zoals mest en gewasresten. Voor compost geldt dat verschillende auteurs melding maken van de hoge effectiviteit van compost om bodemkoolstof op te bouwen. Voor bokashi is dergelijke informatie nog vrijwel niet bekend, omdat er nog geen langjarige proeven mee gedaan zijn. De bestaande informatie in Nederland suggereert dat de verschillen tussen bokashi en compost wat betreft de opbouw van bodemkoolstof op korte termijn (< 1 jaar) beperkt zijn, als ze uit dezelfde uitgangsmaterialen zijn gemaakt.

Bij gebrek aan langetermijndata voor het inschatten van de potentie van organische bodemverbeteraars om organische stof in de bodem te verhogen, is vooralsnog de humificatiecoëfficiënt een bruikbare indicator. Voor zover gemeten, blijkt dat deze voor compost duidelijk hoger is (ca. 90%) dan die voor maaisel en bokashi (ca. 30%) wat suggereert dat de opbouw van bodemkoolstof op langere termijn bij gebruik van compost potentieel hoger is dan die van bokashi. Over de mate waarin organische stof uit met name bokashi na aanwending in de bodem stabiel wordt, is nog weinig bekend. Of en zo ja in welke mate na verloop van tijd (in jaar 2, 3 en 4 na aanwending) de HC van de dan in de bodem aanwezige organische stof uit bokashi toeneemt, is nog niet onderzocht.

Voor maaisel geldt bij directe toepassing dat bij lage doseringen de bijdrage aan de opbouw van bodemkoolstof op lange termijn klein is. Dit is vooralsnog echter vooral gebaseerd op aannames en daarop gebaseerde berekeningen.

Invloed op bodemleven, ziekteverendheid en onkruiddruk

Vooralsnog is er weinig informatie die aantoont dat bokashi een wezenlijk ander effect heeft op het bodemleven in vergelijking met compost. Bestaande velddata suggereren dat de invloed van bokashi op het bodemleven gering is en vooral bestaat uit een kortetermijneffect gerelateerd aan een hoger voedselaanbod. Mogelijk dat specifieke soorten micro-organismen positief reageren op het aanbod aan organisch materiaal, maar veel duiding is hier nog niet aan gegeven. Vooralsnog lijkt de toegenomen activiteit van het bodemleven vooral de al in de bodem aanwezige micro-organismen te betreffen en niet zozeer de specifiek ingebrachte micro-organismen in bokashi. Overigens is er ook nog weinig informatie over de precieze vormen van organische stof (labiele fractie en stabiele fractie) in bokashi die na aanwending specifiek door micro-organismen worden gebruikt als voedsel.

Indien echter de juiste procedés voor productie gevolgd worden, met name wat betreft afdekking, controle van temperatuur, vocht etc., maar ook de keuze van bronmaterialen (maaisel van onverdachte locaties), zijn zowel compost als bokashi 'veilige' producten als het gaat om aanwezigheid

van pathogenen, overleving van onkruidzaden en de algemene chemische kwaliteit (gehalten aan contaminanten). Uiteraard verschilt de kwaliteit, met name van bokashi, als het gaat om nutriëntengehalten en C/N-ratio, maar daarmee is het product als zodanig nog steeds veilig. Daar waar problemen gesignaleerd zijn met onder andere overleving van pathogenen in bokashi, is dit in veel gevallen gekoppeld aan factoren als scheuren in plastic waardoor zuurstof kan toetreden en de anaërobie dus (deels) wegvalt. Dat neemt niet weg dat een (groot) deel van de claims met betrekking tot met name ziekteverwekkendheid vooralsnog lang niet altijd aangetoond worden (ruwweg in 55% van de proeven).

De productie van compost vindt in veel gevallen onder beter gecontroleerde omstandigheden plaats bij gespecialiseerde bedrijven, terwijl bokashi ook op individuele bedrijven geproduceerd wordt, of gebruik gemaakt wordt van verschillende soorten ingrediënten. En hoewel de productieprocedures in principe moeten leiden tot een veilig product, kunnen afwijkende condities bij kleinschalige productie (o.a. gaten in plastic) tot overleving van pathogenen leiden (zoals ook is aangetoond voor verschillende pathogenen).

Voor maaisel geldt veel meer dan voor bokashi of compost dat er sprake kan zijn van een hoge onkruiddruk bij gebruik als bodemverbeteraar. Het type onkruid is daarbij enigszins gerelateerd aan de herkomst en manier van oogsten van het maaisel. Bermmaaisel kan daarbij meer zaadonkruid bevatten, zoals Jacobskruiskruid, terwijl slootmaaisel vaker wortelonkruiden bevat. Vanwege de potentieel snelle mineralisatie van vers maaisel is ook gesuggereerd dat pathogenen die al in de bodem aanwezig zijn bij gebruik van vers maaisel meer geactiveerd kunnen worden dan in geval van gebruik van stabiel organisch materiaal, zoals compost.

Effect op gewasproductie en kwaliteit

Voor compost is in een aantal studies aangetoond dat dit de productie kan verhogen, ook al treedt dit effect pas op langere termijn op, samenhangend met de uitgangssituatie van de bodem. Daarbij werd geen invloed op de *kwaliteit* van de gewassen vastgesteld. De beschikbare informatie voor bokashi laat vooralsnog geen significant effect zien op de productie en evenmin op de kwaliteit van de geoogste gewassen. Dit geldt ook voor maaisel.

