



Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw

Jaap Bloem, Chris Koopmans en René Schils



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw

Jaap Bloem¹, Chris Koopmans² en René Schils¹

1 Wageningen Environmental Research

2 Louis Bolk Instituut

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra) en het Louis Bolk Instituut in opdracht van en gefinancierd door de provincie Zeeland.

Wageningen Environmental Research

Wageningen, oktober 2017

Rapport 2843
ISSN 1566-7197

Bloem, Jaap, Chris Koopmans en René Schils, 2017. *Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2843. 54 blz.; 13 fig.; 15 tab.; 54 ref.

Ondanks dat er geen metingen zijn dat de organische stofgehalten in de bodem achteruit gaan, laten berekeningen zien dat de Zeeuwse akkerbouw kampt met een negatieve organische stofbalans. Daarom is de keuze van de mest van belang omdat daarmee de aanvoer van organische stof kan worden verhoogd. Voor de bodemvruchtbaarheid moet de voorkeur worden gegeven aan vaste mest, rundveedrijfmest, rundveedigestaat. Van mineralen concentraten mag worden verwacht dat ze een kunstmestachtige werking vertonen en voornamelijk ingezet kunnen worden naast een (dierlijke) mestgift met als doel kunstmest te vervangen. Naast vaste mest kan een combinatie van compost met snelwerkende dierlijke mest als rundvee- of varkensdrijfmest een gunstige werking hebben op de bodembioïologie en daarmee op de opbouw van bodemvruchtbaarheid.

Trefwoorden: akkerbouw, biologie, bodem, mestbewerking, zeeland

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/425171> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research Rapport 2843 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Shutterstock

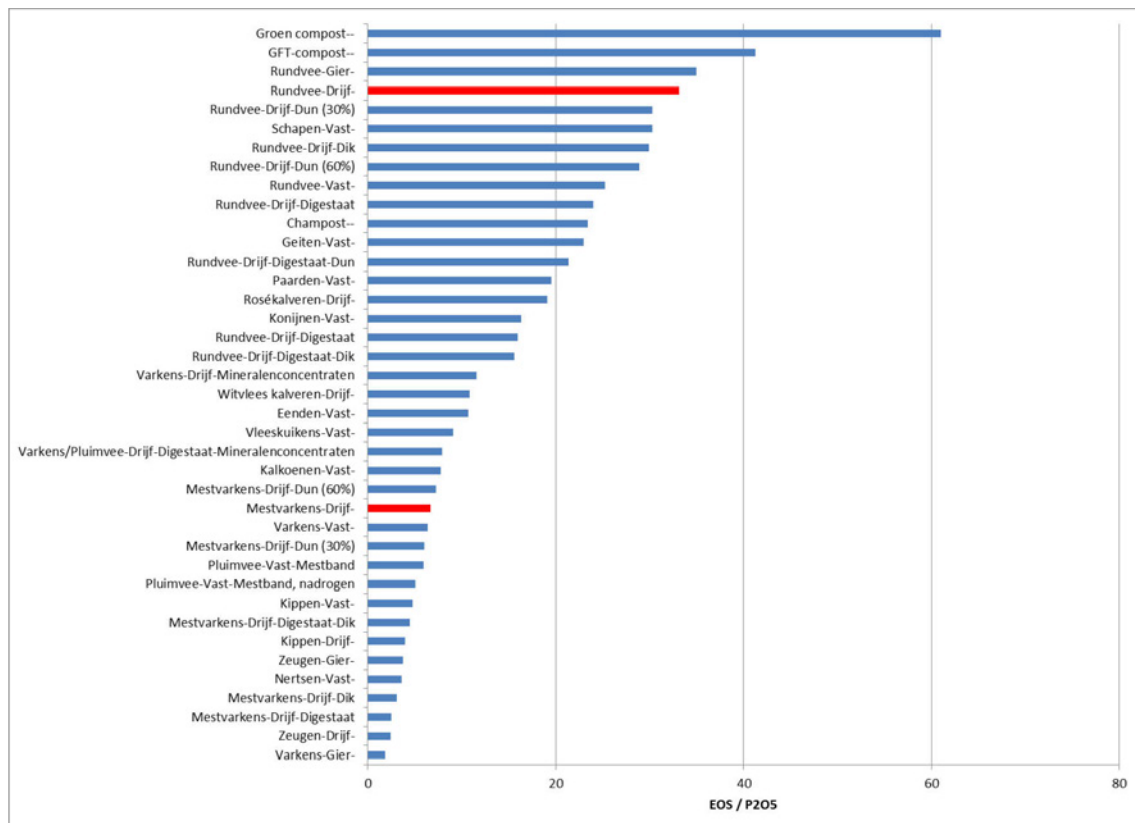
Inhoud

	Samenvatting en conclusies	5
1	Inleiding	11
2	Dierlijke mest	12
	2.1 Samenstelling mest	12
	2.2 Mestgebruik in Zeeland	17
3	Bodemvruchtbaarheid	19
	3.1 Wat is bodemvruchtbaarheid?	19
	3.2 Hoe meet je bodemvruchtbaarheid?	20
	3.3 Hoe meet je bodembiodiversiteit?	21
	3.3.1 Potentieel Mineraliseerbare N (PMN)	24
	3.3.2 Heet Water extraheerbaar C (HWC)	24
	3.3.3 Schimmelbiomassa	24
	3.3.4 Bacteriebiomassa	24
	3.3.5 Nematoden	25
	3.3.6 Regenwormen	25
	3.4 Streefwaarden	25
	3.4.1 Organische stof	25
	3.4.2 Bodembiologische indicatoren	25
	3.5 Huidige stand van zaken in Zeeuwse akkerbouw	28
	3.5.1 Organische stof	28
4	Effect dierlijke mest op bodembiologie	32
	4.1 Algemene principes in bodembeheer	32
	4.2 Lange termijn proeven; de aanhouder wint	32
	4.2.1 Broadbalk, Rothamsted, UK (1843-)	32
	4.2.2 Lovinkhoeve, Marknesse, NL (1966-1991)	33
	4.2.3 DOK proef, Therwil, Zwitserland (vanaf 1978)	33
	4.2.4 IBDF proef bij Darmstadt, Duitsland (vanaf 1980)	33
	4.2.5 Rodale, Pennsylvania, USA (vanaf 1981)	34
	4.2.6 Deherain, Grignon, Frankrijk (sinds 1875)	34
	4.2.7 Mest als kans, Lelystad (sinds 1999)	34
	4.3 Verschillende soorten organische mest	35
	4.4 Varkensmest en rundermest	39
	4.5 Mestscheiding: dunne en dikke fractie	40
	4.6 Digestaat	40
	4.7 Conclusies	42
	Literatuur	46
	Bijlage 1 Samenstelling dierlijke mest	50

Samenvatting en conclusies

De Zeeuwse veehouderij produceert jaarlijks bijna 1100 miljoen kg mest, waarvan het overgrote deel afkomstig is van graasdieren. Daarnaast importeert de Zeeuwse landbouw ruim 1000 miljoen kg mest en compost. Dunne varkensmest neemt driekwart van de import voor haar rekening, en dunne rundermest ongeveer 10%. De mestimport vult bijna de helft van de plaatsingsruimte, zodat in theorie nog ruimte is voor zo'n 1000 miljoen kg mest.

Ondanks dat er geen metingen zijn dat de organische stofgehalten in de Zeeuwse akkerbouwbodems achteruit gaan, laten berekeningen zien dat de Zeeuwse akkerbouw kampt met een negatieve organische stofbalans. Daarom is de keuze van de mest van belang omdat daarmee de aanvoer van organische stof kan worden verhoogd. Het effectieve organische stofgehalte per kg fosfaat is daarin sturend (Figuur S.1). Vooral compost en diverse soorten rundermest bevatten een gunstige verhouding tussen organische stof en fosfaat. Bij compost is het plaatje nog gunstiger omdat er een fosfaatvrijstelling van 50% geldt voor compost in de mestwetgeving. Aan de andere kant van het plaatje staan vooral diverse soorten varkensmest.



Figuur S.1 Rangschikking mestsoorten naar effectieve organische stof per kg fosfaat (exclusief fosfaatvrijstelling voor compost).

Mest en regionale kringlopen

Mest kan een belangrijke rol spelen in het op peil houden van de bodemvruchtbaarheid in Zeeland. De organische stof balans van de provincie, zo blijkt uit meerdere studies, is in balans of licht negatief. In de eerste plaats is het bouwplan en daarmee gewasresten en wortelbiomassa de belangrijkste aanvoer van organische stof. Vooral maaigewassen als luzerne, (gras)klaver en granen zijn van belang om het organische stof op peil te houden. Ook groenbemesters spelen hierin een centrale rol, zeker wanneer die gecombineerd worden met de inzet van dierlijke mest.

Zeeland is een netto importeur van organische mest. Wel treden er verschuivingen op van varkensdrijfmest richting de inzet van rundveedrijfmest en compost. Deze ontwikkeling kan als positief worden beschouwd. Streven naar een evenwicht tussen mestproductie en mestafzet op regionale schaal kan een beleidskeuze zijn. Zaak is de mest niet als los dossier te zien. Afspraken tussen mestproducent (veehouder) en akkerbouwer zijn essentieel om ook in de toekomst kringlopen méér te sluiten op regionale schaal.

Kwaliteit van mest is een issue dat steeds belangrijker wordt en niet meer uitsluitend een zaak van de veehouder zou moeten zijn. De akkerbouw zou gestimuleerd moeten worden om voorwaarden te stellen aan de kwaliteit van mest die beschikbaar komt. Dan wordt mest van een afvalproduct een waarde-product. Gezien de maatschappelijke ontwikkelingen ligt een grondgebonden veehouderij voor de hand. In termen van mestkwaliteit, inzet en bijdrage aan bodemvruchtbaarheid moet de voorkeur worden gegeven aan vaste mest, rundveedrijfmest, rundveedigestaat en minder varkensdrijfmest. Van mineralen concentraten mag worden verwacht dat ze een kunstmestachtige werking vertonen en voornamelijk ingezet kunnen worden naast een (dierlijke) mestgift met als doel kunstmest te vervangen.

Onderzoek is gewenst naar de beschikbaarheid en inzet van (regionale) composten en GFT afval. De kwaliteit hiervan weerhoudt boeren er nogal eens van om deze in te zetten. Toch liggen hier kansen om in een provincie als Zeeland (veel) meer mee te doen en dit mee te nemen in een regionaal beleid om de kringlopen regionaal te sluiten. Naast vaste mest is immers gebleken dat een combinatie van (GFT)compost met snelwerkende dierlijke mest als rundveedrijfmest een zeer gunstige werking heeft op de bodembioïologie en daarmee op de opbouw van bodemvruchtbaarheid.

Effecten van mest op de biologische bodemvruchtbaarheid en plantengroei

Het algemene beeld uit lange termijn proeven is dat met 20 jaar organische bemesting het organische stofgehalte 20-30% verhoogd kan worden ten opzichte van de inzet van kunstmest alléén. Het hogere organische stofgehalte gaat gepaard met meer bodemleven, betere kruimelstructuur, meer N mineralisatie en een betere benutting van stikstof. Er zijn aanwijzingen dat op kleigrond meer verbetering kan worden bereikt dan op zandgrond (25% versus 10%).

Voor behoud van organische stof en bodemkwaliteit is organische bemesting alleen echter niet voldoende. Dit vereist een geïntegreerde aanpak waarin ook bouwplan, gewasresten, gereduceerde grondbewerking en groenbemesters van groot belang zijn.

Er is een redelijk aantal publicaties waarin compost, vaste mest en (runder)drijfmest worden vergeleken met betrekking tot hun effecten op de biologische bodemvruchtbaarheid, maar er zijn zeer weinig publicaties over andere dierlijke mesten en mestverwerkingsproducten. Op de Rusthoeve (Colijnsplaat, kleigrond)) waren bodemademhaling, mineraliseerbare N en bacterie etende nematoden het hoogst na 3 jaar vaste mest, en het laagst met drijfmest. Compost zat daar tussenin. Een Europees project vond op 7 locaties de meeste regenwormen met vaste mest, wat minder met drijfmest, en veel minder met compost. De microbiële biomassa en bacterie etende nematoden waren het hoogst met drijfmest, lager met vaste mest en veel lager met compost. Vaste mest lijkt dus het meest gunstig voor regenwormen. De uiteenlopende resultaten met compost kunnen samenhangen met een uiteenlopende samenstelling en rijpheid van composten. Op intensief bewerkte lichte zavel bij Lelystad (Mest Als Kans proef) gaf het mengsel van drijfmest+GFT compost, natuurcompost en potstalmest na 18 jaar de grootste hoeveelheden mineraliseerbare N en HWC. Potstalmest en drijfmest+GFT vormen een combinatie van bodemvoeding en plantenvoeding en gaven ook de hoogste gewasopbrengst.

In akkerbouw op lemig zand in Vlaanderen leidde runderdrijfmest na 4 jaar tot meer organische stof in de bodem dan varkensdrijfmest. Net als bij Lelystad werden betere resultaten bereikt door runder- of varkensdrijfmest te combineren met compost. Het organische stofgehalte nam met 20% toe, terwijl de uitspoeling van stikstof en fosfor niet groter werd. Ook de microbiële biomassa was verhoogd. Compost gecombineerd met niet kerende grondbewerking gaf de hoogste aantallen regenwormen.

Tabel S.1 Kwalitatieve effecten van verschillende soorten bemesting op organische stof en bodemleven. Meer plussen wijst op een sterker effect, maar dit dient alleen binnen één kolom (per indicator) te worden vergeleken. Min duidt op een negatief effect. HWC is heet water extraheerbaar koolstof, PMN is potentieel mineraliseerbare stikstof.

	Organische stof	HWC	PMN	Bacteriën	Schimmels	Bacterivore nematoden	Fungivore nematoden	Herbivore nematoden	Regenwormen
Compost	+++	+/0	+	+/0	+/0	+/0	+/0	+/0	+/0
Vaste rundermest	+++	++	++	++	++	++	-	+	+++
Vaste pluimveemest	+	0	+	0	0	0	0	0	+
Runderdrijfmest	++	++	++	++	+	++	-	-	++
Varkensdrijfmest	+	+	+	+	0	+	-	-	0
Dikke fractie	+	+	+	0	0	0	0	0	+
Dunne fractie	-	-	-	0	-	0	-	0	0
Digestaat	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Concentraat	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Toelichting:

+, ++, +++	positief effect
-	negatief effect
+/0 en +/-	wisselende effecten
0	geen effect
Rood en vet	ondersteund door literatuur
Zwart	expert judgment (auteurs)

Tabel S.1 vat de belangrijkste effecten van mestsoorten op de bodembioïologie samen:

- Compost bevat veel effectieve organische stof en is goed voor opbouw van stabiele organische stof, bodemstructuur en waterhoudend vermogen, maar bevat minder voeding voor bodemleven en plant. De resultaten met compost kunnen erg wisselen.
- Vaste mest (stalmest, potstalmest) voedt zowel de bodem als de plant.
- Drijfmest voedt vooral de plant en het bacteriële deel van het bodemvoedselweb. Ook regenwormen profiteren er van.
- Runderdrijfmest is gunstiger voor organische stof dan varkensdrijfmest.
- Hoewel pluimveemest veel effectieve organische stof bevat wordt de organische stof gift sterk beperkt door het hoge gehalte aan nutriënten. De effectieve organische stof per kg fosfaat is laag.
- Er zijn goede resultaten behaald met opbouw van organische stof met behoud van gewasproductie, door combinaties van compost en drijfmest, ook met varkensdrijfmest.
- Digestaat is niet schadelijk, maar het werkt voornamelijk als minerale mest. Dus combinaties met koolstofbron (compost of vaste mest) zullen nodig zijn om organische stof op peil te houden.

Een balans in plantenvoedende en bodemopbouwende mestsoorten kan een voorwaarde zijn om op termijn een evenwicht te vinden tussen zowel de landbouwkundige opbrengsten alsook het handhaven van de bodemvruchtbaarheid. Deze balans kan worden bereikt met vaste mest of bij afwezigheid hiervan met combinaties. Van combinaties van bodemopbouwende inputs zoals compost en vaste mest in combinatie met snelwerkende mest zoals drijfmest, dunne fractie of concentraat mag wel worden verwacht dat deze in principe gunstig kunnen uitpakken voor zowel de (biologische) bodemkwaliteit alsook opbrengsten voor de landbouwer. Specifieke verhoudingen hiervoor zullen afhangen van bodemtype en bouwplan en vergen een meer specifieke benadering (Tabel 13).

Tabel S.2 Globale indeling van soorten mest naar hun werking voor plant en bodem. Indicatief zijn effectieve organische stof grenzen aangegeven.

Werking voor	Effectieve organische (kg per ton)	Mestsoort
Planten	< 60	Drijfmest (rund en varken), (Co)vergiste mest-digestaat, dunne fractie gescheiden mest, mineralen concentraat, minerale mest
Bodem & Plant	> 60 en < 120	Vaste mest, champost, combinaties*
Bodem	> 120	GFT, groencompost, dikke fractie gescheiden mest

* Combinaties kunnen bestaan uit bijvoorbeeld GFT met rundvee (of varken) drijfmest. Andere combinaties zijn denkbaar en zouden verder moeten worden onderzocht

Naast bovenstaande indeling zijn in de praktijk de meststoffen met een ruime verhouding tussen de EOS en fosfaat degenen die de meeste ruimte bieden om naast plantenvoeding ook de organische stof te verhogen. Globaal bieden hierbij rundveedrijfmest, vaste mestsoorten en composten (door hun fosfaatvrijstelling in de wetgeving) de meeste ruimte.

Met deze mestsoorten moet het ook mogelijk zijn de organische stofbalans in de akkerbouw van Zeeland (nu licht negatief ingeschat door diverse modelberekeningen) op te tillen naar een toevoer van meer dan 2000 kg EOS per ha per jaar benodigd om de bodem in balans te houden. Zou uitsluitende compost worden ingezet dan is een theoretische aanvoer tot 5000 kg EOS mogelijk.

De milieuwinst van organische mest hangt af van beheersmethoden zoals de gegeven hoeveelheid, tijdstip van toediening, manier van inwerken in de grond en inzet van een volggewas. Bij zorgvuldig beheer met gezond bouwplan en inzet van groenbemesters is het mogelijk met organische bemesting lagere N verliezen en dezelfde opbrengst te realiseren dan bij gangbaar beheer. De resultaten in verschillende studies zijn echter wisselend. Dit komt deels door de grote variatie in hoeveelheden en kwaliteit van organische mesten.

Indicatoren

Er zijn verschillende systemen in gebruik (en ontwikkeling) om de bodemkwaliteit en de effecten van organische mest op de bodemkwaliteit vast te stellen. Voor de praktijk zijn de bodemscan (akkerbouw) en de bodemconditiescore (veehouderij) de meest ontwikkelde en getoetste systemen. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een beperkt aantal bodemindicatoren in combinatie met visuele waarnemingen aan de bodem in het veld.

Voor wetenschappelijke studies zijn de indicatoren uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Bobi) het verst ontwikkeld en getoetst. Dit pakket is echter (nog) niet geschikt voor grootschalige routine analyse in de praktijk. De meest toegepaste indicatoren voor de biologische bodemkwaliteit zijn daarbij: organische stofgehalte, de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN), heet water extraheerbare koolstof (HWC), biomassa van bacteriën en schimmels, en aantallen en samenstelling van nematoden en regenwormen.

Werking van 'nieuwe' mestsoorten

Gedetailleerde informatie omtrent werking van de dikke- en dunne mestfracties, digestaat en mineralen concentraten uit mest vergen meer onderzoek in de praktijk om de effecten op de biologische bodemkwaliteit vast te stellen. Daarmee zijn voorspellingen omtrent de uitwerking van de inzet van dergelijke inputs op de lange termijn van de landbouw praktijk (nog) niet te overzien. Inzet van de dunne fractie na mestscheiding voegt veel minder organische stof toe aan de bodem vergeleken met ongescheiden mest en is daarmee vooral gericht op de plantenvoedende waarde op de korte termijn heeft. Wel mag worden verwacht dat het aandeel organische stof in deze producten een positieve uitwerking zal hebben op de bodemkwaliteit indien deze vergeleken worden en een vervanging zijn van minerale mest. Minerale mest maar ook de snelwerkende dierlijke meststoffen zoals concentraten kennen een priming effect: de microbiële activiteit wordt verhoogt met (versnelde) afbraak van organische stof tot gevolg. Daarom is het vinden van een balans tussen plantenvoeding en bodemorganische stofopbouw belangrijk als uitgangspunt en voorwaarde.

Daarnaast laten langlopende proeven zien dat met name de combinatie van inzet van dierlijke (vaste) mest met de inzet van groenbemesters het organische stofgehalte kan verhogen of op zijn minst op peil houden. In de regelgeving met betrekking tot mestinzet en vergroening van het gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) zou hier nog veel winst gehaald kunnen worden door deze dossiers geïntegreerd te benaderen. Bij zorgvuldig beheer van de vruchtwisseling en inzet van groenbemesters is het mogelijk dezelfde opbrengsten te realiseren met lagere N verliezen dan bij de gangbare minerale mesttoedieningen.

De literatuur laat zien dat een goed opgebouwde bodemvruchtbaarheid gepaard kan gaan met minder afhankelijkheid van externe inputs (kunstmest, energie en gewasbescherming). In die zin kan een afgewogen (organische) mestinzet gezien worden als een noodzakelijke randvoorwaarde om hier stappen te zetten naar een duurzamere productie die gepaard gaat met het verminderen van de risico's voor de boer.

Omdat stikstof gewoonlijk het meest beperkende nutriënt is voor de gewasproductie, wordt organische bemesting met mest en compost gewoonlijk gebaseerd op de geschatte hoeveelheid beschikbare N. Echter, de relatief lage N:P verhouding van de meeste organische mest en compost, evenals betrekkelijk grote hoeveelheden sporenelementen, in verhouding tot de gewasopname kunnen leiden tot ophoping in de bodem van P en sporenelementen zoals zink en koper. Dit illustreert het belang van analyses van mest en bodem als hulpmiddel bij organische bemesting.

