



Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid

A.J. Termorshuizen & R. Postma



Termorshuizen, A.J., Postma, R. 2021. Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid. Aad Termorshuizen Consultancy en NMI. 69 pp.

Aad Termorshuizen Consultancy, www.bodemplant.nl, Doorwerth.

Romke Postma, NMI (Nutriënten Management Instituut), www.nmi-agro.nl, Wageningen.

Deze deskstudie is gefinancierd door BO-Akkerbouw in het kader van het project Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen van Topsector Agri&Food LWV19166.

Dit rapport is te downloaden op <https://edepot.wur.nl/542271>.

In deze deskstudie zijn 15 reststoffen voor gebruik in de akkerbouw beoordeeld. Beoordeeld zijn dierlijke meststoffen (producten van rundveedrijfmest, vaste rundvee- en geitenmest, producten van varkensdrijfmest, vaste varkensmest, pluimveemesten), organische kalkmeststof, plantaardig digestaat, berm- en slootmaaisel (onbewerkt berm- en slootmaaisel, en ingekuild berm- en slootmaaisel incl. Bokashi), compost, stro, verwerkt dierlijk eiwit, humuszuren, zaadmeel en zeewierpreparaten. Deze reststoffen zijn beoordeeld op hun bijdrage aan het effectief organische-stofgehalte (EOS), bodemvruchtbaarheid, bodemleven en ziektevering; tevens zijn de risico's op nitraatuitspoeling en verontreinigingen (plantenpathogenen, onkruiden en fysieke en chemische verontreinigingen) ingeschat.

Trefwoorden: bodemgezondheid, bodemvruchtbaarheid, circulaire landbouw, organische stof, plantenpathogenen, reststoffen, verontreinigingen

©Aad Termorshuizen Consultancy en NMI. Teksten uit deze publicatie mogen worden overgenomen mits met bronvermelding zoals bovenaan deze pagina weergegeven.

De auteurs bedanken de deelnemers aan het project Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen van Topsector Agri&Food LWV19166 en in het bijzonder Joeke Postma voor hun commentaar op een eerdere versie van deze studie, alsmede Elma Raaijmakers (IRS) voor het verschaffen van nuttige informatie.

Publicatiedatum: 16 februari 2021.



Inhoud

Samenvatting	3
1. Inleiding	5
1.1. Gewenste eigenschappen van organische reststoffen	6
1.1.1. Effectieve organische stof (EOS)	6
1.1.2. Bodemvruchtbaarheid	6
1.1.3. Bodemleven	7
1.1.4. Ziektewering	9
1.2. Risico's van organische reststoffen	12
1.2.1. Nitraatuitspoeling	12
1.2.2. Verontreinigingen	12
1.3. Beoordelingssystematiek	13
2. Karakterisering reststoffen, gebruik en verwachte effecten	15
2.1. Dierlijke meststoffen	15
2.1.1. Producten van rundveedrijfmest	17
2.1.2. Vaste rundvee- en geitenmest	20
2.1.3. Producten van varkensdrijfmest	22
2.1.4. Vaste varkensmest	24
2.1.5. Pluimveemesten	26
2.2. Organische kalkmeststof	28
2.3. Plantaardig digestaat	30
2.4. Berm- en slootmaaisel	32
2.4.1. Onbewerkt berm- en slootmaaisel	32
2.4.2. Ingekuild berm- en slootmaaisel	34
2.5. Compost	38
2.6. Stro	42
2.7. Verwerkt dierlijk eiwit	44
2.8. Humuszuren	47
2.9. Zaadmeel	49
2.10. Zeewierpreparaten	52
3. Evaluatie en conclusies	55
4. Referenties	62
Bijlage 1. Samenstelling reststoffen	68

Samenvatting

Er is toenemende aandacht voor het gebruik van reststoffen in de landbouw. Deze reststoffen kunnen nuttige effecten hebben op de bodem, zoals verhoging van het organische-stofgehalte en de bodemvruchtbaarheid, en versterking van de ziektevering en het bodemleven. Daarnaast kunnen er ook bepaalde risico's zijn, zoals een risico op nitraatuitspoeling en op verontreinigingen. In veel studies wordt gefocust op effecten van reststoffen op de chemische (als meststof) of fysische (als bodemverbeteraar) eigenschappen van de bodem of op effecten op het bodemleven en ziekteverendheid. In weer andere studies staan bepaalde risico's centraal. Tot op heden ontbreken echter studies waarin reststoffen integraal worden beoordeeld. Zo'n integrale beoordeling staat centraal in deze studie. Aan de hand van een brede range aan 15 organische stoffen wordt een systematiek opgezet die ook toepasbaar is voor nieuwe reststoffen, die nu volop in ontwikkeling zijn.

De reststoffen zijn beoordeeld op de volgende positieve eigenschappen:

- Effectieve organische stof (EOS): dit is die organische stof die een jaar na toediening aan de bodem nog over is. EOS heeft effecten op bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid en bodemleven, en is waarschijnlijk ook van belang voor stimulering van algemene ziektevering. De EOS van een reststof wordt bepaald door het organische-stofgehalte in deze reststof en de afbreekbaarheid daarvan. De hoeveelheid reststof die kan worden aangewend wordt bepaald door de stikstof- en fosfaatgehalten, en in sommige gevallen ook door de prijs.
- Bodemvruchtbaarheid: in deze studie is vooral gekeken naar de bijdrage van de hoofdelementen N, P en K van de reststof aan de opbouw van de voorraad van deze elementen in de bodem. Voor N betekent dit bijvoorbeeld dat een organische reststof met een lage N-werkingscoëfficiënt een grote bijdrage levert aan de bodemvruchtbaarheid en omgekeerd.
- Bodemleven: dit betreft effecten op bacteriën, schimmels en schimmelachtigen en bodemfauna. In de meeste gevallen is een verandering in bodemleven lastig te duiden omdat perceelsspecifieke streefgetallen onbekend zijn.
- Ziektevering: reststoffen kunnen op verschillende manieren effect hebben op bodemgebonden plantenpathogenen incl. plantenparasitaire aaltjes. In het algemeen zijn effecten afhankelijk van het soort pathogeen.

De reststoffen zijn verder beoordeeld op de volgende risico's:

- Nitraatuitspoeling: als stikstof uit reststoffen ter beschikking komt terwijl de planten het niet voldoende op kunnen nemen, is er risico op nitraatuitspoeling.
- Verontreinigingen: dit betreft risico op plantenpathogenen, onkruiden en fysieke en chemische verontreinigingen.

Van de 15 behandelde reststoffen hebben er acht het belangrijkste effect op bodemvruchtbaarheid, vier hebben het belangrijkste effect op EOS en twee hebben specifieke effecten op ziektevering. Alleen de categorie zeewierpreparaten is niet beoordeeld voor bodemtoepassing. Hoewel wel bodemeffecten hiervan geclaimd worden, zijn de meeste toepassingen bovengronds, mede omdat teveel nodig zou zijn om bodemeffecten te genereren, wat te kostbaar zou worden.

Van de producten die als hoofdeffect verbetering van de bodemvruchtbaarheid als doel hebben, zijn er drie (producten van rundveedrijfmest, producten van varkensdrijfmest en plantaardig digestaat) waarbij er risico is op nitraatuitspoeling. Producten met een hoog fosfaatgehalte kunnen maar beperkt worden toegepast in verband met de fosfaatregelgeving en dragen dan weinig bij aan de aanvoer van effectieve organische-stof (EOS). Dit betreft producten van varkensdrijfmest, vaste varkensmest en pluimveemesten. Ook bij organische kalkmeststof is de bijdrage aan EOS beperkt. Risico's op plantenpathogenen en onkruiden zijn een potentieel probleem bij zowel onbewerkt als bij ingekuuld berm- en slootmaaisel (incl. Bokashi). Fysieke verontreinigingen kunnen voorkomen bij composten. Bij stro kunnen evt. aanwezige plantenpathogenen problematisch zijn.

In deze deskstudie wordt aan twee producten aandacht besteed die specifiek ingezet kunnen worden tegen bepaalde bodempathogenen: verwerkt dierlijk eiwit en zaadmeel. Voor beide productgroepen zijn interessante effecten tegen bepaalde bodempathogenen gevonden, maar de variatie is nog te groot voor een betrouwbare toepassing en bovendien zijn de huidige prijsniveaus nog te hoog om ze rendabel in te zetten.

Effecten op het bodemleven zijn sterk gerelateerd aan de hoeveelheid EOS die aanwending van reststoffen met zich meebrengt: immers, organische stof is dé voedselbron voor het bodemleven. Veel EOS kan worden ingebracht met producten van rundveedrijfmest, vaste rundvee- en geitenmest, compost en stro. Van verwerkt dierlijk eiwit en zaadmeel wordt ook een gunstig effect verwacht op het bodemleven, hoewel wellicht kort na aanwending een kortdurend negatief effect kan optreden. Plantaardig digestaat heeft weliswaar een positief effect op EOS, het effect op het bodemleven is nog onvoldoende bekend.

Een stimulering van het bodemleven betekent niet automatisch dat de ziektevering gestimuleerd wordt. In het algemeen kan verwacht worden dat als de EOS substantieel verhoogd wordt, daarmee het bodemleven gestimuleerd wordt, en dat dit gunstige effecten zal hebben op de algemene ziektevering; er is echter geen informatie beschikbaar die aangeeft dat dit verband een vaststaand feit is. Bovendien moet bedacht worden dat maar een beperkt aantal plantenpathogenen sterk gevoelig is voor algemene ziektevering.

Twee reststoffen, onbewerkt berm- en slootmaaisel en ingekuild berm- en slootmaaisel incl. Bokashi, hebben een “rode” beoordeling gekregen voor wat betreft risico's. Dit betekent dat er essentiële risico's zijn. Dit betreft de kans op verspreiding van onkruiden, alsmede plantenpathogenen en mogelijk ook fysieke verontreinigingen. Ingekuild berm- en slootmaaisel zal ten opzichte van onbewerkt materiaal enige afdoening van deze ongewenste organismen laten zien, maar het de vraag of dat voldoende is.

1. Inleiding

Een circulaire economie, inclusief circulaire landbouw, krijgt steeds meer aandacht. In een circulaire economie worden zo veel mogelijk stoffen hergebruikt, vaak bij voorkeur lokaal. Deze aandacht vertaalt zich in een toenemende stroom van reststoffen die voor de landbouw beschikbaar komen. Het nut van deze reststoffen voor de landbouw is in het algemeen:

- Het verschaffen van organische stof, wat gunstige effecten heeft op de bodemstructuur, en daarmee het watervasthoudend vermogen, het bodemleven en vaak ook de ziektevering, wat leidt tot een gezonder gewas.
- Het verschaffen van nutriënten, zodat minder kunstmest nodig is.

Daarnaast zijn er ook organische stoffen die een specifiek effect beogen op de ziektevering, zoals verwerkt dierlijk eiwit. In sommige gevallen worden organische stoffen daar ook specifiek voor geproduceerd, zoals zaadmeel.

Voor gebruik in de landbouw zijn organische stoffen onderworpen aan allerlei regelgeving, die afhankelijk is van hun eigenschappen en de claims die worden gevoerd. Als een stof is bedoeld als meststof of bodemverbeteraar, moet het voldoen aan de Europese Meststoffenverordening (EG 2003/2003; van kracht tot juli 2022) of de Nederlandse Meststoffenwet, met het bijbehorende Uitvoeringsbesluit en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Daarin is o.a. vastgelegd onder welke voorwaarden een product als meststof mag worden verhandeld en toegepast en, als het is toegelaten, welke hoeveelheden van het product mogen worden aangewend. Als een product is bedoeld als gewasbeschermingsmiddel dient het te voldoen aan de Wet Gewasbeschermingsmiddelen en Biociden, met het bijbehorende Besluit en Regeling (www.ctgb.nl). De wet- en regelgeving voor meststoffen definieert organische meststoffen en stelt limiteringen aan verontreinigingen. Hiermee worden de risico's van het gebruik in de landbouw ingeperkt, maar de regelgeving heeft minder oog voor de landbouwkundige effecten van organische stoffen. Terwijl inmiddels wel voorstellen worden gedaan voor integrale beoordeling van organische stoffen (Schoumans et al., 2019), zijn er nog weinig analyses van organische stoffen die concreet de functies op organische-stofgehalte van de bodem, de bodemvruchtbaarheid, het bodemleven en de ziektevering integraal benaderen, samen met de risico's op nitraatuitspoeling en problemen met verontreinigingen (plantenpathogenen, onkruiden en fysieke verontreinigingen). Daarom is het doel van deze deskstudie om van een aantal bestaande en op dit moment op de markt verschijnende organische reststoffen zo'n integrale evaluatie te geven.

Voor handel tussen EU-landen wordt de nieuwe Europese Meststoffenverordening (Fertilizer Products Regulation 2019/1009) in juni 2022 geïmplementeerd. Hoe Nederland deze verordening gaat gebruiken voor binnenlandse regelgeving is op dit moment nog niet duidelijk.

#In deze deskstudie worden een breed palet aan bestaande, traditionele en nieuwe organische reststoffen beoordeeld. Voor wat betreft nieuwe reststoffen is mede geput uit die welke in PPS 'Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen' geselecteerd zijn, met uitzondering van die stoffen die op dit moment nog geen kans van toepassing maken in Nederland. In overleg met BO Akkerbouw zijn verder toegevoegd enkele organische stoffen die op dit moment actueel zijn (onbewerkt berm- en slootmaaisel, ingekuild berm- en slootmaaisel incl. Bokashi, humuszuren en zeewierpreparaten). Het idee is dat met de hier geselecteerde brede range aan organische reststoffen een systematiek voor hun beoordeling opgezet wordt die ook toepasbaar is voor nieuwe reststoffen, die nu volop in ontwikkeling zijn.

In deze inleiding worden de categorieën behandeld waarop de organische stoffen worden beoordeeld: de gewenste eigenschappen effectieve organische stof (EOS; par. 1.1.1), bodemvruchtbaarheid (par. 1.1.2), bodemleven (par. 1.1.3) en ziektevering (par. 1.1.4), en de risico's op nitraatuitspoeling (par. 1.2.1) en verontreinigingen (par. 1.2.2), waaronder plantenpathogenen,

onkruiden en abiotische verontreinigingen. De beoordelingssystematiek wordt besproken in par. 1.3. Kengetallen van de hier behandelde reststoffen zijn weergegeven in Bijlage 1.

1.1. Gewenste eigenschappen van organische reststoffen

1.1.1. Effectieve organische stof (EOS)

Het begrip ‘Effectieve organische stof’ (EOS) wordt gebruikt voor organische producten die naar de bodem worden aangevoerd of op de bodem terecht komen. Daarbij valt te denken aan organische meststoffen, organische bodemverbeteraars, gewasresten en groenbemesters. EOS wordt gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die een jaar na toediening nog over is. Dit is dus het relatief stabiele deel van de organische stof en de gedachte is dat met name dat deel bijdraagt aan de opbouw van organische stof in de bodem en daarmee aan bodemkwaliteit. Via de organische-stofbalans wordt nagegaan of er voldoende EOS naar de bodem wordt aangevoerd om de afbraak van organische stof in de bodem te compenseren. De jaarlijkse afbraak van organische stof in de bodem varieert tussen 1 en 5% (Wadman & De Haan, 1997) en hangt af van diverse bodemeigenschappen, maar kwantitatieve informatie hierover is onvoldoende. Daarom wordt als vuistregel voor de jaarlijkse afbraak 2000 kg organische stof per hectare gehanteerd (www.handboekbodemenbemesting.nl).

De aanvoer van EOS met een product wordt berekend uit het gehalte aan organische stof (OS) en de humificatiecoëfficiënt (HC), die staat voor de fractie van organische stof die een jaar na toediening nog over is. Voor dierlijke mesten en composten zijn gemiddelde waarden van HC's en EOS beschikbaar en voor nieuwe producten kunnen die worden afgeleid uit respiratieproeven, zoals de kortdurende Oxitop-bepaling (Moolenaar et al., 2002), of langer durende incubatieproeven (van Groenigen & Zwart, 2007; Postma & Ros, 2016). De hoeveelheid EOS die met organische producten op de bodem kan worden aangebracht wordt op landbouwpercelen in de meeste gevallen beperkt door de gebruiksnorm voor fosfaat. De hoeveelheid EOS/kg fosfaat van organische producten wordt daarom vaak gebruikt om de producten te karakteriseren en bepaalt de mogelijke EOS-aanvoer met het betreffende product.

1.1.2. Bodemvruchtbaarheid

Organische stof draagt bij aan chemische, fysische en biologische aspecten van bodemkwaliteit. Zo bevat organische stof stikstof (N), fosfor (P) en zwavel (S), dat door biologische mineralisatie beschikbaar kan komen voor gewassen. De omvang en dynamiek van de N-mineralisatie hangt, behalve van vocht en temperatuur, af van de stabiliteit van het organische materiaal en de C/N-verhouding (bv. Janssen, 1996). Daarnaast kan vooral het stabiele deel van de organische stof positief geladen nutriënten, zoals kali (K), magnesium (Mg) en calcium (Ca) binden. Organische stof zorgt ook voor een goede bodemstructuur en voor de binding van water en daardoor voor een minder snelle uitspoeling bij een neerslagoverschot. Over het algemeen zorgt organische stof voor gunstige omstandigheden voor gewasgroei en kan het bijdragen aan een goede opbrengst en kwaliteit van het gewas.

Met organische producten worden macronutriënten (N, P, K, Ca, Mg en S), micronutriënten (Cu, Mn, B, Fe, Zn, Mo, Ni) en organische stof naar de bodem aangevoerd. In deze studie richten we ons vooral op de hoeveelheid en beschikbaarheid van N, P en K uit organische producten, waarbij we o.a. kijken naar de onderlinge verhouding tussen deze nutriënten en de verhouding met EOS. De verhouding tussen EOS en P_2O_5 bepaalt de aanvoermogelijkheden van EOS met organische producten (zie hiervoor bij EOS, par. 1.1.1). Soms wordt onderscheid gemaakt naar organische meststoffen en organische bodemverbeteraars, alhoewel dat onderscheid arbitrair is. De gedachte is

dat de belangrijkste functie van organische meststoffen is gelegen in de nutriëntenlevering, terwijl bij organische bodemverbeteraars de nadruk ligt op de organische-stofvoorziening. Van Geel et al. (2019) hebben een methode beschreven die handvatten biedt om dat onderscheid te maken op basis van de verhouding tussen EOS en het N-gehalte en EOS en het P-gehalte.

De nutriëntenlevering door organische meststoffen verschilt van die van kunstmest, doordat de nutriënten deels in een andere vorm aanwezig zijn dan in kunstmest. Dit is het duidelijkst voor stikstof, fosfaat en zwavel, die in veel organische meststoffen in ieder geval voor een deel in organische verbindingen aanwezig zijn. Zolang ze in de bodem aanwezig zijn dragen ze bij aan de bodemvruchtbaarheid, wat bij kunstmest niet of nauwelijks het geval is. Deze nutriënten komen geleidelijk beschikbaar voor het gewas door het biologische mineralisatieproces. Voordeel hiervan is dat het aanbod van nutriënten meer geleidelijk verloopt en er ook minder grote risico's zijn dat stikstof in de vorm van nitraat op korte termijn uitspoelt, bijvoorbeeld in een situatie waarbij er direct na de bemesting in het vroege voorjaar sprake is van een neerslagoverschot. Anderzijds is het deel van de toegediende nutriënten dat door het gewas in het jaar van toediening wordt opgenomen bij organische meststoffen meestal lager dan bij kunstmest. Voor stikstof is hieraan ook in het beleid aandacht besteed via het begrip N-werkingscoëfficiënt, waarvoor voor een groot aantal organische meststoffen waarden zijn afgeleid (Van Dijk et al., 2004). Het niet-werkzame deel van de nutriënten in organische meststoffen draagt dus bij aan de bodemvruchtbaarheid, wat voor stikstof meestal wordt gekarakteriseerd als het N-leverend vermogen.

1.1.3. Bodemleven

Het bodemleven wordt door aanwending van reststoffen veelal gestimuleerd omdat de toegediende organische stof een voedselbron is. Het bodemleven omvat onder andere, van klein naar groot, bacteriën, schimmelachtigen (oömyceten), schimmels, protozoën, algen, mijten, aaltjes, insecten en regenwormen. Het bodemleven heeft effect op veel belangrijke bodemfuncties:

- Effecten op bodemstructuur: netwerken van schimmeldraden (= mycelium) en uitscheidingsproducten van bacteriën houden bodemdeeltjes bij elkaar; ook regenwormen dragen bij aan een goede bodemstructuur.
- Effecten op mineralisatie van organische stof: schimmels breken de meer complexe verbindingen zoals cellulose en lignine af en vooral bacteriën spelen een belangrijke rol bij de verdere mineralisatie van de afbraakproducten. Voor een deel gebeurt dat in het maagdarmkanaal van vooral regenwormen en aaltjes.
- Bodempathogenen: een deel van het bodemleven bestaat uit voor het gewas ziekteverwekkende organismen (vooral aaltjes, schimmels en oömyceten) (zie par. 1.2.2).
- Ziektevering: bodemorganismen beïnvloeden aanwezige bodempathogenen. Dit is het duidelijkst te zien in een experiment waarin aan gesteriliseerde grond een pathogeen wordt toegediend, en de ziekte-ontwikkeling vergeleken wordt met een niet-gesteriliseerde grond. Bijna altijd is de ziekte-ontwikkeling in de gesteriliseerde grond veel groter dan die in de niet-gesteriliseerde grond. Dit verschil is toe te schrijven aan het bodemleven. Dit kan diverse oorzaken hebben, variërend van parasitisme (bv. door *Trichoderma*) en concurrentie (met name in de rhizosfeer) tot geïnduceerde resistentie van de plant, of een combinatie hiervan.

Bij interpretatie van effecten van reststoffen op bodemleven gelden de volgende belangrijke redeneringen:

- Effecten zijn afhankelijk van de hoeveelheid aangewende reststof. Pas bij aanwending van bv. compost in de grootte-orde van 20 ton/ha of meer zijn effecten te verwachten. Vaak zijn pas effecten te verwachten na aanwending gedurende meerdere jaren. De bijdrage van een organische stof in een hoeveelheid van 20 ton/ha en met een EOS-gehalte van 218 kg/ton betekent 4360 kg EOS/ha. Als dit aangewend wordt op een grond met 3,0% organische stof, dan leidt dit slechts tot

- een verhoging naar 3,17% organische stof. De effecten hiervan op de bodemkwaliteit zullen dus beperkt zijn.
- Bij effecten van reststoffen op het bodemleven door verrijking van de grond met organische stof geldt dat de hoeveelheid aangevoerde organische stof die niet tot de EOS behoort een direct maar kortdurend effect heeft op het bodemleven, terwijl de effecten van EOS een langduriger effect hebben.
 - Reststoffen die microbieel makkelijk afbreken (bv. dierlijke meststoffen) hebben een sterker, maar korter durend effect, terwijl reststoffen die langzaam afbreken langer durende effecten hebben (bv. tarwestro) (Li et al., 2018).
 - Opmerkelijk is dat dierlijke mesten die een hogere humificatiecoëfficiënt (HC) en meer EOS bevatten, niet alleen leiden tot meer OS-opbouw, maar ook tot een grotere omvang en activiteit van het bodemleven (Bloem et al., 2017). Dit is bijvoorbeeld het geval bij vaste mesten ten opzichte van drijfmesten, maar ook bij rundveedrijfmest ten opzichte varkensdrijfmest. Dit is opmerkelijk omdat een hogere HC betekent dat er op de korte termijn minder afbreekbare organische stof en dus minder voedsel voor het bodemleven is. Op de lange termijn is dat echter anders en in meerjarige veldexperimenten geeft dat laatste blijkbaar de doorslag voor de bodembiologie.
 - Bij sommige reststoffen met een specifieke werking op bepaalde groepen van micro-organismen kan een relatief geringe dosis ook effecten hebben, maar dan nog is de grootte-orde meestal fors hoger dan wat nu voor die middelen geadviseerd wordt. Een voorbeeld is toepassing van chitine aan de bodem. Als hiervan voldoende wordt toegepast, worden bepaalde bacteriën (actinomyceten) bevorderd, wat onder bepaalde, nog niet helemaal opgehelderde omstandigheden leidt tot ziektevermindering tegen sommige bodempathogenen (samengevat in Termorshuizen et al., 2020). Zo'n toepassing is voorlopig alleen nog maar theoretisch, want 1 ton chitine kost zo'n € 10.000.
 - Een toename van bodemleven hoeft niet per se alleen positieve effecten te hebben. Zo heeft de additie van een grote hoeveelheid makkelijk afbreekbare organische stof gewoonlijk een sterke toename van de hoeveelheid schimmels en bacteriën tot gevolg, maar bij een overschot aan vooral opneembare stikstof kunnen ook bepaalde pathogenen hiervan profiteren en dus toenemen. Sommige op het organische materiaal al aanwezige plantenpathogenen kunnen daarop verder groeien na inwerking in de grond, waardoor de infectiedruk in het volgende groeiseizoen toeneemt. Dit fenomeen is met name bekend van de inwerking van graanstoppels.
 - Van veel biostimulanten is kennis gegenereerd onder kunstmatige, experimentele omstandigheden, bv. in gestoomde grond of in een vermiculietsubstraat. Effecten onder praktijkomstandigheden zijn niet of nauwelijks onderzocht, en dan nog het meest in de substraattuinbouw. Onderzoek in veldgronden is dringend gewenst (Abbott et al., 2018). Weliswaar gebeuren er in Nederland wel veel veldexperimenten met diverse biostimulanten, maar de resultaten ervan komen veelal niet beschikbaar omdat ze in opdracht van de producenten zelf zijn gedaan.