Effect op milieukwaliteit: accumulatie en uitspoeling

Gehalten aan de meeste contaminanten in zowel maaisel als bokashi zijn laag en voldoen in de meeste gevallen aan de gestelde eisen (productcriteria). In een paar gevallen, met name bij lage organischestofgehalten, overschrijden een of meerdere metalen vooral in maaisel van wegbermen van provinciale wegen de wettelijke eisen na correctie voor organische stof. Voor regulier bermmaaisel, d.w.z. niet afkomstig van de eerste meter langs de weg, geldt echter dat de gehalten aan contaminanten geen belemmering voor de bodemkwaliteit vormen. Een punt van aandacht is, zeker voor slootmaaisel, de mate waarin aanhangende grond of bagger feitelijk de gehalten in het maaisel bepaalt. In dat geval is er namelijk geen sprake van opname maar verplaatsen van grond, wat wellicht bij de beoordeling van de kwaliteit van maaisel een rol kan spelen.

Gehalten aan metalen in compost zijn gedurende de laatste decennia gedaald, maar zijn de laatste jaren redelijk constant en voldoen in de meeste gevallen aan de daarvoor gestelde eisen (Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Bijlage II). Wel komt in compost glas en plastic voor wat, ook in kleine hoeveelheden, een invloed heeft (of kan hebben) op de acceptatie voor gebruik door de boer, hoewel niet is aangetoond dat er bij deze hoeveelheden risico's voor bodem en/of gewas optreden. Ook bij de acceptatie van bokashi en vers maaisel speelt de mogelijke aanwezigheid van glas, plastic en blik een rol.

Kortetermijnrisico's voor de meeste contaminanten zijn daarom voor alle hier onderzochte producten gering. Accumulatie in de bodem van metalen zoals koper en zink op langere termijn is mogelijk vanwege de wat hogere gehalten aan beide elementen in met name gft-compost. Voor beide metalen geldt echter dat deze op dit moment (en op langere termijn) niet in gehalten in de bodem voorkomen die schade aan gewas of bodem berokkenen. Bovendien geldt dat de aanvoer van koper en zink via dierlijke mest vele malen hoger is dan die door bokashi of compost. Deze hoge aanvoer heeft echter eerder nadelige consequenties voor de waterkwaliteit in het omringend oppervlaktewater dan voor de

bodem zelf. Bij het huidige landgebruik is de kans dat normen in de bodem overschreden worden, ook op lange termijn, gering (De Vries et al., 2004; Groenenberg et al., 2006).

3.4 Aanbevelingen in relatie tot de kennisagenda

Compost

Voor compost geldt dat redelijk tot goed bekend is wat de belangrijkste effecten zijn in de bodem als het gaat om organische koolstof en nutriëntenvoorziening.

Voor compost geldt daarbij als mogelijk aandachtspunt dat op dit moment nog relatief weinig data voorhanden zijn om de *werkingscoëfficiënt* voor met name P af te leiden. Deze bepaalt namelijk op dit moment in hoge mate de toegestane hoeveelheid compost op bedrijfsniveau.

Maaisel

Voor maaisel is redelijk tot goed bekend wat de chemische samenstelling is voor nutriënten en organische stof. Ook contaminantgehalten (metalen, organische verontreinigingen) vormen in de bulk van het maaisel veelal geen probleem, tenzij maaisel uit de eerste meter van de weg afkomstig is. In dat geval overschrijdt een klein deel van de maaisels na correctie voor organische stof de normen voor metalen als nikkel en lood. Voor de productie van een schone en onverdachte bodemverbeteraar gemaakt van maaisel is het tevens van belang de vervuilingsgraad van het maaisel te kennen. Daarbij is het vooral belangrijk met name die bronlocaties te kiezen die schoon zijn en dus zeer lage hoeveelheden restafval zoals blik, glas, plastic bevatten. Onderzoek naar langetermijneffecten van onderwerpen van maaisel is overigens nog niet veel verricht.

Bokashi

Voor bokashi geldt dat meer aandacht besteed moet worden aan *de invloed van productie* (gebruikte typen maaisels en additieven, processtappen) om de producteigenschappen van de bokashi zelf beter te kunnen voorspellen. Daarnaast is nog onvoldoende kennis van de *omzetting in de bodem* na aanwending van bokashi beschikbaar. Met name het versneld mineraliseren, de toename van ammoniumstikstof en verhoogde uitspoeling van het mineraal stikstof na het groeiseizoen zijn processen die daarbij relevant kunnen zijn, hoewel deze vooral een rol spelen bij hoge doseringen.

Onderzoek naar effecten op bodem

In het algemeen geldt dat, om effecten van verschillende bodemverbeteraars goed met elkaar te vergelijken, een *zuivere proefopzet* gewenst is. Op dit moment voldoen slechts weinig experimenten op veldniveau aan deze eis. Deels zijn de beschikbare data en experimenten gestuurd door bedrijfsbelangen, wat niet altijd tot een objectieve weergave van feiten leidt, met name in de populaire pers (vakbladen, tijdschriften).

