

Quick scan mest en bodemkwaliteit

Invloed van mest en compost op de bodemkwaliteit,
gewasproductie en emissies

Chris Koopmans, Maaike van Agtmaal, Nick van Eekeren



© 2018 Louis Bolk Instituut

Quick scan mest en bodemkwaliteit - Invloed van mest en
compost op de bodemkwaliteit, gewasproductie en emissies.

Dr. ir. Chris Koopmans, Dr. ir. Maaike van
Agtmaal, Dr. ir. Nick van Eekeren

Publicatienummer 2018-008 LbD

32 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

1	Inleiding en achtergrond	4
2	Materiaal en methoden	6
3	Kwaliteit van mest en compost	8
3.1	Drijfmest	8
3.2	Vloeibare mest (bewerkte drijfmest)	8
3.3	Vaste mestsoorten	9
3.4	Compost en bokashi	9
4	Inzet van mest en compost	10
4.1	Effect op bodemkwaliteit	10
4.2	Invloed op gewasproductie	12
4.3	Bijdrage aan koolstofvastlegging	14
4.4	Emissie naar water en lucht	16
4.5	Effect op (bodem)biodiversiteit	16
4.6	Werkingstermijn en grondsoort	18
4.7	Stalsystemen van de toekomst en mestkwaliteit	19
5	Invloed van mest en compost, een matrix	20
6	Toepassing van de matrix in de praktijk	23
6.1	Voorbeeld toepassing op grasland	23
6.2	Voorbeeld toepassing op maisland	24
6.3	Voorbeeld toepassing in de akkerbouw	24
7	Mestkwaliteit in handelingsperspectief	26
8	Referenties	30

1 Inleiding en achtergrond

In de verduurzaming van de landbouw welke onder andere gericht is op verlaging van nutriëntenverliezen, verlaagde inzet van gewasbeschermingsmiddelen, verbetering van de waterkwaliteit en verhoging van de biodiversiteit, spelen de bodem, het bodemgebruik en specifieke bemesting een belangrijke rol. Met het oog hierop is er behoefte aan informatie over de kwaliteit van verschillende dierlijke mestsoorten en hun impact op het bodem- en watersysteem.

Het mestbeleid ziet in hoofdlijnen toe op het verminderen van luchtmissies (vnl. ammoniak) en het verminderen van N- en P bodemoverschotten om uitspoeling te voorkomen. Wetgeving richt zich - naast stalinrichtingseisen - op eisen t.a.v. mestaanwending en maximalisatie van de plaatsingsruimte.

Deze regelgeving ziet dus toe op emissiebeperking wat tot gevolg heeft dat innovaties uit de praktijk zich ook richten op emissiebeperking. Hierdoor is de aandacht voor de intrinsieke kwaliteit van mest en compost (en de uitwerking daarvan op onze bodems!) afgenomen. Er wordt veelal geredeneerd vanuit de directe gevaren (emissies) en niet vanuit kansen. Vanuit het perspectief wetgeving is dit ook niet onlogisch. De vraag is of het niet goed zou zijn in de ontwikkelingen rond mest- en compost meer in te zetten op de intrinsieke kwaliteit van mest en compost en daarmee op de invloed daarvan op een gezonde en vitale bodem. In het kader van een duurzaam bodembeheer willen we met deze onderzoeksvraag inzicht verkrijgen in de (integrale) werking van verschillende mest- en composten op het gehele bodem ecosysteem en de effecten op diensten zoals koolstofvastlegging in de bodem, productie en stimuleren van biodiversiteit zonder de effecten op emissies te negeren.

Probleemstelling

De intrinsieke bodemkwaliteit (en hiermee haar kwaliteit voor diverse functies) staat steeds vaker ter discussie. Regelgeving t.a.v. van mest, voortvloeiend uit onder andere de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS), de Nitraatrichtlijn en KRW richt zich alleen op nutriëntenemissies en lijkt voorbij te gaan aan de intrinsieke waarde van mest voor het bodemsysteem. De vraag is of met de huidige, grotendeels op drijfmest gerichte landbouwpraktijken - deels beïnvloed door de randvoorwaarden vanuit de regelgeving - de intrinsieke bodemkwaliteit wordt aangetast? Terugloop van het organische stofgehalte, bodemleven en daarmee ook ziekteverende eigenschappen lijken hierbij het meest urgent.

