



Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen

Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof

Willem van Geel, Janjo de Haan, Marjoleine Hanegraaf en Romke Postma



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen

Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof

Willem van Geel¹, Janjo de Haan¹, Marjoleine Hanegraaf¹ en Romke Postma²

1 Wageningen University & Research | Open Teelten

2 NMI

Dit onderzoek is uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, maart 2019

Rapport WPR-project 3750384500

Geel, W. van, J. de Haan, M. Hanegraaf & R. Postma, 2019. Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen. Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof. Wageningen Research | Open Teelten, Lelystad. Rapport WPR-project 3750384500, 58 pp.

Referaat

Om de bodemvruchtbaarheid en duurzaam bodembeheer in de landbouw te bevorderen, wil de Overheid voor percelen met een hoge fosfaattoestand 5 kg fosfaat per hectare per jaar extra gebruiksräume geven om extra organische stof te kunnen aanvoeren. Voorwaarde is dat producten worden toegepast die relatief veel bijdragen aan de organische-stofopbouw in de bodem met een zo laag mogelijk risico op verlies van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. In dit kader is aan onderzoekers in de PPS Beter Bodembeheer gevraagd om een classificatieschema voor organische meststoffen en -reststromen uit te werken en criteria op te stellen om onderscheid te kunnen maken naar organische producten die kunnen worden aangemerkt als bodemverbeteraar en organische producten waarbij het accent meer op de bemestende waarde ligt dan op organische-stofvoorziening. In dit rapport zijn ruim 23 organische producten vergeleken en beoordeeld op basis van diverse kenmerken en worden enkele voorlopige criteria aanbevolen om tot een classificatieschema te kunnen komen. Tevens zijn aanbevelingen gedaan voor vervolgstudies.

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-project 3750384500

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Probleemstelling	9
1.3 Doelstelling	10
1.4 Aanpak en leeswijzer	10
2 Karakterisering organische meststoffen en -reststromen	11
2.1 Classificatie van organische producten	11
2.2 Gegevens organische meststoffen en -reststromen	13
2.2.1 Kengetallen	13
2.2.2 Stikstofwerking	18
2.3 Beoordeling onderscheidende criteria	18
2.4 Stabiliteit van de organische stof	21
2.4.1 Effect van humificatiecoëfficiënt	21
2.4.2 Stabiliteit OS karakteriseren	26
3 Milieurisico's	27
3.1 Gasvormige verliezen	27
3.2 Uitspoeling van stikstof	28
3.2.1 N-organisch	28
3.2.2 Organische-stofmodellen	33
3.2.3 Effect op nitraatuitspoeling	39
3.3 Uitspoeling fosfaat	40
3.4 Overig milieuhygiënische aspecten	40
4 Bespreking	41
4.1 Welke criteria?	41
4.2 Welke grenswaarden?	46
5 Conclusies en aanbevelingen	47
5.1 Conclusies	47
5.2 Aanbevelingen	47
Literatuur	49
Bijlage 1 OS-afbraakmodellen van Janssen en Yang	52
Bijlage 2 OS-afbraakmodel Roth-C	56
Bijlage 3 Correlatiematrix	57

Samenvatting

Aanleiding en doel

De Overheid wil samen met bedrijfslevenpartijen lange-termijnactieplannen opstellen om de bodemvruchtbaarheid en duurzaam bodembeheer in de Landbouw te bevorderen. Een goed organische-stofbeheer is hierbij van essentieel belang. In het Ontwerp 6^e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2018-2021) wordt voorgesteld om voor percelen met een hoge fosfaattoestand 5 kg fosfaat per hectare per jaar extra gebruiksruimte te geven om extra organische stof te kunnen aanvoeren. De eis daarbij is dat minimaal 20 kg fosfaat per hectare wordt toegediend in de vorm van mestsoorten die relatief veel bijdragen aan de organische-stofopbouw in de bodem en een zo laag mogelijk risico op verlies van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater met zich meebrengen. In het 6e actieprogramma worden een hoog gehalte aan effectieve organische stof (EOS) en een laag gehalte aan stikstof in relatie tot het gehalte EOS als belangrijke criteria genoemd voor meststoffen die in aanmerking komen als bodemverbeteraar om het organische-stofgehalte in de bodem te verhogen.

Een aantal partijen binnen de PPS Beter Bodembeheer vindt dat de criteria om organische-stofrijke meststoffen te karakteriseren nog onvoldoende goed zijn uitgewerkt. Ze vinden de gehalten aan EOS en N-totaal onvoldoende specifiek om te bepalen welke organische-mestsoorten leiden tot een laag risico op uitspoeling van stikstof en fosfaat voor het verkrijgen van extra fosfaatgebruiksruimte. Binnen de PPS Beter Bodembeheer hebben we daarom gekeken naar geschikte criteria om tot een classificatieschema voor organische meststoffen en -reststromen te komen. Doel is een heldere indeling te krijgen van organische producten die kunnen worden aangemerkt als bodemverbeteraar en van organische producten waarbij het accent meer op de bemestende waarde ligt dan op organische-stofvoorziening. Daartoe moeten criteria of indicatoren worden opgesteld met bijbehorende grenswaarden waaraan de organische producten kunnen worden getoetst.

Criteria onderscheid organische meststoffen en bodemverbeteraars

In dit rapport is een aantal manieren beschreven om onderscheid te maken tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars. Er is ingegaan op mogelijke criteria die kunnen worden gehanteerd om aan de eis van het 6^e actieprogramma te voldoen: een zo hoog mogelijke bijdrage aan de organische-stofvoorziening van de bodem bij een zo laag mogelijk uitspoelingsrisico. Daarbij is voor een breed scala aan organische producten nagegaan wat hun bijdrage is aan de organische-stofopbouw en het risico van nitraatuitspoeling en hoe ze op basis van de mogelijke indicatoren worden geclassificeerd. Tot slot zijn enkele voorlopig geschikte indicatoren voorgesteld en worden aanbevelingen gedaan voor een vervolgstudie.

In een aantal studies die reeds door anderen zijn gedaan, worden vaak vergelijkbare criteria genoemd, waarbij het EOS-gehalte, de verhouding tussen EOS en een aantal N-fracties en de verhouding tussen EOS en P_2O_5 terugkomen. Er zijn ook verschillen, met name waar het gaat om de N-fractie die meegenomen wordt in de beoordeling. De karakterisering is enerzijds gericht op de landbouwkundige waarde van de producten en anderzijds op het inschatten van milieurisico's, zoals nitraatuitspoeling.

De verhoudingen EOS/N-werkzaam en EOS/Nmin zijn goed bruikbaar om de relatieve bijdrage van de organische-stoflevering en de stikstoflevering te karakteriseren (onderdeel van de landbouwkundige waarde), maar lijken niet geschikt om het risico van nitraatuitspoeling aan te duiden. De werkzame stikstof is de stikstof die beschikbaar is voor gewasopname in het eerst groeiseizoen na toediening van de mest c.q. de hoeveelheid die eenzelfde werking heeft als kunstmest-N (KAS). Het verliesrisico hiervan zal niet hoger zijn dat van kunstmest-N.

De Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) geeft aan dat de combinatie van een hoge verhouding EOS/ P_2O_5 en een hoge verhouding EOS/N-totaal leidt tot een relatief grote toediening van

effectieve organische stof aan de bodem met een relatief laag risico op uitspoeling van stikstof en fosfaat. De CDM noemt ook dat als aanvullend criterium een laag gehalte aan niet-werkzame stikstof per kg EOS zou kunnen worden opgenomen, omdat de niet-werkzame stikstof in grote mate het risico voor uitspoeling bepaalt, vooral bij veeljarige toepassing. Niet-werkzame stikstof is het deel van de organische stikstof dat vrijkomt door mineralisatie in een periode waarin er geen gewasopname is, waardoor het verloren kan gaan door uitspoeling en/of denitrificatie.

Het is echter niet duidelijk in welke mate bodemverbeteraars bijdragen aan de nitraatuitspoeling. Modelberekeningen duiden op een verhoogd risico van nitraatuitspoeling bij veeljarige toepassing van bodemverbeteraars, maar dit blijkt vooralsnog niet duidelijk uit veldproeven. Het effect van organische stof in de bodem op de grootte van de nitraatuitspoeling is niet eenduidig: het kan de nitraatuitspoeling verhogen dan wel verlagen. Hoewel niet valt uit te sluiten dat de nitraatuitspoeling toeneemt, als stikstof uit kunstmest en/of dierlijke mest wordt vervangen door stikstof uit organische-stofrijke bodemverbeteraars, is de onzekerheid over dit effect nog groot en verdient nader onderzoek. Verder is een punt van discussie over welke termijn het risico op nitraatuitspoeling moet worden bekeken. Dit zal een politieke keuze zijn. Wellicht kan dezelfde termijn worden gehanteerd als voor klimaatscenario's.

Door de onduidelijkheid over de mate van nitraatverlies bij toepassing van bodemverbeteraars vinden we de verhouding EOS/niet-werkzame N op dit moment (nog) geen geschikt criterium is om tot een classificatie te komen en kan voorlopig beter de verhouding EOS/N-totaal worden aangehouden.

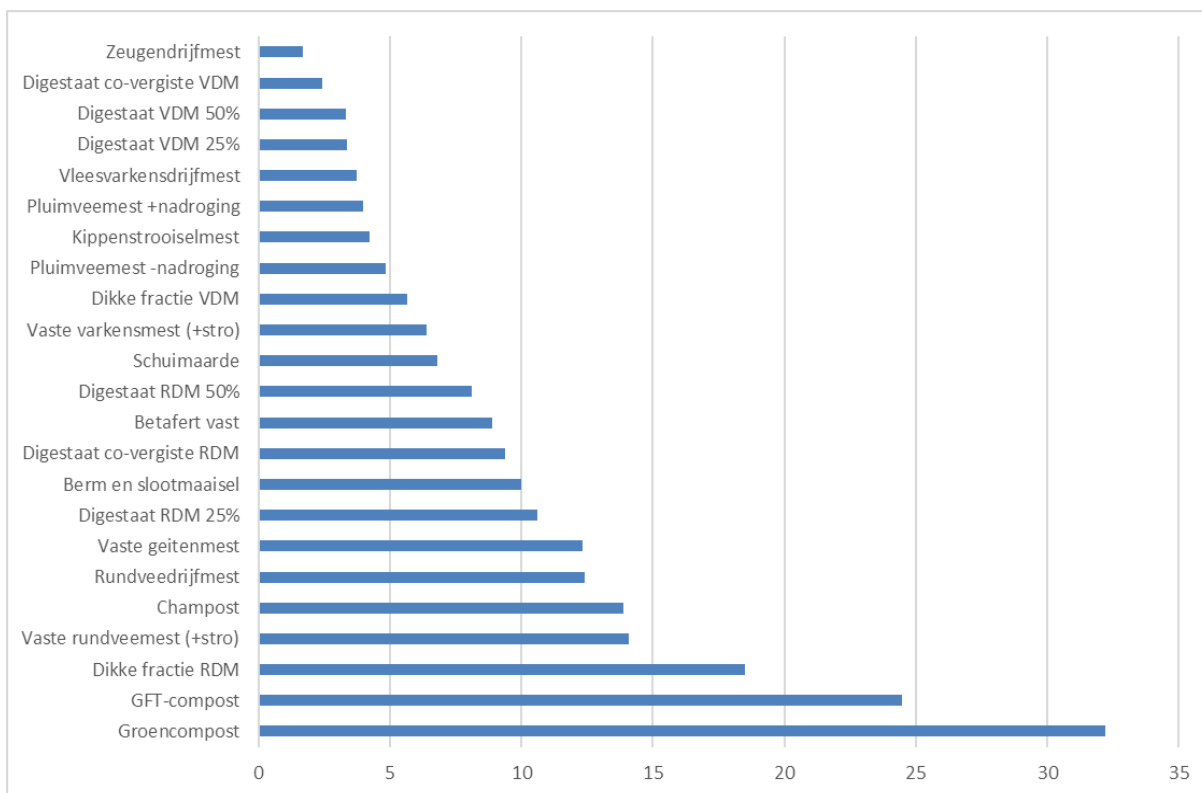
In het 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn wordt het gehalte aan fosfaat en de verhouding tussen EOS en fosfaat niet als direct criterium gebruikt om mestsoorten aan te duiden als bodemverbeteraar. Men gaat er hierbij vanuit dat de beperkte hoeveelheid fosfaat die extra mag worden gebruikt, ertoe zal leiden dat wordt gekozen voor een organische-stofrijke meststof met een zo laag mogelijk fosfaatgehalte. Dat laatste zal ook wel gebeuren, maar betekent niet automatisch dat de aanvoer van niet-werkzame N dan laag is. De keuze voor producten met een lager fosfaatgehalte kan leiden tot een hogere toediening van N-organisch (en dus een hoger risico van nitraatuitspoeling). We bevelen daarom aan om toch rekening te houden met het fosfaatgehalte.

We stellen voor om vooralsnog de volgende criteria te hanteren, die de CDM reeds geschikt heeft bevonden: een hoge EOS-aanvoer per kg N-totaal ($\text{EOS} / \text{N-totaal}$) alsook per kg fosfaat ($\text{EOS} / \text{P}_2\text{O}_5$). Het resultaat van deze beide indicatoren voor de verschillende beoordeelde producten is weergegeven in de figuren S1 en S2. Een alternatief voor deze aparte indicatoren kan zijn: een hoge EOS-aanvoer per kg N-totaal per kg fosfaat: $\text{EOS} / (\text{N-totaal} * \text{P}_2\text{O}_5)$.

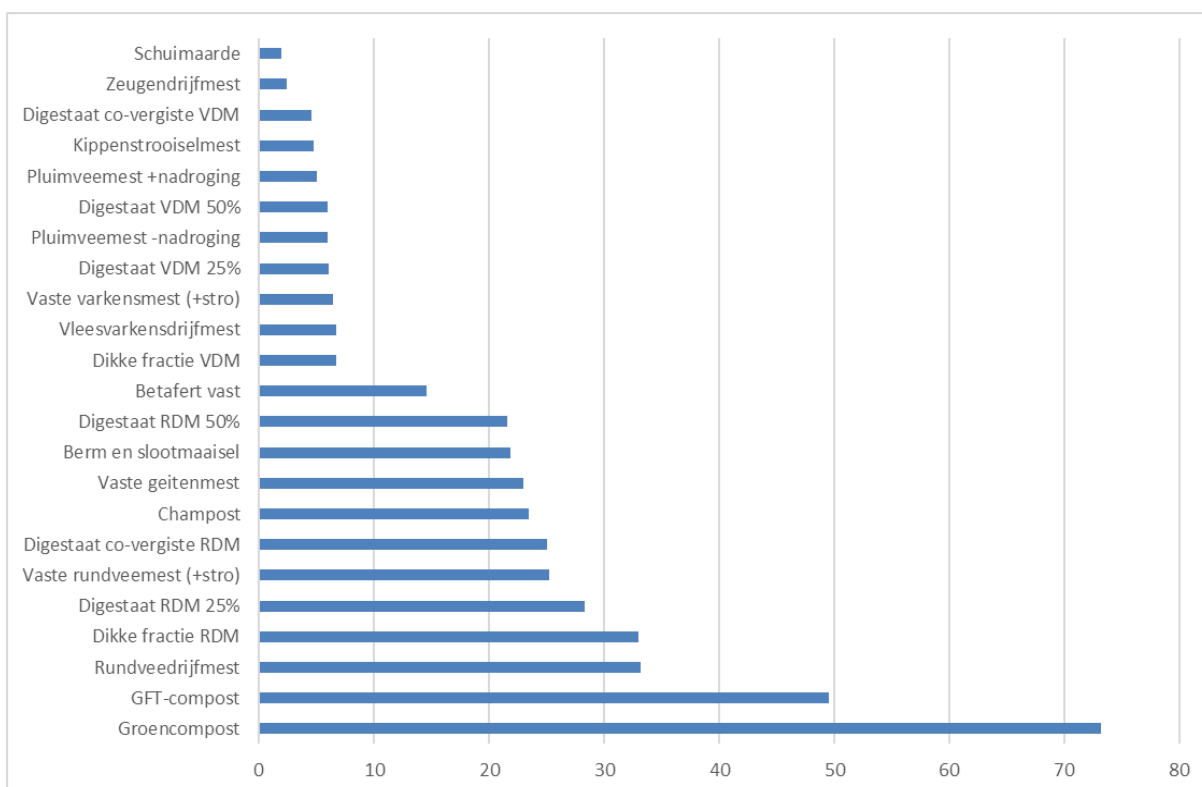
Een punt van discussie c.q. verdere uitwerking is nog of de wettelijk fosfaatvrijstelling die voor plantaardige composten geldt, ook moet worden doorgevoerd in de indices die zijn gebaseerd op fosfaat, omdat een deel van het fosfaat is gebonden aan grond die met de composten wordt aangevoerd. Dit zou betekenen dat het fosfaat slechts voor de helft wordt geteld en de waarden voor GFT- en groencompost bij deze indicatoren dan twee keer zo groot worden.

Grenswaarden voor de voornoemde criteria die bodemverbeteraars van meststoffen onderscheiden, zijn niet eenvoudig te geven, maar bekeken moet worden bij welke grenswaarden een maximale bijdrage aan de organische stofvoorziening en C-vastlegging wordt en een beperkt risico van uitspoeling wordt gerealiseerd. Dit moet in een vervolgtraject plaatsvinden en zal mede worden bepaald door beleidsmatige keuzes.

Hierbij is ook een juiste, eenduidige karakterisering van de afbreekbaarheid ofwel stabiliteit van de organische stof van belang voor het aanduiden van organische producten als bodemverbeteraar en dat vraagt nog om vervolgonderzoek. Pas, als dat is gebeurd, kunnen er grenswaarden voor bodemverbeteraars worden vastgesteld.



Figuur S1 EOS-aanvoer in kg per kg N-totaal bij verschillende organische producten



Figuur S2 EOS-aanvoer in kg per kg fosfaat bij verschillende organische producten

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de Landbouwvisie van het Ministerie van LNV (LNV, 2018a), de bodemstrategie van het Ministerie van LNV (LNV, 2018a) en het Ontwerp 6^e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (Ministeries van LNV en I&R, 2017) is aangegeven dat de Overheid samen met betrokken partijen lange-termijnnactieplannen gaat opstellen om de bodemvruchtbaarheid en duurzaam bodembeheer in de Landbouw te bevorderen. Het in stand houden en verbeteren van de bodemkwaliteit, waarvoor het organische-stofgehalte een belangrijk element is, wordt van groot belang geacht om in de toekomst de landbouwproductie op een hoog niveau te kunnen houden en tegelijkertijd te voldoen aan milieucriteria voor grond- en oppervlaktewater. Verder wordt voorzien dat een goede bodemkwaliteit onder andere van belang is voor het bieden van voldoende biodiversiteit en het tegengaan van klimaatverandering door koolstofopslag. Zo heeft Nederland zich gecommitteerd aan het 4 promille-initiatief, wat is vertaald in een klimaatwinst van 1,5 Mton CO₂ in 2030 door het verminderen van broeikasgasemissies en een extra C-vastlegging in de bodem. Daarom zet de Overheid in op onderzoek van fundamenteel tot in de praktijk, waarbij het topsectorenonderzoek in Publiek Private Samenwerking (PPS) Beter Bodembeheer een centrale rol speelt.

De Branchevereniging Organische Reststromen (BVOR) en de Vereniging Afvalbedrijven (VA) zijn partner in de PPS Beter Bodembeheer. In de PPS gaat hun belangstelling vooral uit naar de classificatie van organische reststromen en de karakterisering van organische stof. Omdat het BO-akkerbouwproject rond organische-stofbeheer waar de belangstelling van BVOR en VA op aansluit stilligt, is afgesproken om een apart deelproject te formuleren in 2018 dat aansluit bij de behoeften van de BVOR en VA. Hierbij richten we ons nu op de classificatie. De karakterisering is mede voorzien in het BO-akkerbouwproject en kan beter in samenhang met dit project worden uitgewerkt.

1.2 Probleemstelling

Voor bouwlandpercelen met een hoge fosfaattoestand (Pw-getal >55) gaat de fosfaatgebruiksnorm omlaag van 50 naar 40 kg P₂O₅ per ha. Daardoor neemt de plaatsingsruimte voor organische mest (die fosfaat bevat) af en wordt derhalve ook de aanvoer van organische stof beperkt. Organische-stofaanvoer is van belang voor handhaving of verbetering van de bodemvruchtbaarheid en draagt bij aan koolstofopslag in de bodem.

Daarom wordt in het 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn voorgesteld dat voor deze percelen 5 kg fosfaat per hectare per jaar extra gebruikruimte kan worden verkregen, indien daartoe een meststof wordt gebruikt die het gehalte aan organische stof in de bodem positief beïnvloedt. De eis daarbij is dat minimaal 20 kg fosfaat per hectare wordt toegediend in de vorm van mestsoorten met een hoog gehalte aan effectieve organische stof (EOS) en een laag gehalte aan stikstof per kg EOS om relatief veel EOS te kunnen toedienen aan de bodem met een relatief laag risico op uitspoeling van stikstof. EOS is de hoeveelheid organische stof die een jaar na toediening aan de bodem nog over is c.q. niet is afgebroken.

Genoemd worden in dit verband meststoffen als groen- en GFT-compost, champost en storrijke (vaste) dierlijke mest en wellicht ook de dikke fractie van gescheiden rundveedrijfmest. De definitieve lijst van organische stofrijke meststoffen moet nog worden vastgesteld. Het gehalte aan fosfaat in relatie tot de hoeveelheid EOS wordt niet als criterium gehanteerd om mestsoorten in de lijst op te nemen, omdat de beperkte hoeveelheid die extra mag worden gebruikt, ertoe zal leiden dat wordt gekozen voor een organische stofrijke meststof met een zo laag mogelijk fosfaatgehalte.

De BVOR en VA zijn van mening dat de criteria om organische-stofrijke meststoffen te karakteriseren nog onvoldoende goed zijn uitgewerkt. De gehalten aan EOS en N-totaal zijn volgens BVOR en VA

onvoldoende specifiek om te bepalen welke organische-mestsoorten leiden tot een laag risico op uitspoeling van stikstof en fosfaat voor het verkrijgen van extra fosfaatgebruiksruimte. Er is geen eenduidige definitie van bodemverbeteraars. In de Nederlandse Meststoffenwet zijn onder andere de begrippen 'meststoffen', 'dierlijke meststoffen' en 'compost' gedefinieerd, maar er is geen definitie van bodemverbeteraars opgenomen. In het concept van de herziene EG-Meststoffenverordening zijn bodemverbeteraars wel gedefinieerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen organische en anorganische bodemverbeteraars en organische meststoffen. In de beschrijving van organische bodemverbeteraars is aangegeven dat het product dient te bestaan uit 'materiaal uitsluitend van biologische oorsprong', dat het droge-stofgehalte minimaal 40% is en het C-gehalte minimaal 7,5%. Organische meststoffen bevatten koolstof (C) én nutriënten van uitsluitend biologische oorsprong, waarbij eisen worden gesteld aan de minimale C- en nutriëntengehalten van vaste en vloeibare organische meststoffen.

De BVOR en VA hebben in 2017 een studie uit laten voeren door NMI om informatie aan te leveren over de classificatie van organische producten als organische meststof of bodemverbeteraar en op effecten van de toediening van die producten op organische stofopbouw en nitraatuitspoeling (Postma en Veeken, 2017). In het rapport zijn diverse organische reststromen (bewerkt en onbewerkt) gekarakteriseerd en geclassificeerd. BVOR en VA hebben die informatie gebruikt voor een zienswijze op het ontwerp Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn.

De BVOR en VA vragen de onderzoekers in de PPS Beter Bodembeheer om dit verder uit te werken tot een onderbouwd classificatieschema voor organische reststromen (meststoffen versus bodemverbeteraars) en een workshop te organiseren om dit classificatieschema te bespreken met diverse belanghebbenden. Er liggen nog diverse vragen in verdieping en uitbreiding van rapport van Postma en Veeken (2017), onder andere de afweging welke indicatoren het meest geschikt zijn, de grenswaarden per indicator, alternatieve methoden van classificatie en daadwerkelijke effecten van diverse bodemverbeteraars op gewasopbrengst, nutriëntenbalansen en nutriëntenverliezen (zowel uitspoeling als gasvormige verliezen (ammoniak en lachgas) en klimaat (CO₂-emissie). Ook dient een verbinding gelegd te worden met de nieuwe EU-verordening rond meststoffen.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze deskstudie is het onderbouwen, door ontwikkelen en toetsen van een classificatieschema voor organische meststoffen en -reststromen, waarbij een keuze is gemaakt voor criteria of indicatoren en bijbehorende grenswaarden. Beoogd wordt een heldere indeling te krijgen van organische producten die aangemerkt mogen worden als bodemverbeteraar en van organische producten waarbij het accent meer op de bemestende waarde ligt dan op organische-stofvoorziening. Het gebruik van bodemverbeteraars dient bij te dragen aan de organische stofvoorziening van en C-vastlegging in landbouwbodems en in het kader van het 6^e Actieprogramma gepaard te gaan met een laag risico van N- en P-uitspoeling.

1.4 Aanpak en leeswijzer

Als eerste wordt in hoofdstuk 2 een aantal manieren beschreven om onderscheid te maken tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars. Daarbij gaan we in op mogelijke criteria en grenswaarden die daarbij gehanteerd kunnen worden. Vervolgens wordt nagegaan wat dat betekent voor een breed scala aan organische producten en hoe ze op basis van de mogelijke schema's geclassificeerd zouden worden.

Daarna wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op consequenties van het invullen van de extra fosfaatgebruiksruimte van 5 kg P₂O₅ per ha met de uiteenlopende organische producten voor de opbouw van organische stof en nitraatuitspoeling.

In hoofdstuk 4 worden de verschillende mogelijkheden om organische producten te classificeren bediscussieerd en wordt een voorstel gedaan voor een classificatieschema dat het meest geschikt is om onderscheid te maken tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars.

2 Karakterisering organische meststoffen en -reststromen

2.1 Classificatie van organische producten

De eigenschappen van organische producten verschillen in afhankelijkheid van de samenstelling, waarbij het gehalte en de stabiliteit van organische stof en de gehalten en beschikbaarheid van nutriënten uiteen kunnen lopen. Organische producten die vooral worden toegediend vanwege nutriënten die daaruit beschikbaar komen voor plantengroei, zullen worden omschreven als organische meststoffen, terwijl organische producten die vooral worden toegediend om de bodemkwaliteit te verbeteren, eerder zullen worden omschreven als bodemverbeteraar. Het moge duidelijk zijn dat er geen sprake is van een scherpe scheidslijn tussen de categorieën en dat een indeling in categorieën arbitrair is. Hierna beschrijven we enkele mogelijkheden waarmee onderscheid kan worden gemaakt tussen organische meststoffen en organische bodemverbeteraars, waarbij we tevens ingaan op mogelijke criteria en grenswaarden.

In het voorstel voor de herziene EG-Meststoffenverordening (CEP, 2016) worden meststoffen en bodemverbeteraars onderscheiden. Daarbij is een 'meststof' gedefinieerd als 'een bemestingsproduct met CE-markering dat is bedoeld om planten van nutriënten te voorzien', waarbij 'organische meststoffen' koolstof én nutriënten van uitsluitend biologische oorsprong bevatten. Het begrip 'bodemverbeteraar' is gedefinieerd als 'een bemestingsproduct met CE-markering dat is bedoeld om aan de bodem te worden toegevoegd teneinde de fysische of chemische eigenschappen, de structuur of de biologische activiteit daarvan in stand te houden, te verbeteren of te beschermen'. In aanvulling daarop dient een organische bodemverbeteraar geheel te bestaan uit materiaal van uitsluitend biologische oorsprong. Criteria met bijbehorende grenswaarden die daarbij worden gehanteerd voor vaste en vloeibare organische meststoffen en voor organische bodemverbeteraars zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Indeling van producten als (vaste of vloeibare) organische meststof of organische bodemverbeteraar volgens het concept van de herziene EG-Meststoffenverordening (CEP, 2016)

Product	Gram drogestof per 100 g product	Gram organisch C per 100 g product	Nutriënten
Vaste organische meststof	>40	>15	>2,5% N-t of >2% P ₂ O ₅ of >2% K ₂ O
Vloeibare organische meststof	<40	>5	>2% Nt of >1% P ₂ O ₅ of >2% K ₂ O
Organische bodemverbeteraar	>40	>7,5	

Veeken et al. (2016) gaven aan dat de indeling in het voorstel voor de herziene EG-Meststoffenverordening geen duidelijk onderscheid maakt tussen organische meststoffen en organische bodemverbeteraars en dat de criteria en grenswaarden niet goed zijn gekozen, omdat:

- er wel minimale nutriëntengehalten voor organische meststoffen worden gegeven, maar geen maximale nutriëntengehalten voor organische bodemverbeteraars;
- er maar weinig organische producten voldoen aan de minimale eisen voor het nutriëntengehalte van organische meststoffen;
- het minimale organische C-gehalte voor organische meststoffen hoger ligt dan voor organische bodemverbeteraars;
- er alleen wordt gesproken over het organische C-gehalte van de producten, waarbij het concept effectieve organische stof (EOS) buiten beschouwing blijft.

