

juni 2010

rapport 1326

Effecten van verse organische stof

R. Postma (NMI)

G.W. Korthals (PPO)

A.J. Termorshuizen (BLGG AgroXpertus)

P. Dekker (PPO)

T. Thoden (PPO)

nutriënten management instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
agro business park 10
6708 pw wageningen
tel. (0317) 46 77 00
fax (088) 876 1281
e-mail nmi@nmi-agro.nl

© 2010 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	5
2 Hygiënische en ziektewerende aspecten van verse organische stof	7
2.1 Hygiënische aspecten van de aanwending van organische stof	7
2.1.1 Gewasresten	7
2.1.2 Compost	8
2.1.3 Dierlijke mest.	8
2.2 Effect van verse organische stof op ziektewering en –stimulering	10
2.2.1 Ziektewerendheid	10
2.2.2 Ziektestimulering	11
2.2.3 Ziektewerende werking afhankelijk van het soort pathogeen	11
2.2.4 Beperkingen voor toepassing in de praktijk	12
2.3 Specifieke bodemverbeteraars	12
2.4 Enkele algemene beschouwingen	13
2.4.1 Wanneer ontstaat ziekte?	13
2.4.2 Wanneer ontstaat ziektewering?	14
2.4.3 Bodempathogenen in een breder kader	14
3 Effecten van verse organische stof op aaltjes	17
3.1 Introductie	17
3.2 Methodiek	17
3.3 Samenvatting resultaten	18
3.3.1 Afname van plantparasitaire aaltjes; mechanismen	18
3.3.2 Toename van plantparasitaire aaltjes	19
3.3.3 Effecten op niet-plantparasitaire aaltjes:	19
3.4 Conclusies	19
4 Organische stofbeheer en chemische en fysische bodemkwaliteit	21
4.1 De organische stofbalans: aanvoer via effectieve organische stof	21
4.2 Een rekenmodel als alternatief voor de organische stofbalans	21
4.3 Opbouw van organische stof en relatie met nutriëntenhuishouding	22
4.4 Bodemstructuur	26
4.5 Vochthoudend vermogen	29
5 Richtlijnen voor het beheer van organische stof	31
6 Plan voor vervolgonderzoek	33
Literatuur	35
Bijlage 1. Overzicht van literatuurgegevens over de effecten van organische stof op aaltjes.	39
Bijlage 2. Wet- en regelgeving betreffende het gebruik van meststoffen	43
Bijlage 3. Hoeveelheid (effectieve) organische stof en N-inhoud van gewasresten.	46

Samenvatting en conclusies

Organische stof is essentieel voor de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit in de akkerbouw. Een goed bodembeheer dient o.a. gericht te zijn op het handhaven en/of verbeteren van het gehalte en de kwaliteit van de organische stof in de bodem en op het handhaven en/of verbeteren van de verschillende bodemfuncties. Een handvat voor het beheer van organische stof is de organische stofbalans, die gericht is op een voldoende aanvoer van effectieve (=stabiele) organische stof. De balans houdt echter geen rekening met de effecten van verse organische stof op de bodemkwaliteit. Daarom heeft Productschap Akkerbouw aan PPO en NMI/BLGG AgroXpertus gevraagd in een bureaustudie de effecten van verse organische stof op de bodemkwaliteit in beeld te brengen. Daarbij ging het met name om de biologische bodemkwaliteit, zoals bodemgezondheid en ziekteverendheid. Een vraag was of er in aanvulling op de organische stofbalans richtlijnen zijn te geven voor de toediening van verse organische stof. In deze studie verstaan we onder het begrip verse organische stof alle organische materialen die in de akkerbouw op de bodem terechtkomen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen gewasresten, groenbemesters, stro, dierlijke mest en compost.

Ten aanzien van het effect van verse organische stof op pathogene schimmels in de bodem dient men zich te realiseren dat sprake kan zijn van zowel positieve als negatieve effecten. Uit een uitgebreid literatuuroverzicht bleek dat de toediening van organische stof in ca. 45% van de situaties leidde tot ziektevering, dat in 35% van de gevallen geen effect werd vastgesteld en dat in 20% van de gevallen ziektestimulering optrad. Ziektevering werd veelal gevonden bij zeer hoge giften, die in de praktijk vaak niet mogelijk zijn. De ziekteverende werking hangt af van het soort pathogeen en van de organische stofbron. Zo heeft veen weinig effect, omdat het nauwelijks afbreekbaar is. Bij de beheersing van bodempathogenen is organische stof slechts een onderdeel, die altijd in combinatie met andere maatregelen ingezet dient te worden.

Er is bij het gebruik van verse (ongecomposteerde) organische stof, vooral als die wordt verslept, vaak sprake van een risico van besmetting met pathogenen. Daarom moeten *gewasresten* zoveel mogelijk worden achtergelaten op het perceel waar ze zijn geproduceerd, worden ze bij voorkeur tijdig in de grond gewerkt en worden ze, als ze worden verslept, bij voorkeur eerst gecomposteerd. Gedurende een goed compostingsproces worden pathogenen in het algemeen gedood. Aangezien dit bij vergisting in mindere mate het geval is, wordt geadviseerd een nacompostering uit te voeren. Akkerbouwers dienen zich goed in de composteringstechnieken te verdiepen, voordat ze zelf gaan composteren, omdat er bij niet goed composteren een risico is dat pathogenen niet volledig worden gedood en dat ze vervolgens via de *compost* over de percelen worden verspreid. Compost afkomstig van professionele composteerders is in principe te vertrouwen, maar gebruikers dienen kritisch te letten op kwaliteitsaspecten. Het risico van de verspreiding van pathogenen en onkruidzaden via rundveemest is beperkt, aangezien de meeste het spijsverteringskanaal van de dieren niet overleven en anders gedurende de opslag van de mest afsterven. De besmetting van gewassen met (bacteriële) humaanpathogenen, zoals Salmonella en E. coli in mest, kan niet worden uitgesloten. De eventuele risico's zijn echter beperkt tot gewassen die rauw worden gegeten. Dit is niet het geval met akkerbouwgewassen, maar wel bij tuinbouwgewassen. Daarom heeft het Productschap Tuinbouw een hygiëncode opgesteld voor het gebruik van dierlijke mest.

Toediening van organische stof aan de bodem kan eveneens een bijdrage leveren aan de onderdrukking van plantparasitaire aaltjes, maar de effecten zijn evenals bij schimmels niet altijd positief. Uit een literatuuroverzicht blijkt dat in de meeste gevallen na toediening van organische stof een

actieve vermindering van het aantal plantparasitaire aaltjes optreedt, leidend tot een verminderde schade aan het gewas, of geen effect werd gevonden. Meerdere mechanismen werden verantwoordelijk geacht voor de verhoogde weerbaarheid door de toediening van organische stof, zoals i) de vorming van toxische stoffen bij de afbraak van organische stof, ii) de toename van het aantal antagonisten (direct of indirect) door de organische stofgift, iii) de toename van het aantal nematofage schimmels en/of bacteriën die door middel van uitscheiding van enzymen of antibiotica aaltjes kunnen onderdrukken, iv) de effecten van organische stof op eieren of cysten van aaltjes en v) de interacties tussen planten en aaltjes (de teelt van sommige gewassen leidt tot een afname van het aantal plantparasitaire aaltjes).

Er werden echter ook studies gevonden waarin organische stof het aantal plantparasitaire aaltjes vermeerderd. Dit effect is afhankelijk van het soort aaltje en met name bij *Pratylenchus* leidt een toediening van organische stof vaak tot een vermeerdering van het aantal aaltjes.

Geconcludeerd wordt dat de effecten van organische stoftoediening op pathogene aaltjes erg variabel zijn en uiteenlopen van een verlaging tot een toename van het aantal aaltjes. Het effect van een eventueel ziekteverend effect hangt van zeer veel factoren af, zoals het type organische stof, de aaltjessoort, grondsoort, gewas, inwerktijd en techniek, microbiële aspecten en omgevingsfactoren zoals temperatuur en vochtigheid. Ook de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor een eventuele ziekteverende werking, kunnen uiteenlopen. Voorbeelden zijn de vorming van toxische verbindingen (bijvoorbeeld ammoniak) en antagonisme.

Ten behoeve van de beheersing van plantparasitaire aaltjes dient gebruik gemaakt te worden van bestaande richtlijnen, zoals de aaltjesbeheersingsstrategie. Vruchtwisseling, waarbij de teelt van waardplanten op besmette gronden wordt vermeden, is daarvan een zeer belangrijk onderdeel. Aanvullend wordt het gebruik van organische mest en/of compost aangeraden tegen trichodoriden. Biologische grondontsmetting, waarbij grote hoeveelheden vers organisch materiaal worden ingewerkt zodat anaerobe omstandigheden ontstaan, wordt aangeraden tegen o.a. *Pratylenchus*.

Organische stof speelt ook een belangrijke rol voor chemische en fysische bodemkwaliteitsaspecten. Zo kan gemakkelijk afbreekbare organische stof een aanzienlijke bijdrage leveren aan de levering van N, P en S. Stabielere organische stof is van belang voor het vergroten van de capaciteit van de bodem om nutriënten zoals K, Mg en Ca te binden en vocht vast te houden. Organische stof kan ook een belangrijke bijdrage leveren aan de bodemstructuur. Voor het beheer van organische stof wordt in de praktijk veel gebruik gemaakt van de organische stofbalans, waarbij het begrip effectieve organische stof een belangrijke rol speelt. Dit concept is verouderd aangezien het al meer dan 40 jaar geleden is ontwikkeld. Het lijkt gewenst en mogelijk dit concept te verbeteren.

Een samenvatting van richtlijnen voor het beheer van (verse) organische stof, is opgebouwd uit richtlijnen voor i) de strategie van het organische stofbeheer, ii) in te zetten hulpmiddelen, iii) het gebruik van organische meststoffen, iv) gewasresten, v) composteren, vi) vruchtwisseling, vii) grondbewerking en viii) overige hygiënische aspecten en ziekteverendheid.

Tenslotte worden een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan, bestaande uit i) een herijking van het concept van effectieve organische stof, ii) een inventarisatie van methoden voor het karakteriseren van de organische stofkwaliteit, iii) het afleiden en verbeteren van richtlijnen voor de bestrijding van pathogenen en iv) het bestuderen van effecten van organische stofbeheer op diverse bodemkwaliteitsaspecten op de lange termijn.

1 Inleiding

Het beheer van organische stof is een essentieel onderdeel voor het in stand houden en/of verbeteren van de bodemkwaliteit in de akkerbouw. Organische stof is essentieel voor chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen, zoals het vermogen om nutriënten te binden (vooral K, Mg en Ca) en te leveren (N, P en S), het vochthoudend vermogen en de structuurvorming. Daarnaast levert organische stof de benodigde energie en bouwstenen voor het bodemleven. In een voorgaande studie die PPO en NMI in opdracht van Productschap Akkerbouw hebben uitgevoerd, is hier reeds vrij uitgebreid op ingegaan (Van Dijk et al., 2007).

In de betreffende studie is ook ingegaan op het belang van de kwaliteit van organische stof, waarbij gemakkelijk afbreekbare, labiele organische stof en meer stabiele vormen van organische stof kunnen worden onderscheiden. Bekend is dat de gemakkelijk afbreekbare organische stof van groot belang is voor zowel chemische, fysische als biologische kwaliteitsaspecten. Het vrijkomen van nutriënten uit organische stof is voor een belangrijk deel het gevolg van de afbraak van de gemakkelijk afbreekbare fractie. Daarbij zijn behalve de afbreekbaarheid van de organische stof ook de gehalten aan nutriënten van belang, die o.a. tot uiting komen in de C/N-, C/P- en C/S-verhoudingen.

Meer recent is ook gebleken dat gemakkelijk afbreekbare organische stof voor de fysische bodemeigenschappen, zoals de structuurvorming en aggregaatstabiliteit, belangrijker is dan aanvankelijk werd gedacht. Hierbij speelt de activiteit van het bodemleven een grote rol o.a. door de invloed van myceliumdraden van schimmels, plakkerigheid (biofilms) van uitscheidingsproducten van vooral bacteriën (incl. actinomyceten) en door de invloed van regenwormen en wortelontwikkeling op de bodemstructuur.

De activiteit van het bodemleven wordt het sterkst gestimuleerd door de toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof, maar de consequenties voor ziekteverende eigenschappen zijn onvoldoende bekend. Dit was voor Productschap Akkerbouw de aanleiding om een bureaustudie te laten doen waarin de effecten van verse organische stof op diverse bodemkwaliteitsaspecten in beeld worden gebracht. Naast effecten op de chemische en fysische bodemkwaliteit, gaat het daarbij nadrukkelijk om biologische bodemkwaliteitsaspecten, zoals bodemgezondheid en ziekteverendheid.

Een belangrijk handvat voor organische stofbeheer op akkerbouwbedrijven is de organische stofbalans, waarbij de aanvoer en afbraak van organische stof wordt vergeleken. Aan de aanvoerkant wordt daarbij gewerkt met het begrip 'effectieve organische stof', waarmee de hoeveelheid organische stof die één jaar na toediening nog in de bodem resteert, wordt aangeduid. Bij het werken met de organische stofbalans wordt echter geen rekening gehouden met effecten van 'verse organische stof' op het bodemleven. Daarbij is het begrip 'verse organische stof' in deze studie ruim gedefinieerd, waarbij we alle organische materialen die in de akkerbouw op de bodem terecht komen zullen beschouwen. Daarbij gaat het om een scala aan materialen, waarvan de eigenschappen sterk verschillen. We onderscheiden de volgende categorieën i) gewasresten, ii) groenbemesters, iii) stro, iv) dierlijke mest en v) compost. Een centrale vraag is of er in aanvulling op de organische stofbalans aanvullende richtlijnen zijn te geven voor de toediening van verse organische stof, waarbij effecten ervan op het bodemleven en ziekteverendheid zoveel mogelijk worden meegenomen.

De doelstelling van het project is drieledig:

1. kwalitatief en, voor zo ver mogelijk kwantitatief, beschrijven van de effecten van verse organische stof op de biologische bodemkwaliteit en ziektewerendheid op basis van een literatuurstudie. Daarnaast dienen effecten op chemische en fysische bodemeigenschappen te worden meegenomen;
2. opstellen van richtlijnen (en zo mogelijk een raamwerk) voor de toediening van verse organische stof op akkerbouwbedrijven, die mogelijk zijn te gebruiken in aanvulling op de organische stofbalans. Daarbij dienen de resultaten verkregen onder 1 als uitgangspunt te worden gebruikt; en
3. beargumenteerd prioriteren van benodigd onderzoek; opstellen van een plan voor vervolgonderzoek.

In Hoofdstuk 2 gaat A.J. Termorshuizen in op de hygiënische en ziektewerende aspecten van de aanwending van verse organische stof, waarbij het met name gaat om de effecten op schimmels en bacteriën in de bodem. In Hoofdstuk 3 worden de effecten van verse organische stof op aaltjes besproken door T. Thoden en G.W. Korthals. In Hoofdstuk 4 wordt de invloed van organische stof op chemische en fysische bodemeigenschappen behandeld door P. Dekker en R. Postma. Richtlijnen voor de aanwending van verse organische stof zijn in Hoofdstuk 5 samengevat op basis van de informatie uit de voorgaande hoofdstukken. Tenslotte zijn in Hoofdstuk 6 een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

2 Hygiënische en ziekteverende aspecten van verse organische stof

Vaak wordt bij organische stof gedacht aan de positieve effecten die de toediening ervan op de bodemkwaliteit kan hebben. Naast effecten op de chemische en fysische bodemkwaliteit, denkt men daarbij vaak aan positieve effecten op biologische bodemeigenschappen, zoals het ziekteverend vermogen van de grond. Men dient zich echter te realiseren dat het gebruik van met name *verse organische stof* ook negatieve effecten kan hebben op de bodemkwaliteit. In dit hoofdstuk gaan we in op zowel positieve als negatieve effecten van de aanwending van *verse organische stof* op biologische bodemeigenschappen. Daarbij staan de effecten op schimmels en bacteriën centraal.

2.1 *Hygiënische aspecten van de aanwending van organische stof*

Waarvandaan organische stof ook afkomstig is, altijd moet in de gaten gehouden worden dat pathogenen kunnen worden versleept. Voor de teler is dit vooral van belang bij de aanwending van plantaardige organische stof. Bij dierlijke organische stof spelen sommige humaanpathogenen een rol. Het gaat dus om de vraag hoe een teler de kans op introductie van ongewenste pathogenen die in aan te wenden organische stof aanwezig zijn kan minimaliseren (Termorshuizen et al., 2005).

2.1.1 Gewasresten

Het is gewoon dat in *verse, ongecomposteerde gewasresten* pathogenen aanwezig zijn. Het gaat dan om allerlei soorten plantenpathogenen. Het overgrote deel van de bovengrondse pathogenen (roesten, meeldauwen, allerlei bladplekkenziekten) sterft snel af als de gewasresten in de grond worden gebracht. Overwintering op of boven de grond levert voor deze bovengrondse pathogenen een goede kans tot overleven: dit is een risico van minimale grondbewerking.

Verslepen van gewasresten van het ene naar het andere perceel moet in zijn algemeenheid worden afgeraden vanwege het risico op versleping van plantenpathogenen. Daarmee kunnen de gunstige effecten van vruchtwisseling op bodempathogenen teniet worden gedaan. Wordt versleping van gewasresten toch overwogen, dan moet men er zeker van zijn dat pathogenen geen problemen kunnen opleveren. De risico's van versleping van organische stof van het ene naar het andere perceel hangen af van het type gewas en in sterke mate of de organische stof na versleping de grond wordt ingebracht. Ook als alleen bovengrondse gewasresten worden versleept is de kans op versleping van bodempathogenen aanzienlijk. Te denken valt aan o.a. diverse voetschimmels bij granen, *Verticillium* (*Verticillium dahliae*), Zwarte spikkel (*Colletotrichum coccodes*) bij aardappel en Witrot (*Sclerotium cepivorum*) bij ui. Deze bodempathogenen infecteren weliswaar vanuit de bodem de wortels, maar uiteindelijk koloniseren deze ook massaal de bovengrondse stelen. Ook Rattenkeutelziekte (*Sclerotinia sclerotiorum*) kan een probleem zijn. Sommige bladpathogenen kunnen ook gedurende een winterperiode overleven in de grond, bv. *Cercospora* (*Cercospora beticola*) bij suikerbiet.