In het Nederlandse bemestingsadvies wordt echter niet expliciet rekening gehouden met de stikstofnalevering uit de bodem. Zorgvuldig bodembeheer kan leiden tot verschillen in nalevering die kunnen oplopen tot een aanzienlijk percentage van de gewasbehoefte (15-40%). Hier ligt dus nog een groot potentieel voor sturing en winst voor de landbouwer. Door géén rekening te houden met de méérjarige effecten wordt de nalevering en daarmee de waarde van organische mest veelal onderschat.

1 Inleiding

De provincie Zeeland streeft naar een verduurzaming van de landbouw, onder andere gericht op verlaging van nutriëntenverliezen, verlaagde inzet gewasbeschermingsmiddelen, verbetering waterkwaliteit en verhoging biodiversiteit. Een goede bodemkwaliteit speelt daarin een belangrijke rol. De provincie signaleert verschillende ontwikkelingen in de landbouwpraktijk waarvan ze zich afvraagt of dat bijdraagt aan de verduurzaming van de landbouw en het in stand houden of verbeteren van de bodemkwaliteit.

De afgelopen 20 jaar kenmerkt het provinciale beleid voor de veehouderij zich door een ruimtelijk kader dat slechts beperkt ruimte biedt voor de ontwikkeling van niet grondgebonden veehouderij. Belangrijkste overwegingen die hebben geleid tot dit beleid zijn:

- Het feit dat destijds de ruimte voor het aanwenden van dierlijke mest vrijwel geheel benut was.
- Keuzes noodzakelijk waren bij het toedelen van schaarse milieuruimte.
- Het tegengaan van verstening van het landelijk gebied door géén mogelijkheden te bieden voor nieuwe grootschalige bebouwing.
- Het streven naar evenwicht tussen mestproductie en mestafzet op regionale schaal, zodat Zeeland zich niet zou ontwikkelen tot een mest exporterende regio.

Vanuit deze overwegingen is in beleidsmatige zin altijd ingezet op een beperkte groei van de grondgebonden melkveehouderij en het bieden van ruimte (binnen gestelde kaders) voor bestaande (intensieve) bedrijven.

Het streven naar een evenwicht tussen mestproductie en mestafzet op regionale schaal en de beperkte milieuruimte vormen overwegingen waarom ruim 20 jaar geleden is gekozen voor een terughoudend beleid ten aanzien van ontwikkelingsmogelijkheden voor de niet-grondgebonden veehouderij. Uit recent onderzoek (Boerenverstand) naar de kringlopen voor N, P en C komt naar voren dat de plaatsingsruimte voor stikstof en fosfaat in Zeeland niet wordt gevuld en dat er sprake is van een negatieve balans voor organische stof. Met name de organische stofbalans is van belang voor de Zeeuwse bodem en in het verlengde daarvan de bodemvruchtbaarheid.

Zeeland is in de afgelopen 20 jaar een mest importerende provincie gebleven om te kunnen voorzien in de behoefte vanuit de akkerbouw. Zeeuwse akkerbouwers krijgen betaald om mest af te zetten op hun gronden. Nu is dat vooral nog onbewerkte dunne varkensmest, maar het aanbod en diversiteit aan (bewerkte) mestsoorten neemt toe. De provincie heeft daarom behoefte aan een heldere analyse van de effecten van onbewerkte en bewerkte dierlijke mest op bodembiodiversiteit, organische stof en structuur.

Dit rapport begint met een overzicht van de mestsamenstelling (hoofdstuk 2). Daarna volgt een beschrijving van bodemvruchtbaarheid in het algemeen en bodembiodiversiteit in het bijzonder (hoofdstuk 3). De analyse van effecten van mest is in hoofdstuk 4 beschreven. Hiertoe hebben we gebruik gemaakt van nationale en internationale literatuur, rapporten en statistieken. We beperken ons zoveel mogelijk tot de Zeeuwse akkerbouw en dierlijke mest en daarvan afgeleide producten door mestbewerking, en compost. Het gaat primair om de functionele biodiversiteit ten behoeve van duurzame gewasproductie, en niet zozeer om de intrinsieke waarde van bodembiodiversiteit.

2 Dierlijke mest

2.1 Samenstelling mest

Mest is een mengsel van faeces en urine, uitgescheiden door dieren na opname en vertering van voer. De samenstelling van de mest op het moment van uitscheiding is afhankelijk van de diersoort en het rantsoen. Tijdens bewaring tot het moment van toediening op het land verandert de samenstelling, afhankelijk van het stalsysteem, de opslagmethode en opslagduur. Stalsystemen met stro hebben uiteraard een grote invloed op het uiteindelijke mestproduct. Maar ook in stallen met drijfmestssystemen hebben bijvoorbeeld de vloer en de frequentie van mestafvoer invloed op ammoniakverliezen, en dus op de uiteindelijke mestsaamenstelling. Verderop in de mestketen heeft de wijze en duur van opslag invloed op ammoniakverliezen en afbraak van organische componenten. Bewerking van de mest, zoals scheiden of vergisten, leidt ook tot veranderingen in de samenstelling. Mechanische scheiding leidt tot een dikke en dunne fractie met een hoger aandeel droge stof en organische stof in de dikke fractie. Met ultrafiltratie en omgekeerde osmose is het mogelijk om de anorganische bestanddelen verder te concentreren in een zogenaamd mineralenconcentraat. In vergistingsinstallaties wordt mest onder anaerobe omstandigheden afgebroken met als doel methaan te winnen. Door de afbraak van de organische componenten bevat het digestaat dat overblijft naar verhouding meer anorganische componenten dan de uitgangsmest. Bij anaerobe vergisting van mest wordt alleen de relatief gemakkelijk afbreekbare organische stof afgebroken en blijft daarom een relatief groot deel van de N organisch gebonden. De meeste literatuur wijst op een afbraakpercentage tussen 25 en 50%. Voor varkensmest is de afbraak meestal wat hoger dan voor rundermest. Om de methaanproductie te verhogen worden vaak andere organische producten toegevoegd. Dat kunnen speciaal daarvoor geteelde energiegewassen zijn of restproducten uit de voedingsmiddelenindustrie. De samenstelling van het digestaat na co-vergisting wordt sterk bepaald door het type co-vergistingmateriaal.

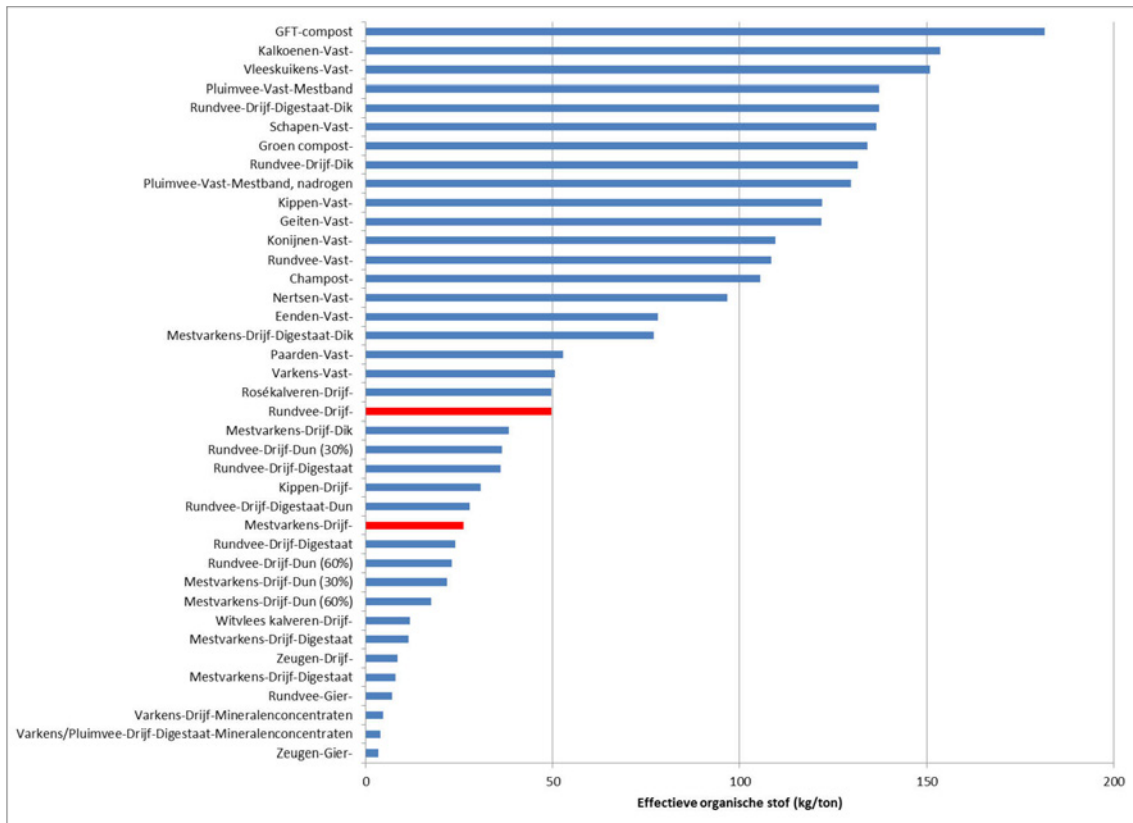
Via compostering komen organische producten in de landbouw terecht die niet van dierlijke oorsprong zijn. Tijdens compostering wordt organische stof afgebroken, maar worden andersom ook anorganische componenten vastgelegd in organische stof. Het gaat om huishoudelijk gft-afval of biomassa van verschillende herkomst. Een bijzonder restproduct is champost wat een mengsel is van onder andere dierlijke (paarden) mest en stro, afkomstig uit de champignonteelt.

Tabel 1 bevat een overzicht van de typische samenstelling van enkele dierlijke mestsoorten en composten. Dunne rundermest en (mest)varkensmest bevatten zo'n 10% droge stof en 7 tot 8% organische stof. Varkensmest bevat duidelijk hogere gehalten aan stikstof en fosfaat. De organische stof in varkensmest wordt sneller afgebroken dan die in rundermest waardoor de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS) in varkensmest lager is dan in rundermest. Vaste mest, compost en de dikke fractie van gescheiden mest bevatten doorgaans meer droge stof, organische stof en nutriënten. Bovendien is er relatief meer stikstof aanwezig in organische vorm. Bij de dunne fractie van gescheiden mest, digestaat en mineralenconcentraat is het net andersom. De gehalten in Tabel 1 zijn mediane of gemiddelde waarden, gebaseerd op analyses uit de landbouwpraktijk. De variatie tussen jaren en bedrijven is groot (Den Boer et al., 2012). Dat geldt in nog sterkere mate voor bewerkte mest. In alle gevallen is het raadzaam om de producten die op het bedrijf toegepast worden, te laten analyseren.

Tabel 1 Typische samenstelling van enkele soorten dierlijke mest en compost. De humificatiecoëfficiënt is de fractie van de toegevoegde organische stof die na 1 jaar nog in de bodem aanwezig is. De effectieve organische stof geeft de hoeveelheid organische stof weer die na een jaar nog aanwezig is. Zie Bijlage 1 voor een uitgebreide tabel met toelichting.

	Droge stof (kg/ton)	Organische stof (kg/ton)	Stikstof totaal (kg/ton)	Stikstof mineraal (kg/ton)	Stikstof organisch (kg/ton)	Fosfaat (kg/ton)	Werkzame stikstof (kg/ton)	Humificatiecoëfficiënt	Effectieve organische stof (kg/ton)
Drijfmest									
Rundvee	92	71	4.0	1.9	2.1	1.5	2.4	0.70	50
Vleesvarkens	107	79	7.0	3.7	3.3	3.9	4.2	0.33	26
Vaste mest									
Rundvee	267	155	7.7	1.1	6.6	4.3	3.1	0.70	109
Varkens	260	153	7.9	2.6	5.3	7.9	4.3	0.33	50
Pluimvee mestband	562	416	28.4	2.9	25.7	23	15.6	0.33	137
Compost									
Champost	336	211	7.6	0.4	7.2	4.5	1.9	0.50	106
GFT-compost	696	242	8.9	0.8	8.1	4.4	0.9	0.75	182
Groen compost	599	179	5	0.5	4.5	2.2	0.5	0.75	134
Gescheiden mest									
DRM Dunne fractie (60% rendement)	52	33	3	2	1	0.8	2.4	0.70	23
DRM Dikke fractie	250	188	7.8	1.6	6.2	4.4	3.1	0.70	132
DVM Dunne fractie (60% rendement)	66	53	6	3.7	2.3	2.4	4.8	0.33	17
DVM Dikke fractie	250	116	10.5	3.8	6.7	12.4	5.8	0.33	38
Co-vergiste mest									
RDM Digestaat. 25%	69	48	4.1	2.6	1.5	1.5	2.5	0.75	36
RDM Digestaat. 50%	53	32	4.1	3.1	1	1.5	2.5	0.75	24
Mineralenconcentraten									
MC varkensmest	37	14	8.2	7.5	0.7	0.4	4.9	0.33	5

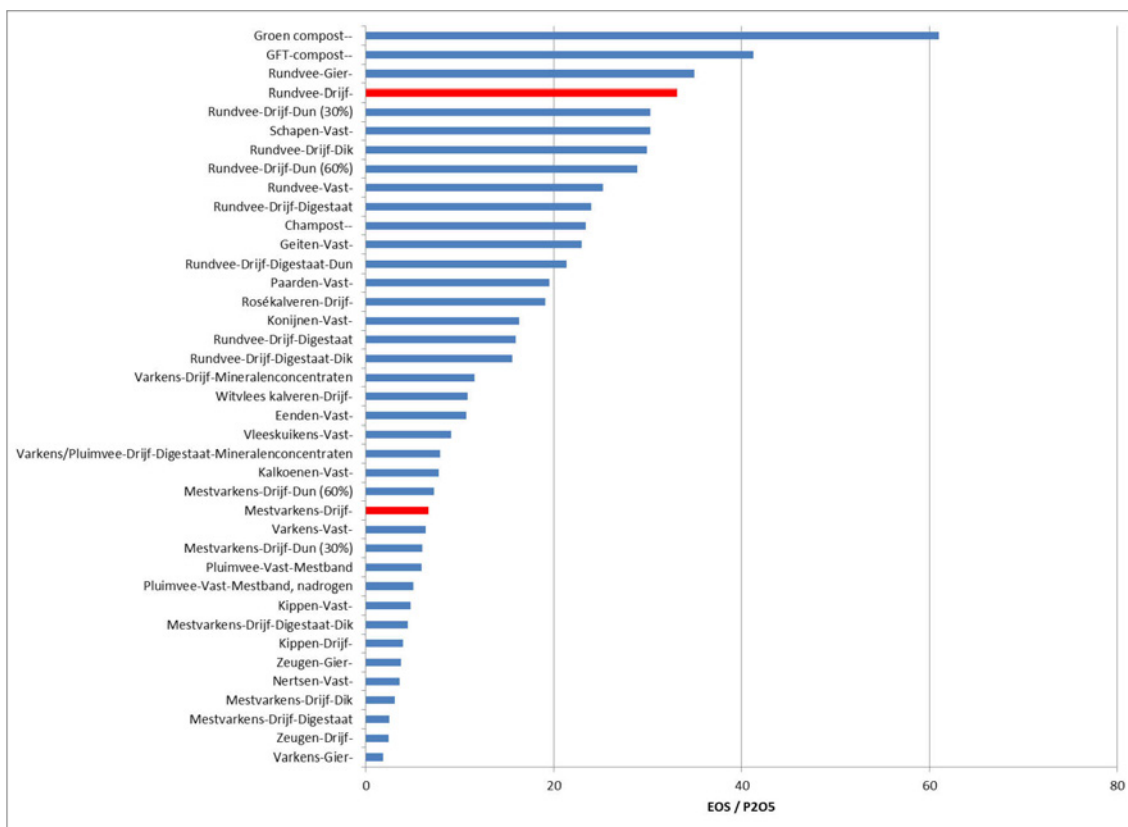
Indien we alle mestsoorten in beschouwing nemen (Bijlage 1) en rangschikken naar effectieve organische stof dan kunnen we grofweg een aantal groepen onderscheiden (Figuur 1). De laagste gehalten aan effectieve organische stof vinden we bij gier, mineralenconcentraten en digestaten van varkensmest, maar ook bij zeugendrijfmest. Wat hogere gehalten treffen we aan bij onbewerkte dunne mesten van mestvarkens, kippen en rundvee, alsook bij diverse dunne fracties van gescheiden mest en digestaten van rundermest. Tot slot is er een grote groep van vaste mesten, dikke fracties van gescheiden mest en composten met de hoogste gehalten aan effectieve organische stof.



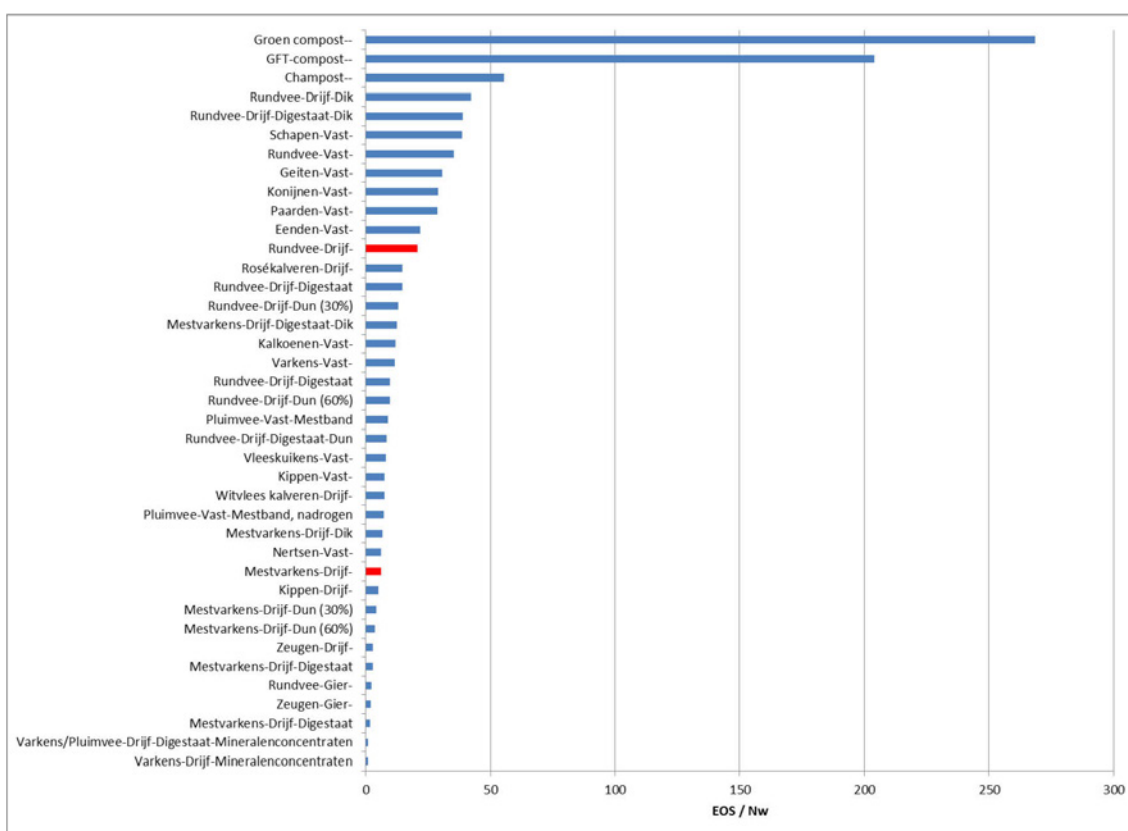
Figuur 1 Rangschikking mestsoorten naar effectieve organische stof.

De hoeveelheid aan te voeren dierlijke mest wordt bepaald door de gebruiksnormen voor fosfaat en stikstof. Mestsoorten met een ruime verhouding tussen effectieve organische stof en fosfaat bieden de meeste ruimte om de organische stof aanvoer te verhogen (Figuur 2). Vooral compost en diverse soorten rundermest bevatten een gunstige verhouding tussen organische stof en fosfaat. Bij compost is het plaatje nog gunstiger dan weergegeven omdat er een fosfaatvrijstelling van 50% geldt voor compost inzet in de mestwetgeving. Aan de andere kant van het plaatje staan vooral diverse soorten varkensmest.

Bij de verhouding tussen effectieve organische stof en werkzame stikstof is het contrast tussen mestsoorten nog groter (Figuur 3). De composten hebben hier veruit de gunstigste verhouding, terwijl de overige mestsoorten in een wat nauwere bandbreedte zitten. Hier geldt dat rundermest gunstiger is dan varkensmest, en dat vaste mest en dikke fracties van gescheiden mest gunstiger zijn dan dunne fracties van gescheiden mest, digestaten en mineralenconcentraten.



Figuur 2 Rangschikking mestsoorten naar effectieve organische stof per kg fosfaat (exclusief fosfaatvrijstelling voor compost).



Figuur 3 Rangschikking mestsoorten naar effectieve organische stof per kg werkzame stikstof.

De theoretisch maximale aanvoer van effectieve organische stof is afhankelijk van de specifieke hoogte van de gebruiksnorm en de mestsoort (Tabel 2). De gebruiksnorm voor fosfaat is afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem: hoe hoger de fosfaattoestand, hoe lager de gebruiksnorm. De maximale aanvoer loopt uiteen van minder dan 100 kg tot ruim 4000 kg effectieve organische stof per ha. Bij gebruik van dunne varkensmest (EOS/P2O5 ~ 7) bedraagt de aanvoer ongeveer 400 tot 500 kg EOS, terwijl dat bij dunne rundermest (EOS/P2O5 ~ 33) ongeveer 1500 tot 2500 kg EOS bedraagt. Met compost zijn aanvoeren mogelijk tot 5000 kg EOS per ha, of nog meer als er rekening wordt gehouden met de fosfaatvrijstelling.