Een mogelijk gevolg van een afnemende bodemkwaliteit is dat uit- en afspoeling van nutriënten en pesticiden toenemen, waarop vervolgens weer regelgeving wordt aangescherpt etc. etc. Meer aandacht voor de bodemvitaliteit zou dit tij kunnen keren.

Kader

De hypothese is dat de intrinsieke mestkwaliteit impact heeft op de bodemkwaliteit. Hiernaast spelen diverse andere factoren als toediengingstijdstip, manier van toediening, verdeling

(ruimtelijk en hoeveelheid), bodemtype en bodemkwaliteit (verdichting, verzuring etc.) en grondwaterregime een belangrijke rol. Deze quick scan zet primair in op de intrinsieke mestkwaliteit en de impact hiervan op het bodemsysteem, met zijdelings verwijzingen naar de andere hierboven genoemde en relevant geachte factoren.

Onderzoeksvragen

Wanneer is er nu sprake van een goede mest of compost; dat wil zeggen mest die bijdraagt aan een vitale bodem? Aan welke voorwaarden moeten - gelet op de vraagzijde – (verwerkte) mestproducten, compostsoorten, digestaat voldoen? Naar welke maatstaven kunnen we deze kwaliteit beoordelen? Welke kansen, of bedreigingen vormen de verschillende genoemde producten op lange termijn voor een vitale bodem?

Welke aanwendingsperioden komen - gelet op optimale gewasbenutting en minimale uitspoeling risico's - in aanmerking indien er gewerkt wordt met vaste mest, dunne fracties of (plantaardige) composten? Zijn er tenslotte handelingsperspectieven te schetsen voor provinciale overheden die bij kunnen dragen aan een bodemverbeterend mestbeleid?

Resultaat

Na een schets van de (intrinsieke) kwaliteiten van mest- en compostsoorten (hoofdstuk 3), wordt ingegaan op de effecten van mest- en compost op de bodemkwaliteit en vitaliteit, gevolgd door de effecten op productie en diensten zoals de koolstofvastlegging, gewasproductie en benutting, biodiversiteit en het voorkomen van emissies naar water en lucht. In hoofdstuk 5 wordt een matrix gepresenteerd die inzicht verschaft in de effecten van de mest- en compostkwaliteit op de bodem en bovengenoemde diensten. Na enkele voorbeelden van de toepassing in de praktijk (hoofdstuk 6) wordt afgesloten met een visie op het handelingsperspectief vanuit het beleid om mest- en compostkwaliteit meer te laten bijdragen aan een vitale bodem.

2 Materiaal en methoden

Deze 'Quick scan mest en bodemkwaliteit: Invloed van mest en compost op de bodemkwaliteit, gewasproductie en emissies' poogt de basis te vormen voor een expertise-oordeel naar de werking van mest en composten op een vitale bodemkwaliteit. In deze notitie is een selectie van mest- en compostsoorten gespecificeerd, mede vanuit de optiek van een breed scala aan intrinsieke kwaliteiten van de mest en composten:

1. Mineralen concentraat varkensmest
2. Gier rundvee
3. Dunne fractie varkensmest
4. Dunne fractie rundermest
5. Digestaat uit covergisting rundermest (50%)
6. Varkensdrijfmest
7. Dikke fractie varkensdrijfmest
8. Runderdrijfmest
9. Vaste rundermest
10. Bokashi bermmaaisel (8 weken)
11. Dikke fractie runderdrijfmest
12. Groencompost
13. Gft-compost

De beschreven en beoordeelde mestsoorten zijn vervolgens via een literatuurstudie beoordeeld naar de hun effecten op de fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit als een indicator voor een vitale bodem. Ook zijn de effecten van de intrinsieke mestkwaliteiten aan de hand van de literatuur beoordeeld op hun landbouwkundige kwaliteiten zoals de landbouwkundige productie en effectiviteit bij de inzet op grasland en bouwland.

De evaluatie van mest- en compostkwaliteiten richtte zich vervolgens op de meerwaarde voor (bodem)diensten zoals de koolstofvastlegging, voorkomen van emissies naar water en lucht en de bijdrage aan biodiversiteit.