Effecten van aanwending van reststoffen moeten worden afgewogen tegen wat beoogd wordt. Dit kan bijvoorbeeld zijn verhoging van het organische-stofgehalte. Voor wat betreft bodemleven zijn streefwaardes echter onbekend. Hoeveel bacteriën en schimmels optimaal zijn in de bodem is bijvoorbeeld onbekend. Bovendien is het waarschijnlijk dat zulke streefwaardes perceelsafhankelijk zijn. Weliswaar zijn er getallen van agrarische bedrijven bekend op basis van een uitgebreide monitoring door het RIVM (Rutgers et al., 2007), maar veel van de hierin gebruikte methoden zijn kostbaar en niet geschikt voor een routinematige analyse op het bedrijf. Een ander lastig aspect van biologische metingen is dat veel van die metingen afhankelijk zijn van de bodemtemperatuur en het bodemvochtgehalte, die sterk seizoensgebonden zijn. In onderzoek wordt daarom vaak gekeken naar relatieve effecten tussen een behandeling (met aanwending van reststoffen) en een controle

(zonder aanwending van reststoffen), maar zo'n vergelijking leidt niet tot perceel-specifieke streefgetallen.

In zijn algemeenheid bevordert aanwending van stikstofrijke organische stoffen de bacteriepopulaties en de organismen die zich daarmee voeden, zoals de bacterivore aaltjes. Dit werd bijvoorbeeld gevonden in bodems waaraan verwerkt dierlijk eiwit, zaadmeel en verse biomassa werd toegediend, terwijl GFT- en groencompost zo'n effect niet lieten zien (Postma et al., 2020). Meestal heeft dit dan ook tot gevolg dat de totale aantallen aaltjes worden bevorderd. Schimmelpopulaties worden bevorderd door aanwending van moeilijk afbreekbare verbindingen, zoals cellulose- en ligninerijke reststoffen, zoals zaagsel. Zulke reststoffen leiden tot immobilisatie van stikstof, zodat een externe stikstofbron moet worden toegepast om belemmering van de gewasgroei door stikstoftekort tegen te gaan. De microbiële afbraak van reststoffen met een hoge C/N-verhouding verloopt sneller na toediening van extra stikstof, wat dan ook leidt tot stimulering van vooral schimmelpopulaties (Clocchiatti et al., 2020).

1.1.4. Ziektewering

Bij de behandeling van de ziektewerende werking van reststoffen worden effecten bedoeld zoals beschreven staan in Termorshuizen et al. (2020), exclusief effecten van vruchtwisseling op ziektewerende eigenschappen. Het gaat dan om de volgende effecten die mogelijk door bepaalde reststoffen beïnvloed kunnen worden:

- Microbiële ziektewering, met mechanismen als competitie om voedsel en ruimte, parasitisme en predatie, productie van antibiotica of toxische vluchtige verbindingen en geïnduceerde resistentie. Reststoffen zullen weliswaar meestal geen micro-organismen bevatten die directe, ziektewerende effecten hebben, wel kan de algemene microbiële activiteit in de bodem worden gestimuleerd, waardoor sommige pathogenen minder kansen hebben om plantenwortels te infecteren.
- Abiotische ziektewering, bv. door het creëren van een ongunstig abiotisch milieu voor pathogenen (bv. het door structuurverbetering wegnemen van natte plekken; pH-verhoging ter bestrijding van knolvoet; pH-verlaging ter bestrijding van aardappelschurft) en het bevorderen van de weerbaarheid van de plant door het wegnemen van omstandigheden die stress (bv. suboptimale bemesting, droogte, doorwortelbaarheid) bij planten veroorzaken. Een andere vorm van abiotische ziektewering is door het laten ontstaan van voor pathogenen toxische stoffen. Voorbeelden hiervan zijn zaadmeel (par. 2.9), en toediening van grote hoeveelheden N-rijke verbindingen, die na decompositie onder vochtige bodemomstandigheden leiden tot toxische niveaus van ammoniak en organische vetzuren. Over dit laatste is veel gepubliceerd, met name vanuit Canada, maar om zulke resultaten te bereiken is de hoeveelheid aan te wenden mest onrealistisch hoog (grootte-orde 70 ton/ha), wat leidt tot veel broeikasgasemissies (met name N_2O , lachgas) en uitspoeling van stikstof.
- Verhoging van de resistentie van de plant. Tang et al. (2019) vonden dat 25-50 ton/ha tarwestro, toegediend aan een veldbodem, leidde tot verhoogde resistentie van meloenplanten tegen *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*). Nu is dit wel erg veel tarwestro en het onderzoek werd gedaan in een exotisch gewas, toch laat dit de potentie zien van zelfs heel gewone organische reststoffen. Het nadeel van mechanismen die ingrijpen op de resistentie van de plant is, dat zulke effecten afhankelijk zullen zijn van de plantensoort.

Bij interpretatie van effecten van reststoffen op ziektewering gelden de volgende belangrijke redeneringen:

- Effecten hangen af van de mate van besmetting van de grond met plantenpathogenen. Is een grond zwaar besmet, dan zal zelfs een halvering daarvan door bepaalde maatregelen nog steeds onacceptabel veel schade berokkenen.
- Pathogenen die ontstaan bij een te nauwe vruchtwisseling zullen in het algemeen onvoldoende onderdrukt kunnen worden door enkel en alleen een bepaalde reststof toe te dienen.

- In de literatuur worden effecten van reststoffen meestal onderzocht bij niveaus die onrealistisch hoog zijn voor een praktijktoepassing, bv. omdat dergelijke hoge aanwendungen niet zijn toegestaan of omdat de toepassing dan veel te kostbaar is. Ook worden vaak effecten gevonden bij toepassing in potgrond, gesteriliseerde veldgrond of combinaties hiervan. Resultaten van zulke experimenten zeggen weinig tot niets over de effectiviteit onder veldomstandigheden, omdat substraat, potgrond en gesteriliseerde grond praktisch geen ziekteverende eigenschappen hebben. Vergeleken daarmee hebben veldgronden al een behoorlijk niveau aan ziekteverende eigenschappen (mits ze niet net ontsmet zijn).
- Bij effecten van inwerking van reststoffen in de bodem speelt het opheffen van de 'microbiostase' een cruciale rol. Microbiostase is het fenomeen dat de meeste micro-organismen in rust zijn, tenzij er voedingsstoffen worden aangevoerd. Zolang deze voedingsstoffen aangevoerd worden is er activiteit van het bodemleven. De activiteit wordt onder meer bepaald door de frequentie, concentratie en type van de voedingsstoffen die aangevoerd worden. Verder zijn de effecten op micro-organismen (vooral bacteriën en schimmels) soortspecifiek. Een bekende ecologische niche waar opheffing van microbiostase optreedt is de omgeving van de plantenwortel (= rhizosfeer), maar ook na aanwending van organische stoffen treedt in meer of mindere mate opheffing van microbiostase op (bv. Bonanomi et al., 2017). Als de microbiostase wordt opgeheven voor bepaalde plantenpathogenen dan betekent dit dat ze actief worden. Dit kan voor de teler positief of negatief uitvallen: positief, als het plantenpathogeen kiemt en daarna, bij gebrek aan voedingsstoffen en waardplant, afsterft (dit proces wordt wel 'lyse-na-kieming' genoemd), en negatief, als het plantenpathogeen zich vermenigvuldigt. Plantenpathogenen die met name actief kunnen worden zijn die soorten die kunnen concurreren met saprotrofe schimmels; dit zijn pathogenen met een zekere mate van competitief saprotroof vermogen (Tabel 1). Hoewel veel onderzoek gedaan is naar hoe microbiostase kan worden beïnvloed (bv. de Boer et al., 2003) heeft het nog niet tot toepasbare resultaten voor de praktijk geleid. Wat in ieder geval in het achterhoofd gehouden moet worden is dat bij aanwending van bepaalde organische reststoffen sommige bodempathogenen kunnen profiteren. Vuistregels hierbij zijn dat bodempathogenen vooral gestimuleerd kunnen worden:
 - Bij hoge (>40 ton/ha) aanwendungen van reststoffen met relatief lage C/N-verhouding.
 - Het snel inplanten/inzaaien na inwerken van reststoffen, die makkelijk afbreekbaar zijn, zoals vers berm- of slootmaaisel.
 - Bij aanwezigheid van bodempathogenen met relatief hoog competitief saprotroof vermogen (Tabel 1). Zulke bodempathogenen zijn in staat om organisch materiaal te koloniseren. Aanwezigheid van antagonisten in de bodem, zoals *Trichoderma*, kan dat weer tegengaan (Kim & Knudsen, 2016).
- Effecten van organische stoffen op ziektevering blijken vaak af te hangen van het bodemtype. Ook zijn er vaak duidelijke verschillen tussen pot- en veldexperimenten. In potexperimenten in de kas met veldgrond wordt consistent vaker ziektevering gevonden dan in veldexperimenten (bv. Postma et al., 2020). Hiervoor zijn diverse redenen aan te wijzen. In potexperimenten wordt gewerkt met een homogene verdeling van plantenpathogenen. Als de pathogenen zijn toegediend, dan is dat in potexperimenten in een hoeveelheid die optimaal is voor het aantonen van ziektevering: niet te veel pathogenen, want dan leidt een beperkte afname niet tot minder aantasting, en niet te weinig pathogenen, omdat dan het gewas in de onbehandelde controle nauwelijks of niet ziek wordt. In veldexperimenten is er meestal het probleem van een heterogene verspreiding van bodempathogenen, en kunnen andere stressfactoren de resultaten beïnvloeden. Uit de resultaten van Postma et al. (2020) over de effecten van aanwending van organische reststoffen op diverse bodempathogenen in lab- en veldexperimenten komt het beeld naar boven dat effecten wel degelijk significant aanwezig kunnen zijn, maar dat deze zelden of nooit leiden tot een mate van vermindering van de aantasting die voor de praktijk interessant is. Voor producten die niet al te kostbaar zijn dient daarom te worden overwogen om het effect van herhaalde, meerjarige toediening te onderzoeken.

Tabel 1. Bodemgebonden plantenpathogenen zonder en met competitief saprotroof vermogen. Pathogenen met competitief saprotroof vermogen kunnen onder bepaalde omstandigheden gestimuleerd worden door aanwending van organische reststoffen, omdat ze zich daarop kunnen vermeerderen (Jeger & Termorshuizen, 2012; Termorshuizen et al., 2020).

competitief saprotroof vermogen	
afwezig	aanwezig
• <i>Colletotrichum coccodes</i> (zwarte spikkel; aardappel) • <i>Plasmodiophora brassicae</i> (knolvoet; kolen) • <i>Polymyxa betae</i> (vector van rhizomanievirus; bieten) • <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (rattekeutelziekte; o.a. peulvruchten en witlof) • <i>Sclerotium cepivorum</i> (witrot; ui) • <i>Spongospora subterranea</i> (poederschurft; aardappel) • <i>Synchytrium endobioticum</i> (wratziekte; aardappel) • <i>Verticillium dahliae</i> (verwelking; o.a. aardappel en suikerbiet)	• <i>Aphanomyces euteiches</i> (wortelrot en kiemplantuitval; peulvruchten) • <i>Chalara elegans</i> (zwart wortelrot, diverse waardplanten) • <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i> (wortelrot in ui) • <i>Fusarium solani</i> (wortelrot, diverse waardplanten) • <i>Gaeumannomyces graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> (tarwehalmdoder; tarwe en triticale) • bodemgebonden <i>Phytophthora</i>-soorten (wortelrot, diverse dicotyle waardplanten) • <i>Pythium</i>-soorten (omvalziekte, vele waardplanten) • <i>Rhizoctonia solani</i> (omvalziekte en wortelrot, vele waardplanten) • <i>Sclerotinia minor</i> (rattenkeutelziekte; sla)

Dit leidt dan tot de volgende algemene adviezen:

- Geef voorkeur aan reststoffen met niet al te lage C/N-verhouding; composteer eventueel eerst.
- Gebruik niet in één keer te hoge hoeveelheden reststof; pas liever geringere hoeveelheden gedurende meerdere jaren toe.
- Als een grote hoeveelheid reststof ingebracht wordt, wacht dan enkele weken met inzaaien/inplanten,
- Als bekend is dat bodempathogenen met een relatief hoog competitief vermogen aanwezig zijn (Tabel 1), wees dan extra voorzichtig. Een vuistregel is om in zo'n situatie 2-3 weken te wachten met zaaien of planten na toevoeging van reststoffen.

Tot slot lijkt ook het decompositiestadium van de organische reststoffen van belang te kunnen zijn. Bonanomi et al. (2020) onderzochten de ziekteverende capaciteit van een reeks aan reststoffen, direct na aanwending tot 300 dagen na aanwending; de reststoffen waren 300 dagen na aanwending al in verregaand stadium van afbraak. In een biotoets met *Rhizoctonia solani* en sla werd duidelijk minder ziektevering gevonden als de reststoffen 3 dagen voorafgaand de grond in werden gewerkt dan wanneer 30, 100 of 300 dagen gewacht werd. Of en hoe dit zou kunnen werken in de praktijk is echter helaas onduidelijk omdat het experiment uitgevoerd werd in een kunstmatig mengsel van zand en vermiculiet bij hoge aanwendingen van ca. 55 ton/ha.

1.2. Risico's van organische reststoffen

1.2.1. Nitraatuitspoeling

Afhankelijk van de gift en de samenstelling van organisch materiaal, waaronder de N- en P-gehalten, kunnen hoge inputs ook leiden tot negatieve effecten op het milieu, zoals een (te) hoge nitraatuitspoeling. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt naar effecten op de korte en op de lange termijn. Zo is het voor organische meststoffen met veel direct beschikbare stikstof, bijvoorbeeld in de vorm van ammonium, van belang om de meststof zo kort mogelijk voor aanvang van de teelt in de bodem aan te brengen. Door inwerken wordt het risico van ammoniakvervluchtiging tegengegaan, en door de meststof niet te lang voor aanvang van de teelt aan te brengen wordt uitspoeling in het vroege voorjaar zoveel mogelijk voorkomen.

Meststoffen met veel organische N-verbindingen kunnen bij meerjarige toepassing leiden tot een hogere N-levering van de bodem. Daarbij is er een risico dat de N deels buiten het groeiseizoen vrij kan komen en verloren kan gaan door uitspoeling. De laatste jaren is er nogal wat discussie geweest over de vraag of een toename van het organische stofgehalte in de bodem tot een afname of een toename van de nitraatuitspoeling zal leiden. Het CDM (2017) geeft aan dat dat onvoldoende duidelijk is.

1.2.2. Verontreinigingen

Onder verontreinigingen wordt hier verstaan biotische en abiotische verontreinigingen die in de reststoffen aanwezig kunnen zijn. De biotische verontreinigingen bestaan uit plantenpathogenen (incl. plantenparasitaire aaltjes) en onkruiden. Bij abiotische verontreinigingen gaat het om fysieke en chemische verontreinigingen.

Bij de biotische verontreinigingen worden soms ook humaanpathogenen betrokken, en dan vooral *E. coli* en in mindere mate *Salmonella*. Problemen spelen voor het overgrote deel in de context van consumptie van rauwe producten (groenten, zuivel, vlees), iets wat niet of nauwelijks speelt bij de akkerbouw. Daarom worden humaanpathogenen niet als risico gezien in de akkerbouw.

Plantenpathogenen en onkruiden. Plantenpathogenen (incl. parasitaire aaltjes) komen overal voor waar er planten zijn. Bovengrondse plantenpathogenen, zoals roesten en valse en echte meeldauwen, verspreiden zich massaal via de lucht door de gevormde sporen en vormen hierdoor een geringer risico dan aanwezigheid van bodemgebonden plantenpathogenen, die zich van nature niet of nauwelijks verplaatsen. Ook zijn de dodingscondities voor bodemgebonden plantenpathogene schimmels in het algemeen hoger dan die voor bovengrondse plantenpathogenen. De belangrijkste transmissieroute gaat via plant- en pootgoed en machines met aanhangende besmette grond. Zodra reststoffen aangewend worden moet dus worden opgepast dat deze geen bodempathogenen bevatten. Hetzelfde geldt ook voor onkruiden: eventuele risico's van zaadverspreiders via reststoffen zijn tamelijk beperkt; die van wortelonkruiden is riskanter omdat deze structuren voor meer persistente problemen zullen zorgen.

Kunnen reststromen wel pathogenen bevatten dan is het van belang welk proces deze ondergaat:

- Sommige bodempathogenen overleven passage van het maagdarmkanaal en kunnen dus terechtkomen in dierlijke mest, waarmee ze verspreid kunnen worden.
- Compostering doodt veruit de meeste plantenpathogenen en onkruiden af.
- Mesofiele anaërobe vergisting doodt veel plantenpathogenen en onkruiden af, maar informatie hierover is minder volledig dan over compostering. Sommige plantenpathogenen lijken relatief resistent te zijn, zoals witrot (*Sclerotium cepivorum*) (Termorshuizen et al., 2003). Daarom wordt aanbevolen om na mesofiele anaërobe vergisting nog een thermofiele compostering toe te passen.

- Toepassing van onbewerkt bermmaaisel is het meest riskant, vooral vanwege de mogelijke aanwezigheid van bioinvasieve onkruiden zoals Japanse duizendknoop en aanverwante soorten.

Abiotische verontreinigingen. Abiotische verontreinigingen die voor kunnen komen in reststoffen kunnen, zoals hiervoor is aangegeven, fysiek of chemisch van aard zijn. Daarbij valt te denken aan fysieke verontreinigingen zoals glas en plastic en aan chemische verontreinigingen zoals zware metalen, organische verontreinigingen, antibiotica en/of bestrijdingsmiddelen (chemisch).

Een beoordeling van de eventuele aanwezigheid van verontreinigingen maakt onderdeel uit van de procedure voor de wettelijke toelating van reststoffen als meststof (CDM, 2016). Als er op grond van herkomst en productiewijze sprake is van een risico op de aanwezigheid van bepaalde verontreinigingen, zijn daarvoor in de meeste gevallen wettelijke normen opgesteld.

Voor bestaande mest- of reststoffen gelden vaak andere normen (of ze zijn afwezig) dan voor nieuwe reststoffen waarvoor een toelating als meststof wordt aangevraagd. Zo zijn er geen normen voor maximale gehalten aan zware metalen in dierlijke mest en kunstmest, maar wel voor compost en voor nieuwe reststoffen waarvoor een toelating als meststof wordt aangevraagd. Normen voor fysieke verontreinigingen zijn er voor compost, aangezien daar ten gevolge van de herkomst van het uitgangsmateriaal en het productieproces sprake is van een risico op de aanwezigheid van die stoffen. Voor producten als berm- en slootmaaisel en/of Bokashi zijn die risico's ook aanwezig, de samenstelling wordt gewoonlijk niet vastgesteld, en bovendien zijn er geen normen voor opgesteld.

1.3. Beoordelingssystematiek

In hoofdstuk 2 worden 15 organische reststoffen beoordeeld op de in deze inleiding gepresenteerde positieve eigenschappen EOS, bodemvruchtbaarheid, bodemleven en ziektevermindering, en de risico's nitraatuitspoeling en verontreinigingen. Aan het eind van de behandeling van iedere reststof wordt een schematische samenvatting gegeven in kleuren met toelichting. De betekenis hiervan staat weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Uitleg van het kleurgebruik in het samenvattende schema dat bij elke reststof wordt gepresenteerd. Het betreft de beoordeling van de gewenste eigenschappen EOS, bodemvruchtbaarheid, bodemleven en ziektevermindering, en van de risico's nitraatuitspoeling en verontreinigingen.

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

Een voorbeeld van de schematische samenvatting van hypothetische reststof X wordt gegeven in Tabel 3. Naast de kleuren geeft de vette omkadering aan wat de veronderstelde hoofdtoepassing is. In het voorbeeld van reststof X is dit dus de bodemvruchtbaarheid (Tabel 3). De kleur bij bodemvruchtbaarheid van reststof X is groen, dus de reststof draagt inderdaad bij aan bodemvruchtbaarheid. Gele kleuren duiden op beperkte positieve effecten, oranje kleuren duiden op geen of nauwelijks effecten. In beide gevallen hoeft dit geen probleem te zijn, zolang dit niet de hoofdtoepassing betreft.

De risico's hebben een iets afwijkende interpretatie. Hier betekent groen geen risico's, en geel, oranje en rood betreffen toenemende mate van risico's (Tabel 2). Geel en oranje gekleurde risico's maken de toepassing van een reststof niet onmogelijk, maar met de risico's moet wel rekening worden gehouden. Zo is het goed bekend dat bij gebruik van sommige reststoffen

uitspoeling van nitraat kan optreden. Dit is een belangrijk risico in verband met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater, waarvan de teler zich goed bewust moet zijn, en daar ook naar moet handelen.

Alle tabellen zijn op hun beurt weer samengevat in Tabel 6. Bij het lezen van de samenvattende schema's moet bedacht worden dat daarin niet de ruimte is om nuances aan te geven; daarvoor moet de tekst in zijn geheel gelezen worden.

Tabel 3. Samenvattend schema van reststof X. Voor uitleg, zie tekst.

	reststof X	
gewenste eigenschappen	EOS • relatief hoge aanvoer is mogelijk.	bodemleven • stimulering van bacteriënen en regenwormen.
	Bodemvruchtbaarheid • vooral gunstig bij K-behoefte gewassen.	ziektewering • effecten beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • relatief hoge kans op nitraatuitspoeling. • een goede gift en timing van aanwending is nodig om nitraatuitspoeling te minimaliseren.	verontreinigingen • risico's op onkruiden.

2. Karakterisering reststoffen, gebruik en verwachte effecten

2.1. Dierlijke meststoffen

Dierlijke mesten kunnen worden onderscheiden naar diersoort (rundvee, varkens, pluimvee, geiten, schapen en paarden) en naar het mesttype (onbewerkte drijfmest of vaste mest, of producten van mestbewerking, zoals digestaat (product van vergisting), dikke fracties, dunne fracties, eventueel na opwerking). In Nederland is 80% van alle mest afkomstig van rundvee, 15% van varkens en de rest van pluimvee, geiten, schapen en paarden. 73% van de mest wordt op eigen land toegepast, 20% wordt afgezet op andere landbouwbedrijven, en 7% gaat naar de mestbewerking en -verwerking.

De samenstelling ten aanzien van de gehalten aan nutriënten en organische stof verschilt sterk tussen de dierlijke mestsoorten, waarbij rundveemesten relatief veel EOS en veel N en K ten opzichte van P bevatten, terwijl dat bij varkensmesten net andersom is. Vaste mesten bevatten relatief veel EOS en relatief weinig beschikbare nutriënten, waarbij door mineralisatie organisch gebonden N beschikbaar komt voor het gewas. Een overzicht van de samenstelling van uiteenlopende dierlijke mesten is te vinden op www.handboekbodemenbemesting.nl. Overigens kan de samenstelling van een bepaalde mestsoort sterk variëren (Tabel 4), afhankelijk van de samenstelling van het gebruikte voer en door ontmenging van de vaste en de vloeibare fractie van drijfmest tijdens de opslag van de mest. Uit Tabel 4 blijkt dat met name het organische-stofgehalte en het P_2O_5 -gehalte sterk kunnen variëren. Daarom is een analyse van elke aangevoerde vracht mest aan te raden.

De laatste jaren is er sprake van een toename van het gebruik van rundveedrijfmest op akkerbouwbedrijven, omdat de overschotten op rundveehouderijen toenemen en omdat de samenstelling ervan beter aansluit op de gewasbehoefte dan die van varkensdrijfmest (www.agrimatie.nl).