Daar willen wij aan toevoegen dat er door de gekozen grenswaarden voor het organische C-gehalte sprake is van een grote overlap tussen organische meststoffen en organische bodemverbeteraars, waarmee de voorgestelde systematiek geen duidelijk onderscheid maakt tussen de categorieën.

In de context van het ontwerp 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn wordt gesproken over meststoffen die het gehalte organische stof in de bodem positief beïnvloeden én die een relatief laag risico op uitspoeling van stikstof hebben. In het ontwerp 6^e actieprogramma worden (onder verwijzing naar een studie van de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet, CDM, 2017b) een hoog gehalte aan effectieve organische stof (dat deel van de organische stof dat na een jaar nog aanwezig is) en een hoge verhouding EOS/N-totaal als belangrijke criteria genoemd voor meststoffen die in aanmerking komen om het organische stofgehalte in de bodem te verhogen. Deze zouden kunnen worden betiteld als bodemverbeteraar. Er worden geen grenswaarden genoemd, maar wel een aantal producten dat in aanmerking komt, namelijk groen- en GFT-compost, champost, storrijke (vaste) dierlijke mest en de dikke fractie van gescheiden rundveemest.

In een zienswijze op het 6^e NAP hebben CZAV en Suikerunie voorgesteld om voor een bodemverbeterende meststof een minimale EOS/P₂O₅-verhouding van 15 en een maximaal gehalte van 3 kg N per ton aan te houden.

De Commissie van Deskundigen Meststoffenwet concludeert dat de combinatie van een hoge verhouding EOS/P₂O₅ en een hoge verhouding EOS/N-totaal leidt tot een relatief grote toediening van effectieve organische stof aan de bodem, met een relatief laag risico op uitspoeling van stikstof en fosfaat (CDM, 2017b). De CDM stelt voor om als aanvulling op deze criteria, een laag gehalte aan 'niet-werkzame' stikstof per kg EOS als criterium op te nemen, waarbij wordt opgemerkt dat er enige overlap is met het criterium laag aandeel stikstof per kg EOS.

De criteria die door OVAM (2002) zijn voorgesteld en door de VLACO (2015) zijn toegepast, sluiten nauw aan bij de voorstellen in het 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn en de CDM (2017b), aangezien zij als criteria het organische koolstofgehalte, de stabiliteit van organische stof in het materiaal en de hoeveelheid N en P in de producten hanteren (Vlaco, 2015). Hieruit zijn twee indices afgeleid, die daarbij kunnen worden gehanteerd:

- Index 1: $(\% \text{ OC} * \% \text{ EOS}) / (\% \text{ N-totaal} * 10)$
- Index 2: $(\% \text{ OC} * \% \text{ EOS}) / ((\% \text{ N-totaal} + 5 * \% \text{ P-totaal}) * 10)$

OVAM (2002) gaf aan dat er bij de indices geen rekening wordt gehouden met de beschikbaarheid van N in het organisch materiaal en dat het wenselijk zou zijn de indices te verfijnen op basis van de N-en P-beschikbaarheid. Als grenswaarde voor een bodemverbeteraar werd voor index 2 een waarde van 3,5 aangehouden. Bij hogere waarden is sprake van een bodemverbeteraar, bij lagere waarden van een meststof.

Veeken et al. (2016) gebruikten EOS/P₂O₅ en EOS/N-mineraal als criteria om onderscheid te maken tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars.

Staps et al. (2017) stelden voor om de hoeveelheid EOS en de ratio's EOS/P₂O₅ en EOS/N-werkzaam te hanteren voor het karakteriseren van organische inputs naar de bodem. Ze maakten in hun notitie geen onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars, maar gaven aan dat het van belang is om in de communicatie te wijzen op de verschillen in eigenschappen van organische meststoffen.

Postma en Veeken (2017) hebben het gebruik van EOS/P₂O₅, EOS/N-mineraal en EOS/N-werkzaam als potentiële criteria verkend en een aantal organische producten op basis daarvan gekarakteriseerd. Zij concludeerden dat EOS/P₂O₅ en EOS/N-werkzaam goede criteria zijn voor het selecteren van bodemverbeteraars die in aanmerking komen voor extra fosfaatgebruiksruimte en betere alternatieven dan de criteria die in het ontwerp 6^e actieprogramma zijn genoemd.

Een samenvatting van de hiervoor beschreven benaderingen en de criteria die daarbij zijn gebruikt voor het onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 *Overzicht van benaderingen met criteria voor onderscheid naar organische meststoffen en bodemverbeteraars*

Mogelijk criterium	EC, 2016	6 ^e NAP	CDM, 2017	OVAM, 2002; VLACO, 2015	Veeken et al., 2016	Staps et al., 2017	Postma et al., 2017
% ds	X						
% OC	X			X			
% EOS	X	X		X		X	
% Nt	X						
% P ₂ O ₅	X						
% K ₂ O	X						
EOS/Nt		X	X	X			
EOS/Nwz						X	X
EOS/Nmin					X		
EOS/Nnwz			X				
EOS/P ₂ O ₅			X	X	X	X	X

Uit de tabel blijkt dat in veel van de hiervoor beschreven benaderingen dezelfde criteria worden gehanteerd, waarbij het EOS-gehalte, de verhouding tussen EOS en een aantal N-fracties en de verhouding tussen EOS en P₂O₅ veelal terugkomen. Er zijn ook verschillen, met name waar het gaat om de N-fractie die meegenomen wordt in de beoordeling. Die varieert van N-totaal, tot N-werkzaam, Nmin of N-niet-werkzaam. De gehanteerde criteria in het concept van de EU-meststoffenverordening wijken sterk af van de andere en worden hier verder niet behandeld.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de verschillende kenmerken van organische producten en consequentie van het hanteren van de uiteenlopende criteria voor het onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars.

2.2 Gegevens organische meststoffen en -reststromen

2.2.1 Kengetallen

De tabellen 3 en 4 geven een overzicht van een aantal uiteenlopende, veelgebruikte organische-meststoffen of -reststromen die in de landbouw worden toegepast. Het gaat om onbewerkte dierlijke mesten, een aantal producten van mestscheiding (dikke fracties), producten die resteren na (co-)vergisting van dierlijke mesten (digestaten), restproducten uit de suikerverwerkende industrie (betacal en betafert), berm- en slootmaaisel, een aantal composten en tarwestro als referentie, aangezien dat een product is met zeer lage gehalten aan nutriënten. De composten zijn onderverdeeld naar GFT-compost (gecomposteerd huishoudelijk groente-, fruit- en tuinafval) en groencompost (gecomposteerd snoeiselsel en groenafval uit het openbaar groen en bermmaaisel). Champost is ook (deels) gecompoteerd materiaal. Het is het gebruikte groeimedium dat overblijft na de teelt van champignons. Dit groeimedium is gemaakt van organische mest (paardenmest, slachtkuikenmest) en stro. Opgemerkt moet worden dat berm- en slootmaaisel geen erkende meststof is, maar een afvalstof die lokaal mag worden toegepast in het kader van de vrijstellingsregeling plantenresten (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0019048/2017-01-01>).

Van de producten is de gemiddelde samenstelling en een forfaitaire waarde voor de humificatiecoëfficiënt (HC) van de organische stof in het product weergegeven. Tevens is de bron vermeld waarvan de gegevens zijn overgenomen. Voor de meeste producten betreft dit de tabel met gemiddelde samenstelling van organische meststoffen, die is opgesteld door Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen en is opgenomen in de Adviesbasis Bemesting voor Grasland en Voedergewassen (www.bemestingsadvies.nl) en in het Handboek Bodem en Bemesting (www.handboekbodemembemesting.nl). De gemiddelde gehalten zijn voor de meeste producten gebaseerd op een groot aantal analyses, maar een kenmerk van alle organische producten is dat de samenstelling fluctueert. Dat is zeker bij de (producten uit) dierlijke mesten het geval, wat betekent

dat de samenstelling in individuele gevallen af zal wijken van het gemiddelde. Berm- en slootmaaisel kan ook sterk fluctueren in samenstelling en het gemiddelde is niet gebaseerd op een groot aantal analyses. Voor de composten geldt dat er door verschillen in het uitgangsmateriaal en de wijze waarop het composteerproces wordt uitgevoerd ook variaties in de samenstelling voor kunnen komen. De humificatiecoëfficiënten zijn overgenomen van het Handboek Bodem en Bemesting. Voor de humificatiecoëfficiënten van de digestaten van rundveedrijfmest (RDM) en varkensdrijfmest (VDM) na vergisting zonder co-producten (nrs. 12 t/m 15 in tabel 3) is een aanname gedaan met behulp van het mineralisatiemodel Minip (Janssen, 1996). Minip is opgebouwd uit een afbraakmodel voor organische stof (Janssen, 1984 en Janssen, 2002) en een component om de netto stikstofmineralisatie te berekenen. Nadere informatie over het model is weergegeven in bijlage 1. Naarmate organische stof in de bodem verder wordt afgebroken, wordt het deel dat overblijft steeds stabiel. Met het OS-afbraakmodel van Janssen kan de HC van de overgebleven OS worden berekend. In dit geval is de HC van de overgebleven OS van het RDM- en VDM-digestaat berekend op het moment dat 25% respectievelijk 50% van organische gebonden stikstof (Norg) is gemineraliseerd. De aanname is mogelijk niet geheel juist omdat het afbraakmodel van Janssen is gebaseerd op afbraak van OS in de bodem onder aerobe omstandigheden, terwijl vergisting afbraak onder anaerobe omstandigheden betreft.

In geval van co-vergisting worden aan de mest organische reststromen toegevoegd. Dit betreft veelal organisch restafval van plantaardige oorsprong of vetten. Deze producten zijn snel afbreekbaar. De gemiddelde HC van het ingaande mengsel voor vergisting is daardoor lager dan de HC van alleen de mest en ook de HC van het digestaat is lager. Van der Burgt et al. (2011) vonden dat de organische stof van co-vergiste mest iets langzamer werd afgebroken dan die van de onvergiste mest. Zij schatten de humificatiecoëfficiënt (HC) van de organische stof van VDM-digestaat op 0,36 en die van RDM-digestaat op 0,75.

Op basis van de gemiddelde samenstelling zijn de volgende kenmerken afgeleid en weergegeven in de tabellen 3 en 4:

- de C/N-verhouding;
- de gehalten OS, EOS P_2O_5 en N-totaal in de droge stof (DS) in g/kg;
- de hoeveelheid werkzame stikstof (N-wz.) in het eerste groeiseizoen na toediening, als percentage van N-totaal (eerstejaars-werking; zie verder);
- de verhoudingen EOS/ P_2O_5 , EOS/N-totaal, EOS/Nm, EOS/Norg en EOS/N-wz.;
- de verhouding EOS/niet-werkzaam deel van de Norg (EOS/N-nwz.) op lange termijn volgens het WOG-model (Schröder et al., 2015);
- De C/N-verhouding betreft de C/N van de organische stof. Deze is berekend door uit te gaan van 50% koolstof in de OS van dierlijke mest en compost en 45% in de OS van plantaardig materiaal. De berekende hoeveelheid C is vervolgens gedeeld door de hoeveelheid N-organisch (Norg).

N.B.: Voor het C-gehalte in de OS van organische mest en compost worden in de (internationale) literatuur hogere waarden genoemd, die veelal inliggen tussen de 50% en 60% C. Vlaco (2015) hanteert 56% en Veeken et al. (2016) zijn uitgegaan van 57% voor zowel compost als dierlijke mest. In Nederlands wordt in de regel gerekend met 50%. Er is aanleiding om hier nog een kritisch naar te kijken, maar dat valt buiten de scope van dit project. Een hoger C-gehalte leidt ook tot een hogere C/N-verhouding en daardoor een tragere stikstofmineralisatie en lagere eerstejaars stikstofwerking (zie ook bijlage 1 en paragraaf 2.2.2)

Tabel 3 Gemiddelde samenstelling van diverse organische-mestsoorten en -reststromen (gehalten in kg/ton)

Nr.	Organische meststof of reststroom	DS	OS	HC	EOS	P ₂ O ₅	N-totaal	Nm	Norg	Nm%	Bron
1	Rundveedrijfmest	92	71	0,70	50	1,5	4,0	1,9	2,1	48%	www.handboekbodemenbemesting.nl
2	Vleesvarkensdrijfmest	107	79	0,33	26	3,9	7,0	3,7	3,3	53%	www.handboekbodemenbemesting.nl
3	Zeugendrijfmest	67	25	0,34	9	3,5	5,0	3,3	1,7	66%	www.handboekbodemenbemesting.nl
4	Vaste rundveemest (met stro)	267	155	0,70	109	4,3	7,7	1,1	6,6	14%	www.handboekbodemenbemesting.nl
5	Vaste varkensmest (met stro)	260	153	0,33	50	7,9	7,9	2,6	5,3	33%	www.handboekbodemenbemesting.nl
6	Pluimveemest zonder nadroging	562	416	0,33	137	23	28,4	2,9	25,7	10%	www.handboekbodemenbemesting.nl
7	Pluimveemest met nadroging	616	393	0,33	130	25,6	32,7	3,8	28,9	12%	www.handboekbodemenbemesting.nl
8	Kippenstrooiselmest	677	359	0,34	122	25,6	29,0	3,7	25,3	13%	www.handboekbodemenbemesting.nl
9	Vaste geitenmest	291	174	0,70	122	5,3	9,9	2,4	7,5	24%	www.handboekbodemenbemesting.nl
10	Dikke fractie rundveedrijfmest	250	193	0,70	135	4,1	7,3	1,6	5,7	22%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
11	Dikke fractie vleesvarkensdrijfmest	250	185	0,33	61	9,1	10,8	3,1	7,7	29%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
12	Digestaat rundveedrijfmest 25% ¹	74	53	0,80	42	1,5	4,0	2,4	1,6	60%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
13	Digestaat rundveedrijfmest 50% ²	57	36	0,90	32	1,5	4,0	3,0	1,0	75%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
14	Digestaat vleesvarkensdrijfmest 25% ¹	87	59	0,40	24	3,9	7,0	4,5	2,5	64%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
15	Digestaat vleesvarkensdrijfmest 50% ²	68	40	0,58	23	3,9	7,0	5,4	1,6	77%	www.bemestingsadvies.nl (CBGV)
16	Digestaat co-vergiste rundveedrijfmest	67	50	0,75	38	1,5	4,0	2,1	1,9	53%	Van Geel & van Dijk (2013)
17	Digestaat co-vergiste varkensdrijfmest	65	41	0,36	15	3,2	6,1	4,4	1,7	72%	Van Geel & van Dijk (2013)
18	Schuimaarde (Betacal carbo)	680	90	0,25	23	11,5	3,3	0	3,3	0%	www.handboekbodemenbemesting.nl
19	Betafert vast	370	160	0,50	80	5,5	9,0	4,5	4,5	50%	Postma & Veeken (2017)
20	Berm en slootmaaisel	350	140	0,25	35	1,6	3,5	0,5	3,0	14%	Postma & Veeken (2017)
21	Champost	336	211	0,50	106	4,5	7,6	0,4	7,2	5%	www.handboekbodemenbemesting.nl
22	GFT-compost	696	242	0,90	218	4,4	8,9	0,8	8,1	9%	www.handboekbodemenbemesting.nl
23	Groencompost	599	179	0,90	161	2,2	5,0	0,5	4,5	10%	www.handboekbodemenbemesting.nl
24	Tarwestro	850	765	0,30	230	1,6	5,8	0	5,8	0%	www.handboekbodemenbemesting.nl

¹ bij vergisting zonder co-producten en 25% van de Norg gemineraliseerd

² bij vergisting zonder co-producten en 50% van de Norg gemineraliseerd

Tabel 4 Uit tabel 3 afgeleide kenmerken van diverse organische-mestsoorten en -reststromen

Nr.	Organische-stofbron	C/N	OS/DS	EOS/DS	P ₂ O ₅ /DS	N-tot/DS	1 ^e jaars N-werking (kg/ton) ³		Niet-werkzame N (kg/ton) ⁴	
1	Rundveedrijfmest	16,9	772	540	16,3	43,5	2,1	(51%)	0,8	(21%)
2	Vleesvarkensdrijfmest	12,0	738	244	36,4	65,4	5,0	(71%)	1,3	(19%)
3	Zeugendrijfmest	7,4	373	127	52,2	74,6	4,0	(80%)	0,7	(14%)
4	Vaste rundveemest (+stro)	11,7	581	406	16,1	28,8	1,9	(25%)	2,6	(34%)
5	Vaste varkensmest (+stro)	14,4	588	194	30,4	30,4	4,3	(54%)	2,1	(27%)
6	Pluimveemest -nadroging	8,1	740	244	40,9	50,5	15,2	(53%)	10,3	(36%)
7	Pluimveemest +nadroging	6,8	638	211	41,6	53,1	18,1	(55%)	11,6	(35%)
8	Kippenstrooiselmest	7,1	530	180	37,8	42,8	15,9	(55%)	10,1	(35%)
9	Vaste geitenmest	11,6	598	419	18,2	34,0	3,1	(32%)	3,0	(30%)
10	Dikke fractie RDM	16,9	772	540	16,4	29,2	2,0	(27%)	2,3	(31%)
11	Dikke fractie VDM	12,0	740	244	36,4	43,2	5,9	(54%)	3,1	(29%)
12	Digestaat RDM 25%	16,6	716	573	20,3	54,1	2,4	(60%)	0,6	(16%)
13	Digestaat RDM 50%	18,0	632	568	26,3	70,2	2,9	(72%)	0,4	(10%)
14	Digestaat VDM 25%	11,8	678	271	44,8	80,5	5,2	(75%)	1,0	(14%)
15	Digestaat VDM 50%	12,5	588	341	57,4	102,9	5,5	(79%)	0,6	(9%)
16	Digestaat co-vergiste RDM	13,2	746	560	22,4	59,7	2,2	(56%)	0,8	(19%)
17	Digestaat co-vergiste VDM	12,1	631	227	49,2	93,8	4,9	(80%)	0,7	(11%)
18	Schuimaarde	12,3	132	33	16,9	4,9	1,7	(52%)	1,3	(40%)
19	Betafert vast	16,0	432	216	14,9	24,3	4,7	(52%)	1,8	(20%)
20	Berm en slootmaaisel	21,0	400	100	4,6	10,0	1,6	(45%)	1,2	(34%)
21	Champost	14,7	628	314	13,4	22,6	1,7	(22%)	2,9	(38%)
22	GFT-compost	14,9	348	313	6,3	12,8	1,0	(11%)	3,2	(36%)
23	Groencompost	19,9	299	269	3,7	8,3	0,5	(11%)	1,8	(36%)
24	Tarwestro	59,4	900	270	1,9	6,8	-1,3	(-22%)	2,3	(40%)

Tabel 4 Vervolg

Nr.	Organische-stofbron	EOS/P ₂ O ₅	EOS/N-tot.	EOS/Nm	EOS/Norg	EOS/N-werkzaam.	EOS/N-niet-werkz.
1	Rundveedrijfmest	33	12	26	24	24	59
2	Vleesvarkensdrijfmest	7	4	7	8	5	20
3	Zeugendrijfmest	2	2	3	5	2	13
4	Vaste rundveemest (+stro)	25	14	99	16	56	41
5	Vaste varkensmest (+stro)	6	6	19	10	12	24
6	Pluimveemest -nadroging	6	5	47	5	9	13
7	Pluimveemest +nadroging	5	4	34	4	7	11
8	Kippenstrooiselmest	5	4	33	5	8	12
9	Vaste geitenmest	23	12	51	16	39	41
10	Dikke fractie RDM	33	19	84	24	69	59
11	Dikke fractie VDM	7	6	20	8	10	20
12	Digestaat RDM 25%	28	11	18	27	18	66
13	Digestaat RDM 50%	22	8	11	32	11	81
14	Digestaat VDM 25%	6	3	5	9	5	24
15	Digestaat VDM 50%	6	3	4	15	4	36
16	Digestaat co-vergiste RDM	25	9	18	20	17	49
17	Digestaat co-vergiste VDM	5	2	3	9	3	22
18	Schuimaarde	2	7	-	7	13	17
19	Betafert vast	15	9	18	18	17	44
20	Berm en slootmaaisel	22	10	70	12	22	29
21	Champost	23	14	264	15	63	37
22	GFT-compost	50	24	272	27	226	67
23	Groencompost	73	32	322	36	301	90
24	Tarwestro	143	40	-	40	-180	99

¹ stikstofwerking in het eerste groeiseizoen na toediening van de mest

² deel van de Norg die buiten het groeiseizoen vrijkomt volgens de aanname van het WOG-model (zie tekst in paragraf 2.2.2 en paragraaf 3.2.1)

2.2.2 Stikstofwerking

De hoeveelheid werkzame stikstof in het eerste groeiseizoen na toediening (N-wz., 1^e jaar) betreft de hoeveelheid stikstof die beschikbaar is voor opname door het gewas. Dit betreft het merendeel van de minerale stikstof (Nm) en het deel van de organisch gebonden stikstof (Norg) dat mineraliseert na toediening t/m het einde van de stikstofopnameperiode van het gewas. Die periode hangt af van het gewas en de teeltperiode. Voor de onderlinge vergelijking van de meststoffen zijn in deze dezelfde uitgangspunten gehanteerd en is uitgegaan van toediening op 1 april via bouwlandinjectie voor drijfmest en bovengronds verspreiden plus direct inwerken voor vaste mest (incl. compost) en stikstofopname door het gewas tot 1 augustus (de N-opnameperiode van consumptieaardappel). Er is aangenomen dat 5% van de Nm vervluchtigt als ammoniak bij bouwlandinjectie en 20% bij verspreiden en inwerken (overgenomen van www.handboekbodemenbemesting.nl). De hoeveelheid stikstof die mineraliseert uit de organische fractie van 1 april tot 1 augustus is berekend met Minip (Janssen, 1996), uitgaande van de HC en C/N-verhouding per mestsoort zoals weergegeven in tabel 1 en bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C. N.B.: door klimaatverandering loopt de gemiddelde jaartemperatuur geleidelijk op (inmiddels 10 °C), wat ertoe leidt dat de mineralisatie op jaarbasis ook geleidelijk toe zal nemen.

De stikstof die buiten het groeiseizoen mineraliseert (in een periode dat er geen gewasopname is), wordt niet-werkzame stikstof genoemd en is een bron van potentieel N-verlies naar het milieu.

Norg die in het eerste jaar na toediening nog niet is vrijgekomen, komt in latere jaren vrij (N-nawerking). Bij meerjarige gebruik van organische mest is er naast de 1^e-jaars N-werking dus ook nog een nawerking uit de mestgiften van de voorgaande jaren. De stikstof die nawerkt, mineraliseert deels in het groeiseizoen en deels erbuiten. Van de totale hoeveelheid Norg in de mest die op de lange termijn vrijkomt, komt gemiddeld zo'n 60% beschikbaar in het groeiseizoen. In individuele gevallen is het evenwel sterk afhankelijk van het bouwplan en of er bijvoorbeeld wel of geen N-vanggewassen in de herfst en winter worden geteeld. Wanneer wordt verondersteld dat op lange termijn alle Norg uiteindelijk vrijkomt, zou dit betekenen dat gemiddeld genomen 40% vrijkomt buiten het groeiseizoen c.q. niet werkzaam is. Dit is tabel 4 weergegeven als totale hoeveelheid niet-werkzame stikstof (N-nwz.) en is berekend als 40% * Norg. Echter, wanneer niet alle Norg vrijkomt, maar een deel permanent blijft ingebouwd in de organische stof in de bodem, is N-niet-werkzaam <40%. In paragraaf 3.2 wordt hier verder op ingegaan.

2.3 Beoordeling onderscheidende criteria

Van een aantal kenmerken of verhoudingen tussen kenmerken van de organische meststoffen/reststromen die zijn genoemd in de tabellen 3 en 4, is beoordeeld in welke mate de producten zich van elkaar onderscheiden. Daarbij hebben we in het bijzonder aandacht besteed aan het gehalte aan EOS, de verhouding tussen EOS en een aantal N-fracties en de verhouding tussen EOS en P₂O₅, aangezien in paragraaf 2.1 is aangegeven dat dit de belangrijkste indicatoren (in potentie) zijn voor het onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars. Op basis van droge-stofgehalte (DS) kunnen drijfmesten (DS-gehalte <100 kg/ton) worden onderscheiden van vaste mesten (veelal 200-300 kg DS/ton) en een categorie met composten en pluimveemesten (>600 kg DS/ton). De organische-stofgehalten (OS) in het verse product variëren o.a. met het droge-stofgehalte en lopen uiteen van 25 kg OS/ton tot zo'n 400 kg OS/ton. Als de OS-gehalten worden uitgedrukt op basis van de droge stof, zijn de verschillen relatief klein en lopen ze uiteen van 350 tot 800 kg OS per ton droge stof. Als ook de stabiliteit van de organische stof wordt beschouwd en we kijken naar de berekende hoeveelheid effectieve organische stof (EOS) per ton versproduct, zien we dat de hoeveelheid EOS uiteenloopt van 9 kg EOS/ton voor zeugendrijfmest tot 218 kg EOS/ton gft-compost. Voor de meeste vaste producten (exclusief varkensmest, betafert en berm- en slootmaaisel) ligt het EOS-gehalte boven de 100 kg EOS/ton, wat aanzienlijk hoger is dan voor de drijfmesten en digestaten. Uitgedrukt op droge-stofbasis zijn die verschillen weer aanmerkelijk kleiner.

Verder varieert het fosfaatgehalte van de meeste producten tussen 1,5 en 10 kg P₂O₅ per ton, maar ligt dat voor de pluimveemesten met 25 kg P₂O₅ per ton op een veel hoger niveau. Voor N-totaalgehalten zien we een vergelijkbaar beeld, waarbij het gehalte voor vrijwel alle producten ligt

tussen 3 en 10 kg N per ton, maar voor de pluimveemesten rond de 30 kg N per ton. Het gehalte minerale stikstof per ton versproduct ligt voor champost-, GFT- en groencompost, berm- en slootmaaisel, schuimaarde en tarwestro lager dan 1 kg N per ton en voor de andere producten tussen 1 en 6 kg N per ton.

Het gehalte aan werkzame stikstof van GFT- en groencompost is aanmerkelijk lager dan van de andere producten (met uitzondering van stro, dat tijdelijk minerale stikstof uit de bodem vastlegt; zie ook bijlage 1). Daarentegen is de berekende hoeveelheid niet-werkzame stikstof bij deze producten op lange termijn per kg versproduct aan de hoge kant, evenals voor de vaste mesten. Bij de drijfmesten en digestaten is deze hoeveelheid lager, doordat hierin een groter aandeel van de stikstof in minerale vorm voorkomt.

Als we kijken naar de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS) per kg fosfaat en per kg N-totaal onderscheiden GFT- en groencompost zich van andere organische-mestsoorten en -reststromen door hoge gehalten, hoewel stro nog hoger scoort. Ook de verhouding EOS/N-mineraal is bij champost, GFT- en groencompost beduidend hoger dan van de andere producten. De verhouding EOS/N-organisch is hoog bij GFT- en groencompost, rundveedrijfmest en bij RDM-digestaat (zonder co-producten). De verhouding EOS/N-werkzaam van GFT- en groencompost is veel hoger dan van de andere producten. De verhouding EOS/N-niet-werkzaam ligt voor rundveedrijfmest, de dikke fractie van RDM, RDM-digestaat en GFT- en groencompost op een vergelijkbaar niveau.

RDM-digestaat zonder co-vergisting (nrs. 12 en 13) scoort, ondanks de hoge, aangenomen HC en een hoger OS-gehalte in de droge stof dan de composten, beduidend minder hoog voor de verhoudingen EOS/P₂O₅ en EOS/N-totaal. Dit komt omdat het stikstof- en fosfaatgehalte ook hoger is dan in de composten, waardoor de voornoemde verhoudingen lager zijn.