Op dit moment circuleren veel vragen over de mogelijke bijdrage aan de koolstofopbouw door verschillende mestproducten en bodemverbeteraars, niet alleen bokashi, compost of maaisel, maar ook dierlijke mest, digestaat en/of biochar. Dit vergt niet alleen een goed vergelijkend (zuiver) onderzoek, maar ook experimenten voor langere tijd. Het merendeel van de onderbouwde feiten in dit rapport is afkomstig uit een relatief klein aantal, goed gedocumenteerde langetermijnstudies, met name voor compost. Dit ontbreekt nog vrijwel volledig voor bokashi en een aantal andere mestsoorten (o.a. digestaat).

Ook over de effecten van wat nu aangeduid wordt als *instabiele* organische stof op biologische en chemische bodemeigenschappen (met name watervasthoudend vermogen), is weinig bekend. Mogelijk is er een positief effect van de instabiele organische stof bij toediening van vers maaisel of bokashi, onder andere op de bodembiodiversiteit en de voedselketen die daar van afhankelijk is.

Onderzoek naar uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O)

Voor een goede vergelijking tussen de verschillende wijzen van toepassen van maaisel (rechtstreeks op het land, bokashi en compost) verdient het aanbeveling de uitstoot van broeikasgassen te onderzoeken over de gehele keten en, in geval van bodem-C, ook over een aantal jaren. Bokashi

bijvoorbeeld leidt logischerwijze eerst tot minder uitstoot, omdat de biomassa anaeroob wordt opgeslagen, waardoor afbraakprocessen waarbij broeikasgassen gevormd worden niet of vertraagd verlopen, maar in de fase na toepassing in de bodem mag een hogere uitstoot worden verwacht ten opzichte van producten die aeroob zijn voorbereid, zoals bij compostering. Van belang is meer te weten over de uitstoot van de verschillende broeikasgassen over de gehele keten.

Productiefunctie

In de transitie naar een biobased economie zou te eniger tijd de productiefunctie van gras- en kruidenterreinen buiten de landbouw ook formeel benoemd moeten worden als een van de doelen van het terreinbeheer, waardoor het geogste materiaal een grondstof is en niet meer automatisch als afval moet worden beschouwd. Zo'n productiefunctie kan worden vergeleken met die van het multifunctioneel bos in Nederland, waar naast houtproductie ook doelstellingen zijn met betrekking tot natuur, recreatie, cultuurhistorie, waterberging en -infiltratie etc. Zo'n functieverandering betekent dat alle partijen in de keten (van beheerder, uitvoerder, (tussen)verwerker tot en met (eind)gebruiker, maar ook inspectie en toezicht) hun rollen en werkprocessen anders moeten invullen.

Bij het toewijzen van een productiefunctie aan delen van grasbermen, sloten etc., moet rekening worden gehouden met de milieueisen. De eerste strook langs de verharding van drukke wegen, watergangen met een verontreinigde waterbodems en bepaalde ongevalsplaatsen moeten hiervan worden uitgesloten. Dit is overigens inmiddels ook gangbare praktijk in beheer en onderhoud in Nederland. Ook verdient het aanbeveling een categorisering te maken m.b.t. de verwachte aanwezigheid van zwerfvuil. Op basis van te ontwikkelen normen voor de maximale hoeveelheid zwerfvuil kan dan een werkwijze worden ontwikkeld hoe van bron tot eindverwerking aan deze eisen tegemoet kan worden gekomen.

Wet- en regelgeving

Voor de inzet van bokashi als meststof is het mogelijk om bokashi, of een bepaald type bokashi, toe te voegen bij de lijst van afval- en reststoffen die toegelaten worden als meststof: Bijlage Aa van de Meststoffenwet. Voor zover bekend, is zo'n aanvraag nog door geen enkele partij gedaan. Het ingaan van zo'n traject kan helpen om gecontroleerd ervaringen op te doen met nieuwe afzetmogelijkheden van maaisel onder het huidige regelgevende kader.

Met betrekking tot de eisen aangaande contaminanten (zware metalen en arseen) zou het aanbeveling verdienen te onderzoeken of er onderscheid te maken is tussen contaminanten in het organisch materiaal (die bij het vergaan van het organisch materiaal in de bodem kunnen accumuleren) en contaminanten in aanhangende grond en/of slib.

Kwaliteitsborging: checklist

Momenteel wordt er door verschillende partijen betrokken bij de maaiselketen gewerkt aan een checklist 'maaisel voor bodemverbetering'. In deze checklist wordt gewerkt aan een beschrijving van de volgende processtappen:

1. Monitoring
2. Kwaliteit terrein
3. Gebruikskennmerken grondstof
4. Maaien/oogsten
5. Vervoer en aflevering
6. Opslag
7. Maaisel direct op het land brengen (indien van toepassing)
8. Fermenteren (indien van toepassing)
9. Composteren (indien van toepassing)
10. Uitrijden/opbrengen

Het verdient aanbeveling om deze checklist te valideren bij verschillende pilots. De pilots zouden ook een goede basis kunnen zijn voor het verzamelen van meer kennis over de positieve werking van de toepassing en eventuele positieve en negatieve bijeffecten. Voor een goede dataset is het wenselijk aan de ene kant een zekere diversiteit te hebben, bijvoorbeeld verschillende regio's, verschillende soorten uitgangsmateriaal. Aan de andere kant kan het ook nuttig zijn te focussen op de belangrijkste

stromen van toepassing, bijvoorbeeld landbouwkundig kijken naar op welke bodemsoort(en) en bij welke teelt(en) afzet bij boeren de komende jaren een belangrijk afzetkanaal kan zijn.