Richtlijnen gewasresten

- Bij aanwenden van gewasresten op een ander perceel dan waar de organische stof is geproduceerd: doe dit bij sterke voorkeur alleen na compostering van de gewasresten.
- Bij aanwenden van ongecomposteerde organische stof: vergewis u ervan dat de organische stof geen 'beruchte' pathogenen bevat; werk de organische stof bij voorkeur de grond in.
- Bedenk dat het effect van gewasresten op het organische-stofgehalte van de grond beperkt is, omdat deze voor een groot deel uit water bestaat. Bovendien is de organische stof die na een jaar resteert (de *effectieve organische stof*) beperkt.

2.1.2 Compost

Hygiënisatie van verse organische stof is een van de hoofdredenen om te composteren. Gedurende een goed compostingsproces worden de pathogenen in het algemeen gedood (Termorshuizen et al., 2005). Vergisting leidt tot afdoding van veel pathogenen, maar niet alle; daarom wordt nacompostering aangeraden (Termorshuizen et al., 2003; van Rijn & Termorshuizen, 2007). Kennis omtrent de doding van pathogenen tijdens compostering wordt belangrijker als de te composteren organische stof zuiverder van oorsprong is: als de organische stof bijvoorbeeld alleen uit bietenstaartjes bestaat, dan is kennis omtrent de doding van het rhizomanievirus essentiëler dan wanneer de organische stof bestaat uit GFT- of groenafval met een mogelijke minieme aanwezigheid van bietenafval (Termorshuizen et al., 2005). Voor wat betreft de hygiënische aspecten van aanwending van compost kan de teler kiezen uit twee scenario's, ieder met zijn eigen voor- en nadelen:

- Zelf composteren: in dit geval kent de teler zijn eigen organische stof; hij zal niet snel voor grote verrassingen komen te staan. Zelf composteren levert echter wel hogere risico's dat de organische stof niet geheel gehygiëniseerd wordt in vergelijking met professioneel gecomposteerde organische stof. Bedenk dat het goed composteren van organische stof niet eenvoudig is. Als de organische stof van het eigen bedrijf afkomstig is en niet volkomen is gehygiëniseerd, bestaat een grotere kans dat aanwezige pathogenen op eigen bedrijf 'gerecycleerd' worden, waardoor de positieve effecten van vruchtwisseling op reductie van bodempathogenen geheel of ten dele teniet worden gedaan.
- Door professionele composteerders omgezette organische stof gebruiken: de teler kan er in principe verzekerd van zijn dat de compost voldoet aan de gestelde eisen en dus, in principe, vrij is van pathogenen; 100% zekerheid hierover is nooit te krijgen. De oorsprong van de organische stof is echter relatief onzeker en daarom is het verstandig om altijd analyserapporten te bestuderen, waarbij dan vooral gelet moet worden op het organische stofgehalte, zoutgehalte en de zware-metalengehaltes van de compost.

Het is verstandig dat de teler tijd besteedt aan de opbouw van een vertrouwensrelatie met de composteerder: koppel terug wat de ervaringen zijn van de compost en blijf kritische vragen stellen over de oorsprong van de organische stof en de samenstelling. Laat ook eens uw eigen partij compost onderzoeken en vergelijk dit met het onderzoeksrapport van de composteerder, dat veelal is gebaseerd op een veel grotere partij. Het is af te raden te 'shoppen' voor de meest goedkope compost.

Richtlijnen composteren

- Verdiep u goed in composteringstechnieken voordat u de beslissing neemt om zelf te gaan composteren.
- Bouw een goede relatie op met uw composteerder: laat hem weten wat u wil hebben, en geef aan of u tevreden bent. Vergelijk eens een onderzoek aan uw eigen partij compost met het onderzoeksrapport dat de composteerder heeft, en bespreek dat met de composteerder.

2.1.3 Dierlijke mest

Overdracht van onkruidzaden en plantpathogenen met rundveemest is niet uitgesloten, maar is te beperken door het opvolgen van een aantal maatregelen (Elema & Scheepens, 1992). Ruwvoer van het vee vormt de grootste bron van onkruiden. Het risico van overdracht van onkruidzaden moet worden geschat aan de hand van de voorgeschiedenis van de mest, omdat directe analyse van mest op de aanwezigheid van zaden niet mogelijk is. Het gaat daarbij om het toegevoegde risico in vergelijking met andere verspreidingsbronnen (aanhangende grond aan machines, zaaizaad en pootgoed, verstuiven van grond, slootbagger, beregeningswater etc.).

Door continueelt snijmaïs zijn in het verleden atrazinresistente onkruiden naar voren gekomen. Gebruik van atrazin is niet meer toegestaan, maar bij onvoldoende wisseling van typen herbiciden blijft de kans bestaan dat in een continueelt van snijmaïs resistente onkruiden zich ontwikkelen. In grasland komen in het algemeen geen onkruiden voor die voor de akkerbouw aanleiding tot problemen geven.

De meeste onkruidzaden overleven niet erg lang in mest, maar het afsterven is afhankelijk van de soort onkruid (zwaluw tong en melganzevoet overleven relatief lang) en de temperatuur (bij hogere temperatuur sterven de onkruiden sneller af). Bij mestopslag bij een temperatuur van 17 °C zijn de meeste onkruidzaden na 4 weken afgestorven.

Afhankelijk van de samenstelling van onbewerkt ruwvoer kan plantpathogenen bevatten (denk o.a. bij aardappelen in ruwvoer aan aardappelcysteaaltje, wortelknobbelaaltje, zwartbenigheid, Phoma, droogrot, wratziekte en poederschurft), maar die overleven meestal niet in het spijsverteringskanaal van het dier. Besmetting van aardappelcysteaaltje kan alleen via voerresten die direct in de mest terecht komen, want in het spijsverteringskanaal worden ze gedood. Cysten van bietencysteaaltje kunnen in heel beperkte mate wel het spijsverteringskanaal overleven, maar na 2 maanden opslag van mest zijn ze normaal gesproken dood. Verplaatsing van aaltjes door aanhangende grond op rooimachines is een veel grotere verspreidingsbron van aaltjes dan via veevoer en mest.

Phoma wordt veel gemakkelijker via pootgoed dan via mest verspreid. Na 1 tot 3 weken mestopslag wordt de schimmel volledig gedood. Dit geldt ook voor Erwinia. Als de schimmel die rhizomanie overdraagt (*Polymyxa betae*) via voerresten direct in de mest komt, kan het 12 weken mestopslag overleven. De kans op verspreiding van rhizomanie door andere media (grond, bagger, slootwater) is echter groter dan via mest (Elema & Scheepens, 1992).

Het is normaal dat dierlijke mest humaanpathogenen bevat, zoals *Salmonella* en *E. coli* O157:H7. Daarom worden aan de compostering door professionele composteerders procescondities geëist die ook deze pathogenen afdoden. In de Nederlandse landbouw wordt echter in de regel ongecomposteerde dierlijke mest aangewend. Dit op zich geeft al aan dat het risico dat deze pathogenen via mest in de humane voedselketen terechtkomen gering geacht wordt. De risico's lijken inderdaad beperkt te zijn (Franz, 2007). Risico's met deze pathogenen zijn vele malen groter in de vleesverwerkende industrie en in restaurantkeukens. In de land- en tuinbouw zijn de grootste uitbraken (zoals gedocumenteerd in Californië) geassocieerd met beregning van met humaanpathogenen besmet oppervlaktewater. Desalniettemin is aangetoond dat ook via aanwending van vooral vloeibare dierlijke mest planten besmet kunnen geraken door opname via de plantenwortel of door besmetting door opspattend water (Franz, 2007). De risico's zijn beperkt tot gewassen die rauw gegeten worden. Het Productschap Tuinbouw heeft een hygiëencode opgesteld over het beperken van risico's door gebruik van dierlijke mest:

- als dierlijke mest in contact kan komen met het product, dient het minimaal 3 maanden vóór de oogst te worden toegepast; en
- als dierlijke mest tijdens de teeltfase wordt toegepast wordt aangeraden bewerkte mest (gecomposteerd, gedroogd, verhit) toe te passen.

Een geval apart is de actuele problematiek rondom de Q-koorts in de geiten- en schapenhouderij. In zijn algemeenheid geldt op dit moment dat men zeer terughoudend moet zijn in het gebruik van mest die afkomstig is van geiten en schapen. De risico's spitsen zich toe op situaties waarbij stofontwikkeling vanuit mest plaats heeft. Mensen kunnen via dit stof geïnfecteerd worden. Compostering leidt niet tot doding van de ziekteverwekker, de bacterie *Coxiella burnetii*. De ziekteverwekker kan langdurig in de grond overleven. De situatie wat betreft regelgeving kan op dit moment snel veranderen. Het is daarom

verstandig de berichten van LNV (www.minlnv.nl) en VWA (www.vwa.nl) goed in de gaten te houden. Niet uit te sluiten valt dat de Q-koorts-bacterie zich uitbreidt naar andere huisdieren.

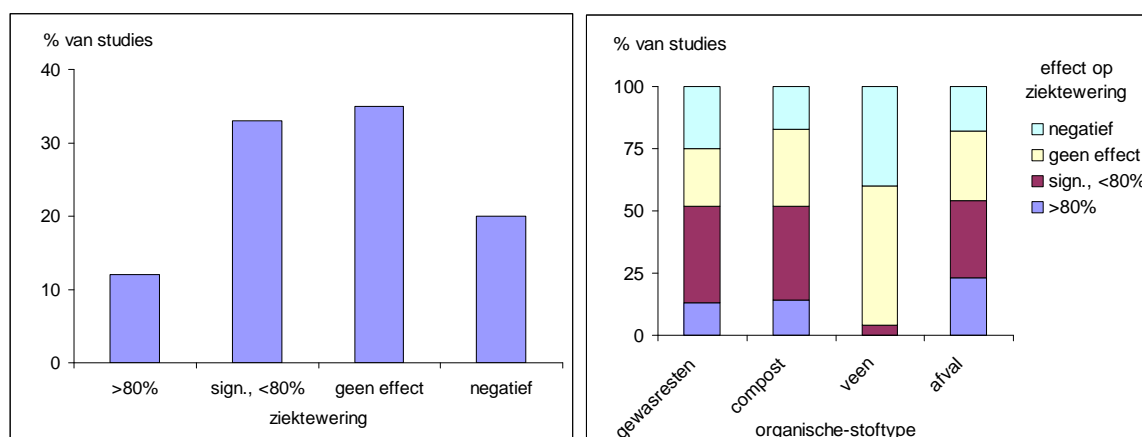
Richtlijnen dierlijke mest

- Bij gebruik van rundermest: weet wat de herkomst is van de mest. Aangezien de meeste onkruidzaden en plantpathogenen afsterven tijdens de mestopslag, wordt mestopslag gedurende ca. 2 maanden voor het gebruik aangeraden
- Wees terughoudend met de aanwending van onbewerkte mest tijdens een teelt.
- Wees op dit moment zeer terughoudend met de aanwending van geiten- en schapenmest in verband met de Q-koorts. Hou de actualiteiten hierover goed in de gaten.

2.2 *Effect van verse organische stof op ziektevering en –stimulering*

2.2.1 Ziekteverendheid

In het algemeen wordt aan organische stof een hoge mate van ziekteverende werking toegeschreven en daarmee ontstaat soms het beeld dat organische stof in alle gevallen tot ziektevering leidt. Dit is niet waar. Bonanomi et al. (2007) maakten een uitgebreid literatuuroverzicht van effecten van organische stof waarin van 250 wetenschappelijke artikelen de effecten van 2423 waardplant/pathogeen-combinaties werden samengevat. Hierbij maakten ze onderscheid in vier typen organische stof: gewasresten, compost, veen en "afval". Onder afval werd in dit onderzoek verstaan o.a. ongecomposteerde dierlijke mest, vis- en beendermeel, papierresten en resten uit de olijfolieverwerkende industrie. Bij de interpretatie van resultaten van onderzoek aan dit soort afvalstromen met het doel om bodempathogenen te bestrijden moet bedacht worden dat dit altijd heeft plaatsgevonden met hoeveelheden afval die ver uitgaan boven wat toegestaan is in Nederland. Dit is essentieel voor de interpretatie van deze literatuurgegevens voor wat betreft de bruikbaarheid. De kortst mogelijke samenvatting van het uitgebreide literatuuroverzicht van Bonanomi et al. (2007) is, dat aanwending van organische stof in 45% van de onderzochte waardplant/pathogeen-combinaties leidde tot significante ziektevering (waarvan 12%-punt leidde tot zeer sterke (> 80%) ziektevering), in 35% van de gevallen was er een effect afwezig en in 20% van de gevallen leidde de aanwending van organische stof tot stimulering van de ziekte (Figuur 2.1). Het effect hangt uiteraard af van het type organische stof. Gewasresten, compost en afval laten een sterke ziektevering (> 80%) zien in 13-23% van de onderzoeken, en een minder sterke (< 80%, maar wel significant) ziektevering in 31-39% van de onderzoeken (Figuur 2.1). De gemiddelde ziektevering is voor deze organische stof-types ongeveer eender: 52, 52 en 54% ziektevering voor resp. gewasresten, compost en afval. Alleen veen vertoont nauwelijks ziekteverende werking (Figuur 2.1). Dit is een duidelijke aanwijzing dat het bodemleven sterk betrokken is bij het tot stand brengen van de ziektevering: veen is geen voedselbron, stimuleert het bodemleven niet en brengt dus nauwelijks ziektevering met zich mee.



Figuur 2.1. Effect van OS op ziektevering: samenvatting van een literatuuronderzoek van 250 studies waarin in totaal 2423 pathogeen/waardplantcombinaties betrokken zijn. Links: totaaleffect op ziektevering; rechts: effect op ziektevering per bron van organische stof. Bron: Bonanomi et al., 2007.

2.2.2 Ziektestimulering

Van alle organische stoftypen is ook significante ziektestimulering gemeld: 40% van de onderzoeken meldde een ziektestimulerende werking van veen en 17-25% van de onderzoeken meldde dit voor de andere organische stoftypen (Figuur 2.1). Het mechanisme voor ziektestimulering verschilt: bij de meer verse vormen van organische stof (gewasresten, dierlijke mest en afval) profiteert het pathogeen net als de rest van het bodemleven van de in de organische stof aanwezige nutriënten. Bij veen ligt dit anders: hier moet het ziektestimulerende effect vooral vergeleken worden met het medium dat het toegepaste veen verving, grond bijvoorbeeld. Dit is, met de daarin van nature aanwezige organische stof, normaliter ziekteverender dan het veen wat daarvoor in de plaats kwam.

2.2.3 Ziekteverende werking afhankelijk van het soort pathogeen

De ziekteverende werking hangt af van het soort pathogeen. Een sterke ziekteverende werking wordt vaak gevonden voor *Verticillium dahliae*: 81% van het onderzoek leidde tot significante ziektevering, terwijl ziektestimulering vrijwel nooit gevonden werd (Tabel 2.1). Dat hier vrijwel nooit ziektestimulering gevonden werd, is verklaarbaar door de ecologie van dit pathogeen: *Verticillium* is een typische wortelparasiet, die in de bodem volledig inactief is. *Rhizoctonia*, *Pythium* en bodembewonende *Phytophthora* zijn daarentegen heel goed in staat om organische stof als voedingsstof te gebruiken, en hier wordt frequent ziektestimulering gevonden (Tabel 2.1). Vaak gaat het dan om kiemplantziekten.

Tabel 2.1. Ziekteverende werking (in % van gevallen) van gewasresten, compost, veen en organisch afval tegen vijf bodempathogenen. ++ = significante ziektevering > 80%, + = significante ziektevering < 80%, 0 = geen ziektevering, - = significante ziektestimulering. Bron: Bonanomi et al., 2007.

organische stof	<i>Rhizoctonia solani</i>				<i>Pythium</i>				<i>Fusarium</i> ¹				<i>Phytophthora</i> ²				<i>Verticillium dahliae</i>			
	++	+	0	-	++	+	0	-	++	+	0	-	++	+	0	-	++	+	0	-
gewasresten	9	32	16	43	1	28	23	48	5	51	25	19	21	29	41	9	31	43	23	3
compost	5	27	48	20	19	44	30	7	14	60	23	3	18	40	33	9	6	55	22	18
veen	1	3	36	60	4	7	11	78	0	0	42	58	0	12	50	38	-	-	-	-
afval	18	23	36	23	-	-	-	-	21	25	46	8	10	28	45	17	63	18	19	0

¹ Voornamelijk *Fusarium* op tuin- en glastuinbouwgewassen.

² Alleen bodembegonden soorten *Phytophthora*.