Bij het gebruik van dierlijke mest moet op bedrijfsniveau worden voldaan aan de gebruiksnormen voor fosfaat (afhankelijk van grondgebruik en fosfaattoestand grond; op bouwland in 2020 tussen 40 en 120 kg P_2O_5 /ha, afhankelijk van de fosfaattoestand van de grond), werkzame stikstof (afhankelijk van grondsoort en gewas/ras) en totaal stikstof in dierlijke mest (maximaal 170 kg N/ha uit dierlijke mest).

Tabel 4. Samenstelling van een drietal mestsoorten. Aangegeven is het gemiddelde, de standaardafwijking en de mediaan tussen haken voor het gehalte aan drogestof (DS), organische stof (OS), stikstof-totaal (Nt), fosfaat (P_2O_5) en kali (K_2O). De gegevens zijn weergegeven in kg/ton vers product (Bron: den Boer et al., 2012).

mestsoort ¹	n	DS	OS	Nt	P_2O_5	K_2O
RDM	1247	90 ± 43 (85)	64 ± 18 (64)	4,1 ± 0,5 (4,1)	1,7 ± 1,5 (1,5)	5,7 ± 1,2 (5,8)
VRM	70-2349 ²	215 ± 97 (194)	182 ± 99 (152)	6,5 ± 6,6 (5,3)	3,9 ± 5,3 (2,8)	6,1 ± 4,6 (6,1)
VDM	435	105 ± 84 (93)	45 ± 24 (43)	7,2 ± 2,4 (7,1)	4,7 ± 3,2 (4,6)	5,7 ± 1,6 (5,8)

¹ RDM = rundveedrijfmest, VRM = vaste rundveemest, VDM = varkensdrijfmest.

² 70 monsters voor OS, 570 voor K_2O en 2349 voor DS, Nt en P_2O_5 .

EOS

De hoeveelheid EOS in dierlijke mesten kan worden afgeleid uit het (gemeten) OS-gehalte en (forfaitaire) humificatiecoëfficiënten (HC's). Er zijn lijsten beschikbaar voor de gemiddelde waarden per mestsoort¹. De HC is met een waarde van 0,70 voor rundveemesten aanzienlijk hoger dan voor varkens- en kippenmest (0,33-0,36). Dit betekent dat de organische stof van rundveemest veel stabiel is en minder snel afbreekt na toediening aan de bodem. De hoeveelheid EOS/ton rundveedrijfmest is dan ook ongeveer twee keer zo hoog dan die voor varkensdrijfmest. Vaste pluimveemesten bevatten per ton product een vergelijkbare hoeveelheid EOS dan vaste rundveemest, ondanks de veel lagere HC. Dit komt doordat het drogestof- en het organische-stofgehalte in pluimveemesten (veel) hoger zijn dan in vaste rundveemest.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Dierlijke mesten hebben via het werkzame deel van de nutriënten een directe waarde als plantenvoeding, maar het niet-werkzame deel van de nutriënten en organische stof blijft achter in de bodem en draagt bij aan de bodemvruchtbaarheid. Dit is vooral het geval voor organische stikstofverbindingen, fosfaat en organische stof. Bij een veeljarige toepassing van mest kan sprake zijn van een opbouw van organische (stik)stof en fosfaat. Bij organische (stik)stof is dat het geval als de aanvoer hoger is dan de afbraak van organische (stik)stof in de bodem. Bij fosfaat is dat het geval als de P-aanvoer met mest structureel hoger is dan de P-afvoer met het gewas.

De nitraatuitspoeling wordt voor een belangrijk deel bepaald door het N-overschot (verschil tussen N-gift en onttrekking door het gewas) en de grondsoort, het grondgebruik en de grondwatertrap, onafhankelijk van de gebruikte meststof. Dit wordt beïnvloed door de omstandigheden die bepalen of N verloren gaat als denitrificatie of als nitraat-uitspoeling. Het deel van het N-overschot dat via uitspoeling in het grondwater terechtkomt is het hoogst (90%) op bouwland op droge zandgronden (Fraters et al., 2012).

bodemleven en ziektevering

Effecten van aanwending van een aantal organische stoffen zijn geïnventariseerd voor zeekei door Bloem et al. (2017). In zijn algemeenheid zijn de effecten afhankelijk van het EOS-gehalte en de stabiliteit van de organische stof. De grootste effecten op het bodemleven werden gevonden voor rundveemest (vast en drijf), gevolgd door compost, varkensdrijfmest en vaste pluimveemest. Compost had een groot effect op het organische-stofgehalte maar minder op het bodemleven. Dit illustreert goed het belang van zowel EOS (wat met name effect heeft op het organische-stofgehalte) en de rest van de organische stof, die instabieler is. Is deze zeer instabiël, dan wordt de organische stof snel geconsumeerd en zijn de effecten heftig maar kortdurend; is deze stabiel, dan wordt de organische stof langzaam geconsumeerd en zijn de effecten minder heftig en constanter. Effecten van pluimveemest op het bodemleven zijn beperkt doordat het hoge nutriëntengehalte de toepassing beperkt.

Bij mestaanwendingen zoals gebruikelijk in Nederland valt niet of hooguit weinig ziektevering te verwachten. Alleen onder extreme omstandigheden van hoge mestaanwendingen is een ziektevering tegen sommige bodemgebonden plantopathogenen aangetoond door de vorming van ammoniak en organische vetzuren. Hiernaar is uitgebreid onderzoek gedaan door de groep van George Lazarovits in Canada. Het gaat hierbij om grote hoeveelheden stikstofrijke mesten, zoals varkensdrijfmest en pluimveemest in de orde van grootte van 70 ton/ha. Dit is een hoeveelheid die landbouwkundig en milieukundig gezien veel te hoog is. In het kader van Goede Landbouwpraktijk (GLP) moeten met meststoffen niet meer nutriënten worden toegediend dan het gewas nodig heeft. Uitgaande van een P-behoefte van 60 kg P₂O₅/ha, betekent dat voor varkensdrijfmest een maximale gift van 15 ton/ha en voor pluimveemest slechts 2,5 ton/ha. De maximaal toegestane N- en P-giften zijn in Nederland ook wettelijk geregeld via de gebruiksnormen.

¹<https://www.handboekbodemembemesting.nl/nl/handboekbodemembemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stofbalans/Aanvoerbronnen-effectieve-organische-stof.htm>.

verontreinigingen

Plantenpathogenen spelen in dierlijke mest een beperkt risico. Het grootst is het risico daar waar plantaardige resten ongeconsumeerd in mest terechtkomen. De overleving van onkruiden in dierlijke mest is beperkt tot afwezig en wordt hier daarom verder niet uitgebreid behandeld (zie Elema & Scheepens, 1992; Schokkers, 1988; Postma et al., 2020).

Door Postma et al. (2020) is recent een beknopt overzicht gegeven van verontreinigingen in producten van dierlijke mest. Daarbij is onderscheid gemaakt naar zware metalen, organische microverontreinigingen, pathogenen, antibiotica en onkruidzaden, glas en plastic. Dit leidt tot het volgende beeld:

- Uit onderzoek naar zware metalen in dierlijke meststoffen van Römken & Rietra (2008) en Klein & Roskam (2018) blijkt dat koper- (Cu) en zink (Zn)-gehalten in rundveemesten aanzienlijk lager waren dan in varkensdrijfmest.
- Driessen & Roos (1996) concludeerden op basis van hun onderzoek dat organische microverontreinigingen in dierlijke mest geen risico vormen.
- Het antibioticagebruik in de veehouderij is de afgelopen 10 jaar sterk gedaald (64% tussen 2009 en 2019), mede als gevolg van het gebruik van antibiotica als groeibevorderaar (MARAN, 2019), en is in de rundveehouderij sowieso relatief laag (SDa, 2019).

2.1.1. Producten van rundveedrijfmest

Onder producten van rundveedrijfmest vallen rundveedrijfmest, digestaat rundveedrijfmest (25-50%) en digestaat co-vergiste rundveedrijfmest.

EOS

Door de hoge stabiliteit van organische stof in rundveedrijfmest (de humificatiecoëfficiënt (HC) van rundveedrijfmest is 0,70, wat betekent dat 70% van de met de mest toegediende hoeveelheid organische stof na een jaar nog aanwezig is) is de hoeveelheid EOS/ton circa twee keer zo hoog als die in varkensdrijfmest (resp. 50 en 26 kg EOS/ton). Als de hoeveelheid EOS wordt uitgedrukt per kg fosfaat, is dit verschil nog veel groter (resp. 33 en 7 kg EOS/kg P_2O_5). Aangezien de mestgift in veel gevallen wordt beperkt door de fosfaatgebruiksnorm, betekent dit dat de EOS-aanvoer met producten van rundveedrijfmest veel hoger (meer dan 4x zo veel) is dan met producten van varkensdrijfmest.

In digestaat van rundveedrijfmest is een deel van de organische stof afgebroken tijdens het vergistingsproces, waardoor het organische-stofgehalte lager is, maar wel stabiel. De HC in digestaat van rundveemest dat zonder coproducten is vergist is met 0,80-0,95 (voor de situatie dat 25 resp. 50% van de C is afgebroken) dan ook hoger dan in onbewerkte mest. Het EOS-gehalte van digestaat ligt op een iets lager niveau dan van onbewerkte mest. Bij digestaat van covergisting is de samenstelling afhankelijk van de gebruikte covergistingsmaterialen en van de verhouding waarmee het aan de mest wordt toegediend, maar het organische-stofgehalte zal in het algemeen iets lager en de HC iets hoger zijn dan van onbewerkte rundveemest, waardoor de EOS vergelijkbaar is (Schröder, 2016).

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Een hoge aanvoer van EOS betekent ook dat rundveedrijfmest door de opbouw van organische stof in de bodem een flinke bijdrage kan leveren aan de bodemvruchtbaarheid. Uitgaande van een fosfaatgebruiksnorm van 60 kg P_2O_5 /ha wordt met rundveedrijfmest bijna 2000 kg EOS aangevoerd. Bij digestaten is dit in het algemeen wat lager (1400-1900 kg EOS). De EOS-aanvoer van 2000 kg is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid organische stof die jaarlijks wordt afgebroken in de bodem (Wadman & De Haan, 1997). In bouwplannen met een aanzienlijke hoeveelheid EOS-aanvoer via

gewasresten en groenbemesters zal de totale EOS-aanvoer bij gebruik van (digestaat van) rundveedrijfmest dus hoger zijn dan de afbraak van organische stof in de bodem, wat resulteert in een opbouw van organische stof in de bodem. Dit kwam overigens niet naar voren in een lange-termijnexperiment van 17 jaar in een intensief bouwplan in de Flevopolder, waar de behandeling met (rundvee)drijfmest tot een gelijkblijvend organische-stofgehalte leidde, evenals de behandeling met alleen kunstmest (Koopmans & Bloem, 2018).

De verhouding tussen het P_2O_5 - en K_2O -gehalte in rundveedrijfmest is ca 1:3,5, wat vrij goed aansluit bij de gewasbehoefte van K-behoefte gewassen, zoals aardappelen.

Aangezien ongeveer de helft van de N in rundveedrijfmest aanwezig is in minerale vorm (als ammonium, NH_4), is wettelijk bepaald dat de mest in de bodem moet worden aangebracht of ingewerkt om ammoniakvervluchtiging tegen te gaan. De ammonium wordt normaal gesproken door het nitrificatieproces binnen enkele dagen omgezet in nitraat (dit is temperatuursafhankelijk; beneden de $10^\circ C$ verloopt de nitrificatie langzaam), wat bij een groot neerslagoverschot, bijvoorbeeld in het vroege voorjaar of het late najaar, kan leiden tot nitraatuitspoeling. Een goede timing van de toediening van rundveedrijfmest (niet te ver voor zaaien of poten) is dan ook van belang. In dat geval zal de N-werking in het eerste jaar ca. 55% bedragen. Bij digestaten is het aandeel minerale N hoger dan van onbewerkte mest, waardoor de N-werking in het eerste jaar bij optimale toediening hoger is: 63-72% voor digestaten waarin 25 resp. 50% van de organische koolstof is afgebroken.

bodemleven en ziektevering

Vergeleken met andere dierlijke mesten is rundveedrijfmest na vaste rundveemest de meest gunstige voor het bodemleven (Bloem et al., 2017). Positieve effecten zijn geconstateerd op bacteriën, bacterivore aaltjes en regenwormen, en in mindere mate op schimmels. Deze effecten zijn gunstiger dan die van compost, dat vooral effecten heeft op het organische-stofgehalte (zie par. 2.5). De effecten van rundveedrijfmest op ziektevering zijn niet bekend. Evenwel wordt hier ingeschat dat er beperkte effecten zullen zijn, gegeven de mogelijkheid om een relatief grote hoeveelheid EOS aan te voeren.

verontreinigingen

Alleen wratziekte (bij aardappel; *Synchytrium endobioticum*), die in mest terecht kan komen via aan runderen gevoerde aardappelen, is waarschijnlijk in staat thermofiele vergisting te overleven. In de praktijk levert dit geen problemen op gezien de maatregelen die worden genomen bij een besmetting van wratziekte. In principe is Bietencysteaaltje (*Heterodera*) in staat het maagdarmkanaal van rundvee te overleven, maar de kans op verspreiding hiervan door het uitrijden van mest wordt als minimaal ingeschat door afdoding in de mestopslag. Mesofiele vergisting kan problematischer zijn. Termorshuizen et al. (2003) vonden overleving van witrot tijdens mesofiele vergisting (bij ui; *Sclerotium cepivorum*); in een interview wees Evenhuis (2020) erop dat gewasresten direct in de mestopslag terecht kunnen komen en dat dit voor fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepi*) en witrot in ui een additioneel risico is.

Er zijn geen problemen te verwachten door (te) hoge gehalten aan zware metalen, organische microverontreinigingen en/of antibiotica.

	producten van rundveedrijfmest	
gewenste eigenschappen	EOS • relatief hoge aanvoer is mogelijk.	bodemleven • vooral stimulering van bacteriën, bacterivore aaltjes en regenwormen.
	bodemvruchtbaarheid • vooral gunstig bij K-behoefte gewassen.	ziektewering • effecten beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • relatief hoge kans op nitraatuitspoeling. • een goede gift en timing van aanwending is nodig om nitraatuitspoeling te minimaliseren.	verontreinigingen • reststoffen die niet door het vee geconsumeerd in de mestput terechtkomen kunnen een risico vormen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.1.2. Vaste rundvee- en geitenmest

EOS

De EOS-aanvoer per ton vaste rundvee- en geitenmest zijn bij een gemiddelde samenstelling aanzienlijk, en hoger dan bij rundveedrijfmest het geval is (resp. 110-120 en 50 kg EOS/ton). Uitgedrukt per kg fosfaat (P_2O_5) is de EOS aanvoer met de vaste mesten echter lager dan bij de drijfmesten (resp. 23-25 en 33 kg EOS/kg P_2O_5 voor de vaste mesten en de drijfmest). Dit betekent dat met de vaste mesten binnen de fosfaatgebruiksnormen minder EOS kan worden aangevoerd dan met rundveedrijfmest.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

De EOS in vaste mesten kan een flinke bijdrage leveren aan de organische-stofvoorziening van bouwlandpercelen. Dit blijkt uit een lange-termijnexperiment, waar het organische-stofgehalte in de behandeling met vaste stalmest een relatief grote stijging liet zien (Koopmans & Bloem, 2018). De gift in deze behandeling was echter relatief hoog, waardoor meer dan 2x zoveel fosfaat en meer dan 3x zoveel organische stof werd aangevoerd dan met rundveedrijfmest.

Aangezien het grootste deel van de N in vaste mest aanwezig is in organische vorm (ca. 85% in vaste rundveemest), is de N-werking in het eerste jaar beperkt tot 25-30%, en zal een groot deel van de organische N-verbindingen achterblijven in de bodem en bijdragen aan het N-leverend vermogen op langere termijn. Dit blijkt uit het eerder genoemde lange-termijnexperiment, waarin de N-mineralisatie in de behandeling met vaste stalmest na 17 jaar hoger was dan alle andere behandelingen (Koopmans & Bloem, 2018). De P en K in vaste mesten zijn in het algemeen goed beschikbaar voor het gewas en sluit met een P/K-verhouding van 1:2 redelijk goed aan bij de gewasbehoefte van K-behoefte gewassen, zoals aardappelen.

Het risico van nitraatuitspoeling bij het gebruik van vaste stalmest is op korte termijn beperkt, aangezien de stikstof grotendeels aanwezig is in organische vorm en geleidelijk beschikbaar komt. Op de lange termijn leidt het tot een hogere N-levering van de bodem, die moet worden ingerekend bij het vaststellen van de hoogte van de N-gift. Gebeurt dat niet of onvoldoende, dan neemt het risico van nitraatuitspoeling toe.

bodemleven en ziektevermindering

Vergeleken met andere dierlijke mesten is rundveedrijfmest na vaste rundveemest de meest gunstige voor het bodemleven (Bloem et al., 2017). Positieve effecten zijn geconstateerd op bacteriën, bacterivore aaltjes en regenwormen, en in minder mate op schimmels. Deze effecten zijn gunstiger dan die van compost, dat vooral effecten heeft op het (E)OS-gehalte (zie par. 2.5).

verontreinigingen

Evenals bij de hiervoor genoemde producten van rundveedrijfmest (par. 2.1.1) zijn geen problemen te verwachten door (te) hoge gehalten aan zware metalen, organische microverontreinigingen en/of antibiotica.

	vaste rundvee- en geitenmest	
gewenste eigenschappen	EOS • aanvoer binnen fosfaatgebruiksnormen geringer dan rundveedrijfmest.	bodemleven • vooral stimulering van bacteriën, bacterivore aaltjes en regenwormen.
	bodemvruchtbaarheid • vooral N-levering op langere termijn. • goede P/K-verhouding.	ziektewering • effecten beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • beperkt risico op korte termijn; op langere termijn rekening houden met hogere N-levering.	verontreinigingen • geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.1.3. Producten van varkensdrijfmest

Onder producten van varkensdrijfmest vallen vleesvarkensdrijfmest, digestaat vleesvarkensdrijfmest (25-50%), zeugendrijfmest en digestaat co-vergiste vleesvarkensdrijfmest.

EOS

De mogelijkheden voor EOS-aanvoer met varkensdrijfmest zijn beperkt door de geringe hoeveelheid van 7 kg EOS/kg P_2O_5 . Bij een P-aanvoer van 60 kg P_2O_5 /ha leidt dit tot 420 kg EOS/ha, wat ca. 20% is van de benodigde organische-stofaanvoer. Voor digestaat en zeugendrijfmest geldt dat in nog sterkere mate, aangezien het organische-stofgehalte in zeugenmest 3× zo laag is dan in varkensdrijfmest, terwijl het P-gehalte op een vergelijkbaar niveau ligt.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Gezien de lage EOS-aanvoer met varkensdrijfmest en zeugendrijfmest is de bijdrage aan de organische-stoflevering van bouwlandpercelen beperkt. In een meerjarig veldexperiment in Vlaanderen werd bevestigd dat varkensdrijfmest in een periode van vier jaar tot een geringe daling van het organische-stofgehalte in de bodem leidde, terwijl het organische-stofgehalte lager was dan bij gebruik van alleen rundveedrijfmest (d'Hose et al., 2016).

De N-werking van varkensdrijfmest is 80% in het eerste jaar en in digestaat en zeugendrijfmest zal die ca. 90% bedragen vanwege het hogere aandeel minerale N. Dit betekent dat er slechts een klein deel van de organische N in de bodem achterblijft en bij kan dragen aan de N-levering op langere termijn. Varkensdrijfmest bevat relatief veel P ten opzichte van N en K, wat betekent dat het inzetbaar is voor P-behoefte gewassen, maar dat in aanvulling op de N en K in de mest in de meeste gevallen aanvullende N- en K-giften nodig zijn om aan de gewasbehoefte te voldoen. Zo is de verhouding tussen P_2O_5 en K_2O gelijk aan 1:1,2, waardoor bij een P-gift van 60 kg P_2O_5 /ha te weinig K wordt toegediend. In die gevallen is een aanvullende K-gift nodig.

Door de veeljarige toediening van varkensdrijfmest, waarvan in het verleden vooral sprake was op de zandgronden in Oost- en Zuid-Nederland maar in mindere mate ook daarbuiten, zijn de fosfaattoestanden van veel landbouwgronden in Nederland hoog. Aangezien fosfaat niet mobiel is in de bodem (tot het punt waarop de bindingscapaciteit is verzadigd), is het fosfaat niet of nauwelijks uitgespoeld en heeft het zich opgehoopt. Overigens is dit geen direct gevolg van de eigenschappen van de varkens- en zeugendrijfmest, maar van het gebruik. Door de (te) hoge giften was de P-aanvoer met mest op de zandgronden in Oost- en Zuid-Nederland gedurende lange tijd hoger dan de P-afvoer met de gewassen. Dit overschot op de P-balans heeft geleid tot een toename van de P-toestand in de bodem en het ontstaan van fosfaatverzadigde en fosfaatlekkende gronden (Schoumans, 2004), waar sprake is van een verhoogd risico van fosfaatemissies naar grond- en oppervlaktewater.

Evenals bij rundveedrijfmest bestaat een groot deel van de N in varkensdrijfmest uit minerale N (>50% bij varkensdrijfmest en >60% bij zeugendrijfmest), die na omzetting van de ammonium in nitraat kan leiden tot nitraatuitspoeling. Ook bij varkensdrijfmest is een goede timing van de toediening (niet te ver voor zaaien of poten) dan ook van belang.

bodemleven en ziektevering

De geringe mogelijkheden om het (E)OS-gehalte te verhogen maakt dat ook de effecten op het bodemleven en de ziektevering beperkt zijn. Van de dierlijke meststoffen die Bloem et al. (2017) voor aanwending op klei evalueerde, scoorde varkensdrijfmest samen met pluimveemest het slechtst. Ook ten aanzien van ziektevering zijn weinig effecten te verwachten.

verontreinigingen

Het is onbekend of witrot (*Sclerotium cepivorum*) en fusarium in ui (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepi*) het maagdarkanaal kunnen overleven, maar Evenhuis (2020) wees erop dat tijdens het voeren van

uien deze ook ongeconsumeerd in de mestput kunnen vallen, waar ze de daar heersende anaërobe omstandigheden zeker zouden kunnen overleven (Termorshuizen et al., 2003).

De gehalten van de zware metalen koper (Cu) en zink (Zn) in producten van varkensdrijfmest zijn hoger dan in rundveedrijfmest. Voor Cu is dit ongeveer een factor 3 en voor Zn een factor 4-5 op drogestofbasis (Römkens & Rietra, 2008; Klein & Roskam, 2018). Aangezien er geen wettelijke eisen worden gesteld aan zware-metalengehalten in dierlijke mest, vormt dit geen probleem voor de toepassing.

	producten van varkensdrijfmest	
gewenste eigenschappen	EOS • aanvoer EOS beperkt onder fosfaatgebruiksnormen.	bodemleven • effecten afwezig of zeer beperkt.
	bodemvruchtbaarheid • hoge niveaus aan P. • lage niveaus aan K en organische gebonden N.	ziektewering • effecten afwezig of zeer beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • relatief hoge kans op nitraatuitspoeling. • risico beperken door goede timing van de aanwending.	verontreinigingen • reststoffen die ongeconsumeerd in de mestput terechtkomen kunnen een risico vormen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.1.4. Vaste varkensmest

Onder vaste varkensmest valt vaste varkensmest (met stro) en de dikke fractie van vleesvarkensdrijfmest

EOS

De EOS-aanvoer per ton vaste varkensmest (met stro) en de dikke fractie van vleesvarkensdrijfmest zijn hoger dan bij varkensdrijfmest (ca. 2×) en bij zeugendrijfmest (ca. 5-6×) het geval is (resp. 50-60 en 9-26 kg EOS/ton). Uitgedrukt per kg fosfaat (P_2O_5) is de aanvoer van EOS met de vaste mesten echter vergelijkbaar met die van varkensdrijfmest (ca. 6-7 kg EOS/kg P_2O_5), maar wel hoger dan die van zeugendrijfmest (2 kg EOS/kg P_2O_5).

Bij een mestverwerkingsproject in de Achterhoek wordt een vaste fractie van varkensmestdigestaat opgewerkt door het P-gehalte te verlagen (Schoumans et al., 2017; Regelink et al., 2019). Daardoor ontstaat een product met een EOS/ P_2O_5 -verhouding van 75, wat ruim 10× zo hoog is dan van vaste varkensmest. Hiermee worden de mogelijkheden voor een hogere aanvoer van EOS binnen de gebruiksnormen dus veel beter.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Evenals bij varkensdrijfmest is de bijdrage van vaste varkensmest en de dikke fractie van vleesvarkensdrijfmest aan de organische-stofvoorziening van bouwlandpercelen beperkt. De hoeveelheid EOS die met de vaste mesten binnen de gebruiksnorm kan worden aangevoerd is 240-420 kg EOS bij een P-norm van 40-60 kg P_2O_5 /ha.