Tabel 2 Maximale aanvoer effectieve organische stof (kg/ha) in relatie tot fosfaat gebruiksnorm en verhouding EOS/P2O5 van mest.

EOS/P ₂ O ₅	Gebruiksnorm (kg P ₂ O ₅ /ha)		
	75	60	50
1	75	60	50
5	375	300	250
15	1125	900	750
30	2250	1800	1500
45	3375	2700	2250
60	4500	3600	3000

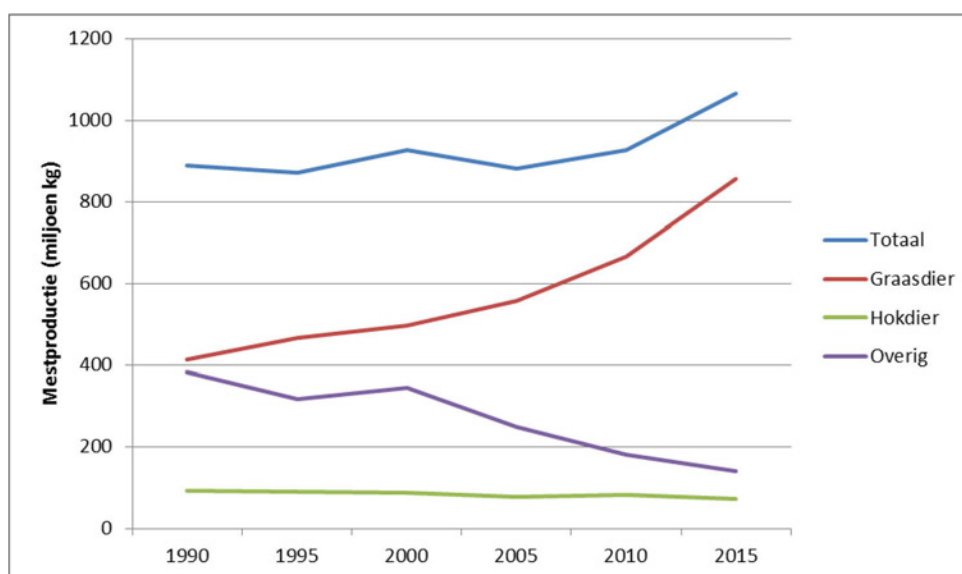
Een zelfde berekening is ook mogelijk met de gebruiksnormen voor stikstof die afhankelijk zijn van het gewas (Tabel 3). De verschillen zijn in dit geval nog groter, maar ze zijn niet realistisch omdat de fosfaat gebruiksnorm in de meeste gevallen beperkend zal zijn.

Tabel 3 Maximale aanvoer effectieve organische stof (kg/ha) in relatie tot stikstof gebruiksnorm en verhouding EOS/Nw van mest.

EOS/Nw	Consumptieaardappel (hoge norm)	Wintertarwe	Suikerbieten	Zomergerst
	260	160	145	80
1	260	160	145	80
25	6500	4000	3625	2000
50	13000	8000	7250	4000
100	26000	16000	14500	8000
200	52000	32000	29000	16000

2.2 Mestgebruik in Zeeland

In de afgelopen 25 jaar is de mestproductie in Zeeland toegenomen van ongeveer 900 tot bijna 1100 miljoen kg (Figuur 4). Dat is vooral het gevolg van uitbreiding van de graasdierhouderij. In diezelfde periode is de mestproductie in Nederland afgenomen van ongeveer 87 naar 76 miljard kg.



Figuur 4 Ontwikkeling mestproductie in Zeeland (CBS).

In 2015 hadden 54% van de graasdierbedrijven en 10% van alle bedrijven in Zeeland te maken met een overproductie (verschil tussen productie en plaatsingsruimte) van mineralen. Ter vergelijking, voor Nederland en Noord Brabant is dat respectievelijk 40% en 46% van alle bedrijven. In Zeeland, is de berekende resterende plaatsingsruimte 14460 t stikstof (126 kg/ha) en 5350 t fosfaat (46 kg/ha).

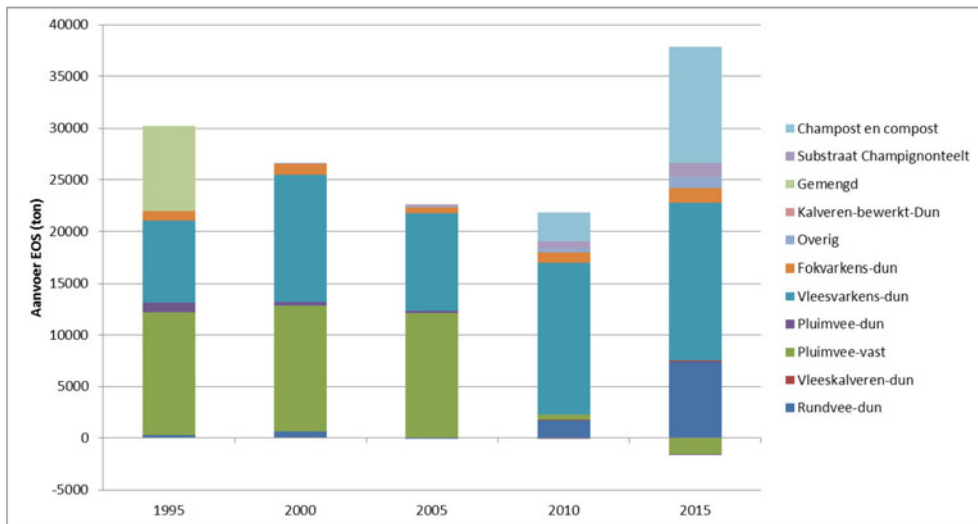
Deze ruimte is deels aangevuld met mest van buiten de provincie (Tabel 4). Varkensmest is al jaren de belangrijkste mestsoort die wordt aangevoerd, maar de laatste jaren neemt de import van rundermest en compost toe. De aanvoer van pluimveemest is sterk afgenomen, en is nu zelfs per saldo negatief. De totale aanvoer van stikstof en fosfaat is grofweg gehalveerd sinds 1995. In 2015 bedroeg de totale stikstofaanvoer 5790 t, waarmee 40% van de plaatsingsruimte is benut. Voor fosfaat was de aanvoer 2510 t, waarmee 47% van de plaatsingsruimte is benut.

Tabel 4 Netto mestaanvoer naar de provincie Zeeland (CBS).

	1995	2000	2005	2010	2015
Rundvee-dun (mln kg)	5	12	-1	34	148
Vleeskalveren-dun (mln kg)	2	2	4	5	11
Pluimvee-vast (mln kg)	92	94	93	4	-12
Pluimvee-dun (mln kg)	29	12	7	-2	-1
Vleesvarkens-dun (mln kg)	305	472	362	564	585
Fokvarkens-dun (mln kg)	99	117	66	109	164
Overig (mln kg)	0	5	7	14	41
Kalveren-bewerkt-Dun (mln kg)	0	0	1	3	0
Gemengd (mln kg)	331	0	0	0	0
Substraat Champignonsteelt (mln kg)	0	0	0	5	10
Champost en compost (mln kg)	0	0	0	20	80
stikstof (1000 kg)	10220	6850	5310	5160	5790
fosfaat (1000 kg)	4930	4370	3790	2850	2510
stikstof (kg/ha)	83	57	46	45	50
fosfaat (kg/ha)	40	36	33	25	22

De bovenstaande cijfers zijn niet uitgesplitst naar de sectoren akkerbouw en graasdierhouderij. Het is dus onduidelijk in welke mate de mest die van graasdierbedrijven en hokdieren wordt afgevoerd naar de akkerbouw gaat, of binnen de graasdierhouderij blijft. Die onzekerheid geldt ook voor de mest die van buiten de provincie wordt aangevoerd, al is het aannemelijk dat die grotendeels naar de akkerbouw gaat.

Op basis van de mesttransporten is het mogelijk om een voorzichtige schatting te maken van de hoeveelheid effectieve organische stof die met mest wordt aangevoerd. Daarvoor zijn de mestgehalten uit de voorgaande paragraaf gekoppeld aan de data over mesttransport (Figuur 5). De totale aanvoer aan effectieve organische stof is gedaald tussen 1995 en 2010, met name door de daling van de aanvoer van pluimveemest. Tussen 2010 en 2015 is de aanvoer van effectieve organische stof weer toegenomen door dunne rundermest en compost.



Figuur 5 Aanvoer effectieve organische stof met mest naar de provincie Zeeland.

3 Bodemvruchtbaarheid

3.1 Wat is bodemvruchtbaarheid?

Iedereen heeft wel een beeld van wat een onvruchtbare of vruchtbare bodem is. Bij een onvruchtbare grond denk je al snel aan geel of wit zand waarmee je normaal gesproken de zandbak vult. Daar zal niet veel op groeien. Een zak met potgrond is het andere uiterste. Het is rijk aan organische stof, houdt water goed vast en bevat veel voedingsstoffen voor planten. Hoe vruchtbaarder de grond, hoe beter we gewassen kunnen produceren als voedsel voor mensen en dieren. Bodemvruchtbaarheid is de bijdrage van de bodem aan de productiviteit. De invloed van bodemvruchtbaarheid komt vooral tot uiting indien geen gebruik wordt gemaakt van meststoffen, beregening of gewasbeschermingsmiddelen. Indien deze grond- en hulpstoffen wel worden toegepast, is de positieve invloed van een goede bodemvruchtbaarheid gemaskeerd.

Bodemvruchtbaarheid omvat alle chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen die nodig zijn voor de groei van planten (Schils, 2012). In de landbouw draait het erom dat planten zo efficiënt mogelijk hun voedingsstoffen kunnen vinden en opnemen. Tegelijkertijd mogen zo weinig mogelijk voedingsstoffen verloren gaan naar lucht, water of diepere bodemlagen, waar ze onbereikbaar worden voor de plantenwortels.

Chemische bodemvruchtbaarheid heeft vooral betrekking op de beschikbaarheid van voedingsstoffen voor planten. Planten nemen relatief grote hoeveelheden op van de zogenaamde macro-elementen stikstof, fosfor, kalium, calcium, magnesium en zwavel. Daarnaast zijn er tal van voedingsstoffen nodig in relatief kleinere hoeveelheden, de zogenaamde sporenelementen of micro-elementen. De belangrijkste sporenelementen zijn boor, koper, mangaan, kobalt, silicium, zink, ijzer en molybdeen.

Alle individuele elementen komen in de bodem voor in verschillende vormen. Planten kunnen alleen die voedingsstoffen opnemen die in de juiste vorm zijn opgelost in het bodemvocht. Fosfor bijvoorbeeld, komt voor in organische vorm en anorganische vorm. In Nederlandse zand- en kleigronden is ongeveer 70 tot 90% van de totale bodemvoorraad anorganisch fosfor. Maar slechts een zeer kleine fractie daarvan is, als orthofosfaat, opgelost in het bodemvocht. De meest voorkomende vormen van orthofosfaat zijn H_2PO_4^- en HPO_4^{2-} . Planten kunnen makkelijker eenwaardig geladen ionen opnemen dan meerwaardig geladen ionen. Dus fosfor nemen ze het liefst op als H_2PO_4^- .

Bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om te voldoen aan de chemische, fysische en biologische eisen voor de groei en voortplanting van planten met de gewenste kwaliteit voor de voeding van mensen en dieren.

Chemische bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om een geschikte chemische omgeving te creëren voor planten, en tevens bij te dragen aan de biologische en fysische processen van de nutriëntenkringloop.

Biologische bodemvruchtbaarheid

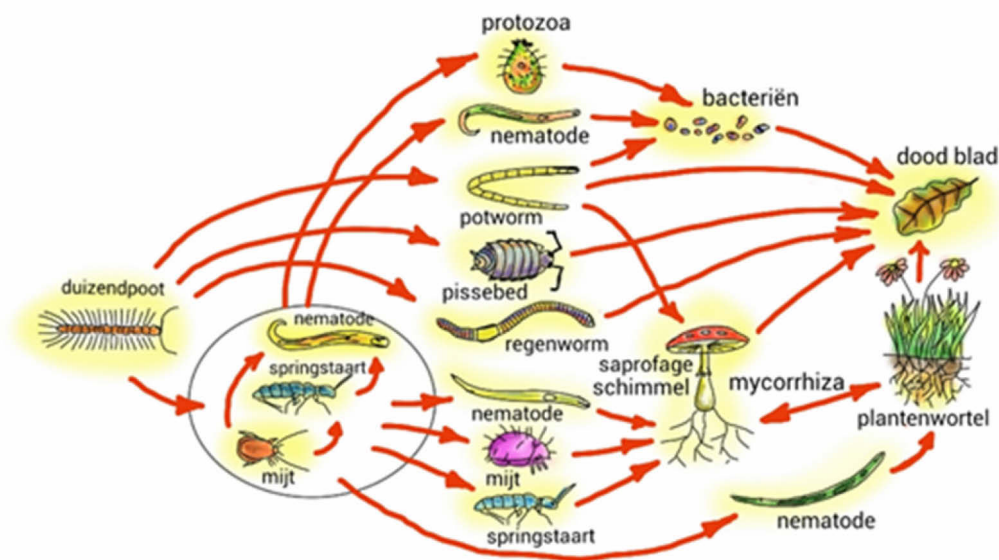
Het vermogen van bodemorganismen om bij te dragen aan de voeding van planten. Tegelijkertijd dienen biologische processen bij te dragen aan de gewenste chemische en fysische toestand van de bodem.

Fysische bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om de fysische voorwaarden te scheppen voor planten zonder erosie en verlies van bodemstructuur. Tegelijkertijd dienen fysische processen de juiste omstandigheden te creëren voor het verloop van de gewenste chemische en biologische processen.

Bij fosfor, maar ook bij andere elementen, bepaalt de pH de onderlinge verhouding waarin de verschillende opgeloste vormen voorkomen. Hoe lager de pH, hoe meer H_2PO_4^- , hoe gemakkelijker planten aan hun fosfor komen.

De biologische bodemvruchtbaarheid heeft betrekking op de rol van de levende organismen (Figuur 6). In de bodem leven microflora zoals bacteriën en schimmels, en fauna zoals wormen, mijten, springstaarten, aaltjes en protozoën. Al deze organismen zijn op de een of andere manier betrokken in de nutriëntenkringloop in de bodem. Het is eten en gegeten worden. Ze voeden zich met plantenresten, met meststoffen, maar ook met elkaar. Een deel van het verwerkte voedsel komt weer beschikbaar als voedingsstoffen voor de plant. Een ander deel wordt vastgelegd in het weefsel van de organismen zelf, of in andere vormen van organische stof.



Figuur 6 Bodemvoedselweb (Ron de Goede, WUR).

Fysische bodemvruchtbaarheid omvat de structureigenschappen van de bodem. Deze moet een structuur bieden waarin plantenwortels vocht en voedingsstoffen kunnen opnemen. Ook moet de grond blijven liggen waar die ligt. Dus niet bij de eerste de beste regenbui wegspoelen, of met de wind wegwaaien. De eigenschappen van een bodem zijn onder andere afhankelijk van de textuur, oftewel de korrelgrootteverdeling van een bodem. Kleigronden bevatten relatief veel deeltjes die kleiner zijn dan twee micrometer. Zandgronden bevatten vooral deeltjes groter dan 64 micrometer. De textuur is, samen met het gehalte aan organische stof, belangrijk voor het vochthoudend vermogen, maar ook voor de kans op verdichting, erosie en verslemping.

De chemische, biologische en fysische aspecten van de bodem staan niet los van elkaar. De structuur van de bodem heeft bijvoorbeeld invloed op de verschillende typen organismen die in de bodem actief zijn. Op haar beurt bepaalt dat weer hoeveel stikstof wordt vrijgemaakt of vastgelegd.

3.2 Hoe meet je bodemvruchtbaarheid?

De allesomvattende indicator voor bodemvruchtbaarheid bestaat niet. Dat heeft twee belangrijke redenen. Ten eerste heeft bodemvruchtbaarheid zowel chemische, biologische als fysische aspecten. Die zijn in de meeste gevallen niet met een en dezelfde indicator te beschrijven. Bovendien zijn binnen iedere afzonderlijke discipline tal van indicatoren beschikbaar die iets zeggen over een specifiek onderdeel van de chemische, biologische of fysische bodemvruchtbaarheid. Ten tweede is de te gebruiken indicator afhankelijk van het doel. In veel gevallen gaat het om de gewenste bodemvruchtbaarheid ten behoeve van landbouwkundige productie. Dat betekent dat de chemische bodemindicatoren een goede schatting moeten geven van de voor de plant beschikbare voedingsstoffen.

Ondanks de inmiddels enorme verscheidenheid aan indicatoren, zijn er toch wel enkele klassiekers uit te lichten. Organische stof hoort daar zeker bij omdat het centraal staat in de bodemvruchtbaarheid. Het draagt bij aan de structuur van de bodem, houdt vocht vast en is voedsel voor het bodemleven. In zandgronden is organische stof van belang voor de uitwisseling van kationen zoals natrium, kalium, calcium en magnesium. Bij de afbraak van organische stof komen veel verschillende voedingsstoffen vrij. De zuurgraad (pH) is eveneens van groot belang in de bodemvruchtbaarheid. Het bepaalt de beschikbaarheid van voedingsstoffen en toxische stoffen. De zuurgraad is ook mede bepalend voor de activiteit van micro-organismen. In zure bodems is geen of weinig kalk aanwezig wat een negatief effect heeft op de bodemstructuur.

Naast organische stof en zuurgraad behoort de beschikbaarheid van de belangrijkste voedingsstoffen meestal bij een standaard beoordeling van de bodemvruchtbaarheid. De voorraad en de beschikbaarheid van de macro-elementen stikstof, fosfor en kalium is van groot belang want gewassen nemen hiervan grote hoeveelheden op. In principe kunnen alle macro- en micro-elementen toegevoegd worden aan de lijst met voedingsstoffen. De bodemstructuur (kruimels, aggregaten) wordt meestal visueel beoordeeld, naast metingen van indringingsweerstand (penetrometer) en bulkdichtheid (gram/cm³). Het hangt van de specifieke situatie af welke indicatoren zinvol zijn.

In de landbouw streeft men naar een bodemvruchtbaarheid die optimaal bijdraagt aan de productie van gewassen met een goede kwaliteit. Grondonderzoek helpt om de bodemvruchtbaarheid waar nodig in de juiste richting bij te sturen. Hoe dat moet staat in de adviesbasis voor de bemesting (De Haan en van Geel, 2013). Voor de meeste chemische indicatoren zijn streefwaarden bekend, afhankelijk van grondsoort en gewas. De adviesbasis vertaalt de afwijking van de streefwaarde naar een bemestingsadvies. Bij een hoge bodemvruchtbaarheid hoort een relatief lage adviesgift, en andersom bij een lage bodemvruchtbaarheid een relatief hoge adviesgift.

Het vakgebied bodemvruchtbaarheid maakt momenteel een enorme ontwikkeling mee. In het klassieke onderzoek heeft de chemische bodemvruchtbaarheid de toon gevoerd. Recentelijk is dat meer en meer uitgebreid naar de biologische en fysische bodemvruchtbaarheid, zonder overigens de samenhang met de chemische bodemvruchtbaarheid uit het oog te verliezen. Hierdoor komen steeds meer bodem-biologische indicatoren beschikbaar. Dat kunnen rechtstreekse metingen zijn van het aantal of het gewicht van bepaalde bodemorganismen, of afgeleide indicatoren die de activiteit van bepaalde groepen beschrijven. Langzamerhand verschijnen ook steeds meer adviezen over bodem-biologische streefwaarden, al dan niet voorzien van een bemestings- of handelingsadvies.

3.3 Hoe meet je bodembiodiversiteit?

Bodembiodiversiteit heeft veel aspecten. Daarom zijn er veel indicatoren om onderdelen en functies van de bodembiodiversiteit te meten. In een aantal Europese projecten zijn selecties gemaakt van toepasbare indicatoren voor bodembiodiversiteit en bodemkwaliteit (Bloem et al. 2006; Bispo et al. 2009, Griffiths et al 2016). Veel indicatoren hebben hun bruikbaarheid bewezen en er zijn niet een paar die superieur en universeel toepasbaar zijn. Er is altijd een meer of minder uitgebreide set van indicatoren nodig, afhankelijk van het doel, technische mogelijkheden en beschikbaar budget. Het omvat aantallen of biomassa, en soortensamenstelling of diversiteit van verschillende functionele groepen bodemorganismen. Daarnaast worden ook activiteiten en functies gemeten.

In het Bodembio-logische Indicator (Bobi) project werden meer dan 50 indicatoren gemeten in het kader van het Landelijke Meetnet Bodem (LMB). Bobi werd sinds 1997 gecoördineerd door het RIVM, maar de metingen zijn beëindigd in 2014. Wel is de database nog zeer relevant als referentie. De uitgebreide set indicatoren geldt als de standaard voor Nederland (Rutgers et al. 2007; 2014). Naast bodembio-logische eigenschappen zijn ook chemische en fysische eigenschappen gemeten, onder andere organische stofgehalte, C- en N-totaal, bulkdichtheid, indringweerstand en vochtgehalte. Daarnaast worden ook gegevens over het bodembeheer en bedrijfsvoering verzameld. Bobi bevat indicatoren voor de volgende organismen en processen (Schouten et al. 1997, 2002):

- Koolstof- en stikstofkringloop (potentiële C- en N mineralisatie)
- Bacteriën en schimmels
- Aaltjes (nematoden)
- Potwormen (enchytraeëen)
- Regenwormen (lumbiciden)
- Mijten en springstaarten (micro-arthropoden)

Voor de meeste organismen worden indicatoren afgeleid, gebaseerd op meting van biomassa, aantallen, samenstelling en soortenrijkdom. Identificatie van soorten vindt plaats tot op het niveau van het geslacht (genus) of de soort (species).