De kwaliteit van mest- en compostsoorten is gebruikt om een matrix te ontwikkelen. Hierin zijn mest- en compostsoorten met variabelen gescoord op een niveau van -2 (zeer ongunstig) tot +2 (gunstig) voor de bodemkwaliteit en bovengenoemde diensten. De literatuur uit de voorafgaande hoofdstukken vormde daarvoor de basis aangevuld met 'expert judgement'. De matrix is vervolgens toegepast op een drietal voorbeelden voor grasland, maisland en akkerbouw, respectievelijk.

De informatie in deze quick scan is vooral een hulpmiddel voor een afwegingskader op beleidsniveau en geen bedrijfsspecifieke advisering of basis voor regelgeving aangezien het

globale informatie en waarderingen betreft, voor gemiddelde of veel voorkomende bedrijven of systemen. De meeste mestsoorten dienen meerdere doelen of hebben belangrijke neveneffecten, die elkaar kunnen versterken of soms afzwakken. Bovendien zijn de effecten afhankelijk van veel specifieke bedrijfsomstandigheden. Daarom zal uiteindelijk in de algehele context van de vraagstelling moeten worden beoordeeld welke mestsoorten het best toepasbaar, effectief en haalbaar zijn. Dit kan bijvoorbeeld middels een systeem waarbij naast dit afwegingskader ook deskundige adviseurs een advies uitbrengen.

3 Kwaliteit van mest en compost

Mest is een mix van feces en urine. De samenstelling van de mest is afhankelijk van het diersoort en de gegeven voeding maar wordt daarnaast ook beïnvloed door het stalsysteem, de opslagmethode en de duur van de opslag. Gerangschikt naar het gehalte droge stof, organische stof en de hoeveelheid beschikbare (mineraal) stikstof kunnen de mesten en composten in vier typen worden gerangschikt: drijfmestsoorten, vloeibare mestsoorten, vaste mestsoorten en compostsoorten.

3.1 Drijfmest

Drijfmest is de meest voorkomende meststof in Nederland. Van de 78,2 miljoen ton geproduceerde mest in 2016 viel 75,5 ton onder dunne mest (Verbruggen, 2016). Jaarlijks wordt er circa 64 miljoen ton runderdrijfmest en circa 10 miljoen ton varkensdrijfmest geproduceerd, meer dan 95 % van de totale mestproductie in Nederland. Varkens- en runderdrijfmest verschillen in samenstelling, de verschillen zitten voornamelijk in de hoeveelheid stikstof en mineralen enerzijds en het effectieve organische stofgehalte anderzijds. Het gehalte stikstof/mineralen is hoger in varkensmest, bijvoorbeeld het totale stikstofgehalte is 7 kg/ton bij varkens- en 4 kg/ton bij runderdrijfmest. Runderdrijfmest daarentegen bevat meer effectieve organische stof, namelijk 50 kg/ton tegen 26 kg/ton voor varkensdrijfmest.

Drijfmest wordt meestal direct gebruikt als meststof in akkerbouw en melkveehouderij. Een deel van de mest wordt echter bewerkt. De meest simpele bewerking is mechanische scheiding van de dunne en dikke fractie van de mest. Maar mest kan ook verder bewerkt worden tot concentraat of vergist in biogas installaties.

3.2 Vloeibare mest (bewerkte drijfmest)

Om te voldoen aan de gebruiksnormen moeten veel agrarische bedrijven mest afvoeren. Door mestscheiding bij de bron, bijvoorbeeld in de stal, is mest gericht in te zetten doordat nutriënten apart worden gehouden. Daarmee kan ook de hoeveelheid af te voeren mest worden ingeperkt. Doordat de dunne mestfractie minder fosfaat bevat dan drijfmest blijft er meer plaatsingsruimte op eigen grond over. Naast een lager fosfaatgehalte kenmerken vloeibare mestsoorten zich door het lage gehalte droge stof (25-66 kg/ton), een laag organische stofgehalte (10-53 kg/ton) in combinatie met een hoog mineraal stikstofgehalte (2-7,5 kg/ton N), afhankelijk van de bron van de mest. Onder vloeibare mest vallen onbewerkte meststoffen (de dunne fractie van varkens- en rundermest en rundvee gier) ontstaan door mechanische scheiding van de mest en uit bewerkte meststoffen zoals mineralen concentraat (voornamelijk geproduceerd uit varkensdrijfmest) en digestaat (covergisting met runderdrijfmest). Mineralen concentraat wordt verkregen door ultrafiltratie en omgekeerde osmose met als doel met name de anorganische stoffen te concentreren. Mineralenconcentraten bevatten meer minerale stikstof (in de vorm van ammonium) en kalium (Velthof, 2011). De precieze samenstelling van de meststof hangt af van de gebruikte drijfmest als bron (Velthof, 2011). Ditzelfde geldt voor digestaat, een restproduct na