Van de fosfaatarme dikke fractie van varkensmestdigestaat kan bij een P-norm van 40-60 kg P_2O_5 /ha ca. 2600-4000 kg EOS/ha worden aangevoerd, wat ongeveer overeenkomt met 130-200% van de organische-stofbehoefte. Het P-gehalte in dit product is relatief hoog ten opzichte van het K-gehalte (P/K-verhouding > 1), waardoor in veel gevallen extra K nodig zal zijn.

De N-werking van de vaste varkensmesten is ca. 70% in het eerste jaar. Aangezien het aandeel minerale stikstof in de vaste mesten 30% is, betekent dit dat er in het eerste jaar een aanzienlijk deel van de organische stikstof beschikbaar komt voor het gewas. Dit is het gevolg van de hoge afbreekbaarheid en de lage C/N-verhouding. Het resterende deel van de organische N blijft in de bodem achter en kan bijdragen aan de N-levering op langere termijn. Bij het vaststellen van de hoogte van de N-gift dient hiervoor te worden gecorrigeerd. Als dat niet in voldoende mate gebeurt, betekent dat een toename van het risico van nitraatuitspoeling. Op korte termijn is het risico van nitraatuitspoeling vrij laag, op langere termijn neemt dit toe, tenzij rekening wordt gehouden met de hogere N-levering.

bodemleven en ziektevering

De geringe mogelijkheden om het (E)OS-gehalte te verhogen maakt dat ook de effecten op het bodemleven en de ziektevering beperkt zijn, maar hoger dan bij varkensdrijfmest, waar de aanvoer van (E)OS geringer is. Bij de P-arme dikke fractie van varkensmestdigestaat zijn de mogelijkheden voor de aanvoer van EOS goed, wat een positief effect zal hebben op de ziektevering.

verontreinigingen

Cu- en Zn-gehalten in de vaste varkensmesten kunnen een probleem zijn als ze geëxporteerd worden, aangezien er situaties kunnen voorkomen waarbij wettelijke normen worden overschreden (Postma et al., 2020). Voor binnenlands gebruik zijn er geen wettelijke normen. Uit een recente analyse van de fosfaatarme vaste fractie blijkt dat de Cu- en Zn-gehalten lager waren dan de norm die zal worden gehanteerd in de nieuwe Europese meststoffenverordening (persoonlijke mededeling P. Ehlert, 2020).

	vaste varkensmest	
gewenste eigenschappen	EOS • aanvoer EOS beperkt onder fosfaatgebruiksnormen, behalve bij fosfaatarme vaste fractie van varkensmestdigestaat.	bodemleven • effecten afwezig of zeer beperkt.
	bodemvruchtbaarheid • fosfaatrijk product met lage EOS/P₂O₅- en hoge P/K-verhouding. • Wel enige organische gebonden N.	ziektewering • effecten afwezig of zeer beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • relatief hoge kans op N-uitspoeling • risico beperken door goede timing van de aanwending	verontreinigingen • geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.1.5. Pluimveemesten

Pluimveemest met en zonder nadroging en kippenstrooiselmest.

EOS

De organische-stof-gehalten van pluimveemesten zijn erg hoog (ca. 40%), maar de humificatiecoëfficiënten zijn vrij laag (0,33-0,36), waardoor de hoeveelheid EOS/ton pluimveemest niet veel hoger is dan die van vaste rundveemest. Na 5 en 10 jaar is de resterende hoeveelheid OS bij toediening van pluimveemest lager dan bij rundveemest, vanwege de lagere stabiliteit van de OS².

Vanwege het hoge P-gehalte in pluimveemesten is de hoeveelheid EOS/kg P₂O₅ laag (slechts 7 kg EOS/kg P₂O₅), waardoor de hoeveelheid EOS die binnen de gebruiksnormen met pluimveemest kan worden aangevoerd beperkt is.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Aangezien de hoeveelheid EOS/kg P₂O₅ bij pluimveemest vergelijkbaar is aan die van varkensdrijfmest, is de bijdrage aan de organische-stoflevering ook vergelijkbaar en dus laag. Bij een P-aanvoer van 60 kg P₂O₅/ha is dat 420 kg EOS/ha, wat ca. 20% is van de EOS-behoefte. Dit werd bevestigd door de gegevens uit het lange-termijnexperiment (Koopmans & Bloem, 2018).

De N in pluimveemest is grotendeels aanwezig in organische vorm (84-88%), maar deze kan snel beschikbaar komen door de lage stabiliteit van de organische stof en de lage C/N-verhouding (7-8). De N-werking van pluimveemest is ca. 65%, waardoor 35% van de N in de bodem achterblijft. Die kan bij veeljarige toepassing leiden tot een verhoging van de N-levering van de bodem. Uit een veeljarig veldexperiment bleek echter dat de toediening van pluimveemest na 17 jaar nauwelijks leidde tot een toename van de N-mineralisatie van de bodem (Koopmans & Bloem, 2018). De P/K-verhouding is 1:0,8, waardoor eigenlijk te weinig K wordt aangevoerd ten opzichte van de P. In veel gevallen zal dus een extra K-aanvoer nodig zijn.

Het vrijkomen van N uit pluimveemest kan leiden tot een verhoogd risico van nitraatuitspoeling als geen rekening wordt gehouden met de eigenschappen van het product. Op basis van de gegevens van Koopmans & Bloem (2018) lijkt het risico van nitraatuitspoeling bij dit product echter mee te vallen.

bodemleven en ziektevering

Het effect van pluimveemest op het bodemleven is in principe niet veel anders dan die van andere vaste dierlijke mesten, maar de hoge nutriëntengehaltes limiteren de hoeveelheid EOS die kan worden aangewend. Hierdoor scoort pluimveemest het minst van alle hier behandelde mestsoorten (Bloem et al., 2017). Een ziekteverende werking van pluimveemest is niet aangetoond.

verontreinigingen

De gehalten van de meeste zware metalen zijn (op drogestofbasis) in pluimveemest lager dan in varkensdrijfmest en rundveedrijfmest (Römkens & Rietra, 2008; Klein & Roskam, 2018). Alleen het Zn-gehalte van pluimveemest is hoger dan dat van rundveedrijfmest, maar lager dan dat van varkensdrijfmest.

² <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stofbalans/Kengetallen-organische-stof.htm>

	pluimveemesten	
gewenste eigenschappen	eOS • aanvoer EOS beperkt onder fosfaatgebruiksnormen.	bodemleven • effecten afwezig of zeer beperkt.
	bodemvruchtbaarheid • de organische N draagt nauwelijks bij aan het N-leverend vermogen. • de P/K-verhouding is wat ongunstig (te veel P).	ziektewering • effecten afwezig of zeer beperkt.
risico's	nitraatuitspoeling • risico beperken door goede timing van de aanwending.	verontreinigingen • geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.2. Organische kalkmeststof

Schuimaarde (Betacal carbo) is een restproduct dat vrijkomt bij de verwerking van suikerbieten. Het heeft een kalkwerking en wordt daarom als kalkmeststof afgezet naar akkerbouwers. Daarnaast bevat het ook organische stof en nutriënten (vooral fosfaat).

EOS

Het product bevat ca. 90 kg organische stof/ton en de humificatiecoëfficiënt (HC) is ca. 0,25 (van Geel et al., 2019), zodat de hoeveelheid EOS 23 kg EOS/ton bedraagt. Bij een gift van 5 ton/ha zou ruim 115 kg EOS worden aangevoerd, wat ongeveer 5% van de behoefte is. Dat is dus gering, maar de EOS-aanvoer is dan ook niet de belangrijkste functie van deze kalkmeststof.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

De belangrijkste bijdrage van Betacal carbo aan de bodemvruchtbaarheid is gelegen in de kalkwerking en daarnaast is er zoals hiervoor aangegeven sprake van een kleine bijdrage aan de organische-stoflevering. Een goede pH is van belang voor de beschikbaarheid van nutriënten en het calcium in kalkmeststoffen levert bovendien een bijdrage aan de structuur van kleigronden. Betacal carbo is een zeer snelwerkende kalkmeststof en wordt daarom bij voorkeur in het voorjaar toegepast (www.irs.nl, teelthandleiding, hoofdstuk kalkbemesting). Daarnaast is het P-gehalte met 11,5 kg P₂O₅/ton relatief hoog. Dit beperkt de gift, die bij een gebruiksnorm van 60 kg P₂O₅/ha niet hoger dan zo'n 5,5 ton/ha dient te zijn. Het zorgt er bovendien voor dat bij gebruik van Betacal carbo een deel van de P-gebruiksruimte op bedrijfsniveau wordt ingevuld, waardoor minder van andere P-houdende organische meststoffen kan worden toegediend. Het K-gehalte is met slechts 10% van het P-gehalte laag. Dit levert dus nauwelijks een bijdrage aan de K-behoefte van het gewas.

Het product bevat ook enige stikstof, maar bij de genoemde gift van 5,5 ton/ha wordt niet meer dan zo'n 17,5 kg N/ha toegediend. Bij het opstellen van het bemestingsplan moet hier wel rekening mee worden gehouden en dienen de giften met de andere meststoffen daarvoor te worden gecorrigeerd. Mits dat wordt gedaan en de Betacal in of vlak voor het seizoen wordt toegepast, is het risico van nitraatuitspoeling beperkt. Als het product in het najaar wordt toegediend, is er wel een risico van nitraatuitspoeling.

bodemleven en ziektevering

Bekalking met een calciumhoudende meststof zoals schuimaarde is een effectieve bestrijding van knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*). Vanaf een pH van 7,3 levert knolvoet geen problemen op. Aan de andere kant wordt aardappelschurft (*Streptomyces*) in aardappel gestimuleerd en daarom wordt bekalking voorafgaand aan aardappelen afgeraden. pH-veranderingen hebben een fors effect op de samenstelling van het bodemvoedselweb, maar niet is aangetoond dat dit consistente effecten heeft op plant- of bodemgezondheid. Het is vooral belangrijk is dat de pH van de bodem voldoet aan de behoefte van het gewas, en dat de plantenvoeding hierop is aangepast.

verontreinigingen

Geen.

	organische kalkmeststof	
gewenste eigenschappen	EOS • beperkte aanvoer (max. 5%) op basis van de jaarbehoefte.	bodemleven • wel effecten, maar positieve effecten niet aangetoond.
	bodemvruchtbaarheid • kalkwerking. • relatief hoge P-levering.	ziektewering • effectief tegen knolvoet. • niet toepassen voorafgaand aan aardappelen wegens kans op toename aantasting van schurft.
risico's	nitraatuitspoeling • mits toegepast in voorjaar.	verontreinigingen • geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.3. Plantaardig digestaat

“Betafert vast” is de vaste fractie van het digestaat dat vrijkomt bij de verwerking van suikerbieten. Aangezien het materiaal van plantaardige herkomst is, is de gebruiksnorm voor dierlijke mest (maximaal 170 kg N/ha) niet van toepassing voor dit product.

EOS

Het organische-stofgehalte is 160 kg/ton en de humificatiecoëfficiënt (HC) is geschat op 0,50, zodat het EOS-gehalte 80 kg/ton product bedraagt. Aangezien het P_2O_5 -gehalte 5,5 kg/ton is, is een gift van ruim 10 ton product mogelijk bij een P-gebruiksnorm van 60 kg P_2O_5 /ha. Daarmee wordt dan 800 kg EOS aangevoerd, wat ca. 40% is van de behoefte op jaarbasis.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Het plantaardige digestaat kan een substantiële bijdrage leveren aan de organische-stofvoorziening en bevat daarnaast 9 kg N, 5,5 kg P_2O_5 en 6 kg K_2O /ton product. De N bestaat voor 50% uit minerale N en 50% uit organische N. Bij een geschatte N-werking van 50% blijft er nog een deel van de organische N in de bodem achter die bij kan dragen aan de N-levering. Aangezien de P/K-verhouding ongeveer gelijk is aan 1, zal er in veel gevallen een aanvullende K-gift nodig zijn bij gebruik van dit product.

Evenals bij de (dierlijke) drijfmesten, is een goede timing van de meststofgift belangrijk, om verliezen in de vorm van nitraatuitspoeling te beperken. Dat betekent ook hier dat het product niet te ver voor het zaaien of poten moet worden toegediend.

bodemleven en ziektevering

Het effect van Betafert vast op het bodemleven, inclusief de ziekteverende aspecten, is niet onderzocht. Het product is in die zin interessant dat het naast compost een van de weinige betaalbare producten is die in bulk, tot 10 ton/ha (zie hierboven bij EOS), kan worden aangebracht. De humificatiecoëfficiënt (HC) is met 0,50 geringer dan die van compost. Dit betekent dat de organische stof sneller ter beschikking komt aan het bodemleven dan compost, maar weer niet zo snel als vers berm- en slootmaaisel en drijfmesten. Daarmee zal het product een intenser maar korter durend effect hebben dan compost. Effecten zijn waarschijnlijk alleen te verwachten bij meerjarige toepassingen of meer geconcentreerde toepassingen in het plantgat of de rij.

verontreinigingen

Geen risico's (Klijn, 2013).

	plantaardig digestaat	
gewenste eigenschappen	EOS max. 40% aanvoer op basis van de jaarbehoefte.	bodemleven effecten waarschijnlijk gunstig, maar nog niet in kaart gebracht.
	bodemvruchtbaarheid - P/K-verhouding aan de hoge kant; aanvullend K nodig. - matige bijdrage aan NLV.	ziektewering effecten waarschijnlijk vergelijkbaar met die van compost, maar niet onderzocht.
risico's	nitraatuitspoeling risico beperken door goede timing van de aanwending.	verontreinigingen geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.4. Berm- en slootmaaisel

Berm- en slootmaaisel kan nadat het is vrijgekomen direct worden aangebracht op landbouwpercelen (par. 2.4.1) of worden ingekuild (par. 2.4.2). Binnen een straal van 5 km waar het is vrijgekomen is het toegestaan om onbewerkt maaisel binnen de Vrijstellingsregeling Plantenresten direct op landbouwpercelen aan te brengen. Als maaisel wordt opgeslagen of bewerkt is dat niet meer toegestaan (zie par. 2.4.2). In de praktijk wordt berm- en slootmaaisel niet meegeteld voor de mestboekhouding van agrarische bedrijven, wat inhoudt dat er met berm- en slootmaaisel extra nutriënten en organische stof worden aangevoerd naar landbouwpercelen. Het brengt echter ook risico's met zich mee; met name de risico's op insleep van onkruiden zijn aanwezig, waaronder bioinvasieve soorten zoals Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) en Knolcyperus (*Cyperus esculentus*).

2.4.1. Onbewerkt berm- en slootmaaisel

Onbewerkt berm- en slootmaaisel is een slecht gedefinieerd product en kan grote variatie in de samenstelling vertonen (Ros et al., 2012).

EOS

Uitgaande van een gemiddelde samenstelling en een aangenomen humificatiecoëfficiënt (HC) van 0,25 varieert de EOS-aanvoer met dit product bij een aanvoer van 10-20 ton/ha van 350 tot 700 kg EOS/ha. Dit zijn redelijke hoeveelheden die kunnen worden aangevoerd in aanvulling op overige aanvoerbronnen.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Berm- en slootmaaisel bevatten zowel organische stof als nutriënten en hebben daardoor ook een effect op de bodemvruchtbaarheid. De indicatieve gehalten aan N, P en K zijn weergegeven in Bijlage 1 en bedragen 3,5 kg N, 1,5 kg P₂O₅ en 4,4 kg K₂O /ton product. Bij een N-werkingscoëfficiënt van 50% zal dus 1,75 kg N/ton product beschikbaar komen voor het gewas. Bij een dosering van 10-20 ton product/ha worden dus significante hoeveelheden nutriënten aangevoerd (35-70 kg N, 15-30 kg P₂O₅ en 44-88 kg K₂O /ha), die vergelijkbaar zijn met de hoeveelheden in compost of een organische meststof.

De waarde van maaisel als meststof is door diverse onderzoekers in beeld gebracht (o.a. Zwart, 2001; Spijker et al., 2004). Zwart (2001) heeft de N-werkingscoëfficiënt van berm- en slootmaaisel na toediening aan een zand- en een kleigrond onderzocht in een potexperiment met maïs. Hij stelde vast dat N-werkingscoëfficiënt van slootmaaisel toegediend aan een zandgrond met ca. 75% hoger was dan die van bermmaaisel (N-werkingscoëfficiënt ca. 60%). Op kleigrond was de werking lager.

Bij een te hoge N-gift met minerale en organische meststoffen en bodemverbeteraars of een verkeerde timing van de gift is er een risico van een te hoge nitraatuitspoeling. Dit risico is aanwezig bij het gebruik van maaisel, doordat de producten in de praktijk worden toegediend binnen de Vrijstellingsregeling Plantenresten en niet worden meegeteld in de mestboekhouding van landbouwbedrijven. Als de aanvoer van nutriënten met overige producten hiervoor niet wordt gecorrigeerd, zal dit leiden tot overschotten op de nutriëntenbalansen, wat op langere termijn zal leiden tot een verhoogde nitraatuitspoeling (Postma, 2017).

bodemleven en ziektevering

Bij hoge aanvoer van berm- en slootmaaisel wordt veel voeding voor het bodemleven aangevoerd. De snel verteerbare organische resten zullen een snelle, grote piek in met name de bacteriële activiteit en in mindere mate de schimmelactiviteit tot gevolg hebben. Zulke sterke pieken zijn niet

noodzakelijkerwijs gunstig voor het bodemleven. Effecten op ziektevering zijn lastig te geven omdat dit geen uniform product is. Instabiele organische reststoffen kunnen pathogenen ook stimuleren. Effecten zijn eventueel te verwachten op de langere termijn door algehele verhoging van de microbiële competitie, maar moeten worden afgewogen tegen de risico's op pathogenen en onkruiden.

verontreinigingen

De risico's op pathogenen, onkruiden en verontreinigingen zijn besproken in Ros et al. (2012). In onbewerkt berm- en slootmaaisel heeft geen hygiëniserende plaats gevonden; met name is het risico op allerlei onkruiden groot. Met bermmaaisel is de kans groot dat zaden van bv. Jacobskruiskruid (*Jacobaea vulgaris*) verspreid worden en resten wortelstokken van Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) en verwante soorten meegaan. Ook knolcyperus (*Cyperus esculentus*) kan aanwezig zijn. Met slootmaaisels kunnen wortelonkruiden en bruinrot (*Ralstonia solanacearum*) verslept worden. De kans op bruinrot is met name bij aanwezigheid van bitterzoet (*Solanum dulcamara*) aanwezig. Bij 'kleine kringlopen', waarbij de teler de situatie goed kent (bv. het materiaal is van eigen grond of belendende sloten), kan de teler zelf een goede inschatting maken van de risico's. Acceptatie van onbewerkt berm- of slootmaaisel van andere locaties is wegens fytosanitaire risico's niet aan te raden. Met name waar bermmaaisel toegepast wordt is er kans op verontreinigingen door bermafval, wat kan leiden tot verhoogde concentraties van zware metalen. Bij compostering wordt afval gescheiden van de organische stof.

	onbewerkt berm- en slootmaaisel	
gewenste eigenschappen	EOS grote aanvoer mogelijk.	bodemleven sterke, kortdurende stimulering van vooral bacteriën en in minder mate schimmels; het nut hiervan is onduidelijk.
	bodemvruchtbaarheid¹ - samenstelling variabel. - snelle afbraak en geen grote bijdrage aan N-leverend vermogen. - bijdrage aan P- en K-voorraad.	ziektewering door het instabiele karakter is stimulering van sommige bodempathogenen in principe mogelijk.
risico's	nitraatuitspoeling kans op nitraatuitspoeling is aanzienlijk als geen rekening wordt gehouden met de N-aanvoer van dit materiaal.	verontreinigingen - grote risico's op onkruiden, in mindere mate plantenpathogenen. - bij bermmaaisel kans op fysieke verontreinigingen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	bepaalde positieve effecten	bepaalde risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

¹ Opm. Gebruikers zullen aangeven dat ze onbewerkt berm- en slootmaaisel aanwenden voor de EOS-aanvoer.

2.4.2. Ingekuild berm- en slootmaaisel

Naast het gebruik van vers berm- en slootmaaisel (par. 2.4.1) wordt het ook wel ingekuild, analoog aan de inkuiling van gras voor veevoer. Bokashi is de merknaam van inkuiling met een bepaalde receptuur waaronder additie van “effectieve micro-organismen”, kalk en mineralen die vaak toegepast wordt op berm- en slootmaaisel, maar ook kan bestaan uit andere reststoffen. Het is de vraag of Bokashi beter of anders is dan standaard inkuiling. De toevoeging van kalk roept vragen op, omdat hierdoor de verzuring die nodig is voor conservering wellicht vertraagd wordt. Ook is er variatie in de receptuur van Bokashi, met als gevolg dat de samenstelling ervan sterk kan variëren (Römkens et al., 2020). Quiroz & Céspedes (2019) geven in een overzichtsartikel aan dat het organische-stofgehalte van Bokashi kan variëren van 29 tot 94%. Aangezien er geen aanwijzingen zijn dat ingekuild berm- en slootmaaisel duidelijk wordt beïnvloed door de receptuur van Bokashi, worden beide typen gezamenlijk beoordeeld.

Over de wettelijke status van ingekuild berm- en slootmaaisel incl. Bokashi is veel onduidelijkheid. In het verleden werd dit veelal toegepast in het kader van de Vrijstellingsregeling Plantenresten. In de Toelichting bij de herziene Vrijstellingsregeling Plantenresten die in oktober 2018 in de Staatscourant (2018) is gepubliceerd, is aangegeven dat het niet is toegestaan om binnen die Vrijstellingsregeling een bewerking en/of opslag van materiaal toe te passen. Binnen deze regeling mag het materiaal uitsluitend direct, eventueel na zeven of verkleinen, op landbouwgrond worden aangebracht. Bewerkingen zoals inkuilen, het maken van Bokashi of het maken van compost zijn niet toegestaan.

Los van de hoeveelheid arbeid en kosten die de productie van Bokashi kost, vergt de productie ervan ook ervaring en vakmanschap, met andere woorden, het proces kan mislukken (zie bv. het artikel “Bokashi maak je niet zomaar even” van G. Mons in Boerderij/Melkvee 11/2019). Vooral problemen met het goed mengen van de materialen wordt genoemd (Vanrespaille et al., 2019). Een vrij uitgebreide beschrijving van de wijze waarop kan worden gekomen tot een succesvolle inkuiling van bermgras is gegeven door de Bodemkundige Dienst van België (2009).

EOS

Aangezien het inkuilen van gras is gericht op conservering van het organische materiaal, zal de stabiliteit normaal gesproken niet veel anders zijn dan van onbewerkt materiaal. Römkens et al. (2020) geven dat ook aan in hun literatuurstudie en noemen een humificatiecoëfficiënt (HC) van 0,30, die in dezelfde orde van grootte ligt als die van varkens- en pluimveemest. Ze geven echter ook aan dat er nog veel niet bekend is. In een voorgaande PPS zijn kortdurende respiratiemetingen verricht aan ingekuild gras, waaruit de HC is afgeleid (Postma et al., 2020). De respiratie van het ingekuilde gras was het hoogst van alle onderzochte producten (45-50 mmol O₂/kg OS/uur), op basis waarvan een HC van 0,10 werd afgeleid. De betrouwbaarheid van de afleiding van de HC-waarde op basis van de kortdurende respiratiemeting is echter beperkt. Het organische-stofgehalte bedroeg ca. 80% op drogestofbasis en zal bij een drogestofgehalte van 30% dus gelijk zijn aan 20-25% op basis van vers materiaal. Bij een toepassing van 10 ton Bokashi of ingekuild gras per hectare zou dat (uitgaande van de lage HC van 0,10) neerkomen op zo’n 250 kg EOS/ha. Bij een HC van 0,30 zou dat 750 kg EOS/ha zijn. In de praktijk kunnen de doseringen evenals bij onbewerkt maaisel oplopen tot veel grotere hoeveelheden. Zo zal de EOS-aanvoer bij een aanwending van 40 ton/ha afhankelijk van de HC zo’n 1000-3000 kg EOS/ha bedragen. Dit zijn vergelijkbare hoeveelheden als met onbewerkt maaisel.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Römkens et al. (2020) geven aan dat er nog nauwelijks lange-termijnexperimenten zijn uitgevoerd naar het effect op het organische-stofgehalte in de bodem. Gezien de hoge afbreekbaarheid mag worden verwacht dat het effect beperkt is, ondanks dat de EOS-input aanzienlijk kan zijn.