Voor de regenwormen worden plaggen van 20x20x20 cm gestoken op willekeurige plaatsen. Voor de potwormen en de mijten en springstaarten worden kolommen gestoken (lengte 15 cm of 7,5 cm; diameter 5,8 cm). Voor de nematoden, bacteriën, schimmels, bodemeigenschappen en procesparameters worden monsters met een boor gestoken, verzameld en gemengd. De monstercampagnes voor Bobi vonden plaats in de maanden april en mei, omdat in die periode de diverse bodemecosystemen actief en relatief stabiel zijn: de vochthuishouding en nutriëntenstatus zijn dan tamelijk constant en relatief onafhankelijk van de weersomstandigheden. Een meer gedetailleerde beschrijving van de methoden is te vinden in Rutgers et al. (2007).

Voor de landbouwpraktijk is een meetset van die omvang te kostbaar. In 2013 is voor het toenmalige Productschap Akkerbouw een kleinere selectie gemaakt van indicatoren voor een meetset bodembiodiversiteit (Hanegraaf en van Alebeek, 2013)¹.

Tabel 5 geeft, naast de Bobi standaard set en de daarvan afgeleide beperkte meetset, een overzicht van andere systemen die worden gebruikt of ontwikkeld om bodemkwaliteit en in meer of mindere mate ook bodembiodiversiteit in kaart te brengen.

¹ Gedetailleerde informatie is te vinden op <http://www.kennisakker.nl/node/4156>. De links hierin werken echter niet goed meer. Dit is te omzeilen door met b.v. Google te zoeken op "meetset bodembiodiversiteit".

Tabel 5 Systemen in gebruik om bodembioologische indicatoren in kaart te brengen.

Systeem	Beschrijving	Gehanteerde bodembioologische indicatoren
Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Bobi)	Deze uitgebreide set van indicatoren geldt als de standaard voor Nederland. Het door het RIVM gecoördineerde meetnet (1993-2014) is niet meer operationeel. Wel zijn de database en de set aan indicatoren, waaronder de Bodembioologische Indicator (BoBi), nog (zeer) relevant als referentie.	Bacteriële biomassa, -activiteit en diversiteit Schimmelbiomassa en activiteit Nematoden (aantallen en diversiteit) Regenwormen en potwormen (aantallen en diversiteit) Mijten en springstaarten (aantallen en diversiteit) Potentiele C mineralisatie (bodemademhaling) Potentiele N mineralisatie (aeroob) Potentieel Mineraliseerbare N (anaeroob)
Minimale dataset	Database uit de PPS Bodem van de Topsector Agri&Food. Als tool niet operationeel.	Bacteriële biomassa Schimmelbiomassa en activiteit Hot Water extractable Carbon (HWC) Potentieel Mineraliseerbare N (PMN) Nematoden (aantallen en diversiteit) Regenwormen (aantallen en diversiteit) <i>Soms aangevuld met:</i> Mijten en springstaarten (aantallen en diversiteit) Ziektewering (biotoetsen in potproeven) Pathogene schimmels/bacteriën
Soil health Index	Systeem ontwikkeld door Cornell University (VS). Mogelijkheden in inventariserende studie onderzocht.	Eiwit index Bodemademhaling (CO ₂ respiratie) Actieve koolstof Potentieel Mineraliseerbare N (PMN) Wortel ziektedruk
Bodemscan	Bodemkwaliteitsbeoordeling, ontwikkeld door LBI. Visuele deel in gebruik bij Stichting Veldleeuwerik.	Organische stof Bodempathogenen (besmettingen) BFI/Bodemleven (indirecte NIR meting, zie Laboratoria waaronder Eurofins) CO ₂ respiratie (meting) Poriën (score) Wormgangen (score)
Bodem conditiescore	Visuele veldbeoordeling tbv kennisoverdracht veehouderij, ontwikkeld door WUR, LBI en boernverstand. Gebaseerd op Visual Soil Assessment (Nieuw Zeeland)	Organische stof (meting) Regenwormen (score)
Bodempaspoort	In ontwikkeling bij ZLTO. Beoogd bodem- en perceel info te combineren tbv huur en pacht.	Organische stof (meting) Pathogene nematoden (soort/aantal) Regenwormen (aantal/m ²)
Bodemlabel	In ontwikkeling bij CLM. Gericht op maatregelen die genomen kunnen worden om bodemconditie te verbeteren.	(Nog) niet uitgewerkt.
Diverse systemen van laboratoria waaronder Eurofins	Uitgebreide set van chemische en soms bodembioologische indicatoren	Organische stof (meting) BFI (bodemleven), indirectie meting met Near InfraRed spectroscopie (NIR). Zou moeten correleren met de potentieel mineraliseerbare N.

In de volgende paragrafen volgt een beknopte toelichting over de indicatoren uit de beperkte meetset. Deze indicatoren zijn ook onderdeel van de minimale dataset voor de akkerbouw die wordt ontwikkeld door Wageningen Plant Research in de PPS Bodem van de Topsector Agri & Food. De minimale dataset is uitgebreider dan de beperkte meetset, maar mijten en springstaarten, ziektevering en pathogenen worden slechts bij een deel van de bemonsteringen meegenomen.

3.3.1 Potentieel Mineraliseerbare N (PMN)

PMN (mg N/kg grond) is een maat voor labiele, gemakkelijk afbreekbare stikstof. Dit wordt gemeten als de toename van ammonium na 1 week anaerobe incubatie in water bij 40°C. Onder deze omstandigheden is er een snelle mineralisatie en wordt er weinig stikstof weer vastgelegd in microbiële biomassa. Er wordt geen nitraat gevormd waardoor verliezen door denitrificatie worden vermeden. De PMN vertoont goede correlaties met de totale microbiële biomassa en is betrekkelijk eenvoudig te meten en te begrijpen. De totale microbiële biomassa en de bodemademhaling worden ook veel gebruikt. De PMN is echter gemakkelijker te meten dan de microbiële biomassa, en gemakkelijker te interpreteren dan de bodemademhaling. De PMN correleert vaak met het organische stofgehalte en totaal N en C, maar laat eerdere en grotere verschillen zien, bijvoorbeeld toename na organische bemesting of gereduceerde grondbewerking.

Hogere waarden wijzen op meer bodemleven en een grotere bodemvruchtbaarheid. De hoogste waarden worden gevonden op (permanent) grasland, lagere waarden voor akkerbouw, en de laagste waarden voor tuinbouw. Dit hangt samen met de intensiteit van het grondgebruik.

Potentieel mineraliseerbare N is niet hetzelfde als de *potentiele N mineralisatie*. De potentiele N mineralisatie (mg N/kg/week) wordt gemeten als de toename van ammonium en nitraat na 6 weken (aerobe) incubatie van grond bij 20°C. Dit komt meer overeen met wat er (netto) vrij komt in de bodem, omdat een aanzienlijk deel van de gemineraliseerde N kan worden vastgelegd (geïmmobiliseerd) in microbiële biomassa. PMN (anaerobe incubatie) omvat ook geïmmobiliseerde N.

3.3.2 Heet Water extraheerbaar C (HWC)

HWC ($\mu\text{g C/kg}$) is labiele koolstof die nauw verbonden is met microbiële activiteit. Het wordt gemeten als de toename in organische koolstof na 18 uur incubatie in water bij 80°C. HWC bestaat voor een groot deel uit slijm dat door bacteriën en schimmels is uitgescheiden, en zorgt voor het samenkiten van bodemaggregaten (grondkruimels). HWC correleert met totaal organische stof, maar laat sneller en grotere verschillen zien van bijvoorbeeld organische bemesting of gereduceerde grondbewerking. Hogere HWC-waarden wijzen op meer bodemleven en een grotere bodemvruchtbaarheid, hoewel de verbanden wat minder duidelijk zijn dan bij mineraliseerbare stikstof. De hoogste waarden worden gevonden op (permanent) grasland, lagere waarden voor akkerbouw, en de laagste waarden voor tuinbouw.

3.3.3 Schimmelbiomassa

Schimmels zijn, samen met bacteriën, de belangrijkste afbrekers van organische stof en vormen de basis van het voedselweb. Schimmeldraden vormen netwerken rond organisch materiaal en gronddeeltjes en dragen zo bij aan een goede kruimelige structuur. Een hoge schimmelbiomassa ($\mu\text{g C/g}$), en een hogere schimmel/bacterie verhouding wijzen op een relatief lage beschikbaarheid van (minerale) nutriënten, langzame afbraakprocessen en een kleinere kans op stikstofverliezen door uitspoeling en denitrificatie. De totale schimmelbiomassa wordt microscopisch gemeten na kleuring van de celwanden. Actieve schimmeldraden (% van totaal) worden onderscheiden door kleuring van nucleïnezuren. Er zit meer RNA in groeiende cellen.

3.3.4 Bacteriebiomassa

Bacteriën zijn samen met schimmels, belangrijke afbrekers van organische stof, en vormen de basis van het bodemvoedselweb. De hoeveelheid en activiteit van bacteriën wordt bevorderd door organische bemesting, vooral door drijfmest met een relatief hoge stikstofbeschikbaarheid. Bodems met relatief veel bacteriën (lage schimmel/bacterieverhouding) hebben een relatief snelle afbraak en hoge mineralisatie. Een grotere bacteriebiomassa ($\mu\text{g C/g}$) wijst op een hogere bodemvruchtbaarheid.

Dit is gunstig voor de gewasproductie, maar geeft ook een groter risico op stikstofverliezen door uitspoeling of denitrificatie. Totale hoeveelheden bacteriën worden microscopisch gemeten.

3.3.5 Nematoden

Nematoden (aaltjes) zijn belangrijke begrazers van bacteriën, schimmels en plantenwortels, en dragen bij aan de mineralisatie. Daarnaast zijn er ook predatoren (roofaaltjes) die protozoën en andere nematoden belagen. Ze worden al lang gebruikt als indicator (aantal/100 gram grond, soortensamenstelling), en geven aanwijzingen over de vruchtbaarheid en mate van verstoring in de bodem.

Plantenparasitaire nematoden beïnvloeden direct de teelt van een gewas. Doordat de meeste soorten verscheidene jaren in de bodem kunnen overleven in de afwezigheid van een waardplant, is vruchtwisseling van groot belang, inclusief rekening houden met de soort groenbemester. Aangezien de waardplantenreeks van de diverse soorten parasitaire nematoden varieert, kan pas actie ondernomen worden als de teler weet welke soorten in een perceel voorkomen.

3.3.6 Regenwormen

Regenwormen (aantal/m²) kunnen in de bodem soms net zulke hoge biomassa's bereiken als schimmels en bacteriën. Wormen brengen organisch materiaal in de bodem, mengen de grond, bevorderen de microbiële activiteit en verbeteren de bodemstructuur (kruimels) en waterinfiltratie (poriën). In blijvend grasland komen hoge aantallen voor, maar in akkers veel minder.

3.4 Streefwaarden

3.4.1 Organische stof

Eenduidige, wetenschappelijk onderbouwde, streefwaarden voor organische stof in bodems zijn niet voorhanden. Een complicerende factor is dat elke functie van organische stof zijn eigen streefwaarde heeft, die bovendien ook nog eens afhankelijk is van grondsoort en gebruik. Bij gebrek aan een streefwaarde is de belangrijkste vraag eerder waar de ondergrens ligt, hoewel een bovengrens mag ook niet uit het oog verloren mag worden. Immers, te hoge organische stofgehalten kunnen risicovol zijn in verband met draagkracht van de bodem, de uitspoeling van stikstof of de bewerkbaarheid van de bodem.

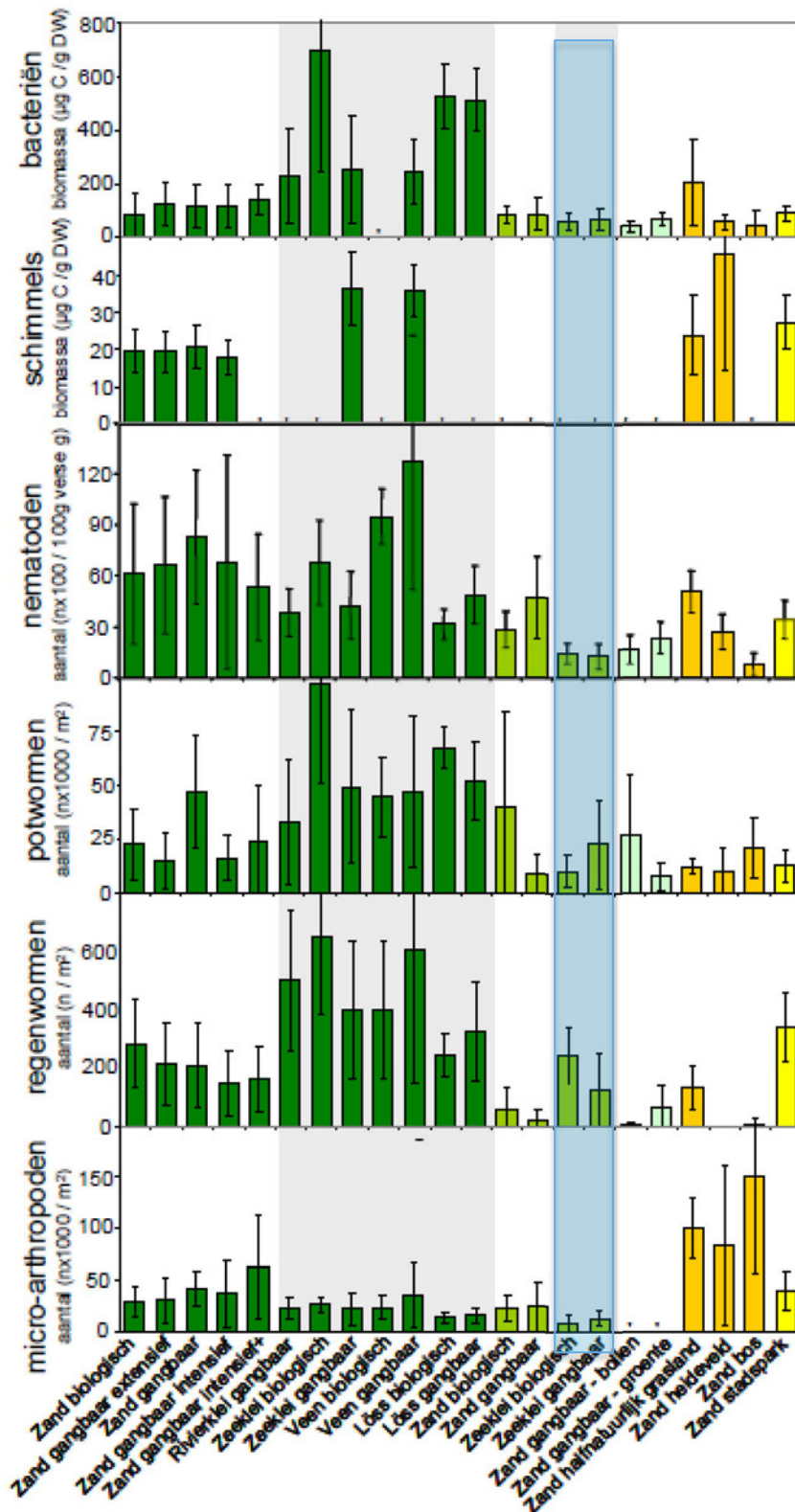
Ondanks het gebrek aan goed onderbouwde streefwaarden, zijn er wel enige expert schattingen van minimaal gewenste gehalten in de bouwvoor aan te geven. Voor Nederland ligt dat bijvoorbeeld rond de 1% voor duinzand, 2% voor dekzand, 2,5% voor löss en 2% voor jonge zeeklei. Net over de grens, in Vlaanderen wordt voor leem, zand en klei een kritische ondergrens aangehouden van respectievelijk 1,5, 1,7 en 2,0 procent. In Duitsland worden in het kader van cross compliance regelgeving minimale gehalten aangehouden van 1 tot 1,5 procent (Schils, 2012).

In de praktijk is het overigens niet verstandig om je alleen maar blind te staren op het gehalte aan organische stof. Verhoging van organische stof in de bodem is namelijk een zaak van lange adem, en veranderingen van het ene op het andere jaar zijn nauwelijks meetbaar. Dat is echter geen reden voor ontmoediging want toediening van verse organische stof heeft al in het jaar van toediening positieve effecten, die wel merkbaar zijn.

3.4.2 Bodembioologische indicatoren

Omdat het bodemleven en labiele organische stof (mineraliseerbare N, HWC) veel sneller veranderen (in enkele jaren) dan de veel grotere hoeveelheid totale organische stof (>10 jaar), worden deze gebruikt als "early indicators". Jarenlange metingen in het Bobi project hebben geleid tot referentiewaarden voor de meeste bodembioologische indicatoren (Rutgers et al 2007). Figuur 7 geeft gemiddelde hoeveelheden van verschillende groepen organismen bij verschillende combinaties van landgebruik en bodemtype. Gemiddelde waarden van tientallen locaties geven een idee wat hoge en lage waarden zijn. Daarnaast zijn op basis van expert judgement de waarden op een beperkt aantal locaties gekozen als referentie voor een duurzame bodem. Hierbij werd gekeken naar bedrijfsvoering,

bodembeheer en overige kenmerken van het ecosysteem, diversiteit en voedselweb, microbiologie, regenwormen, mijten en springstaarten, potwormen, nematoden en biologische processen. Bij de bedrijfsvoering werd rekening gehouden met aanvoer van mest, fossiele brandstoffen en krachtvoer.



Figuur 7 Aantallen of biomassa van bodemorganismen bij combinaties van bodemgebruik en bodemtype. Gegevens zijn afkomstig van tien jaar monitoring. De kleur van de staven geeft het bodemgebruik aan: donkergroen (melk)veehouderij; lichtgroen akkerbouw, lichtblauw tuinbouw en bollenteelt, oranje natuur en geel stedelijk groen (parken). Een witte achtergrond betreft zandgrond, een lichtgrijze achtergrond is klei, löss of veen. Foutenbalken zijn standaarddeviaties. (Rutgers et al. 2007). Voor de Zeeuwse akkerbouw is zeeklei de meest relevante referentiewaarde (blauwe markering).

Tabel 6 geeft de referentiewaarden voor akkerbouw op klei, zoals in Zeeland vaak het geval is.

Omdat biologie varieert in plaats en tijd, zijn standaarden en streefwaarden niet eenvoudig toepasbaar. Vergelijkingen tussen verschillende praktijken op hetzelfde moment, en trends over meerdere jaren op dezelfde locatie zijn het meest zinvol. Dit wordt voor het praktijkonderzoek gedaan in o.a. akkerbouw systemen op zand (Vredepeel) en klei (BASIS proef, Lelystad), o.a. in de PPS Beter Bodembeheer (presentaties W. Sukkel en D. van Balen, 6 april 2017). Bij gereduceerde grondbewerking gecombineerd met groenbemesters werden in akkers op klei bij Lelystad al binnen enkele jaren meer dan 50% hogere waarden gevonden mineraliseerbare N, HWC, en schimmel- en bacteriebiomassa in de bovenste bodemlaag (0-15 cm), terwijl er slechts een geringe afname was in de diepere laag (15-30 cm). Na 8 jaar werden ook significante verschillen gevonden in totaal organische stof met 8-10% hogere waarden met gereduceerde grondbewerking. Met een biologisch bedrijfssysteem werden hogere waarden van deze indicatoren gemeten dan met een gangbaar bedrijfssysteem (Bloem et al., in druk).

Tabel 6 Referentiewaarden voor akkerbouw op klei. (Rutgers et al., 2007). De schimmelbiomassa en potentieel mineraliseerbare N ontbreken in de tabel omdat die pas na de eerste meetronde (1997-2006) zijn opgenomen. In de tweede meetronde werd akkerbouw op klei gemeten in 2009. Toen was de mineraliseerbare N gemiddeld 22 mg N/kg op 10 gangbare bedrijven, en 31 mg N/kg op 10 biologische bedrijven. De schimmelbiomassa was gemiddeld 26 µg C/g op gangbare bedrijven en 31 µg C/g op biologische bedrijven.

1. Akkerbouw op klei	Referentie gemiddelde (n=6)	Nederland	
		gemiddelde (n=24)	percentielen 5% 95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	51	66	7.5 162
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	151	122	59 219
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	61	64	60 71
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	18	22	9 48
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	2.0	2.0	0.5 3.7
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.65	0.66	0.58 0.79
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	2700	1150	14 3960
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(ng)	
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	1290	1270	660 2190
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	33	32	25 44
Potwormen dichtheid (n/m ²)	17500	19200	1510 53800
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	6.3	6.0	4.0 8.0
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	200	212	12 440
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	4.2	4.4	1.3 7.9
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	11070	6180	1610 16200
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	18	16	9,3 29
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)	
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	61	59	46 75
Aandeel grasland (%)		(nvt)	
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)	
Zuurgraad (pH-KCl)	7.6	7.5	7.3 7.7
Organische stof (% droge stof)	2.2	2.5	1.6 3.6
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	70	62	33 96
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	47	47	31 62
Lutum (% droge stof)	20	17	9 25

Hanegraaf en van Alebeek (2013) gaven in de Herkenningskaart Meetset Bodembiodiversiteit een aanzet voor richtwaarden voor de akkerbouwpraktijk op klei en zand (Tabel 7). Deze zijn deels gebaseerd op Rutgers et al. 2007 en aangevuld met mineraliseerbare N en HWC.

Tabel 7 Richtwaarden voor de akkerbouwpraktijk. (Hanegraaf en van Alebeek, 2013, en <http://www.kennisakker.nl/node/4156>).