vergisting en biogas productie van drijfmest. De samenstelling van het digestaat is sterk afhankelijk van de samenstelling van de uitgangsmest en van de andere toegevoegde producten bij de vergisting (van Geel en van Dijk, 2013). Verschillende experimenten samengenomen is de stikstofwerking van digestaat in het eerste jaar hoger dan drijfmest (van Geel en van Dijk, 2013), echter, hierin is veel variatie en dit is grotendeels afhankelijk van de ingaande mest. Digestaat heeft een hoger ammonium gehalte dan varkens of runderdrijfmest (Risberg et al., 2017).

3.3 Vaste mestsoorten

Ook vaste mestsoorten komen voort uit mestscheiding. Dit kan in de stal gebeuren, bijvoorbeeld in verschillende strosstal systemen zoals de potstal waar er stalresten geproduceerd wordt of door (bijna) dichte vloersystemen die urine en feces gescheiden houden. Ook kan de drijfmest later gescheiden worden tot een dunne en dikke drijfmest fractie met behulp van verschillende mestscheidingsinstallaties. Bij mestscheiding blijft er na het scheiden van de dunne fractie een dikke fractie over met een hoog gehalte aan organische stof en mineralen en een laag vochtgehalte. Het fosfaatgehalte is in de dikke mestsoorten relatief hoog. Vaste mestsoorten hebben een hoog gehalte organische stikstof (6,2-6,7 kg/ton). Doordat deze stikstof gebonden zit komt de stikstof relatief langzaam vrij voor plantopname (Schröder et al., 2007) in het eerste jaar van bemesting. Wel geven vaste mestsoorten stikstof nalevering in de jaren die volgen (Gutser et al., 2005).

3.4 Compost en bokashi

Naast meststoffen uit dierlijke productiesystemen worden er ook organische meststoffen gebruikt. Deze kenmerken zich door een hoog droge stofgehalte een hoog gehalte effectieve organische stof en een laag gehalte minerale stikstof. Het inwerken van compost geeft een verbetering in bodemstructuur (meer water vasthouden vermogen, lagere dichtheid) en verhoging van het organische stofgehalte in de bodem (Nicholson et al., 2016). Bokashi is een mix van anaeroob vergiste gewasresten. Door de afsluiting van de gewasresten van de lucht en het toevoegen van een microbiële startcultuur vindt fermentatie plaats door met name melkzuurbacteriën (Scotton et al., 2017). In dit proces wordt er minder organische stof afgebroken en komt er minder CO₂ vrij ten opzichte van compost. Er is echter nog veel onbekend over wat dit voor de bodem betekent en wat het netto verschil is tussen gefermenteerde groenresten (bokashi) en compost nadat het aan de bodem is toegediend.

4 Inzet van mest en compost

4.1 Effect op bodemkwaliteit

Fysische bodemkwaliteit

De fysische bodemkwaliteit wordt sterk beïnvloed door het organische stofgehalte in de bodem. Het gebruik van mest heeft effect op de opbouw van organische stof en daarmee ook direct op de fysische eigenschappen van de bodem zoals de dichtheid, draagkracht, infiltratie capaciteit en aggregaat stabiliteit (Leroy et al., 2008). Het review artikel van Edmeades (2002) beschrijft dat langdurig toedienen van dierlijke mest in vergelijking met kunstmest een positief effect geeft op verschillende fysische eigenschappen zoals dichtheid, infiltratie capaciteit en aggregaat stabiliteit. Eén van de mechanismen is dat organische stof een complex vormt met minerale bodemdelen waardoor de grootte van de poriën toeneemt en daarmee de infiltratie capaciteit en doorluchting. De dichtheid neemt dan af (Scotti et al., 2013). Dit geeft een groter water vasthoudend vermogen en maakt de penetratie van de wortels in de grond gemakkelijker. Deze interactie met de minerale bodemdelen ligt o.a. aan het zand- klei- en carbonaatgehalte. Kleideeltjes absorberen meer organische stof dan zand.