In hun literatuuroverzicht concluderen Quiroz & Céspedes (2019) dat het snel beschikbaar komen van plant-opneembare N afhankelijk is van de grondstof. Evenals bij onbewerkt maaisel zal de N-, P- en K-aanvoer met ingekuild maaisel echter aanzienlijk kunnen zijn en in dezelfde orde van grootte als bij compost liggen. Zeker als wordt bedacht dat dit materiaal ook veelal buiten de mestboekhouding zal worden gehouden, betekent het een extra aanvoer van nutriënten, die bij kan dragen aan de N-levering en de P- en K-voorraad in de bodem. Een effect van het toedienen van effectieve micro-organismen (EM) nodig voor de bereiding van Bokashi op het voor planten beschikbaar komen van N is niet aangetoond (Quiroz & Céspedes, 2019). In een aantal veldexperimenten in Vlaanderen werden neutrale tot negatieve effecten gevonden op samenstelling van Bokashi van stalmest in vergelijking met onbewerkte stalmest (Vanrespaille et al., 2019).

Evenals bij onbewerkt maaisel zal het gebruik van ingekuild maaisel tot een verhoogde nitraatuitspoeling kunnen leiden als er bij het vaststellen van de giften met overige meststoffen geen rekening wordt gehouden met de aanvoer van nutriënten met dit materiaal. Het risico hierop is aanzienlijk als het wordt toegepast binnen de Vrijstellingsregeling Plantenresten (hetgeen niet is toegestaan, zie hierboven), aangezien het materiaal dan niet wordt meegeteld voor de mestboekhouding.

bodemleven en ziektevering

In allerlei communicatie worden de effecten van Bokashi op het bodemleven sterk benadrukt (Janmaat, 2015, 2017). Bokashi, en ook gewoon ingekuild berm- en slootmaaisel, wordt dan gezien als een methode om organische koolstof te conserveren totdat het aan de bodem wordt toegediend, waarvan dan bodemorganismen profiteren. Dit leidt dan inderdaad tot een grote piek aan microbiële activiteit, maar die is maar van korte duur, en gaat gepaard met een grote productie aan CO₂ waarvan het maar de vraag is welke bodemfunctie hiervan profiteert.

Ten aanzien van ziektevering is het idee dat het actievere bodemleven leidt tot verhoogde ziektevering (Janmaat, 2017). Compost verschilt hiermee doordat tijdens de compostering de makkelijk afbreekbare organische-koolstofverbindingen al verdwenen zijn. Het overgrote deel van de organische stof die in Bokashi en ingekuild berm- en slootmaaisel zit is dusdanig makkelijk afbreekbaar dat dit leidt tot een grote maar kortdurende microbiële activiteit. Bij jonge composten is gevonden dat bij een overmaat aan makkelijk consumeerbare voeding voor het bodemleven ook sommige plantopathogenen kunnen profiteren (par. 2.5). De hoeveelheid makkelijk afbreekbare organische stof is bij ingekuild berm- en slootmaaisel vele malen groter dan bij jonge compost, dus dit mechanisme van stimulering van plantopathogenen zou bij ingekuild berm- en slootmaaisel zeker ook aanwezig kunnen zijn. De hoge instabiliteit van ingekuild berm- en slootmaaisel maakte dat Janmaat (2015) Bokashi als halffabricaat bestempelde (nl. een ultrajonge compost).

Het effect van Bokashi op ziekteverendheid is onderzocht door van Bruggen et al. (2008) en later gepubliceerd als wetenschappelijk artikel (Shin et al., 2017). Hierin werd Bokashi al dan niet met EM ('effectieve micro-organismen'³) toevoegen in een hoeveelheid van 5%⁴ (volume) aan niet-gesteriliseerde zandgronden (met een historie van biologische landbouw), waarna de ziekteverendheid werd bepaald met biotoetsen. Hierin werd geen effect van Bokashi gevonden op ziektevering tegen *Pythium ultimum* maar wel tegen *Rhizoctonia solani* in peen als EM in de Bokashi aanwezig waren. Effecten van Bokashi (met en zonder EM) op bodembiodiversiteit werden niet waargenomen. In de literatuur is ziekteverendheid van Bokashi weliswaar aangetoond, maar dan werd dit onderzocht in potgrond of gesteriliseerde veldgrond, wat weinig zegt over effecten in het veld (bv. Ferreira et al., 2017).

In recent onderzoek liet ingekuild gras geen ziektevering zien tegen *Rhizoctonia solani*, *Streptomyces scabies* en *Pythium*, maar wel in biotoetsen met zandgronden van twee locaties (Lisse

³ EM ('effectieve micro-organismen') is een merknaam.

⁴ Volgens de auteurs was 5% toevoeging aanbevolen door de producent, een dergelijke hoeveelheid betekent een aanwending van ca. 100 ton/ha in een bouwvoor van 20 cm.

en Vredepeel); deze waren evenwel niet reproduceerbaar in veldexperimenten (Postma et al., 2020). Toch is dit een interessant resultaat, omdat in één experiment ziektevering van *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje) waargenomen werd.

verontreinigingen

De overleving van pathogenen en onkruiden gedurende inkuilen is niet duidelijk, omdat er weinig onderzoek aan is gedaan. De risico's zijn in elk geval geringer dan die bij vers berm- en slootmaaisel, omdat wel enige afdoding zal plaatsvinden tijdens de inkuiling. Hoe groot deze afdoding is, is op dit moment niet bekend. Dat er wel enige afdoding zal plaatsvinden is gebaseerd op de geconstateerde afdoding van allerlei onkruiden, inclusief knolcyperus (*Cyperus esculentus*) in een maïskuil (Schokker, 1988). Ook biologische grondontsmetting resulteert in afdoding van pathogenen en onkruiden (Visser et al., 2017). Het is echter onduidelijk in hoeverre de processen in ingekuult berm- en slootmaaisel vergelijkbaar zijn met die optreden gedurende inkuiling van maïs of biologische grondontsmetting. Verder is niet duidelijk in hoe gevoelig de uiterst persistente, bioinvasieve Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) en verwante soorten zijn. Deze duizendknoopsoorten zijn inmiddels zo algemeen dat aanwezigheid hiervan in berm- en slootmaaisel aanzienlijk is.

Risico's voor wat betreft plantenpathogenen zijn er niet als een teler zijn eigen organische stoffen inkuult en weer aanwendt op de percelen waar die organische stoffen vandaan komen. Als de organische stof ergens anders vandaan komt, dan is het verstandig een risico-inventarisatie te maken op basis van de pathogenen die in het materiaal aanwezig kunnen zijn.

Sommige plantenpathogenen kunnen een mesofiele vergisting overleven, bv. *Sclerotium cepivorum* (veroorzaakt witrot in ui) en *Plasmodiophora brassicae* (veroorzaakt knolvoet in kolen) (Termorshuizen et al., 2003; Testen & Miller, 2019). Daarom werd bij anaërobe, mesofiele vergisting van organisch materiaal een (thermofiele) composteringsstap daarna verplicht gesteld. In een uitgebreid review over de fytosanitaire aspecten van vergisting van organisch materiaal komen Fröschle et al. (2015) tot de conclusie dat hygiëniserende van mesofiel vergist digestaat niet kan worden gegarandeerd, maar in elk geval niet minder is dan die van dierlijke meststoffen. Tijdens mesofiele vergisting zijn het de organische vetzuren die voor afdoding van veel aërobe organismen en onkruiden zorgen. Bij Bokashi wordt bekalking aanbevolen, wat wellicht invloed heeft op de vorming van organische vetzuren, en dus kan de overleving van pathogenen en onkruiden anders zijn dan die in ingekuult berm- en slootmaaisel zonder Bokashi-receptuur.

Met name waar bermmaaisel toegepast wordt is er kans op verontreinigingen door bermafval, wat kan leiden tot verhoogde concentraties van zware metalen. Bij compostering wordt afval gescheiden van de organische stof.

	ingekuuld berm- en slootmaaisel incl. Bokashi	
gewenste eigenschappen	EOS • grote aanvoer mogelijk. • humificatiecoëfficiënt nog niet goed bekend.	bodemleven • sterke, kortdurende stimulering van bacteriën; het nut hiervan is onduidelijk.
	bodemvruchtbaarheid • samenstelling variabel. • snelle afbraak en geen grote bijdrage aan N-leverend vermogen. • bijdrage aan P- en K-voorraad.	ziektewering • ziektevering is niet aangetoond. • ziektestimulering kan niet worden uitgesloten.
risico's	nitraatuitspoeling • kans op nitraatuitspoeling is aanzienlijk als geen rekening wordt gehouden met de exacte aanvoer.	verontreinigingen • afwezigheid van onkruiden en plantenpathogenen niet gegarandeerd. • bij bermmaaisel kans op fysieke verontreinigingen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.5. Compost

Compost wordt verkregen door aërobe compostering van organische stof. Tijdens deze compostering is het uitgangsmateriaal door een thermofiele fase heengegaan. Onderscheiden wordt groencompost en gft-compost. Groencompost wordt gemaakt van groenafval, dit is het organisch materiaal dat vrijkomt bij de aanleg en onderhoud van openbaar groen, bos- en natuurterreinen. Gft-compost wordt gemaakt van groente-, fruit- en tuinafval. Compost wordt op beperkte schaal ook gemaakt van industriële restproducten. Deze bestaan meestal uit één enkele agrarische bedrijfsstroom, zoals tomatenafval uit kassen. Voordat gecomposteerd wordt, kunnen organische reststromen vergist zijn. Het digestaat dat hieruit komt, wordt dan nog gecomposteerd, omdat niet vaststaat dat digestaat vrij is van pathogenen en omdat de wettelijke status van compost die wordt gemaakt uit afvalstoffen, zoals gft- en groenafval (meststof) anders is dan van digestaat (afvalstof).

De kwaliteit van compostering wordt op bedrijfsniveau gemeten. De exacte samenstelling van een partij geleverde compost is dus niet bekend. Voor effecten op bodemleven en ziektevermindering komt daar nog bij dat ook de narijplingsduur varieert (want die is afhankelijk van de vraag naar compost).

EOS

De organische stof in compost is gestabiliseerd door de aërobe omzetting door micro-organismen, waarbij de precieze uitvoering van de compostering effect zal hebben op het organische-stofgehalte, de humificatiecoëfficiënt (HC) en daarmee het EOS-gehalte. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde HC van 0,90, die is afgeleid uit incubatieproeven (van Groenigen & Zwart, 2007; van den Burgt et al., 2011; Postma & Ros, 2016). Tussen individuele composten kan sprake zijn van grote verschillen in stabiliteit (bv. Moolenaar et al., 2002). Het EOS-gehalte van composten is vrij hoog (220 en 160 kg EOS/ton voor resp. gft- en groencompost), maar misschien lager dan wat op basis van de zeer hoge HC verwacht kan worden. Dit komt doordat het organische-stofgehalte in compost relatief laag is (in het algemeen 30-40% en 20-30% op drogestofbasis voor resp. gft- en groencompost). Dat komt o.a. door een relatief hoog aandeel gronddeeltjes in compost.

Doordat het P-gehalte in compost vrij laag is en bovendien voor de gebruiksnormen voor 50% is vrijgesteld, is de verhouding $\text{EOS}/\text{P}_2\text{O}_5$ erg hoog (resp. 50 en 73 voor GFT- en groencompost) en veel hoger dan die van dierlijke mesten. Aangezien de P afkomstig van compost voor de gebruiksnormen slechts voor de helft meetelt, kan dus twee keer zoveel P (en dus ook EOS) worden aangevoerd dan in de normale situatie. Dit betekent dat binnen de gebruiksnormen veel EOS kan worden aangevoerd met de gft- en groencomposten. Bij een P-gebruiksnorm van 60 kg P_2O_5 /ha is een gift met gft-compost van 27 ton/ha mogelijk, waarmee bijna 6000 kg EOS/ha wordt aangevoerd. De toegestane gift met groencompost bedraagt zelfs 54 ton/ha, waarmee bijna 9000 kg EOS/ha wordt aangevoerd. Dit zijn enorme hoeveelheden, die veel hoger zijn dan de OS-behoefte van 2000 kg OS/ha.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Aangezien het met compost mogelijk is om een grote hoeveelheid EOS aan te voeren binnen de gebruiksnormen, zijn hierdoor ook goede mogelijkheden om het organische-stofgehalte van de bodem te verhogen. Dit is in meerdere lange-termijnonderzoeken aangetoond, waaronder in een 4-jarig veldexperiment in een intensieve groenterotatie in Vlaanderen (Ruysschaert et al., 2014) en in een 17-jarig veldexperiment in de Flevopolder, waar een aantal organische mesten en compost zijn vergeleken (Koopmans & Bloem, 2018). In het laatstgenoemde experiment nam in een van de behandelingen met compost het organische-stofgehalte het sterkst toe, van 1,6 naar 2,2%.

De N in gft- en groencomposten is vrijwel volledig aanwezig in organische vorm en zal slechts langzaam beschikbaar komen voor het gewas. De wettelijke werkingscoëfficiënt (Van Dijk et al., 2005) bedraagt 10%, maar Van Groenigen & Zwart (2007) stelden in een 12 weken durende incubatieproef vast dat slechts 2% van de totale N in composten van gewasresten van broccoli en

prei beschikbaar kwamen voor gewasopname. Willikens et al. (2014) lieten zien dat een meerjarige composttoediening in een intensieve groenterotatie een groot effect had op de C-dynamiek, maar niet op de N-dynamiek. Daarentegen bleek uit het lange-termijnonderzoek in Flevoland dat sommige composten na 17 jaar nauwelijks een effect hebben gehad op het N-leverend vermogen van de bodem (vastgesteld in een incubatieproef), terwijl dat bij andere wel het geval was. Dit kon grotendeels worden verklaard door verschillen in de totale gift en de N-aanvoer met de composten. Naast N bevatten composten ook P en K, die ook van belang zijn. De wettelijk toegestane maximale gift wordt bepaald door de P-gebruiksnorm en het P-gehalte in de compost, dat voor 50% is vrijgesteld (zie hiervoor), maar met de hiervoor genoemde giften van resp. 27 en 54 ton/ha gft- en groencompost wordt 215-230 kg K₂O/ha aangevoerd. Dit zijn aanzienlijke hoeveelheden die voor K-behoefte gewassen nodig kunnen zijn, maar in andere gevallen te hoog zijn.

In het algemeen zal het risico van nitraatuitspoeling als gevolg van composttoediening beperkt zijn. Zo lieten Li et al. (1997) zien dat bij mineraalarme composten de nitraatuitspoeling in een laboratoriumexperiment opliep tot 3% van de totale N-gift. Ook d'Hose et al. (2016) rapporteerden dat compostgiften in aanvulling op drijfmesten niet of nauwelijks leidden tot een verhoging van de nitraatuitspoeling.

effecten op bodemleven en ziektevering

Effecten van compost op bodemleven en met name ziektevering zijn uitgebreid onderzocht. Dit heeft te maken met de wijd verbreide beschikbaarheid van compost en de (betaalbare) toepassing in grotere hoeveelheden (orde-grootte: 20 ton/ha). Hoewel veel ziekteverende effecten zijn gevonden, is vooral onderzoek gedaan naar effecten in potgrond (bv. de Corato et al., 2016; Termorshuizen et al., 2006). Potgrond heeft van zichzelf weinig bodemleven en daardoor weinig ziektevering⁵. Indien toegepast in de vollegrond, zullen de effecten afhankelijk zijn van het organische-stofgehalte van die grond.

In het algemeen heeft compost ziekteverende eigenschappen vooral via stimulering van het bodemleven. In sommige gevallen is stimulering van specifieke antagonisten waargenomen, zoals van *Trichoderma*. Ook indirecte effecten via verbetering van de plantgezondheid en van de bodemstructuur zijn mogelijk (pas na vele jaren van compostaanwending zal dit optreden)⁶. Dit bodemleven wordt gestimuleerd door de organische stof. De mate waarin het bodemleven gestimuleerd wordt hangt af van de uitgangssituatie en van de hoeveelheid en kwaliteit van de compost:

- Uitgangssituatie: het bodemleven van gronden met een laag organische-stofgehalte profiteert relatief meer dan gronden met een hoog organische-stofgehalte.
- Hoeveelheid compost: hoe meer compost wordt aangewend, des te meer het bodemleven gestimuleerd wordt. Wilson et al. (2018) meldden dat niet zo zeer het type compost van belang was bij de ziektevering van een reeks aan bodempathogenen van aardappelen, maar vooral de hoeveelheid compost-C die in de bodem terecht kwam. Aanwending van zeer grote hoeveelheden compost is echter niet aan te bevelen omdat deze ook ongewenste effecten kunnen hebben, zoals vastlegging van stikstof. Het heeft daarom de voorkeur om jaarlijks een relatief beperkte hoeveelheid van 20-30 ton/ha aan te wenden. Aanbrengen van compost in een zaairij of aan een plantgat verhoogt ter plekke van het jonge wortelsysteem de concentratie van compost, wat, zeker in een grond die arm is aan organische stof, een gunstig effect kan hebben, zowel op de omstandigheden voor beworteling als op de effecten van ziektevering.
- Ziektevering van compost werkt omdat pathogenen beperkt zijn in hun vermogen om met hierin gespecialiseerde saprophyten te concurreren om organische stof. De situatie is anders bij te jonge, onvoldoende stabiele compost. Deze kan een ziektestimulerende werking hebben doordat de

⁵ De relatief goede ziekteverende werking van compost in potgrond wordt verder ook veroorzaakt door de relatief grote aanwendungen (tot 20%); in de vollegrond is dit maximaal ca. 1%.

⁶ Uiteraard zijn er ook andere manieren voor structuurverbetering zoals aanpassing machines, aanpassing van de vruchtwisseling en toepassing van groenbemesters.

aanwezige makkelijk afbreekbare stoffen ook een voedselbron kunnen zijn voor pathogenen. Instabiele compost ontstaat als de composteringsduur te kort heeft geduurd. De stabiliteit van compost is meetbaar; de eis is dat de stabiliteit, gemeten met Oxitop, $<15 \text{ mmol O}_2/\text{kg OM/h}$ dient te zijn. Deze stabiliteit wordt echter maar incidenteel gemeten, terwijl de narijingsperiode in de praktijk sterk afhangt van de vraag naar compost. De vraag is dan ook of telers wel voldoende inzicht hebben in de actuele stabiliteit van een partij geleverde compost. Het risico van gebruik van instabiele compost hangt af van de hoeveelheid aangewende compost en het tijdstip van toepassing. Hoe korter instabiele compost wordt toegediend voor de zaai van een gewas, des te groter is de kans op kiemplantziekte veroorzaakt door bv. *Pythium*, *Phytophthora* of *Rhizoctonia solani*. Bij toepassing in het voorjaar moet verder bedacht worden dat ook instabiele compost langzaam afbreekt in een koude grond en dat juist dan ongewenste effecten kunnen optreden.

verontreinigingen

Fytosanitaire aspecten van compost, inclusief groencompost, zijn uit en te na onderzocht. Hierover bestaan uitgebreide reviews, een recente is over groencompost onder Nederlandse omstandigheden door Termorshuizen (2018). Deze uitgebreide aandacht is omdat het uitgangsmateriaal bestaat uit plantenmateriaal, waarin nu eenmaal veel plantenpathogenen voorkomen. De overgrote meerderheid van plantenpathogenen wordt tijdens de hittefase van compostering afgedood. Er zijn weliswaar enkele probleempathogenen, maar die komen niet of nauwelijks voor in het voor compostering aangevoerde materiaal.

Compostering is een methode om pathogenen af te doden. De proceseis voor groencompost is 3 dagen bij 60°C gevolgd door omzetten en vervolgens nog eens 3 dagen 60°C. Voor gft-compost is de eis 3 dagen bij 55°C. Weliswaar zijn er pathogenen die deze condities kunnen doorstaan, maar deze hebben een Q-status, wat betekent dat dit materiaal niet ter compostering mag worden aangeboden (Termorshuizen, 2018). Is compost dus altijd 100% fytosanitair veilig? In zijn algemeenheid is dit het geval, maar toch is er een aantal aspecten waar rekening mee gehouden moet worden:

- Overleving kan plaatshebben als de temperatuurblootstelling niet over de gehele composthoop heeft plaatsgevonden. De kans hierop is aanwezig als de omzetting van compost niet nauwkeurig heeft plaatsgevonden of als er 'dry pockets' voorkomen in composthopen.
- Een zeer beperkte overleving van sommige persistente pathogenen is mogelijk. Dit is in de regel geen probleem als het te composteren afval zulke pathogenen niet in grote hoeveelheden bij zich heeft, maar het wordt riskanter als zgn. monostromen worden gecomposteerd, bv. organisch restafval afkomstig van één enkel gewas. Als er in zo'n reststroom dan veel persistente pathogenen bevinden, dan moet rekening gehouden worden met enige overleving, zelfs na een goede compostering. Voorbeelden van zulke reststromen met riskante pathogenen zijn er vooral uit de tuinbouw. Met name *Fusarium oxysporum* en komkommerbontvirus zijn daar risico-organismen. In zulke gevallen moet ermee rekening gehouden worden dat ook na compostering deze organismen aanwezig kunnen zijn. In de praktijk levert dit echter nauwelijks problemen op, omdat het om specifieke pathogenen gaat die voorkomen in substraatteelt, waar geen compost wordt aangewend. Wel kan dit een probleem zijn voor biologische tuinbouw, waar geen substraat gebruikt wordt. Om dezelfde reden wordt industrieel afval afkomstig van de aardappel- en suikerbietenindustrie eerst verhit zodat eventueel problematische pathogenen niet de compostketen ingaan.

Fysieke verontreinigingen van compost zijn gelimiteerd. De wettelijke normen zijn relatief mild; hierbij worden alleen eisen gesteld aan overige verontreinigingen ($\leq 0,50\%$); dit zijn dan in dit geval alle fysieke verontreinigingen, incl. glas maar exclusief steen. Veruit de meeste compost voldoet in Nederland aan Keurcompost klasse A, met de volgende maximaal toegestane waarden: glas $>20 \text{ mm}$ afwezig; bodemvreemde verontreinigingen $>2 \text{ mm}$ $\leq 0,10\%$, stenen $>5 \text{ mm}$ $\leq 2\%$. Keurcompost klasse B heeft als eisen: glas $>20 \text{ mm}$ afwezig; bodemvreemde verontreinigingen $\leq 0,20\%$, stenen $>5 \text{ mm}$

≤2%. Akkerbouwers die produceren onder het voedselveiligheidscertificaat (VVAK) mogen uitsluitend Keurcompost klasse A aanwenden. Volgens de Vereniging van Afvalverwerkers voldoet Keurcompost klasse A aan de strengste composteisen in Europa.

Aan chemische verontreinigingen worden alleen wettelijke normen gesteld⁷. Aan eventuele organische verontreinigingen worden momenteel nog geen voorwaarden gesteld. Compostering stimuleert de afbraak van antibiotica (Urre et al., 2019).

	compost	
gewenste eigenschappen	EOS grote aanvoer is mogelijk.	bodemleven stimulering van het bodemleven, met name in gronden met een laag organische-stofgehalte.
	bodemvruchtbaarheid - beperkte aanvoer en/of beschikbaarheid van nutriënten. - relatief hoge N-aanvoer leidt nauwelijks tot toename van het nutriëntenleverend vermogen, omdat N slecht beschikbaar is. - K-beschikbaarheid is goed en is vaak leidend voor de gift.	ziektewering - vooral effectief op gronden met laag organische-stofgehalte. (te) jonge compost is minder effectief of soms ziektestimulerend. - verschil in rijpheid compost leidt tot variatie in ziekteverendheid.
risico's	nitraatuitspoeling vanwege lage beschikbaarheid van N, niet/nauwelijks risico van nitraatuitspoeling.	verontreinigingen - risico's op plantenpathogenen minimaal; compost van industriële restproducten verdient meer aandacht. - strengere eisen aan fysieke verontreinigingen, maar volledige afwezigheid niet gegarandeerd.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

⁷ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2019-01-01#Bijlagell>.

2.6. Stro

Vooral tarwestro wordt vaak gebruikt met het doel het organische-stofgehalte van de bodem te verhogen⁸. De toegepaste hoeveelheden zijn in de grootte-orde van 3-4 ton/ha, aangezien dat gelijk is aan de productie van stro en dat de hoeveelheden zijn die na de oogst van graan op het land achterblijven.

Het achterlaten van stro wordt vaak geadviseerd als relatief eenvoudige maatregel om het organische-stofgehalte van de bodem op peil te houden en/of te verhogen in bouwplannen met hakvruchten. Vooral bij lage stroprijzen kan dit een interessante optie zijn. De beoogde effecten op bodemkwaliteit zijn evenals die van organische meststoffen een betere bodemstructuur, een hoger vochthoudend vermogen en buffering van nutriënten. Vanwege het lage N-gehalte en de hoge C/N-verhouding van stro kan er tijdelijk N worden vastgelegd na het inwerken van stro (zie verder).