Indicator	Richtwaarden	
	klei	zand
Bacteriebiomassa ($\mu\text{C/g dr.gr.}$)	51	81
Schimmelbiomassa ($\mu\text{C/g dr.gr.}$)		
Schimmel / Bacterie ratio	0,5	0,5
Heet Water-extraheerbaar koolstof (HWC) (mg/kg)	300	NO: 2000 ZW: 1000
Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) (mg/kg)	20-40	20-40
Nematodendiversiteit (n/100g verse gr.)	1290	4240
Pathogene nematoden (soort, aantal)		
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	200	77

Bronnen: RBB-waarden (RIVM); gem. van meetreeksen

3.5 Huidige stand van zaken in Zeeuwse akkerbouw

3.5.1 Organische stof

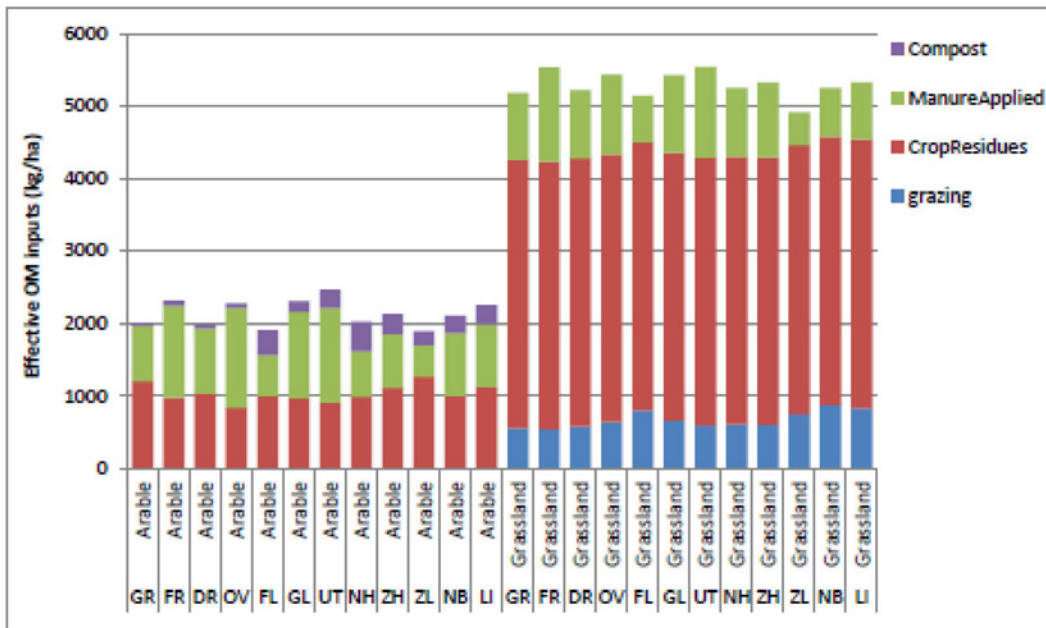
De organische stof balans is een handig hulpmiddel om het organische stofgehalte in de bodem op het gewenste niveau te krijgen, of te houden. Bij de berekening van de aanvoer gaat het niet om de totale hoeveelheid organische stof, maar om de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS). Dat is de organische stof die na een jaar nog aanwezig is. Een gewas produceert zowel biomassa boven de grond, zoals stengels en bladeren, en onder de grond, zoals wortels of wortelknollen. Bij de oogst wordt slechts een deel van de biomassa afgevoerd. De rest van de plant blijft achter op het land. Zo levert elk gewas een bijdrage aan de aanvoer van verse organische stof naar de bodem. Naast het hoofdgewas kunnen zogenaamde groenbemesters worden geteeld. Deze worden meestal na de oogst van het hoofdgewas gezaaid, in nazomer of najaar. In het voorjaar wordt de hele plant ondergewerkt in de bodem. Alle biomassa van de groenbemester komt ten goede aan de bodem.

Een deel van de geoogste planten komt later via mest of compost weer terug op het land. De diversiteit aan meststoffen is enorm. De maximale aanvoer van meststoffen wordt bepaald door de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat. De maximale aanvoer van organische stof uit meststoffen hangt is dus afhankelijk van het gehalte aan organische stof per kg stikstof of per kg fosfaat. Tegenover de jaarlijkse aanvoer staat de jaarlijkse afbraak van organische stof. Een veel gehanteerde vuistregel voor de gemiddelde afbraak van organische stof is twee procent per jaar. De werkelijke afbraak kan beduidend lager of hoger zijn, afhankelijk van de grondsoort en bemestingsgeschiedenis. Dat betekent dat de jaarlijkse afbraak uiteen kan lopen van minder dan 500 kg per ha tot meer dan 5.000 kg per ha.

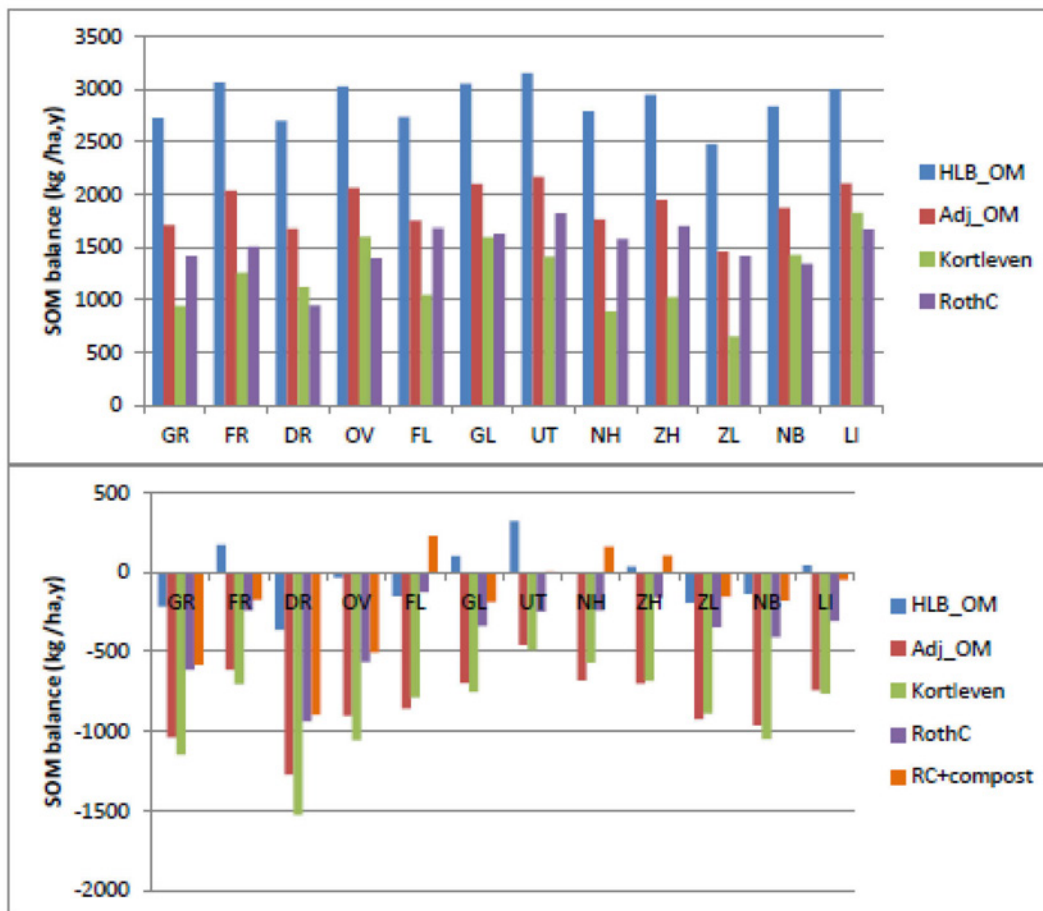
De balans tussen aanvoer en afbraak bepaalt of het organische stofgehalte op peil blijft of verandert. Een negatieve balans vraagt om aanpassingen in het beheer zoals het gebruik van groenbemesters, aanvoer van compost in plaats van dunne mest, of veranderingen in het bouwplan.

Conijn & Lesschen (2015) geven effectieve organische stof inputs en balansen per provincie, op basis van modellen. In Zeeuwse akkers is de input relatief laag, met het kleinste aandeel van mest en compost (Figuur 8). Het aandeel van gewasresten is relatief hoog. De balans is negatief en ligt midden in de range van de andere provincies (Figuur 9). Voor de Zeeuwse akkerbouw wordt een negatieve

balans berekend van maximaal 1000 kg organische stof per ha. Een bouwvoor bevat naar schatting 3.500.000 kg grond per ha. Een procent organische stof komt dus overeen met 35.000 kg organische stof.



Figuur 8 Aanvoer effectieve organische stof per provincie, voor akkerbouw en grasland (Conijn en Lesschen, 2015).



Figuur 9 Berekende bodem organische stof balans met verschillende modellen, per provincie, voor akkerbouw (onder) en grasland (boven) (Conijn en Lesschen, 2015).

In het kader van de Evaluatie MeststoffenWet 2016 is de trend van organische stofgehalten in de Nederlandse landbouw geanalyseerd tussen 2005 en 2015 (Velthof et al., 2017). Daaruit blijkt dat het organische stofgehalte stabiel is of toeneemt (grasland op rivier- en zeeklei, maisland op dekzand en akkerbouw op dekzand en rivierklei). Voor de zuidwestelijke akkerbouw kon geen significante trend worden vastgesteld (Tabel 8). De onderliggende metingen voor het zuidwestelijk akkerbouwgebied zijn weergegeven in Tabel 9. Het illustreert het geringe aantal monsters waarop de trend is gebaseerd, en de grote variatie.

Tabel 8 Correlatiecoëfficiënten en richtingscoëfficiënt (de RC is alleen berekend bij significante CC) voor het organische stofgehalte (%) voor de sector akkerbouw over de periode 2005 t/m 2015 per grondsoort en per LEI gebied (Brolsma et al., 2016).

	Zee- /duinzand	Dekzand		Zeeklei	Rivierklei		Dalgrond
	CC	CC	RC	CC	CC	RC	CC
Bouwhoek en hogeland				0,17			
Centraal veehouderijgebied							
Hollands/Utrechts weidegebied							
IJsselmeerpolders				-0,56			
Noordelijk weidegebied		0,77**	0,11	0,11			
Oostelijk veehouderijgebied		0,75**	0,07		0,11		
Rivierengebied		0,38			0,62		
Veenkoloniën en Oldambt		0,36					0,36
Waterland en droogmakerijen							
Westelijk Holland				0,55			
Zuidelijk veehouderijgebied		0,69*	0,05		0,72*	0,09	
Zuid-Limburg							
Zuidwest-Brabant		0,69*	0,06	-0,18			
Zuidwestelijk akkerbouwgebied				-0,47			
Bollen	-0,20						

Voor elke combinatie waar geen getal staat zijn of te weinig waarnemingen of is de combinatie niet aanwezig voor deze sector

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

Tabel 9 Het gemiddelde, de standaard deviatie (St. deviatie), het aantal waarnemingen, het minimum, het 10^e percentiel, de mediaan, het 90^e percentiel en het maximum van de gemeten organische stof gehalten voor de sector maisland over de periode 2005 t/m 2015 voor Zuidwestelijk akkerbouwgebied op zeeklei (Brolsma et al., 2016).

Jaar	Gemiddelde	St. deviatie	Aantal	Minimum	10 ^e percentiel	Mediaan	90 ^e Percentiel	Maximum
2005	6,4	2,1	6	4,0	4,1	6,2	9,0	9,4
2006	2,6	0,2	2	2,4	2,4	2,6	2,8	2,8
2007	4,4	0,9	3	3,6	3,7	4,0	5,3	5,6
2008	3,1	0,2	3	3,0	3,0	3,0	3,3	3,4
2009	4,2	0,5	5	3,6	3,6	4,2	4,7	4,8
2010	4,0	1,5	11	1,9	2,2	4,3	5,3	6,8
2011	2,7	1,6	6	1,6	1,8	2,0	4,4	6,2
2012	4,9	0,9	2	4,0	4,2	4,9	5,6	5,8
2013	4,9	2,6	6	2,2	2,4	4,1	8,3	9,4
2014	1,4	0,0	1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
2015	6,1	2,2	2	3,9	4,3	6,1	7,9	8,3

Er lijkt dus een tegenstelling te zijn tussen de studie van Conijn en Lesschen (2015), met negatieve organische stofbalans, en de studie van Brolsma et al. (2016), met geen significante daling van het organische stof gehalte. Een mogelijke verklaring is dat de modellenstudie uitgaat van zuivere bouwlandrotaties zonder uitwisseling met grasland. In de praktijk wordt grond geruimd tussen akkerbouw en melkveehouderij. In de dataset van Eurofins staat aangegeven welk gewas geteeld wordt op het moment van monsternamen. Dus er kunnen ook bouwlandmonsters uit rotaties met grasland tussen zitten.

4 Effect dierlijke mest op bodembioologie

4.1 Algemene principes in bodembeheer

Er is brede overeenstemming over de algemene principes voor het bevorderen en op peil houden van bodemvruchtbaarheid en een gezonde bodem (Swift et al. 2004; Barrios, 2007; Brussaard et al. 2007; Kibblewhite et al. 2008, Faber et al., 2009). Deze omvatten een voldoende toevoer van organische stof om te voorzien in de koolstof -en energiebehoefte van het bodemleven, in de nutriëntenbehoefte van het gewas en als basis voor een goede bodemstructuur. Meestal wordt een zorgvuldig geïntegreerde bemesting met organische mest en minerale (kunst)mest aanbevolen voor een goede balans tussen plantenvoeding (gewasproductie) en het op peil houden van het organisch stofgehalte. Verder is het belangrijk dat de grond zoveel mogelijk bedekt blijft met een gewas, waarbij de bodem voortdurend wordt gevoed met koolstof via het wortelstelsel. Intensieve grondbewerking en gebruik van bestrijdingsmiddelen zouden tot een minimum moeten worden beperkt.

Het United Nations Environment Programme (UNEP) noemt de volgende *best practices* voor duurzame landbouw (Gemmill, 2002):

- Bescherm de bodem met een vegetatiedek door gebruik van minimale grondbewerking en groenbemesters.
- Hergebruik van organische mest en organisch afval, met of zonder compostering.
- Geïntegreerde bemesting, zorgvuldig gebruik van zowel organische als anorganische bemesting, in plaats van uitsluitend organisch of mineraal. In het vroege voorjaar moet de mineralisatie nog op gang komen. Kunstmest zorgt dan voor een vervroeging van de gewasgroei.
- Maak gebruik van nutriëntenkringlopen door middel van gewasrotaties, vlinderbloemigen (stikstof fixatie) en combinaties van akkerbouw en veeteelt.
- Maak gebruik van minimale grondbewerking in plaats van voortdurend diep te ploegen.
- Kies gewassen en bijgewassen met een hoge nutriëntenbenutting.
- Natuurlijke ziektevering wordt verhoogd door biodiversiteit te bevorderen.

4.2 Lange termijn proeven; de aanhouder wint

Organische stof is de sleutel in bodembeheer waarbij op duurzame wijze gebruik wordt gemaakt van de bodem en waarbij de biologische bodemkwaliteit moet worden gestimuleerd. Het behoud van bestaande organische stof is van primair belang. Gereduceerde grondbewerking en groenbemesters kunnen helpen om koolstofafbraak en nutriëntenverliezen te beperken. In tweede instantie kunnen maatregelen gericht op herstel en opbouw van organische stof een bijdrage leveren. Dit kan door middel van gewasresten, vruchtwisseling met gras of granen met een dichte beworteling, dierlijke mest en compost.

De meeste proeven lopen maar enkele jaren. Meestal is dat te kort om veranderingen in de bodem vast te stellen. Daarom zijn lange termijn proeven onmisbaar. Er zijn (of waren) een aantal bemestingsproeven die twintig jaar of langer hebben gelopen. In de beschrijvingen hieronder wordt de term *stalmest* gebruikt (in het Engels *farm yard manure*). Dit is onbewerkte vaste rundermest.

4.2.1 Broadbalk, Rothamsted, UK (1843-)

De Britten zijn al halverwege de 19^e eeuw begonnen, en houden het erfgoed nog steeds in stand. Een klassieker is het Broadbalk experiment (Rothamsted, UK) waar sinds 1843 continu tarwe wordt verbouwd op kleigrond. Met een stalmestgift van 35 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ gaat na 144 jaar het organische stofgehalte nog steeds omhoog (Fließbach et al. 2007). Er is blijkbaar nog geen bovengrens bereikt.

Dit kan te maken hebben met de klei die organische stof en micro-organismen fysiek beschermt tegen afbraak en predatie.

4.2.2 Lovinkhoeve, Marknesse, NL (1966-1991)

Bij een vergelijking van gangbare en geïntegreerde akkerbouw (4-jarige rotatie) op de zavelgrond van de Lovinkhoeve (Noordoostpolder) bleek dat een vermindering van de kunstmestgift met 35% goed kon worden gecompenseerd met organische mest. De geïntegreerde akkers kregen tussen 1966 en 1985 gemiddeld 5650 kg organische stof ha⁻¹ jaar⁻¹, in de vorm van stalmest, gewasresten en groenbemester. De gangbare akkers kregen alleen gewasresten, gemiddeld 3200 kg organische stof ha⁻¹ jaar⁻¹. Na 21 jaar had dit geleid tot een 30% hoger organische stofgehalte, 30% meer stikstofmineralisatie door de bodemorganismen en een gewasopbrengst van 90% van die op het gangbare bedrijfssysteem. De microbiële biomassa was niet verhoogd, maar de activiteit (groei en ademhaling) wel. Ook de bacterie-etende protozoën en nematoden waren met ongeveer 30% toegenomen. Voor een volledige rotatie (1988-1991) bedroeg het berekende maximale N verlies 289 kg N ha⁻¹ bij het gangbare systeem, tegen 181 kg N ha⁻¹ bij het geïntegreerde systeem (Bloem et al. 1994, 1997). De stikstofverliezen waren dus 40% lager bij geïntegreerd beheer (minder kunstmest, meer organische mest).

4.2.3 DOK proef, Therwil, Zwitserland (vanaf 1978)

In een proef met akkerbouw op lössgrond in Zwitserland ging in 21 jaar het organische stofgehalte zonder bemesting 22% naar beneden. Met alleen kunstmest was de afname geringer, namelijk 15%. Met een combinatie van kunstmest en stalmest was de afname 7%. Met gecomposteerde stalmest (zonder kunstmest) bleef het organische stofgehalte en het bodemleven op peil (Fliessbach et al. 2007). Op de organische akkers was de gewasopbrengst gemiddeld 20% lager, hoewel de input van kunstmest en energie met 34 tot 53% was gereduceerd en pesticiden met 97%. Lagere kosten zouden de lagere productie kunnen compenseren. De verminderde afhankelijkheid van externe input lijkt samen te hangen met een verhoogde bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit. De organische akkers hadden 30% meer microbiële biomassa, 40% meer mycorrhiza-schimmels en tot 300% meer regenwormen (Mäder et al. 2002). Volgens Hansen et al. (2001) gaat biologische landbouw meestal gepaard met een actiever bodemleven, een lager nutriënten overschot en minder uitspoeling. Dit betekent niet dat organische (=biologische) landbouw alleen maar voordelen heeft (Trewavas, 2001). Sommige praktijken kunnen ook in de organische landbouw tot een grote uitspoeling van nutriënten leiden, bijvoorbeeld het ploegen of scheuren van gras en vlinderbloemigen in de verkeerde tijd van het jaar zonder opvolgend vanggewas om de gemineraliseerde stikstof op te nemen (Hansen et al. 2001)

4.2.4 IBDF proef bij Darmstadt, Duitsland (vanaf 1980)

Na 18 jaar organische bemesting met dierlijke mest was het organische stofgehalte 25%, en de microbiële biomassa 35% hoger dan met kunstmest. Een hoger evenwichtsniveau kon al in 7 jaar worden bereikt. In hoeverre er koolstofopbouw plaatsvindt, hangt af van het beginniveau. Als het al hoog is, dan is er geen verdere toename. Met gecomposteerde mest werd een hoger evenwichtsniveau van organisch koolstof bereikt. Stalmest gaf hogere en stabielere niveaus dan dezelfde hoeveelheid stro of groenbemester. Dierlijke mest gecombineerd met stro was het meest effectief. Het eiwitgehalte van mest is een van de belangrijkste factoren voor de vorming van bodemorganische stof en humus. Minerale stikstof (kunstmest) heeft een *priming* effect: het verhoogt niet de microbiële biomassa, maar wel de microbiële activiteit en de afbraak van bodemorganische stof. Kunstmest kan dus organische stof opbouw tegenwerken. Dierlijke mest lijkt twee effecten te hebben op het humusgehalte:

- Toevoeging van eiwitten, aminozuren en andere organische verbindingen in de mest als bouw materiaal voor bodemorganische stof en humusverbindingen.
- Verandering van de verhouding tussen opbouw (anabolisme) en afbraak (katabolisme), waardoor organische verbindingen beter worden vastgelegd in de bodem (meer effectieve organische stof).

(Scheller & Raupp, 2005; Raupp & Oltmanns, 2006).

4.2.5 Rodale, Pennsylvania, USA (vanaf 1981)

Na 21 jaar met stikstofbindende groenbemesters en met dierlijke mest was het organisch koolstofgehalte 30% toegenomen. Bij het dierlijke meststelsel zaten ook vlinderbloemigen in de rotatie. De toename in organische stof was in beide systemen even groot. Daarom lijkt het aandeel van dierlijke mest in de stijging kleiner dan het aandeel van de groenbemesters. In het gangbare systeem (met kunstmest en bestrijdingsmiddelen) was er geen toename in organische stof. De toename in organisch stikstof (15%) was kleiner dan de toename in organisch koolstof. De gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater was hoger in het gangbare systeem (6.7 ppm, tegen 5.7 ppm met groenbemesters en 5.0 ppm in het dierlijke mest systeem). Over een periode van 12 jaar (1991-2002) was de uitspoeling in alle drie systemen tussen 16 en 18 kg nitraat-stikstof per ha. Dat is laag. Dus ook in het gangbare systeem met zorgvuldig beheer. Met organische bemesting vond men (2.5-10x) meer mycorrhiza, voornamelijk door de aanwezigheid van groenbemester in de winter. De bodemademhaling en microbiële populaties waren na 10 jaar groenbemester tweemaal zo hoog als in de gangbare akkers. Bij normale regenval was er geen verschil in productie tussen de systemen, in droge jaren was de maïsopbrengst echter 30% hoger in de organische systemen (Hepperly et al. 2006). Proeven met gelabelde stikstof lieten zien dat de stikstofretentie het hoogst was in het systeem met dierlijke mest (incl. groenbemesters). Na een jaar zat 47% van de toegediende N nog in de bodem, tegen 38% met vlinderbloemige groenbemesters, en slechts 17% met kunstmest (Pimentel et al. 2005; Hepperly et al. 2007). Dit laat zien dat ook groenbemesters aanzienlijk kunnen bijdragen aan de opbouw van organische stof en bodemleven.