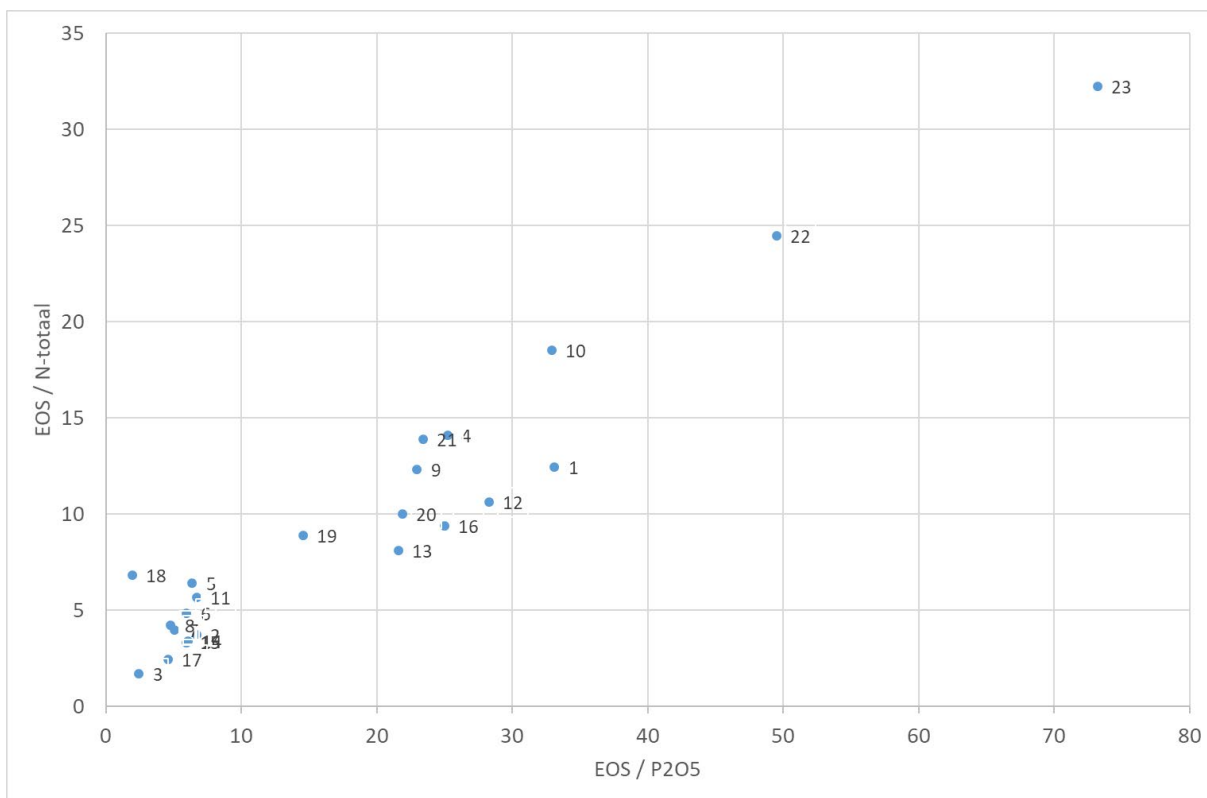
Samengevat blijkt uit een toetsing van de producten aan de (potentieel) belangrijkste indicatoren voor het onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars het volgende:

- De meeste vaste producten (exclusief varkensmest, betafert en berm- en slootmaaisel) bevatten meer dan 100 kg EOS/ton, wat aanzienlijk hoger is dan voor de drijfmesten en digestaten.
- De hoeveelheid EOS per kg N-totaal is relatief hoog voor GFT- en groencompost (>20 kg EOS/kg Nt), wat minder hoog voor rundveedrijfmest, vaste rundveemest, de dikke fractie van rundveedrijfmest, vaste geitenmest, digestaat van rundveedrijfmest, berm- en slootmaaisel en champost (10-20 kg EOS/kg Nt) en laag voor de andere producten (<10 kg EOS/Nt).
- Op basis van de hoeveelheid EOS per kg N_{min} en N-werkzaam, wordt een vergelijkbaar beeld verkregen, waarbij vooral GFT- en groencompost zich sterk onderscheiden van de andere producten door hoge waardes.
- Op basis van de hoeveelheid EOS per kg niet-werkzame N, blijkt dat rundveedrijfmest, de dikke fractie van RDM, RDM-digestaat en GFT- en groencompost relatief hoge waardes vertonen.
- De hoeveelheid EOS per kg fosfaat is relatief hoog voor GFT- en groencompost (>50 kg EOS/kg P₂O₅), wat minder hoog voor rundveedrijfmest, vaste rundveemest, de dikke fractie van rundveedrijfmest, vaste geitenmest, digestaat van (co-vergiste) rundveedrijfmest, berm- en slootmaaisel en champost (20-30 kg EOS/kg P₂O₅) en laag voor de andere producten (<15 kg EOS/P₂O₅).

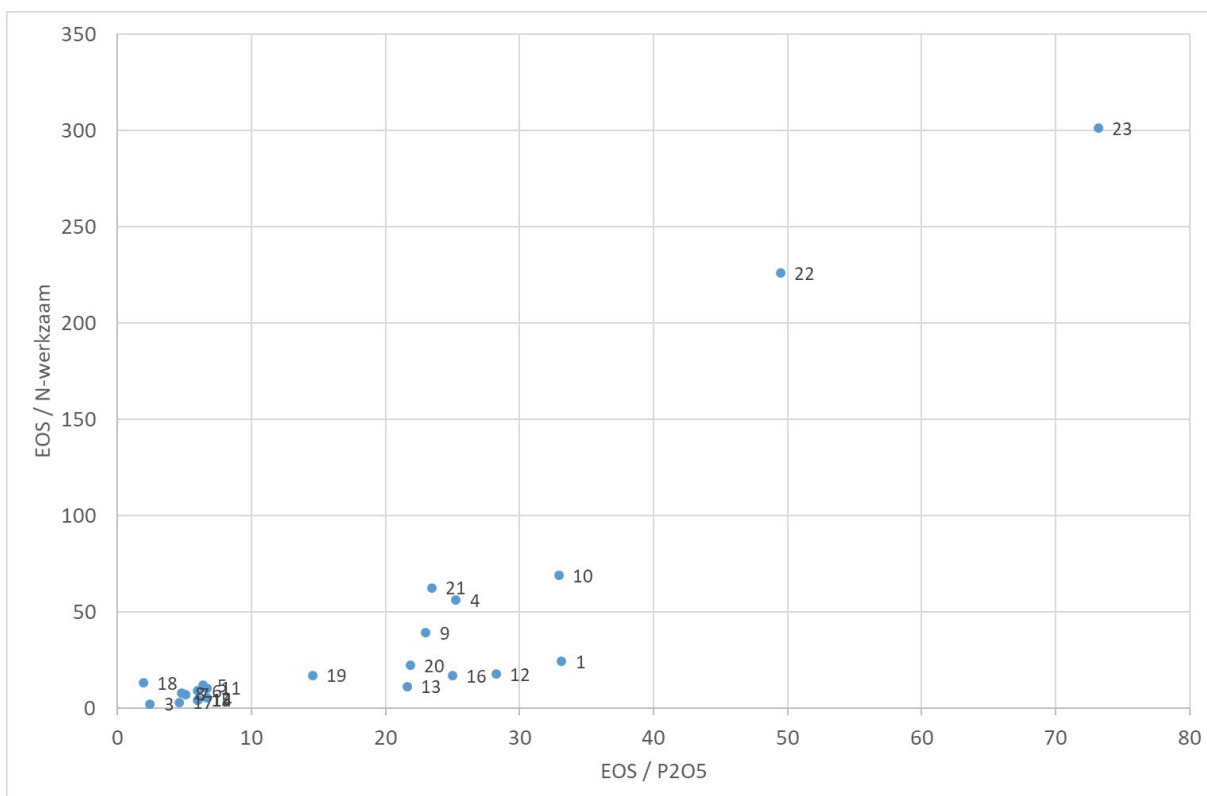
In bijlage 3 is een correlatiematrix weergegeven voor de in de tabellen 3 en 4 weergegeven kenmerken. Tarwestro is hierbij buiten beschouwing gelaten. De bovengenoemde criteria zijn alle in meerdere of mindere mate met elkaar gecorreleerd. Sterk tot zeer sterk zijn gecorreleerd zijn onder meer:

- EOS/P₂O₅ met EOS/N-totaal;
- N-werkingspercentage met EOS/P₂O₅, EOS/N-totaal en EOS/N-werkzaam (negatief gecorreleerd);
- EOS/N-werkzaam met OS/N-werkzaam en met EOS/N-totaal.

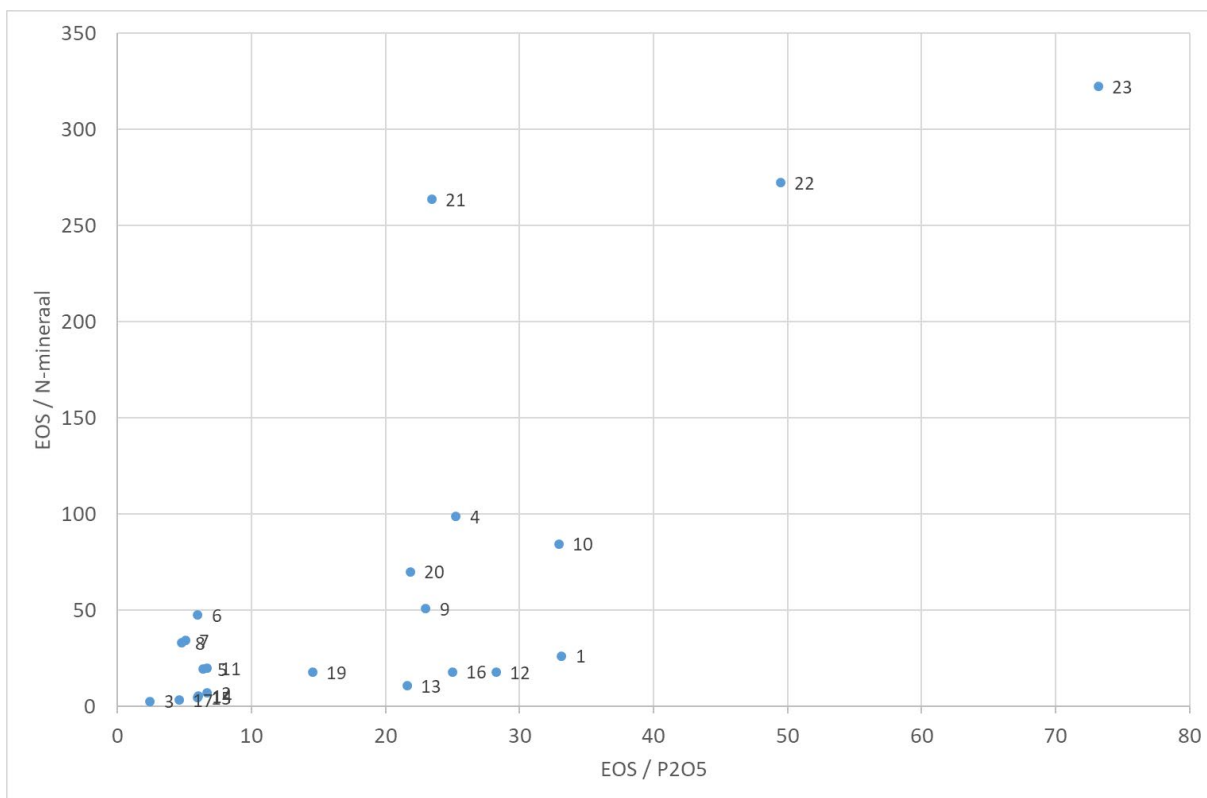
In figuur 1 zijn waarden voor EOS/P₂O₅ en EOS/N-totaal van de producten uit de tabellen 3 en 4 tegen elkaar uitgezet. De sterke correlatie tussen deze indicatoren wordt bevestigd door het lineaire verband tussen beide. GFT-compost en groencompost (respectievelijk nummers 22 en 23) hebben zowel een hoge EOS/Nt- als EOS/P₂O₅-waarde, terwijl zeugendrijfmest (nummer 3) op beide waarden laag scoort. Tarwestro is niet in de grafiek opgenomen. Dat punt zou nog veel verder naar rechtsboven liggen in de grafiek, op ruime afstand van de composten.



Figuur 1 EOS-aanvoer in kg per kg N-totaal uitgezet tegen de EOS-aanvoer in kg per kg fosfaat. (Voor de betekenis van de nummers, zie tabel 3 of 4.)



Figuur 2 EOS-aanvoer in kg per kg N-werkzaam (in het eerste groeiseizoen) uitgezet tegen de EOS-aanvoer in kg per kg fosfaat



Figuur 3 EOS-aanvoer in kg per kg N-mineraal uitgezet tegen de EOS-aanvoer in kg/kg fosfaat

In figuur 2 zijn EOS/P₂O₅ en EOS/N-werkzaam tegen elkaar uitgezet. GFT-compost en groencompost onderscheiden zich op basis van EOS/N-werkzaam nog sterker van de andere producten dan op basis van EOS/N-totaal. EOS/N-werkzaam is voor tarwestro niet weergegeven omdat dit een negatief getal oplevert (wegens immobilisatie van stikstof).

In figuur 3 zijn EOS/P₂O₅ en EOS/N-mineraal tegen elkaar uitgezet. GFT-compost en groencompost onderscheiden zich op basis van EOS/N-mineraal van de andere producten, behalve van champost (nummer 21), terwijl champost zich op basis van EOS/P₂O₅ niet positief onderscheidt.

Van de indices die door OVAM (2002) zijn voorgesteld en door de VLACO (2015) zijn toegepast (zie paragraaf 2.1) komt index 1 sterk overeen met EOS/N-totaal. Enig verschil is dat deze index uitgaat van de hoeveelheid koolstof (C) in de EOS. Bij vergelijking van producten waarvan het C-gehalte in de OS niet gelijk is, bijvoorbeeld organische mest of plantaardige resten, levert het enig verschil op. Op OVAM-index 1 wordt niet verder ingegaan in dit rapport.

Index 2 van OVAM is wel berekend voor alle in de tabel 3 en 4 weergegeven producten. De index vertoont een zeer sterke correlatie met EOS/P₂O₅ ($R = 0,99$) en met EOS/N-totaal ($R = 0,98$). Zie verder bijlage 2.

2.4 Stabiliteit van de organische stof

2.4.1 Effect van humificatiecoëfficiënt

De weergegeven kenmerken in de figuren 1 t/m 3 zijn alle gebaseerd op effectieve organische stof (EOS). Evenwel is EOS geen gemeten gehalte maar een geschatte waarde op basis van het gemeten OS-gehalte vermenigvuldigd met een forfaitaire waarde voor de humificatiecoëfficiënt (HC). De gehanteerde HC's in tabel 3 zijn merendeels overgenomen van het handboek bodem en bemesting. Voor de digestaten van RDM en VDM na vergisting zonder co producten is een aanname gedaan met behulp van Minip (zie paragraaf 2.2).

De HC's van de verschillende producten zijn echter niet eenduidig vastgesteld. In diverse bronnen worden verschillende waarden vermeld voor hetzelfde product. Conijn en Lesschen (2015) maakten een overzicht van de HC's uit zes verschillende bronnen (tabel 5). De Commissie van Deskundigen

Meststoffenwet heeft eveneens een overzicht gemaakt van verschillende genoemde HC's (CDM, 2017b) en heeft daarbij een advies gegeven aan de Overheid over de te hanteren HC's bij de beoordeling van bodemverbeteraars (tabel 6). De CDM adviseert voor mest van herkauwers (rundvee, geiten en schapen inclusief dikke fractie van RDM) een lagere HC (0,45) dan het handboek bodem en bemesting aangeeft (0,70). Voor de overige meststoffen in tabel 6 komen de door de CDM geadviseerde HC's overeen met die in tabel 3. In het overzicht van Conijn en Lesschen (2015) varieert de HC van GFT-compost van 0,75 tot 0,86; die van groencompost van 0,95-0,96 en die van champost van 0,50 tot 0,91.

Postma & Ros (2016) leiden uit een incubatieproef met drie GFT- en drie groencomposten HC-waarden af variërend van 0,92 tot 0,93 voor de GFT-composten en 0,87 tot 0,92 voor de GFT-composten. Deze waarden kwamen overeen met waarden die zij in de literatuur vonden en in een voorgaande incubatieproef, maar waren aanmerkelijk hoger dan de waarde van 0,75 voor compost die tot dan toe algemeen werd gehanteerd in organische-stofbalansen. Voor stalmest, stro en bermgras vonden ze na incubatie HC-waarden van respectievelijk 0,78, 0,67 en 0,56. Dat was aanzienlijk lager dan voor de composten, maar wel hoger dan de waarden die ze in de literatuur vonden en de waarden die worden gehanteerd in organische-stofbalansen. Dit relativeert volgens hen het belang van de gevonden hoge waarden van de hc's voor composten.

Uit incubatieonderzoek van Vlaco (2015) naar de stabiliteit van verschillende organische meststoffen kan voor digestaatproducten verkregen uit dierlijke mest een HC worden afgeleid van gemiddeld 0,84 (met vastgestelde waarden variërend van 0,79 tot 0,87). Uit de publicatie blijkt niet duidelijk welk type dierlijk mest het betrof en tot hoever er is vergist. In elk geval zijn deze waarden van dezelfde orde van grootte als de waarden die in paragraaf 2.2 zijn aangenomen voor RDM-digestaat zonder co-vergisting (0,80-0,90).

Tabel 5 Overzicht van humificatiecoëfficiënten uit zes verschillende bronnen (overgenomen van Conijn en 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.

Tabel 6 Overzicht van humificatiecoëfficiënten verzameld door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet inclusief de door de CDM geadviseerde humificatiecoëfficiënten (overgenomen van (CDM, 2017b))

Type meststof	Humificatiecoëfficiënt, %					
	Te beoordelen tabel LNV	Handboek bemesting	Velthof ea (1999)	Vlaanderen INAGRO (2011); VITO (2014)	Velthof, niet gepubliceerd (Bijlage 5)	Advies
Drijfmest						
Rundvee	0,45	0,70	0,45-0,55	0,50	0,38 (0,23-0,50)	0,45
Vleesvarkens	0,30	0,33	0,30-0,40	0,40		0,33
Zeugen	0,34	0,34		0,40		0,34
Rosékalveren	0,70	0,70		0,40		0,45
Witvleeskalveren	0,70	0,70		0,40		0,45
Gier						
Rundvee	0,70					
Vleesvarkens	0,33					
Zeugen	0,34					
Vaste mest						
Rundvee op stro gehouden	0,50	0,70 ¹	0,50	0,50		0,45
Varkens op stro gehouden	0,33	0,33		0,50		0,33
Pluimvee	0,33	0,33		0,50		0,33
Pluimvee + nadroog	0,33	0,33		0,50		0,33
Kippenstrooiselmest	0,34	0,34		0,50		0,34
Vleeskuikens + parelhoen	0,36	0,36		0,50		0,36
Kalkoenen	0,36	0,36				0,36
Schape	0,70	0,70				0,45
Geiten	0,70	0,70				0,45
Nertsen						
Eenden						
Konijnen						
Paarden	0,70			0,50		0,45
Overige dierlijke meststoffen						
Mineralenconcentraten (varkens)	0,33					0,33
Dunne fractie rundmest 30%	0,70					0,45
Dunne fractie varkensmest 30%	0,33					0,33
Dikke fractie rundmest	0,30		0,30			0,45
Dikke fractie varkensmest	0,33					0,33
Plantaardige meststoffen met organische bestanddelen						
Champost	0,50	0,50	0,50	0,91		0,50
GFT-compost	0,85	0,90	0,80-0,90	0,86		0,90
Groencompost	0,75	0,90	0,80-0,90	0,95		0,90
Betacal-carbo						0,25
Betacal-filter						0,25
Betacal-flow						0,25

¹ Vaste mest rundvee grupstal

Hantering van een andere HC leidt tot een andere berekende hoeveelheid EOS en derhalve ook een andere verhouding tussen EOS en P₂O₅ enz. Daarom zijn de verhouding tussen EOS en respectievelijk P₂O₅, N-totaal, N-werkzaam en N-mineraal opnieuw berekend bij een HC van:

- 0,45 voor rundveemesten, geitenmest en dikke fractie van rundveedrijfmest
- 0,75 voor GFT- en groencompost
- 0,90 voor champost.

De HC's van RDM-digestaten zijn herberekend op de wijze die is beschreven in paragraaf 2.2. Dit leverde volgende waarden op:

-
- RDM-digestaat 25%: 0,55
 - RDM-digestaat 50%: 0,68

Het resultaat is weergegeven in tabel 7. In het linkerdeel van de tabel zijn de kengetallen weergegeven uit paragraaf 2.2 (tabellen 3 en 4) en in het rechterdeel de kengetallen voor de mesten met andere HC's, zoals hierboven genoemd. Champost scoort nu beter dan GFT-compost: een nagenoeg gelijke EOS/P₂O₅-verhouding, een wat hogere EOS/N-totaal-verhouding en een aanmerkelijk hogere EOS/N-werkzaam- en EOS/N-mineraal-verhouding dan GFT-compost alsook groencompost. De waarden voor de rundveemesten, geitenmest, dikke fractie van rundveedrijfmest en de RDM-digestaten komen nu lager uit ten opzichte van de berekening met de in paragraaf 2.2 gehanteerde HC's.

Tabel 7 EOS-aanvoer in kg per kg fosfaat, per kg N-totaal, per kg N-werkzaam, per kg N-mineraal en per kg niet-werkzame N bij hantering van verschillende humificatiecoëfficiënten (zie de tekst hierboven voor de toelichting)

Nr.	Organische-stofbron	HC	EOS /P ₂ O ₅	EOS /N-tot.	EOS /N-wz.	EOS/Nm	EOS /N-nwz	HC	EOS /P ₂ O ₅	EOS /N-tot.	EOS /N-wz.	EOS/Nm	EOS /N-nwz.
1	Rundveedrijfmest	0,70	33	12	24	26	59	0,45	21	8	13	17	38
2	Vleesvarkensdrijfmest	0,33	7	4	5	7	20						
3	Zeugendrijfmest	0,34	2	2	2	3	13						
4	Vaste rundveemest (+stro)	0,70	25	14	56	99	41	0,45	16	9	22	63	26
5	Vaste varkensmest (+stro)	0,33	6	6	12	19	24						
6	Pluimveemest -nadroging	0,33	6	5	9	47	13						
7	Pluimveemest +nadroging	0,33	5	4	7	34	11						
8	Kippenstrooiselmest	0,34	5	4	8	33	12						
9	Vaste geitenmest	0,70	23	12	39	51	41	0,45	15	8	18	33	26
10	Dikke fractie RDM	0,70	33	19	69	84	59	0,45	21	12	31	54	38
11	Dikke fractie VDM	0,33	7	6	10	20	20						
12	Digestaat RDM 25%	0,80	28	11	18	18	66	0,55	19	7	11	12	46
13	Digestaat RDM 50%	0,90	22	8	11	11	81	0,68	16	6	8	8	61
14	Digestaat VDM 25%	0,40	6	3	5	5	24						
15	Digestaat VDM 50%	0,58	6	3	4	4	36						
16	Digestaat co-vergiste RDM	0,75	25	9	17	18	49						
17	Digestaat co-vergiste VDM	0,36	5	2	3	3	22						
18	Schuimaarde	0,25	2	7	13	-	17						
19	Betafert vast	0,50	15	9	17	18	44						
20	Berm en slootmaaisel	0,25	22	10	22	70	29						
21	Champost	0,50	23	14	63	264	37	0,90	42	25	312	475	66
22	GFT-compost	0,90	50	24	226	272	67	0,75	41	20	119	227	56
23	Groencompost	0,90	73	32	301	322	90	0,75	61	27	180	269	75
24	Tarwestro	0,30	143	40	-180	-	99						

2.4.2 Stabiliteit OS karakteriseren

Uit de vorige paragraaf blijkt dat de HC die wordt toegekend aan een organisch product van invloed is op de classificatie ervan. Of champost als gelijkwaardige bodemverbeteraar zou kunnen worden aangemerkt als GFT-compost, hangt onder meer af van de HC c.q. de afbreekbaarheid van de organische stof.

In dit verband moet ook worden opgemerkt dat tussen partijen GFT- of groencompost kwaliteitsverschillen zijn, onder andere voor wat betreft de stabiliteit en rijpheid van de compost en dus de afbreekbaarheid van de organische stof in de compost. De forfaitaire HC van 0,90 zal waarschijnlijk niet gelden voor onvolledig gerijpte, instabiele compost, maar lager zijn. Voor het aanduiden van producten als bodemverbeteraar, is een garantie over de stabiliteit van de organische stof van belang. In geval van compost zou dat een bepaalde controle of keurmerk kunnen zijn welke garandeert dat de compost goed is gerijpt. Dit zou bijvoorbeeld kunnen worden toegevoegd aan de kwaliteitscriteria van Keurcompost.

Verder is een juiste, eenduidige karakterisering van de afbreekbaarheid ofwel stabiliteit van de organische stof van belang. Vroeger werd daarvoor vaak de Rottegradmethode (op basis van warmte-ontwikkeling) gebruikt, maar Moolenaar et al. (2002) hebben laten zien dat die erg onnauwkeurig is en beter kan worden vervangen door het meten van de zuurstofconsumptie (Oxítóp). Van der Burgt et al. (2010) vergeleken verschillende analysemethoden die mogelijk als indicator gebruikt zouden kunnen worden om de stabiliteit van de organische stof van uiteenlopende organische meststoffen te beoordelen, waaronder composten, rundveemest en varkensmest. Het betrof meting van de CO₂-productie, meting van de zuurstofconsumptie (Oxítóp), DOC (Dissolved Organic Carbon), DON (Dissolved Organic Nitrogen) en HWC (Hot water Carbon). Zij concludeerden dat op basis van één analysemethode de waarde van de organische stof in de meststof onvoldoende kan worden gekarakteriseerd. Met elk van de analysemethoden wordt een bepaald kwaliteitsaspect van de organische stof uit mest bepaald, maar dit heeft geen of slechts een beperkte voorspellende waarde voor de uitslagen van de andere analysemethoden. Van Dijk et al. (2005a) bevelen de meting van de CO₂-productie of de meting van zuurstofconsumptie (Oxítóp) aan om de afbraaksnelheid van de organische stof van meststoffen te meten als deze niet bekend is, ten behoeve van het berekenen van de N-werkingscoëfficiënt. Van der Burgt et al. (2010) vonden echter geen goede correlatie tussen deze beide methoden, wat voor een belangrijk deel zal zijn veroorzaakt doordat de Oxítóp-bepaling veel korter duurt (~1 week) dan de meting van de CO₂-productie (~3 maanden), waardoor verschillende fracties van de totale organische stofvoorraad worden gemeten.

Volgens Postma en Ros (2016) lijkt de Oxítóp-bepaling niet goed bruikbaar voor het in beeld brengen van de stabiliteit van de organische stof die landbouwkundig gezien van belang is, gezien de slechte relatie met de C-afbraak in de incubatiestudie en de korte duur (enkele dagen) van de test.