EOS

Bij een hoeveelheid stro van 4 ton/ha zal de hoeveelheid organische stof zo'n 3 ton/ha bedragen. Uitgaande van een humificatiecoëfficiënt (HC) van 0,31 levert dit zo'n 1000 kg EOS/ha op. Bij wintertarwe is de totale hoeveelheid EOS in stoppel en stro zo'n 2630 kg EOS/ha, wat voldoende is om de afbraak van organische stof in de bodem te compenseren.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Naast de organische stof kan vooral de hoeveelheid K in tarwestro een behoorlijke bijdrage leveren aan de bodemvruchtbaarheid. Het gehalte in tarwestro bedraagt 15 kg K₂O/ton stro. Bij 4 ton stro/ha gaat het dus om hoeveelheden van 60 kg K₂O/ha, wat aanzienlijk is en waarmee bij de K-bemesting rekening moet worden gehouden.

Door de hoge C/N-verhouding van 50-130 wordt N geïmmobiliseerd en (tijdelijk) vastgelegd. Vooral in het onderzoek is er vrij veel aandacht besteed aan de mogelijkheden om nitraatuitspoeling te beperken door stro na de oogst van uitspoelingsgevoelige gewassen in de grond te werken (o.a. Yang et al., 2017; Agneessens et al., 2014; Chaves et al., 2007). Zo werd in onderzoek van Chaves et al. (2007) ruim 10 ton/ha stro ingewerkt met de gewasresten van bloemkool (ca. 50 ton blad en 23 ton stengel en wortelrest), waarbij de nitraatuitspoeling met 27% werd teruggedrongen.

bodemleven en ziektevering

Zonder twijfel heeft tarwestro effecten op het bodemleven. Tarwestro heeft een hoog cellulose- en ligninegehalte. Vooral schimmels die dit goed kunnen afbreken zullen bevorderd worden. Omdat de afbraak van cellulose en lignine een langzaam proces is, zijn de effecten op het bodemleven ook langdurend, zeker ten opzichte van reststoffen met een lagere C/N-verhouding, zoals dierlijke organische meststoffen (Li et al., 2018). Dit heeft ook tot resultaat dat de microbiële biomassa en diversiteit toeneemt (Li et al., 2018). Yang et al. (2018) vonden dat na gedurende 3 jaar jaarlijkse toedieningen van 5 ton/ha tarwestro de zygomyceten (een bepaalde groep van schimmels) bevorderd werden. Ook bacteriën die betrokken zijn bij nitrificatie, denitrificatie en symbiotische N-binding werden bevorderd. Pathogenen die al op tarwestro zitten voorafgaand aan inwerking in de bodem kunnen bevorderd worden (zie hierboven onder verontreinigingen), maar over effecten van aanwending van tarwestro op reeds in de bodem aanwezige pathogenen is de literatuur niet eensluidend, met zowel significante onderdrukking (Osunlaja, 1990; Bailey & Lazarovits, 2003; Yang et al., 2019) als stimulering (Li et al., 2012; Qiao et al., 2013).

De belangrijkste ziekteveringende effecten zijn gevonden op *Verticillium* die verwelking veroorzaakt bij tal van gewassen. Harrison (1976) meldde ziekteveringende effecten van aanwending van 11-44 ton/ha gerstestro op *V. dahliae* in aardappel. Ook zijn effecten van *V. dahliae* op katoen gemeld als die voorafgegaan werd door de teelt van gerst. Wellicht hiermee samenhangend is de

⁸ Gebruik van stro als mulch in de bollen- en aarbeienteelt wordt hier niet behandeld.

vondst van Debode et al. (2005) dat aanwending van lignine (grootte-orde: 3-28 ton/ha) de bodembesmetting van *Verticillium longisporum* significant vermindert. Het gaat hierbij steeds om aanzienlijke hoeveelheden, die hoger zijn dan wat gewoonlijk gebruikt wordt (3-4 ton/ha). Verder onderzoek op dit vlak is gewenst.

verontreinigingen

Sommige plantenpathogenen kunnen op stro overleven en actief groeien, ook als deze ingewerkt is in de bodem. Met name pathogenen die al in het gewas aanwezig waren zijn riskant. Vooral sommige soorten *Fusarium* staan hierom bekend, waaronder *Fusarium culmorum* (voetrot bij allerlei gewassen), *F. graminearum* (voetrot bij granen) en *F. solani* (voet- en wortelrot bij allerlei gewassen), maar ook *Zymoseptoria tritici* (bladvlekkenziekte bij tarwe) (bv. Wahdan et al., 2020). Bij een continue teelt van graan met problemen met deze pathogenen moet daarom overwogen worden het stro af te voeren, c.q. de vruchtwisseling aan te passen.

	stro	
gewenste eigenschappen	EOS • achterlaten stro na oogst graan levert flinke bijdrage aan EOS-levering.	bodemleven • redelijk duurzame verhoging van de populaties bacteriën en schimmels.
	bodemvruchtbaarheid • stro bevat relatief veel K en kan kunstmest-K deels vervangen. • door hoge C/N-verhouding wordt N (tijdelijk) vastgelegd na inwerken stro.	ziektewering • weinig consistente ziektewering gevonden. • bij hoge aanwendingen enige resultaat tegen <i>Verticillium</i>.
risico's	nitraatuitspoeling • door tijdelijk vastleggen van N na inwerken kan nitraatuitspoeling in najaar worden beperkt.	verontreinigingen • problemen mogelijk met op het stro reeds aanwezige plantenpathogenen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.7. Verwerkt dierlijk eiwit

Diermelen kenmerken zich vooral door een hoog eiwitgehalte, in de orde-grootte van minimaal 50%. De term keratine wordt ook wel gebruikt; dit is het eiwit dat het meest voorkomt in dit soort melen. Vroeger werden ze vanwege het hoge eiwit- en fosfaatgehalte ingezet in de diervoeding, maar dit is na het ontstaan van BSE verboden. In de land- en tuinbouw worden diermelen ingezet in de biologische landbouw als bemestingsmiddel waarbij N snel beschikbaar komt. Verder zijn er aanwijzingen dat diermelen in bepaalde gevallen ziektevering kunnen induceren. Zulke effecten komen pas voor bij forse doses in de grootte-orde van 2-4 ton/ha of meer, terwijl de typische prijs zo'n € 400-600/ton diermeel is. Diermelen worden ook wel ingezet om met zware metalen verontreinigde gronden te verbeteren, doordat sommige zware metalen binden aan het meel. Daar wordt hier verder niet op ingegaan.

EOS

Het organische-stofgehalte van diermelen is op drogestofbasis >90% en de humificatiecoëfficiënt (HC) is in een voorgaande PPS op basis van kortdurende respiratiemeting geschat op 0,25, zodat het EOS-gehalte gelijk is aan 200-250 kg/ton product. Bij een dosering van 1-2 ton/ha zou daarmee 200-500 kg EOS worden aangevoerd, een aanzienlijke hoeveelheid. Het is echter de vraag wat de betekenis van deze organische stof voor de bodemvruchtbaarheid is (zie hieronder).

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Het is de vraag of de organische stof in diermelen bijdraagt aan de opbouw van organische stof in de bodem, zoals dat bij andere organische-stofbronnen, zoals gewasresten, mesten en composten het geval is. De aard van het organische materiaal is namelijk heel anders, en diermelen bevatten geen cellulose en lignine. Gezien de zeer lage C/N-verhouding van 3-3,5 moeten diermelen vooral worden gezien als een N-meststof. De N-gehalten in diermelen variëren tussen 10 en 15%, waarmee tussen de 100 en 150 kg N/ton product wordt aangevoerd. In een voorgaande PPS is de N-werkingscoëfficiënt ingeschat op 80% (Postma et al., 2020), wat overeenkomt met metingen in incubatieproeven (Cuijpers et al., 2004). Dit betekent dat 80% van de N beschikbaar komt voor het gewas in het eerste jaar na toediening, ofwel 90-120 kg N/ton. Daarmee is een gift van 1, maximaal 2 ton/ha, afhankelijk van de situatie, verantwoord. Hogere giften, die vanuit het oogpunt van ziektevering wellicht gewenst zijn (zie hierna), zouden tot een te hoge N-gift leiden, wat ten koste kan gaan van de kwaliteit van het gewas en van de (grond)waterkwaliteit (door nitraatuitspoeling). Op bedrijfsniveau laten de gebruiksnormen voor werkzame N dit weliswaar niet toe, op perceelsniveau kan daarvan worden afgeweken.

De P- en K-gehalten in haarmeel en verenmeel zijn betrekkelijk laag: met een gift van 1-2 ton/ha wordt 5-12 kg P_2O_5 en 1-44 kg K_2O /ha aangevoerd. Beendermeel daarentegen bevat veel P, ca. 170 kg P_2O_5 /ton (ofwel 17% P_2O_5 ; variaties zijn mogelijk, afhankelijk van de herkomst), en moet dus vooral worden gezien als een P-meststof. Door het hoge P-gehalte van beendermeel zal meestal niet meer dan zo'n 300 kg beendermeel/ha nodig en mogelijk (P-gebruiksnorm) zijn. In relatie tot de hoeveelheden die nodig zijn voor ziektevering is dat weinig.

bodemleven en ziektevering

Zoals bij alle organische-stofaanwendungen is het effect op het bodemleven en ziektevering afhankelijk van de aangewende hoeveelheid. Het mechanisme van de gevonden ziekte-onderdrukking is niet bekend, maar veranderingen in het bodemleven ten gevolge van deze Anwendungen zijn aangetoond, zoals een tijdelijke toename in het totaal aantal bacteriën en het aantal bacterivore aaltjes (Abbasi, 2013; Postma et al., 2020). Het is te verwachten dat zulke veranderingen van relatief korte duur zijn, omdat de stikstof snel beschikbaar komt. Bij grotere hoeveelheden kan ook de vorming van toxische organische vetzuren en ammonia een rol spelen. Wellicht zijn deze effecten groter in natte gronden. Deze gronden zijn minder goed doorlucht,

waardoor de voor bodempathogenen toxische organische vetzuren en ammonia langduriger ophopen. De volgende ziekteonderdrukkende effecten zijn gevonden:

- *Rhizoctonia solani* AG 2-1 (zwartpoot bij bloemkool). Toediening van 0,3% verenmeel aan de bodem enkele weken voor zaai maakte de bodem ziekteverend. Dit is getest in potexperimenten waarbij het pathogeen aan de grond werd toegevoegd (Postma et al., 2014).
- *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB (wortelrot, o.a. bij suikerbiet). Toedienen van specifieke, eiwitrijke reststoffen leidde in een biotoets met veldgrond (klei en zand) tot ziekteverendheid (Postma et al., 2013; 2020). Allerlei eiwitrijke producten hadden vergelijkbare effecten. De beste effecten werden verkregen met hoefmeel, verenmeel, ruwe chitine en vleesmeel, maar ook vismeel en ruwe chitine (gembri) van kreeftachtigen hadden in potexperimenten een duidelijk effect (Postma et al., 2013). Uit vervolgonderzoek bleek dat 0,3% verenmeel (4,5 ton/ha bij inmengen in de bovenste 10 cm) effectief is op zand- en kleigronden, maar niet op löss. Vervolgonderzoek met meer veldgronden met 0,3% chitine of verenmeel leidde echter tot variabele resultaten. Het moment van toepassing ten opzichte van een vorstperiode zou een rol gespeeld kunnen hebben. Vooralsnog is er dus nog geen effectieve toepassing in het veld aangetoond. In een latere biotoets met kleigrond werd significante ziektevering gevonden van o.a. bloed-, hoef-, veren-, vis- en vleesmeel (toegediend in een doses van 0,15% en 0,3%) (Postma & Schilder, 2015; Postma et al., 2020). Ook champost, dat rijk is aan chitine, gaf in een biotoets ziektevering te zien (Postma et al., 2020). In veldexperimenten kon de ziektevering echter niet aangetoond worden (Postma et al., 2020).
- *Rhizoctonia solani* AG3 (lakschurft bij aardappel). Er zijn aanwijzingen dat verenmeel (8,6 ton/ha) lakschurft onderdrukt (en bovendien *Streptomyces scabies* (gewone schurft)) (Lazarovits et al., 2008).
- *Verticillium dahliae* (verwelking, o.a. bij aardbei). Visemulsie 2x per jaar toegediend met 2 ton/ha leidde in experimenten met veldgrond gedurende 4 jaar tot halvering van *V. dahliae* in aardappel (Abbasi, 2013).
- *Streptomyces* spp. (aardappelschurft). In een veldexperiment van Postma et al. (2020) was er een tendens dat verenmeel (1,5 ton/ha) aardappelschurft verminderde (significant ten opzichte van de onbemeste controle, maar niet significant ten opzichte van de kunstmestcontrole). Er zijn aanwijzingen dat verenmeel (8,6 ton/ha) aardappelschurft meer dan halveert. Verenmeel had bovendien een onderdrukkend effect op lakschurft (Lazarovits et al., 2008).
- *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje). Aanwending van dierlijke eiwitten leidde tot ziektevering in een biotoets met zandgrond van Lisse, maar niet met zandgrond van Vredepeel; deze resultaten konden niet aangetoond worden in een veldexperiment (Postma et al., 2020).
- *Pythium ultimum* (omvalziekte). In een veldexperiment werd de natuurlijke infectie significant geremd door dierlijke eiwitten (aangetoond met een biotoets met tuinkers) (Postma et al., 2020). Bovendien was de ziekteverendheid van de grond tegen *Pythium* verhoogd.

Diermelen zullen ook effecten hebben op het bodemleven. Vooral een verschuiving in het schimmelleven is waarschijnlijk; soorten die de meest voorkomende verbindingen in verwerkt dierlijk eiwit kunnen afbreken, chitine en keratine, zullen gestimuleerd worden. Ingeschat wordt dat dit gunstig is voor wat betreft de ziekteverende eigenschappen van de bodem. Wel is de vraag tot hoe lang na toediening deze gunstige eigenschappen aanwezig blijven.

Indien in grote hoeveelheden (vele tonnen per hectare) toegepast zullen de gevormde organische vetzuren en ammonia negatieve effecten hebben op het bodemleven. Toediening van zulke grote hoeveelheden is in Nederland niet aan de orde vanwege het risico op nitraatuitspoeling.

verontreinigingen

Geen. De huidige regelgeving omtrent hygiënisatie van verwerkt dierlijk eiwit is streng. Voor verenmeel geldt >10 minuten >121°C en voor haarmeel geldt >20 min >133°C bij 3 bar, deeltjesgrootte max. 50 mm.

	verwerkt dierlijk eiwit	
gewenste eigenschappen	EOS • aanvoer van max. 200-500 kg EOS/ha bij 1-2 ton product/ha.	bodemleven • specifieke stimulering van keratinolytische schimmels waarschijnlijk gunstig. • tijdelijke veranderingen zijn waarschijnlijk, maar er zijn geen aanwijzingen dat deze negatieve effecten hebben.
	bodemvruchtbaarheid • 80% van N komt vrij binnen 1 jaar, vrijwel geen nalevering. • geringe P- en K-levering bij haarmeel en verenmeel. • hoog P-gehalte in beendermeel beperkt de gift tot ca. 300 kg/ha.	ziektewering • giften hoger dan 1-2 ton/ha geven waarschijnlijk betere ziektewering.
risico's	nitraatuitspoeling • bij toepassing van 1-2 ton/ha beperkt risico.	verontreinigingen • geen opm.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.8. Humuszuren

Humuszuren is een verzamelbegrip voor diverse zuren die uit organische stof geëxtraheerd worden. Effecten van humuszuren lijken dan ook op die van organische stof: verhoging van de CEC en verbetering van de bodemstructuur en ziektevermindering. In extract van compost (compostthee) zitten veel humuszuren. Humuszuren kunnen uit diverse grondstoffen worden geëxtraheerd, zoals compost, veen, leonardiet en afvalstromen zoals afvalwater van de verwerking van olijven. Als humuszuren gewonnen worden uit afvalstromen kunnen concentraties van verontreinigingen zoals zware metalen te hoog zijn. Extractiemethoden variëren, zodat generalisaties over de werkzaamheid van humuszuren lastig zijn. Zowel boven- als ondergrondse toepassingen zijn er, en ook aanwending in irrigatiewater. In België is een groot veldonderzoek geweest naar effecten van humuszuren (Verlinden et al., 2007). Daarin werd uitsluitend op gronden met laag tot zeer laag organische-stofgehalte een beperkt effect gevonden, maar er is niet gekeken naar effecten op ziektevermindering van de bodem. De hoeveelheid toegediende humuszuren bedroeg slechts 1,5-15 kg/ha, wat zeer weinig is.

De belangrijkste humuszuren zijn humus- en fulvinezuur; ze komen op drogestofbasis zo'n 10x meer geconcentreerd voor in humuszuurproducten dan in compost. Het vochtgehalte van humuszuurproducten is echter meestal veel hoger (>80%) dan van compost (ca. 30%), zodat op versgewichtsbasis bij eenzelfde gift ca. 3x meer humuszuur wordt ingebracht met een humuszuurproduct dan met compost. Dit betekent dat qua humuszuren een gift van 20 ton compost overeenkomt met ca. 7 ton humuszuur.

Bovengrondse toepassingen van humuszuren zouden de transpiratie gedurende droogtestress verminderen. Een bovengrondse toepassing leidde in een veldexperiment met aardappelen in Polen tot opbrengstverhoging (Dziugiel & Wadas, 2020).

Er bestaan veel producten op basis van humuszuren; hun werkzaamheid op plantengroei is op verschillende manieren frequent aangetoond onder experimentele, kunstmatige omstandigheden, maar hun werkzaamheid in de praktijk van de vollegrond is volgens een recent overzichtsartikel onvoldoende (Olk et al., 2018).

EOS

Humuszuren worden gerekend tot de meest actieve bestanddelen van organische stof, vanwege het actieve oppervlak dat bijdraagt aan het bufferen van voedingsstoffen en vocht. Het betreft stabiele verbindingen met een lage afbreekbaarheid, die dus een hoge humificatiecoëfficiënt (HC) zullen hebben. Gezien de geringe hoeveelheden die in het algemeen worden toegepast (tot enkele tientallen kg/ha) zal de bijdrage aan de aanvoer van EOS naar landbouwgronden echter verwaarloosbaar zijn.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Naast het positieve effect van humuszuren op het bufferen van voedingsstoffen en vocht via het actieve oppervlak (dit draagt bij aan de zogenoemde CEC van de bodem), bevatten humuszuren ook nutriënten. De gehalten aan N en K zijn ca. 1% en het P_2O_5 -gehalte is 0,3%. Bij geadviseerde giften van 10-50 kg/ha humuszuren wordt hiermee een verwaarloosbare hoeveelheid nutriënten (<1 kg) aangevoerd. Verlinden et al. (2009) vonden echter wel een positief effect van de toevoeging van humuszuren bij de bemesting op gewasopbrengsten en opname van nutriënten. De auteurs geven als meest waarschijnlijke verklaring voor de verhoogde N-opname een effect op het opnamemechanisme van de plant en voor de verhoogde P-opname wijzen ze met name op de rol van humuszuren voor een verbeterde P-beschikbaarheid in de bodem en/of een betere beworteling.

Via het bindend vermogen van vocht en nutriënten door humuszuren kan het in theorie een bijdrage leveren aan het tegengaan van uitpoeling. Maar de lage giften zijn onvoldoende om een significant effect te verwachten. Het zal echter ook niet leiden tot een verhoogd risico van nitraatuitspoeling.

bodemleven en ziektevering

Humuszuren zijn reeds aanwezig in bodems, omdat dit een natuurlijk onderdeel is van organische stof. Hierdoor zijn er alleen effecten op bodemleven en ziektevering te verwachten in gronden die (zeer) laag zijn in organische-stofgehalte (<1%). Voor effecten op het bodemleven en/of ziektevering lijkt het doelmatiger om compost, dierlijke mest of plantaardig digestaat aan te wenden, omdat daarmee een grotere diversiteit van organische stoffen wordt aangevoerd, waaronder humuszuren. Voor humuszuren lijkt vooral een bovengrondse toepassing weggelegd te zijn, maar over hun effectiviteit is nog te weinig bekend.

verontreinigingen

Er zijn chemische risico's als humuszuren gewonnen worden uit afvalstromen.

	humuszuren ¹	
gewenste eigenschappen	EOS door geringe giften verwaarloosbaar.	bodemleven beperkte effecten op gronden met een laag organische-stofgehalte.
	bodemvruchtbaarheid door geringe giften lijkt er nauwelijks effect te zijn op de bodemvruchtbaarheid.	ziektevering niet aangetoond.
risico's	nitraatuitspoeling geen negatief effect te verwachten.	verontreinigingen chemische risico's, afhankelijk van de aard van de grondstoffen.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

¹ Opm. Humuszuren worden vooral bovengronds toegepast als biostimulant.

2.9. Zaadmeel

Zaadmeel van Sareptamosterd wordt op de eerste plaats ingezet tegen diverse bodempathogenen.

EOS

Het organische-stofgehalte in zaadmeel is met 83% hoog en de afbreekbaarheid leek op basis van een kortdurende respiratiemeting betrekkelijk laag te zijn. Op basis daarvan is de humificatie-coëfficiënt (HC) ingeschat op 0,75, wat betekent dat de EOS-aanvoer per ton product gelijk is aan zo'n 624 kg EOS. Bij een gift van 2-3 ton/ha betekent dat een aanvoer van 1250-1875 kg EOS/ha, een aanzienlijke hoeveelheid.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

Met een dosis van 2,5 ton/ha wordt naast de EOS-aanvoer nog 108 kg N, 50 kg P₂O₅ en 22 kg K₂O toegediend. Uitgaande van een globale schatting van de N-werking van ca. 50% is de hoeveelheid werkzame N bij deze gift gelijk is aan 54 kg werkzame N/ha. In de meeste gevallen zal geen aanvullende P-gift meer nodig zijn, maar vaak nog wel een N- en K-gift.

bodemleven en ziektevering

Bij de toepassing van zaadmeel van cruciferen wordt hetzelfde beoogd als bij de teelt van specifieke cruciferen als groenbemester, namelijk vorming van voor bodempathogenen toxische isothiocyanaten tijdens de microbiële decompositie van het meel. De meeste, zo niet alle literatuurbronnen die effecten rapporteren hebben zijn verricht onder voor de praktijk onrealistische omstandigheden (bv. potten die geheel afgedekt zijn; onrealistisch hoge doses; experimenten met gesteriliseerde of gepasteuriseerde grond). Aangetoond is dat pasteuriseren of steriliseren van grond de effecten kan versterken (Curto et al., 2016). De isothiocyanaten zijn niet specifiek: ze doden ook niet-pathogene schimmels, maar dit hoeft niet nadelig te zijn. Zo vonden Paudel et al. (2016) dat 4,5 ton/ha sareptamosterd geen negatief effect heeft op *Trichoderma* en actinomyceten (Paudel et al., 2016), organismen die vaak ziekteveringende eigenschappen hebben. In een onderzoek naar appelherinplantziekte werd na behandeling met zaadmeel van sareptamosterd niet alleen een direct dodend effect op de pathogenen gevonden maar ook een toename in ziekteveringendheid van de bodem door selectieve bevordering van sommige van sommige antagonisten (Somera et al., 2012; Weerakoon et al., 2012).

Bestrijdende effecten van zaadmeel zijn gevonden op⁹:

- *Verticillium dahliae*. In een Nederlands veldexperiment met 7 ton/ha zaadmeel van sareptamosterd (*Brassica juncea*) en Ethiopische mosterd (*B. carinata*) werd een afname van 35-80% van *Verticillium dahliae* waargenomen (van Os, 2016). Ook Wei et al. (2016) vonden onderdrukking van *V. dahliae*.
- *Pratylenchus penetrans* (wortelstelselaaltje). In hetzelfde Nederlandse veldexperiment als genoemd onder *Verticillium dahliae* werden geen effecten gevonden op *P. penetrans*. Yu et al. (2007) vonden in het veld een beperkt effect van 1120 kg/ha zemelen van sareptamosterd tegen *P. penetrans* in één jaar en in een ander jaar niet.
- *Pythium ultimum* (omvalziekte). In een veldexperiment werd de natuurlijke infectie significant geremd met 0,4% (ca. 2,5 ton/ha) zaadmeel (aangetoond met een biotoets met tuinkers) (Postma et al., 2020).
- Appelherinplantziekte. Effecten zijn ook bij lagere doses (grootte-orde 4 ton/ha) gevonden (Somera et al., 2012). Appelherinplantziekte wordt veroorzaakt door diverse pathogenen, zodat het precieze effect niet te voorspellen valt.

⁹ Alleen resultaten van veldexperimenten worden hier genoemd.