Bij de selectie van de terreinen is het raadzaam om risico's met zware metalen, arseen en koolwaterstoffen te vermijden door geen maaisel van watergangen met vervuilde waterbodems, de eerste meter langs drukke wegen of van calamiteuze plekken (zoals gekantelde tankwagens) mee te nemen.

Een belangrijk aandachtspunt is ook de aanwezigheid van zwerfvuil. Dergelijke locaties moeten vermeden worden. Indien dit aanwezig is, moet op enig moment (ergens tussen 'vóór het maaien' en 'vóór het onderwerken') dit zwerfvuil worden verwijderd. Een goed protocol en monitoring hiervan zijn belangrijk om vast te kunnen stellen of op een bepaalde locatie sprake is van zwerfvuil.

Het verdient aanbeveling om de pilots waar ook onderzoek wordt uitgevoerd vanaf de eerste start goed te coördineren met de organisatie die het onderzoek gaat uitvoeren om ervoor te zorgen dat er een consistente onderzoekopzet is. Daarvoor is het belangrijk dat de resultaten van het onderzoek de eventuele zorgen van de eindgebruiker van de toepassing duidelijk adresseren, maar ook de beleidsmatig relevante vragen (bodembescherming, opbouw stabiel humus, ziektevering, onkruid (zaad- en wortelonkruiden), werking als meststof, broeikasgassenbalans, evt. andere ecosysteemdiensten etc.) stellen.

Literatuur

- Amlinger, F. 2004. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers. Final report 2004. ENV.A.2./ETU/2001/0024.
- Arthur, E., Cornelis, W. M., Vermang, J., & De Rocker, E. 2011. Amending a loamy sand with three compost types: impact on soil quality. *Soil Use and Management*, 27(1), 116-123.
- Beoordelingsrichtlijn Keurcompost 2018. Versie 6.1 geldend vanaf 15 mei 2018.
http://keurcompost.nl/wp-content/uploads/images/BRL-Keurcompost-6-1_geldend-vanaf-15052018_DEF.pdf
- Boer, H.C. de, Brolsma, K.M., Fleurkens, B.G.M., Schoonbergen, A., Van Vliet, P.C.J., 2020. *Pyrolyse ter bepaling van de kwaliteit van organische stof in mest*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1240.
- Boer, H. de, K. Brolsma, B. Fleurkens, A. Schoonbergen, en P. van Vliet. 2020. Sturen op mestkwaliteit. Meten van de kwaliteit van organische stof in mest met behulp van pyrolyse. Presentatie 16 januari 2020, Bron: <https://edepot.wur.nl/513168>.
- Bonanomi G, Antignani V, Capudilupo M & Scala F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 136-144.
- Bosch, M., A. Hitman, en J.F. Hoekstra. 2016. Fermentation (Bokashi) versus Composting of Organic Waste Materials: Consequences for Nutrient Losses and CO₂-footprint. Agriton, Noordwolde.
- Bosma, S. 2016. "Onderzoeksrapport Businessplan Agrarische Groenstations." HBO diss., van Hall. Larenstein University.
- Bruggen, A. van, W. Blok, O. de Vos, D. Volker, en G. van Diepen. 2008. EM: Effectieve microben of effectieve magie? Een onderzoek naar de effectiviteit van Effectieve Micro-organismen. Wetenschapswinkel Wageningen UR, rapportnummer 245. ISBN 90-8585-087-8.
- BVOR. 2017. De Bokashi-hype ontrafeld. 10 vragen en antwoorden. BVOR.
- Clercq, T. de, Merckx, R., Elsen, A., & Vandendriessche, H. (2015). Impact of long-term compost amendments on soil fertility, soil organic matter fractions and nitrogen mineralization. In III International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture 1146 (pp. 79-86).
- Commissie Deskundigen Meststoffen. 2017. CDM-advies 'criteria voor organischestofrijke meststoffen' 29-11-2017. CDM.
- Dekker, P.H.M., M. van Zeeland en J.G.M. Paauw. 2010. Levenscyclusanalyse groencompost Grootchalig en zelf composteren. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Business-unit Akkerbouw, Groende Ruimte en Vollegrondsgroente PPO nr. 3250109709.
- Deltares. 2018. Zware metalen in dierlijke mest in 2017. Project nr. 11202236-002.
- Ehlert, P.A.I., K.B. Zwart, en J.H. Spijker. 2010. Biogas uit bermmaaisel. Duurzaam en haalbaar? Alterra rapport 2064. Wageningen, 74 pp.
- Formowitz, B., F. Elango, S. Okumoto, T. Müller, and A. Buerkert. 2007. The role of "effective microorganisms" in the composting of banana (*Musa ssp.*) residues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170. 649 - 656.
- Frøseth, R. B., Bakken, A. K., Bleken, M. A., Riley, H., Pommeresche, R., Thorup-Kristensen, K., & Hansen, S. (2014). Effects of green manure herbage management and its digestate from biogas production on barley yield, N recovery, soil structure and earthworm populations. *European Journal of Agronomy*, 52, 90-102.
- Geel, W. van, J. de Haan, M. Hanegraaf en R. Postma, 2019. Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen. Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof. Wageningen Research | Open Teelten, Lelystad. Rapport WPR-project 3750384500, 58 pp.
- Groenenberg, J.E., P.F.A.M. Römkens en W. de Vries. 2006. Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch arable soils: a risk assessment study. Alterra report 1278. Alterra, Wageningen.
- Groeneveld, A., M. Bakker, J. Peerlings and W. Heijman. 2019. Complex dynamics in the uptake of new farming practices: a case study for organic waste application, *Journal of Environmental Planning and Management*, 62:5, 818-842.