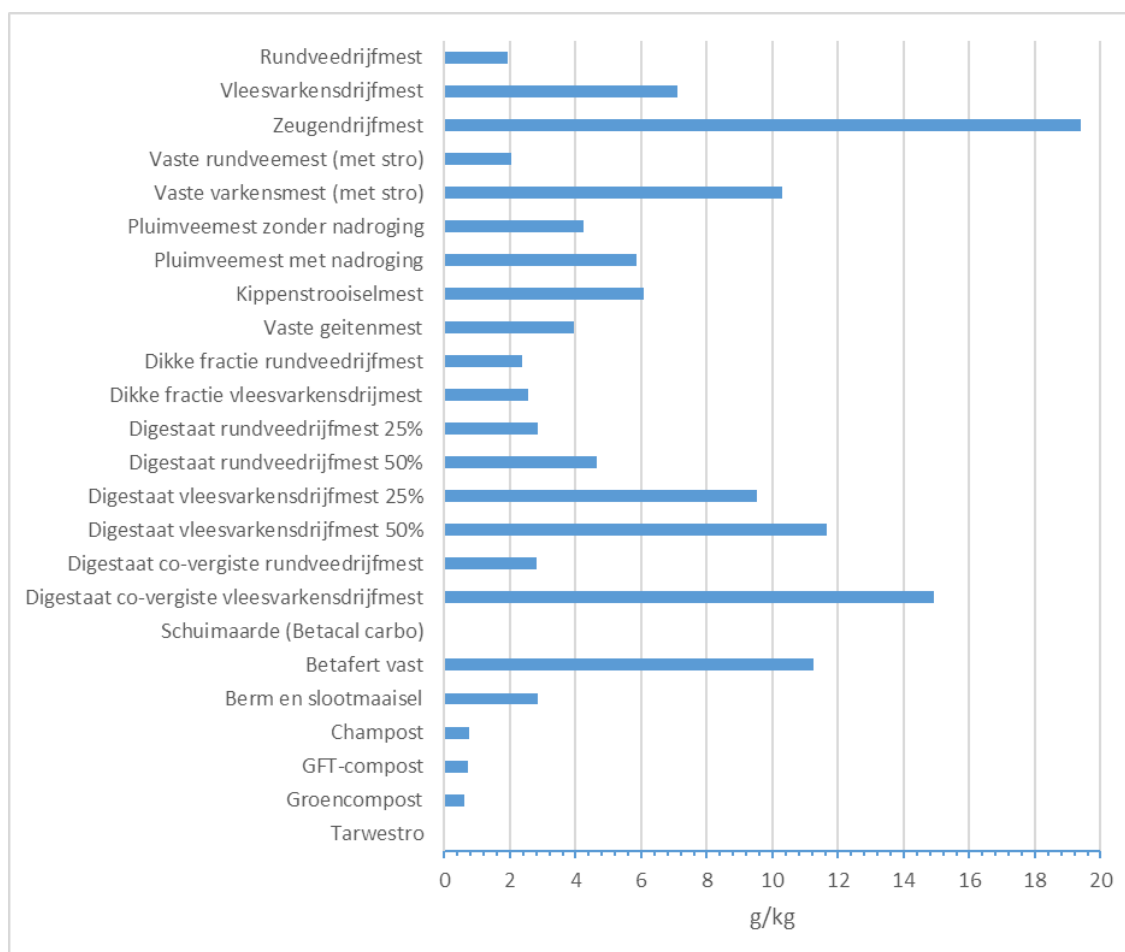
Incubatie lijkt daarom op dit moment de meest geijkte methode om de stabiliteit van de organische stof te bepalen via incubatie en een HC vanaf te leiden.

3 Milieurisico's

De eis die in 6^e actieprogramma nitraatrichtlijn wordt gesteld aan bodemverbeteraars is een maximale bijdrage aan de organische-stofvoorziening van de bodem met een minimaal risico op verlies van stikstof en fosfaat naar het milieu. Verlies van fosfaat betreft uit- en afspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar het grondwater. Verlies van stikstof betreft ammoniakvervluchtiging, nitraatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater en gasvormig verlies door denitrificatie (omzetting van nitraat (NO_3) in N_2 , NO_x en N_2O ofwel lachgas).

3.1 Gasvormige verliezen

De hoeveelheid ammoniak die vervluchtigt bij aanwending van organische mest, hangt af van de hoeveelheid ammonium-N in de mest (N-mineraal), de toedieningsmethode en de weersomstandigheden bij en na toediening. Bouwlandinjectie bijvoorbeeld, geeft minder ammoniakvervluchtiging dan bovengronds toedienen en oppervlakkig inwerken. Zonnig en winderig weer bevorderen de ammoniakemissie, terwijl bij regenachtig weer er geen of weinig ammoniakemissie optreedt.



Figuur 4 Berekende ammoniakemissie (in gram N per kg EOS) bij verschillende organische meststoffen en -reststromen; zie tekst voor toelichting.

Op basis van de gegevens in de tabellen 3 en 4 en de uitgangspunten die in paragraaf 2.2 zijn verwoord (5% vervluchtiging van de Nm bij bouwlandinjectie en 20% bij bovengronds verspreiden en

direct inwerken), is het ammoniakvervluchtigingsverlies per kg EOS berekend. Dit is bij de composten (incl. chompost) lager dan bij de meeste andere organische mestsoorten, vanwege het lage Nm-gehalte (figuur 4). Voor compost geldt bovendien dat niet alle minerale stikstof in ammoniumvorm voorkomt, maar veelal in nitraatvorm, dat niet als ammoniak vervluchtigt. Tijdens de compostering wordt ammonium omgezet in nitraat. Ook Groenendijk et al. (2017) geven in de milieueffectrapportage van het 6^e actieprogramma nitraatrichtlijn aan dat de ammoniakemissie van de meeste organische-stofrijke meststoffen laag is, omdat de hoeveelheid ammonium in deze meststoffen laag is. Een grotere gift van deze meststoffen heeft daarom volgens hen een zeer beperkt effect op de ammoniakemissie.

Gasvormige verliezen door denitrificatie treden op onder zuurstofarme omstandigheden in de bodem. De mate van denitrificatie hangt af van grondsoort en grondwaterstand (meer denitrificatie bij hogere grondwaterstand). Verder kan de toevoer van organische stof de kans op denitrificatie verhogen. Organische stof stimuleert de bodemlevenactiviteit, waardoor het zuurstofverbruik in de bodem stijgt en er eerder zuurstoftekort kan ontstaan. Of en in hoeverre er hierbij nog verschillen zijn tussen diverse organische producten, is niet bekend. Mogelijk leidt stabiele organische stof, bijvoorbeeld van goed gerijpte composten, minder snel tot anaërobie en denitrificatie omdat het geen snel beschikbare koolstofbron is voor het bodemleven.

Groenendijk et al. (2017) geven aan dat het effect van organische-stofrijke meststoffen op de lachgasemissie lastig is te voorspellen. Enerzijds leidt vervanging van minerale N door organische N tot minder lachgas, maar anderzijds verhoogt toediening van organische meststoffen de denitrificatiecapaciteit van de bodem (CDM, 2017a), waardoor het risico op lachgasemissie toeneemt. Of en hoeveel lachgasemissie er kan optreden is moeilijk aan te geven, omdat de omstandigheden waaronder denitrificatie optreedt hierin medebepalend zijn. Bij volledige denitrificatie wordt nitraat omgezet in stikstofgas (N₂).

3.2 Uitspoeling van stikstof

Voor de onderbouwing van de stikstofgebruiksnormen wordt het WOG-model gebruikt (Schröder et al., 2004). Met dit model wordt het N-bodemoverschot berekend, uitgaande van een lange-termijn evenwichtssituatie. De stikstof uit organische mest wordt volledig als aanvoerpost meegeteld (minus het ammoniakvervluchtigingsverlies) voor de berekening van het bodemoverschot. Het WOG-model gaat ervan uit dat alle organische gebonden N die aan de bodem wordt toegevoegd, op termijn ook weer vrijkomt. De stikstof die het eerste groeiseizoen niet vrijkomt, komt in de jaren erna geleidelijk vrij. Bij jaarlijkse toediening van organische mest mineraliseert er nog stikstof van de mestgift uit de voorgaande jaren (N-nawerking). Die nawerking stapelt op en op den duur is de N-werking plus N-nawerking van Norg uit voorgaande jaren in theorie (vrijwel) gelijk aan de hoeveelheid Norg die wordt toegediend (het evenwicht).

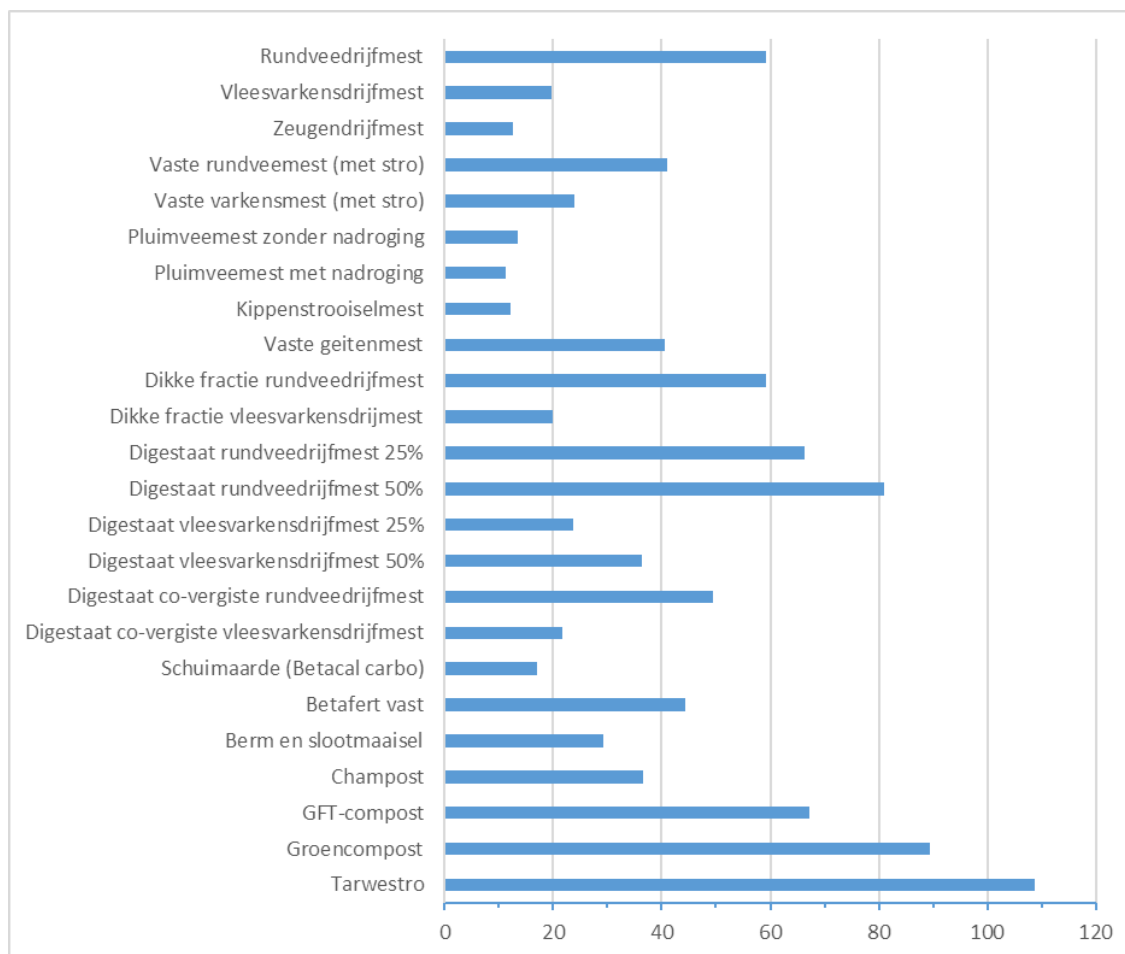
Frequent gebruik van organische meststoffen verhoogt dus de mineralisatie van stikstof in de bodem, maar daarmee ook het risico van uitspoeling. Een deel van de stikstof mineraliseert in een periode dat er geen gewasopname plaatsvindt. In de regel is dit in de nazomer en herfst, maar het hangt ook af van de gewassen die worden geteeld (het bouwplan) en van de eventuele teelt van N-vanggewassen in de herfst en winter.

3.2.1 N-organisch

Als aanvulling op de voorgestelde criteria voor de beoordeling van bodemverbeteraars in het 6^e actieprogramma stelt de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet voor om een laag gehalte aan niet-werkzame stikstof per kg EOS (ofwel een hoge EOS-aanvoer per kg niet-werkzame N) als aanvullend criterium op te nemen (CDM, 2017b). De niet-werkzame stikstof is de stikstof die vrijkomt door mineralisatie buiten de gewasopnameperiode (zie ook paragraaf 2.2.2). In het WOG-model is aangenomen dat van de mineralisatie uit organische meststoffen 60% plaatsvindt gedurende een voor groeiende gewassen relevante periode (Schröder et al., 2015). Dit betekent dat tevens wordt aangenomen dat 40% vrijkomt buiten die periode.

In figuur 5 is de EOS-aanvoer per kg niet-werkzame stikstof voor een groot aantal organische producten weergegeven, op basis van de gegevens in de tabellen 3 en 4 en de uitgangspunten in

paragraaf 2.2. Deze is voor GFT- en groencompost hoog, maar dat geldt ook voor RDM-digestaat en in wat mindere mate voor rundveedrijfmest en de dikke fractie daarvan. Vaste rundveemest en geitenmest hebben een nog wat lagere EOS/N-nwz verhouding, maar die is nog wel een factor 2 hoger dan van varkensdrijfmest en een factor 3-4 hoger dan van zeugenmest en pluimveemesten. Omdat de hoeveelheid niet werkzame N is berekend als 40% van N-organisch, is er een vaste relatie tussen deze twee en kan in plaats van N-niet-werkzaam ook N-organisch worden genomen om de producten onderling te vergelijken.



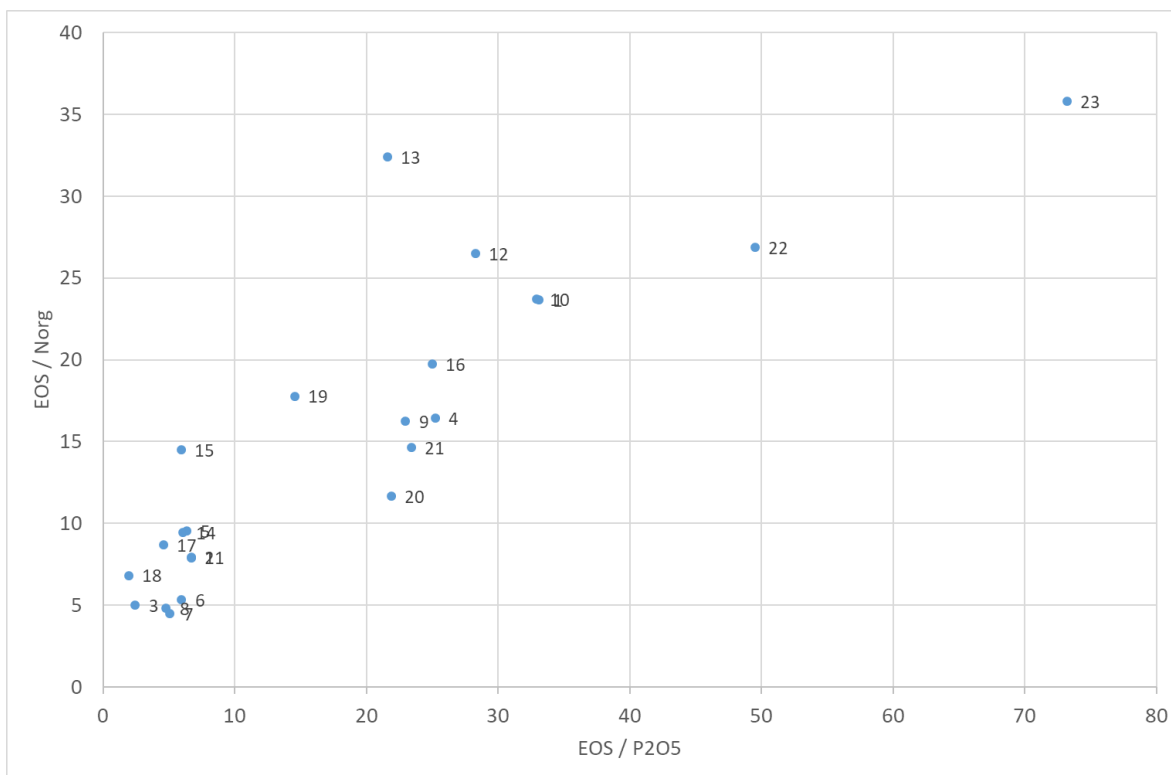
Figuur 5 EOS-aanvoer in kg per kg niet-werkzame stikstof

In figuur 6 is EOS/Norg uitgezet tegen EOS/P₂O₅. Tarwestro is niet in de grafiek opgenomen. Dat punt zou nog veel verder naar rechts liggen in de grafiek, op ruime afstand van de composten. GFT- en groencompost (nrs. 22 en 23) onderscheiden zich t.a.v. EOS/Norg minder goed van de andere producten dan op basis van EOS/N-totaal en EOS/N-werkzaam (figuren 1 en 2).

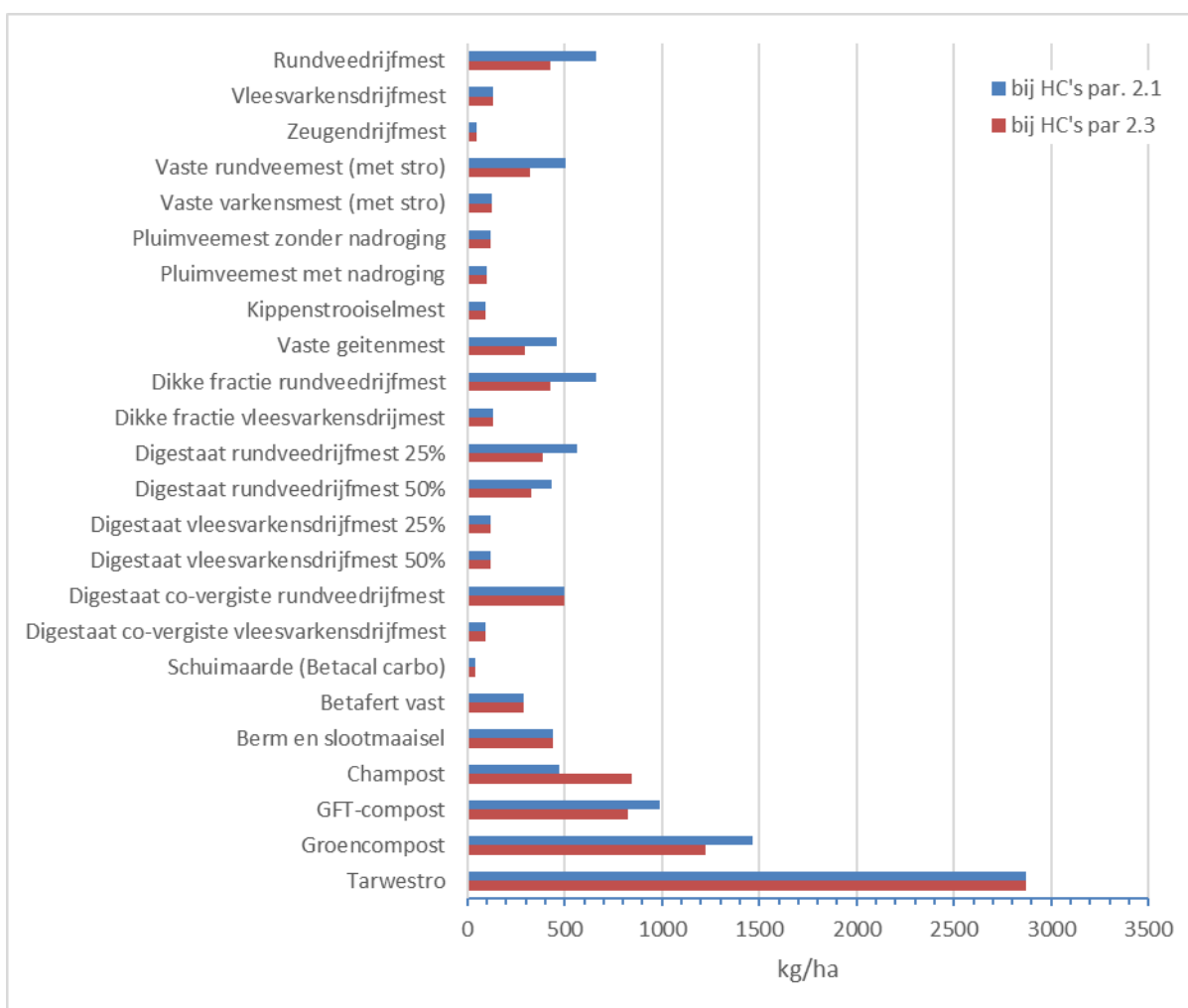
In figuur 7 is per OS-bron de EOS-aanvoer weergegeven wanneer 20 kg P₂O₅ per ha wordt aangevoerd en in figuur 8 de aanvoer van Norg. Tarwestro komt hierbij veruit als hoogst uit. Weliswaar zijn de N- en P-gehalten in tarwestro laag, waardoor per kg fosfaat veel EOS wordt aangevoerd, maar de N/P-verhouding is relatief hoog, waardoor ook veel Norg wordt aangevoerd.

Afgezien van stro wordt de hoogste hoeveelheid EOS aangevoerd met groencompost, gevolgd door GFT-compost. Champost zou op een gelijk niveau uitkomen als GFT-compost, als wordt uitgegaan van een hogere HC (volgens paragraaf 2.4). Ook de EOS-aanvoer van RDM en daarvan afgeleide producten, hangt af van de HC die wordt aangenomen en is voor beide scenario's lager dan die van GFT-compost en groencompost.

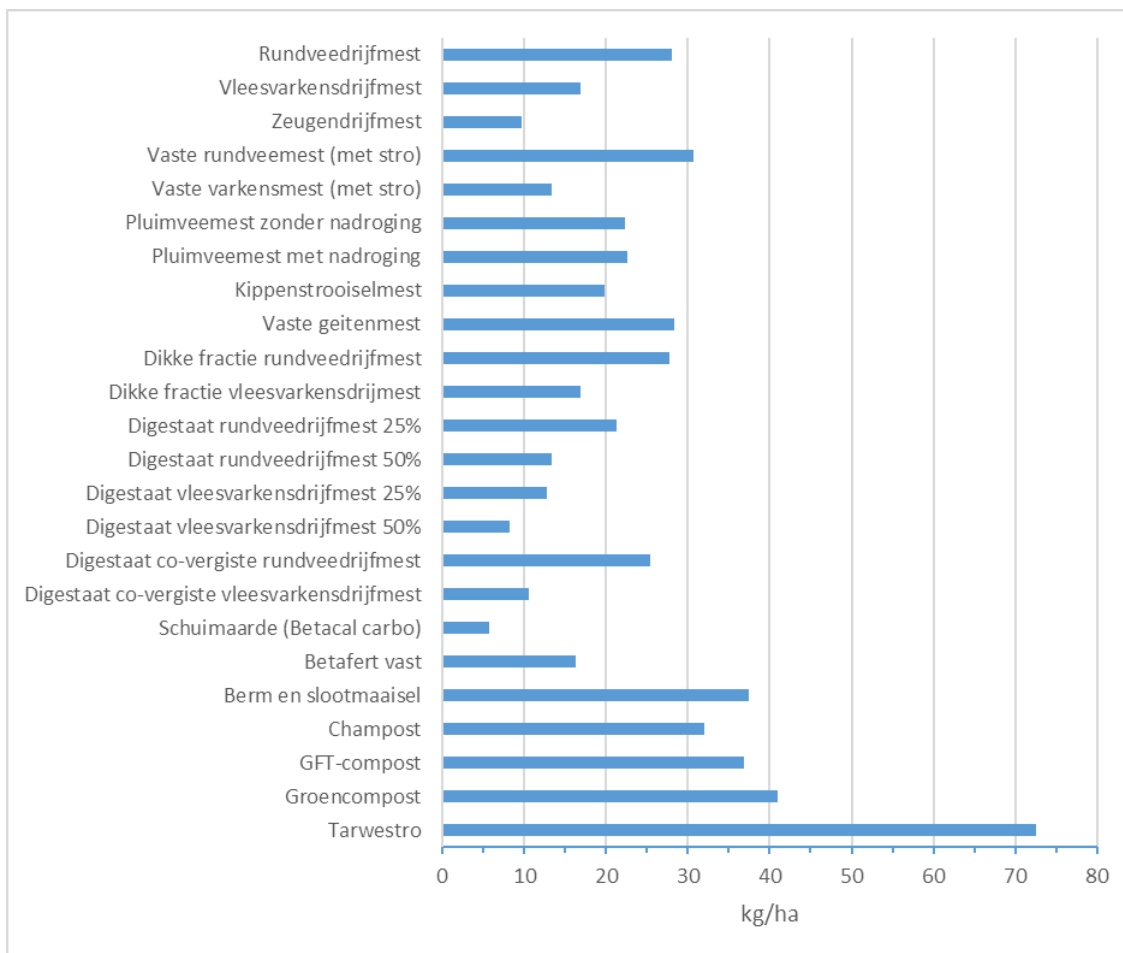
De aanvoer van N-organisch bij een toediening van 20 kg P₂O₅ met de producten houdt verband met fosfaatgehalte in het organische product: hoe lager dit gehalte, hoe hoger de aanvoer van N-organisch (figuur 9).



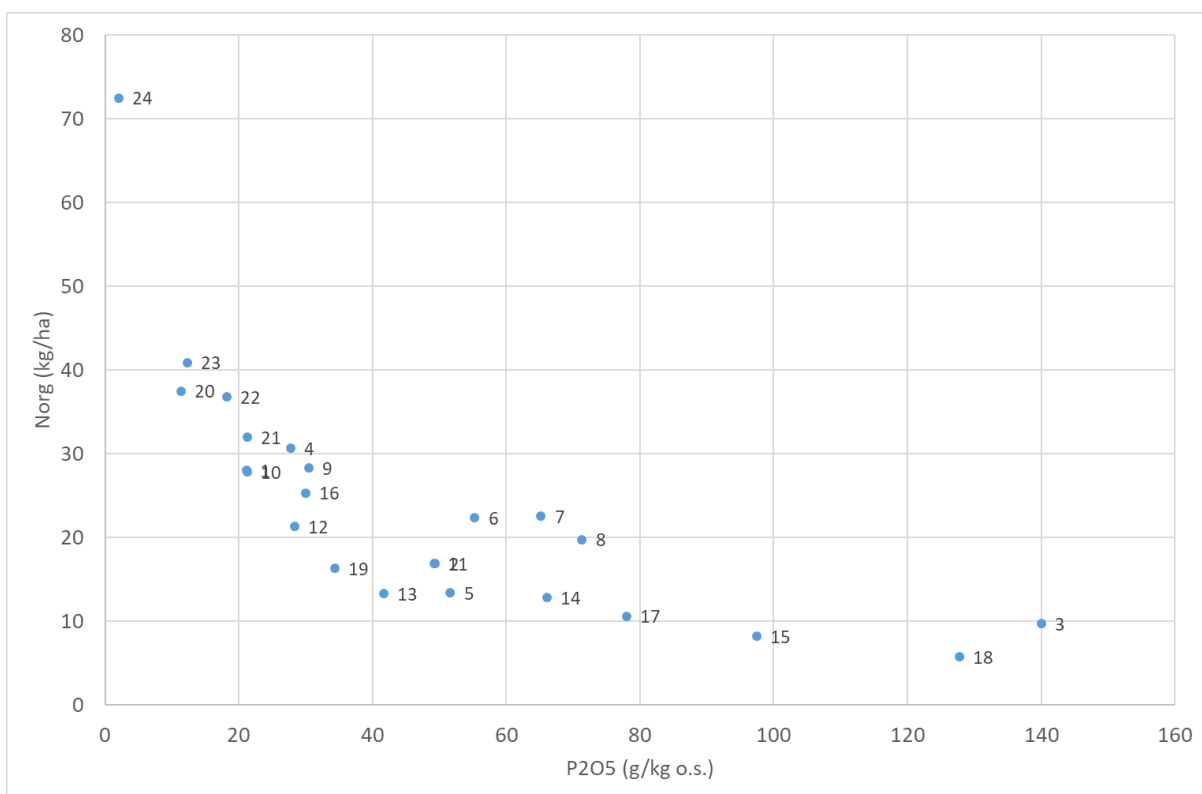
Figuur 6 EOS-aanvoer in kg per kg N-organisch uitgezet tegen de EOS-aanvoer per kg fosfaat



Figuur 7 EOS-aanvoer (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P₂O₅ per ha en bij verschillende waarden voor de humificatiecoëfficiënten van de producten (zie paragrafen 2.1 en 2.3)