Effecten worden in het algemeen gevonden vanaf 4-7 ton/ha. Zeker gezien de variabele resultaten (bv. Gigot et al., 2012; Yim et al., 2016; Hanschen & Winkelmann, 2020) is dit bij een prijs van € 1500/ton vooralsnog veel te kostbaar. Ook moet bedacht worden dat er relatief veel stikstof wordt aangevoerd (ca. 54 kg N/ton zaadmeel). De variabele resultaten kunnen verklaard worden doordat de vorming van isothiocyانات uit zaadmeel een microbiologisch proces is, dat beïnvloed wordt door bodemtemperatuur en -vochtigheid alsmede de microbiologische samenstelling van de grond. De vorming van isothiocyانات is het hoogst onder omstandigheden die gunstig zijn voor microbiële activiteit: temperaturen tussen 20 en 30°C en vochtige, maar niet natte bodemomstandigheden (Wang & Mazzola, 2019). Ook de vorm waarin zaadmeel ingebracht wordt is van belang: in gestoomde grond hadden gemalen pellets een 2-3x sterker effect op *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltjes) dan ongemalen pellets (Zasada et al., 2009).

Naast effecten op bodempathogenen zijn ook fytoxische effecten gevonden (Gigot et al., 2012). Dit kan nuttig zijn als herbicide, aan de andere kant moet het gewas hierdoor niet beschadigd worden. Bij toepassing van *Limnanthes alba* (Donzige moerasbloem) was een wachttijd van 4 dagen voor zaai voldoende (Şimşek Erşahin et al., 2014).

Al met al lijkt er wel toekomst te zijn voor de toepassing van zaadmeel, maar is die op dit moment nog niet praktijkrijp. Het is te verwachten dat in de nabije toekomst effectievere soorten (rassen) zaadmeel beschikbaar komen. Een open vraag is vanaf wanneer een bepaalde stof gezien zou moeten worden als bestrijdingsmiddel. Het antwoord op deze vraag is cruciaal voor wettelijke toelating als meststof, bodemverbeteraar of gewasbeschermingsmiddel.

verontreinigingen

Geen risico's.

	zaadmeel	
gewenste eigenschappen	EOS • aanvoer van ruim 600 kg EOS/ton product is vrij hoog; afhankelijk van de gift kan dit een aanzienlijke bijdrage leveren.	bodemleven • ondanks dat zaadmeel de bodem ten dele ontsmet positieve effecten gevonden op enkele belangrijke antagonisten en ziektevering.
	bodemvruchtbaarheid • de N is aanwezig in organische vorm; onduidelijk hoe snel die vrijkomt. • P/K-verhouding vrij hoog, waardoor aanvullende K-gift nodig zal zijn.	ziektewering • effecten variëren te sterk om betrouwbare bestrijding te krijgen. • toepassing te kostbaar want effecten pas vanaf 4 ton/ha.
risico's	N-uitspoeling • uitspoelingsrisico lijkt niet zo groot, maar is afhankelijk van de mineralisatiesnelheid.	verontreinigingen • geen risico's.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

2.10. Zeewierpreparaten

Zeewierpreparaten zijn biostimulanten. Zeewieren zijn algen. Het kan gaan om uit zee geoogste zeewieren of om gekweekt materiaal. Zeewieren worden al lange tijd toegepast als meststof in de landbouw. Hun effecten worden beïnvloed door de soort zeewier en de gebruikte extractiemethode. Deze factoren variëren sterk, zodat generaliseren over effecten die ze teweegbrengen lastig is. Veel, maar lang niet alle zeewierpreparaten worden gemaakt van de soort *Ascophyllum nodosum*. De extractie kan uitgevoerd worden in een zuur, basisch of neutraal milieu. Toepassingen zijn er zowel boven- als ondergronds; de bovengrondse toepassingen overheersen. Vooral effecten op de nutriëntenhuishouding van de plant zijn gerapporteerd, wat vooral gunstig is onder omstandigheden van nutriëntentekorten. Wellicht kan het lastig zijn om onderscheid te maken tussen de bemestende waarde van zeewierpreparaten en de biostimulerende waarde (Ronga et al., 2019). Vaststellen wat de optimale dosis is kan lastig zijn omdat effecten bij hogere doses ook negatief kunnen zijn (Ronga et al., 2019). Er is erg veel gepubliceerd over effecten van zeewierpreparaten, maar helaas is het overgrote leeuwendeel uitgevoerd onder kunstmatige omstandigheden die niet zomaar kunnen worden geëxtrapoleerd naar de praktijk (Olk et al., 2018).

Bij bovengrondse toepassingen zijn er allerlei effecten gerapporteerd, zoals toegenomen plantengroei, verbeterde bloei en zaadkieming; ook effecten op bovengrondse plaag- en ziekteorganismen worden geclaimd (Costa et al., 2019). Vaak worden deze effecten gevonden onder tamelijk kunstmatige omstandigheden. De effecten worden dan meestal toegeschreven aan plantenhormonen die in de extracten aanwezig zijn, maar ook andere effecten worden genoemd, zoals van vitamines en polysacchariden (alginaat, zie onder) of combinaties hiervan. Effecten van bladbemesting zijn beperkt gezien de geringe dosis (gewoonlijk 1.5-2 liter/ha). Het precieze mechanisme is grotendeels onbekend (de Saeger, 2020). Sommige veldexperimenten geven wel effecten van bovengrondse toepassingen op de opbrengst, zoals in veldexperimenten met aardappel in Polen (Dziugiel & Wadas, 2020) en met koolzaad in Ierland (Langowski et al., 2020). Bij het laatste onderzoek had zeewier als effect dat de vruchten minder afvielen. De effecten bleken rasafhankelijk, waarbij sommige rassen minder en andere meer opbrengst vertoonden dan de controle. Talar-Krasa et al. (2018) vatten de beschikbare literatuur samen voor wat betreft toepassingen op grasland.

Toepassingen van zeewierpreparaten aan de bodem kunnen ook hormonale effecten hebben. Het belang hiervan voor de praktijk is onduidelijk, omdat dit alleen onder experimentele omstandigheden is onderzocht: het modelplantje zandraket (*Arabidopsis thaliana*) vertoonde een toename in de vorming van wortelharen en toegenomen wortelvertakking als gevolg van incubatie in een kunstmatig, vloeibaar medium met aminozuren die ook in zeewierpreparaten voorkomen (Walch-Liu et al., 2006). Zulke resultaten zeggen niets over effecten in een natuurlijke bodem, waar aminozuren van nature aanwezig zijn; bovendien is het nog maar de vraag welke hoeveelheid wortelharen en welk type vertakking van wortels het meest gewenst is: iets wat we gewoon niet weten. Herhaaldelijk is bij allerlei gewassen gevonden dat toepassing van zeewierextract de wortel/spruit-verhouding verhoogt, o.a. bij gerst, maar ook dit resultaat werd verkregen onder hoogst kunstmatige omstandigheden, zoals in dit geval bij kiemplantjes die in watercultuur gehouden werden (Steveni et al., 1992). Ook al treedt dit effect ook in het veld op, dan nog is de vraag wat de optimale wortel/spruit-verhouding is van een gewas. Veel is geschreven over verhoogde zouttolerantie als gevolg van zeewierpreparaten, iets wat onder Nederlandse veldomstandigheden niet van belang is.

Effecten op de bodem lijken met name te werken via de gelvormende capaciteit van hydrofiele polysacchariden, met name alginaat, die in zeewierextracten talrijk aanwezig zijn (Khan et al., 2009). Daarom worden zeewierpreparaten gebruikt om de zaadkieming onder droge omstandigheden te bevorderen. Alginaat is ook vaak een element in de formulering van zaadpellets met biologische bestrijdingsmiddelen. Weliswaar zijn er allerlei reviews waarin gesteld wordt dat zeewierpreparaten arbusculaire mycorrhiza stimuleren (bv. Khan et al., 2009), maar alle geraadpleegde bronnen deden dit wederom onder hoogst kunstmatige omstandigheden (bv. in een

steriel mengsel van vermiculiet/perliet). Zo vonden Dixon & Walsh (2004) weliswaar onderdrukking van *Pythium* in kool, maar deden ze hun experimenten in veengrond en bij een aanwending van 1% zeewierextract (= 20.000 liter/ha). Bovendien is het maar zeer de vraag of zulke stimuleringen, als ze al onder veldomstandigheden optreden, onder de Nederlandse omstandigheden van gemiddelde hoge P-niveaus effecten zouden hebben op arbusculaire mycorrhiza. Tenslotte staat ook niet vast of stimulering van arbusculaire mycorrhiza gunstig is. In hun schematisch overzicht van effecten van zeewierpreparaten maken Khan et al. (2009) wel melding van verbeterde ontwikkeling van N-bindende stikstofknolletjes door *Rhizobium*, maar in hun tekst komen ze daar niet op terug.

EOS

Aangezien zeewier meestal in de vorm van extracten wordt toegediend, is de EOS-aanvoer verwaarloosbaar. Er kan wel sprake zijn van organische bestanddelen, zoals plantenhormonen met een specifieke werking.

bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling

De N-, P- en K-gehalten van een specifieke soort (*Arthrospira* ssp.) worden genoemd in een overzichtsartikel van Ronga et al. (2019) en liggen op een niveau van 6,7% N, 2,5% P (5,8% P_2O_5) en 1,1% K (1,3% K_2O) op drogestofbasis. Het K-gehalte is in vergelijking met P dus aan de lage kant. Afhankelijk van het drogestofgehalte en de gift kunnen zeewierpreparaten dus een significante bijdrage leveren aan de bodemvruchtbaarheid. In het geval van extracten zal vaak sprake zijn van relatieve lage concentraties en een beperkte aanvoer, waardoor het effect op de bodemvruchtbaarheid beperkt zal zijn.

Coppens et al. (2016) hebben de N-mineralisatiesnelheid van twee algensoorten in een incubatieproef bestudeerd. Ze stelden vast dat na 3 weken ca. 11-16% van de totale N beschikbaar was gekomen en na 3 maanden ca. 25-31%. Dit is betrekkelijk weinig, waardoor het product door de auteurs als een langzaam werkende, organische meststof wordt aangeduid. Het risico van nitraatuitspoeling is op korte termijn beperkt. Bij hoge giften kan het op lange termijn bijdragen aan een verhoging van de N-levering, waarmee bij de N-gift rekening moet worden gehouden.

bodemleven en ziektevering

Vooralsnog lijken de meeste toepassingen van zeewierpreparaten bovengronds te zijn. Om ondergrondse effecten in de vollegrond te krijgen zullen (te) grote hoeveelheden nodig zijn om effecten te genereren. Weliswaar zijn er wel effecten gevonden op bodemleven en ziektevering, maar deze zijn allemaal verkregen onder kunstmatige omstandigheden. Daarom zijn ze samengevat in de inleiding van deze paragraaf.

verontreinigingen

Geen risico's.

	zeewierpreparaten ¹	
gewenste eigenschappen	eOS in het geval van extracten / preparaten wordt nauwelijks EOS aangevoerd.	bodemleven voor evt. effecten zijn te grote hoeveelheden nodig.
	bodemvruchtbaarheid - afhankelijk van de gift wordt N- en P-levering van de bodem vergroot. - de K-aanvoer is relatief laag. - effecten beperkt.	ziektewering - voor evt. effecten zijn te grote hoeveelheden nodig. - mogelijk wel effecten bij bovengrondse toepassing.
risico's	nitraatuitspoeling risico beperkt.	verontreinigingen geen risico's.

Samenvattend overzicht van gewenste eigenschappen en risico's. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

¹ Biostimulant met op dit moment grootste kansen voor bovengrondse toepassing.

3. Evaluatie en conclusies

In deze deskstudie zijn 15 reststoffen beoordeeld op basis van hun bijdrage aan het effectief organische-stofgehalte (EOS), bodemvruchtbaarheid, bodemleven en ziektevermindering, alsmede zijn potentiële risico's aangegeven ten aanzien van nitraatuitspoeling, plantenpathogenen, onkruiden en fysieke verontreinigingen. Acht van de hier behandelde reststoffen hebben hun hoofdtoepassing om de bodemvruchtbaarheid te bevorderen (producten van rundveedrijfmest, vaste rundvee- en geitenmest, producten van varkensdrijfmest, vaste varkensmest, pluimveemesten, organische kalkmeststof, plantaardig digestaat en humuszuren), vier hebben het belangrijkste effect op EOS (onbewerkt of ingekuult berm- en slootmaaisel (incl. Bokashi), compost en stro) en twee hebben specifieke effecten op ziektevermindering (verwerkt dierlijk eiwit en zaadmeel). De categorie zeewierpreparaten is niet beoordeeld voor bodemtoepassing. Hoewel wel bodemeffecten hiervan geclaimd worden, zijn de meeste toepassingen bovengronds, mede omdat teveel nodig zou zijn om bodemeffecten te genereren, wat te kostbaar zou worden.

De beoordeling is uitgebreid samengevat in Tabel 6; Tabel 5 geeft een verkorte weergave hiervan. Van de producten die als hoofdeffect verbetering van de bodemvruchtbaarheid als doel hebben, zijn er drie waar er risico is op nitraatuitspoeling (Tabel 5). Producten met een hoog fosfaatgehalte kunnen maar beperkt worden toegepast in verband met de fosfaatregulering en dragen dan weinig bij aan het effectieve organische-stofgehalte (EOS). Dit betreft de dierlijke mesten producten van varkensdrijfmest, vaste varkensmest en pluimveemesten. Ook bij organische kalkmeststof is de bijdrage aan EOS beperkt. Plantenpathogenen evenals onkruiden zijn een potentieel probleem bij zowel onbewerkt als bij ingekuult berm- en slootmaaisel (incl. Bokashi). Fysieke verontreinigingen kunnen voorkomen bij composten. Bij stro kunnen aanwezige plantenpathogenen problematisch zijn.

In deze deskstudie zijn er twee producten die specifiek ingezet worden tegen bodempathogenen, verwerkt dierlijk eiwit en zaadmeel. Voor beide productgroepen zijn interessante effecten tegen bepaalde bodempathogenen gevonden, maar de variatie is nog te groot voor een betrouwbare toepassing en bovendien zijn de huidige prijsniveaus nog te hoog om ze rendabel in te zetten.

Effecten op het bodemleven zijn sterk gerelateerd aan effecten op EOS; immers, organische stof is dé voedselbron voor het bodemleven. Positieve effecten op het bodemleven treden uitsluitend op voor die productgroepen die een positief effect hebben op EOS: het betreft producten van rundveedrijfmest, vaste rundvee- en geitenmest, compost en stro. Van verwerkt dierlijk eiwit en zaadmeel wordt ook een gunstig effect verwacht op het bodemleven, hoewel wellicht kort na aanwending een kortdurend negatief effect kan optreden. Plantaardig digestaat heeft weliswaar een positief effect op EOS, het effect op het bodemleven is nog onvoldoende bekend.

Uit Tabel 5 blijkt duidelijk dat een stimulering van het bodemleven niet automatisch betekent dat daarmee ook de ziektevermindering gestimuleerd wordt. In het algemeen kan verwacht worden dat als de EOS en daarmee het bodemleven consistent en langdurig gestimuleerd wordt, dat dit positieve effecten zal hebben op de algemene ziektevermindering; er is echter geen informatie beschikbaar die aangeeft dat dit verband een vaststaand feit is. Bovendien moet bedacht worden dat lang niet alle plantenpathogenen effectief onderdrukt worden met algemene ziektevermindering.

Twee reststoffen, onbewerkt berm- en slootmaaisel en ingekuult berm- en slootmaaisel incl. Bokashi, hebben een "rode" beoordeling gekregen voor wat betreft risico's. Dit betekent dat er essentiële risico's zijn. Dit betreft de kans op verspreiding van onkruiden, alsmede plantenpathogenen en mogelijk ook fysieke verontreinigingen. Ingekuult berm- en slootmaaisel zal ten opzichte van onbewerkt materiaal enige afkilling van deze ongewenste organismen laten zien, maar het is de vraag dat voldoende is.

Tabel 5. Verkorte weergave van Tabel 6.

	gewenste effecten				risico's	
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering	nitraatuitspoeling	verontreinigingen
producten van rundveedrijfmest	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
vaste rundvee- en geitenmest	geel	geel	geel	geel	geel	geel
producten van varkensdrijfmest	geel	oranje	oranje	oranje	oranje	geel
vaste varkensmest	geel	geel	oranje	oranje	geel	geel
pluimveemesten	geel	geel	oranje	oranje	geel	geel
organische kalkmeststof	geel	geel	geel	geel	geel	geel
plantaardig digestaat	geel	geel	geel	geel	oranje	geel
onbewerkt berm- en slootmaaisel	geel	geel	geel	oranje	oranje	rood
ingekuuld berm- en slootmaaisel incl. Bokashi	geel	geel	geel	oranje	oranje	rood
compost	geel	geel	geel	geel	geel	oranje
stro	geel	geel	geel	geel	geel	oranje
verwerkt dierlijk eiwit	geel	oranje	geel	geel	geel	geel
humuszuren	oranje	oranje	geel	oranje	geel	geel
zaadmeel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
zeewierpreparaten	oranje	geel	oranje	oranje	geel	geel

Vet omkaderd is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

Tabel 6. Samenvattende tabel beoordeling reststoffen. **Vet omkaderd** is die gewenste eigenschap die de hoofdtoepassing betreft. Betekenis van de kleuren:

kleur	gewenste eigenschappen	risico's
groen	positieve effecten	geen risico's
geel	beperkte positieve effecten	beperkte risico's
oranje	geen of nauwelijks effecten	belangrijke risico's
rood	essentiële aandachtspunten	essentiële risico's

	gewenste eigenschappen					risico's			
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering		nitraatuitspoeling	verontreinigingen	positieve aspecten	aandachtspunten
producten van rundveedrijfmest								• relatief hoge aanvoer van EOS mogelijk. • vooral gunstig bij K-behoefte gewassen. • stimulering van bodemleven.	• relatief hoge kans op nitraatuitspoeling.
vaste rundvee- en geitenmest								• N-levering op langere termijn. • goede P/K-verhouding. • beperkt risico op nitraatuitspoeling. • stimulering van bodemleven.	

	gewenste eigenschappen					risico's			
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering		nitraatuitspoeling	verontreinigingen	positieve aspecten	aandachtspunten
producten van varkensdrijfmest								• beperkt.	• aanvoer EOS beperkt. • hoge niveaus P, lage niveaus K. • relatief hoge kans op nitraatuitspoeling.
vaste varkensmest								• beperkt.	• aanvoer EOS beperkt. • relatief hoge kans op nitraatuitspoeling.
pluimveemesten								• beperkt.	• aanvoer EOS beperkt. • risico op nitraatuitspoeling.
organische kalkmeststof								• effectief tegen knolvoet. • kalkwerking.	• aanvoer EOS beperkt. • niet toepassen voorafgaand aan aardappelen wegens kans op schurft. • relatief hoge P-levering.
plantaardig digestaat								• forse EOS-aanvoer.	• P/K-verhouding aan de hoge kant. • effecten op bodemleven waarschijnlijk maar nog niet in kaart gebracht. • effecten op ziektewering onbekend.

	gewenste eigenschappen					risico's			
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering		nitraatuitspoeling	verontreinigingen	positieve aspecten	aandachtspunten
onbewerkt berm- en slootmaaisel								grote EOS-aanvoer mogelijk.	- variabele samenstelling van nutriënten. - stimulering van bodempathogenen kan niet worden uitgesloten. - aanzienlijke kans op nitraatuitspoeling. - groot risico op onkruiden, tevens bodempathogenen. - bij bermmaaisel kans op fysieke verontreinigingen.
ingekuuld berm- en slootmaaisel incl. Bokashi								grote EOS-aanvoer mogelijk.	- variabele samenstelling van nutriënten; geen grote bijdrage aan nutriënten leverend vermogen. - aanzienlijke kans op nitraatuitspoeling. - stimulering van bodempathogenen kan niet worden uitgesloten. - afwezigheid van onkruiden en plantenpathogenen niet gegarandeerd. - bij bermmaaisel kans op fysieke verontreinigingen.

	gewenste eigenschappen					risico's			
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering		nitraatuitspoeling	verontreinigingen	positieve aspecten	aandachtspunten
compost								• grote EOS-aanvoer mogelijk. • stimulering van bodemleven. • goede K-beschikbaarheid. • ziektevering aangetoond, vooral op gronden met laag organischestofgehalte. • nauwelijks risico op nitraatuitspoeling.	• te jonge compost kan ziektestimulerend zijn. • afwezigheid van fysieke verontreinigingen niet volledig gegarandeerd. • compost van industriële restproducten verdient meer aandacht wat betreft risico op plantenpathogenen.
stro								• forse EOS-aanvoer. • relatief hoge bijdrage aan K. • beperking van nitraatuitspoeling. • redelijk duurzame verhoging van het bodemleven.	• problemen mogelijk met op het stro reeds aanwezige plantenpathogenen.
verwerkt dierlijk eiwit								• specifieke stimulering van keratinolytische schimmels waarschijnlijk gunstig.	• door hoge niveaus van N toepassing beperkt tot 1-2 ton/ha. • hogere toepassing dan 1-2 ton/ha geven waarschijnlijk betere ziektevering.

	gewenste eigenschappen					risico's			
	EOS	bodemvruchtbaarheid	bodemleven	ziektewering		nitraatuitspoeling	verontreinigingen	positieve aspecten	aandachtspunten
humuszuren								• verwaarloosbare EOS-aanvoer. • geringe effecten op bodemvruchtbaarheid, maar positieve effecten op gewasgroei zijn opmerkelijk. • geen risico op nitraatuitspoeling. • ziektevering niet aangetoond.	• aanwezigheid van chemische verontreinigingen zijn afhankelijk van de aard van de grondstoffen.
zaadmeel								• aanzienlijke EOS-aanvoer.	• vrij hoge P/K-verhouding. • effecten op ziektevering variëren. • toepassing vooralsnog te kostbaar want effecten op ziektevering treden pas op vanaf 4 ton/ha.
zeewierpreparaten								• beperkt risico op nitraatuitspoeling.	• voor bodemtoepassing zijn te grote hoeveelheden nodig.

4. Referenties

- Abbasi, P.A. 2013. Establishing suppressive conditions against soilborne potato diseases with low rates of fish emulsion applied serially as a pre-plant soil amendment. *Canadian Journal of Plant Pathology* 35: 10-19.
- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T.F., Webb, M.J., Jenkins, J.N., Farrell, M. 2018. Potential roles of biological amendments for profitable grain production - A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 256: 34-50.
- Agneessens, L., De Waele, J., De Neve, S. 2014. Review of alternative management options of vegetable crop residues to reduce nitrate leaching in intensive vegetable rotations. *Agronomy* 2014: 529-555.
- Bloem, J., Koopmans, C., Schils, R. 2017. Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw. Wageningen Environmental Research en Louis Bolk Instituut, rapp. 2843.
- Bodemkundige Dienst België. 2009. Geïntegreerde verwerkingsmogelijkheden (inclusief energetische valorisatie) van bermmaaisel. 328 pp.
- Bonanomi, G., Gaglione, S., Cesarano, G., Sarker, R., Pascale, M., Scala, F., Zoina, A. 2017. Frequent applications of organic matter to agricultural soil increase fungistasis. *Pedosphere* 27: 86-95.
- , Zotti, M., Idbella, M., Di Silverio, N., Carrino, L., Cesarano, G., Assaeed, A.M., Abd-ElWawad, A.M. 2020. Decomposition and organic amendments chemistry explain contrasting effects on plant growth promotion and suppression of *Rhizoctonia solani* damping off. *PLoS ONE* 15(4): e0230925.
- CDM. 2016. Protocol beoordeling stoffen meststoffenwet. Versie 3.2. Wageningen, Wettelijke onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 71, 70 pp.
- . 2017. Advies 'Organische stof in de bodem en nitraatuitspoeling' 12-07-2017. Commissie Deskundigen Meststoffenwet, Wageningen, 40 pp.
- Chaves, B., de Neve, S., Boeckx, P., van Cleemput, O., Hofman, G. 2007. Manipulating nitrogen release from nitrogen-rich crop residues using organic wastes under field conditions. *Nutrient Management & Soil & Plant Analysis* 71: 1240-1250.
- Clocchiatti, A., Hannula, S.E., van den Berg, M., Korthals, G., de Boer, W. 2020. The hidden potential of saprotrophic fungi in arable soil: Patterns of shortterm stimulation by organic amendments *Applied Soil Ecology* 147: 103434.
- Coppens, J., Grunert, O., Van Den Hende, S., Vanhoutte, I., Boon, N., Haesaert, G., De Gelder, L. 2016. The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertiliser results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. *Journal of Applied Phycology* 28: 2367-2377.
- Costa, J.A.V., Freitas, B.C.B., Cruz, C.G., Silveira, J., Morais, M.G. 2019. Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health B* 54: 366-375.
- Cuijpers, W., Koopmans, C., Voogt, W. 2004. Hulpmeststoffen in de biologische glastuinbouw; noodzaak en discussie. *Ekoland* 9, 26-27.
- d'Hose T., Ruysschaert, G., Viaene, N., Debode, J., Vanden Nest, T., Van Vaerenbergh, J., Cornelis, W., Willekens, K., Vandecasteele, B. 2016. Farm compost amendment and non-inversion tillage improve soil quality without increasing the risk for N and P leaching. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 225: 126-139.
- de Boer, W., Verheggen, P., Klein-Gunnewiek, P.J.A., Kowalchuk, G.A., van Veen, J.A. 2003. Microbial community composition affects soil fungistasis. *Applied & Environmental Microbiology* 69: 835-844.
- de Corato, U., Viola, E., Arcieri, G., Valerio, V., Zimbardi, F. 2016. Use of composted agro-energy co-products and agricultural residues against soil-borne pathogens in horticultural soil-less systems. *Scientia Horticulturae* 210: 166-179.