2.2.4 Beperkingen voor toepassing in de praktijk

Samenvattend laat het literatuuroverzicht van Bonanomi et al. (2007) dus zien dat, behalve voor veen, ziektevering de regel is, maar ziektestimulering zeker geen zeldzame uitzondering. Deze conclusie is waarschijnlijk helaas iets té positief: negatieve effecten van organische stofaanwending worden, net als het ontbreken van effecten, veel minder vaak ter publicatie aan tijdschriften aangeboden dan aanwezigheid van ziektevering. Voor de praktijk zijn de resultaten helaas nog verder geflatteerd omdat zeer veel van het organische stofonderzoek gedaan wordt (1) met extreem hoge toepassingen die voor Nederland onrealistisch zijn en (2) met controles die voor veldsituaties onrealistisch waren. Een korte toelichting hierbij:

Ad 1. *Extreem hoge toepassingen*: Veel onderzoek naar de ziekteverende werking van organische stof wordt gedaan in potexperimenten met toepassingen van 20 vol.-% of meer. Ook bij veldtoepassingen worden vaak pas bij extreme toepassingen effecten gevonden. Zo deden Coventry et al. (2005) veldproeven met hoeveelheden van 50 vol.-% toepassingen van gecomposteerd uienafval ter bestrijding van Witrot (*Sclerotium cepivorum*). Lazarovits en collega's hebben veel met het schadelijk effect van ammonia op bodempathogenen gewerkt, maar dit werkt pas bij inwerking van 2-10% aan N-rijke verbindingen, zoals bloedmeel of visemulsie, wat gelijk is aan 60-300 ton/ha, iets wat in Nederland onhaalbaar is wat betreft normen en bovendien, bij prijzen van grofweg € 1 per kg, ook nog eens onbetaalbaar is (Lazarovits et al., 2005).

Ad 2. *Voor veldcondities onrealistische controles*: Ziektevering wordt altijd uitgedrukt ten opzichte van een controle waar de organische stof niet werd aangewend. De mate van ziekteverendheid hangt sterk af van de mate waarin ziekte in deze controle optreedt. Ten opzichte van bijvoorbeeld een gesteriliseerde grond zal praktisch altijd iedere vorm en hoeveelheid van niet-gesteriliseerde organische stof wel enige mate van ziektevering te zien geven. Maar waar het in de praktijk om gaat is de vraag of een bepaalde organische stof-aanwending een *verhoogde* ziektevering geeft van de veldgrond. Zeer veel ziekteverendheidsonderzoek is verricht aan potgrond, dat meestal voor een groot gedeelte uit veen bestaat. Als organische stof daar een grote ziekteverende werking heeft, dan kan die misschien ook wel verwacht worden in een natuurlijke grond (die van nature veel meer ziekteverend is dan een pure veengrond), maar het effect zal bijna altijd fors geringer zijn. Bovendien zijn effecten van organische stof op het bodemleven ook nog eens sterk pH- en textuurafhankelijk.

Ondanks de enorme hoeveelheid wetenschappelijk onderzoek die is verricht naar het ziekteverend vermogen van organische stof, is maar naar een beperkt scala van gewas/waardplant-combinaties gekeken. De reden hiervoor is pragmatisch: bepaalde pathogenen zijn lastig te hanteren in experimenten, en bio-toetsen met bepaalde gewassen, zoals aardappel, kunnen lastig zijn in vergelijking met andere gewassen. De vraag is dan hoe resultaten van onderzoek geëxtrapoleerd kunnen worden. Dit wordt in 2.4 uitgewerkt door het mechanisme van ziektevering nader te bekijken.

2.3 Specifieke bodemverbeteraars

Een keur aan bodemverbeteraars is bekend. In de regel is dit een of andere vorm van (gecomposteerde) organische stof, of een mengsel van diverse typen organische stof, al dan niet aangeënt met bepaalde micro-organismen waarvan een bepaalde werking verondersteld wordt. Vanwege de veelheid aan beschikbare bodemverbeteraars is een uitgebreide behandeling van de beschikbare bodemverbeteraars hier niet relevant. Enkele algemene richtlijnen zijn wel nuttig:

- Effecten van bodemverbeteraars op bodempathogenen hangen af van het soort pathogeen, de dichtheid van het pathogeen in de bodem en de bodemomstandigheden zoals pH en textuur. Daarom is het moeilijk om in zijn algemeenheid iets te zeggen over de effecten van bodemverbeteraars op bodempathogenen, behalve wellicht in die gevallen waarin de bodemverbeteraars een groot positief effect laten zien op de groeiomstandigheden voor het gewas. Een dergelijk effect zal ook gewasafhankelijk zijn.
- Effecten van bodemverbeteraars zijn dichtheidsafhankelijk. Van toepassingen in geringe hoeveelheden zal het effect bijna altijd moeilijk te meten of afwezig zijn. Zelfs toepassingen in de grootte-orde van 20 ton/ha zijn betrekkelijk gering om een direct en groot effect te verwachten.
- Bij toepassing van biologische bestrijders in de vollegrond is het 'aanslaan' van deze biologische bestrijders hét grote probleem. Dit heeft te maken met het sterk bufferend vermogen van de grond. Dit is in het algemeen erg groot, en dat geldt dan ook tegen de vestiging van 'goede' organismen als biologische bestrijders: een bodem 'weet' niet wat 'goed' en 'slecht' is. Een met biologische bestrijders (of met bodem- of plantversterkers) aangerijkte compost is dan weliswaar een van de best denkbare media om zulke organismen massaal aan een bodem toe te dienen, het blijft onzeker of deze organismen daadwerkelijk zullen aanslaan. De omstandigheden als klimaat, seizoen, bodemvochtigheid en grondsoort zijn voor het succes van het 'aanslaan' essentieel. Bijna altijd zijn de omstandigheden die noodzakelijk zijn voor het aanslaan niet nauwkeurig bekend.

2.4 Enkele algemene beschouwingen over het ontstaan van ziekte en ziektevering

2.4.1 Wanneer ontstaat ziekte?

Een door een bodempathogeen veroorzaakte plantenziekte kan ontstaan als (1) het pathogeen in voldoende mate aanwezig is, (2) er een voor dit pathogeen vatbare plant aanwezig is en (3) de juiste omstandigheden voor infectie aanwezig zijn.

Ad 1. Aanwezigheid van bodempathogenen wordt op de allereerste plaats bepaald door de voorvruchten. Daarnaast zijn ook van belang de aanwezigheid van natuurlijke vijanden en het vermogen van het pathogeen te groeien in afwezigheid van een vatbaar gewas op organische stof (= saprofytisch vermogen).

Verbreiding van bodempathogenen op recent ingewerkte organische stof kan leiden tot grote schade in het volggewas, vaak in de vorm van een slechte opkomst. Het is voor de teler het allerbelangrijkst om te weten is of (a) een bepaald schimmelprobleem gespeeld heeft op een bepaald perceel (d.w.z. de historie van het perceel), (b) de omstandigheden waaronder het probleem toeneemt, en (c) de vatbaarheid van het beoogde gewas. Pas na afweging van deze drie elementen kan de teler een inschatting van de risico's maken.

Het is essentieel dat een teler weet welke problemen op een bepaald perceel spelen. Is er ooit een probleem met *Pythium* geweest, dan is het waarschijnlijker dat dit op dit perceel ook in de toekomst zal terugkeren dan op een perceel waar dit probleem voor zover bekend nog nooit gespeeld heeft. Als dan ook de omstandigheden voor het pathogeen gunstig zijn, zoals een natte bodem in combinatie met een slechte bodemstructuur, en het gewas vatbaar is voor omvalziekte en het zaad onbehandeld is, neemt het risico fors toe. Een algemeen probleem hierbij is, dat ziektes die veroorzaakt worden door bodempathogenen vaak moeilijk te herkennen zijn. Vaak is het enige symptoom een wat achterblijven van de groei. Als het bodempathogeen egaal verspreid is over het veld, zoals vaak voorkomt bij

Verticillium, dan valt de groeiachterstand nauwelijks op, terwijl de oogstreductie in Nederland in aardappelen gemakkelijk 10% kan bedragen.

De rol van organische stof is hierbij dat deze, indien groen aangewend, gedurende korte tijd dient als selectieve bron van organische stof voor het pathogeen. Het pathogeen 'ziet' zulke verse, groene organische stof als een heel verzwakte plant. Dit type organische stof is nog niet geschikt voor veel saprofytische schimmels. Pathogenen die verse, groene organische stof goed kunnen aanpakken zijn met name Pythium, Phytophthora, Rhizoctonia en Aphanomyces.

Op basis van het voorgaande zou een simpel advies kunnen zijn om met de zaai van een gewas enkele weken te wachten na inwerken van een groenbemester of andere gewasresten. Zo'n eenvoudig advies doet geen recht aan de complexiteit van de werkelijkheid, want tegenover de hierboven beschreven risico's is er ook het voordeel van het tegengaan van N-uitspoeling en het maximaliseren van de opbrengst aan groenbemester. Het advies is genuanceerd: als de omstandigheden zó zijn dat er een toegenomen risico is op vooral Pythium, Phytophthora, Rhizoctonia of Aphanomyces dan is een wachtperiode tussen het inwerken van de groenbemester en het zaaien van een nieuw gewas aan te raden. Een toegenomen risico op deze pathogenen kan vooral ingeschat worden door de historische kennis van de teler van betreffend perceel in combinatie met het te telen gewas. Van de gewassen die in dit verslag centraal staan is dan vooral suikerbiet een riskant gewas, en dan nog met name wanneer het zaaizaad niet behandeld is met fungicide.

Ad 2. Een in principe vatbare plant tolereert ziekte beter onder optimale omstandigheden en ondervindt het meest hinder van pathogenen onder suboptimale omstandigheden (bv. verdichte bodem).

Ad 3. De omstandigheden voor infectie zijn samengesteld uit abiotische omstandigheden (vooral temperatuur en vochtigheid van de grond) en biotische omstandigheden (afwezigheid van natuurlijke vijanden, incl. concurrenten). Daarnaast zijn omstandigheden voor verbreiding op vers ingewerkte organische stof van belang (zie onder Ad 1).

2.4.2 Wanneer ontstaat ziektevering?

Uit de hierboven geschetste omstandigheden die benodigd zijn voor ziekte kan gedestilleerd worden wanneer ziektevering optreedt. Op de eerste plaats moet de organische stof selectief door de ziekteverende micro-organismen gebruikt kunnen worden, en niet door de bodempathogenen. Als de organische stof effect heeft op de bodemstructuur, dan zal dit ook een effect hebben op de resistentie of tolerantie van de plant tegen bodempathogenen. Dit zal zich vooral voordoen op gronden met een te laag organische stofgehalte, omdat de hoeveelheid organische stof die in de regel aangewend mag worden te gering is om na één aanwending een effect te zien op gronden met een hoger organische stofgehalte. Uiteraard is er binnen een bedrijf de mogelijkheid om op het ene perceel meer organische stof aan te brengen en op het andere perceel minder. Voor het overige zijn aanwendingen van organische stof een oefening in geduld: er zijn wel effecten te verwachten, maar alleen op de langere termijn.

2.4.3 Bodempathogenen in een breder kader

Aanwending van organische stof met het doel om bodempathogenen te onderdrukken is maar één aspect in de beheersing van bodempathogenen. Als een eenmalige aanwending van organische stof het enige middel is om bodempathogenen te bestrijden dan is deze gedoemd te mislukken. Effecten

hangen af van de soort bodempathogeen die aanwezig is en de dichtheid waarmee deze aanwezig is. Hoe een bepaalde soort bodempathogeen reageert op een bepaalde organische stof-aanwending moet worden ingeschat. Zijn de dichtheden van het bodempathogeen erg hoog, dan zal een reductie van deze dichtheid met 50% mogelijk nauwelijks effect hebben op het optreden van ziekte. Het is dus verstandig om al in actie te komen voordat de besmetting te hoog geworden is. Effecten hangen ook af van de vatbaarheid en tolerantie van het te telen gewas. Als er een dringende noodzaak is een bepaalde bodempathogeen te bestrijden dan moet een aantal maatregelen tegelijk overwogen worden. Hieronder valt: directe bestrijding (chemisch, biologische grondontsmetting, inundatie), cultuurmaatregelen gericht op de conditie van de bodem (structuurverbetering) en van de plant (bemestingsniveau), en cultuurmaatregelen gericht op bestrijding van het pathogeen (vruchtwisseling, raskeuze, eventueel bekalking), dit alles afhankelijk van de aanwezige pathoge(e)n(en).

Richtlijnen

- Ken de bodempathogenen die op een perceel voor problemen zorgen.
- Verwacht van organische stof geen wonderen, maar pas het toe in combinatie met andere maatregelen.
- Er is sprake van een sterk toegenomen kans op kiemplantziektes als er verse (groene) organische stof is ingewerkt en als direct erna een gewas is gezaaid, met name als de grond (te) nat is. Als het te zaaien gewas gevoelig is voor kiemplantziektes, als het perceel een historie van deze ziektes heeft en/of als de omstandigheden voor deze ziektes goed is (d.w.z. slecht kiembed, te natte grond), werk dan alleen groene organische stof in als enige weken met zaaien gewacht kan worden.

3 Effecten van verse organische stof op aaltjes

3.1 *Introductie*

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is beschreven, kan de toediening van organische stof aan grond een bijdrage leveren aan de onderdrukking van plantenziekten maar zijn de effecten niet altijd positief. Dit geldt ook voor plantparasitaire aaltjes (zie ook Litterick et al., 2004; Noble and Coventry, 2005; zie Hoofdstuk 3.3 Resultaten). De mechanismen die verantwoordelijk kunnen zijn voor de verhoogde weerbaarheid van de bodem tegen plantenziekten kunnen verlopen via veranderingen in fysische, chemische en/of biologische parameters. Daarbij worden de biologische parameters vaak als de meest belangrijke gezien. Hierbij worden de volgende mechanismen onderscheiden:

- competitie (tussen pathogeen en andere micro-organismen die door de toevoeging van organische stof selectief gestimuleerd worden);
- antibiose (de vorming van toxische stoffen die door specifieke micro-organismen geproduceerd worden);
- systemisch geïnduceerde resistentie (stimulatie van de plantenweerbaarheid, geïnduceerd door vooral bacteriën in de rhizosfeer);
- parasitisme (door schimmels (bijvoorbeeld *Trichoderma*) en predatie (door mijten en springstaarten);
- de vorming van toxische stoffen tijdens de afbraak van de organische stof. Het gaat hier om een microbieel specifiek proces; welke stoffen dit zijn hangt af van de omstandigheden; bij biofumigatie, nu in onderzoek, gaat het om door koolachtigen gevormde glucosinolaten; bij biologische grondontsmetting gaat het, waarschijnlijk, om ammoniak en/of azijnzuur; bij aanwending van grote hoeveelheden organische stof met laag C/N-gehalte toegepast onder voldoende vochtige omstandigheden gaat het om ammoniak; en
- het verbeteren van de algemene fitness van de plant als gevolg van een verbeterde opname van (micro)nutriënten en/of verbeterde structuur.

3.2 *Methodiek*

In dit hoofdstuk ligt de focus op de effecten van toevoegingen van organische stof op aaltjes. Hiervoor is gebruik gemaakt van de databank "ISI Web of Knowledge" (<http://apps.isiknowledge.com>) met alle wetenschappelijke artikelen vanaf 1945 tot 2009. Binnen de studie ligt het accent op een beperkt aantal combinaties van soorten organische stof en gewas (Tabel 3.1):

Tabel 3.1. Overzicht van de soorten organische stof, waarvan de effecten van toediening op ziektevererende eigenschappen van een beperkt aantal geselecteerde gewassen wordt besproken in de tekst.

Soort organische stof	gewas
compost	suikerbiet
gewasresten	aardappelen
groenbemesters	granen
dierlijke mest (resten)	maïs
stro	

Voor het verwerken is gebruik gemaakt van de publicaties die niet ouder zijn dan 10-15 jaar. Eerdere

studies zijn al opgenomen in reviews van bijvoorbeeld D'Abbaddo (1995), die alleen al voor de periode van 1982 tot 1994 een aantal van 224 publicaties vonden die de effecten van de toediening van organische stof op aaltjes onderzocht hebben. In een nog ouder review-artikel zijn door Muller en Gooch (1982) 125 studies voor de periode vanaf 1973-1982 behandeld.

Omdat vele aaltjessoorten niet plantenparasitair zijn, en een heel belangrijke rol voor de afbraak en mineralisatie van nutriënten kunnen spelen, zijn niet alleen de effecten op plantparasitaire aaltjes behandeld, maar zijn ook artikelen opgenomen waarin de effecten van organische stof op de totale aaltjesgemeenschappen zijn onderzocht.

3.3 Samenvatting resultaten

De tabel in Bijlage 1 geeft een overzicht van de voor deze studie opgenomen publicaties (resultaten). Hieruit blijkt dat organische stof soms leidt tot een gelijk blijven of vermindering van het aantal plantparasitaire aaltjes en soms tot een toename. Dit wordt achtereenvolgens besproken in de hierna volgende paragrafen.

3.3.1 Afname van plantparasitaire aaltjes; mechanismen

In de meeste studies wordt geen effect of een actieve vermindering van het aantal plantparasitaire aaltjes gevonden na toediening van organische stof. Een vermindering van het aantal plantparasitaire aaltjes leidt in de meeste gevallen tevens tot een verminderde schade aan het gewas (Mojtahedi et al., 1993; Al-Rehiyani and Hafez, 1998; Al-Rehiyani et al., 1999; Zahid et al., 2002). Meerdere mechanismen kunnen hierbij een rol spelen:

1. Ten eerste kunnen er toxische stoffen, zoals fenolen, tanninen en terpenen vrijkomen, die de aaltjes (deels) verlammen en/of doden (Chitwood, 2002). Daarnaast kunnen er bij de decompositie van de organische stof verschillende afbraakstoffen ontstaan, zoals ammoniak, nitriet, en waterstofsulfide (Rodriguez-Kabana, 1986). Veel van deze stoffen zijn al bij lage concentraties direct dodelijk voor aaltjes. Mogelijk dat hier ook (kleine)veranderingen in bijvoorbeeld de pH, structuur en/of andere aspecten van de bodem een rol spelen.
2. Een ander mechanisme is een toename van de hoeveelheid antagonisten die invloed hebben op aaltjes. Organische stof toevoeging kan direct effect hebben op de hoeveelheid antagonisten, zoals bij sommige schimmels die organische stof als voedsel kunnen gebruiken en tegelijk met hun schimmeldraden aaltjes kunnen vangen (Cooke, 1962). Daarnaast kan organische stof ook indirect effect hebben op antagonisten doordat de hoeveelheid voedsel, die bijvoorbeeld kan bestaan uit bacterievore aaltjes, is toegenomen (Van den Boogert et al., 1994). Een specifiek voorbeeld hiervan is de toename bij sommige carnivore aaltjes, zoals sommige *Mononchidae*. Bij deze groep kunnen de juvenielen leven van bacteriën. Hierdoor kunnen als gevolg van een opbloei bij bacteriën ook de volwassen stadia in aantallen toenemen, die vervolgens weer hun effect kunnen hebben op andere aaltjes. Toch is dit vaak niet specifiek voor plantparasitaire aaltjes en ook lastig te manipuleren.
3. Een ander voorbeeld van indirecte effecten van organische stof op antagonisten is de toename van parasitaire schimmels en/of bacteriën, die door middel van de uitscheiding van enzymen (proteases of chitinases) of antibiotica (Rodriguez-Kabana et al., 1983; Galper et al., 1991) effect hebben. De proteases of chitinases kunnen de cuticula en ei-schaal van aaltjes aantasten. Enkele parasitaire schimmels op aaltjes zijn o.a. *Verticillium chlamidosporium*, *Hirsutella rhossiliensis*, *Paecilomyces lilacinus* en *Cunninghamella elegans* (Godoy et al., 1983; Zaki and Bhatti, 1990; Jaffee et al., 1994; Galper et al., 1991).