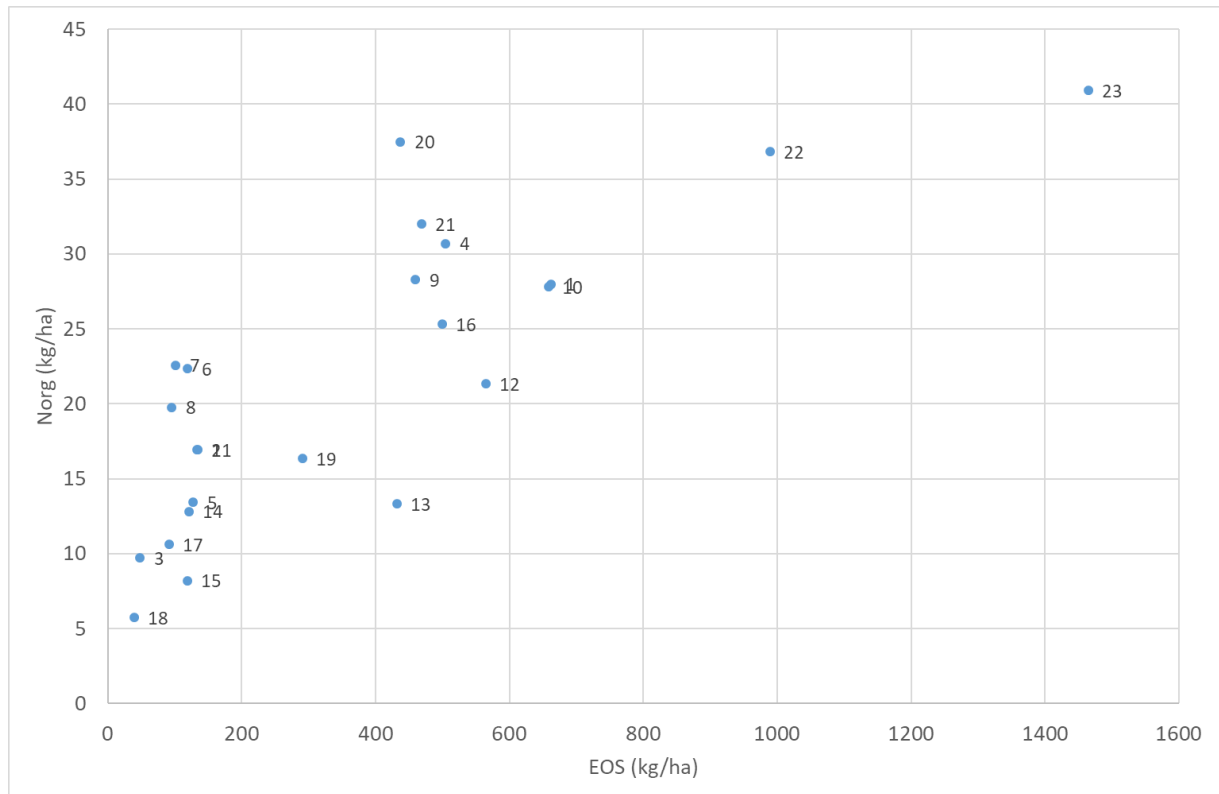


Figuur 8 Aanvoer van N-organisch (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P_2O_5 per ha



Figuur 9 Aanvoer van N-organisch (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P_2O_5 per ha, uitgezet tegen het P_2O_5 -gehalte per kg organische stof per product

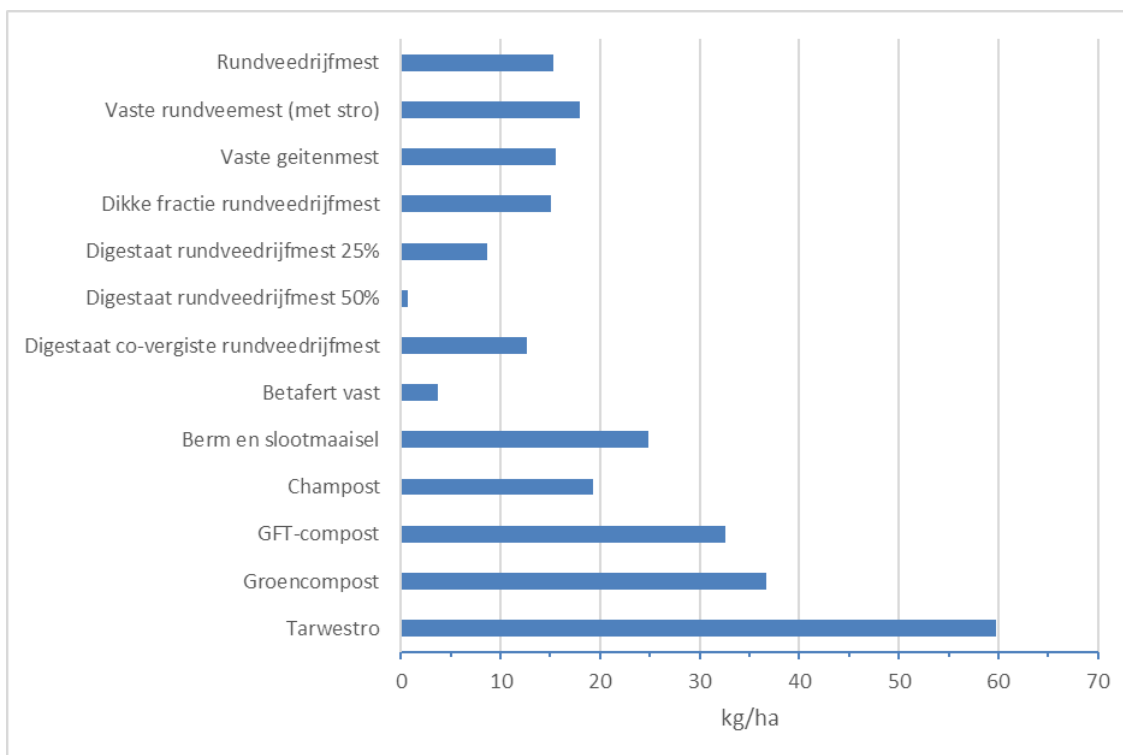
In figuur 10 is de aanvoer van N-organisch bij een aanvoer van 20 kg P₂O₅ per ha uitgezet tegen de EOS-aanvoer. Tarwestro is niet in de grafiek opgenomen. Dat punt zou nog veel verder naar rechtsboven liggen in de grafiek. Uit figuur 10 blijkt dat de Norg-aanvoer bij GFT-compost (nr. 22) nagenoeg gelijk is aan die van berm- en slootmaaisel (nr. 20), terwijl er meer dan twee keer zoveel EOS wordt aangevoerd.



Figuur 10 Aanvoer van N-organisch (kg/ha) uitgezet tegen de EOS-aanvoer bij een aanvoer van 20 kg P₂O₅ per ha

De maatregel om 5 kg/ha extra fosfaat toe te kennen bij toepassing van bodemverbeteraars geldt voor gronden met een hoge fosfaattoestand. Deze komen veelvuldig voor op de zuidelijk zandgronden. Nagenoeg al het fosfaat dat hier wordt aangevoerd, komt uit dierlijke mest. Toepassing van 20 kg/ha fosfaat uit een bodemverbeteraar, zal ertoe leiden dat het fosfaat uit een andere organische meststof moet worden ingewisseld.

In figuur 11 is nogmaals de aanvoer van N-organisch bij een aanvoer van 20 kg P₂O₅ per ha weergegeven, maar nu is de aanvoer van N-organisch uit vleesvarkensdrijfmest hierop in mindering gebracht. Vanwege de extra fosfaatruimte van 5 kg/ha, moet 15 kg/ha fosfaat uit VDM worden ingewisseld, behalve bij GFT- en groencompost. Hier hoeft, ingevolge de wettelijke vrijstelling, 50% van het fosfaat in de compost niet te worden meegeteld (tot een maximum van 3,5 kg fosfaat per ton compost). Dit betekent dat slechts 5 kg/ha fosfaat uit VDM hoeft te worden ingewisseld. Varkens- en pluimveemesten en daarvan afgeleide producten en schuimaarde zijn in figuur 11 buiten beschouwing gelaten, omdat hiermee weinig EOS wordt aangevoerd. De extra aanvoer van N-organisch is het laagste bij RDM-digestaat 50% en Betafert.



Figuur 11 Aanvoer van N-organisch (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P_2O_5 per ha en inwisseling van VDM voor een bodemverbeteraar

3.2.2 Organische-stofmodellen

Wanneer er meer EOS wordt aangevoerd en de organische-stofaanvoer hoger is dan de afbraak in de bodem, stijgt de hoeveelheid bodemorganische stof totdat er een nieuw evenwicht is bereikt tussen opbouw en afbraak van organische stof. In geval van toename van de hoeveelheid bodemorganische stof is er geen sprake van een evenwichtssituatie: er wordt dan meer stikstof in de organische stof vastgelegd dan er vrijkomt.

Maar ook als er wel een evenwicht is, is de vraag of alle toegediende organische N uiteindelijk weer vrijkomt. Postma & Ros (2017) lieten met behulp van een modelberekening met Minip (Janssen, 1996) zien dat de aanname in het WOG-model dat alle toegediende N uiteindelijk vrijkomt en dus bijdraagt aan het uitspoelbare bodemoverschot, niet opgaat binnen een tijdshorizon van 100 jaar en dat de nitraatuitspoeling bij gebruik van bodemverbeteraars/composten door het WOG-model wordt overschat.

In figuur 12 is de cumulatieve N-mineralisatie weergegeven volgens berekening met Minip in geval er 100 kg Norg per hectare wordt toegediend met VDM, RDM en GFT- en groencompost. Bij VDM komt de stikstof relatief snel vrij en op de lange termijn komt totaal 97 kg N per ha vrij van de 100. Bij RDM en de composten is dit veel lager. De Norg van groencompost komt trager vrij dan die van GFT-compost (ondanks gelijke HC) door de hogere C/N-verhouding van groencompost.

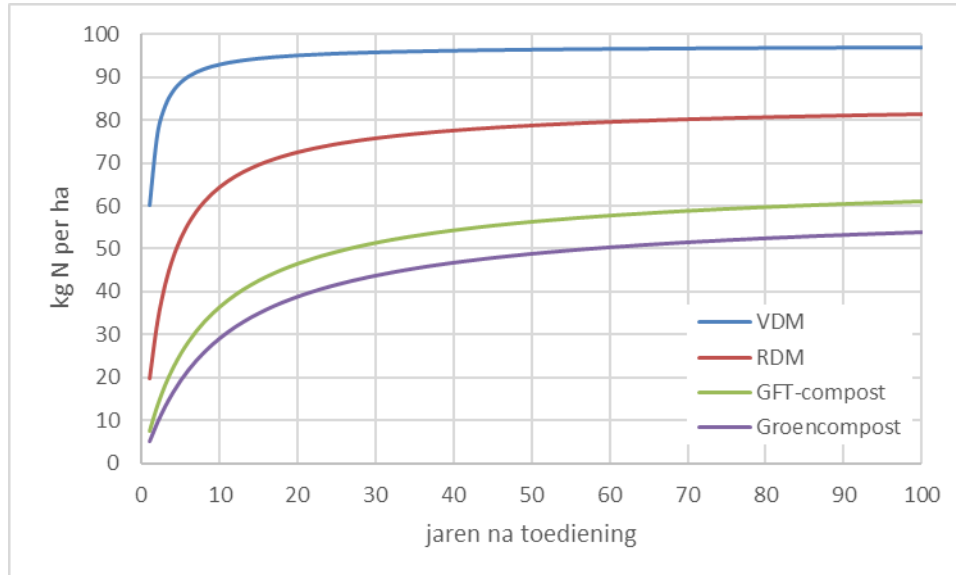
Evenwel is het resultaat van de berekening inherent aan de keuze van het model. In Minip wordt het OS-afbraakmodel van Janssen (1984) gebruikt. Ingevolge dit model blijft er een resthoeveelheid OS over die hoger is naarmate de HC van de toegediende OS hoger is. Hierdoor zou uiteindelijk een oneindig grote hoeveelheid OS in de bodem accumuleren, wat Janssen (2002) zelf onwaarschijnlijk acht. Hij geeft aan dat het model bruikbaar is voor een periode niet langer dan 40 à 50 jaar.

Ter vergelijking is de cumulatieve mineralisatie ook berekend met het OS-afbraakmodel van Yang (figuur 13) Dit betreft een aanpassing van het model van Janssen (Yang & Janssen, 2000; Yang, 1996). Ingevolge dit model wordt de aan de bodem toegevoegde organische stof uiteindelijk volledig afgebroken. Zie bijlage 1 voor meer informatie over de beide modellen.

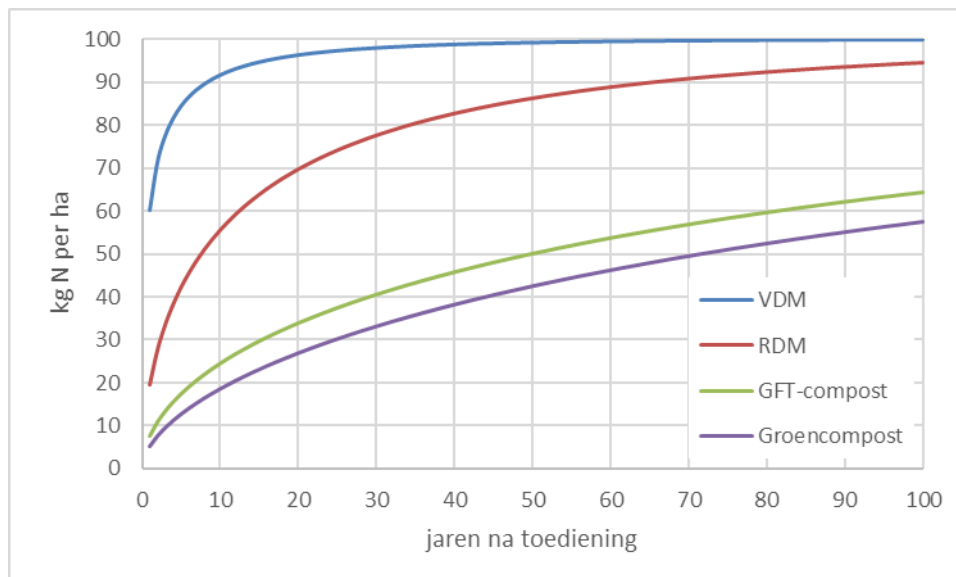
Bij het gebruik van het Yang-model komt er op lange termijn meer stikstof vrij dan bij Minip, maar na 100 jaar is bij GFT- en groencompost nog lang niet alle stikstof vrijgekomen. In de figuren 14 en 15 is

de cumulatieve mineralisatie nogmaals weergegeven voor een periode van 1000 jaar. Volgens de berekening met het Yang-model duurt het evenwel minstens 1000 jaar voordat alle stikstof uit GFT- en groencompost is vrijgekomen.

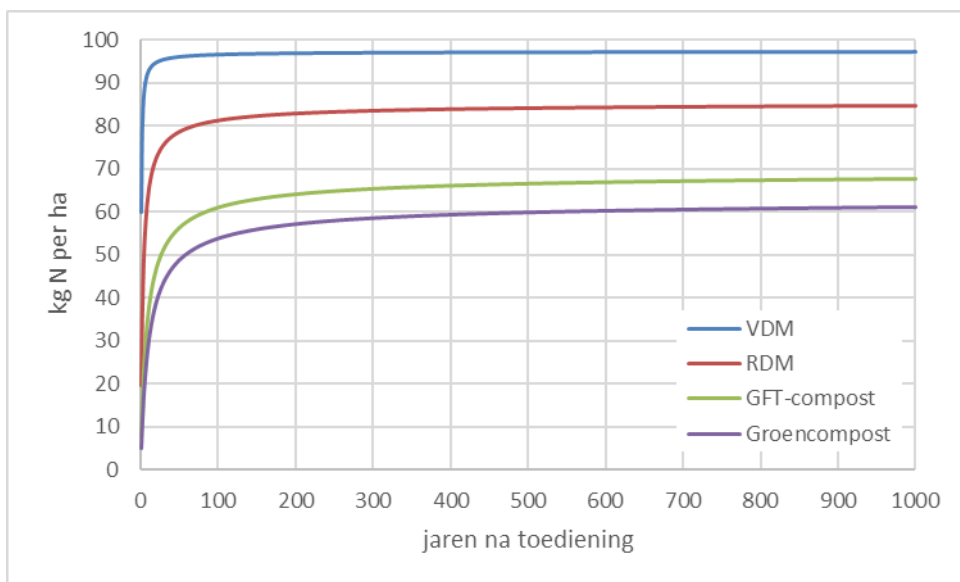
Beide afbraakmodellen zijn gebaseerd op een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C. Inmiddels bedraagt de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland 10 °C. Daardoor wordt de OS iets sneller afgebroken dan bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C en mineraliseert ook de stikstof iets sneller, maar het verschil is miniem (zie bijlage 1). Voor de onderlinge vergelijking van de organische producten maakt het niet uit.



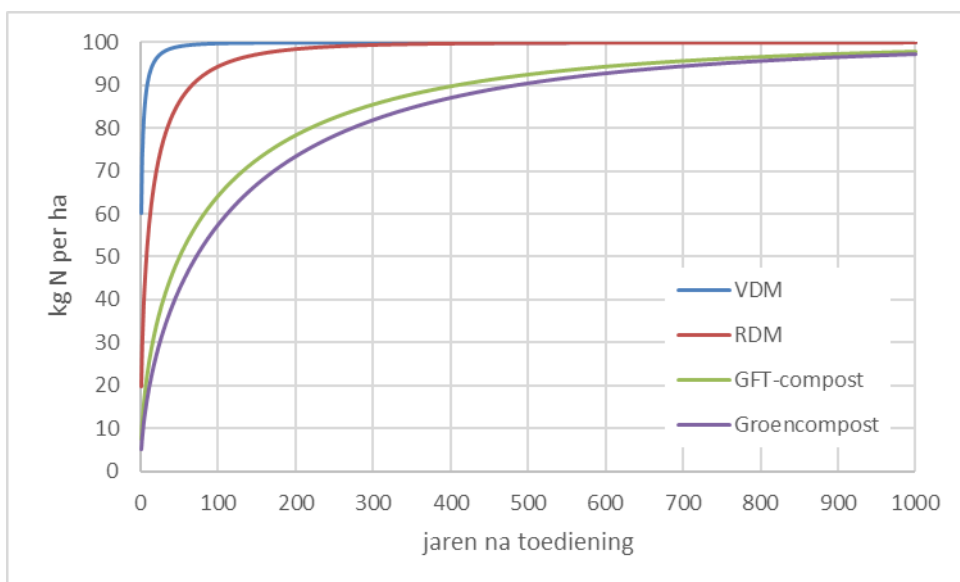
Figuur 12 Cumulatieve N-mineralisatie bij aanvoer van 100 kg Norg uit VDM, RDM, GFT- en groencompost gedurende een periode van 100 jaar zoals berekend met Minip



Figuur 13 Cumulatieve N-mineralisatie bij aanvoer van 100 kg Norg uit VDM, RDM, GFT- en groencompost gedurende een periode van 100 jaar zoals berekend met het model van Yang



Figuur 14 Cumulatieve N-mineralisatie bij aanvoer van 100 kg Norg uit VDM, RDM, GFT- en groencompost gedurende een periode van 1000 jaar zoals berekend met Minip



Figuur 15 Cumulatieve N-mineralisatie bij aanvoer van 100 kg Norg uit VDM, RDM, GFT- en groencompost gedurende een periode van 1000 jaar zoals berekend met het model van Yang

Het is lastig om aan te geven welk model de meest juiste voorspelling geeft. De Willigen et al. (2008) vergeleken zeven verschillende organische-stofmodellen: twee monocomponentmodellen (Janssen en Yang) en vijf multicomponentmodellen (Cesar, Animo, Nucsam, Recafs, Century). De twee monocomponentmodellen beschrijven de afbraaksnelheid van de organische stof met behulp van een afbraaksnelheidscoëfficiënt die tijdsafhankelijk is. Bij de multicomponentmodellen wordt de organische stof verdeeld over meerdere fracties en wordt per fractie een afbraaksnelheidsconstante gehanteerd en een waarde voor de efficiëntie van de koolstofomzetting: de fractie koolstof die na omzetting van het organisch materiaal is overgebleven. Het beschreven afbraakpatroon en de voorspelling op langere termijn over de OS-opbouw in de bodem en de N-mineralisatie verschilt tussen de modellen. Het was moeilijk aan te geven welk model het beste voldoet.

Een nieuwer OS-afbraakmodel is het multicomponentmodel RothC¹. Met dit model is de OS-afbraak van VDM, RDM en de twee compostsoorten berekend en vergeleken met de afbraakmodellen van

¹ https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/RothC_guide_WIN.pdf

Janssen en Yang. De benodigde parameters voor RothC om de afbreekbaarheid van de OS te karakteriseren, zijn afgeleid van de HC. Kanttekening is dat deze omrekening slechts beperkt is onderzocht en er nog twijfels over zijn. Het berekenen van de N-mineralisatie is vooralsnog niet gekoppeld aan RothC. Dit werkt anders dan bij Minip en het Yang-model, omdat RothC met verschillende pools in de bodem rekent.

De boven genoemde modellen hebben gemeen dat zij uitgaan van een afbraakconcept op basis van de afbreekbaarheid van het organische materiaal. Volgens dit concept wordt makkelijk afbreekbaar materiaal het eerst afgebroken, waarna het restant per definitie moeilijker afbreekbaar is. Recent zijn enkele publicatie beschikbaar gekomen die melding maken van een alternatieve theorie. In deze theorie is niet alleen de samenstelling van het toegevoegde materiaal zelf bepalend voor de afbraak, maar zijn de condities in de bodem, in het bijzonder de aanwezigheid van bodemaggregaten en de samenstelling van de microbiële biomassa, van grote invloed (Kallenbach, 2016, Lehmann & Kleber, 2015).

In tabel 8 is weergegeven hoeveel procent van de oorspronkelijk aan de bodem toegediende hoeveel OS na 50 en 100 jaar afbraak nog over bij hantering van de drie verschillende afbraakmodellen. Alle drie de modellen geven aan dat er van de composten nog aanzienlijk meer over is na 50 en 100 jaar dan van de drijfmesten. Volgens het Janssen-model blijft er na 500 en 1000 jaar ook nog een substantiële hoeveelheid OS over bij GFT- en groencompost, terwijl dit volgens het Yang-model nihil is en RothC aangeeft dat er na 500 jaar vrijwel niets meer over is en na 1000 jaar helemaal niets.

Tabel 8 Overgebleven OS in de bodem, 50, 100, 200, 500 en 1000 jaar na toediening, als percentage van de oorspronkelijk aan de bodem toegediende hoeveel OS bij hantering van drie verschillende afbraakmodellen

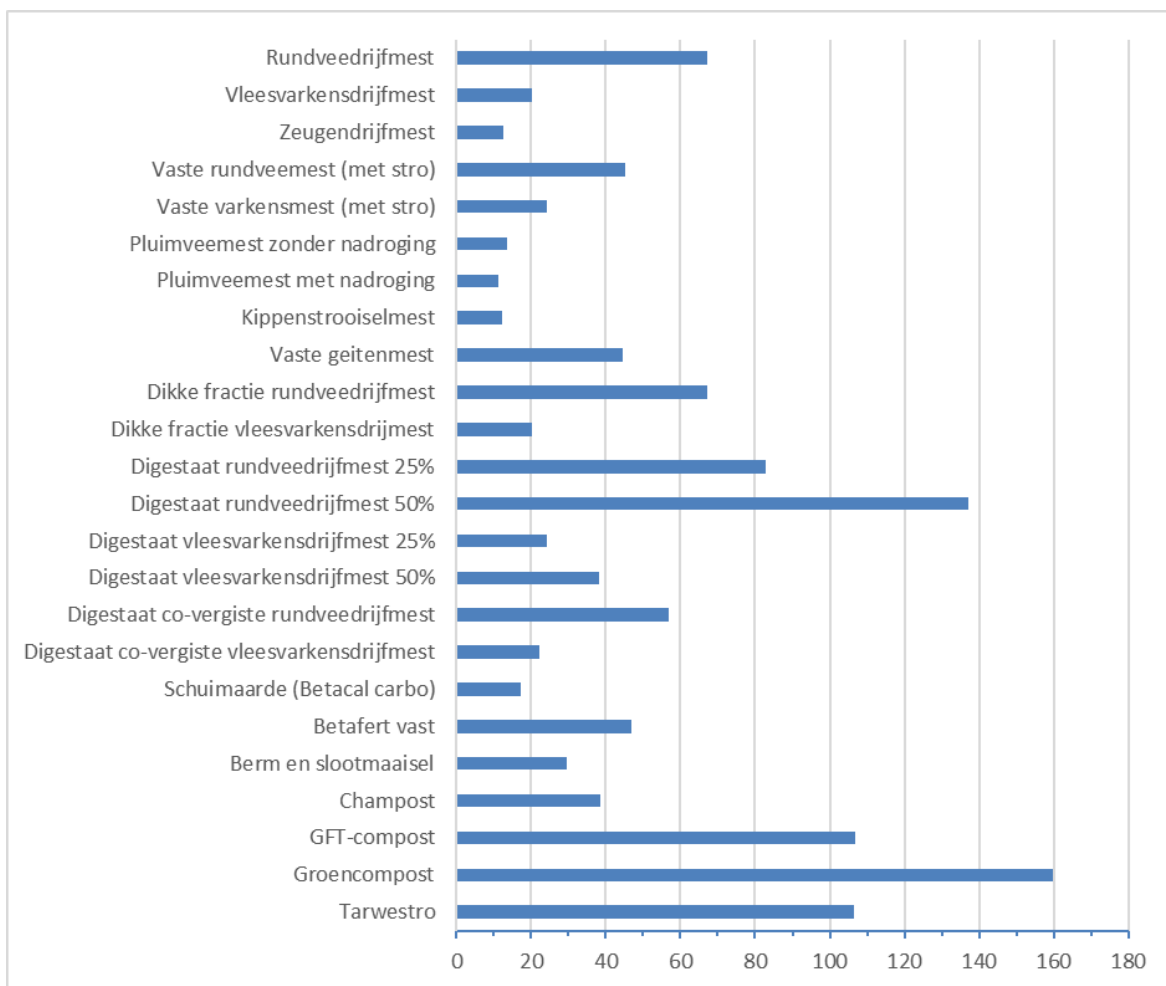
Restant na .. jaar	Varkensdrijfmest			Rundveedrijfmest			GFT-compost			Groencompost		
	Janssen	Yang	RothC	Janssen	Yang	RothC	Janssen	Yang	RothC	Janssen	Yang	RothC
50	3%	1%	6%	15%	9%	9%	36%	43%	45%	36%	43%	47%
100	3%	0,2%	3%	13%	4%	5%	32%	29%	26%	32%	29%	27%
200	2%	0,0%	1%	12%	1%	2%	29%	17%	9%	29%	17%	10%
500	2%	0,0%	0,1%	11%	0,1%	0,1%	27%	5%	0,4%	27%	5%	0,4%
1000	2%	0,0%	0,0%	10%	0,0%	0,0%	26%	1%	0,0%	26%	1%	0,0%

Als na 100 jaar nog niet alle OS is afgebroken, is ook nog niet alle stikstof vrijgekomen en zal bij jaarlijkse aanwending van organische mest de N-werking plus N-nawerking uit voorgaande jaren nog niet gelijk zijn aan de hoeveelheid Norg die wordt toegediend. De hoeveelheid niet-werkzame stikstof (het deel van Norg dat buiten de gewasopnameperiode vrijkomt) is dan ook lager.