4.2.6 Deherain, Grignon, Frankrijk (sinds 1875)

Na 80 jaar bemesting met stalmest in een rotatie van tarwe en suikerbieten was het organisch koolstofgehalte van de grond 21% hoger dan met kunstmest. Onbemeste akkers hadden nog 13% minder organische koolstof dan akkers met kunstmest. De microbiële biomassa correleerde met het organisch koolstofgehalte (stalmest > kunstmest > onbemest). Naarmate de biomassa hoger was, was de N mineralisatie hoger, en werd meer N uit de bodemorganische stofvoorraad opgenomen door het gewas (Houot & Chaussod, 1995).

4.2.7 Mest als kans, Lelystad (sinds 1999)

Het effect van meerjarige toepassing van uiteenlopende mest- en compostsoorten op bodemeigenschappen en opbrengsten wordt onderzocht in het nu 18 jaar oude proefveld "Mest als Kans" in Lelystad. De proef is in 1999 aangelegd met 13 typen bemesting in vier herhalingen. In 8 daarvan werden ook bodembioologische parameters gemeten. Het betreft hier een intensief bouwplan met groenten op een lichte zavelgrond bij Lelystad.

In de analyse is een onderscheid gemaakt tussen 3 strategieën: plantenvoedende strategie (minerale mest en runderdrijfmest), bodem & plant strategie gericht op zowel plantenvoeding als bodemkwaliteit (potstalmest vers en gecomposteerd, vaste kippen- en varkensmest, drijfmest met GFT en kippenmest met GFT) en een bodemvoedende strategie gericht op organische stof opbouw (GFT compost, 2 typen groencompost en natuurcompost) (Zanen et al. 2008).

De resultaten laten zien dat uitsluitend plantenvoedende meststoffen op termijn leiden tot lagere opbrengsten, evenals het uitsluitend toevoegen van bodemopbouwende bemesting. Een balans in plantenvoeding en bodemopbouw lijkt op termijn het meest gunstig uit te pakken voor de opbrengst (Koopmans, 2017 in voorbereiding).

Na 17 jaar (in september 2016) waren met een aantal mestsoorten de organische stofgehalten verhoogd, het meest met potstalmest en natuurcompost. Deze behandelingen gaven ook de hoogste waarden voor HWC, mineraliseerbare N, nematoden en regenwormen. Vaste kippenmest gaf gemiddeld ook veel regenwormen, maar de spreiding was groot. De bacteriebiomassa was het hoogst met potstalmest en GFT. GFT+drijfmest gaf ook relatief hoge waarden, hoger dan alleen drijfmest of minerale (kunst)mest. Dit geldt echter alleen voor organische stof, labiele C en N en bacteriële biomassa, maar niet voor de fauna (nematoden en regenwormen). Voor voeding van zowel plant als

bodem gaf potstalmest dus de beste resultaten. De combinatie van runderdrijfmest en GFT was gunstig voor organische stof en bacteriële biomassa, maar had geen effect op de fauna. Deze proef illustreert de uiteenlopende resultaten met compost (Koopmans, 2017 in voorbereiding).

Het algemene beeld uit deze proeven is dat na 20 jaar organische bemesting het organische stofgehalte 20-30% hoger is dan met kunstmest. Het hogere organische stofgehalte gaat gepaard met meer bodemleven, meer N mineralisatie en een betere benutting van stikstof uit organische stof. Er zijn aanwijzingen dat op kleigrond meer verbetering kan worden bereikt dan op zandgrond (25% versus 10%) (Korschens, 2006).

Organische mest is gunstig voor organische stof, bodemleven en bodemstructuur. Omdat stikstof gewoonlijk het meest beperkende nutriënt is voor de gewasproductie, wordt organische bemesting met mest en compost gewoonlijk gebaseerd op de geschatte hoeveelheid beschikbare N. Echter, de relatief lage N:P verhouding van de meeste organische mest en compost, evenals betrekkelijk grote hoeveelheden sporenelementen, in verhouding tot de gewasopname kunnen leiden tot ophoping in de bodem van P en sporenelementen zoals zink en koper (Edmeades et al. 2003; Rosen & Allan, 2007). Dit illustreert het belang van analyses van mest en bodem als hulpmiddel bij organische bemesting. Als er te veel P in de grond zit, dan moet de mestgift worden beperkt en kan er niet voldoende N worden gegeven. Dan is het gebruik van stikstofbindende groenbemesters en/of kunstmest noodzakelijk. Stikstoftekort is een belangrijke reden dat de gewasopbrengst van volledig biologische bedrijven vaak wat lager is. Daar kunnen lagere kosten tegenover staan (Mäder et al. 2002; Gareau et al. 2004).

Een ander risico van mest en compost is mogelijke uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Dit gebeurt voornamelijk als er meer stikstof wordt gemineraliseerd dan door het gewas kan worden opgenomen, bijv. na onderploegen van gras-klaver en tijdens perioden zonder gewas. Stikstofverliezen na gras-klaver kunnen worden beperkt door het volgende gewas te zaaien na minimale grondbewerking, en op een tijdstip waarop het snel kan groeien zodat de nutriënten worden opgenomen in plaats van uit te spoelen of te denitrificeren (Wilkins et al. 2008). De milieuwinst van organische mest hangt af van beheersmethoden zoals de gegeven hoeveelheid, tijdstip van toediening en manier van inwerken in de grond. Bij zorgvuldig beheer met vruchtwisseling en groenbemesters is het mogelijk met organische bemesting lagere N verliezen en dezelfde opbrengst te realiseren dan bij gangbaar beheer (Rosen & Allan, 2007). De resultaten in verschillende studies zijn echter wisselend. Dit komt deels door de grote variatie in hoeveelheden en kwaliteit van organische mesten.

4.3 Verschillende soorten organische mest

Een groot deel van de toegediende organische stof verdwijnt binnen een jaar door bodemademhaling. Dit (labiele) deel voedt het bodemleven en onderhoudt de biologische bodemkwaliteit. Bacteriën en schimmels verademen ca. 70% van het voedsel voor hun energievoorziening, en ca. 30% wordt gebruikt voor de productie (groei) van nieuwe microbiële biomassa die aan de basis staat van het bodemvoedselweb (Figuur 6). De fractie van de toegevoegde organische stof die na 1 jaar nog in de bodem is overgebleven noemen we de humificatiecoëfficiënt (Tabel 10). Deze bedraagt ruwweg 0.2-0.4 voor plantenresten, 0.33-0.7 voor dierlijke mestsoorten en 0.75-0.95 voor compost. De getallen komen voor een groot deel uit dezelfde publicatie(s) van circa 40 jaar geleden. De geldigheid voor het heden is dus onzeker. Door meer krachtvoer en hoog productieve veerassen kan de mest veranderd zijn. Door veranderingen in bemesting kan de afbraaksnelheid in de bodem veranderd zijn. Naarmate het materiaal al meer is verteerd door vee of op de composthoop levert het minder voeding voor het bodemleven, en blijft er meer effectieve organische stof van over in de bodem.

Tabel 10 Overzicht van humificatie coëfficiënten uit verschillende bronnen (Conijn & Lesschen, 2015).

Source Type	1	2	3	4	5	6
Crop residues (aboveground); green biomass		0.20				0.20
Sugarbeet (leaves+top)	0.22				0.22	0.20
Cabbage	0.25				0.25	
Grass (leaves?)	0.25				0.26	
Green manure, incl. roots	0.30	0.30			0.30	0.25
Cereals (straw?)	0.31	0.35			0.31	0.35
Belowground crop residues	0.35	0.40			0.30	0.35
Slurry	0.40					
Bovine slurry			0.70	0.45	0.40	
Pig slurry			0.33	0.30	0.40	
Poultry slurry			0.33	0.44	0.40	
Manure (stable?)	0.50		0.60		0.50	0.50
Leaf residues		0.55				
Kitchen compost (Gft)	0.86	0.75	0.75	0.85	0.86	
Champost	0.91		0.50	0.80	0.91	
Green compost	0.96				0.95	

1 = Hendriks, 2011; 2 = Janssen, 2002; 3 = van Dijk et al., 2005; 4 = Velthof, 2004; 5 = INAGRO, 2011; 6 = Kolenbrander, 1969.

In het Nederlandse bemestingsadvies voor de akkerbouw wordt niet expliciet rekening gehouden met de stikstoflevering van de bodem vanuit afbraak van oudere organische stof. In een modelstudie met het model NDICEA is deze stikstoflevering gekwantificeerd (Bokhorst en van der Burgt, 2012). Voor vier regio's /grondsoorten / bouwplannen zijn telkens drie bemestingsscenario's doorgerekend, te weten:

1. Lage aanvoer van organische stof; alleen minerale meststoffen.
2. Gemiddelde aanvoer van organische stof door de minerale meststoffen zoveel mogelijk te vervangen door dierlijke mest
3. Hoge aanvoer van organische stof door naast dierlijke mest ook compost te gebruiken en intensief groenbemesters te telen.

Op grond van teeltgegevens van het CBS zijn bouwplannen gekozen die zoveel mogelijk een weerspiegeling zijn van gekozen gebieden. Voor het zuidwestelijk kleigebied is gekozen voor Consumptieaardappel, Suikerbiet, Wintertarwe en Zaaiui.

Bij de stikstofbemestingen bij gebruik van minerale mest is de gebruiksnorm 2010-2013 aangehouden. Bij de mixvariant minerale mest en dierlijke mest is bij dierlijke mest gekozen voor varkensdrijfmest omdat die voor 2/3 deel het gebruik van dierlijke mest vertegenwoordigd. Ook hier is gewerkt met de stikstofgebruiksnormen waarbij voor varkensdrijfmest een de forfaitaire werkingscoëfficiënt van 60% is aangehouden. Bij de variant met een hoge aanvoer van organische stof is om het andere jaar 20 ton GFT-compost toegepast. Gerekend is met de forfaitaire werkingscoëfficiënt van stikstof van 10%.

De evaluatie had betrekking op:

- Verloop van het organische stofgehalte
- Stikstofleverend vermogen van de periode maart-september
- Stikstofleverend vermogen gehele jaar

Tabel 11 Mutatie organische stof in de bodem en stikstofleverend vermogen per jaar en teeltseizoen (maart-september) voor het ZW kleigebied (Naar Bokhorst en van der Burgt, 2012).

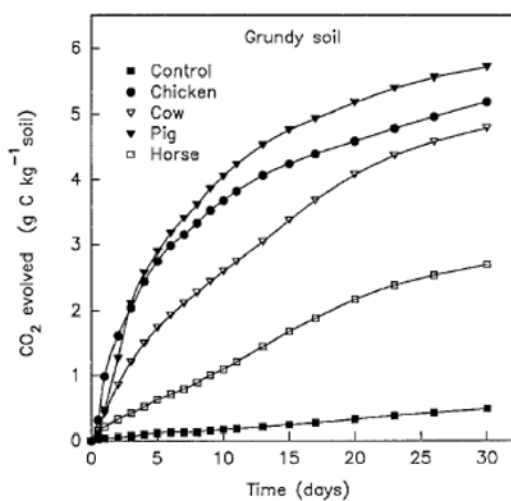
Organisch stof aanvoer	Toe-/afname organische stof in de bodem (% per vier jaar; beginwaarde 2,2%)	Stikstofleverend vermogen bodemorganische stof (kg per ha per jaar)	Stikstofleverend vermogen bodemorganische stof (kg per ha per groeiseizoen)
Laag	-0.05	92	69
Midden	-0.01	145	111
Hoog	+0.14	191	144

Bij uitsluitend gebruik van kunstmest loopt het organische stof gehalte terug, bij het scenario met maximale aanvoer van organische stof stijgt het gehalte bodem organische stof. Een daling in de grootteorde van 0,05% voor de zavel en klei in ZW Nederland in vier jaar lijkt klein maar betekent wel dat er rond 25 kg stikstof netto aan de bodemvoorraad onttrokken wordt. Dat valt niet te verwaarlozen ten opzichte van de hoeveelheid stikstof die met mest wordt gegeven. De scenario's 'lage aanvoer' en 'hoge aanvoer' zijn extremen en de meeste akkerbouwers zullen meer in de buurt van het gemiddelde zitten. De extremen geven echter wel de grootteorde aan van de te verwachten stikstofeffecten bij een structureel verschil in organische stof huishouding.

Ten opzichte van een scenario op basis van uitsluitend kunstmest neemt het stikstofleverend vermogen bij regelmatig gebruik van dierlijke mest in het teeltseizoen toe met ruim 40 kg per hectare per jaar, en bij maximale aanvoer van organische stof met 75 kg per hectare per jaar.

Door verschillende strategieën ten aanzien van organische stof toevoer naar de bodem (dierlijke mest, compost, stro inwerken, groenbemesters) ontstaan verschillen in nalevering van stikstof die in extreme gevallen in de grootteorde liggen van 15 tot 40% van de voor de gewassen benodigde stikstof (Bokhorst en van der Burgt, 2012).

Ajwa & Tabatabai (1994) deden een pot experiment waarin de afbraak van verse mest gedurende 30 dagen werd gevolgd door de CO₂ productie te meten. De grond bestond uit 24.8% klei en 4.6% zand, met een pH-CaCl₂ van 5.6. Met kippen en varkensmest was er in de eerste 5 dagen een zeer snelle afbraak. Ook met rundermest was de afbraak in het begin snel, maar minder dan met kippen- en varkensmest. Met paardenmest was de bodemademhaling veel lager en gedurende de eerste 20 dagen constant. Na 30 dagen was 58% van de varkensmest, 52% van de kippenmest, 48% van de rundermest en 25% van de paardenmest afgebroken tot CO₂. De afbraaksnelheid verschilt dus tussen de verschillende soorten mest.



Figuur 10 Cumulatieve hoeveelheid organisch koolstof die vrijkwam in een potproef met verschillende soorten dierlijke mest (Ajwa & Tabatabai, 1994).

In Zeeland werden in 2005 in een proef op Proefboerderij Rusthoeve (Colijnsplaat) de effecten van bemestingskeuze op de bodemlevengroepen en de bodemleven gerelateerde bodemkenmerken geëvalueerd. Doel was om strategieën voor duurzaam bodemmanagement te ontwikkelen, gericht op een kwalitatief goed product, een lage kostprijs en met de mogelijkheid tot afstemming op regionale en bedrijfseigen kenmerken. Bemesting met dierlijke en niet-dierlijke meststoffen vormde de primaire invalshoek. Vergeleken werden o.a. vaste geitenmest, groencompost, GFT compost en runderdrijfmest. De schimmel- en bacterie biomassa verschilde niet tussen de bemestingsstrategieën, gemeten 3 jaar na de start van de proef. Wel lag de koolstofmineralisatie meer dan 3x hoger in de varianten met vaste mest en groencompost vergeleken met de drijfmestvariant ($P < 0.001$). De hoeveelheid mineraliseerbare N was 60% hoger met vaste mest dan met groencompost en drijfmest. Net als de N mineralisatie was ook het aantal bacterie etende nematoden hoger met vaste mest dan met drijfmest. Begrazing van bacteriën o.a. door nematoden gaat gepaard met uitscheiding van minerale stikstof (= mineralisatie). Begrazing kan ook de reden zijn dat er geen verschillen in bacteriebiomassa worden gevonden.

Ook de andere groepen nematoden waren talrijker met vaste mest dan met drijfmest. In de compostbehandelingen werden de meeste plantenetende nematoden gevonden in de drijfmestvariant de minste. Compost zat er tussenin. Geen verschillen werden aangetroffen in totale wormen aantallen noch in de structuurkenmerken van de grond (Koopmans et al., 2006). Met vaste mest werden wel meer strooiselbewonende regenwormen en minder bodembewoners aangetroffen vergeleken met drijfmest en compost.

In het EU project Catch-C (D'Hose et al. 2010) werden data geanalyseerd van meer dan 65 Europese veldproeven. In 7 daarvan werden effecten van runderdrijfmest, (vaste) stalmest en compost vergeleken met minerale mest (de controle). Effecten van bemesting (voedselbron) leken sterker dan van gereduceerde grondbewerking (minder verstoring). Grondsoort (textuur) had weinig effect, alleen compost had meer effect op zand dan op klei. Alle organische toevoegingen gaven een significante toename van aantallen en biomassa van regenwormen. Stalmest gaf de meeste toename, drijfmest wat minder en compost duidelijk minder. De toename bedroeg respectievelijk 320, 283 en 75 individuen per m^2 vergeleken met kunstmest. De biomassa gaf grotere verschillen met respectievelijk 71, 42, 15 gram wormen per m^2 meer dan met kunstmest. Dit wijst op kleinere wormen met drijfmest. Hoge doses drijfmest kunnen giftig zijn door ammoniak en zouten, maar negatieve effecten zijn tijdelijk en het netto effect op langere termijn is positief (Curry, 1976).

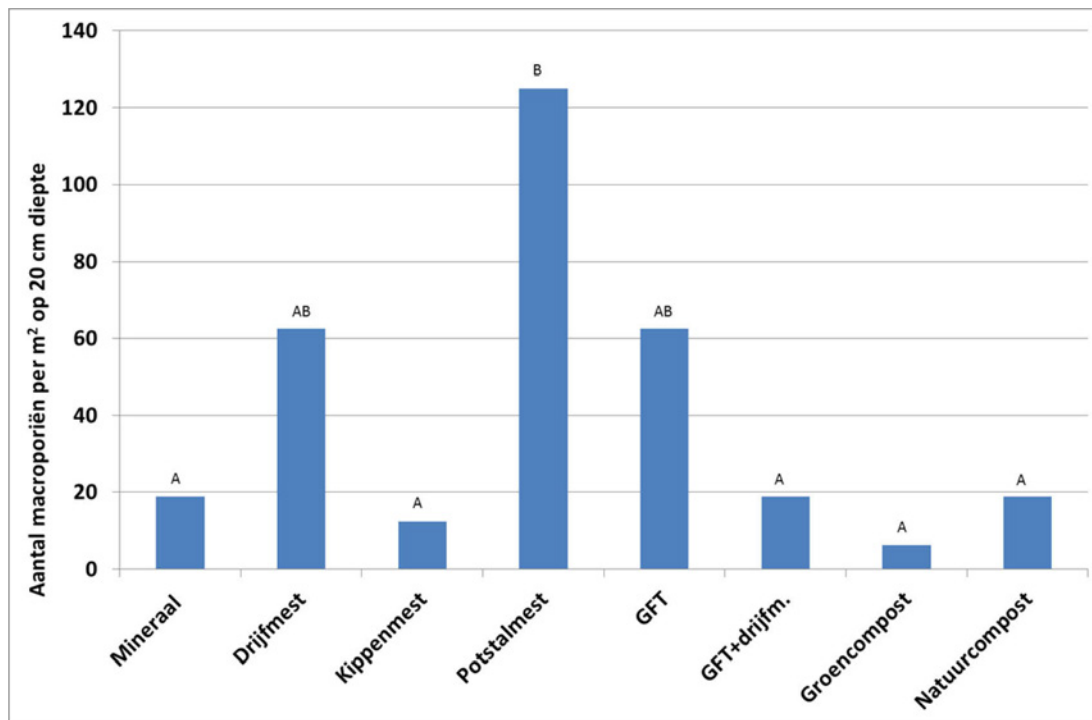
Runderdrijfmest gaf 38% minder plant parasitaire nematoden. Dit kan komen door ammoniak bij hoge N bemesting (> 150 kg N/ha) met een lage C/N verhouding. Alle organische toevoegingen gaven een toename van bacterie etende nematoden, het meest met drijfmest (282%), het minst met compost (19%) en tussenliggende waarden met stalmest. Schimmel etende nematoden daarentegen waren zowel met stalmest als met drijfmest 44% lager. Compost gaf geen significant verschil met kunstmest (de controle). De gemakkelijk afbreekbare verbindingen, zoals organische zuren en koolhydraten in mest met een lagere C/N verhouding voeden dus vooral de bacteriën, en daarmee ook de bacterie etende nematoden.

Alle organische toevoegingen verhoogden de totale microbiële biomassa, het meest met drijfmest (35%), het minst met compost (25%) en tussenliggende waarden met stalmest (29%). In slechts 5 proeven werden bacteriën en schimmels apart gemeten door middel van specifieke vetzuren (PLFA biomarkers). Bacteriële PLFAs waren circa 35% hoger met compost en stalmest. Drijfmest gaf geen significante toename. Er was geen effect op schimmel PLFA. Deze microbiologische resultaten lijken niet consistent. De verschillende behandelingen waren niet allemaal op dezelfde locaties, en een hogere bodem pH op sommige locaties is ongunstig voor schimmels. Mede door het geringe aantal locaties konden geen betrouwbare conclusies worden getrokken over effecten op schimmels en bacteriën.

Van de effecten van mesttypen op de bodemstructuur is in de literatuur weinig bekend. Veelal is het effect van bouwplan of type grondbewerking vele malen sterker dan van mesttype alleen.

Resultaten van Mest als Kans in Lelystad laten wel zien dat de bodemstructuur ook indirect wordt beïnvloed via het bodemleven (Bokhorst et al., 2008). Figuur 11 geeft weer dat het aantal

macroporiën, en daarmee de structuur en waterdoorlatendheid wordt beïnvloed door het type mestgebruik. Runderdrijfmest, potstalmest en de relatief rijke GFT compost resulteerden in de hoogste aantal macroporiën. Dit kan als een indicatie voor een gunstige ontwikkeling van de bodemstructuur worden gezien.



Figuur 11 Macroporiën op 20 cm diepte in relatie tot het type mest, na 7 jaar toediening.