4. Een ander mechanisme dat vaak wordt genoemd is het effect van organische stof op eieren en/of cysten van aaltjes (Kimpinski et al., 2003). Dit kan op twee manieren: zowel stimulatie als remming van ei-uitkomst en/of cyst-lokking wordt gevonden (Muller et al., 1982).
5. Het laatste mechanisme voor een afname bij plantparasitaire aaltjes dat wordt genoemd is de interactie tussen plant en aaltjes. Sommige (groenbemesting-)gewassen kunnen als gevolg van hun waardplantgeschiktheid, resistentie en/of korte teeltduur een afname bij het aantal plantparasitaire aaltjes tot gevolg hebben (bijvoorbeeld Aaltjeswaardplantschema 2006; te raadplegen via www.kennisakker.nl).

3.3.2 Toename van plantparasitaire aaltjes

Deze literatuurstudie toont aan dat de effecten van organische stof op plantparasitaire aaltjes niet altijd positief zijn (d.w.z. leiden tot vermindering van deze aaltjes). Deze opmerking werd ook door sommige andere auteurs gemaakt (McSorley and Gallaher, 1997). Vooral soorten binnen het geslacht *Pratylenchus* laten vaak geen vermindering, maar juist een sterke vermeerdering zien als organische stof aan de grond wordt toegevoegd (McSorley and Gallaher, 1996; Al-Rehiyani and Hafez, 1998; LaMondia et al., 1999; Kimpinski et al., 2003; Timper et al., 2004; Everts et al., 2006; Yu et al., 2007; Mahran et al., 2009). Slechts enkele artikelen berichten over een significante verlaging bij *Pratylenchus* (Al-Rehiyani et al., 1999; Leroy et al., 2007). Een mogelijke verklaring voor de toename van het aantal plantparasitaire aaltjes is dat planten door de toevoeging van organische stof en de daarbij vrijkomende hoeveelheid nutriënten een groter wortelstelsel ontwikkelen, met een versterkte vermeerdering van het aantal aaltjes als gevolg. Daarnaast worden soms de positieve effecten van organische stof op de vochthuishouding van de grond genoemd. Bij sommige bronnen van vers organisch materiaal, namelijk input via groenbemesters (of onkruiden), is de toename bij plantparasitaire aaltjes makkelijker te verklaren, omdat deze gewassen als waardplant dienen. Wanneer de groenbemesters en/of onkruiden in de periode zonder hoofdgewas (winter) aanwezig zijn, kan dit grote gevolgen hebben, omdat het de plantenparasitaire aaltjes in staat stelt om in aantal toe te nemen of in ieder geval in stand te blijven en beter gevoed het nieuwe gewas te belagen.

3.3.3 Effecten op niet-plantparasitaire aaltjes:

Voor de effecten op niet-plantparasitaire aaltjes zijn de resultaten eenduidiger en eenvoudiger te interpreteren. Meestal is er een extreme verhoging van bacterie-etende aaltjes na de toevoeging van organische stof (Kimpinski et al., 2003; DuPont et al., 2009; Leroy et al., 2009; Mahran et al., 2009). Ditzelfde, maar vaak minder snel en minder extreem wordt gevonden voor schimmel-etende aaltjes en bij carnivore aaltjes (Akhtar & Mahmood, 1994; Griffiths et al., 1994; Arancon et al., 2004; Nahar et al. 2006). Deze veranderingen komen door de toevoeging van verse organische stof die leidt tot een sterke vermeerdering van o.a. bacteriën en schimmels die betrokken zijn bij de afbraak van organische stof. Door dit proces komen ook extra nutriënten vrij, waardoor in de meeste studies ook een significant hogere gewasopbrengst wordt gevonden na toevoeging van de organische stof. Indirect kan de verhoogde opbrengst weer effect hebben op aaltjes en andere groepen binnen het voedselweb.

3.4 Conclusies

Het effect van de organische stof toevoeging op de ontwikkeling van het aantal plantparasitaire en niet-plantparasitaire aaltjes en een eventueel ziekteveroorzakend effect hangt van zeer veel factoren af, zoals het type organische stof, de aaltjessoort, grondsoort, gewas, inwerktijd en techniek, microbiële aspecten,

omgevingsfactoren zoals temperatuur en vochtigheid (McSorley et al., 1997). Dergelijke aspecten zijn dan ook de reden dat de effecten erg variabel zijn en uiteenlopen van een verlaging van het aantal aaltjes tot een toename ervan ten gevolge van de toediening van organische stof.

Ook de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor een eventuele ziektewerende werking, kunnen uiteenlopen. Zo lijkt de C/N-ratio van het toegevoegde materiaal belangrijk voor de vorming van toxische afbraakproducten zoals ammoniak (Rodriguezkabana, 1986), die een nematicide werking kan veroorzaken. Verder is het belangrijk welke antagonistische organismen al in de organische stof leven of in de grond aanwezig zijn in combinatie met hoe lang de behandeling duurt. Meestal kunnen antagonistische organismen zich alleen vestigen wanneer de behandeling voor meerdere jaren voortgezet wordt.

Bij de opzet van proeven en interpretatie van onderzoeksresultaten moeten foutieve conclusies worden vermeden. Zo is het moeilijk en soms zelfs onmogelijk conclusies te trekken over de afname van plantenparasieten als de waardplant niet aanwezig is. Wanneer hier geen goede controle aanwezig is, kan de natuurlijke afname niet goed gerelateerd worden aan de toegevoegde organische stof bron. Dergelijke interpretatieproblemen kunnen zich ook voordoen bij studies waar geen melding wordt gemaakt van de gewasgroei.

Richtlijnen voor het onderdrukken van het aantal plantparasitaire aaltjes en de daarmee samenhangende gewasschade door de toediening van verse organische stof zijn moeilijk te geven en moeten vooral worden gezocht in het vermijden van de teelt van waardplanten op gronden waar sprake is van een aantasting met plantparasitaire aaltjes. Dit betekent dat hier bij de gewasrotatie, de teelt van groenbemesters en de onkruidbestrijding goed gebruik moet worden gemaakt van de beschikbare richtlijnen. Zie hiervoor o.a. de Aaltjes Beheersingsstrategie (Van Beers, 2009) en www.aaltjesschema.nl. Vermeden moet worden dat plantparasitaire aaltjes zich in de periode zonder hoofdgewas (winter) door de aanwezigheid van groenbemesters en/of onkruiden kunnen vermeerderen tot een niveau waarbij ze schade aan het hoofdgewas kunnen veroorzaken. Aanvullend wordt het gebruik van organische mest en/of compost aangeraden als maatregel tegen trichodoriden. Biologische grondontsmetting, waarbij een grote hoeveelheid organische stof op een zodanige manier in de grond wordt gebracht dat gedurende een periode van 6 weken anaerobe omstandigheden ontstaan, wordt aangeraden bij de bestrijding van o.a. het wortellesie-aaltje *Pratylenchus penetrans*. Zie hiervoor o.a. de Aaltjes Beheersingsstrategie (Van Beers, 2009) en www.aaltjesschema.nl.

4 Organische stofbeheer en chemische en fysische bodemkwaliteit

4.1 *De organische stofbalans: aanvoer via effectieve organische stof*

Uit vele langlopende proeven blijkt dat binnen de gangbare landbouw het gehalte aan organische stof moeilijk op peil kan worden gehouden. Een voorbeeld is een 80 jarige proef uit Denemarken, waar op verschillende grondsoorten het organische stofgehalte langzaam daalt, zelfs als stalmest wordt toegevend (Dam Kofoed, 1982). Ook uit een studie van Vleeshouwers et al. (2002) blijkt dat bij het huidige bodemgebruik het organische stofgehalte in landbouwgronden van veel landen in Europa zal dalen. Koopmans (2001) rapporteert daarentegen dat in de biologische landbouw met de inzet van vaste mest en groenbemesters in een vruchtwisseling vaak wel een stijging van het organische stofgehalte wordt gevonden.

Uit het voorgaande blijkt dat een goede organische stofvoorziening en handhaving van het organische stofgehalte geen vanzelfsprekende zaak is. Het is dan ook van belang instrumenten ter beschikking te hebben die gebruikt kunnen worden voor een verantwoord organische stofbeheer.

Een belangrijk aspect van organische stofbeheer is de aanvoer van organische stof via gewasresten (afhankelijk van i) de gewassen in het bouwplan, ii) of gewasresten worden afgevoerd of achtergelaten en iii) de inzet van groenbemesters en iv) organische mest of bodemverbeteraars. Daarmee kan de afbraak van de organische stof in de bodem, waardoor het organische stofgehalte geneigd is te dalen, worden gecompenseerd. De balans tussen afbraak van organische stof in de bodem en de aanvoer van organische stof kan worden gekwantificeerd via de organische stofbalans.

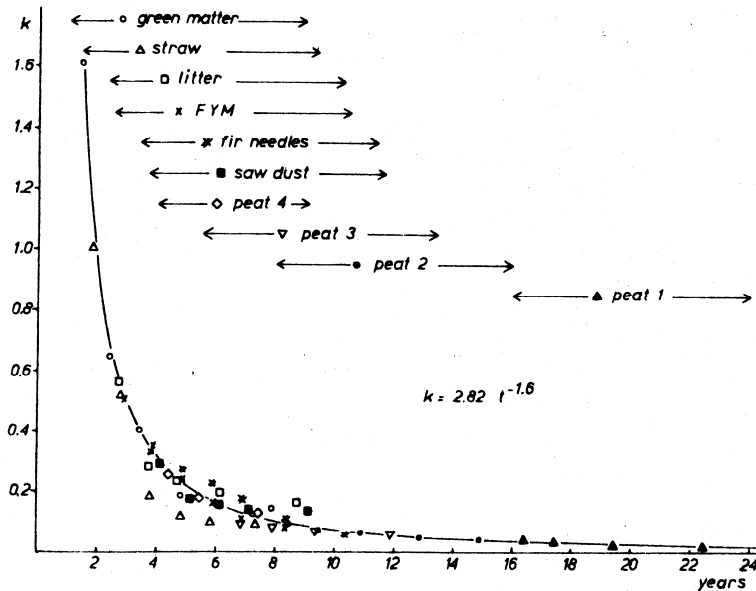
Ten behoeve van een kwantificering van de organische stofaanvoer met uiteenlopende bronnen, is het concept van de 'effectieve organische stof' ontwikkeld. Onder effectieve organische stof (e.o.s.) wordt de hoeveelheid organische stof verstaan die 1 jaar na toediening van een organische stoffhoudend product in de bodem resteert. Voor de praktijk zijn er tabellen in omloop met de hoeveelheid effectieve organische stof voor gewasresten, groenbemesters, dierlijke mest en compost (zie o.a. PAGV, 1989; Bijlage 3). Op basis van ervaring zijn streefwaarden afgeleid voor de benodigde hoeveelheid e.o.s. voor het handhaven van het organische stofgehalte. Veelal wordt een benodigde hoeveelheid van 1.500-2.500 kg e.o.s. per ha aangehouden die nodig is voor het handhaven van het organische stofgehalte.

De gegevens over de hoeveelheid e.o.s. in gewasresten, groenbemesters en organische mesten zijn afgeleid uit onderzoek naar de hoeveelheden vers organisch materiaal in de producten en naar de hoeveelheid die één jaar na toediening resteert. De beperking van dit concept, dat inmiddels enkele tientallen jaren oud is, is dat slechts zeer beperkt rekening wordt gehouden met verschillen in de aard (o.a. afbreekbaarheid, C/N-ratio, etc.) van de organische materialen. Zo kan eenzelfde hoeveelheid effectieve organische stof worden verkregen met een relatief kleine hoeveelheid, stabiele compost en een relatief grote hoeveelheid van een makkelijk afbreekbare gewasrest of groenbemester.

4.2 *Een rekenmodel als alternatief voor de organische stofbalans*

In de vorige paragraaf is reeds aangegeven dat de eigenschappen van organische materialen die naar de bodem worden aangevoerd, sterk kunnen verschillen. In Nederland is o.a. op basis van meerjarig

onderzoek op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele een rekenmodel ontwikkeld, dat gebruik maakt van het begrip "initiële leeftijd" van organische stof (Janssen, 1984). Dit is een maat voor de afbreekbaarheid van het organische materiaal van het betreffende product. De rekenregel gaat er van uit dat de afbraak van alle organische materialen kan worden beschreven met één afbraakcurve, maar dat de afbraaksnelheid in het begin verschilt per materiaal (Figuur 4.1). De afbraaksnelheid aan het begin is gekoppeld aan het begrip initiële leeftijd, die in het model met de a-waarde is aangeduid: hoe hoger de a-waarde, hoe lager de afbraaksnelheid aan het begin.

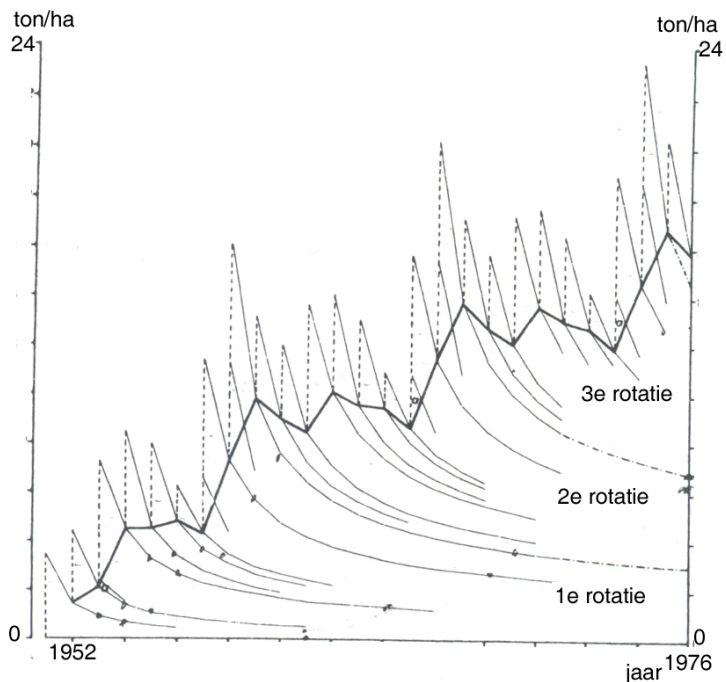


Figuur 4.1. Verband tussen de relatieve afbraaksnelheid (k) en de tijd in jaren (t), voor uiteenlopende producten met verschillende initiële leeftijden (a) (Bron: Janssen, 1984).

De afbraaksnelheid van de meeste gewasresten is hoog en daarmee is de initiële leeftijd laag (de a-waarde is circa 1 jaar; ofwel ze zijn "jong"). De afbraaksnelheid van houtig materiaal, maar ook die van compost en veen is daarentegen veel lager, waarmee de initiële leeftijd hoog is (de a-waarde bedraagt >3, ofwel ze zijn "oud"). De meeste dierlijke mesten hebben een a-waarde van circa 1,5, en zijn vrij gemakkelijk afbreekbaar. Het moge duidelijk zijn dat de bijdrage van slecht afbreekbaar, stabiel, oud organisch materiaal aan de opbouw van organische stof in het algemeen groter zal zijn dan die van gemakkelijk afbreekbaar, labiel, jong organisch materiaal.

4.3 Opbouw van organische stof en relatie met nutriëntenuishouding

Het verloop van het organische stofgehalte in de grond is het resultaat van de opbouw van organische stof ten gevolge van materiaal dat aan de bodem wordt toegediend en de afbraak van organische stof die al in de bodem aanwezig is. De opbouw van organische stof ten gevolge van jaarlijkse toedieningen van gewasresten en dierlijke mesten is onder andere bestudeerd in het hiervoor genoemde onderzoek op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele in de periode 1952-1976 (Figuur 4.2).



Figuur 4.2. Cumulatieve ophoping van organische stof ten gevolge van een jaarlijkse toediening van organisch materiaal via gewasresten en dierlijke mesten op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele (Bron: Janssen, 1984).

In Figuur 4.2 zijn de afbraakcurves van de afzonderlijke toedieningen van organisch materiaal ingetekend en is met de doorgetrokken lijn weergegeven hoeveel daarvan 1 jaar na toediening nog in de bodem aanwezig is. Gedurende de periode van 24 jaar was er duidelijk sprake van een opbouw van organische stof die in diezelfde periode is toegediend. Het is afhankelijk van de afbraak van de organische stof die al in de bodem aanwezig was of dit uiteindelijk resulteert in een stijging of daling van het organische stofgehalte.