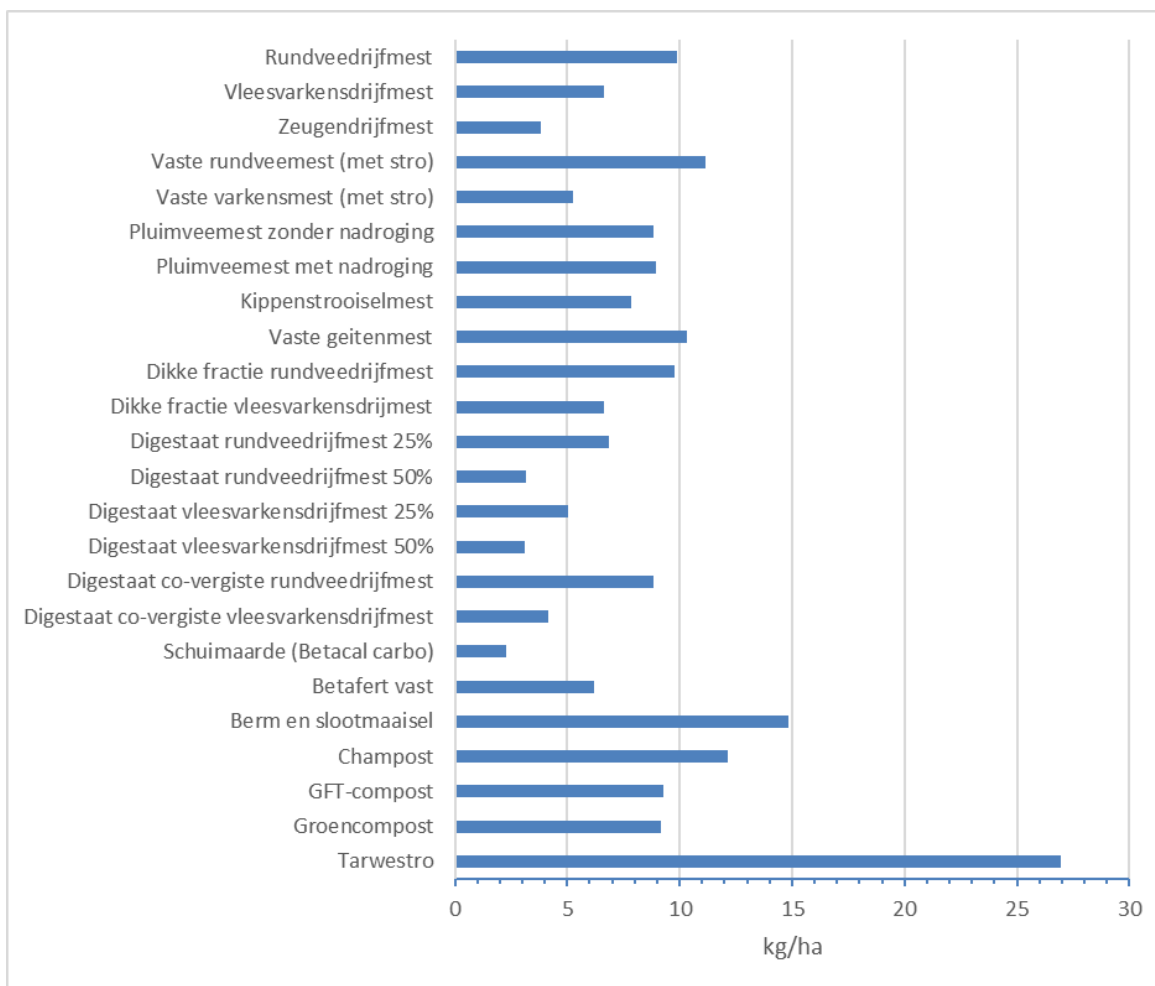
In figuur 16 is voor alle in tabel 3 genoemde OS-bronnen het resultaat weergegeven van een herberekening van de EOS-aanvoer per kg gecumuleerde niet-werkzame stikstof na 100 jaar. Van de cumulatieve hoeveelheid gemineraliseerde stikstof na 100 jaar zoals berekend met Minip en het Yang-model (zie figuren 12 en 13) is het gemiddelde genomen. Van deze waarden is vervolgens 40% genomen als fractie niet-werkzaam (zie paragraaf 3.2.1). De EOS-aanvoer per kg niet-werkzame stikstof na 100 jaar is het hoogste bij groencompost en RDM-digestaat 50%. GFT-compost scoort gelijk met tarwestro (vergelijk met figuur 5).

In figuur 17 is weergegeven hoeveel niet-werkzame stikstof er na 100 jaar in de bodem vrijkomt bij een jaarlijkse aanvoer van 20 kg P₂O₅ per ha met de verschillende producten. Na tarwestro komt berm- en slootmaaisel het hoogste uit, gevolgd door champost (vergelijk met figuur 8).

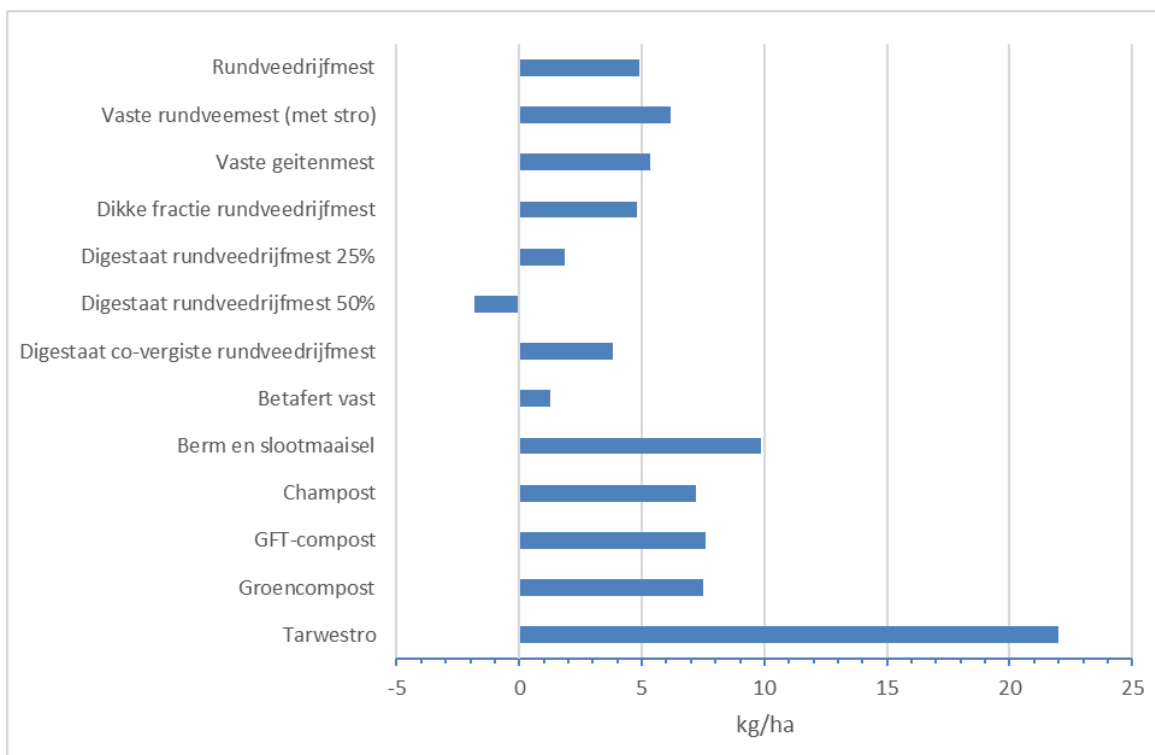
In figuur 18 is weergegeven hoeveel extra, gecumuleerde niet-werkzame stikstof wordt aangevoerd na 100 jaar bij inwisseling van VDM (vergelijk met figuur 11). Inzet van RDM-digestaat 50% zou hierbij tot een verlaging leiden van de hoeveelheid niet-werkzame stikstof.



Figuur 16 EOS-aanvoer per kg niet-werkzame stikstof (deel van Norg dat vrijkomt buiten gewasopnameperiode) van de cumulatieve N-mineralisatie na 100 jaar



Figuur 17 Cumulatieve hoeveelheid niet-werkzame stikstof (deel van Norg dat vrijkomt buiten gewasopnameperiode) na 100 jaar bij jaarlijkse toediening van 20 kg P_2O_5 per ha



Figuur 18 Cumulatieve hoeveelheid niet-werkzame stikstof na 100 jaar (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P_2O_5 per ha en inwisseling van VDM voor een bodemverbeteraar

3.2.3 Effect op nitraatuitspoeling

Punt van discussie is over welke termijn het risico op nitraatuitspoeling zou moeten worden bekeken. Om in veldproeven het langetermijneffect van composttoediening op de nitraatuitspoeling te meten, moet een langlopende proef worden aangelegd. Bij de Norg-hoeveelheden die jaarlijks worden aangevoerd binnen de voorgestelde wettelijk normen van het 6^e actieprogramma (extra Norg-aanvoer met GFT- en groencompost is ca. 40 kg per ha; zie figuur 8) is de extra mineralisatie door toepassing van bodemverbeteraars aanvankelijk zo klein (10-12 kg N per ha na 10 jaar bij jaarlijkse toediening van compost), dat het effect hiervan op de nitraatuitspoeling na 10 jaar lastig zal zijn te meten. Als daarbij nog eens VDM wordt ingewisseld voor compost (zie paragraaf 3.2.1), bedraagt de extra mineralisatie na 10 jaar 6-8 kg N per ha.

Verder moet worden bedacht dat de toepassing van bodemverbeteraars juist ook kan zorgen voor een lagere nitraatuitspoeling door verhoging van de organische-stofaanvoer (Schröder et al., 2015). Het betreft verbetering van de bodemkwaliteit: een betere vochtvoorziening (vochtvasthoudendheid, bewortelingsdiepte), meer ziektevermindering, of een betere voorziening met een opbrengstbeperkend nutriënt (P, K, S, Mg, micro-elementen). Dit kan leiden tot hogere gewasopbrengsten en daarmee een hogere N-afvoer en een lager N-overschot bij gelijke N-aanvoer. Daarnaast kan het leiden tot een hogere denitrificatie, waardoor een groter deel van het N-bodemoverschot vervluchtigt en er minder beschikbaar is voor uitspoeling.

Postma en Veeken (2017) deden (internationaal) literatuuronderzoek naar veldproeven waarin het effect van composttoepassing op de nitraatuitspoeling is onderzocht. Zij concludeerden dat uit de aangehaalde referenties blijkt dat de nitraatuitspoeling bij toepassing van compost vaak lager of vergelijkbaar is dan bij toepassing van dierlijke mest en kunstmest.

De Commissie van Deskundigen Meststoffenwet concludeert dat uit de internationale literatuur geen eenduidig beeld naar voren komt over het effect van organische stof in de bodem op de grootte van de nitraatuitspoeling (CDM, 2017a). In sommige studies wordt een hogere uitspoeling gevonden, in andere studies een lagere. Een hogere uitspoeling kan worden verklaard door een hogere bodemmineralisatie en als hier onvoldoende rekening mee wordt gehouden bij het vaststellen van de N-gift en er geen N-vanggewassen worden geteeld. Een lagere uitspoeling kan worden verklaard door meer denitrificatie en een hogere gewasopbrengst en N-afvoer. Dit zijn tegengestelde effecten die beide kunnen optreden en het netto resultaat op de nitraatuitspoeling hangt af van welke effect het sterkste is. Ook grondsoort en weersomstandigheden en moment van toediening hebben hier invloed op.

Volgens modelberekeningen van de CDM (2017a) leidt veeljarig gebruik van GFT-compost op zandgronden bij de huidige gebruiksnormen tot een hoger organische-stofgehalte van de bodem, een hogere gewasopbrengst en meer nitraatuitspoeling dan veeljarig gebruik van varkensmest of rundveemest. De belangrijkste oorzaak hiervan is het verschil tussen de forfaitaire hoeveelheid stikstof die moet worden geteld voor de N-aanvoer volgens de gebruiksnorm en de totale hoeveelheid. Voor compost wordt 10% van N-totaal meegeteld en voor VDM en RDM op zand respectievelijk 80% en 60%. Deze forfaits zijn afgeleid van de eerstejaars N-werking. Er wordt bij de gebruiksnormen echter geen rekening gehouden met de N-nawerking in de navolgende jaren. Bij composten is dit verschil groot en bij VDM klein. Bij veelvuldig gebruik zorgt de nawerking voor extra beschikbare stikstof voor het gewas, wat leidt tot een hogere gewasopbrengst maar ook tot een hoger N-bodemoverschot en een hogere, berekende nitraatuitspoeling.

Het mag niet worden uitgesloten dat de nitraatuitspoeling toeneemt, als stikstof uit kunstmest en/of dierlijke mest wordt vervangen door stikstof uit organische-stofrijke bodemverbeteraars, maar de onzekerheid over dit effect is groot en onderwerp van wetenschappelijke discussies (Groenendijk et al., 2017).

3.3 Uitspoeling fosfaat

Organische stof in de bodem bevat naast stikstof ook fosfaat. Wanneer door een hogere organische-stofaanvoer de hoeveelheid bodemorganische stof toeneemt, zal ook de hoeveelheid organisch gebonden fosfaat toenemen. De fosfaathuishouding in de bodem is complexer dan de stikstofhuishouding. Wat het effect zal zijn op het risico van fosfaatuitspoeling als er een evenwicht wordt bereikt, is moeilijk te voorspellen.

Als wordt uitgegaan van de OS-afbraakmodellen Yang en RothC, dan wordt op den duur alle OS afgebroken en zal ook al het organische gebonden fosfaat vrijkomen. Als wordt uitgegaan van het model van Janssen, dan blijft er uiteindelijk een rest-hoeveelheid over. Uitgaande van de berekende N-mineralisatie met het Minip-model, is globaal afgeleid hoeveel fosfaat er op lange termijn niet vrijkomt. Met VDM, RDM en GFT- en groencompost wordt bij een fosfaataanvoer van 20 kg/ha respectievelijk 17, 28, 37 en 41 kg Norg per ha toegediend. Volgens de Minip-berekening komt hiervan uiteindelijk respectievelijk 3%, 15%, 30% en 36% niet vrij ofwel respectievelijk <1, 4, 11 en 15 kg N per ha. In bodemorganische stof van goede kwaliteit is de verhouding C:N:P = 100:10:1 (Janssen et al., 1992). De hoeveelheid P die dan niet vrijkomt, kan worden geschat op respectievelijk <0,1, <1, 1,1 en 1,5 kg/ha ofwel <1, 1, 2,6 en 3,4 kg P₂O₅ per ha. Dit is een zeer geringe hoeveelheid in verhouding tot de jaarlijkse extra aanvoer van 5 kg P₂O₅ per ha. Derhalve mag worden aangenomen dat de extra fosfaataanvoer van 5 kg/ha bij toepassing van bodemverbeteraars op gronden met een hoge fosfaattoestand kan leiden tot een minder laag fosfaatbodemoverschot en een minder snelle daling van de fosfaattoestand van de bodem.

Op dezelfde wijze is een schatting gemaakt van de hoeveelheid fosfaat die nog niet is vrijgekomen na 100 jaar. Volgens het Minip-model is na 100 jaar van de Norg in VDM, RDM en GFT- en groencompost respectievelijk 3%, 19%, 39% en 46% nog niet vrijgekomen, wat overeenkomt met respectievelijk <1, 5, 14 en 18 kg N per ha en <1, 1, 3 en 4 kg P₂O₅ per ha (bij N:P = 10:1). Volgens het Yang-model is na 100 jaar van de Norg in VDM, RDM en GFT- en groencompost respectievelijk 0%, 6%, 36% en 43% nog niet vrijgekomen, wat overeenkomt met respectievelijk 0, 2, 13 en 17 kg N per ha en 0, <1, 3 en 4 kg P₂O₅ per ha (bij N:P = 10:1). Ook bij beschouwing op een termijn van 100 jaar mag derhalve worden aangenomen dat de extra fosfaataanvoer van 5 kg/ha bij toepassing van bodemverbeteraars tot een minder snelle daling van de fosfaattoestand van de bodem kan leiden. Echter, zoals reeds opgemerkt in paragraaf 3.2.3, kan de toepassing van bodemverbeteraars ook zorgen voor hogere gewasopbrengsten en daarmee een hogere fosfaatafvoer, waardoor er misschien geen nadelig effect is op de snelheid waarmee de fosfaattoestand van de bodem afneemt. Wat uiteindelijk het effect zal zijn op de fosfaattoestand van de bodem is daarom moeilijk te voorspellen en is net als nitraatuitspoeling een onderwerp voor nader onderzoek.

3.4 Overig milieuhygiënische aspecten

Voor het overige moeten bodemverbeteraars voldoen aan de wettelijke normen die worden genoemd in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2018-09-22>) en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0018989/2018-06-06>). Het gaat hierbij om de mate waarin de bodem door toepassing van het product wordt belast met contaminanten en andere verontreinigingen. Het betreft normen voor de maximumgehalten van:

- zware metalen en arseen;
- visuele verontreiniging zoals glas en plastic;
- organische contaminanten (PCB's, PAK, micro-plastics dioxinen, pesticiden, biociden enz.);
- pathogenen/ziektekiemen voor mens, dier en gewas en onkruidzaden.

4 Bespreking indicatoren

4.1 Welke criteria?

Het doel van deze studie was om na te gaan welke criteria en grenswaarden het best gebruikt kunnen worden voor het maken van onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars.

Daarmee wordt beoogd een heldere indeling te krijgen van:

- organische producten die aangemerkt mogen worden als bodemverbeteraar en van
- organische producten waarbij het accent meer op het gebruik als meststof ligt dan op organische-stofvoorziening.

Het gebruik van bodemverbeteraars dient bij te dragen aan de organische-stofvoorziening van en C-vastlegging in landbouwbodems en in het kader van het 6^e actieprogramma gepaard te gaan met een laag risico van N- en P-verlies naar grond- en oppervlaktewater.

In een aantal benaderingen worden vergelijkbare criteria gehanteerd, waarbij het EOS-gehalte, de verhouding tussen EOS en een aantal N-fracties en de verhouding tussen EOS en P₂O₅ veelal terugkomen. Er zijn ook verschillen, met name waar het gaat om de N-fractie die meegenomen wordt in de beoordeling. De karakterisering is enerzijds gericht op de landbouwkundige waarde van de producten en anderzijds op het inschatten van milieurisico's, zoals nitraatuitspoeling. Zo wordt in het 6^e actieprogramma voorgesteld om de verhouding tussen EOS en N-totaal te hanteren voor het inschatten van het risico van nitraatuitspoeling, waarbij de CDM aangeeft dat in aanvulling daarop ook nog de verhouding tussen EOS en de niet-werkzame N kan worden meegenomen. Anderen geven aan dat de verhouding tussen EOS en N-werkzaam of N_{min} beter geschikt zijn voor de karakterisering van de producten (Veeken et al., 2016; Postma et al., 2017). In Vlaanderen worden indices gehanteerd op basis van het organische koolstofgehalte, de stabiliteit van organische stof in het materiaal en de hoeveelheid N en P in de producten (OVAM, 2002; Vlaco, 2015). De twee indices zijn:

Index 1: $(\% \text{ OC} * \% \text{ EOS}) / (\% \text{ N}_{\text{tot}} * 10)$

Index 2: $(\% \text{ OC} * \% \text{ EOS}) / ((\% \text{ N}_{\text{tot}} + 5 * \% \text{ P}_{\text{tot}}) * 10)$

Deze sluiten nauw aan bij de voorstellen in het 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn en de CDM (2017b). OVAM (2002) gaf echter aan dat er bij de indices geen rekening wordt gehouden met de beschikbaarheid van N in het organisch materiaal en dat het wenselijk zou zijn de indices te verfijnen op basis van de N- en P-beschikbaarheid.

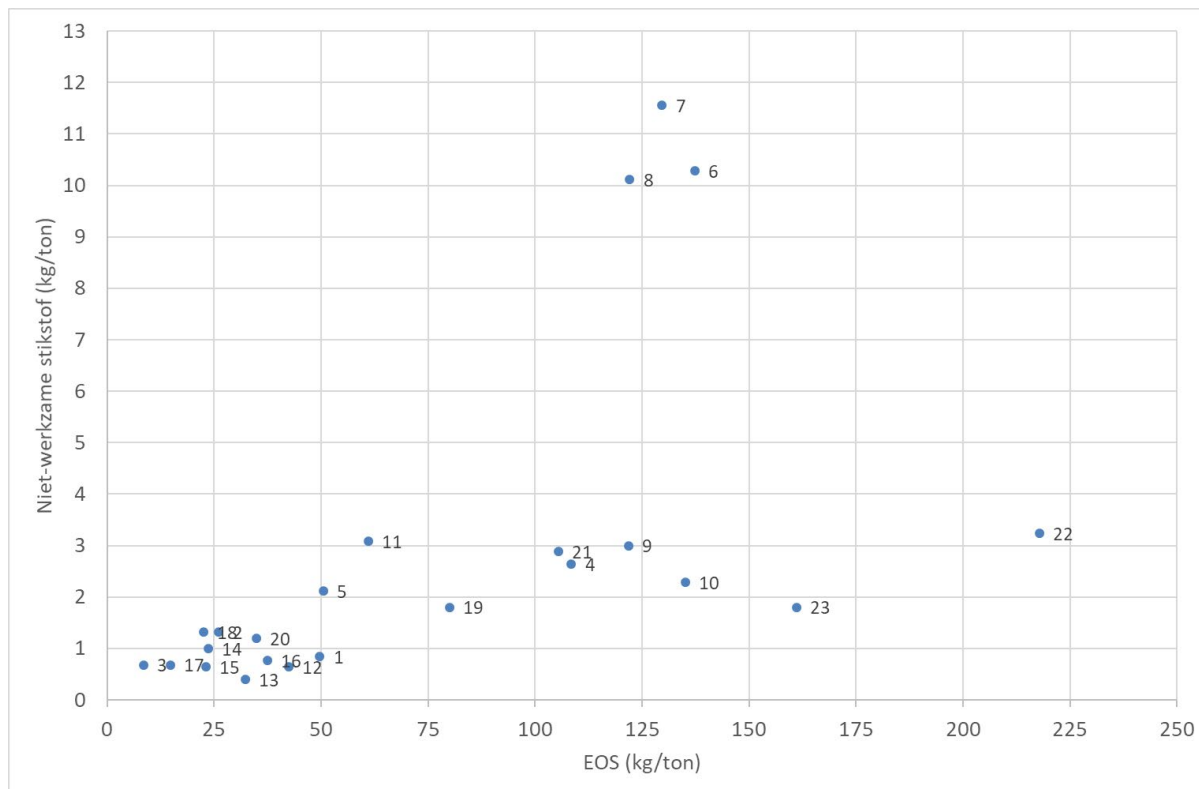
Index 2 van OVAM is zeer sterk gecorreleerd met zowel EOS/P₂O₅ als EOS/N-totaal. Wanneer de laatste twee beide zouden worden gehanteerd als criteria voor de beoordeling van organische producten, biedt index 2 de mogelijkheid om ze te combineren tot één criterium.

OVAM (2002) en VLACO (2015) hanteren als grenswaarde voor een bodemverbeteraar een waarde van 3,5. Bij hogere waarden is sprake van een bodemverbeteraar, bij lagere waarden van een meststof. VLACO heeft voor de omrekening van OS naar C een omrekeningsfactor van 1,8 gebruikt, ofwel 56% C in de organische stof. In dit rapport is uitgegaan van 50% C in de OS voor organische mest (paragraaf 2.2). Wanneer de grenswaarde hiervoor wordt gecorrigeerd, zou deze 3,15 bedragen.

EOS/N-werkzaam en EOS/N_{min} zijn goed bruikbaar om de relatieve bijdrage van de organische stoflevering en de stikstoflevering te karakteriseren (onderdeel van de landbouwkundige waarde), maar lijken niet geschikt om het risico van nitraatuitspoeling aan te duiden. De werkzame N is de stikstof die beschikbaar is voor gewasopname in het eerst groeiseizoen na toediening van de mest c.q. de hoeveelheid die eenzelfde werking heeft als kunstmest-N (KAS). Het verliesrisico hiervan zal niet hoger zijn dat van kunstmest-N.

De CDM stelt voor om als aanvullend criterium een laag gehalte aan niet-werkzame stikstof per kg EOS (ofwel een hoog gehalte aan EOS per kg niet-werkzame N) als criterium op te nemen om het risico voor uitspoeling vooral bij veeljarige toepassing in beeld te brengen. De niet-werkzame stikstof is het deel van de organische stikstof dat op de lange termijn vrijkomt door mineralisatie buiten het groeiseizoen, waardoor het verloren kan gaan door uitspoeling en/of denitrificatie.

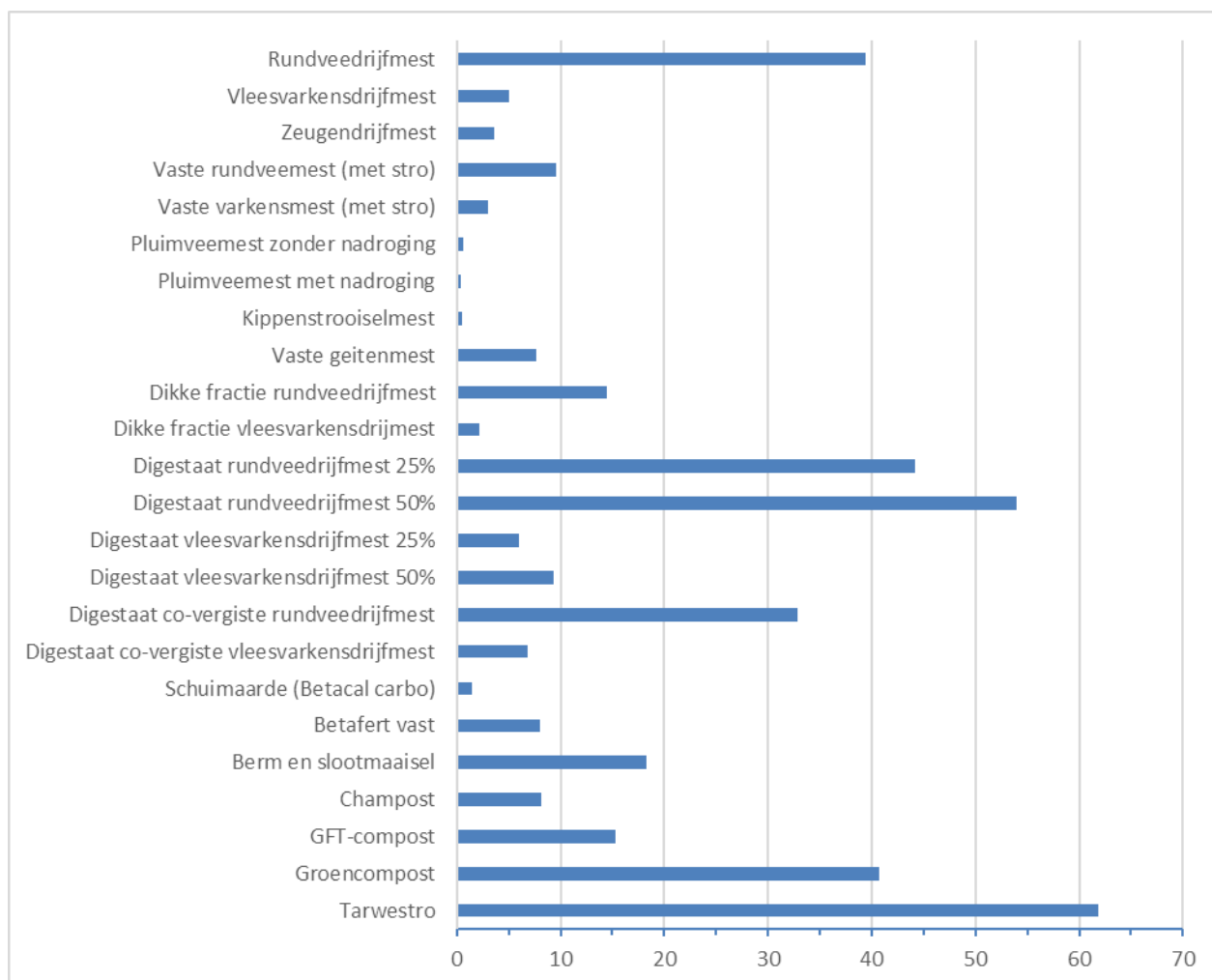
De correlatie tussen EOS en niet-werkzame N is matig en er is geen lineair verband tussen beide (figuur 19). De kippen-/pluimveemesten (nrs. 6, 7 en 8) springen er in dit verband ongunstig uit: een hoge hoeveelheid niet-werkzame N in verhouding tot de EOS-aanvoer. N.B.: deze producten bevatten een hoog gehalte EOS per ton versproduct (tabel 3), één van de criteria die in het 6^e actieprogramma is genoemd. GFT-compost en groencompost (nrs. 22 en 23) komen er relatief gunstig uit. Dit blijkt ook uit figuur 5 (in paragraaf 3.2), waarin de verhouding EOS/N-niet-werkzaam is weergegeven. Hierbij komen RDM-digestaat (nrs. 12 en 13) en in wat mindere mate rundveedrijfmest (nr. 1) en de dikke fractie daarvan (nr. 10) er ook gunstig uit.



Figuur 19 Niet-werkzame stikstof (deel van Norg dat vrijkomt buiten gewasopnameperiode) uitgezet tegen de effectieve organische stof (EOS). (Voor de betekenis van de nummers, zie tabel 3 of 4.)

In het 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn wordt het gehalte aan fosfaat en de verhouding tussen EOS en fosfaat niet als direct criterium gebruikt om mestsoorten aan te duiden als bodemverbeteraar. Men gaat er hierbij vanuit dat de beperkte hoeveelheid fosfaat die extra mag worden gebruikt, ertoe zal leiden dat wordt gekozen voor een organische-stofrijke meststof met een zo laag mogelijk fosfaatgehalte. Dat laatste zal ook wel gebeuren, maar betekent niet automatisch dat de aanvoer aan niet-werkzame N laag is. Uit figuur 9 in paragraaf 3.2 blijkt dat er bij een toediening van 20 kg P₂O₅ een vrij sterk verband is tussen de aanvoer van N-organisch en het fosfaatgehalte in de organische stof van het product: hoe lager dit gehalte, hoe hoger de aanvoer van N-organisch. Een hogere aanvoer van N-organisch betekent een hogere aanvoer van niet-werkzame N op lange termijn, aangezien deze is berekend als 40% van N-organisch, conform de aanname die in het WOG-model wordt gehanteerd. De keuze voor producten met een lager fosfaatgehalte zal leiden tot een hogere toediening van N-organisch (en dus een hoger risico van nitraatuitspoeling). Een potentieel criterium dat dit probleem ondervangt, is de EOS-aanvoer per kg niet-werkzame N per kg fosfaat: $\text{EOS} / (\text{N-nwz} \cdot \text{P}_2\text{O}_5)$. Deze berekende index is voor de verschillende producten weergegeven in figuur 20. Rundveedrijfmest, de RDM-digestaten en groencompost scoren hierbij (naast tarwestro) het hoogste. De hoge score voor RDM en de RDM-digestaten komt mede door het lage fosfaatgehalte in deze producten (zie tabel 3 in paragraaf 2). Het aandeel minerale stikstof in deze producten is echter relatief hoog, waardoor ze evengoed als meststof kunnen worden aangemerkt dan als bodemverbeteraar.