4.4 Varkensmest en rundermest

Er zijn weinig vergelijkingen van varkens- en rundermest gepubliceerd. Cotton and Curry (1980) vonden in grasland weinig verschil tussen effecten van runderdrijfmest (hoge C/N) en varkensdrijfmest (lage C/N) op regenwormen. Murchie et al. (2015) vergeleken lange termijn effecten na 33 jaar kunstmest, runderdrijfmest en varkensdrijfmest op regenwormen in grasland. Strooiselbewoners aan de oppervlakte en sommige bodembewoners reageerden sterk en positief op runderdrijfmest, vergeleken met de onbemeste controle. Andere bodembewoners deden het beter met kunstmest. In tegenstelling tot runderdrijfmest had varkendrijfmest had weinig effect op de wormen in vergelijking met de onbemeste controle, ondanks wat hoger kopergehalten in de bodem. Dit suggereert dat eventuele schadelijke effecten van koper werden geneutraliseerd door de organische stof input. Resultaten van grasland zijn niet eenvoudig te extrapoleren naar akkerbouw waar veel minder wortels zijn en de grond regelmatig wordt bewerkt.

Griffiths et al. (1998) vonden dat het aantal protozoën (eencellige bacterie eters) sneller toenam met varkensdrijfmest dan met runderdrijfmest en schreven dit toe aan de grotere hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare koolstof in varkensmest.

In Vlaanderen worden sinds 2010 effecten van compost, runderdrijfmest en varkensdrijfmest vergeleken in akkerbouw op lemig zand (D'Hose et al. 2016). Aanvankelijk had de bodem een (te) laag koolstofgehalte (0.81%). Organische stofgehalten werden op peil gehouden en licht verhoogd (+0.04%) met drijfmest en goede landbouwpraktijken zoals groenbemesters en inwerken van stro. Alleen met jaarlijkse toevoeging van compost (8.3 ton/ha) werd na 4 jaar een aanzienlijke verhoging bereikt (+0.17%). Dit laat zien dat boeren gedurende 4 jaar compost kunnen gebruiken bovenop runder- of varkensdrijfmest om het organische stofgehalte van de bodem te verhogen zonder dat de

uitspoeling van stikstof en fosfor toeneemt. Dit is wel een punt van aandacht bij langdurig gebruik. Ook de microbiële biomassa was verhoogd, evenals ziektevering tegen voetrot bij sla door de pathogene schimmel *Botrytis cinerea*. Er was geen effect op de plant parasitaire nematode *Pratylenchus penetrans*, noch op ziektedruk door *Dickeya solani*, *Streptomyces scabies* and *Rhizoctonia solani* na aardappelen. Ziektevering geeft in het algemeen wisselende effecten te zien.

Vergeleken met varkensdrijfmest leidde runderdrijfmest tot een hoger organisch koolstofgehalte in de bovenlaag (0-10 cm). Voor de laag 0-60 cm was er een trend naar hogere bodem organische koolstofvoorraad en toename met runderdrijfmest vergeleken met varkensdrijfmest.

Compost gaf de hoogste aantallen regenwormen, maar alleen in combinatie met niet kerende grondbewerking. Er was weinig verschil tussen de mesttypen, maar in de bovenlaag (0-10 cm) was de schimmelbiomassa hoger met runderdrijfmest dan met varkensdrijfmest. Aantallen en voedselgroepen van nematoden werden niet beïnvloed door mesttype, grondbewerking of compost.

4.5 Mestscheiding: dunne en dikke fractie

Een van de gevolgen van het gebruik van de dunne fractie in plaats van runderdrijfmest bij maïs is dat het veel minder organische stof aan de bodem toevoegt. De organische stof van de mest blijft immers voor het grootste deel achter in de dikke fractie die juist wordt afgevoerd. Het effect van de dunne fractie werd onderzocht in een vruchtwisseling van 3 jaar gras-klover gevolgd door 3 jaar maïs op zand in Brabant (Deru et al. 2010). Uit de modelberekeningen blijkt dat de mestsoort invloed heeft op het gehalte aan organische stof in de bodem, hoewel de effecten van het type maïs groter zijn. Bij de oogst van korrelmaïs blijven meer gewasresten achter dan bij snijmaïs. Dunne fractie en mineralenconcentraat versterken de daling in bodemorganische stof bij snijmaïs, en drijfmest vertraagt de daling. Het gehalte aan organische stof zakt met de traditionele teelt van snijmaïs (drijfmest en kunstmest) in zes jaar terug naar 2,6 procent, het niveau van vóór de drie jaar gras. Daarna is geen sterke daling meer te zien. Bij snijmaïs met mineralenconcentraat is het oorspronkelijke niveau van 2,6 procent al na drie jaar bereikt en het gehalte aan organische stof zakt verder naar circa 2,4 procent in het tiende maïsjaar. Het verschil tussen mineralenconcentraat en dunne fractie is klein, in het voordeel van de dunne fractie. Alleen korrelmaïs met drijfmest en kunstmest geeft een lichte stijging van het gehalte aan organische stof.

De dikke fractie gaf in grasland op veengrond meer regenwormen, met name strooiselbewoners (Deru et al. 2016). Verder waren er geen verschillen tussen onbemeste controle, drijfmest, ruige mest en compost. Vliegende insecten groter dan 5 mm waren talrijker in de plotjes bemest met dikke fractie en ruige mest, en minder talrijk bij de onbemeste controle, drijfmest en GFT-compost. Insecten zijn belangrijk voor kuikens, terwijl volwassen weidevogels veel wormen eten. Het aantal strooiselbewonende regenwormen correleerde positief met de C/N-ratio van de gegeven mest. De bodem in april was significant vochtiger met de dikke fractie en ruige mest dan alle andere behandelingen. Bodemvocht is belangrijk voor de activiteit van regenwormen en correleerde positief met de C-input uit de bemesting.

4.6 Digestaat

Er is vrijwel niets bekend over langere termijn effecten van digestaat op de bodem (NKoa et al., 2014). Korte termijn studies lieten positieve effecten zien op bulkdichtheid en waterhuishouding. De bemestingswaarde ligt tussen mest en kunstmest in, in veel gevallen dichter bij kunstmest. Vanwege een hogere pH en NH₃/NH₄ gehalten is het risico op ammoniak en lachgas emissie groter dan met niet vergiste mest. Op langere termijn is er kans op accumulatie van zware metalen (koper, zink en mangaan) met name bij co-vergisting met runder- en varkensdrijfmest.

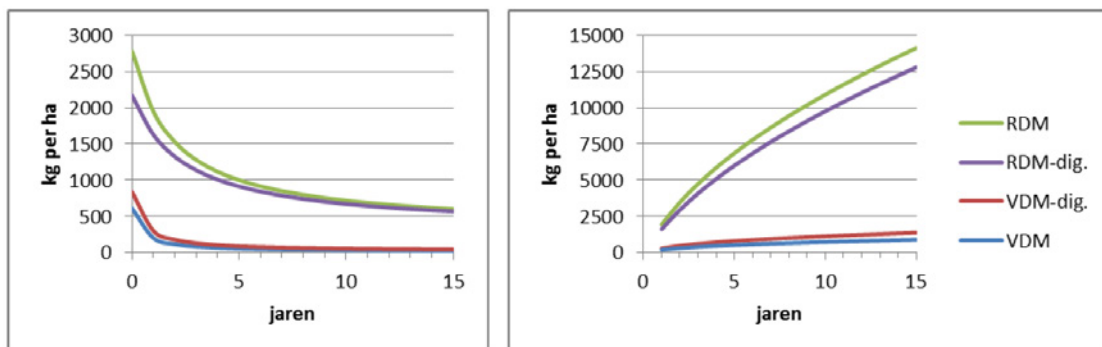
Er zijn uiteenlopende en tegenstrijdige effecten gevonden op microbiële activiteit in de bodem na toediening van digestaten en mest. Dit wordt door Risberg et al. (2017) toegeschreven aan een grote

variatie in samenstelling van de organische toevoegingen in combinatie met een beperkt aantal waarnemingen. Deze auteurs vergeleken de chemische samenstelling van 20 verschillende digestaten met 10 varkensdrijfmesten en 10 runderdrijfmesten, en hun effecten op microbiologische activiteit in de bodem, met name potentiële ammonium oxidatie en bodemademhaling (CO₂ productie). In het algemeen bevatten de digestaten hogere concentraties ammonium, terwijl er meer koolstof en vluchtige vetzuren zaten in varkensdrijfmest en rundermest. De digestaten hadden zowel stimulerende als remmende effecten op ammonium oxidatie, terwijl alle rundermesten en negen van de tien varkensmesten ammonium oxidatie remden. Ammonium oxidatie correleerde negatief met vluchtige vetzuren, die mogelijk de oorzaak zijn van de remming. De maximale bodemademhaling was eerder en geringer met de digestaten wat kan wijzen op snel afbreekbaar materiaal. Over 12 dagen was er geen verschil in CO₂ productie. Dit wijst erop dat de kwaliteit en afbreekbaarheid van de organische stof vergelijkbaar was in alle mestsoorten. Er is dus wel een verschil in samenstelling tussen digestaten en mest, maar geen aanwijzing voor negatieve effecten op de microbiële activiteit in de bodem. De remming van ammonium oxidatie is ook in andere studies gevonden, maar voor rundermest zijn eerder positieve effecten gevonden in vergelijking met onbemeste grond. Risberg et al. (2017) suggereren dat digestaten geschikter zijn voor zwaardere gronden met hoge klei en koolstofgehalten, terwijl varkensdrijfmest en rundermest beter zijn voor lichte zandgronden met minder organische stof.

Van Geel en Van Dijk (2013) berekenden de opbouw van organische stof bij gebruik van onvergiste of co-vergiste mest. Door vergisting van mest wordt een deel van de organische stof in de vergister afgebroken, die anders (bij toediening van onvergiste mest) in de bodem was gekomen. Anderzijds wordt extra organische stof toegevoegd door de co-vergistingmaterialen. De resterende organische stof in het digestaat is stabiel (moeilijker afbreekbaar) dan de onvergiste organische stof en draagt relatief sterker bij aan de humusopbouw in de bodem.

Uit de modelberekening blijkt dat er qua humusopbouw vooral een groot verschil is tussen de vergiste mestsoorten: bij jaarlijkse toepassing van RDM-digestaat wordt veel meer organische stof aan de bodem toegevoegd dan bij jaarlijkse toepassing van VDM-digestaat. Het verschil in humusopbouw tussen de onvergiste mest en het digestaat is relatief klein ten opzichte van dat van de mestsoort.

Evenwel heeft co-vergisting van VDM wel een positief effect op de humusopbouw in de bodem: deze is bij toepassing van VDM-digestaat anderhalf keer zo hoog als bij toepassing van onvergiste VDM. Toepassing van digestaat van co-vergiste RDM leidt niet tot een hogere humusopbouw dan toepassing van onvergiste RDM.



Figuur 12 Resterende hoeveelheid organische stof in de bodem bij eenmalige toediening (links) en jaarlijkse toediening (rechts) van onvergiste VDM, VDM-digestaat, onvergiste RDM en RDM-digestaat (Van Geel en Van Dijk, 2013).

4.7 Conclusies

Mest en regionale kringlopen

Mest kan een belangrijke rol spelen in het op peil houden van de bodemvruchtbaarheid in Zeeland. De organische stof balans van de provincie, zo blijkt uit meerdere studies, is in balans of licht negatief. In de eerste plaats is het bouwplan en daarmee gewasresten en wortelbiomassa de belangrijkste aanvoer van organische stof. Vooral maaigewassen als luzerne, (gras)klaver en granen zijn van belang om het organische stof op peil te houden. Ook groenbemesters spelen hierin een centrale rol, zeker wanneer die gecombineerd worden met de inzet van dierlijke mest.

Zeeland is een netto importeur van organische mest. Wel treden er verschuivingen op van varkensdrijfmest richting de inzet van rundveedrijfmest en compost. Deze ontwikkeling kan als positief worden beschouwd. Streven naar een evenwicht tussen mestproductie en mestafzet op regionale schaal kan een beleidskeuze zijn. Zaak is de mest niet als los dossier te zien. Afspraken tussen mestproducent (veehouder) en akkerbouwer zijn essentieel om ook in de toekomst kringlopen méér te sluiten op regionale schaal.

Kwaliteit van mest is een issue dat steeds belangrijker wordt en niet meer uitsluitend een zaak van de veehouder zou moeten zijn. De akkerbouw zou gestimuleerd moeten worden om voorwaarden te stellen aan de kwaliteit van mest die beschikbaar komt. Dan wordt mest van een afvalproduct een waarde-product. Gezien de maatschappelijke ontwikkelingen ligt een grondgebonden veehouderij voor de hand. In termen van mestkwaliteit, inzet en bijdrage aan bodemvruchtbaarheid moet de voorkeur worden gegeven aan vaste mest, rundveedrijfmest, rundveedigestaat en minder varkensdrijfmest. Van mineralen concentraten mag worden verwacht dat ze een kunstmestachtige werking vertonen en voornamelijk ingezet kunnen worden naast een (dierlijke) mestgift met als doel kunstmest te vervangen.

Onderzoek is gewenst naar de beschikbaarheid en inzet van (regionale) composten en GFT afval. De kwaliteit hiervan weerhoudt boeren er nogal eens van om deze in te zetten. Toch liggen hier kansen om in een provincie als Zeeland (veel) meer mee te doen en dit mee te nemen in een regionaal beleid om de kringlopen regionaal te sluiten. Naast vaste mest is immers gebleken dat een combinatie van (GFT)compost met snelwerkende dierlijke mest als rundveedrijfmest een zeer gunstige werking heeft op de bodembiologie en daarmee op de opbouw van bodemvruchtbaarheid.

Effecten van mest op de biologische bodemvruchtbaarheid en plantengroei

Het algemene beeld uit lange termijn proeven is dat met 20 jaar organische bemesting het organische stofgehalte 20-30% verhoogd kan worden ten opzichte van de inzet van kunstmest alléén. Het hogere organische stofgehalte gaat gepaard met meer bodemleven, betere kruimelstructuur, meer N mineralisatie en een betere benutting van stikstof. Er zijn aanwijzingen dat op kleigrond meer verbetering kan worden bereikt dan op zandgrond (25% versus 10%).

Voor behoud van organische stof en bodemkwaliteit is organische bemesting alleen echter niet voldoende. Dit vereist een geïntegreerde aanpak waarin ook bouwplan, gewasresten, gereduceerde grondbewerking en groenbemesters van groot belang zijn.

Er is een redelijk aantal publicaties waarin compost, vaste mest en (runder)drijfmest worden vergeleken met betrekking tot hun effecten op de biologische bodemvruchtbaarheid, maar er zijn zeer weinig publicaties over andere dierlijke mesten en mestverwerkingsproducten. Op de Rusthoeve (Colijnsplaat, kleigrond)) waren bodemademhaling, mineraliseerbare N en bacterie etende nematoden het hoogst na 3 jaar vaste mest, en het laagst met drijfmest. Compost zat daar tussenin. Een Europees project vond op 7 locaties de meeste regenwormen met vaste mest, wat minder met drijfmest, en veel minder met compost. De microbiële biomassa en bacterie etende nematoden waren het hoogst met drijfmest, lager met vaste mest en veel lager met compost. Vaste mest lijkt dus het meest gunstig voor regenwormen. De uiteenlopende resultaten met compost kunnen samenhangen met een uiteenlopende samenstelling en rijpheid van composten. Op intensief bewerkte lichte zavel bij Lelystad (Mest Als Kans proef) gaf het mengsel van drijfmest+GFT compost, natuurcompost en potstalmest na 18 jaar de grootste hoeveelheden mineraliseerbare N en HWC. Potstalmest en

drijfmest+GFT vormen een combinatie van bodemvoeding en plantenvoeding en gaven ook de hoogste gewasopbrengst.

In akkerbouw op lemig zand in Vlaanderen leidde runderdrijfmest na 4 jaar tot meer organische stof in de bodem dan varkensdrijfmest. Net als bij Lelystad werden betere resultaten bereikt door runder- of varkensdrijfmest te combineren met compost. Het organische stofgehalte nam met 20% toe, terwijl de uitspoeling van stikstof en fosfor niet groter werd. Ook de microbiële biomassa was verhoogd. Compost gecombineerd met niet kerende grondbewerking gaf de hoogste aantallen regenwormen.

Tabel 12 *Kwalitatieve effecten van verschillende soorten bemesting op organische stof en bodemleven. Meer plussen wijst op een sterker effect, maar dit dient alleen binnen één kolom (per indicator) te worden vergeleken. Min duidt op een negatief effect. HWC is heet water extraheerbaar koolstof, PMN is potentieel mineraliseerbare stikstof.*

	Organische stof	HWC	PMN	Bacteriën	Schimmels	Bacterivore nematoden	Fungivore nematoden	Herbivore nematoden	Regenwormen
Compost	+++	+/ 0	+	+/0	+/ 0	+/0	+/ 0	+/0	+/0
Vaste rundermest	+++	++	++	++	++	++	-	+	+++
Vaste pluimveemest	+	0	+	0	0	0	0	0	+
Runderdrijfmest	++	++	++	++	+	++	-	-	++
Varkensdrijfmest	+	+	+	+	0	+	-	-	0
Dikke fractie	+	+	+	0	0	0	0	0	+
Dunne fractie	-	-	-	0	-	0	-	0	0
Digestaat	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Concentraat	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Toelichting:

+, ++, +++	positief effect
-	negatief effect
+/ 0 en +/-	wisselende effecten
0	geen effect
Rood en vet	ondersteund door literatuur
Zwart	expert judgment (auteurs)

Tabel 12 vat de belangrijkste effecten van mestsoorten op de bodembioïologie samen:

- Compost bevat veel effectieve organische stof en is goed voor opbouw van stabiele organische stof, bodemstructuur en waterhoudend vermogen, maar bevat minder voeding voor bodemleven en plant. De resultaten met compost kunnen erg wisselen.
- Vaste mest (stalmest, potstalmest) voedt zowel de bodem als de plant.
- Drijfmest voedt vooral de plant en het bacteriële deel van het bodemvoedselweb. Ook regenwormen profiteren er van.
- Runderdrijfmest is gunstiger voor organische stof dan varkensdrijfmest.
- Hoewel pluimveemest veel effectieve organische stof bevat wordt de organische stof gift sterk beperkt door het hoge gehalte aan nutriënten. De effectieve organische stof per kg fosfaat is laag.
- Er zijn goede resultaten behaald met opbouw van organische stof met behoud van gewasproductie, door combinaties van compost en drijfmest, ook met varkensdrijfmest.
- Digestaat is niet schadelijk, maar het werkt voornamelijk als minerale mest. Dus combinaties met koolstofbron (compost of vaste mest) zullen nodig zijn om organische stof op peil te houden.

Een balans in plantenvoedende en bodemopbouwende mestsoorten kan een voorwaarde zijn om op termijn een evenwicht te vinden tussen zowel de landbouwkundige opbrengsten alsook het handhaven van de bodemvruchtbaarheid. Deze balans kan worden bereikt met vaste mest of bij afwezigheid hiervan met combinaties. Van combinaties van bodemopbouwende inputs zoals compost en vaste mest in combinatie met snelwerkende mest zoals drijfmest, dunne fractie of concentraat mag wel worden verwacht dat deze in principe gunstig kunnen uitpakken voor zowel de (biologische)

bodemkwaliteit alsook opbrengsten voor de landbouwer. Specifieke verhoudingen hiervoor zullen afhangen van bodemtype en bouwplan en vergen een meer specifieke benadering (Tabel 13).

Tabel 13 Globale indeling van soorten mest naar hun werking voor plant en bodem. Indicatief zijn effectieve organische stof grenzen aangegeven.

Werking voor	Effectieve organische (kg per ton)	Mestsoort
Planten	< 60	Drijfmest (rund en varken), (Co)vergiste mest-digestaat, dunne fractie gescheiden mest, mineralen concentraat, minerale mest
Bodem & Plant	> 60 en < 120	Vaste mest, champost, combinaties*
Bodem	> 120	GFT, groencompost, dikke fractie gescheiden mest

* Combinaties kunnen bestaan uit bijvoorbeeld GFT met rundvee (of varken) drijfmest. Andere combinaties zijn denkbaar en zouden verder moeten worden onderzocht

Naast bovenstaande indeling zijn in de praktijk de meststoffen met een ruime verhouding tussen de EOS en fosfaat degenen die de meeste ruimte bieden om naast plantenvoeding ook de organische stof te verhogen. Globaal bieden hierbij rundveedrijfmest, vaste mestsoorten en composten (door hun fosfaatvrijstelling in de wetgeving) de meeste ruimte.

Met deze mestsoorten moet het ook mogelijk zijn de organische stofbalans in de akkerbouw van Zeeland (nu licht negatief ingeschat door diverse modelberekeningen) op te tillen naar een toevoer van meer dan 2000 kg EOS per ha per jaar benodigd om de bodem in balans te houden. Zou uitsluitende compost worden ingezet dan is een theoretische aanvoer tot 5000 kg EOS mogelijk.

De milieuwinst van organische mest hangt af van beheersmethoden zoals de gegeven hoeveelheid, tijdstip van toediening, manier van inwerken in de grond en inzet van een volggewas. Bij zorgvuldig beheer met gezond bouwplan en inzet van groenbemesters is het mogelijk met organische bemesting lagere N verliezen en dezelfde opbrengst te realiseren dan bij gangbaar beheer. De resultaten in verschillende studies zijn echter wisselend. Dit komt deels door de grote variatie in hoeveelheden en kwaliteit van organische mesten.

Indicatoren

Er zijn verschillende systemen in gebruik (en ontwikkeling) om de bodemkwaliteit en de effecten van organische mest op de bodemkwaliteit vast te stellen. Voor de praktijk zijn de bodemscan (akkerbouw) en de bodemconditiescore (veehouderij) de meest ontwikkelde en getoetste systemen. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een beperkt aantal bodemindicatoren in combinatie met visuele waarnemingen aan de bodem in het veld.