De afbraak van organisch materiaal in de bodem resulteert in het algemeen in een vrijkomen van stikstof (N). Bij gewasresten kan het vrijkomen van stikstof door mineralisatie sterk verschillen, doordat de N-inhoud in gewasresten sterk uiteenloopt. Dit komt tot uiting in de C/N-ratio van het materiaal, die bijvoorbeeld voor bieten- en aardappelloof circa 20-25 en voor tarwestro circa 50-60 bedraagt (Bijlage 3).

In dierlijke mesten is een deel van de N veelal aanwezig in het minerale ammonium (NH_4) en voor een deel in organische verbindingen. De verhouding tussen de hoeveelheid N in dierlijke mest en compost in de minerale en organische fractie verschilt sterk tussen de mestsoorten (Tabel 4.1).

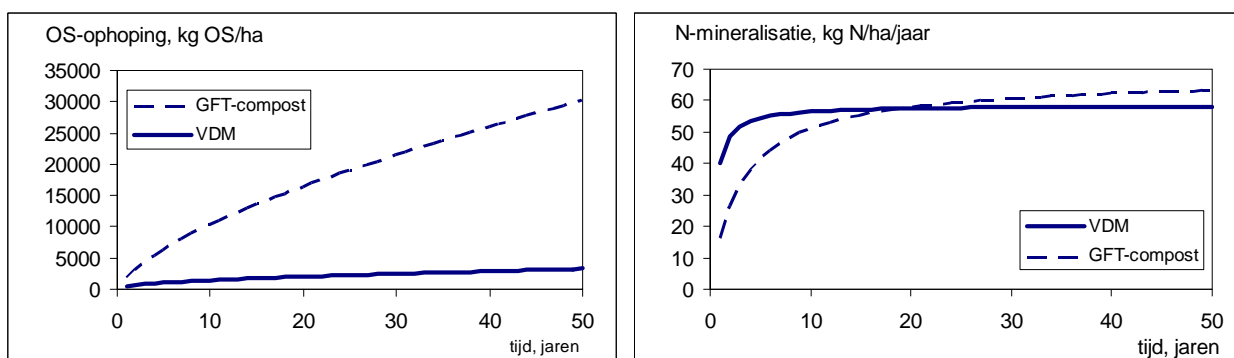
Tabel 4.1. Samenstelling organische mesten.

	Gehalte (kg/1000 kg product)											Dicht- heid (kg/m ³)
	Droge Stof	Org. stof	Eos	Ntot	Nm	Norg	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SO ₃	
Gier												
Rundvee	25	10	-	4,0	3,8	0,2	0,2	8,0	0,2	1,0	2,0	1030
Vleesvarkens	20	5	-	6,5	6,1	0,4	0,9	4,5	0,2	1,0	1,8	1010
Zeugen	10	10	-	2,0	1,9	0,1	0,9	2,5	0,2	0,2	-	-
Dunne mest												
Rundvee	90	66	33	4,9	2,6	2,3	1,8	6,8	1,3	0,8	1,8	1005
Vleesvarkens	90	60	20	7,2	4,2	3,0	4,2	7,2	1,8	0,9	1,6	1040
Zeugenmest	55	35	12	4,2	2,5	1,7	3,0	4,3	1,1	0,6	-	-
Kippen	145	93	31	10,2	5,8	4,4	7,8	6,4	2,2	0,9	2,2	-
Vaste mest												
Rundvee	235	153	77	6,9	1,6	5,3	3,8	7,4	2,1	0,9	0,6	900
Kippen (strooisel)	640	423	143	19,1	8,6	10,5	24,2	13,3	5,3	4,2	8,3	600
Vleeskuikens	605	508	183	30,5	5,5	25,0	17,0	22,5	6,5	3,0	9,0	605
Compost												
Champost	320	210	126	6,0	0,4	5,6	3,2	9,0	2,5	1,0	-	550
GFT-compost	700	210	162	9,1	0,9	8,2	4,0	6,9	2,9	-	-	800

De hoeveelheid N die door mineralisatie vrijkomt uit de organische component van gewasresten en organische mesten is afhankelijk van:

- de afbreekbaarheid of stabiliteit van de materialen en
- de C/N-ratio van die materialen.

Zo zal een herhaalde toediening van GFT- of groencompost resulteren in een hoge opbouw van organische stof en in eerste instantie een betrekkelijk geringe N-mineralisatie, terwijl een herhaalde toediening van dunne varkensmest zal resulteren in relatief gering opbouw van organische stof en een hoge N-mineralisatie (Figuur 4.3). Bij een jaarlijkse toediening wordt het verschil in N-mineralisatie uit de producten na enkele jaren kleiner, door een nawerking van de N uit eerdere jaren.



Figuur 4.3. Verloop van de opbouw van organische stof (links) en de jaarlijkse N-mineralisatie (rechts) die het resultaat is van een jaarlijkse toediening van GFT-compost (6 ton drogestof/ha/jaar, met 82 kg N totaal) of varkensdrijfmest (20 ton VDM/ha/jaar, met 60 kg N totaal).

Richtlijnen organische meststoffen

- Wees bewust van de verschillen in eigenschappen tussen organische meststoffen, waardoor ze een verschillende bijdrage zullen kunnen leveren aan de opbouw van organische stof en de nutriëntenlevering. In dierlijke mesten is een groot deel van de nutriënten aanwezig in minerale vorm.
- Gebruik een hulpmiddel zoals een rekenmodel om de te verwachten effecten van organische meststoffen, gewasresten en groenbemesters aan de opbouw van organische stof en nutriëntenlevering (N-mineralisatie) inzichtelijk te maken.
- Werk binnen de randvoorwaarden van de wet- en regelgeving en hou rekening met de

Voor de opbouw van organische stof is het zinvol vooral stabiele, "oude" organische stof naar de bodem aan te voeren, aangezien deze organische stof minder snel afbreekt dan "jonge" organische stof. Het is vooral deze "oude" organische stof die een bijdrage kan leveren aan de buffering van kationen (ammonium, kalium, calcium, magnesium) en het vochthoudend vermogen van de grond via het kationen adsorptie complex (= cation exchange capacity, CEC). Het vermogen van organische stof om kationen te binden wordt vooral bepaald door COOH-groepen in organische stof.

Het vermogen van een grond om kationen vast te houden is van invloed op de gewasproductie. Het is de vraag welk gehalte aan organische stof moet worden nagestreefd om de minimaal benodigde/gewenste CEC te realiseren. Door Janssen (persoonlijke mededeling) wordt een vuistregel gehanteerd waarbij de CEC een productielimiterende factor is als de CEC kleiner is dan 30-40 mmol (+) kg⁻¹ grond bij een pH (H₂O) van 7. De nalevering van kationen wordt beneden die CEC zo laag dat het beperkend wordt voor de productie. Een CEC groter dan 100 mmol kg⁻¹ grond bij een pH van 7 is niet meer van invloed op gewasproductie. De door Janssen aangehaalde vuistregels worden niet nader onderbouwd. Wel wordt door Bolt et al. (1978) aangegeven dat bij een CEC < 10 mmol (+) kg⁻¹ geen sprake meer van buffering is, omdat dan de hoeveelheid geadsorbeerde ionen nauwelijks groter is dan die in de oplossing.

In een zandgrond met 3% organische stof (~15 g C kg⁻¹), is de CEC bij een actuele pH van 5, 6 en 7 respectievelijk 10, 14 en 38 mmol (+) kg⁻¹. Er is dus in zandgronden sprake van een zeer sterke afhankelijkheid van de CEC van de pH en de CEC kan dan ook effectiever worden beïnvloed door het aanpassen van de pH dan door het verhogen van het organische stofgehalte. Kleideeltjes hebben een zelf een geladen oppervlak waaraan kationen kunnen worden gebonden. Daar is de CEC dan ook minder afhankelijk van het organische stofgehalte. Daarnaast is de CEC van kleideeltjes minder sterk afhankelijk van de pH dan bij organische stof.

Overigens lijkt een organische stofgehalte van 3% in zandgronden een minimaal gewenst niveau om ook bij gangbare pH's van 6 (overeenkomend met pH-KCl van 5) nog een redelijke CEC te hebben. Voor kleigronden ligt het minimaal gewenste niveau aan organische stof ten behoeve van de bijdrage aan de CEC aanmerkelijk lager, omdat de kleideeltjes voor een voldoende CEC zorgen.

Richtlijn strategie organische stofbeheer

Bepaal welke strategie u voor ogen hebt m.b.t. het organische stofbeheer. Ligt de nadruk op het handhaven of zo mogelijk verhogen van het organische stofgehalte ten behoeve van het vergroten van het bufferend vermogen van nutriënten en vocht, of wilt u de nutriëntenlevering van uw grond verhogen? Stem daar het organische stofbeheer op af.

Dit kan worden ingevuld door in het eerste geval te zorgen voor voldoende aanvoer van stabiele organische stof (bijvoorbeeld in de vorm van compost) en in het tweede geval voor aanvoer van N-rijke organische stof, bijvoorbeeld via dierlijke mest.

4.4 Bodemstructuur

Organische stof is van belang voor fysische bodemkwaliteitsaspecten, zoals structuur, verkruimelbaarheid, slempegevoeligheid en vochthoudend vermogen (zie ook 4.5). Recent toegediend organisch materiaal en het daaraan gerelateerde bodemleven speelt een belangrijke rol voor de bodemstructuur, met name via de aggregaatvorming (zie verder).

De totale hoeveelheid organisch materiaal heeft een positief effect op de structuur van de bodem via onderstaande aspecten (Shepherd et al., 2000):

- Bulkdichtheid: Door het organisch materiaal wordt de minerale fractie van de bodem (die een hoge bulkdichtheid heeft) verdund, waardoor de bulkdichtheid van de bodem afneemt.
- Meer kleine poriën: Door organische stof wordt de oppervlakte van de bodem vergroot. Het aantal poriën neemt toe door de verbeterde aggregatie en door de grotere dichtheid zijn er relatief meer kleinere poriën. Dit heeft gevolgen voor de aëratie van de grond en daarmee positieve effecten voor het bodemleven.
- Doordat organische stof een stimulerende werking op bodemorganismen heeft, kan het aantal gravende bodemorganismen zoals wormen toenemen. Door het graven van gangen verbetert de structuur.
- Transport van vocht en lucht: over het algemeen heeft organische stof een positief effect op het watertransport door de bodem, waardoor er minder anaërobie plaatsvindt.
- Aggregaatstabiliteit: vooral labiel organisch materiaal draagt bij aan de aggregaatstabiliteit, waardoor slempegevoeligheid wordt verminderd. Daarnaast spelen stabiele humusvormen een rol. Op de aggregaatstabiliteit wordt hieronder dieper ingegaan.

Voor de aggregaatstabiliteit blijkt labiel organisch materiaal een betere voorspeller dan het totale organische stofgehalte. De positieve invloed van organische stof op de aggregaatstabiliteit is toe te schrijven aan (Sparling et al., 2003):

- binding tussen klei en humusmoleculen;
- myceliumdraden van schimmels en actinomyceten;
- plakkerigheid van uitscheidingsproducten van micro-organismen (zoals polysacchariden);
- stimulering wortelontwikkeling: wortels houden bodemdeeltjes bijeen en microflora neemt toe; en
- stimulering regenwormen.

Een vrij recent onderzoeksgebied betreft de rol van glomaline, een glycoproteïne (een eiwit met daaraan gekoppeld een of meerdere suikereenheden (polysacchariden)). Dit onderdeel van bodem organische stof is pas in 1996 ontdekt (door Sara Wright, www.ars.usda.gov) en men neemt aan dat deze eiwitstructuur de "lijm" vormt die bodemaggregaten vormt en bij elkaar houdt.

Wright & Upadhyaya (1998) vonden een lineaire correlatie tussen aggregaatstabiliteit en

glomalinegehalten in de bodemaggregaten. Glomaline bestaat zelf voor 30-40% uit koolstof en doordat het bijdraagt aan de vorming van aggregaten wordt organische stof goed beschermd/vastgelegd in de bodemdeeltjes. Tot voor kort werd aangenomen dat humuszuren de belangrijkste bijdrage leveren aan de koolstof in de bodem. Nu is echter bekend dat glomaline voor ca. 27% bijdraagt aan de voorraad koolstof in de bodem terwijl deze bijdrage voor humuszuren 8% is.

Mycorrhizaschimmels leven in symbiose met plantenwortels en blijken de enige producenten van glomaline te zijn. De naam glomaline komt van de taxonomische orde *Glomales* waar de mycorrhizaschimmels toe behoren. De schimmels gebruiken koolstof van de plant om te groeien en produceren glomaline als een soort coating voor hun hyfen (= schimmeldraden). Wanneer de plantenwortels groeien worden er nieuwe hyfen gevormd en de oude sterven af. Daarbij komt glomaline vrij in de bodem en hecht het zich aan de andere bodembestanddelen (minerale delen en organische stof).

Activiteiten die de groei van mycorrhizaschimmels bevorderen, leiden dus ook tot een toename van glomaline in de bodem. Wanneer de schimmels zich niet goed kunnen ontwikkelen, zal ook de productie van glomaline stagneren. Grondbewerking heeft een negatief effect op het voorkomen van mycorrhiza's en dus ook op het glomalinegehalte (zie verder). Wright bestudeerde de glomalinegehalten in verschillende landbouwsystemen en vond dat deze gehandhaafd werden of toenamen door het achterwege laten van grondbewerking (no-tillage), door een optimale bodembedekking door de teelt van groenbemesters, door een verminderde P-input en door het beperken van gewassen in de rotatie die slechts weinig of geen mycorrhizaschimmels in symbiose met hun wortelstelsel hebben. Dit zijn bijvoorbeeld gewassen van de familie Brassicaceae (koolsoorten) (Wright et al., 1999; Wright & Anderson, 2000; Nichols & Wright, 2004). De glomalinegehalten in Nederlandse gronden is onbekend. Vermoedelijk is de betekenis van glomaline relatief gering, omdat mycorrhiza's in de vruchtbare Nederlandse gronden met hoge P-gehalten een minder belangrijke rol spelen.

Omdat er veel verschillende methodieken worden toegepast om de aggregaatstabiliteit te bepalen is het moeilijk onderzoeken te vergelijken. Toch blijkt er een aantal wetmatigheden:

- Over het algemeen is het labiele deel van organische stof (met relatief veel mono- en polysacchariden) samen met wortels, schimmelhyfen en biofilm-vormende bacteriën verantwoordelijk voor aggregaatvorming (Loveland & Webb, 2003).
- Organische stof zelf is niet een stof die goed bindt. Niet de hoeveelheid maar de rangschikking van organische stof is belangrijk: de bindingen van labiel organisch materiaal met de bodemdeeltjes (voornamelijk binnen bodemaggregaten) zijn cruciaal. De rangschikking van organische stof is in sommige gronden belangrijker dan de hoeveelheid organische stof (Loveland & Webb, 2003).
- Boven een bepaalde concentratie aan organische stof neemt de aggregaatvorming niet verder toe (Loveland & Webb, 2003).
- De hydrologische geschiedenis van aggregaten is van groot belang voor hun gedrag (Loveland & Webb, 2003).
- Minimale of geen grondbewerking leidde tot een betere aggregaatstabiliteit, hoewel dat vaak pas na het 5^e jaar significant was (Loveland & Webb, 2003).
- Naarmate regenwormen beter met organisch materiaal worden voorzien zijn hun uitwerpselen stabielere (Sparling et al., 2003).
- De invloed van weersomstandigheden op de stabiliteit van aggregaten is veel groter dan de invloed van groenbemesters op de stabiliteit (Sparling et al., 2003).

De bijdrage van organische stof aan de aggregaatstabiliteit is afhankelijk van het organische materiaal

dat is toegevoegd, het tijdstip van toevoeging en het tijdstip van het meten van de aggregaatstabiliteit:

- Glucoseachtige componenten werken sterk na 2-3 weken, terwijl de werking na 4-6 maanden afneemt.
- Cellulose is het meest effectief na 6-9 maanden maar minder effectief dan glucose.
- Het effect van resten van raaigras neemt toe tot een maximum gedurende 3 maanden. Dit maximum effect wordt gedurende maximaal 4-6 maanden behouden. In de maanden daarna neemt het effect af.

De voor de aggregaatvorming belangrijke componenten hebben dus vooral het eerste jaar effect. Daarom is de aggregaatstabiliteit onder grasland (continue productie van organisch materiaal) het grootst en neemt deze sterk af onder bouwland. Een optimale aggregaatstabiliteit vereist daarom een biologisch actieve bodem met regelmatige aanvoer en afbraak van jong organisch materiaal.

In het algemeen is er een belangrijke rol voor organische stof in de vorming van aggregaten die vervolgens weer bijdragen aan een goede bodemstructuur. Maatregelen die aggregaatvorming verminderen, zijn:

- een intensieve grondbewerking (zie verder);
- het bewerken van de bodem wanneer deze te droog of te nat is;
- het gebruik van zware machines (bodemverdichting);
- een overmatige N-bemesting; en
- te hoge Na- en Mg-gehalten in de bodem.

Vanuit traditioneel landbouwkundig oogpunt worden bodemaggregaten vooral in verband gebracht met de verkruielbaarheid en slempgevoeligheid van een grond. Uit Locher en De Bakker (1990) blijkt dat gronden met 3 en 7% lutum vanuit oogpunt van verkruielbaarheid geen organische stof nodig hebben voor de meeste akker- en tuinbouwgewassen. Bij hogere lutumpercentages worden wel eisen gesteld aan het organische stofgehalte. Een grond die goed verkruielbaar is, heeft echter een lage structuurstabiliteit en zal daardoor gevoeliger zijn voor verslemping (het verstopt raken van poriën doordat bodemaggregaten uiteenvallen onder invloed van regen).

Door Loveland & Webb (2003) wordt gewezen op de vuistregel dat gronden met <2% organische koolstof (<4% organische stof) onstabiel zijn, die met 2-2,5% (4-5% organische stof) redelijk stabiel en die met >2,5% (>5% organische stof) zeer stabiel. Omdat er een sterke correlatie bestaat tussen klei en organische stofgehalte, moet voor dit minimumniveau onderscheid gemaakt worden tussen bodemtypen. Er is nog te weinig onderzoek naar dit onderwerp gedaan, om die differentiatie te kunnen kwantificeren.