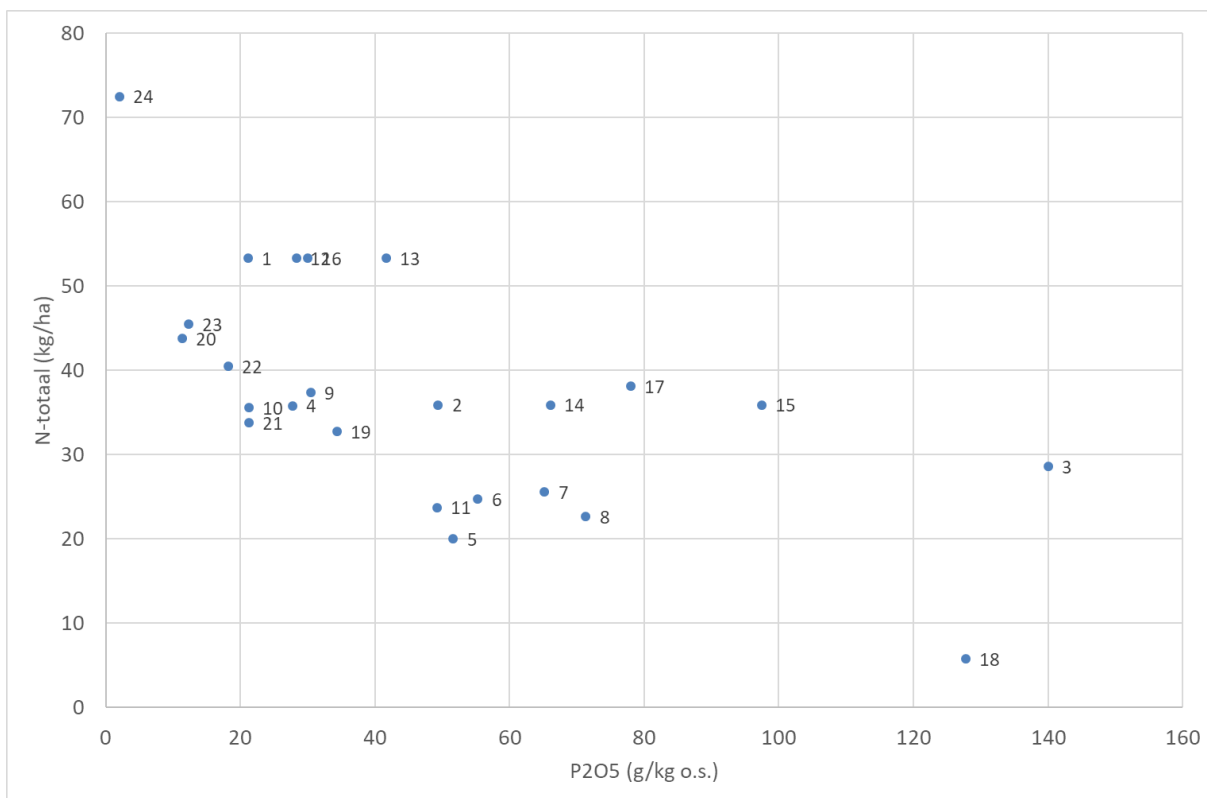
Tevens moet worden opgemerkt dat het resultaat afhankelijk is van de HC die wordt gehanteerd. Bij hantering van een lager HC voor mestproducten afkomstig van herkauwers (rundvee, geiten en schapen), zoals is voorgesteld door de CDM (paragraaf 2.4), scoren deze producten (incl. de RDM-digestaten) minder hoog.



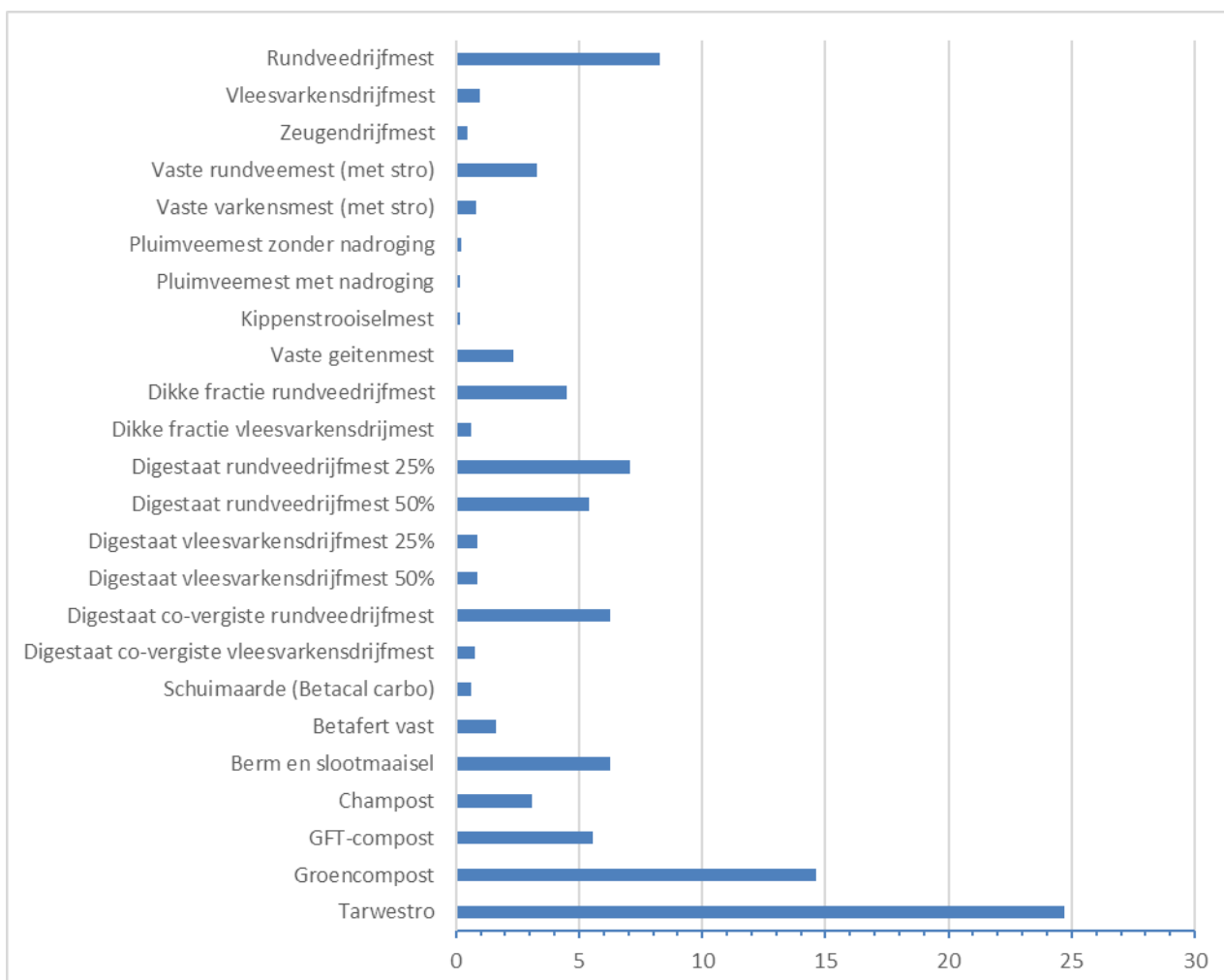
Figuur 20 EOS-aanvoer per kg niet-werkzame stikstof per kg fosfaat

De ratio's $\text{EOS}/\text{P}_2\text{O}_5$ en $\text{EOS}/\text{N-totaal}$ zijn door de CDM (2017b) aangeduid als geschikte criteria. De verhouding $\text{EOS}/\text{N-totaal}$ is echter wat minder specifiek om het risico op N-verlies aan te duiden dan de verhouding $\text{EOS}/\text{niet-werkzame N}$. Het werkzame deel van de stikstof draagt niet bij aan een hoger risico dan gebruik van kunstmest-N. $\text{EOS}/\text{N-totaal}$ lijkt daarmee een iets minder geschikte indicator in de context van het 6^e actieprogramma.

De relatie tussen de aanvoer van N-organisch en het fosfaatgehalte in de organische stof van het product die in figuur 9 in paragraaf 3.2 is weergegeven, is er in mindere mate ook voor de aanvoer van N-totaal (figuur 21). Het kan voor de beoordeling van organische producten zinvol zijn om $\text{EOS}/\text{N-totaal}$ en P_2O_5 beide op te nemen dan wel te verdisconteren in één indexwaarde, zoals bij de OVAM-index 2. Analooq aan het hierboven beschreven criterium voor niet-werkzame stikstof, zou kunnen worden uitgegaan van de EOS-aanvoer per kg N-totaal per kg fosfaat: $\text{EOS} / (\text{N-totaal} * \text{P}_2\text{O}_5)$. Deze berekende index is voor de verschillende producten weergegeven in figuur 22. Groencompost scoort hierbij (na tarwestro) veruit het hoogste, op enige afstand gevolgd door RDM, de RDM-digestaten, berm- en slootmaaisel en GFT-compost.



Figuur 21 Aanvoer van N-totaal (kg/ha) bij een aanvoer van 20 kg P_2O_5 per ha, uitgezet tegen het P_2O_5 -gehalte per kg organische stof per product



Figuur 22 EOS-aanvoer per kg N-totaal per kg fosfaat

De niet-werkzame N in figuur 17 is berekend als 40% van N-organisch, conform de aanname die in het WOG-model wordt gehanteerd. Het uitgangspunt dat alle Norg op termijn vrijkomt en het deels uitspoelt naar het grondwater, is een worst case-scenario, dat men zou kunnen hanteren om zo min mogelijk risico te lopen. De nitraatnorm is per slot van rekening ingesteld omwille van de volksgezondheid. Anderzijds wordt hierdoor het uitspoelingsrisico van producten met stabiele organische stof mogelijk overschat, zeker in de eerste decennia tot misschien wel de eerste vijftig à honderd jaar bij veeljarige toepassing (paragraaf 3.2). Vraag is dan ook tot op welke termijn het uitspoelingsrisico moet worden beoordeeld. De lange-termijnberekeningen met verschillende OS-afbraakmodellen lopen nogal uiteen en het is niet duidelijk in hoeverre de uitkomsten van deze modellen betrouwbaar zijn. Veldproeven duiden vooralsnog niet op een hogere nitraatuitspoeling bij toepassing van compost. Het effect van organische stof in de bodem op de grootte van de nitraatuitspoeling blijkt niet eenduidig te zijn: het kan de nitraatuitspoeling verhogen dan wel verlagen.

Hoewel niet valt uit te sluiten dat de nitraatuitspoeling toeneemt, als stikstof uit kunstmest en/of dierlijke mest wordt vervangen door stikstof uit organische-stofrijke bodemverbeteraars, is de onzekerheid over dit effect nog groot. Bij hantering van verhouding EOS/N-niet-werkzaam als indicator om het risico van nitraatuitspoeling te karakteriseren, zou rekening moeten houden met vragen over de termijn (in jaren) waarop de Norg vrijkomt en op welke termijn en in welke mate het daadwerkelijk bijdraagt aan het risico van nitraatuitspoeling. De termijn die hierbij wordt gehanteerd, zal een politieke keuze zijn. Wellicht kan dezelfde termijn worden gehanteerd als voor klimaatscenario's waar meestal een tijdshorizon van 50 tot 100 jaar wordt gehanteerd (bron: KNMI). Een index gebaseerd op niet-werkzame N kan worden toegepast als er duidelijkheid is over de bijdrage van bodemverbeteraars aan de nitraatuitspoeling dan wel deze goed kan worden gekwantificeerd. Zolang dit niet duidelijk is, kan een dergelijke index beter worden geparkeerd.

Dat volgens de modelberekeningen van de CDM veeljarig gebruik van GFT-compost op zandgronden tot meer nitraatuitspoeling leidt dan veeljarig gebruik van varkensmest of rundveemest (zie paragraaf 3.2), komt omdat voor de N-gebruiksnormen alleen de 1^e-jaars N-werking wordt meegeteld en geen rekening wordt gehouden met de N-nawerking in de navolgende jaren, welke bijdraagt aan een hogere beschikbare hoeveelheid stikstof in de bodem, wat naast een hogere gewasopbrengst, leidt tot een hoger N-overschot en een hogere, berekende nitraatuitspoeling. Dit pakt voor composten ongunstiger uit dan voor VDM en RDM. Maar het is dus een gevolg van de rekensystematiek voor de gebruiksnormen en niet van de eigenschappen van de producten zelf.

Bij goed landbouwkundige toepassing zal bij veeljarig gebruik van GFT-compost de aanvullende kunstmestgift in de loop van de jaren dalen. In een scenarioverkenning voor het systeemonderzoek Vredepeel is aangetoond dat de uitspoeling dan niet stijgt (Hospers-Brands & van der Burgt, 2013).

Tot slot moet er rekening mee worden gehouden dat GFT- en groencompost voor een deel uit grond bestaan met daarin mineralen. Deze grond wordt met de grondstoffen(resten) voor de compostproductie aangevoerd en is afkomstig is van landbouwpercelen en de groensector.

In opdracht van het ministerie van LNV heeft de unit Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) Natuur en Milieu van WUR een deskstudie uitgevoerd naar de hoeveelheid fosfaat in compost die afkomstig is uit grond (Ehlert, 2005). Dit heeft erin geresulteerd dat de fosfaataanvoer met plantaardige composten wettelijk voor de helft is vrijgesteld (tot een maximum 3,5 g fosfaat per kg droge stof), omdat het deel van het fosfaat dat is gebonden aan gronddeeltjes, geen onderdeel uitmaakt van het fosfaat dat als meststof wordt aangevoerd via compost; het verhoogt het fosfaatgehalte in de bodem ook niet. Een punt van discussie is of deze vrijstelling ook moet worden doorgevoerd in de indices die zijn gebaseerd op fosfaat. $\text{EOS} / \text{P}_2\text{O}_5$ wordt dan voor GT- en groencompost $\text{EOS} / (0,5 * \text{P}_2\text{O}_5)$ en $\text{EOS} / (\text{N-totaal} * \text{P}_2\text{O}_5)$ wordt dan $\text{EOS} / (\text{N-totaal} * 0,5 * \text{P}_2\text{O}_5)$. Dit betekent dat de waarden voor GFT- en groencompost bij deze indicatoren dan twee keer zo groot worden en het verschil ten opzichte van de andere organische producten veel groter wordt (zie o.a. tabel 4, figuur 1 en figuur 22).

4.2 Welke grenswaarden?

Als de criteria voor het onderscheid tussen organische meststoffen en bodemverbeteraars zijn vastgesteld, dienen grenswaarden te worden afgeleid. Het 6^e actieprogramma geeft aan dat bodemverbeteraars relatief veel EOS moeten aanvoeren naar de bodem met een relatief laag risico op uitspoeling van stikstof. Als criterium wordt de verhouding tussen EOS en N-totaal genoemd. Zoals hiervoor is aangegeven, is dit een vrij geschikt criterium voor het inschatten van het risico van nitraatuitspoeling, maar is de verhouding tussen EOS en niet-werkzame N wat specifiek (die heeft direct betrekking op het N-overschot, waar de nitraatuitspoeling in modellen van wordt afgeleid) en daardoor beter. Dit criterium kan nog verder worden aangescherpt door de ratio EOS/N-niet-werkzaam per kg fosfaat uit te drukken. Maar door de onduidelijkheid over de bijdrage van bodemverbeteraars aan de nitraatuitspoeling is twijfelachtig of deze indicator op dit moment geschikt is om tot een classificatie te komen.

Grenswaarden zijn niet zo eenvoudig te geven. De keuze van de grenswaarden zal enerzijds moeten zijn gericht op het minimaliseren van de verliesrisico's, maar anderzijds moet er rekening mee worden gehouden dat er bij de gekozen grenswaarde voldoende organische producten beschikbaar zijn om te bodem te kunnen verbeteren in Nederland.

Als wordt uitgegaan van EOS/N-totaal en EOS/P₂O₅ dan zijn er op basis van de figuur 1 duidelijke grenzen te trekken tussen GFT- en groencompost enerzijds (en eventueel champost; tabel 7) en de andere producten. Bij de overige producten zijn er geen duidelijke grenzen te trekken. Strorijke vaste dierlijke mest (die in het 6^e actieprogramma mede is voorgesteld) onderscheidt zich hierbij niet duidelijk van andere producten en dikke fractie van gescheiden rundveedrijfmest alleen op basis van EOS/N-totaal.

Als EOS/niet-werkzame N als criterium wordt genomen (zie figuur 5 in paragraaf 3.2), dan onderscheiden GFT- en groencompost en de RDM-digestaten (zonder co-vergisting) zich van de andere producten, gevolgd door rundveedrijfmest en de dikke fractie van RDM.

Als EOS/(N-niet-werkzaam * P₂O₅) als criterium wordt genomen, onderscheiden de RDM-digestaten, RDM en groencompost zich van de andere producten. Dat geldt ook als in deze index wordt uitgegaan van de hoeveelheid niet-werkzame N op een termijn van 100 jaar.

Als EOS/(N-totaal * P₂O₅) als criterium wordt genomen, dan onderscheidt alleen groencompost zich duidelijk van andere producten, op afstand gevolgd door RDM, de RDM-digestaten en berm- en slootmaaisel.

N.B.: voor alle voornoemde criteria geldt dat ze zijn gebaseerd op EOS en dat dus de humificatiecoëfficiënt (HC) erin is verdisconteerd. Bij hantering van andere humificatiecoëfficiënten dan waarvan is uitgegaan in tabel 3, veranderen de waarden van de producten voor deze criteria en treden er verschuivingen op in hoe ze zich ten opzichte van elkaar verhouden. Het is daarom van belang dat de HC per type organische meststof op eenduidige wijze wordt afgeleid.

Met name digestaten verdienen hierbij aandacht, omdat over de stabiliteit van de organische stof hiervan nog weinig bekend is en dit bovendien afhangt van de toevoeging en aard van co-materialen aan drijfmest in de vergister en de duur c.q. mate van OS-afbraak tijdens het vergistingsproces.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Organische producten kunnen worden onderscheiden naar:

- Bodemverbeteraars: producten die vooral bijdragen aan de organische stofvoorziening van en koolstofvastlegging in landbouwbodems en waarbij de nutriëntenlevering relatief laag is.
- Organische meststoffen: producten waarbij het accent meer op de nutriëntenlevering ligt dan op organische-stofvoorziening.

In het kader van de 6^e actieprogramma Nitraatrichtlijn wordt voorgesteld op percelen met een hoge fosfaattoestand (Pw-getal >55) 5 kg fosfaat per hectare per jaar extra gebruiksruimte te geven, indien daartoe een meststof wordt gebruikt die het gehalte aan organische stof in de bodem positief beïnvloedt. De eis daarbij is dat mestsoorten worden gebruikt die binnen de kaders van het Nederlandse mestbeleid leiden tot een laag risico op uitspoeling van stikstof. De daarbij genoemde criteria voor organische-stofrijke meststoffen, een hoog gehalte aan effectieve organische stof en een laag gehalte aan stikstof in relatie tot het gehalte aan (effectieve) organische stof, zijn niet voldoende om het risico op nitraatuitspoeling aan te duiden.

Aanbevolen wordt om ook rekening te houden met het fosfaatgehalte. Geschikte criteria die voorlopig kunnen worden gehanteerd, zijn:

- een hoge verhouding EOS / N-totaal alsook een hoge verhouding EOS / P₂O₅;
- of een hoge verhouding EOS / N-totaal uitgedrukt per kg fosfaat

Als er uit nader onderzoek meer duidelijkheid komt over de mate waarin bodemverbeteraars bijdragen aan de nitraatuitspoeling, zou in plaats van N-totaal het risicovolle deel van de stikstof in de criteria kunnen worden opgenomen.

Grenswaarden voor de criteria zijn niet eenvoudig te geven, maar bekeken moet worden bij welke grenswaarden een maximale bijdrage aan de organische stofvoorziening en C-vastlegging en een beperkt risico van nitraatuitspoeling wordt gerealiseerd.

5.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om breed draagvlak te genereren bij diverse stakeholders voor de voorgestelde criteria. Dit kan worden verkregen d.m.v. een workshop.

Bij de verhouding tussen EOS en niet-werkzame N, zal het risico van nitraatuitspoeling tevens worden beïnvloed door de termijn waarop de niet-werkzame N vrijkomt door mineralisatie. Aanbevolen wordt om na te gaan, hoe dit kan worden meegenomen in dit criterium: tot op welke termijn moet de N-mineralisatie worden bekeken (bijvoorbeeld 20, 50 of 100 jaar) en welk OS-afbraak- en mineralisatiemodel moet worden gehanteerd om dit te voorspellen? Verder wordt aanbevolen om in langjarige veldproeven waarin toediening van organische meststoffen met stabiele organische stof wordt vergeleken met andere (organische) producten, aanvullende metingen te doen (voor zover dat nog niet gebeurd) om het effect op nitraatverlies en op het fosfaatoverschot in de bodem te kunnen kwantificeren.

Verder is een juiste, eenduidige karakterisering van de afbreekbaarheid ofwel stabiliteit van de organische stof van belang voor het aanduiden van organische producten als bodemverbeteraar en dat vraagt nog om vervolgonderzoek. Als dat is gebeurd, kunnen ook de grenswaarden voor bodemverbeteraars worden vastgesteld.

Aanbevolen wordt in een vervolgstudie de grenswaarden af te leiden waarbij een maximale bijdrage aan de organische stofvoorziening en koolstofvastlegging en een beperkt risico van nitraatuitspoeling wordt gerealiseerd.

Literatuur

- Anoniem (2008). ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het koolstofbeheer in de landbouwbodems. Bodemkundige Dienst België en Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne, gent.
- CDM (2017a). CDM-advies 'Organische stof in de bodem en nitraatuitspoeling', 40 p.
- CDM (2017b). CDM-advies 'Criteria voor organische-stofrijke meststoffen', 14 p.
- Coleman K & DS Jenkinson (2014) RothC – A model for the turnover of carbon in soil. Model description and users guide. Rothamsted Research, Harpenden.
- De Willigen P., B.H. Janssen, H.I.M. Heesmans, J.G. Conijn, G.J. Velthof & W.J. Chardon (2008). Decomposition and accumulation of organic matter in soil; comparison of some models. Alterra-rapport 1726, 73 p.
- CEP, 2016. Circular Economy Package. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009. Brussels 17.3.2016, COM(2016) final. 2016/0084 (COD) + Annexes 1 to 5.
<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/15946>
- Groenendijk, P., G.L. Velthof, J.J. Schröder, T.J. de Koeijer & H.H. Luesink (2017). Milieueffectrapportage van maatregelen zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn. Op planniveau. Rapport 2842, Wageningen Environmental Research, Wageningen, 111 p.
- Conijn, J.G. & J.P. Lesschen (2015). Soil organic matter in the Netherlands. Quantification of stocks and flows in the top soil. PRI report 619, Alterra report 2663. Wageningen UR, p. 26.
- Ehlert. P.A.I., 2005. Toepassing van de basisvruchtbenadering op fosfaat van compost; Advies. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 5, 66 p.
- Hendriks, C.M.A. (2011). Quick scan organische stof: kwaliteit, afbraak en trends. Alterra-rapport 2128, Wageningen, 34 p.
- Hospers-Brands, M. & G.J. van der Burgt (2013). Verkenningen Organische Stof. Proefbedrijf Vredepeel. Louis Bolk Instituut. Driebergen. Publicatienummer: 2013-023 LbP. 39 p.
- Inagro (2011). Code van goede praktijk bodembescherming - Advies organische koolstofgehalte en zuurtegraad. http://leden.inagro.be/Artikel/guid/6be0af5f-b8eb-40e0-acd0-472a0399a2a1_539
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. Plant & Soil 76, p. 297-304.
- Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant and Soil 181, p. 39-45.
- Janssen, B.H. (2002). Organic Matter and Soil Fertility. Collegedictaat J 100-225, editie 2002, Landbouwuniversiteit Wageningen, 247 p.
- Janssen, B.H., P. van der Sluijs & H.R. Ukkerman (1992). Organische stof. In: Locher, W.P. & H. de Bakker. Bodemkunde van Nederland. Deel 1. Algemene Bodemkunde, 3^e oplage, p. 109-127.
- Kallenbach CM, Frey SD & A Stuart Grandy (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysical controls. Nature Communications 28 Nov 2016
- Kolenbrander, G.J. (1969). De bepaling van de waarde van verschillende soorten organische stof ten aanzien van hun effect op het humusgehalte bij bouwland. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Lehmann J & Kleber M (2015). The contentious nature of organic matter. Nature 528: 60-68.
- LNV (2018a). Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden | Nederland als koploper in kringlooplandbouw, september 2018, 39 p.
- LNV (2018b). Brief Bodemstrategie Tweede Kamer, 23 mei 2018, 7 p.
- Ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Infrastructuur en Waterstaat (2017). Zesde Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2018 - 2021), 163 p.
- Moolenaar, S.W., A. Veeken en R. Postma (2002). Toetsen en normeren stabiliteit van bodemverbeteraars. Rapport 844.02, NMI, Wageningen, 48 p.

-
- Postma, R. & G.H. Ros (2016). Bepalen van stabiliteit van GFT- en groencomposten. Rapport 1580, NMI, Wageningen, 21 p.
- Postma, R. & G.H. Ros (2017). Het gebruik van organische bodemverbeteraars in relatie tot het mestbeleid. Rapport 1672.N.16. NMI, Wageningen, 19 p.
- Postma, R. & A. Veeken (2017). Karakterisering van organische meststoffen. Rapport 1716.N.16. NMI, Wageningen, 17 p.
- Postma, R. & T.A. van Dijk (2004). Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; verfijning model Minip. Rapport OV0414, Telen met Toekomst, 32 p.
- OVAM (2002). Oriënterend onderzoek naar de invullingen van de begrippen mineralenrijk – mineralenarm, humusrijk, 33 p.
- J.J. Schröder, J.J., J.J. de Haan & J.R. van der Schoot (2015). Meststofgebruiksruimte in relatie tot opbrengstniveaus, mestsoort en rijenbemesting. Verkenning van equivalenten maatregelen met het WOG 2.0 rekenmodel. PPO nr. 638. PPO-agv, Lelystad, 44 p.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. Bode, M.J.C., W. van Dijk, W., J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems (2004). Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Rapport 79, Plant Research International, Wageningen, 166 p.
- Staps S., G.J. van der Burgt & C. Koopmans (2017). Beleidsvorming CE biomassa en voedsel; verkennende studie. Notitie deel 1: kennisvragen 1 t/m 3. Projectnummer BB261, Louis Bolk Instituut, Bunnik, 29 pp.
- Ten Berge, H.F.M., A.M. van Dam, B.H. Janssen & G.L. Velthof (2007). Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Werkdocument 47. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen UR, 75 p.
- Van der Burgt, G.J.H.M., P.H.M. Dekker, W.C.A. van Geel, J.G. Bokhorst & W. van den Berg (2011). Duurzaamheid organische stof in mest. Analysemethoden om de stabiliteit van de organische stof van verschillende organische meststoffen inclusief digestaat te beoordelen. Eindrapportage 2010. Biokennis. PPO nr. 448. PPO-AGV, Lelystad, 72 p.
- Van Dijk, W., A.M. van Dam, J.C. van Middelkoop, F.J. de Ruiter & K.B. Zwart (2005a). Advies voor protocol voor het vaststellen van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen. PPO-rapport 349, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 26 p.
- Van Dijk, W., A.M. van Dam, J.C. van Middelkoop, F.J. de Ruijter, & K.B. Zwart (2005b). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-rapport 343, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 50 p.
- Van Geel, W., & W. van Dijk (2013). Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's. Deskstudie in het kader van Energierijk. ACRRES-Wageningen UR, PPO nr. 565
- Van Geel, W., & J. de Haan (2007). Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. PPO projectnr. 32530133. PPO agv, Lelystad, 27 p.
- Veeken A., F. Adani, D. Figueiro & L. Stoumann Jensen (2016). The value of recycling organic matter to soils - Classification as organic fertiliser or organic soil improver. Publication of EIP-Agro Focus Group on nutrient cycling. 9 pp. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg19_minipaper_5_value_of_organic_matter_en.pdf.
- Velthof, G.L. (2004). Achtergronddocument bij enkele vragen van de evaluatie Meststoffenwet 2004. Alterra-rapport 730.2. Alterra, Wageningen, 80 p.
- Velthof, G.L., P.J. van Erp & J.C.A. Steevens (1999). Karakterisering en stikstofmineralisatie van organische meststoffen in een nieuw daglicht. Meststoffen 999, p 36-43.
- Vlaco vzw (2015). Karakterisatie eindproducten van biologische verwerking, 18 p.
- Yang, H.S. & B.H. Janssen (2000). A mono-component model of carbon mineralization with a dynamic rate constant. European Journal of Soil Science 51, p. 571-529.
- Yang, H.S. (1996). Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen, 159 p.