-
- Groenigen, J.W., en K.B. Zwart. 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost; een laboratoriumstudie. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1503, 28 pp.
- Hitman en Bosch, 2017. Fermenteren versus composteren V2.0. Feed Innovation Services BV, Wageningen. 26pp.
- Hijbeek, R., van Ittersum, M. K., ten Berge, H. F., Gort, G., Spiegel, H., & Whitmore, A. P. (2017). Do organic inputs matter—a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. *Plant and Soil*, 411(1-2), 293-303.
- Inagro. 2011. Code van goede praktijk bodembescherming. Advies organische koolstofgehalten en zuurtegraad. Toelichting resultaten MTR_versie 2011. Inagro vzw. Rumbeke-Beitem.
- Janmaat, L. 2015. Verwerken van maaisel voor landbouwkundig gebruik: Waarde van compost, bokashi en bermgraskuil als meststof. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 39 p. Rapport (<http://www.louisbolk.org/downloads/3102.pdf>).
- Janmaat, L. 2017. Wat is beter: compost of bokashi? *Ekoland*. juni, p. 30-31 Artikel uit vaktijdschrift (<http://www.louisbolk.org/downloads/3269.pdf>).
- Klein, D. 2019. Voortgangsverslag project Bermmaaisel als Bodemverbeteraar. Leerstoelgroep Plant ecologie en Natuurbeheer. Zaak-nummer 2018-007655. Wageningen UR.
- Koopmans, C., M. van Agtmaal, en N. van Eekeren. 2018. Quick scan mest en bodemkwaliteit. Invloed van mest en compost op de bodemkwaliteit, gewasproductie en emissies. Louis Bolk Instituut, rapport 2018-008 LbD. Bunnik, 32pp.
- Kusters, Bokashigebruik in de Nederlandse Akkerbouw. Eindrapportage 2015. Rapport Agriconnection, 28 juni 2015.
- Laan, P. 2019. Verkenning verwaarding van zuiveringsslib met behulp van biologische methoden. STOWA rapport 2019-11. ISBN 978.90.5773.837.1. Amersfoort, 64p.
- Larsson, L., M. Ferm, A. Kasimir-Klemedtsson and L. Klemedtsson. 1998. Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51:41-46.
- Lashermes, G., Nicolardot, B., Parnaudeau, V., Thuriès, L., Chaussod, R., Guillotin, M.L., Linères, M., Mary, B., Metzger, L., Morvan, T., Tricaud, A., Vilette, C., Houot, S. 2009. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. (2009) *European Journal of Soil Science*, 60 (2), pp. 297-310.
- Luo, G., Li, L., Friman, V.-P., Guo, J., Guo, S., Shen, Q., Ling, N. 2018. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 124, pp. 105-115.
- Lijster, E. de, J. van de Akker, A. Visser, B. Allema, A. van der Wal, en W. Dijkman. 2016. Waarderen van bodem-watermaatregelen. CLM rapport 912. CLM – Culemborg.
- Mayer, J., S. Scheid, F. Widmer, A. Fliessbach, H.R. Oberholzer. 2010. How effective are 'Effective microorganisms (R) (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*. 46. 230-239.
- Mons, G. 2019. Bokashi maak je niet zomaar even. *Melkvee*, jaargang 2019, november issue, p 30-31.
- Postma, R. (2017) Vrijstellingsregeling plantenresten en de aanvoer van nutriënten naar landbouwpercelen. NMI report 1679.N.17A, Wageningen.
- Quiroz, M., and C. Cespédes. 2019. Bokashi as an Amendment and Source of Nitrogen in Sustainable Agricultural Systems: a Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* (2019) 19:237–248.
- Römkens, P.F.A.M. & R.P.J.J. Rietra. 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008. Alterra rapport nr. 1729, Wageningen.
- Römkens, P.F.A.M. en J. Linders. 2019. Bodem-, Gewas- en Ecologische kwaliteit Ilperveld. Monitoringsresultaten 2015 – 2017. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2938.
- Ros, G.H., A.J. Termorshuizen, T.A. van Dijk. 2012. Risico's van diffuse verspreiding van groenafvalstromen. NMI rapport 1474.N.11.
- Russchen, H.J., 2016. *Slootmaaisel als organische stof bron voor de akkerbouw. Demo-proef in suikerbieten op arme zandgrond*. Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek. Research Institute Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR (University & Research centre), PPO-rapport 688.
- Saveyn, H. and P. Eder. 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Final Report. December 2013. JRC Seville. ISBN 978-92-79-35062-7, 308pp.