Naast de toediening van organisch materiaal aan grond, kan de teelt van een groenbemester die na afloop van de teelt wordt ingewerkt in de bodem een positief effect hebben op de bodemstructuur. In een éénjarige proef op lichte kleigrond te Lelystad en Kollumerwaard werd echter geen groot effect op de bodemstructuur waargenomen. Wel was de vochtvoorziening na de teelt van de groenbemester op één van de twee locaties beter dan zonder groenbemester. Als mogelijke verklaring werd hiervoor de betere beworteling van de volgteelt na een groenbemester genoemd (Van Geel et al., 2007).

4.5 Vochthoudend vermogen

Het effect van organische stof op de hoeveelheid beschikbaar water varieert met het bodemtype. Op zandgronden is het effect het grootst, maar het verzorgt ook hier niet meer dan 15% van de variatie in bodemvocht. In bodems met een fijne textuur zoals klei, zorgt organische stof voor een afname in volumedichtheid, toename in poriegrootte en is een groter deel van de poriën gevuld met lucht, waardoor het vochthoudend vermogen zelfs kan afnemen (Loveland & Webb, 2003).

Macro-aggregaten ter grootte van zand zorgen voor een beter vochtvasthoudend vermogen en gaan compactie tegen, terwijl organische stofaggregaten van invloed zijn op de zuurstofhuishouding en waterinfiltratie (Carter, 2002).

Bij een toename in organische stofgehalte neemt niet alleen het vochtgehalte bij veldcapaciteit (pF~2,0), maar ook bij het verwelkingspunt (pF~4,2) toe. Vooral op zandgronden neemt de hoeveelheid beschikbaar water toe bij een hoger organische stofgehalte. Daarbij verdwijnt de knik uit de pF-curve. Hierdoor zijn de poriën niet ineens leeg en zijn gronden met een hoger organische stofgehalte minder gevoelig voor droogte. Daarnaast is de infiltratiesnelheid hoger en wordt de beworteling gestimuleerd waardoor er meer water in het bodemprofiel terecht komt en dit beter opgenomen kan worden.

Een groeiend en gesloten gewas onttrekt in 8 dagen ongeveer 40 mm water uit de bouwvoor. Op basis van een pF-curve van de grond kan worden berekend hoeveel organische stof er nodig is om die hoeveelheid van 40 mm te kunnen leveren. Uit berekeningen (niet gepresenteerd) met een standaard pF-curve blijkt dat in bovengrond (0-25 cm) met een laag lutumgehalte (3%) minimaal 1% organische stof nodig is om de 40 mm te kunnen leveren. In een grond zonder lutum zal het organische stofgehalte nog wat hoger moeten zijn.

Gewasresten dragen ook bij aan een bedekking van de bodem en daardoor aan een verminderde (wind en water) erosie en (beperkt) aan een verminderde verdamping van het bodemoppervlak. Naast een verhoging van het gehalte (verse) organische stof leidt het achterlaten van gewasresten dus ook direct (via de organische stof) en indirect (via verminderde verdamping) tot meer bodemvocht. Dit leidt vervolgens ook weer tot een verhoogde activiteit van regenwormen in de bodem. De regenwormenactiviteit leidt vervolgens tot verbetering van porositeit en bodemstructuur en daardoor tot een toename van de infiltratiecapaciteit.

Richtlijnen bodemstructuur

- Voor een goede bodemstructuur is een regelmatige aanvoer van voldoende organische stof, o.a. als verse, gemakkelijk afbreekbare organische stof, van belang, aangezien dat via de biologische activiteit de aggregaatvorming en de porievorming in de bodem stimuleert. Via de beworteling kan een groenbemester een extra positief effect hebben.
- Voldoende organische stof is van belang voor het vochthoudend vermogen van zandgronden en voor de vochtinfiltratie
- Een zorgvuldige grondbewerking is van belang voor het in stand houden van een goede bodemstructuur, dus niet te intensief en niet als die te nat is.
- Vermijd een overmatige N- en P-bemesting en een te hoge Na- en Mg-voorziening in de grond, omdat dit negatief is voor de bodemstructuur.

5 Richtlijnen voor het beheer van organische stof

In de voorgaande hoofdstukken zijn op een aantal plaatsen al richtlijnen vermeld voor het organische stofbeheer. Uitgaande van het instrument van de organische stofbalans, zijn op basis van de huidige kennis, een groot aantal verbeteringen en verfijningen aan te brengen. Het is daarbij van belang om hulpmiddelen aan te dragen die voor de praktijk werkbaar zijn. Bij het opstellen van richtlijnen dient daarbij rekening te worden gehouden met de effecten op chemische, fysische én biologische bodemkwaliteitsaspecten. Soms kan er sprake zijn van tegenstellingen, bijvoorbeeld als een maatregel positieve effecten heeft op chemische en fysische bodemeigenschappen, terwijl er negatieve effecten op biologische eigenschappen zijn te verwachten. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij de keuze voor een groenbemester die N vast kan leggen en een bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de bodemstructuur, terwijl de groenbemester tevens waardplant is voor een plantparasitair aaltje. Een ander voorbeeld is de wachttijd tussen het inwerken van gewasresten of een groenbemester en het zaaien van een volggewas. Als er sprake is van een risico op *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* of *Aphanomyces* wordt vanuit bodembologisch oogpunt een wachttijd van enkele weken aanbevolen, terwijl vanuit het oogpunt van N-vastlegging en/of het streven naar een maximale opbrengst zo snel mogelijk gezaaid zou moeten worden. In die gevallen moet worden bepaald welke bodemkwaliteitsaspecten het belangrijkste zijn. Er moet dan prioriteit worden gegeven aan de maatregelen die gericht zijn op het verbeteren van die aspecten van bodemkwaliteit.

Op basis van de voorgaande hoofdstukken worden de volgende richtlijnen voorgesteld.

Richtlijn strategie organische stofbeheer

- Bepaal welke strategie u voor ogen hebt m.b.t. het organische stofbeheer. Lig de nadruk op het handhaven of zo mogelijk verhogen van het organische stofgehalte t.bijvoorbeeld het vergroten van het bufferend vermogen van nutriënten en vocht, of wilt u de nutriëntenlevering van uw grond verhogen? Stem daar het organische stofbeheer op af.
- Dit kan worden ingevuld door in het eerste geval te zorgen voor voldoende aanvoer van stabiele organische stof (bijvoorbeeld in de vorm van compost) en in het tweede geval voor aanvoer van N-rijke organische stof, bijvoorbeeld via dierlijke mest.

Richtlijn hulpmiddelen

Gebruik een hulpmiddel zoals een rekenmodel om de te verwachten effecten van organische meststoffen, gewasresten en groenbemesters aan de opbouw van organische stof en nutriëntenlevering (N-mineralisatie) inzichtelijk te maken.

Richtlijnen organische meststoffen

- Wees u bewust van de verschillen in eigenschappen tussen organische meststoffen, waardoor ze een verschillende bijdrage zullen kunnen leveren aan de opbouw van organische stof en de nutriëntenlevering.
- Werk binnen de randvoorwaarden van de wet- en regelgeving en hou rekening met de beperkingen die de gebruiksnormen opleggen aan de toegestane meststofgiften.
- Wees terughoudend met de aanwending van onbewerkte mest gedurende de teelt.
- Wees op dit moment zeer terughoudend met de aanwending van geiten- en schapenmest in verband met de Q-koorts. Hou de actualiteiten hierover goed in de gaten.

Richtlijnen gewasresten

- Wees u bewust van verschillen tussen gewasresten in de bijdrage aan de organische stofleverantie en de N-mineralisatie. Overweeg gewasresten (bijvoorbeeld stro) achter te laten t.bijvoorbeeld de organische stofvoorziening.
- Wees terughoudend met het aanwenden van gewasresten op een ander perceel dan waar ze van afkomstig zijn. Doe dit bij sterke voorkeur alleen na compostering van de gewasresten.
- Bij aanwenden van ongecomposteerde organische stof: vergewis u ervan dat de organische stof geen 'beruchte' pathogenen bevat; werk de organische stof bij voorkeur de grond in.

Richtlijnen composteren

- Verdiep u goed in composteringstechnieken voordat u de beslissing neemt om zelf te gaan composteren.
- Bouw een goede relatie op met uw composteerder: laat hem weten wat u wilt hebben, en geef aan of u tevreden bent. Vergelijk eens een onderzoek aan uw eigen partij compost met het onderzoeksrapport dat de composteerder heeft, en bespreek dat met de composteerder.

Richtlijnen bouwplan

De teelt van waardplanten voor plantparasitaire aaltjes op gronden waar sprake is van een aantasting met die aaltjes moet worden vermeden. Dit betekent dat hier bij de gewasrotatie (inclusief rassenkeuze en teeltfrequentie), de teelt van groenbemesters en de onkruidbestrijding goed gebruik moet worden gemaakt van de beschikbare richtlijnen. Zie hiervoor o.a. de Aaltjes Beheersingsstrategie (Van Beers, 2009) en www.aaltjesschema.nl. Vermeden moet worden dat plantparasitaire aaltjes zich in de periode zonder hoofdgewas (winter) door de aanwezigheid van groenbemesters en/of onkruiden kunnen vermeerderen tot een niveau waarbij ze schade aan het hoofdgewas kunnen veroorzaken.

Richtlijnen grondbewerking

Een zorgvuldige grondbewerking is van belang voor het in stand houden van een goede bodemstructuur, dus die dient op het juiste moment te worden uitgevoerd, niet te intensief te zijn en niet als die te nat is.

Richtlijnen overig hygiënische aspecten en ziekteverendheid

- Ken de bodempathogenen die op een perceel voor problemen zorgen.
- Verwacht van organische stof geen wonderen, maar pas het toe in combinatie met andere maatregelen.
- Er is sprake van een sterk toegenomen kans op kiemplantziektes als er verse (groene) organische stof is ingewerkt en direct erna een gewas gezaaid is, met name als de grond (te) nat is. Als het te zaaien gewas gevoelig is voor kiemplantziektes, als het perceel een historie van deze ziektes heeft en/of als de omstandigheden voor deze ziektes goed is (dat wil zeggen slecht kiembed, te natte grond), werk dan alleen groene organische stof in als enige weken met zaaien gewacht kan worden.

6 Plan voor vervolgonderzoek

In de voorgaande hoofdstukken zijn effecten van de toediening van verse organische stof op het optreden van bodemziekten (veroorzaakt door schimmels en/of aaltjes) en op chemische en fysische bodemkwaliteitsaspecten benoemd. Op basis daarvan zijn in Hoofdstuk 5 enkele richtlijnen genoemd. Aangezien de kennis t.a.v. het optimale beheer van organische stof diverse hiaten vertoont, terwijl een optimaal bodembeheer steeds belangrijker wordt, is het onderstaande plan voor vervolgonderzoek gepresenteerd.

1. Herziening concept 'effectieve organische stof'

Vastgesteld kan worden dat organische stof effect heeft op uiteenlopende bodemkwaliteitsaspecten, die in het onderzoek in het algemeen vanuit verschillende vakgebieden worden bestudeerd. Zo is veel onderzoek gedaan naar de eigenschappen van organische materialen, zoals afbreekbaarheid, nutriënteninhoud en het vrijkomen van nutriënten uit de organische materialen na toediening aan grond. De afbraak van organisch materiaal en het vrijkomen van nutriënten daarbij zijn dynamische processen, die afhankelijk zijn van omstandigheden zoals vocht en temperatuur, waarvoor diverse modellen bestaan. Toch wordt in de praktijk nog veel gewerkt met het concept van effectieve organische stof. Dit concept is meer dan 40 jaar geleden ontwikkeld en verouderd. Het lijkt gewenst en mogelijk dit concept te vervangen door een meer dynamisch systeem dat beter rekening houdt met omstandigheden, en waarin een koppeling wordt gelegd tussen organische stof en nutriënten. Ook aandacht voor hygiënische aspecten en de effecten van groenbemesters op aaltjes zouden hierin een plek moeten krijgen. Deze mogelijkheden kunnen als eerste in een literatuurstudie worden verkend, waarbij het concept van effectieve organische stof en de gehanteerde kengetallen tegen het licht worden gehouden. Op basis daarvan kan eventueel benodigd vervolgonderzoek worden voorgesteld.

2. Inventarisatie methoden voor karakterisering van de kwaliteit van de organische stof

Het karakteriseren van de kwaliteit van de organische stof in de bodem is belangrijk om in te kunnen schatten welke effecten mogen worden verwacht op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen (o.a. N-mineralisatie). Dit is van belang, omdat op basis daarvan adviezen kunnen worden afgeleid ten aanzien van gewenste maatregelen op het gebied van organische stofbeheer (bijvoorbeeld organische bemesting, grondbewerking, teelt groenbemesters, enz.) of op andere gebieden (bijvoorbeeld N-bemesting). Het is zinvol in een bureaustudie de beschikbare methoden voor het karakteriseren van de kwaliteit van de organische stof te evalueren.

3. Afleiden en verbeteren richtlijnen voor bestrijding van pathogenen

Ten behoeve van ziekteverendheid is het zinvol op basis van de beschikbare kennis over de ecologie van bodemdieren zoals pathogene aaltjes en schimmels, bestaande richtlijnen voor de bestrijding ervan door organische stof verder te ontwikkelen. Er zijn mogelijkheden om richtlijnen voor de bestrijding van pathogene schimmels via het beheer van organische stof beschikbaar te maken voor de praktijk. Voor aaltjes is aanvullend onderzoek nodig (zie verder onder punt 4) voordat dergelijke richtlijnen kunnen worden opgesteld.

4. Effecten organische stofbeheer op bodemkwaliteitsaspecten op de lange termijn

Ten slotte lijkt het zinvol diverse aspecten van organische stof te bestuderen in een lange termijn onderzoek, waarbij verschillende strategieën van organische stofbeheer worden vergeleken. Daarbij valt te denken aan effecten van organische stof op ziekteverendheid, bodemstructuur, vochthoudend

vermogen en de nutriëntenvoorziening. De veldproeven zouden bij voorkeur op een aantal locaties moeten worden aangelegd waar zich in potentie problemen ten aanzien van de hiervoor genoemde aspecten kunnen voordoen. Door monitoring zouden de effecten van de verschillende strategieën ten aanzien van organische stof op de diverse bodemkwaliteitsaspecten in beeld moeten worden gebracht.

Literatuur

- Akhtar, M., Mahmood, I. (1994). Nematode populations and short-term tomato growth in response to neem-based products and other soil amendments. *Nematropica* 24, 169-173.
- Al-Rehiyani, S., Hafez, S. (1998). Host status and green manure effect of selected crops on *Meloidogyne chitwoodi* race 2 and *Pratylenchus neglectus*. *Nematropica* 28, 213-230.
- Al-Rehiyani, S., Hafez, S.L., Thornton, M., Sundararaj, P. (1999). Effects of *Pratylenchus neglectus*, *Bacillus megaterium*, and oil radish or rapeseed green manure on reproductive potential of *Meloidogyne chitwoodi* on potato. *Nematropica* 29, 37-49.
- Arancon N.Q., Galvis, P., Edwards, C. Yardim, E. (2004). The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiologia* 47, 736-740.
- Blanc, C., M. Sy, D. Djigal, A. Brauman, P. Normand & C. Villenave (2006). Nutrition on bacteria by bacterial-feeding nematodes and consequences on the structure of soil bacterial community. *European Journal of Soil Biology*, Vol. 42, No. Suppl.1, pp. S70-S78.
- Bolt, G.H., M.G.M. Bruggenwert & A. Kamphorst (1978). Adsorption of cations by soil. Hoofdstuk 4 in : Bolt G.H. & M.G.M. Bruggenwert (eds.), *Soil Chemistry. A. Basic elements. Developments in soil science 5A*, Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-41435-5, 54-90.
- Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., Scala, F. (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *J. Plant Pathol.* 89: 311-340.
- Carter, M.R. (2002). Soil Quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94, 38-47.
- Chitwood, D.J. (2002) Phytochemical strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology* 40, 221-249.
- Cooke RC (1962). Ecology of nematode-trapping fungi in soil. *Annals of Applied Ecology* 50, 507-513.
- Coventry, E., Noble, R., Mead, A., Whipps, J.M. (2005). Suppression of *Allium* white rot (*Sclerotium cepivorum*) in different soils using vegetable wastes. *Eur. J. Plant Pathol.* 111: 101-112.
- Dam Kofoed A (1982) Humus in long term experiments in Denmark. In: Boels D, Davies DB and Johnston AE (eds.): *Soil degradation*. Balkema, Rotterdam, 241-258.
- DuPont, S.T., Ferris, H., Van Horn, M. (2009). Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology* 41, 157-167.
- Elema AG & Scheepens PC (1992) Verspreiding van onkruiden en plantenziekten met dierlijke mest; een risico-analyse. Publicatienr. 62, PAGV, Lelystad, 76 pp.
- Everts, K.L., Sardanelli, S., Kratochvil, R.J., Armentrout, D.K., Gallagher, L.E. (2006). Root-knot and root-lesion nematode suppression by cover crops, poultry litter, and poultry litter compost. *Plant Disease* 90, 487-492.
- Fontaine, S., A. Mariotti & L. Abbadie (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology & Biochemistry*, Vol. 35, no. 6, pp. 837-843.
- Franz, E. (2007). Ecology and risk assessment of *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium in the primary production chain of lettuce. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Galper, S., Cohn, E., Spiegel, Y., Chet, I. (1991). A collagenolytic fungus, *Cunninghamella elegans*, for biological control of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 23, 269-274.
- Godoy, G., Rodriguez-Kabana, R., Shelby, R.A. Morgan-Jones, G. (1983). Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. 2. Effects on microbial populations. *Nematropica* 13, 63-74.
- Griffiths, B.S., Ritz, K., Wheatley, R.E. (1994). Nematodes as indicators of enhanced microbiological