Mesteigenschappen die de fysische bodemkwaliteit beïnvloeden zijn het droge stofgehalte en het effectief organische stofgehalte. Mestsoorten met een hoog gehalte aan droge stof en effectieve organische stof zoals vaste mestsoorten en organische mestsoorten dragen het meest bij aan een goede bodemstructuur. Drijfmest en digestaat hadden een negatief effect op de bodemstructuur in een 5-jarige Engelse veldproef op 5 bouwland en 3 grasland locaties. De verdichting en penetratie weerstand van de bodem namen toe (Nicholson et al., 2016). In een bemestingsproef op grasland had bermmaaisel gecomposteerd met drijfmest een lagere indringingsweerstand in de laag 0-10 cm dan de andere gebruikte mestsoorten (van Eekeren et al., 2009a).

Chemische bodemkwaliteit

Het bemesten van landbouwgrond gebeurt primair om de gewasproductie te waarborgen. Maar niet elke mestsoort draagt hetzelfde bij aan de chemische bodemkwaliteit, levert dezelfde hoeveelheid nutriënten, of heeft dezelfde hoeveelheid plant-beschikbare nutriënten. Er zijn bijvoorbeeld sterke verschillen in hoeveelheid en beschikbaarheid van organische stof, stikstof en fosfor tussen verschillende mestsoorten. Vaste mestsoorten zoals de vaste dikke fractie van runderdrijfmest en vaste rundermest dragen bij aan de opbouw van bodem organische stof en het stikstof leverend vermogen van de bodem maar hebben minder direct plant beschikbare nutriënten zoals minerale stikstof. Drijfmest daarentegen draagt minder bij aan het bodem organische stofgehalte maar heeft een hoger gehalte nutriënten die direct beschikbaar zijn voor het gewas (Monaco et al., 2008). Ook andere vloeibare meststoffen (bijvoorbeeld mineralen concentraat, gier en digestaat) hebben een relatief hoog gehalte aan direct plant beschikbare nutriënten. Organische mestsoorten hebben een hoog gehalte effectieve organische stof (EOS:

organische stof die na een jaar nog terug te vinden is in de bodem) maar bevat weinig plant beschikbare (minerale) stikstof. Over het algemeen is bekend dat organische mestsoorten een positieve invloed hebben op de pH, dit in tegenstelling tot sommige kunstmestsoorten zoals KAS (van Eekeren et al., 2009a)