-
- Shin, K.C., G. van Diepen, W. Blok, A.H.C. van Bruggen. 2017. Variability of Effective Micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. *Crop Protection* 99:168-176.
- Slabbekoorn, H., en P. Dekker. 2008. Effect van toepassing effectieve micro-organismen in zomergerst 2007. PPO projectnr. 3250061900 (ZW3306). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. sector AGV.
- Slabbekoorn, H., en P. Dekker. 2009. Effect van toepassing effectieve micro-organismen in zomertarwe 2009. PPO projectnr. 3250061900 (ZW3609). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. sector AGV PPO; oktober 2009.
- Spijker J.H. en P.A.I. Ehlert, 2004. Alternatieve verwerkingsmethoden en werkbare wetgeving voor berm-, oever- en slootmaaisel; Mogelijkheden voor het onderwerken van maaisel op landbouwgronden in een kleine en een grote kringloop. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1071.
- Spijker J.H., P.H.I. Ehlert, W. Elbersen, J.J. de Jong en K. Zwart 2013. Toepassingsmogelijkheden voor natuur- en bermmaaisel. Stand van zaken en voorstel voor een onderzoeksagenda. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2418.
- STOWA. 2003. Bodemverbeterende eigenschappen van sloot- en oevermaaisel op landbouwgronden. STOWA rapport 2003-06. ISBN 90.5773.209.2 STOWA, Utrecht.
- Termorshuizen AJ, Van Rijn E, Van der Gaag DJ, Chen Y, Lagerlöf J, Paplomatas EJ, Rämert B, Steinberg C & Zmora S. 2006. Disease suppression of 18 composts against 7 pathogens. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2461-2477.
- Termorshuizen, A.J., L.P.G. Molendijk, en J. Postma. 2019. Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen; een overzicht van de beschikbare kennis van een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten. Wageningen Research rapport WPR-955.
- Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Møller, H. B., Sørensen, P., & Christensen, B. T. 2013. Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82-87.
- Tits, M., Elsen, A., Bries, J., & Vandendriessche, H. 2014. Short-term and long-term effects of vegetable, fruit and garden waste compost applications in an arable crop rotation in Flanders. *Plant and soil*, 376(1-2), 43-59.
- Uitvoeringsprogramma circulaire economie 2019-2023. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, mede namens de ministeries van Economische Zaken en Klimaat, Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking.
- Vanrespaille, H., J. Bonnast, en A. Elsen. 2019. Praktijkevaluatie bodemverbeterende middelen: stalmest, bokashi en houtsnippers. Project uitgevoerd door Bodemkundige Dienst van België en agrobiocentrum Ekokwadraat in opdracht van Vlaams-Brabant. Eindrapport, 22/01/2019. 45 pp. In kader van Interreg Leve(n)de bodem.
- Velthof, G.L. en P.J. Kuikman, 2000. Beperking van lachgasemissie uit gewasresten; een systeemanalyse. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114-3. 82.blz. 6 fig.; 6 tab.; 57 ref.; 11 aanh.
- Viaene, J., L. Agneessens, C. Capito, N. Ameloot, B. Reubens, K. Willekens, B. Vandecasteele,*, S. De Neve. 2017a. Co-ensiling, co-composting and anaerobic co-digestion of vegetable crop residues: Product stability and effect on soil carbon and nitrogen dynamics. *Scientia Horticulturae* 220: 214-225.
- Westeinde, J. van 't, W.S. Otter, en T. van Dijk. 2016. Bokashi als bodemverbeteraar. Resultaten van het veldonderzoek 2013-2016. SPNA Rapport 205. Nieuw Beerta.
- Viaene, J., Nelissen, V., Reubens, B., Willekens, K., Driehuis, F., De Neve, S., & Vandecasteele, B. (2017b). Improving the product stability and fertilizer value of cattle slurry solid fraction through co-composting or co-ensiling. *Waste Management*, 61, 494-505.
- Vries, W. de, P.F.A.M. Römkens, and J.C.H. Voogd. 2004. Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch arable soils: a risk assessment study. Alterra report 1030. Alterra, Wageningen.
- Zwart, K.B., A. Kikkert, A. Wolfs, A. Termorshuizen en G.J. van der Burgt. Tien vragen en antwoorden over organische stof. HLB, Wijster, 2013.
- Zwart, K.B. en D. de Boer. 2015. Droge vergisting van berm- en natuurgras. Wageningen, Alterra, Wageningen University and Research, Alterra-rapport 2661. 46 blz.

Bijlage 1 Overzicht van relevante lopende onderzoeken

Momenteel wordt onderzocht Door Klein et al. in welke mate vers bermmaaisel, bokashi of compost de kwaliteit van de bodem beïnvloedt (Klein, 2019). Daarbij gebruikt men materiaal dat, anders dan in veel andere studies, redelijk vergelijkbaar is voor zover het eigenschappen als organische stof en N-gehalte betreft (zie Tabel B1.1 hieronder). Dit maakt effectvergelijkingen relevanter, omdat in dat geval vergelijkbare hoeveelheden nutriënten aangewend worden. Resultaten van bodemmetingen zijn nog niet bekend.

Tabel B1.1 Voorlopige resultaten van de kwaliteit van bokashi in de studie van Klein et al. (2019).