- activity in a Scottish organic farming system. *Soil Use and Management* 10, 20-24.
- Jaffee, B.A., Ferris, H., Stapelton, J.J., Norton, M.V.K., Muldoon, A.E. (1994). Parasitism of nematodes by the fungus *Hirsutella rhossiliensis* as affected by certain organic amendments. *Journal of Nematology* 26, 151-162.
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic carbon. *Plant and Soil* 76, 297-304.
- Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, 39-45.
- Kimpinski, J., Gallant, C.E., Henry, R., MacLeod, J.A., Sanderson, J.B., Sturz, A.V. (2003). Effect of compost and manure soil amendments on nematodes and on yields of potato and barley: A 7-year study. *Journal of Nematology* 35, 289-293.
- Koopmans CJ (2001) Beheer van de bodemvruchtbaarheid. In: Bokhorst JG en Koopmans CJ (eds.) *Bemesting en bodemgebruik in de biologische landbouw; Stand van zaken en knelpuntenanalyse*, 21-28.
- LaMondia, J.A., Gent, M.P.N., Ferrandino, F.J., Elmer, W.H., Stoner, K.A. (1999) Effect of compost amendment or straw mulch on potato early dying disease. *Plant Disease* 83, 361-366.
- Lazarovits, G., Conn, K.L., Abbasi, P.A., Tenuta, M. (2005). Understanding the Mode of Action of Organic Soil Amendments Provides the Way for Improved Management of Soilborne Plant Pathogens. *Acta Horticulturae* 698: 215-224.
- Leroy, B., Bommele, L., Reheul, D., Moens, M., De Neve, S. (2007). The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield. *European Journal of Soil Biology* 43, 91-100.
- Leroy, B.L.M., De Sutter, N., Ferris, H., Moens, M., Reheul, D. (2009). Short-term nematode population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Nematology* 11, 23-38.
- Litterick, A.M., Harrier, L., Wallace, P., Watson, C.A., Wood, M. (2004). The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production - A review. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23, 453-479.
- LNV en LTO (2009). Hygiëneprotocol voor melkgeiten- en schapenhouderijen. www.min.lnv.nl.
- Loveland, P. & J. Webb (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* 70, 1-18.
- Mahrán, A., Tenuta, M., Lumactud, R.A., Daayf, F. (2009). Response of a soil nematode community to liquid hog manure and its acidification. *Applied Soil Ecology* 43, 75-82.
- McSorley, R., Gallaher, R.N. (1996). Effect of yard waste compost on nematode densities and maize yield. *Journal of Nematology* 28, 655-660.
- McSorley, R., Gallaher, R.N. (1997). Effect of compost and maize cultivars on plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 29, 731-736.
- Mojtahedi, H., Santo, G.S., Wilson, J.H., Hang, A.N. (1993). Managing meloidogyne-chitwoodi on potato with rapeseed as green manure. *Plant Disease* 77, 42-46.
- Muller R, G.P. (1982). Organic amendments in nematode control. An examination of the literature. *Nematropica* 12, 319-326.
- Nahar, M.S., Grewal, P.S., Miller, S.A., Stinner, D., Stinner, B.R., Kleinhenz, M.D., Wszelaki, A., Doohan, D. (2006). Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Applied Soil Ecology* 34, 140-151.

- Neill, C. & J. Gignoux (2006). Soil organic matter decomposition driven by microbial growth: A simple model for a complex network of interactions. *Soil Biology & Biochemistry* 38, pp. 803-811.
- Nichols, K.A. & S.F. Wright (2004). Contributions of fungi to soil organic matter in agroecosystems. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, pp. 179-198.
- Noble, R., Coventry, E. (2005). Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. *Biocontrol Science and Technology* 15, 3-20.
- PAGV (1989) *Handboek Akkerbouw*, PAGV, Lelystad, 251 pp.
- Rodriguezkabana, R., 1986. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 18, 129-135.
- Shepherd, M.A., R. Harrison, S. Cuttle, B. Johnson, D. Shannon, P. Gosling & F. Rayns (2000). *Understanding soil fertility in organically farmed soils*. ADAS. UK. Mansfield.
- Sparling, G., R.L. Parfitt, A.E. Hewitt & L.A. Schipper (2003). Ecological Risk Assessment. Three approaches to define soil organic matter contents. *Journal of Environmental quality* 32, 760-766.
- Termorshuizen, A.J., van Rijn, E., Blok, W.J. (2005). Quantifying phytohygienic risks of compost application in agriculture. *Compost Science and Utilization* 13: 108-115.
- 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 Soil Biology* 39: 165-171.
- Timper, P., Newton, G.L., Johnson, A.W., Gascho, G.J., (2004). Nematode densities in year-round forage production systems utilizing manure fertilization. *Nematropica* 34, 219-227.
- Van Beers T (2009) Opstellen Aaltjes Beheersingsstrategie (ABS). Publicatie op [www.kennisakker.nl: http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/opstellen-aaltjes-beheersing-strategie-abs](http://www.kennisakker.nl/http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/opstellen-aaltjes-beheersing-strategie-abs) .
- Van den Boogert, P.H.J.F., Velvis, H., Ettema, C.H., Bouwman, L.A. (1994). The role of organic matter in the population dynamics of endoparasitic nematophagous fungus *Drechmeria coniospora* in microcosms. *Nematologica* 40, 249-257.
- Van Geel WCA, Dekker PHM, De Groot WJM, Van den Akker JJH (2007) *Structuurherstellend vermogen van groenbemesters; verslag van veldproeven in 2005-2006 te Lelystad en Kollumerwaard*. PPO-projectrapport nr. 510492. PPO-AGV, Lelystad, 62 pp.
- van Rijn, E., Termorshuizen, A.J. (2007). Eradication of *Polymyxa betae* by thermal and anaerobic conditions and in the presence of compost leachate. *Journal of Phytopathology* 155: 544-548.
- Vleeshouwers LM & Verhagen A (2002) Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8, 519-530.
- VWA (2009). Aanvullen advies Q-koorts risico via mest. Bureau risicobeoordeling, VWA. www.vwa.nl.
- Wright, S.F. & A. Upadhyaya (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, Vol. 1, pp. 97-107.
- Wright, S.F., J.L. Starr & I.C. Paltineanu (1999). Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 63, No. 6, pp. 1825-1829.
- Wright, S.F. & R.L. Anderson (2000). Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 31, No. 3/4, pp. 249-253.
- Yu, Q., Tsao, R., Chiba, M., Potter, J. (2007). Oriental mustard bran reduces *Pratylenchus penetrans* on sweet corn. *Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne De Phytopathologie* 29, 421-426.
- Zahid, M.I., Gurr, G.M., Nikandrow, A., Hodda, M., Fulkerson, W.J., Nicol, H.I. (2002). Effect of cover crops and cultural treatments on plant parasitic nematode density, fungal root disease severity and

- yield in white clover. Australian Journal of Experimental Agriculture 42, 165-171.
- Zaki, F.A., Bhatti, D.S. (1990). Effects of castor (*Ricinus communis*) and the biological control fungus *Paecilomyces lilacinus* on *Meloidogyne javanica*. Nematologica 36, 114-122.

Bijlage 1. Overzicht van literatuurgegevens over de effecten van organische stof op plantparasitaire aaltjes.

Auteur	Aaltjes	Proef-type	Soort organische stof	Methodieken	Gewas / rotatie	Effect op aaltjes en opbrengst	Extra opmerking
Renco et al. 2007	<i>Globodera rostochiensis</i>	• Pot proef	• 5 verschillende composten • o.a. GFT en een compost van gras/bladeren/hout	• 1.0–10.0% (w/w) • ingewerkt • 4 maanden	Aardappelen (Desiree)	• Aantal larven en eieren per cyst 50-85% gereduceerd. • Soms is het aantal cysten/400 g grond verhoogd.	• Verbetering van fysische en chemische bodemparameters. • Geen opbrengst bepaling.
Everts et al. 2006	<i>Pratylenchus penetrans</i>	• Microplot	• Kippenmest of kippencompost • Verschillende groenbemesters zoals haver of koolzaad	• 3 jaar rotatie (inclusief tweede gewas/jaar: soja, boon of soedangras) • 2.5-35 t/ha • Groenbemester versnipperd en ingewerkt	3 jaar rotatie (Aardappel / Komkommer/ Aardappel)	• Meestal geen significante verlaging van de aaltjes. • Erg hoge doseringen (8-35 t/ha) van compost leveren hogere opbrengsten aan aardappelen en komkommers (geen effecten op soja).	
Kimpinski et al. 2003	• <i>Pratylenchus penetrans</i> • <i>Meloidogyne hapla</i>	• Veld proef	• Compost (aardappelafval, zaagsel, rundermest) • Rundermest	• 7 jaar • Behandeling voor zaaien • 16 t/ha compost • 12 t/ha mest	Aardappelen (Kennebec)	• Aantal <i>P. penetrans</i> bij behandeling met compost of mest ongeveer twee keer hoger (2900 aaltjes/kg grond zonder compost en 5900 aaltjes/kg grond met compost of mest). • Geen effecten op <i>M. hapla</i> • Opbrengst ongeveer 27% verhoogd als organische stof toegevoegd wordt.	
Kimpinski et al. 2003	• <i>Pratylenchus penetrans</i> • <i>Heterodera trifolii</i>	• Veld proef	• Compost (aardappelafval, zaagsel, rundermest) • Rundermest	• 7 jaar • Behandeling voor zaaien • 16 t/ha compost • 12 t/ha mest	Gerst (Micmac)	• Aantal <i>P. penetrans</i> bij behandeling met compost of mest iets hoger dan zonder behandeling (1550 aaltjes/kg grond zonder compost en 1700 aaltjes/kg grond met compost). • Opbrengst ongeveer 12% verhoogd als compost toegevoegd wordt.	
Kimpinski et al. 2003	Vrij-levende aaltjes, <i>P. penetrans</i> , <i>M. hapla</i> , <i>H. trifolii</i>	• Veld proef	• Compost (aardappelafval, zaagsel, rundermest) • Rundermest	• 7 jaar • Behandeling voor zaaien • 16 t/ha compost • 12 t/ha mest	Gerst en aardappel.	Zowel compost als ook rundermest verhogen <i>P. penetrans</i> en vrij-levende aaltjes (van 6500 aaltjes/kg grond naar 12300 aaltjes/kg met rundermest). Geen effect op <i>M. hapla</i> . <i>H. trifolii</i> nam toe in rhizosfeer van gerst met compost.	<i>Diplogaster lheritieri</i> is de meest belangrijke bacterie-etende soort die gevonden werd. Deze soort is bekend vanwege de verspreiding van <i>Pseudomonas</i> spp.

Mojtahedi et al. 1993	<i>M. chitwoodi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pot proef • Veld proef 	<i>Brassica napus</i> of wintertarwe toegediend in potproef.	<ul style="list-style-type: none"> • Pot proef: 0-60 mg/g grond (verse stof, geknipt en homogeen verdeeld). • Veldproef: Groenbemesters gezaaid en 3-6 maanden later ingewerkt (15 cm); 10-44 t/ha 	Aardappelen	<ul style="list-style-type: none"> • Verlaagde penetratie van tomatenwortel bij toevoeging van <i>Brassica</i> (potproef). Effecten zijn alleen belangrijk voor het areaal waar materiaal werd ingewerkt. • Geen effect op opbrengst. Maar de schade aan de aardappelen is veel lager. Verder waren de aantalen <i>M. chitwoodi</i> soms sterk gereduceerd. • Geen significante verschillen tussen braak en tarwe m.b.t. opbrengst en besmetting. 	Hoewel wortels de hoogste concentratie aan glucosinolaten hadden waren er geen effecten van ingewerkte wortels op <i>M. chitwoodi</i> . Eieren waren minder kwetsbaar dan juvenielen.
Yu et al. 2007	<i>Pratylenchus penetrans</i>	Veld proeven (97/98)	<i>Brassica</i> of tarwe korrels	<ul style="list-style-type: none"> • 280-1120 kg/ha, 15 cm diep ingewerkt • 1120 kg/ha = 0,1% (w/w) • Braak en 91 L/ha Telone 	Mais	<ul style="list-style-type: none"> • 1997 wel verlaagde aantalen aan <i>P. penetrans</i> maar in 1998 geen vermindering. • Geen effecten van tarwekorrels. • Opbrengst in beide jaren significant verhoogd. 	Water is erg belangrijk voor de omzetting van glucosinolaat naar isothiocyanaat (1998 was erg droog)
Al-Rehiyani et al. 1999	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Meloidogyn e chitwoodi</i> • <i>Pratylenchus neglectus</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pot proef • Microplot 	<ul style="list-style-type: none"> • Koolzaad (<i>Brassica campestris</i>) • Bladrammenas (<i>Raphanus sativus</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • 300 g / 16 L pot (verse stof, 15 cm diep ingewerkt) 	Aardappelen	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeerdering van <i>M. chitwoodi</i> in pot proef. • Verlaagde aantalen aan <i>P. neglectus</i> en <i>M. chitwoodi</i> in microplot studie • Hogere opbrengst met bladrammenas en koolzaden. 	Interactie tussen <i>M. chitwoodi</i> en <i>P. penetrans</i> (competitie)
LaMondia 2006	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pratylenchus penetrans</i> • <i>Verticillium dahliae</i> 	Microplot	<ul style="list-style-type: none"> • Compost van (paddenstoelen gebaseerd op paarden mest) • Groenbemesters (koolzaden, afrikaantje, soedangras) 	<ul style="list-style-type: none"> • Compost 15 t/ha; 2.5cm diep ingewerkt. • Groenbemesters 2 jaar geteeld (gewassen ingewerkt). 	Aardappelen	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeerdering van <i>P. penetrans</i> bij inwerking van compost. Meer opbrengst. • Verder heel slechte resultaten m.b.t. aaltjes en opbrengst met koolzaden. • Goede resultaten met afrikaantje, soedangras en Sai oat. 	
Al-Rehiyani & Hafez 1998	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Meloidogyn e chitwoodi</i> • <i>Pratylenchus neglectus</i> 	Veld proef	<ul style="list-style-type: none"> • Koolzaad (<i>Brassica campestris</i> cv Humus) • Bladrammenas (<i>Raphanus sativus</i> cv Trez) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bladrammenas (gezaaid met 28 kg/ha); Koolzaad (gezaaid met 10 kg/ha) • 10-15cm diep ingewerkt • Gegroeid voor 3 maanden 	Aardappelen (Russet Burbank)	<ul style="list-style-type: none"> • Sterkere vermindering van <i>M. chitwoodi</i> met bladrammenas als in braak. • Geen effecten op <i>P. neglectus</i>. • Significant hogere opbrengst als met braak alleen voor bladrammenas 	
LaMondia et al. 1999	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pratylenchus penetrans</i> • <i>Verticillium dahliae</i> 	Microplot	<ul style="list-style-type: none"> • Compost van paddenstoelen geteeld op paarden mest • Stro (rogge) 	<ul style="list-style-type: none"> • Compost 15 t/ha; 2.5cm diep ingewerkt. • Stro; 8 cm diep ingewerkt. 	Aardappelen (Superior)	<ul style="list-style-type: none"> • Vermindering van <i>P. penetrans</i> alleen met compost (30-80%). • Vermeerdering van <i>P. penetrans</i> bij stro • Hogere opbrengst en kwaliteit alleen met compost. 	NPK-compensaties uitgevoerd

Leroy et al. 2007	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pratylenchus</i> sp. • <i>Tylenchidae</i> (plantenparasieten) • <i>Rhabditidae</i> (bacterieeters) 	Veld proef	<ul style="list-style-type: none"> • Runder drijfmest • GFT compost 	<ul style="list-style-type: none"> • 7-jarige toediening • 40-50 t/ha drijfmest • 22.5-45 t/ha compost 	Mais	<ul style="list-style-type: none"> • Minder <i>Pratylenchus</i> sp. door toevoeging van GFT-compost (tot 80% reductie). • Toevoeging van drijfmest verminderde <i>Tylenchidae</i>. • Geen significante verschillen m.b.t. <i>Rhabditidae</i> • Significante verhoging van de opbrengst 	Ook data m.b.t. Acari, Collembola en Lumbricina
McSorley & Gallagher 1996	Plantparasitaire aaltjes	Veld proef	GFT compost	<ul style="list-style-type: none"> • 2-3-jarige toediening • 269 t/ha ingewerkt (15-20 cm) of alleen als mulch 	Maïs	<ul style="list-style-type: none"> • Bij gebruik van compost is de opbrengst 2-keer zo hoog als zonder. • Geen vermindering van <i>Pratylenchus</i>, <i>Criconebella</i> of <i>Meloidogyne</i>. • Alleen vermindering van <i>Paratrichodorus minor</i>. • Effecten zijn onafhankelijk 	
Timper et al. 2004	Plantparasitair, <i>Pratylenchus</i> en <i>Paratylenchus</i>	Veld proef	Rundermest versus NPK	<ul style="list-style-type: none"> • 4-jarige toediening • Alle 2 weken • Ongeveer 600 kg N/ha/jaar 	Mais-Rogge	<ul style="list-style-type: none"> • Gemiddelde aantalen <i>Pratylenchus</i> en <i>Paratrichodorus</i>: met mest 159 en 16, en zonder mest 79 en 16 per 150 cm³ grond • Effecten variëren sterk tussen jaren • Geen significante effecten op <i>Helicotylenchus</i> sp. of <i>Mesocriconebella</i> sp. 	Geen data m.b.t. gewas
McSorley & Gallagher 1996	Plantenparasitaire aaltjes	Veld proef	5 verschillende groenbemesters: <ul style="list-style-type: none"> • Lupine • Rogge • Klaver • Zachte Wikke • Braak 	<ul style="list-style-type: none"> • groenbemesters worden ingewerkt, afgevoerd of gemaaid en als bodembedekking benut. 	Maïs	<ul style="list-style-type: none"> • Geen effect van groenbemesters die afgevoerd of ingewerkt worden. • Meestal hoogste vermindering van plantenparasieten door braak. 	
Zahid et al 2002	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Meloidogyne</i> • <i>Heterodera</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pot proef • Veld proef 	Pot proef (inwerken van verse): <ul style="list-style-type: none"> • Koolzaad • <i>Sorghum bicolor</i> • Mais • Molasses gras 	<ul style="list-style-type: none"> • 0-40g plantenmateriaal/550g grond (1 maand dan klaver) • In veld proef geen inwerking van gewasresten. 	Klaver in pot en veld proef	<ul style="list-style-type: none"> • Geen consistente resultaten (dosis-effect) 	
Lazarovits et al. 1999	<ul style="list-style-type: none"> • Plantparasitaire aaltjes • <i>Verticillium dahliae</i> 	Veld proef	<ul style="list-style-type: none"> • Sojameel • Beender- en vlees-meel 	<ul style="list-style-type: none"> • 37 t/ha, inwerkdiepte 15 cm (een keer in 1996). • Aardappelen 4 weken naar behandeling gezaaid. 	Aardappelen	<ul style="list-style-type: none"> • Plantparasitaire aaltjes worden voor 3 jaren sterk gereduceerd (2000-6000 aaltjes/kg grond in de controle; 20-200 aaltjes/kg grond in de behandeling), • In het eerste jaar phytotoxische effecten • Maar daarna toenemende opbrengst 	Afgenomen vitaliteit van de microsclerotia