Zwart KB (2001) Computersimulatiemodellen voor de fruitteelt. Een inventarisatie. Nota 95, Plant Research International, Wageningen.

Bijlage 1 OS-afbraakmodellen van Janssen en Yang

Afbraak van OS

Voor de berekening van de afbraak van organische stof (OS) in de bodem en de N-mineralisatie in paragraaf 3.2.2 zijn de modellen van Janssen (1984, 2002) en Yang (Yang & Janssen, 2000) gebruikt en vergeleken. Het model van Janssen beschrijft de afbraak van organische stof c.q. koolstof (C) in de bodem met de volgende formule:

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP} (4,7 ((a + t)^{-0,6} - a^{-0,6}))$$

waarin: Y_t = resterende hoeveelheid OS na t jaar

Y_0 = beginhoeveelheid verse organische stof die aan de bodem wordt toegevoegd

t = aantal jaar na toediening

a = aanvangsleeftijd ofwel initiële leeftijd van het organisch materiaal

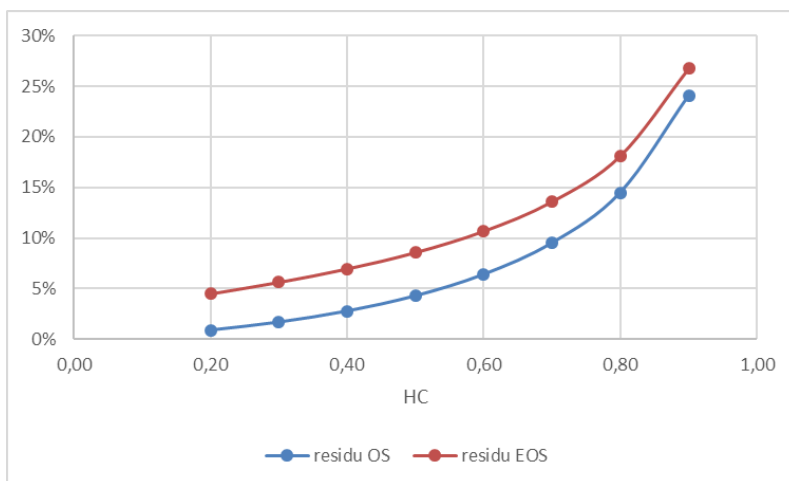
De a-waarde verschilt per organische stofbron en hangt af van de snelheid waarmee het materiaal in de bodem wordt afgebroken. Bovengrondse gewasresten van groene planten worden snel afgebroken en hebben een lage a-waarde. Compost wordt langzamer afgebroken en heeft een hogere a-waarde. De a-waarde kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt (HC), die voor diverse typen organische materiaal is vastgesteld. De HC is de fractie die een jaar na toediening van de OS nog over is (de effectieve organische stof). In bovenstaande formule is t dan gelijk aan 1, waaruit volgt:

$$HC = Y_1 / Y_0 = \text{EXP} (4,7 ((a + 1)^{-0,6} - a^{-0,6}))$$

Ingevolge het afbraakmodel van Janssen blijft er bij $t = \infty$ een resthoeveelheid over die niet verder worde afgebroken. Die resthoeveelheid is gelijk aan:

$$Y_{\infty} = Y_0 \cdot \text{EXP} (- 4,7 \cdot a^{-0,6})$$

Bij jaarlijkse aanvoer van organische stof blijft volgens het model de hoeveelheid organische stof in de bodem op lange termijn alsmaar toenemen, wat niet overeenkomt met de werkelijkheid (Janssen, 2002 en Ten Berge et al., 2007). Er wordt volgens het model nooit een evenwicht bereikt waarbij de afbraak van organische stof in de bodem gelijk is aan de aanvoer van effectieve organische stof. De resthoeveelheid die overblijft, is hoger naarmate de a-waarde dan wel HC hoger is (figuur B1).



Figuur B1 Resthoeveelheid die achterblijft in de bodem volgens het afbraakmodel van Janssen als percentage van de aangevoerde hoeveelheid OS en als percentage van de hoeveelheid EOS bij oplopende humificatiecoëfficiënt (HC)

Yang heeft de formule van Janssen als volgt aangepast (Yang & Janssen, 2000; Yang, 1996):

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP}(-R \cdot t^{1-S})$$

Hierbij is de a-waarde vervangen door de parameters R en S, die specifiek zijn voor het organische materiaal. Het model van Yang voorspelt de organische stofafbraak beter dan het model van Janssen (Postma & Van Dijk, 2004). Een knelpunt is echter dat de parameters R en S voor veel typen organisch materiaal nog niet (empirisch) zijn vastgesteld. R is de gemiddelde relatieve afbraaksnelheid in het eerste jaar na toediening en kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt, volgens:

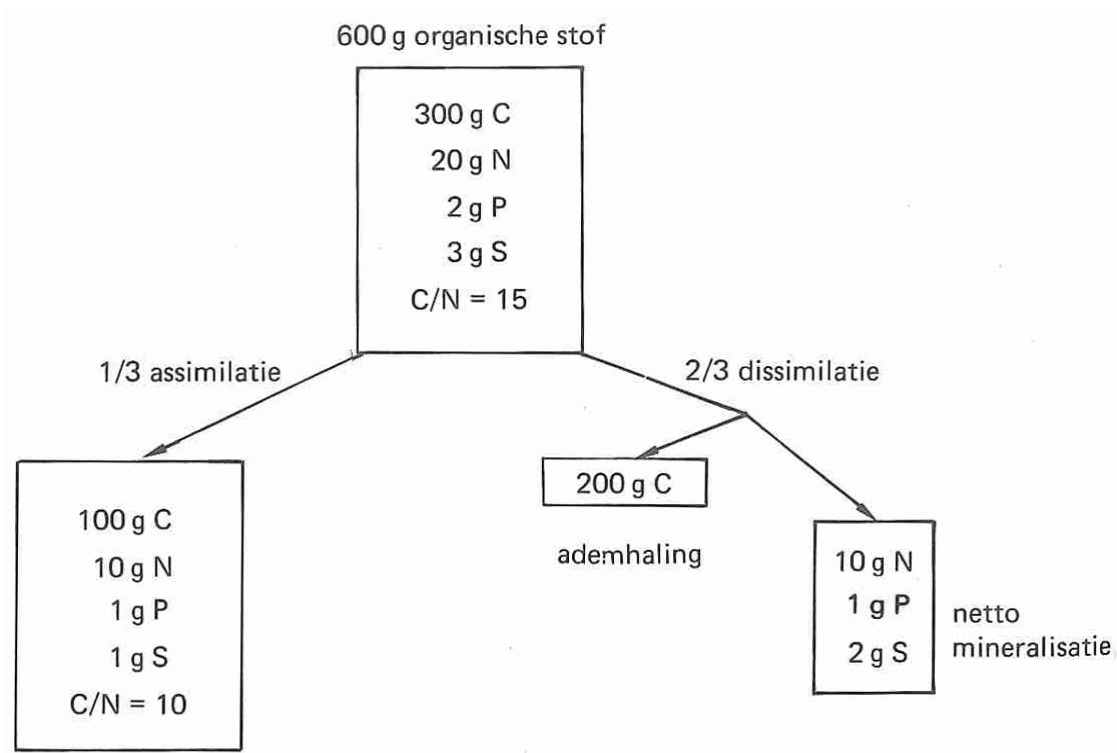
$R = -\text{LN}(HC)$ (Yang, 1996). De parameter S geeft de verouderingsnelheid van het organische materiaal aan ofwel hoe snel de afbraaksnelheid afneemt. Tot op zekere hoogte is er een verband tussen de parameters R en S. Uit gegevens van Yang (1996) heeft Janssen (persoonlijke mededeling, 2007) afgeleid dat de parameter S bij benadering is te beschrijven als $S = 0,73 \cdot \text{EXP}(-0,5 \cdot HC)$. Deze formule is in deze studie toegepast om S te bepalen.

Volgens het model van Yang wordt de aan de bodem toegevoegde organische stof uiteindelijk wel volledig afgebroken en stel zich op lange termijn nagenoeg een evenwicht in. Van Geel & De Haan (2007) vonden in een modelberekening dat dit evenwicht zich echter pas instelt bij een zeer laag organische-stofgehalte. Zij vonden ook dat na in een evenwichtssituatie na 1000 jaar de afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem volgens de berekening met het model van Yang 10%-15% zou bedragen. Ten Berge et al. (2007) vonden met een berekening met het model van Yang soortgelijke afbraakpercentages. Ook de lange-termijnvoorspelling van dit model lijkt derhalve onjuist.

Mineralisatie

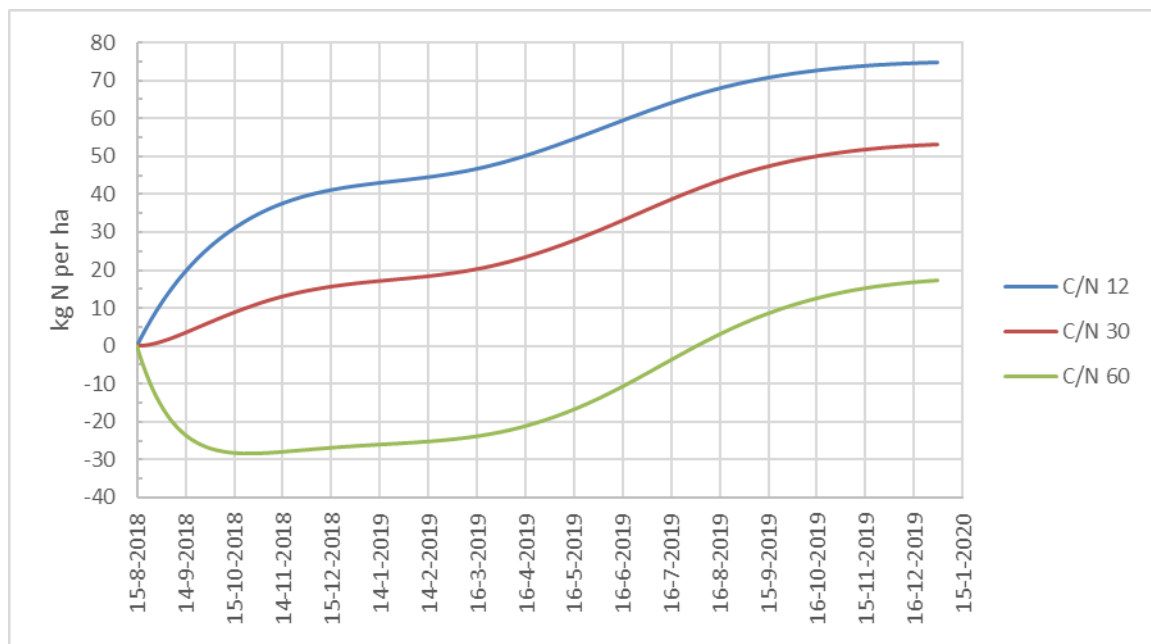
In het mineralisatiemodel Minip (Janssen, 1996) is aan het OS-afbraakmodel van Janssen een mineralisatiemodule toegevoegd. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat bij de afbraak van organische stof c.q. koolstof 1/3 deel van de koolstof in het bodemleven terecht komt en 2/3 deel in CO₂ wordt omgezet. Van de stikstof, fosfor en zwavel die bij de afbraak vrijkomt, wordt ook een deel door het bodemleven opgenomen. Hoeveel dat is, is afhankelijk van de C/N-verhouding van het bodemleven en de C/N-verhouding van de OS. Minip gaat uit van een C/N-, C/P- en C/S-verhouding in het bodemleven van respectievelijk 10, 100 en 100. Als de C/N van OS hoger is dan 10, wordt er in verhouding meer N dan C uit de afgebroken OS door het bodemleven opgenomen. Het deel van de stikstof dat niet wordt opgenomen, komt vrij en is de netto mineralisatie.

Het principe van de mineralisatie is schematisch weergegeven in figuur B2. De mineralisatiemodule kan ook worden gecombineerd met het OS-afbraakmodel van Yang of andere afbraakmodellen.



Figuur B2 Schematische voorstelling van de omzetting van organische stof met een C-gehalte van 50% en een C/N-, C/P- en C/S-verhouding van respectievelijk 15, 150 en 100 (overgenomen uit Janssen et al., 1992)

Bij een C/N in de OS >30 wordt er minerale stikstof opgenomen uit de bodem (immobilisatie). Dit is echter tijdelijk van aard. Door die vastlegging daalt de C/N-verhouding van de resterende OS en op een gegeven moment komt er weer stikstof vrij. Als er geen minerale stikstof aanwezig in de bodem, stagneert de afbraak van de OS. In figuur B3 is weergegeven hoe de netto-mineralisatie verloopt bij een product met een HC van 0,30 en verschillende C/N-waarden bij toediening van 100 kg N-organisch.



Figuur B3 Cumulatieve netto mineralisatie van stikstof bij toevoeging van 100 kg N-organisch uit verse OS aan de bodem met en HC van 0,3 en verschillende C/N-verhoudingen

Effect van temperatuur

De afbraakformules van Janssen en Yang zijn gebaseerd op een gemiddelde (jaar)temperatuur van 9 °C. Voor andere temperaturen kan een temperatuurcorrectie (f_{temp}) aan de formules worden toegevoegd:

$$Y_t = Y_0 \cdot EXP (4,7 ((a + t \cdot f_{temp})^{-0,6} - a^{-0,6}))$$

$$Y_t = Y_0 \cdot EXP (- R \cdot (t \cdot f_{temp})^{1,5})$$

Berekening van f_{temp} op basis van de temperatuur (T) in °C volgens Janssen (2002):

- $T \leq -1$: $f_{temp} = 0$
- $-1 < T \leq 9$: $f_{temp} = 0,1 (T+1)$
- $9 < T \leq 27$: $f_{temp} = 2^{(T-9)/9}$
- $T > 27$: $f_{temp} = 4$

Voor deze studie is geen temperatuurcorrectie toegepast. Inmiddels bedraagt de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland 10 °C (gebaseerd op de periode 1981-2010 (de normaalperiode) volgens gegevens van het KNMI). Dit betekent dat de OS iets sneller wordt afgebroken dan bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C en dat ook de stikstof iets sneller mineraliseert. Het verschil is echter miniem (tabel B5)

Tabel B1 Cumulatieve mineralisatie (kg N per ha) van vier verschillende organische meststoffen zoals berekend met Minip bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C en van 10 °C en toevoeging van 100 kg N-organisch aan de bodem per meststof

Jaren	<u>Varkensdrijfmest</u>		<u>Rundveedrijfmest</u>		<u>GFT-compost</u>		<u>Groencompost</u>	
	9 °C	10 °C	9 °C	10 °C	9 °C	10 °C	9 °C	10 °C
1	60	62	20	21	8	8	5	5
2	77	78	33	34	13	14	9	10
3	83	84	42	43	18	19	13	14
4	87	87	48	49	22	23	16	17
5	89	89	52	54	26	27	19	20
10	93	93	64	65	37	38	29	30
25	95	95	74	75	49	50	42	43
50	96	96	79	79	56	57	49	50
100	97	97	81	81	61	61	54	54

Bijlage 2 OS-afbraakmodel Roth-C

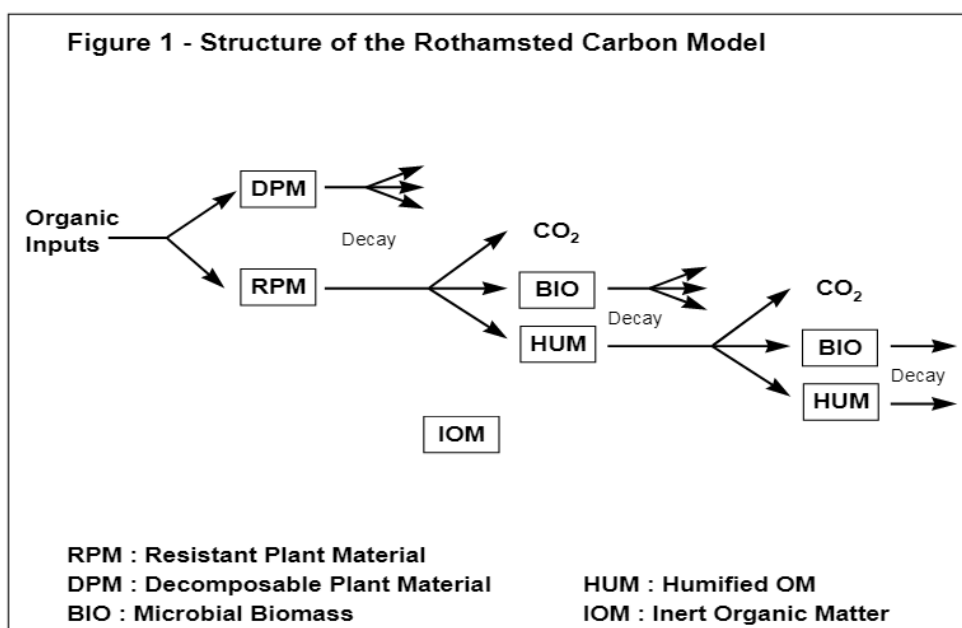
Compartimentenmodel

RothC-26.3 is een compartimenten-model voor de omzetting van organische koolstof in niet met water verzadigde bodems. Het model maakt gebruik van gewone differentiaalvergelijkingen, rekent in tijdstappen van één maand en geeft als output de totale voorraad organisch koolstof (ton ha^{-1}), de microbiële biomassa koolstof (ton ha^{-1}) en $\Delta 14\text{C}$ (voor de berekening van de radioactieve leeftijd), over een periode van één jaar tot honderden jaren.

De volgende factoren zijn in het model van invloed: kleigehalte, gemiddelde temperatuur, gemiddeld bodemvochttekort en het al dan niet bedekt zijn van de bodem. Organische stof wordt met 1^e orde snelheid afgebroken. Standaard wordt met een bodemlaag van 23 cm gerekend, maar dit kan worden aangepast.

Het model heeft vijf compartimenten (C-pools) waarvan twee voor de aanvoer van koolstof uit gewasresten en organische meststoffen, en drie voor de bodem C-pools:

DPM = Decomposable Plant material
RPM = Resistant Plant material
BIO = Biomassa
HUM = Gehumificeerd organisch materiaal
IOM = Inert organische materiaal



Figuur B4 Structuur van het RothC model (Coleman & Jenkinson, 2014)

Het model houdt verschillende waarden voor de DPM/RPM ratio aan in relatie tot landgebruik, bijvoorbeeld voor 1,44 voor verbeterd grasland en 0,67 voor matige graslanden en savannes. Voor de aanvoer van organische meststoffen zoals compost is de DPM/RPM-ratio te berekenen met een empirische formule (Anoniem, 2008) op basis van de humificatiecoëfficiënt.

Het model is ontwikkeld en gevalideerd aan bodems van de lang-termijn experimenten van Rothamsted in Zuidoost Engeland. Het bredere gebruik is getoetst aan de hand van de GMP-criteria en akkoord bevonden (Zwart, 2001) voor begraasde ecosystemen in verschillende klimaatzones, akkerbouw ecosystemen in verschillende klimaatzones en natuurlijk en bosbouwecosystemen in koele gematigde klimaten.

Bijlage 3 Correlatiematrix

Voor de in de tabellen 1 en 2 weergegeven kenmerken van organische-meststoffen en -reststromen is een correlatiematrix opgesteld om na te gaan welke kenmerken met elkaar samenhangen. Tarwestro is hierbij buiten beschouwing gelaten.

De paarsgewijze correlatie tussen de verschillende variabelen is berekend met behulp van de procedure BICORRELATE binnen het statistisch programma Genstat. Daarbij is tevens een tweezijdige waarschijnlijkheidstest uitgevoerd om na te gaan of de correlaties tussen twee bepaalde variabelen significant zijn. De correlaties zijn als volgt weergegeven:

<u>Correlatie</u>	<u>Waarde</u>	<u>Tekstkleur</u>
zeer sterk	$1 > R > 0,9$ of $-0,9 > R > -1$	rood
sterk	$0,9 > R > 0,7$ of $-0,7 > R > -0,9$	oranje
matig	$0,7 > R > 0,4$ of $-0,4 > R > -0,7$	blauw
zwak	$0,4 > R > 0,2$ of $-0,2 > R > -0,4$	groen
verwaarloosbaar	$0,2 > R > -0,2$	zwart

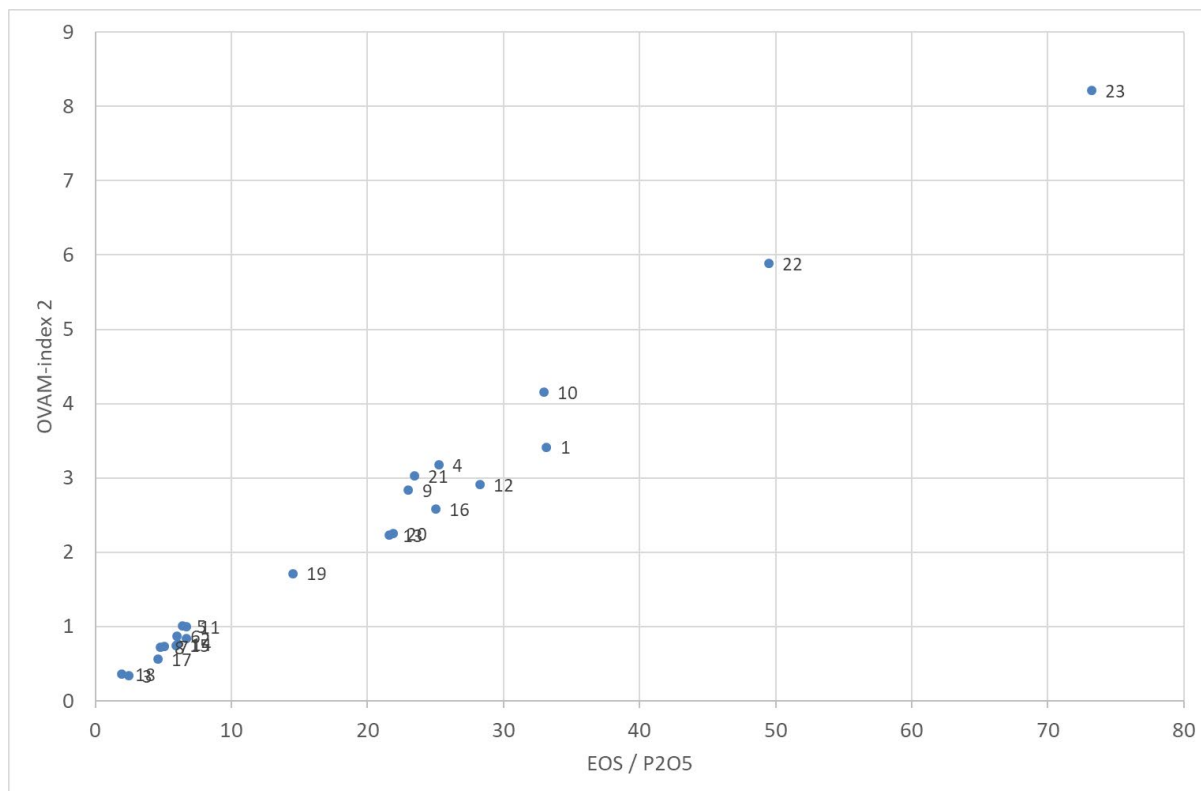
Als uit de overschrijdingskansen (p) uit de tweezijdige waarschijnlijkheidstest $<0,05$ is, is de correlatie significant. Dit is met een rode tekstkleur aangegeven in de matrix. Als $0,05 \leq p < 0,1$, is de correlatie zwak significant en met een oranje tekstkleur aangegeven.

[illegible]

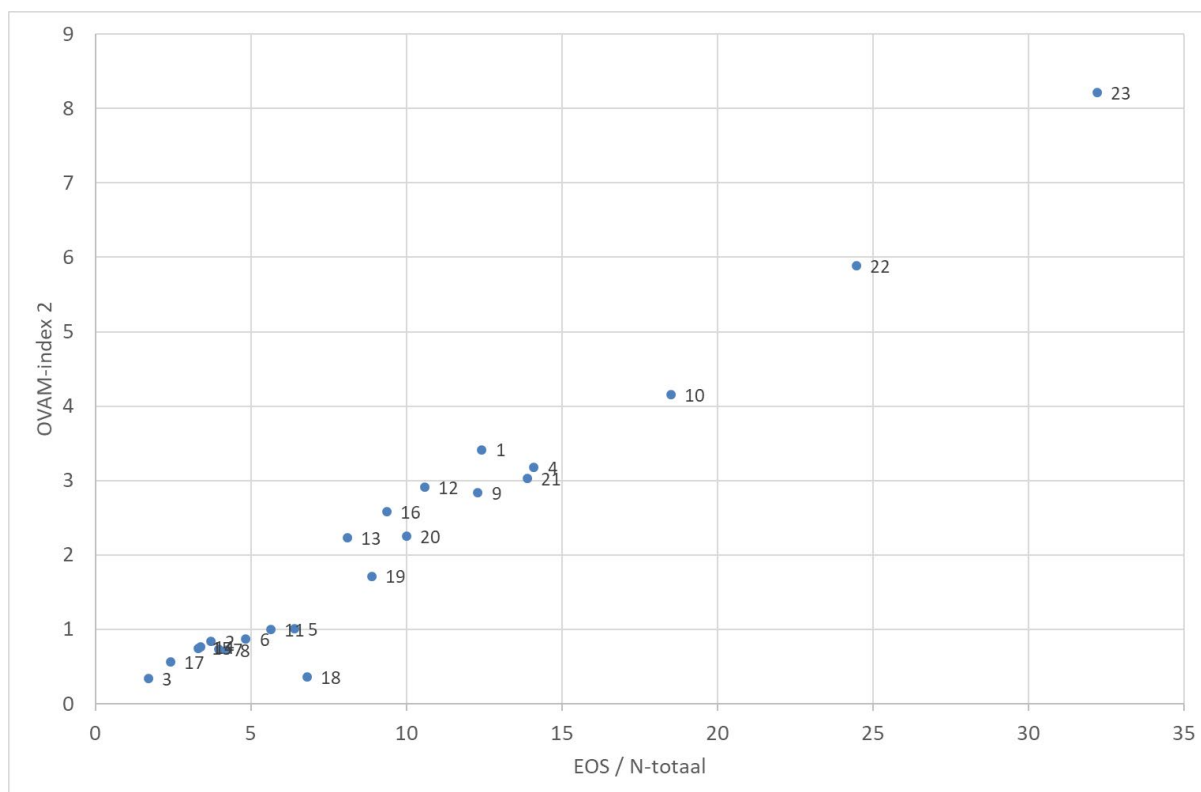
Waarschijnlijkheidstest

[illegible]

Hieronder is de OVAM-index 2 per organische-stofbron uitgezet tegen de EOS-aanvoer per kg fosfaat dan wel per kg stikstof. Vergelijk ook met figuur 1 in paragraaf 2.3.



Figuur B4 OVAM-index 2 voor de verschillende organische producten uitgezet tegen de EOS-aanvoer in kg per kg fosfaat. (Voor de betekenis van de nummers, zie tabel 3 of 4.)



Figuur B5 OVAM-index 2 voor de verschillende organische producten uitgezet tegen de EOS-aanvoer in kg per kg N-totaal. (Voor de betekenis van de nummers, zie tabel 3 of 4.)

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



Correspondentie adres voor dit rapport:
Wageningen University & Research | Open
Teelten
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T (+31)320 29 11 11
www.wur.nl/openteelten

Rapport: WPR-project 3750384500

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 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.