Behandelingen	C%	N%	C:N ratio	g C kg ⁻¹ droge stof	g N kg ⁻¹ droge stof
Vers, Soortenarm	37.1	1.24	30.0	371	12.4
Vers, Soortenrijk	33.5	1.30	25.9	335	13.0
Bokashi	39.8	1.58	25.2	398	15.8
Compost	36.4	1.65	22.1	364	16.5

Andere aspecten die een rol kunnen spelen bij de beoordeling van bokashi

Uit onderzoek van Janmaat (2015) blijkt dat de kosten voor het gebruik van bokashi in eerste instantie hoger zijn vergeleken met die van inkuilen. Dit komt grotendeels door de kosten van de additieven die nodig zijn (of vaak gebruikt worden) voor de productie van bokashi. Daarnaast stelt o.a. Kusters (2015) dat de kosten en met name de benodigde apparatuur voor landbouwers om Bokashi te maken, hoog zijn. Praktijkervaringen van landbouwers die zelf bokashi maken of maakten, variëren ook sterk (Mons, 2019) Door de hoeveelheid werk die het maken kost plus het feit dat het maken van bokashi van goede kwaliteit lastig kan zijn, maakt dat de kosten voor een aantal landbouwers niet opweegt tegen de voordelen.

Tabel B1.2 Eenvoudige berekening van kosten gerelateerd aan de productie van bokashi, melasse en standaard inkuilen bij De Klaverhoeve, aangereikt door de heer Jan Vrolijk (Janmaat, 2015).

Kosten per 100 m ³ :	Bokashi	Melasse	Gewoon
Inkuilen (60 € uur ⁻¹)	900	600	300
Uithalen (60 € uur ⁻¹)	300	300	300
Materiaal	1000	600	0
Plastic	100	100	100
Opslag	1000	1000	1000
Totaal per 100 m³	3300	2600	1700
Prijs per ton bij 50% SG	66	52	34
Vergoeding per ton	30	30	30
Kosten per ton (excl. btw)	36	22	4

In het algemeen geldt dat de eventuele kosten voor transport een grote invloed hebben op de uiteindelijke kostprijs. Indien bokashi lokaal geproduceerd wordt (op het bedrijf), kan dit een positief effect hebben op de kosten in vergelijking met onder andere compost die vrijwel altijd ingekocht moet worden van een leverancier. Uiteraard zijn de kosten voor lokaal inwerken (maaisel) in dat geval altijd nog lager (Spijker en Ehlert, 2010).

Een niet openbaar rapport van Bosma (2016) stelt dat de kosten voor composteren en het maken van bokashi vergelijkbaar zijn en variëren van 20-22 € ton⁻¹.

Een recente analyse van Groeneveld et al. (2019) laat zien dat er op dit moment nog geen eenduidige analyse mogelijk is over al dan niet implementeren van bokashi (en andere organische reststromen) door landbouwers, juist vanwege de vele onzekerheden in de effecten en kosten van dergelijke nieuwe producten.

Voederwaarde van maaisel of kuilvoer vs. compost en bokashi

In het algemeen is het meeste onderzoek naar de toepassing van bokashi verricht naar de effecten op de bodemkwaliteit en over de voederwaarde van bokashi in vergelijking met maaisel, weinig bekend. Wel is aangetoond dat gedurende de fermentatie van maaisel het gehalte aan melkzuur duidelijk steeg in vergelijking met het oorspronkelijke kuilvoer of het kuilgras waaraan melasse is toegevoegd (zie Tabel 14). In het algemeen kent maaisel, zeker uit natuurterreinen een lage voederwaarde (VEM < 700, Spijker et al., 2013) en de metingen van Janmaat suggereren dat de voederwaarde (uitgedrukt als VEM) in bokashi zelfs lager ligt dan in het uitgangsmateriaal (of in elk geval niet hoger).

Tabel B1.3 Enkele voederwaarden van kuil met en zonder melasse en bokashi (Janmaat, 2015).

	DS	pH	Melkzuur	VEM	Suiker
Bokashi	340	5,7	44	283	< 4
Kuil met melasse	463	5,2	6	426	20
Kuil zonder toevoegingen	390	6,6	13	450	< 10

Bijlage 2 Aanvullende data van de kwaliteit van berm- en slootmaaisel

Tabel B2.1 Gemiddelde gehalten aan zware metalen, arseen en PAK's (mg kg⁻¹ droge stof) in onder meer berm- en slootmaaisel (Bron: Ros et al. (2012).)

Bron ¹	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	PAK
1	-	0,3-0,5	7-12	7-16	<0,11	<6,2	<19	50-80	<9,5	-
2	18	0,05	6,6	-	0,01	5,7	8,2	45	0,3	-
3	63	0,35	9,6	10,1	0,05	4,6	14,3	77,3	3,1	-
4	2	0,16	3,15	7,9	0,03	2,1	6,9	36	0,18	-
5	202-339	0,36	3,35	9,5	0,16	2,62	6,8	67,4	0,7	-
6	44	0,4	6,9	13,4	0,1	4,3	12	88	0,9	1,2
6	22-166	0,5	4,4	10	0,2	4,4	6,0	71	0,5	1,0
6	7-83	0,2	2,0	16	0,05	2,8	8,6	64	0,2	0,4
7	-	0,1-0,3	4	7-12	-	1-3	1-19	24-56	<0,5	-
8	9	0,12	2,04	6,69	0,03	2,10	4,1	26	0,11	0,06
9	6-50	0,1	4,3	8,6	-	2,0	8,6	47	0,3	0,4
10	-	<1	11	10	<0,1	1,6	14	44	<1	-
11	60	<0,2	<1,4	<6,5	-	<1	<16	<16	-	-
Totaal	-	0,1-0,5	2-10	7-16	<0,2	1-6	1-19	26-88	1-3	<1,2

Tabel B2.2 Gemiddelde gehalten aan zware metalen, arseen en PAK's (mg kg⁻¹ droge stof) in slootmaaisel.