Mahran et al. 2009	<ul style="list-style-type: none"> Vrij-levende aaltjes <i>Pratylenchus</i> spp. 	<ul style="list-style-type: none"> Microcosm 	<ul style="list-style-type: none"> Varkens drijfmest 	<ul style="list-style-type: none"> 40500 l/ha Aaltjes samenstelling geanalyseerd na 1-28 d. 	Geen gewas geteeld.	<ul style="list-style-type: none"> In de eerste drie dagen na behandeling extreme sterke vermindering van aaltjes. Daarna stijgen de aantallen aan vrij-levende aaltjes enorm.. Vooraf cp1 en cp2 aaltjes vermeerden zich sterk. Geen significante verschillen m.b.t. plantenparasieten. Significant lagere aantallen van <i>P. penetrans</i> na toevoeging van "zure"varkensmest. 	<ul style="list-style-type: none"> Vluchtige vetzuren zijn waarschijnlijk de oorzaak. Sorptie van vetzuren aan grond speelt geen rol.
Leroy et al. 2009	<ul style="list-style-type: none"> Vrij-levende en plantparasitaire aaltjes 	<ul style="list-style-type: none"> Veld proef 	5 verschillende organische stoffen: <ul style="list-style-type: none"> Stalmest (FYM) Rundermest GFT Compost (hout of verse stof) Braak 	<ul style="list-style-type: none"> Vier keer stof ingewerkt met 1500-4000 kg/ha. Bepaling van MI, SI, CI EI. 	<i>Beta vulgaris</i> <i>Brassica olerace</i> , <i>Triticum aestivum</i> <i>Phacelia</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> Extreme hoge aantallen aan bacterie-etende aaltjes door behandeling met rundermest of stalmest. Significant hogere aantallen plantparasitaire aaltjes na GFT. Minder plantparasitaire aaltjes bij toevoeging van stalmest of rundermest. 	<ul style="list-style-type: none"> Geen opbrengst bepaling. Bemeste veldje hebben hogere waarden van PFLA en meer bacteriën.
DuPont et al. 2009	<ul style="list-style-type: none"> Vrij-levende en plantparasitaire aaltjes 	<ul style="list-style-type: none"> Veld proef 	Groenbemesters (2-jaar): <ul style="list-style-type: none"> <i>Pisum sativum</i> Granen (<i>Avena</i> en <i>Triticale</i>) Braak 	<ul style="list-style-type: none"> Groenbemesters bovenop grond (6-19 t/ha). Bepaling van MI, SI, CI, EI 	Maïs	<ul style="list-style-type: none"> Hogere opbrengst met vlinderbloemige <i>Pisum sativum</i> Hogere aantallen aan enrichment opportunisten. Aantal aan plantparasitaire aaltjes hoger bij gebruik van groenbemesters dan braak. Groenbemester systemen zijn bacterie-gedomineerd. 	
Renco et al. 2009	<ul style="list-style-type: none"> Plantparasitaire aaltjes, <i>Paratylenchus</i>, <i>Rotylenchus</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Potproef 	<ul style="list-style-type: none"> Natuur-compost en penicilline-compost 	<ul style="list-style-type: none"> 0-10 % compost/grond in potten buiten met gerst na 4 maanden 	Gerst	<ul style="list-style-type: none"> Significante afname bij verschillende plantparasitaire aaltjes. 	<ul style="list-style-type: none"> Mechanismen: vrijkomen toxische stoffen, ammoniak (groter effect bij OS met hogere C:N.), toename antagonisten.
Muller et al. 1982	<ul style="list-style-type: none"> Review, Plantparasitaire aaltjes 	<ul style="list-style-type: none"> Review 	<ul style="list-style-type: none"> Oil cake, gewasresten/groenbemesters, compost/organische mest, mest, industrieel afval, zaagsel. 	<ul style="list-style-type: none"> Review van 1971-1981 125 artikelen met OS-aaltjes 		<ul style="list-style-type: none"> Voornamelijk een afname bij plantparasitaire aaltjes, soms fytotoxiciteit. 	Weinig data uit Europa, voornamelijk tropische meloidogyne-soorten.
D'Addabbo, 1995	<ul style="list-style-type: none"> Review, Plantparasitaire aaltjes 	<ul style="list-style-type: none"> Review 	<ul style="list-style-type: none"> Oil cake, gewasresten/groenbemesters, compost/organische mest, mest, industrieel afval, zaagsel. 	<ul style="list-style-type: none"> Review van 1982-1994 221 artikelen met OS-aaltjes 		<ul style="list-style-type: none"> Voornamelijk afname bij PP aaltjes, soms fytotoxiciteit. Meerdere aaltjessoorten 	Toename artikelen, voornamelijk tropische meloidogyne-soorten.

Bijlage 2. Wet- en regelgeving betreffende het gebruik van meststoffen

De handel in en het gebruik van meststoffen wordt in Nederland geregeld via de Meststoffenwet en de daarbij behorende besluiten en regelingen. Voor (werkzame) stikstof (N) en fosfaat (P_2O_5) en voor dierlijke mest zijn daartoe maximale hoeveelheden vastgesteld die per jaar en per hectare mogen worden toegediend. Deze maximale hoeveelheden zijn afgesproken met de Europese Unie middels de Actieprogramma's betreffende de Nitraatrichtlijn. In 2009 is het 4^e Actieprogramma vastgesteld, dat betrekking heeft op de jaren 2010-2013, en dat ook reeds een doorkijk geeft voor de jaren daarna.

Gebruiksnorm voor dierlijke mest

De gebruiksnorm voor dierlijke mest is vastgesteld op 170 kg N per kalenderjaar en per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond. De gebruiksnorm voor dierlijke mest van 170 kg N per ha is van toepassing voor alle mogelijke soorten en vormen van dierlijke mest en ook van producten waarin dierlijke mest is verwerkt of die uit dierlijke mest zijn gemaakt.

Voor bedrijven waarop graasdieren worden gehouden heeft Nederland van de Europese Commissie toestemming (derogatie) verkregen om jaarlijks maximaal 250 kg N per ha uit dierlijke mest te gebruiken. Aan deze derogatie is wel een aantal voorwaarden verbonden:

- de derogatie geldt alleen voor mest van graasdieren (runderen, schapen, geiten, paarden, etc.);
- de derogatie moet worden aangevraagd voor 1 december van het voorafgaande jaar;
- minimaal 70% van de oppervlakte landbouwgrond bestaat uit grasland dat bestemd is voor voederwinning of begrazing;
- de landbouwer stelt voor 1 februari van het betreffende jaar een bemestingsplan op en herziet dat steeds wanneer een wijziging in de daadwerkelijke bemesting plaatsvindt; en
- de fosfaattoestand en het stikstofleverend vermogen van de tot het bedrijf behorende landbouwgrond wordt minimaal eens per vier jaar vastgesteld door een erkend laboratorium, waarbij minimaal één monster per vijf ha wordt genomen (mits de grond homogeen is qua samenstelling en gebruik).

Gebruiksnormen voor stikstof

Voor elk gewas en/of teelt heeft de Nederlandse overheid per grondsoort vastgesteld hoeveel werkzame stikstof aan zo'n gewas mag worden toegediend. Deze gebruiksnormen waren oorspronkelijk gebaseerd op de stikstofbemestingsadviezen, zoals vastgesteld door de diverse adviescommissies. Naderhand zijn deze stikstofgebruiksnormen aangescherpt, met name op uitspoelingsgevoelige gronden (zand- en lössgronden), teneinde ook daar de voorgenomen milieunormen te kunnen halen.

Stikstofgebruiksnormen zijn vastgesteld per grondsoort en teelt, maar mogen worden toegepast op bedrijfsniveau. Dat wil zeggen dat de beschikbare hoeveelheid stikstof op bedrijfsniveau wordt berekend, maar dat een agrarisch ondernemer vrij is om die hoeveelheid stikstof naar eigen inzicht te verdelen over zijn gewassen en teelten. De verwachting is dat bij het vijfde actieprogramma (de jaren na 2013) deze gebruiksnormen voor stikstof verder naar beneden zullen worden bijgesteld.

In de berekening van het toegestane gebruik aan stikstof tellen alle meststoffen mee, zowel organische als minerale (kunst)meststoffen. Stikstof uit kunstmest telt voor 100% mee voor de stikstofgebruiksnormen. Omdat niet alle stikstof uit organische meststoffen beschikbaar komt voor het gewas, wordt voor deze meststoffen gerekend met een stikstofwerkingscoëfficiënt. De stikstofwerkingscoëfficiënt is het percentage van de stikstof uit een organische meststof dat even goed

werkt als breedwerpig toegediende kunstmeststikstof (kalkammonsalpeter). Voor drijfmest geldt over het algemeen een stikstofwerkingscoëfficiënt van 60% (voor bouwland op zand en löss is dit 70% behalve voor runderdrijfmest), voor vaste mest van 55% bij varkens, pluimvee en nertsen en 40% voor overige vaste mesten. Voor compost geldt een stikstofwerkingscoëfficiënt van 10%, voor champost van 25% en voor zuiveringsslib van 40% (zie Bijlage 1).

Gebruiksnormen voor fosfaat

De fosfaatgebruiksnormen zijn niet afgeleid van de Europese Nitraatrichtlijn, maar zijn wel ingesteld om andere Europees vastgestelde doelen te halen. Daarbij gaat het met name om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater, zoals vastgelegd in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Het doel van de fosfaatgebruiksnormen is om het areaal fosfaatverzadigde gronden terug te dringen. Dat leidt tot een vermindering van de uitspoeling en de afspoeling van fosfaat. Daarnaast moet er wel voldoende ruimte blijven om een optimale, landbouwkundige toestand van de landbouwpercelen in stand te houden. Fosfaatarme percelen moeten voldoende bemest kunnen worden.

In het vierde actieprogramma zijn de fosfaatsnormen ten opzichte van die in 2009 weer aangescherpt. Bovendien wordt vanaf 2010 zowel voor grasland als voor bouwland onderscheid gemaakt in gronden met "hoge", met "neutrale" en met "lage" fosfaattoestand. Voor grasland wordt het onderscheid gemaakt op basis van het P-AL-getal, voor bouwland op basis van het Pw-getal. In Tabel 0.1 staan de grenzen voor de diverse fosfaatklassen aangegeven.

Tabel 0.1. Klasse-indeling voor de fosfaatgebruiksnormen

Grondgebruik	Parameter	Fosfaattoestand		
		"laag"	"neutraal"	"hoog"
Grasland	P-AL-getal	< 27	27 < P-AL < 50	> 50
Bouwland	Pw-getal	< 36	36 < Pw < 55	> 55

De fosfaatgebruiksnorm die bij de verschillende fosfaatklassen hoort staat per kalenderjaar in Tabel 0.2. Ten opzichte van 2009 heeft in vrijwel alle gevallen een aanscherping plaatsgevonden. Uiteindelijk zal in 2015 de fosfaatgebruiksnorm op gronden met een neutrale fosfaattoestand gedaald zijn tot 90 kg P₂O₅ per ha op grasland en 60 kg P₂O₅ op bouwland.

Voor gronden met een erg lage fosfaattoestand geldt dat er reparatiebemesting mag worden toegepast. Wanneer uit een bodemanalyse blijkt dat het P-AL-getal op grasland lager is dan 16 of het Pw-getal op bouwland lager is dan 25, dan mag gedurende vier jaren een gift van 120 kg P₂O₅ per ha worden toegediend. Op bouwland mag daarvan maximaal 85 kg uit organische meststoffen afkomstig zijn.

Tabel 0.2. Fosfaatgebruiksnormen per fosfaatklasse, 2010 – 2015.

Grondgebruik	Fosfaattoestand	2010	2011	2012	2013	2014 ¹⁾	2015 ¹⁾
Grasland	Hoog	90	90	85	85	85	80
	Neutraal	95	95	95	95	95	90
	Laag	100	100	100	100	100	100
Bouwland	Hoog	75	70	65	60	55	50
	Neutraal	80	75	70	65	65	60
	Laag	85	85	85	85	80	75

1) De fosfaatsnormen voor 2014 en 2015 zijn indicatief en zullen pas in het vijfde actieprogramma worden vastgesteld.

De fosfaat in dierlijke mest telt volledig mee voor de gebruiksnormen, maar de fosfaat in compost telt maar voor 50% mee voor de gebruiksnorm.

Consequenties voor de gebruiksmogelijkheden van dierlijke mest en compost

Uitgaande van de gemiddelde samenstelling van dierlijke mest en compost (Tabel 0.3) worden de maximaal toegestane giften in de meeste gevallen bepaald door de fosfaatgebruiksnorm.

Tabel 0.3. Samenstelling van enkele organische meststoffen, en maximaal toe te dienen hoeveelheden op basis van de gebruiksnorm voor dierlijke mest (170 kg N-totaal), fosfaat en/of werkzame stikstof. Voor compost is uitgegaan van een maximale N-gift van 150 kg N-werkzaam, maar die is gewasafhankelijk en kan variëren.

meststof	gehalten, kg per 1000 kg vers product					maximaal toe te dienen (t/ha) op basis van		
	ds	os	N	P2O5	K2O	170 kg N	80 kg P2O5	60 kg P2O5
Runderdrijfmest	86	64	4,4	1,6	6,2	38,6	50,0	37,5
Varkendrijfmest	90	60	7,2	4,2	7,2	23,6	19,0	14,3
Vaste vleeskuikenmest	605	508	30,5	17	22,5	5,6	4,7	3,5
						maximaal toe te dienen (t/ha) op basis van		
						150 kg N-wz	80 kg P2O5	60 kg P2O5
GFT-compost	650	190	8,5	3,7	6,4	176,5	43,2	32,4
Groencompost	598	186	5,1	2,2	4,2	294,1	72,7	54,5

Perceels- en bedrijfsniveau

De gebruiksnormen gelden op bedrijfsniveau. Dit betekent dat het binnen de wetgeving mogelijk is probleempcelen aan te pakken, door toepassing van een hogere mestgift op het betreffende perceel dan normaalgesproken is toegestaan volgens de gebruiksnormen (Tabel 0.3).

Bijlage 3. Hoeveelheid (effectieve) organische stof en N-inhoud van gewasresten (o.a. op basis van PAGV, 1989).

Gewas	gewasdeel	organische stof kg/ha	humificatie coëfficiënt	effectieve org.stof kg/ha	C/N	N-inhoud + stro, kg N/ha	N-inhoud - stro, kg N/ha
aardappelen	wortelresten	500	0,35	175			
	bladresten	2700	0,2	540			
	oogstresten incl. kriel	800	0,2	160			
	totaal	4000		875	23	87	
suikerbieten	wortelresten	500	0,35	175			
	bladresten	700	0,21	147			
	oogstresten zonder blad	300	0,21	63			
	oogstresten incl. kop en blad	4500	0,21	945			
	totaal	5700		1267	23	124	
wintertarwe	wortelresten	1600	0,35	560			
	halmresten	2100	0,3	630			
	kaf en stroresten	1500	0,3	450			
	stro	3300	0,3	990			
	totaal	8500		2630	60	71	43
zomertarwe	wortelresten	1400	0,35	490			
	halmresten	2100	0,3	630			
	kaf en stroresten	1700	0,3	510			
	stro	3200	0,3	960			
	totaal	8400		2590	60	70	43
zomergerst	wortelresten	1000	0,35	350			
	halmresten	1900	0,3	570			
	kaf en stroresten	1300	0,3	390			
	stro	2100	0,3	630			
	totaal	6300		1940	60	53	35
wintergerst	wortelresten	1400	0,35	490			
	halmresten	2100	0,3	630			
	kaf en stroresten	1500	0,3	450			
	stro	2600	0,3	780			
	totaal	7600		2350	60	63	42
winterrogge	wortelresten	1200	0,35	420			
	halmresten	2100	0,3	630			
	kaf en stroresten	1500	0,3	450			
	stro	3400	0,3	1020			
	totaal	8200		2520	60	68	40
triticale	wortelresten	1400	0,35	490			
	halmresten	2100	0,3	630			
	kaf en stroresten	1500	0,3	450			
	stro	3200	0,3	960			
	totaal	8200		2530	60	68	42
snijmaïs	wortelresten	1500	0,35	525			
	halmresten	500	0,3	150			
	totaal	2000		675	40	25	
korrelmaïs	wortelresten	2000	0,35	700			
	halmresten	5000	0,3	1500			
	totaal	7000		2200	40	88	