Voor wetenschappelijke studies zijn de indicatoren uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Bobi) het verst ontwikkeld en getoetst. Dit pakket is echter (nog) niet geschikt voor grootschalige routine analyse in de praktijk. De meest toegepaste indicatoren voor de biologische bodemkwaliteit zijn daarbij: organische stofgehalte, de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN), heet water extraheerbare koolstof (HWC), biomassa van bacteriën en schimmels, en aantallen en samenstelling van nematoden en regenwormen.

Werking van 'nieuwe' mestsoorten

Gedetailleerde informatie omtrent werking van de dikke- en dunne mestfracties, digestaat en mineralen concentraten uit mest vergen meer onderzoek in de praktijk om de effecten op de biologische bodemkwaliteit vast te stellen. Daarmee zijn voorspellingen omtrent de uitwerking van de inzet van dergelijke inputs op de lange termijn van de landbouw praktijk (nog) niet te overzien. Inzet van de dunne fractie na mestscheiding voegt veel minder organische stof toe aan de bodem vergeleken met ongescheiden mest en is daarmee vooral gericht op de plantenvoedende waarde op de korte termijn heeft. Wel mag worden verwacht dat het aandeel organische stof in deze producten een positieve uitwerking zal hebben op de bodemkwaliteit indien deze vergeleken worden en een

vervanging zijn van minerale mest. Minerale mest maar ook de snelwerkende dierlijke meststoffen zoals concentraten kennen een priming effect: de microbiële activiteit wordt verhoogt met (versnelde) afbraak van organische stof tot gevolg. Daarom is het vinden van een balans tussen plantenvoeding en bodemorganische stofopbouw belangrijk als uitgangspunt en voorwaarde.

Daarnaast laten langlopende proeven zien dat met name de combinatie van inzet van dierlijke (vaste) mest met de inzet van groenbemesters het organische stofgehalte kan verhogen of op zijn minst op peil houden. In de regelgeving met betrekking tot mestinzet en vergroening van het gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) zou hier nog veel winst gehaald kunnen worden door deze dossiers geïntegreerd te benaderen. Bij zorgvuldig beheer van de vruchtwisseling en inzet van groenbemesters is het mogelijk dezelfde opbrengsten te realiseren met lagere N verliezen dan bij de gangbare minerale mesttoedieningen.

De literatuur laat zien dat een goed opgebouwde bodemvruchtbaarheid gepaard kan gaan met minder afhankelijkheid van externe inputs (kunstmest, energie en gewasbescherming). In die zin kan een afgewogen (organische) mestinzet gezien worden als een noodzakelijke randvoorwaarde om hier stappen te zetten naar een duurzamere productie die gepaard gaat met het verminderen van de risico's voor de boer.

Omdat stikstof gewoonlijk het meest beperkende nutriënt is voor de gewasproductie, wordt organische bemesting met mest en compost gewoonlijk gebaseerd op de geschatte hoeveelheid beschikbare N. Echter, de relatief lage N:P verhouding van de meeste organische mest en compost, evenals betrekkelijk grote hoeveelheden sporenelementen, in verhouding tot de gewasopname kunnen leiden tot ophoping in de bodem van P en sporenelementen zoals zink en koper. Dit illustreert het belang van analyses van mest en bodem als hulpmiddel bij organische bemesting.

In het Nederlandse bemestingsadvies wordt echter niet expliciet rekening gehouden met de stikstofnalevering uit de bodem. Zorgvuldig bodembeheer kan leiden tot verschillen in nalevering die kunnen oplopen tot een aanzienlijk percentage van de gewasbehoefte (15-40%). Hier ligt dus nog een groot potentieel voor sturing en winst voor de landbouwer. Door géén rekening te houden met de méérjarige effecten wordt de nalevering en daarmee de waarde van organische mest veelal onderschat.

Literatuur

- Ajwa, H.A. & Tabatabai, M.A. (1994) Decomposition of different organic materials in soils. *Biology and Fertility of Soils* 18, pp. 175-182.
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64: 269-285.
- Bispo, A., Cluzeau, D., Creamer, R., Dombos, M., Graefe, U., Krogh, P.H., Sousa, J.P., Peres, G., Rutgers, M., Winding, A., Römbke, J. Indicators for monitoring soil biodiversity (2009) *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5, pp. 717-719.
- Bloem, J., D.W. Hopkins and A. Benedetti (editors) 2006. *Microbiological methods for assessing soil quality*. 307 pp. CABI, Wallingford, UK
- Bloem, J., G. Lebbink, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, S.L.G.E. Burgers, J.A. de Vos & P.C. de Ruiter. 1994. Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 51: 129-143.
- Bloem, J., P.C. de Ruiter & L.A. Bouwman. 1997. Food webs and nutrient cycling in agro-ecosystems. In "Modern Soil Microbiology" (J.D. van Elsas, J.T. Trevors and E. Wellington, editors), pp. 245-278. Marcel Dekker Inc. New York.
- Bloem, J., W. Dimmers, D. van Balen & J. Postma. 2017. Gereduceerde grondbewerking, labiele organische stof en micro-organismen. *Gewasbescherming*. In druk.
- Bokhorst, J. en G.J. van der Burgt, 2012. Organische stofbeheer en stikstofleverend vermogen van de grond in de Nederlandse akkerbouw. Rapport Louis Bolk Instituut in opdracht van Productschap akkerbouw, 2012, 12 p.
- Bokhorst, J.G., C. ter Berg, M. Zanen, C.J. Koopmans. 2008. Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans. Rapport LD10. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 28 p.
- Brolsma, K, E. Ton en A. Reijneveld. 2016. Bodemvruchtbaarheid in Nederland over de periode 2005 – 2015. Trends in de chemische, de fysische en de biologische bodemvruchtbaarheid per LEI gebied voor elke grondsoort en per sector. Eurofins Agro. Wageningen. 196 pp.
- Brussaard, L., P. C. de Ruiter & G.G. Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 233–244.
- Conijn, J.G. and J.P. Lesschen, 2015. Soil organic matter in the Netherlands; Quantification of stocks and flows in the top soil. Wageningen. Alterra report 2663. 68 pp.
- Cotton DCF, Curry JP (1980) The effects of cattle and pig slurry fertilizers on earthworms (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) in grassland managed for silage production. *Pedobiologia* (Jena) 20:181-188.
- Curry, J.P. 1976. Some Effects of Animal Manures on Earthworms in Grassland. *Pedobiologia* 16, 425-438.

-
- D'Hose, T., L. Molendijk, W. van den Berg, H. Hoek, W. Runia. 2010. Impacts of soil management on biological soil quality. Catch-C deliverable D3.344.
http://www.catchc.eu/deliverables/WP3%20Task%203%204%20SQB_D3.344_fin.pdf
- D'Hose, T., Ruyschaert, G., Viaene, N., Debode, J., Vanden Nest, T., Van Vaerenbergh, J., Cornelis, W., Willekens, K., Vandecasteele, B. Farm compost amendment and non-inversion tillage improve soil quality without increasing the risk for N and P leaching (2016) *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 225, pp. 126-139.
- de Haan, J.J. & W. van Geel. 2013. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen UR, Lelystad. 146 p. <http://edepot.wur.nl/257873>
- Den Boer, D.J., J. A. Reijneveld J. J. Schröder J. C. van Middelkoop. 2012. Mestsamenstelling in Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen. Rapport 1. CBGV.
- Deru, J.G.C., G.J.H.M. van der Burgt, N.J.M. van Eekeren, H. Wientjes. 2010. Maïsteelt en mestscheiding: Langetermijneffecten op organische stof. V-focus. December 2010, p. 20-22.
- Deru, J.G.C., N.J.M. van Eekeren, F. Lenssinck. 2016. Mest voor weidevogelgebieden in veenweiden: Dikke fractie gescheiden drijfmest is alternatief voor ruige mest. V-focus. April:28-30.
- Edmeades, D.C. 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: Nutrient Cycling in Agroecosystems 66: 165-180.
- Faber, J.H., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Bloem, J., Lahr, J., Diemont, W.H. & Braat, L.C. 2009. Ecosysteemdiensten en bodembeheer. Maatregelen ter verbetering van de biologische bodemkwaliteit. Alterra rapport 1813. Alterra, Wageningen, 150 p.
- Fliessbach A, Oberholzer H-R, Gunst L, Mäder P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118:273-84.
- Gareau, S.E. 2004. Analysis of plant nutrient management strategies: Conventional and alternative approaches. *Agriculture and Human Values* 21: 347-353.
- Gemmill, B. 2002. Managing Agricultural Resources for Biodiversity Conservation. A Guide to Best Practices. UNEP.
- Griffiths BS, Wheatley RE, Olesen T, Henriksen K, Ekelund F, Rønn R (1998) Dynamics of nematodes and protozoa following the experimental addition of cattle or pig slurry. *Soil Biol Biochem* 30:1379-1387.
- Griffiths, B.S., Römbke, J., Schmelz, R.M., Scheffczyk, A., Faber, J.H., Bloem, J., Pérès, G., Cluzeau, D., Chabbi, A., Suhadolc, M., Sousa, J.P., Martins Da Silva, P., Carvalho, F., Mendes, S., Morais, P., Francisco, R., Pereira, C., Bonkowski, M., Geisen, S., Bardgett, R.D., De Vries, F.T., Bolger, T., Dirilgen, T., Schmidt, O., Winding, A., Hendriksen, N.B., Johansen, A., Philippot, L., Plassart, P., Bru, D., Thomson, B., Griffiths, R.I., Bailey, M.J., Keith, A., Rutgers, M., Mulder, C., Hannula, S.E., Creamer, R., Stone, D. Selecting cost effective and policy-relevant biological indicators for European monitoring of soil biodiversity and ecosystem function (2016) *Ecological Indicators*, 69, pp. 213-223.
- Hanegraaf, M. & F. van Alebeek. 2013. Herkenningskaart Meetset Bodembiodiversiteit. NMI/PPO-AGV. <http://edepot.wur.nl/292715>.

-
- Hansen, B., Alrøe, H.F., Kristensen, E.S. 2001. Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83: 11-26.
- Hepperly, P. R. Seidel, D. Pimentel, J. Hanson & D. Douds Jr. (2007) Organic farming enhances soil carbon and its benefits. In: Kimble, J.M., C. W. Rice, D. Reed, S. Mooney, R.F. Follett & R. Lal (Eds.) *Soil Carbon Management, Economic, Environmental and Societal Benefits*. CRC Press, Boca Raton, pp.129-153.
- Hepperly, P.R.; Douds Jr., D.; Seidel, R. 2006. The Rodale Institute Farming Systems Trial 1981 to 2005: Long Term Analysis of Organic and Conventional Maize and Soybean Cropping Systems. In: J. Raupp, C. Pekrun, M. Oltmanns, U. Köpke (eds). *Long-term Field Experiments in Organic Farming*. International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), Scientific Series No. 1. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Houot, S., Chaussod, R. 1995. Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils* 19: 309-316.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J. 2008. Soil health in agricultural systems *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 685-701.
- Koopmans, C.J., F.W. Smeding, M. Rutgers, J. Bloem, N.J.M. van Eekeren. 2006. Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw. Rapport LB14. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 69 p.
- Korschens, M. 2006. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research - A review. *Plant, Soil and Environment* 52 (SPEC. ISS.):1-8.
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- Murchie, A.K., Blackshaw, R.P., Gordon, A.W., Christie, P. Responses of earthworm species to long-term applications of slurry (2015) *Applied Soil Ecology*, 96, pp. 60-67.
- Nkoa, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review(2014) *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (2), pp. 473-492.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. (2005) Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573-582.
- Raupp, J.; Oltmanns, M. 2006. Soil properties, crop yield and quality with farmyard manure with and without biodynamic preparations and with inorganic fertilizers. In Raupp, J., C. Pekrun, M. Oltmanns, U. Köpke (eds). 2006. *Long-term Field Experiments in Organic Farming*. International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), Scientific Series No. 1. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Risberg, K., Cederlund, H., Pell, M., Arthurson, V., Schnürer, A. Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure – Chemical composition and effects on soil microbial activity (2017) *Waste Management*, 61, pp. 529-538.
- Rosen, C.J., Allan, D.L. 2007. Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and soil quality. *HortTechnology* 17: 422-430.
- Rutgers M., C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G.W. Korthals, F.W. Smeding, C. ten Berg, N. van Eekeren. 2007. Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604008 96 pp.

-
- Rutgers M., Schouten T., Bloem J., Buis E., Dimmers W., van Eekeren N., de Goede R.G.M., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Korthals G., Mulder C., Wattel-Koekkoek E.J.W. 2014. Een indicatorsysteem voor ecosysteemdiensten van de bodem : Life support functions revisited. RIVM Rapport 2014-0145,129 pp.
- Scheller, E., Raupp, J. 2005. Amino acid and soil organic matter content of topsoil in a long term trial with farmyard manure and mineral fertilizers. *Biological Agriculture and Horticulture* 22: 379-397.
- Schils, R. 2012. 30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid. Alterra, Wageningen UR. 143 p.
- Schouten AJ, Bloem J, Didden W, Jagers op Akkerhuis G, Keidel H, Rutgers M (2002) Bodembioologische indicator 1999 – ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond bij drie categorieën melkveehouderijbedrijven. Rapport 607604003, RIVM, Bilthoven.
- Schouten AJ, Brussaard L, De Ruiter PC, Siepel H, Van Straalen NM (1997) Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. Rapport 712910005, RIVM, Bilthoven.
- Swift, M.J., Izac, A.-M.N., Van Noordwijk, M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 113-134.
- Trewavas, A. 2001. Urban myths of organic farming. *Nature* 410: 409-410.
- Van Geel en van Dijk, 2013: toepassing van digestaat in de landbouw. ACRRES-Wageningen UR PPO nr. 565, 26pp. <http://edepot.wur.nl/280427>
- Velthof, G.L., T. de Koeijer, J.J. Schröder, M. Timmerman, A. Hooijboer, J. Rozemeijer, C. van Bruggen & P. Groenendijk (2017), Effecten van het mestbeleid op landbouw en milieu: beantwoording van de ex-postvragen in het kader van de evaluatie van de Meststoffenwet. Wageningen Environmental Research rapport 2782.
- Wilkins, R.J. 2008. Eco-efficient approaches to land management: A case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 517-525.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg, C.J. Koopmans. 2008. Investeren tot in de bodem: Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Rapport LD11. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 40

Bijlage 1 Samenstelling dierlijke mest

Toelichting bij tabel

DS = Droge stof (kg/ton)

OS = Organische stof (kg/ton)

Ntot = Stikstof totaal (kg/ton)

Nmin = anorganische stikstof (kg/ton)

Norg = organische stikstof (kg/ton)

P2O5 = fosfaat (kg/ton)

NWC = Wettelijke stikstof werkingscoëfficiënt (%)

H = humificatiecoëfficiënt

EOS = effectieve organische stof (kg/ton) [=h*OS]

CNorg = ratio tussen koolstof en organische stikstof [koolstofgehalte is 50% van de organische stof, muv 45% voor compost en overige meststoffen]

	DS	OS	Ntot	Nmin	Norg	P205	NWC	w	h	EOS	EOS/Nw	EOS/P205	CN(org)	Bron
Gier														
Rundvee	25	10	4	3.8	0.2	0.2	80	3.2	0.70	7	2	35	25	Bemestingsadvies.nl
Varkens	20	5	6.5	6.1	0.4	0.9	80	5.2	0.33	2	0	2	6	Bemestingsadvies.nl
Zeugen	10	10	2	1.9	0.1	0.9	80	1.6	0.34	3	2	4	50	Bemestingsadvies.nl
Drijfmest														
Rundvee	92	71	4	1.9	2.1	1.5	60	2.4	0.70	50	21	33	17	Bemestingsadvies.nl
Vleesvarkens	107	79	7	3.7	3.3	3.9	60	4.2	0.33	26	6	7	12	Bemestingsadvies.nl
Zeugen	67	25	5	3.3	1.7	3.5	60	3.0	0.34	9	3	2	7	Bemestingsadvies.nl
Kippen	145	93	10.2	5.8	4.4	7.8	60	6.1	0.33	31	5	4	11	Databank organische meststoffen
Rosékalveren	94	71	5.6	3	2.6	2.6	60	3.4	0.70	50	15	19	14	Bemestingsadvies.nl
Witvees kalveren	22	17	2.6	2.1	0.5	1.1	60	1.6	0.70	12	8	11	17	Bemestingsadvies.nl
Vaste mest														
Rundvee	267	155	7.7	1.1	6.6	4.3	40	3.1	0.70	109	35	25	12	Bemestingsadvies.nl
Varkens	260	153	7.9	2.6	5.3	7.9	55	4.3	0.33	50	12	6	14	Bemestingsadvies.nl
Pluimvee, mestband	562	416	28.4	2.9	25.7	23	55	15.6	0.33	137	9	6	8	Bemestingsadvies.nl
Pluimvee, mestband + nadroog	616	393	32.7	3.8	28.9	25.6	55	18.0	0.33	130	7	5	7	Bemestingsadvies.nl
Kippen, strooiselmest	677	359	29	3.7	25.3	25.6	55	16.0	0.34	122	8	5	7	Bemestingsadvies.nl
Vleeskuikens + parelhoen	628	419	34.1	8.5	25.6	16.6	55	18.8	0.36	151	8	9	8	Bemestingsadvies.nl
Kalkoenen	520	427	23.3	6	17.3	19.7	55	12.8	0.36	154	12	8	12	Bemestingsadvies.nl
Paarden	287	160	4.6	0.5	4.1	2.7	40	1.8	0.33	53	29	20	20	Bemestingsadvies.nl
Schapen	276	195	8.8	2	6.8	4.5	40	3.5	0.70	137	39	30	14	Bemestingsadvies.nl
Geiten	291	174	9.9	2.4	7.5	5.3	40	4.0	0.70	122	31	23	12	Bemestingsadvies.nl
Nertsen	452	293	28.3	16.1	12.2	26.9	55	15.6	0.33	97	6	4	12	Bemestingsadvies.nl
Eenden	275	237	8.9	1.6	7.3	7.3	40	3.6	0.33	78	22	11	16	Bemestingsadvies.nl
Konijnen	408	332	9.4	2.3	7.1	6.7	40	3.8	0.33	110	29	16	23	Bemestingsadvies.nl
Compost														
Champost	336	211	7.6	0.4	7.2	4.5	25	1.9	0.50	106	56	23	15	Bemestingsadvies.nl
GFT-compost	696	242	8.9	0.8	8.1	4.4	10	0.9	0.75	182	204	41	13	Bemestingsadvies.nl
Groen compost	599	179	5	0.5	4.5	2.2	10	0.5	0.75	134	269	61	18	Bemestingsadvies.nl

	DS	OS	Ntot	Nmin	Norg	P205	NWC	w	h	EOS	EOS/Nw	EOS/P205	CN(org)	Bron
Gescheiden mest														
DRM Dunne fractie (60% rendement)	52	33	3	2	1	0.8	80	2.4	0.70	23	10	29	17	Bemestingsadvies.nl
DRM Dunne fractie (30% rendement)	74	52	3.5	1.9	1.6	1.2	80	2.8	0.70	36	13	30	16	Bemestingsadvies.nl
DRM Dikke fractie	250	188	7.8	1.6	6.2	4.4	40	3.1	0.70	132	42	30	15	Bemestingsadvies.nl
Dikke fractie RDM-digestaat	256	183	8.8	3.2	5.6	8.8	40	3.5	0.75	137	39	16	16	Databank organische meststoffen
Dunne fractie RDM-digestaat	58	37	4.2	2.4	1.8	1.3	80	3.4	0.75	28	8	21	10	Databank organische meststoffen
DVM Dunne fractie (60% rendement)	66	53	6	3.7	2.3	2.4	80	4.8	0.33	17	4	7	12	Bemestingsadvies.nl
DVM Dunne fractie (30% rendement)	89	66	6.6	3.7	2.9	3.6	80	5.3	0.33	22	4	6	11	Bemestingsadvies.nl
DVM Dikke fractie	250	116	10.5	3.8	6.7	12.4	55	5.8	0.33	38	7	3	9	Bemestingsadvies.nl
Dikke fractie VDM-digestaat	290	220	11.2	6	5.3	17.3	55	6.2	0.35	77	13	4	21	Databank organische meststoffen
Co-vergiste mest														
RDM Digestaat. 25%	69	48	4.1	2.6	1.5	1.5	60	2.5	0.75	36	15	24	16	Bemestingsadvies.nl
RDM Digestaat. 50%	53	32	4.1	3.1	1	1.5	60	2.5	0.75	24	10	16	16	Bemestingsadvies.nl
VDM Digestaat. 25%	82	32	7.1	5.2	1.9	4.6	60	4.3	0.36	12	3	3	8	Bemestingsadvies.nl
VDM Digestaat. 50%	72	22	7.1	5.9	1.2	4.6	60	4.3	0.36	8	2	2	9	Bemestingsadvies.nl
Mineralenconcentraten														
MC varkensmest	37	14	8.2	7.5	0.7	0.4	60	4.9	0.33	5	1	12	10	Bemestingsadvies.nl
MC van VDM/PDM-digestaat	29	11	6.4	5.9	0.5	0.5	60	3.8	0.36	4	1	8	11	Databank organische meststoffen
MC van RDM-digestaat			11	10.5	0.5	0.6	60	6.6	0.75					Databank organische meststoffen
Overige														
Betacal-carbo	680	90	3.3			11.5	50	1.7	0.10	9	5	1		Databank organische meststoffen
Betacal-filter	580	80	2.8			9.8	50	1.4	0.10	8	6	1		Databank organische meststoffen
Betacal-flow	470	60	2.3			8	50	1.2	0.10	6	5	1		Databank organische meststoffen
Vinassekali (Nedalco)	620	410	38			5	50	19.0	0.10	41	2	8		Databank organische meststoffen
Protamylasse (Avebe)	550	430	20				50	10.0	0.10	43	4			Databank organische meststoffen
Recykal (Soepenbergh)	500	360	50			15	50	25.0	0.10	36	1	2		Databank organische meststoffen

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 2843
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2843
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