Bron ¹	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	PAK
1	4	0,5	6,0	9,3	0,05	28,5	3,7	131	2,1	-
2	1	1	20	14	0,05	20	11	85	44	-
3	18	0,3	8,5	8,0	0,04	3,9	5,0	74	5,6	-
4	75	0,4	4,4	6,5	0,07	6,8	2,8	62,1	0,32	-
5 **	19-96	17	21	4	5	53	32	21	37	-
6 **	103-116	-	-	79	-	72	-	59	-	-
7	1	1	12,4	8,8	0,05	8,4	22,2	35	0,25	-
Totaal	-	<1	<20	<15	<0,1	<30	<22	<130	<44	-

¹ Bronnen opgenomen in Ros et al. 2012.

Tabel B2.3 Gemiddelde gehalten aan zware metalen, arseen (mg kg^{-1} droge stof) in openbaar groenafval en natuur- en groencompost.

Bron ¹	Type	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
1	Houtafval	-	0,6	18	20	0,1	22,3	25	49	-
2	Natuurvegetatie	63	5,5	-	108	-	-	30	92	-
3	Natuurvegetatie	10	0,13	-	7,4	-	6,8	-	76	-
4	Natuurvegetatie	1	<0,3	-	1,0	-	-	-	18	-
5	Natuurvegetatie	6-17	7,0	0,6	7,9	-	1,0	1,74	276	0,68
6	Natuurvegetatie	1	1,0	12,4	8,8	0,05	8,4	22,2	35	0,25
7	Natuurvegetatie	20	0,1	1,9	9,5	-	2,1	1,2	46	0,9
8	Natuurvegetatie	-	-	-	2,3-5	-	-	-	13-33	-
9	Natuurvegetatie	-	1,1	13,6	4,2	-	4,3	6,1	88	<1,5
10	Natuurvegetatie	4	0,11	0,3	5,1	-	0,5	-	-	1,2
11	Natuurvegetatie	2	1,7	19	18	0,05	22	126	54	1,1
12	Natuurvegetatie	-	<0,3	<1	<16	-	<3	<9	<64	<1
Totaal	Natuurvegetatie		<7	<19	<108	<0,1	<22	<126	<276	<1,5
13	Natuurcompost	-	0,43	6,5	12,6	0,04	3,5	11	101	3,3
13	Natuurcompost	-	0,35	7,7	10,6	0,04	4,9	11	79	5,7
13	Groencompost	-	0,42	20,5	27	0,1	10	38	127	4,6
14	Groencompost	-	0,45	19,8	29,4	0,13	10,3	42,3	138,5	4,8
14	Gft-compost	-	0,5	18,8	35,7	0,14	9,8	65,3	174,9	3,8
Totaal	Compost	-	<0,5	<21	<36	<0,2	<10	<65	<175	<6

¹ Bronnen opgenomen in Ros et al. 2012.

Bijlage 3 Enkele andere aspecten (wetgeving en kosten)

Wetgeving

Een verschil tussen bermmaaisel en bokashi van bermmaaisel, is dat bermmaaisel toegepast mag worden volgens de Vrijstellingsregeling Plantenresten. Niet-mechanisch bewerkt bermmaaisel, zoals bokashi van bermmaaisel, valt volgens de toelichting van 5 oktober 2018 niet onder de Vrijstellingsregeling. Enkele relevante regels die de Vrijstellingsregeling Plantenresten geeft, zijn: bermmaaisel is schoon en onverdacht en de hoeveelheid staat in een evenwichtige verhouding tot het oppervlak en Goede Landbouwkundige Praktijk.

Compost is vrij verhandelbaar en is toegestaan voor gebruik als meststof. Compost is specifiek benoemd in de mestwetgeving, waarbij een deel van het aanwezige N en P meetelt voor de mestgift op bedrijfsniveau. Voor compost bestaan er daarnaast specifieke kwaliteitseisen (uitgedrukt in mg kg⁻¹ product).

Kosten

Het verwerken van bermmaaisel ter plekke geeft voor de landbouwer geringe directe kosten (verspreiden, inwerken).

Een kostenpost die aandacht vraagt, zijn kosten gerelateerd aan hogere onkruiddruk afkomstig uit bermmaaisel, temeer omdat de periode van aanwending van maaisel én onkruidbeheersing (zomer/najaar) niet samenvalt met de reguliere grondbewerking in het voorjaar.

Kosten van productie van bokashi en compost ontlopen elkaar niet veel, althans niet wanneer transportkosten buiten beschouwing blijven. Omdat het grootste deel van zowel gft- als groencompost elders geproduceerd wordt (met name bij een van de grotere composteerders), zijn transportkosten van compost hoog, wat in het voordeel van bokashi uitvalt indien dit lokaal geproduceerd kan worden.

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3006
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, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten 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 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3006
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, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten 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.