- de Saeger, J., van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T., Depuydt, S. 2020. Toward the molecular understanding of the action mechanisms of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology* 32: 573-597.
- Debode, J., Clewes, E., De Backer, G., Höfte, M. 2005. Lignin is involved in the reduction of *Verticillium dahliae* var. *longisporum* inoculum in soil by crop residue incorporation. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 301-309.
- den Boer, D.J., Reijneveld, J.A., Schröder, J.J., van Middelkoop, J.C. 2012. Mestsamenstelling in de adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen, Rapport 1. Commissie Grasland en Voedergewassen, Lelystad, 21 pp.
- Dixon, G.R., Walsh, U.F. 2004. Suppressing *Pythium ultimum* induced damping-off in cabbage seedlings by biostimulation with proprietary liquid seaweed extracts. *Acta Horticulturae* 635: 103-106.
- Driessen, J.J.M. & Roos A.H. 1996. Inventarisatie van het gehalte aan zware metalen en organische microverontreinigingen in meststoffen. Rikilt-rapport 96.14.
- Dziugiel, T., Wadas, W. 2020. Possibility of increasing early crop potato yield with foliar application of seaweed extracts and humic acids. *Journal of Central European Agriculture* 21: 300-310.
- Elema, A.G., Scheepens, P.C. 1992. Verspreiding van onkruiden en plantenziekten met dierlijke mest; een risico-analyse. PAGV publicatienr. 62, PAGV, Lelystad.
- Epelde, L., Jauregi, L., Ibarretxe, L., Romo, J., Goikoetxea, I., Garbisu, C. 2018. Characterization of composted organic amendments for agricultural use. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2018: 44.
- Evenhuis, B. 2020. Risico op insleep uienziekten via voerresten in drijfmest. Interview Nieuwe Oogst. Online: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/04/21/risico-op-insleep-uienziekten-via-voerresten-in-drijfmest>.
- Ferreira, J.C.A., Hernandes, I., Brito, O.D.C., Cardoso, M.R., Dias-Arieira, C.R. 2017. Dosages of bokashi in the control of *Meloidogyne javanica* in lettuce, in greenhouse. *Horticulture Brasileira* 35: 224-229.
- Fraters B, van Leeuwen, T.C., Hooijboer, A., Hoogeveen, M.W., Boumans, L.J.M., Reijls, J.W. 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven; Herberekening van uitspoelfracties. RIVM Rapport 680716006/2012, RIVM, Bilthoven, 33 pp.
- Fröschle, B., Heiermann, M., Lebuhn, M., Messelhäuser, U., Plöchl, M. 2015. Hygiene and sanitation in biogas plants. pp. 63-99 in G.M. Guebitz et al. (eds), *Biogas Science and Technology. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 51: 63-99.
- Gigot, J.A., Zasada, I.A., Walters, T.W. 2012. Integration of brassicaceous seed meals into red raspberry production systems. *Applied Soil Ecology* 64: 23-31.
- Hanschen, F.S., Winkelmann, T. 2020. Biofumigation for fighting replant disease - a review. *Agronomy* 10: 425.
- Harrison, M.D. 1976. The effect of barley straw on the survival of *Verticillium albo-atrum* in naturally infested field soil. *American Potato Journal* 53: 385-394.
- Janmaat, L. 2015. Verwerken van maaisel voor landbouwkundig gebruik. Waarde van compost, bokashi en bermgraskuil als meststof. Louis Bolk instituut, publicatienummer 2015-045 LbP.
- . 2017. Wat is beter: compost of bokashi? *Ekoland* 2017(6): 30-31.
- Janssen, B.H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant & Soil* 181: 39-45.
- Jeger, M.J., Termorshuizen, A.J. 2012. The theory of inoculum: the relationship between disease incidence and inoculum density and dynamics of soil-borne plant pathogens. pp. 3-13 in A. Gamliel, J. Katan (eds.): *Soil Solarization – Theory and Practice*.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28: 386-399.

- Kim, T.G., Knudsen, G.R. 2016. Growth competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium solani* on a plant residue in non-sterile soil. *Microbiology & Biotechnology Letters* 44: 540-549.
- Klein, J., Roskam, G. 2018. Zware metalen in mest in 2017. Deltares-Rapport 11202236-002-BGS-0001, Deltares, 19 pp + bijlagen.
- Klijn, N. 2013. Fytosanitaire risico-evaluatie van digestaat uit Suiker Unie.
- Koopmans, C., Bloem, J. 2018. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping - Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Institute, Bunnik, Publication number 2018-001 LbP, 40 pp.
- Langowski, L., Goni, O., Quille, P., Stephenson, P., Carmody, N., Feeney, E., Barton, D., Østergaard, L., O'Connell, S. 2019. A plant biostimulant from the seaweed *Ascophyllum nodosum* (Sealicit) reduced podshatter and yield loss in oilseed rape through modulation of *IND* expression. *Nature Scientific Reports* 9:16644.
- Lazarovits, G., Conn, K.L., Abbasi, P.A., Soltani, N., Kelly, W., McMillan, E., Peters, R.D., Drake, K.A. 2008. Reduction of potato tuber diseases with organic soil amendments in two Prince Edward Island fields. *Canadian Journal of Plant Pathology* 30: 37-45.
- Li, L., Xu, M., Ali, M., Zhang, W., Duan, Y., Li, D. 2018. Factors affecting soil microbial biomass and functional diversity with the application of organic amendment in three contrasting cropland soils during a field experiment. *PLoS ONE* 13(9): e0203812.
- Li, Y.C., Stoffella, P.J., Calvert, D.V., Alva, A.K., Graetz, D.A. 1997. Leaching of nitrate, ammonium, and phosphate from compost amended soil columns. *Compost Science & Utilization* 5: 63-67.
- MARAN, 2019. Monitoring of antimicrobial resistance and antibiotic usage in animals in the Netherlands in 2018. WBVR, Lelystad, 82 pp.
- Moolenaar, S.W., Veeken, A., Postma, R. 2002. Toetsen en normeren stabiliteit van bodemverbeteraars. NMI-rapport 844.02, NMI, Wageningen, 48 pp.
- Olk, D.C., Dinnes, D.L., Scoresby, J.R., Callaway, C.R., Darlington, J.W. 2018. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges - a review. *Journal of Soils & Sediments* 18: 2881-2891.
- Paudel, B.R., Carpenter-Boggs, L., Higgins, S. 2016. Influence of brassicaceous soil amendments on potentially beneficial and pathogenic soil microorganisms and seedling growth in Douglas-fir nurseries. *Applied Soil Ecology* 105: 91-100.
- Postma, J., Schilder, M.T., Hanse, B., Hendrickx, W., Venhuizen, A. 2013. Stimulering van ziektevering in de bodem door toevoegen van reststromen. 'Cash from trash' – Eindrapport SKB-duurzame ontwikkeling ondergrond – project 2031. WUR, rapport 529.
- , —, Stevens, L.H. 2014. The potential of organic amendments to enhance soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* disease in different soils and crops. *Acta Horticulturae* 1044: 127-132.
- , —. 2015. Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Ecology* 94: 72-79.
- , —, Bloem, J., Visser, J., van Os, G., Brolsma, K., Hoogmoed, M., Postma, R., Korthals, G. 2020. Sturen op bodemweerbaarheid door toediening van organische materialen. Wageningen Research, rapp. WPR-1024.
- Postma R., Ros G. 2016. Bepalen van stabiliteit van gft- en groencomposten. NMI-rapport 1580, NMI, Wageningen, 21 pp.
- . 2017. Vrijstellingsregeling plantenresten en de aanvoer van nutriënten naar landbouwpercelen. NMI-rapport 1679.N.17A, NMI, Wageningen, 13 pp.
- , Ehlert, P.A.I., van Dijk, W., Roefs, J., Gollenbeek, L.R. 2020. Contaminanten en wetgeving bij mestproducten, Wageningen Livestock Research, rapport 1269.
- Quiroz, M., Céspedes, C. 2019. Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review. *Journal of Science and Plant Nutrition* 19: 237-248.

- Regelink I.C., Ehlert, P., Smit, G., Everlo, S., Prinsen, A., Schoumans, O. 2019. Phosphorus recovery from co-digested animal manure; development of the RePeat process. Wageningen Environmental Research, Report 2949, 66 pp.
- Römkens, P.F.A.M., Rietra R.P.J.J. 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest 2008. Gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens- en kippenmest. Alterra rapport 1729.
- , —, Spijker, J.H. 2020. Aanzet kennisprogramma circulair terreinbeheer; landbouwkundig relevante eigenschappen van maaisel, bokashi en compost. WUR, Alterra 3006, 46 pp.
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., Tava, A. 2019. Microalgal biostimulants and biofertilizers in crop productions. *Agronomy* 9: 192.
- Ros, G.H., Termorshuizen, A.J., van Dijk, T.A. 2012. Risico's van diffuse verspreiding van groenafvalstromen. NMI, rapportnummer 1474.N.11.
- Rutgers, M., Mulder, A.J., Bloem, J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Brussaard, L., de Goede, R.G.M., Faber, J.H., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Keidel, H., Korthals, G.W., Smeding, F.W., ten Berg, C., van Eekeren, N. 2007. Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604008.
- Ruysschaert, G., Vandecasteele, B., Willekens, K., van Waes, J., van Laecke, K. 2014. Bodem, nutriënten, compost: onderzoek voor een duurzame landbouw. ILVO mededelingnummer 171, ILVO, 250 pp.
- Schokker, A.H. 1988. De overleving van onkruidzaden en -knolletjes in rundermengmest en in een snijmaïskuil. CABO-verslag 90.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I., Hanegraaf, M.C., Römkens, P.F.A.M., Pustjens, A.M., de Koeijer, T.J., de Boer, H.C., Nienhuis, C., Kortstee, H., Smit, A.B. 2019. Development of a conceptual framework to evaluate organic fertilizers; Assessment on soil quality and agronomic, environmental and economic aspects. Wageningen Environmental Research, report 2964.
- , —, P.A.I., Regelink, I.C., Nelemans, J.A., van Tintelen, W., Noij, G.J., Rulkens W.H. 2017. Chemical phosphorus recovery from animal manure and digestate; laboratory and pilot experiments. Wageningen Environmental Research, Report 2849, 114 pp.
- Schröder, J., 2016. Notitie bemestingswaarde van digestaten 25 oktober 2016. Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Wageningen, 5 pp.
- SDa, 2019. Het gebruik van antibiotica bij landbouwhuisdieren in 2018. SDA, Autoriteit Diergeneesmiddelen.
- Shin, K., van Diepen, G., Blok, W., van Bruggen, A.H.C. 2017. Variability of effective micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. *Crop Protection* 99: 168-176.
- Şimşek Erşahin, Y., Weiland, J.E., Zasada, I.A., Reed, R.L., Stevens, J.F. 2014. Identifying rates of meadowfoam (*Limnanthes alba*) seed meal needed for suppression of *Meloidogyne hapla* and *Pythium irregulare* in soil. *Plant Disease* 98: 1253-1260.
- Somera, T.S., Freilich, S., Mazzola, M. 2012. Comprehensive analysis of the apple rhizobiome as influenced by different Brassica seed meals and rootstocks in the same soil/plant system. *Applied Soil Ecology* 157: 103766.
- Spijker, J.H., Ehlert, P.A.I., de Jong, J.J., Niemeijer, C.M., Scheepens, P.C., de Vries, E.A. 2004. Geschiktheid van bermmaaisel als meststof; Een verslag van acht praktijkproeven. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 963, 46 pp + bijlagen.
- Steveni, C.M., Norrington-Davies, J., Hankins, S.D. 1992. Effect of seaweed concentrate on hydroponically grown barley. *Journal of Applied Phycology* 4: 173-180.
- Talar-Krasa, M., Wolski, K., Biernacik, M. 2018. Biostimulants and possibilities of their usage in grassland. *Grassland Science* 65: 205-209.
- Tang, L., Nie, S., Li, W., Fan, C., Wang, S., Wu, F., Pan, K. 2019. Wheat straw increases the defense response and resistance of watermelon monoculture to *Fusarium* wilt. *BMC Plant Biology* 19: 551.

- Termorshuizen, A.J., Volker, D., Blok, W.J., ten Brummeler, E., Hartog, B.J., Janse, J.D., Knol, W., Wenneker, M. 2003. Survival of human and plant pathogens during anaerobic mesophilic digestion of vegetable, fruit, and garden waste. *European Journal of Biology* 39: 165-171.
- , van Rijn, E., van der Gaag, D.J., Chen, Y., Lagerlöf, J., Paplomatas, E.J., Rämert, B., Steinberg, C., Zmora, S. 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2461-2477.
- . 2018. Dodingscondities van een aantal plantenpathogenen, humaanpathogenen en onkruiden gedurende compostering uitgedrukt in blootstellingsduurtemperatuurcombinaties. Literatuuroverzicht in opdracht van BVOR.
- , Molendijk, L.P.G., Postma, J. 2020. Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen. Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten. Wageningen Research, Rapport WPR-955.
- Testen, A.L., Miller, S.A. 2019. Anaerobic soil disinfestation to manage soilborne diseases in muck soil vegetable production systems. *Plant Disease* 103: 1757-1762.
- Urta, J., Alkorta, I., Garbisu, C. 2019. Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. *Agronomy* 2019(9): 542.
- van Bruggen, A.H.C., Blok, W., de Vos, O., Volker, D., van Diepen, G. 2008. EM: Effectieve microben of effectieve magie? Een onderzoek naar de effectiviteit van Effectieve Micro-organismen (EM). Wetenschapswinkel Wageningen Univeirsiteit, Rapport 245.
- van den Burgt, G.J.H.M., Dekker, P.H.M., van Geel, W.C.A., Bokhorst, J.G., van den Berg, W. 2011. Duurzaamheid organische stof in mest; Analysemethoden om de stabiliteit van de organische stof van verschillende organische meststoffen inclusief digestaat te beoordelen. Eindrapportage 2010. WUR, PPO-rapport 448, 72 pp.
- van Geel, W. de Haan, J., Hanegraaf, M., Postma, R. 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.
- van Groenigen J.W., Zwart K.B., 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost. WUR, Wageningen. Alterra-rapport 1503, 28 p.
- van Os, G. 2016. Biofumigatie. 6 pp. <http://edepot.wur.nl/388.919>.
- Vanrespaille, H., Bonnast, J., Elsen, A. 2019. Praktijkevaluatie bodemverbeterende middelen: stalmost, bokashi en houtsnippers. Project uitgevoerd door Bodemkundige Dienst van België en agrobeheercentrum Ekokwadraat in opdracht van Vlaams-Brabant. Eindrapport, 22/01/2019. 45 pp. In kader van Interreg Leve(n)de bodem.
- Verlinden, G., Coussens, T., Haessaert, G. Hermans, I., Bries, J., Schellekens, A., van de Ven, G., de Vliegheer, A. ca. 2007. Humuszuren als hulpmiddel voor de optimalisatie van opbrengst en kwaliteit van raaigras bij verminderde bemesting. Landbouwcentrum voor Voedergewassen.
- , Haessaert, G., Mertens, J., Bries, J. 2007. Humifirst als bodemverbeteraar in de gras- en maïsteelt. Landbouwcentrum voor Voedergewassen.
- , G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, K., Bries, J., Haesaert G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1407-1426.
- Visser, J.H.M., Molendijk, J.P.G., Feil, H., Meints, H., van Beers, T. 2017. Bodem Resetten: Innovatieve anaerobe grondontsmetting (ASD) tegen schadelijke bodemorganismen. WUR, rapport WPR-746.
- Wadman W.P., de Haan S. 1997. Decomposition of organic matter from 36 soils in a long-term pot experiment. *Plant & Soil* 189: 289-301.
- Wahdan, S.F.M., Hossen, S., Tanunchai, B., Schädler, M., Buscot, F., Purahong, W. 2020. Pathogen dynamics during the early phase of wheat litter decomposition. *Microorganisms* 8, 908.

- Walch-Liu, P., Liu, L.H., Remans, T., Tester, M., Forde, B.G. 2006. Evidence that L-glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cellular Physiology* 47: 1045-1057.
- Wang, L., Mazzola, M. 2019. Effect of soil physical conditions on emission of allyl isothiocyanate and subsequent microbial inhibition in response to Brassicaceae seed meal amendment. *Plant Disease* 5: 846-852.
- Weerakoon, D.M.N., Reardon, C.L., Paultiz, T.C., Izzo, A.D., Mazzola, M. 2012. Long-term suppression of *Pythium abopressorium* induced by *Brassica juncea* seed meal amendment is biologically mediated. *Soil Biology & Biochemistry* 51: 44-52.
- Wei, F., Passey, T., Xu, X. 2016. Effects of individual and combined use of bio-fumigation-derived products on the viability of *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil. *Crop Protection* 79: 170-176.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., de Neve, S. 2014. Limited short-term effect of compost and reduced tillage on N dynamics in a vegetable cropping system. *Scientia Horticulturae* 178: 79-86.
- Wilson, C., Zebarth, B.J., Goyer, C., Burton, D.L. 2018. Effect of diverse compost products on soilborne diseases of potato. *Compost Science & Utilization* 26: 156-164.
- Yang, H., Ma, J., Rong, Z., Wang, Y., Hu, S., Ye, W., Zheng, Y. 2019. Wheat straw return influences nitrogen-cycling and pathogen associated soil microbiota in a wheat-soybean rotation system. *Frontiers in Microbiology* 10: 1811.
- Yang, S., Wang, Y., Liu, R., Li, Q., & Yang, Z., 2018. Effects of straw application on nitrate leaching in fields in the Yellow River irrigation zone of Ningxia, China. *Nature Scientific Reports* 8, 954.
- Yim, B., Hanschen, F.S., Wrede, A., Nitt, H., Schreiner, M., Smalla, K., Winkelmann, T. 2016. Effects of biofumigation using *Brassica juncea* and *Raphanus sativus* in comparison to disinfection using Basamid on apple plant growth and soil microbial communities at three field sites with replant disease. *Plant & Soil* 406: 389-408.
- Yu, Q., Tsao, R., Chiba, M., Potter, J. 2007. Oriental mustard bran reduced *Pratylenchus penetrans* on sweet corn. *Canadian Journal of Plant Pathology* 29: 421-426.
- Zasada, I.A., Meyer, S.L.F., Morra, M.J. 2009. Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 41: 221-227.
- Zwart, K. 2001. De bemestende waarde van bermmaaisel, slootmaaisel en heideplagsel. *Plant Research International*, Nota 108, 11 pp + bijlagen.

Bijlage 1. Samenstelling reststoffen Organische meststof of reststroom	categorie	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	HC	EOS	N-totaal (kg/ton)	Nm (kg/ ton)	Norg (kg/ ton)	C/N org. stof	N-werkzaam (kg/ton)		P ₂ O ₅ (kg/ ton)	EOS/ P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/ ton)
										1/4-1/8	1 jaar			
Rundveedrijfmest	prod. van rundveedrijfmest	92	71	0.70	50	4.0	1.9	2.1	16.9	2.1	2.3	1.5	33	5.4
Digestaat rundveedrijfmest 25%	prod. van rundveedrijfmest	74	53	0.80	42	4.0	2.4	1.6	16.6	2.4	2.5	1.5	28	5.4
Digestaat rundveedrijfmest 50%	prod. van rundveedrijfmest	57	36	0.95	34	4.0	3.0	1.0	18.0	2.9	2.9	1.5	23	5.4
Digestaat co-vergiste	prod. van rundveedrijfmest	85	64	0.75	48	4.1	2.0	2.1	15.2	2.1	2.3	1.5	32	5.3
Dikke fractie rundveedrijfmest	vaste rundvee- en/of geitenmest	250	193	0.70	135	7.3	1.6	5.7	16.9	2.0	2.5	4.1	33	4.5
Vaste rundveemest (met stro)	vaste rundvee- en/of geitenmest	267	155	0.70	109	7.7	1.1	6.6	11.7	1.9	2.7	4.3	25	8.8
Vaste geitenmest	vaste rundvee- en/of geitenmest	291	174	0.70	122	9.9	2.4	7.5	11.6	3.1	4.0	5.3	23	12.8
Vleesvarkensdrijfmest	prod. varkens- of zeugendrijfmest	107	79	0.33	26	7.0	3.7	3.3	12.0	5.0	5.6	3.9	7	4.7
Zeugendrijfmest	prod. varkens- of zeugendrijfmest	67	25	0.34	9	5.0	3.3	1.7	7.4	4.0	4.3	3.5	2	4.9
Digestaat vleesvarkensdrijfmest 25%	prod. varkens- of zeugendrijfmest	87	59	0.40	24	7.0	4.5	2.5	11.8	5.2	5.7	3.9	6	4.7
Digestaat vleesvarkensdrijfmest 50%	prod. varkens- of zeugendrijfmest	68	40	0.58	23	7.0	5.4	1.6	12.5	5.8	5.8	3.9	6	4.7
Digestaat co-vergiste	prod. varkens- of zeugendrijfmest	65	41	0.36	15	6.1	4.4	1.7	12.1	4.9	5.2	3.2	5	4.9
Vaste varkensmest (met stro)	vaste varkensmest	260	153	0.33	50	7.9	2.6	5.3	14.4	4.3	5.3	7.9	6	8.5
Dikke fractie vleesvarkensdrijfmest	vaste varkensmest	250	185	0.33	61	10.8	3.1	7.7	12.0	5.9	7.4	9.1	7	4.0
P-arme vaste fractie	vaste varkensmest	340	306	0.7	214	5.2	0.5	4.7	32.6	2.5	3.4	2.8	76	2.2
Pluimveemest zonder nadroging	pluimveemesten	562	416	0.33	137	28.4	2.9	25.7	8.1	15.2	20.3	23	6	19.2
Pluimveemest met nadroging	pluimveemesten	616	393	0.33	130	32.7	3.8	28.9	6.8	18.1	23.6	25.6	5	21.4
Kippenstrooiselmest	pluimveemesten	677	359	0.34	122	29.0	3.7	25.3	7.1	15.9	20.7	25.6	5	18.2
Schuimaarde (Betacal carbo)	organische kalkmeststof	680	90	0.25	23	3.3	0	3.3	12.3	1.7	2.4	11.5	2	1.1
Betafert vast	plantaardig digestaat	370	160	0.50	80	9.0	4.5	4.5	16.0	4.7	5.4	5.5	15	6.0
Berm en slootmaaisel	onbewerkt en/of ingekuild	350	140	0.25	35	3.5	0.5	3.0	21.0	1.6	2.2	1.6	22	4.4
Ingekuild maaisel	onbewerkt en/of ingekuild	220	178	0.2	36	3.4	0.4	3.0	26.7	1.5	2.2	1.5	24	4.4
GFT-compost	composten	696	242	0.90	218	8.9	0.8	8.1	13.4	1.0	1.3	4.4	50	7.9
Groencompost	composten	599	179	0.90	161	5.0	0.5	4.5	17.9	0.5	0.7	2.2	73	4.2
Tarwestro	stro	850	765	0.33	252	3.7	0	3.7	93.0	-0.8	0.1	1.2	210	14.9
Haar-meel	diermelen	974	956	0.25	239	142.8			3.0	100.0	114.2	5.1	47	2.2
Veren-meel	diermelen	942	925	0.25	231	139.6			3.0	97.7	111.7	5.6	41	1.2
Runderbeender-meel	diermelen	927	491	0.25	123	63.5			3.5	44.5	50.8	170.0	1	2.2
Humuszuur	humuszuren	111	83	0.75	62	11.6			3.2			3.6	17	10.4
Brassica zaad-meel	zaadmelen	886	832	0.75	624	43.4			8.6			20.3	31	8.9
Algenpreparaten	algenpreparaten	n.b.	410	0,2	82	60,9	14,0	46,9	4,4			28,2	3	106,4