Biologische bodemkwaliteit

De biologische bodemkwaliteit wordt bepaald door het bodemleven. De activiteit, diversiteit en ook de functie van de aanwezige soorten in de bodem bepalen hoe gezond de bodem is. Een sleutelrol hierin is weggelegd voor de microbiële gemeenschap in de bodem die organische stof afbreekt en daarmee nutriënten vrijmaakt voor plantopname. Organische koolstof is een belangrijke parameter voor de activiteit in de bodem. Hoe hoger het koolstofgehalte in de bodem des te hoger de microbiële biomassa, hoeveelheid schimmeldraden en enzymactiviteit (Bonanomi et al., 2011; Scotti et al., 2015). De input van nutriënten en organische stof via mest beïnvloedt de samenstelling en activiteit van de microbiële gemeenschap in de bodem. De koolstof:stikstof verhouding van de mest en de verhouding tussen gemakkelijk en moeilijk afbreekbaar organisch materiaal bepaald de 'voedingswaarde' voor de microben. Generalistische microben (vaak bacteriën) die snel groeien en profiteren van de input van gemakkelijk afbreekbaar organische materialen, worden vooral geactiveerd door snelwerkende mestsoorten met een hoog stikstofgehalte zoals drijfmest en vloeibare mestsoorten. Langzaam groeiende specialistische microben (vaak schimmels) daarentegen worden gestimuleerd door meststoffen met een hoog koolstof gehaltes en moeilijk afbreekbare verbindingen (Fierer et al., 2009, de Vries et al., 2006, van der Bom et al., 2018). Niet alleen de microben worden beïnvloed door het type mest dat gegeven wordt aan een perceel, ook de macrofauna reageert. Zo neemt de hoeveelheid regenwormen toe bij organische meststoffen en vaste meststoffen die door het hoge organische stofgehalte voedsel voor de regenwormen in de bodem brengen. De hoeveelheid vers organische materiaal is de belangrijkste parameter voor de hoeveelheid wormen (Whalen et al., 1998, Bertrand et al., 2015). De kwaliteit van organische mestsoorten op de aantallen wormen lijkt voor grasland, met de hoge aanvoer uit gewasresten, minder bepalend (van Eekeren e.a., 2009a). Wel hebben organische mestsoorten effect op de soortensamenstelling. Vaste mestsoorten stimuleren strooiselbewonende wormen (van Eekeren et al, 2009) en pendelaars (Edwards en Lofly, 1982) t.o.v. bodembewonende wormen. Dit is niet verwonderlijk omdat strooiselbewonende wormen en pendelaars juist wat grover organische resten van de bovengrond eten. Drijfmest stimuleert, net zoals stikstofrijke wortelresten van klaver, bodembewonende regenwormen (van Eekeren et al., 2009a en 2009b). Door de toedieningstechniek die samenhangt met een mesttype kunnen ook effecten optreden op de biologische bodemkwaliteit. In een vergelijkend onderzoek op 12 melkveebedrijven in Friesland hadden bedrijven met zodebemesting significant minder strooiselbewoners, maar juist meer pendelaars in vergelijking tot bedrijven die bovengronds uitrijden (de Goede et al., 2003). In hetzelfde Friese onderzoek was er een trend dat bedrijven die zodenbemesten, meer bodembewoners hebben, waardoor het totaal aantal wormen toeneemt. Vervolgonderzoek in

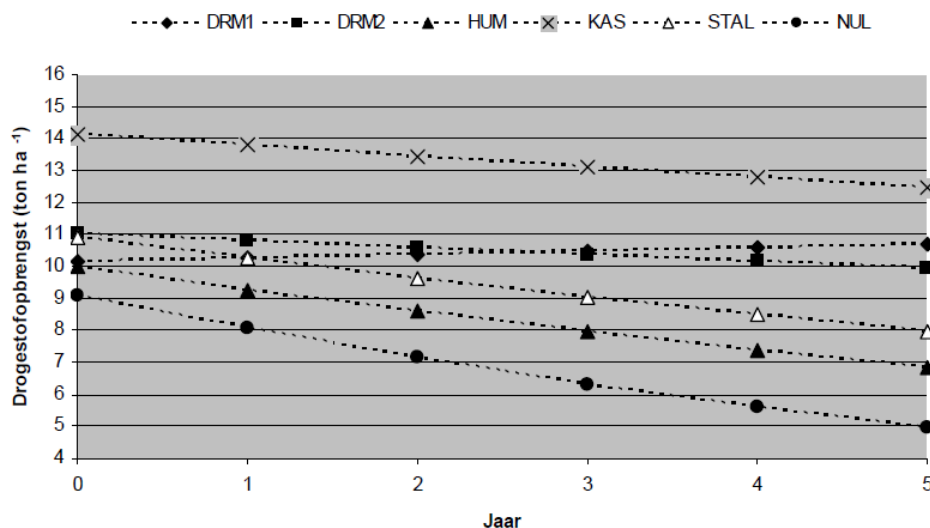
Friesland liet zien dat schade aan wormen door mesttoedieningstechniek ook heel weersafhankelijk is. Juist onder natte omstandigheden gaf bovengronds uitrijden meer schade aan strooiselbewoners dan zodenbemesten (van Vliet en de Goede, 2006). Onderzoek in Duitsland naar uitrijden van drijfmest (enkel bovengronds) laat resultaten zien van het uitdrijven van wormen van 1-6 % bij 25 m³ drijfmest per ha en 11-23% bij 75 m³ drijfmest per ha. Ook hier waren het met name de strooiselbewonende wormen die werden uitgedreven. Ondanks deze uitdrijving was het wormenaantal na 5 jaar (bovengronds) uitrijden van drijfmest stabiel hoog (Bauchhenß, persoonlijke communicatie).

4.2 Invloed op gewasproductie

Het toevoegen van mest aan de grond dient primair om een goede productie te waarborgen. Naast de eventuele effecten van mest op bodemkwaliteit breed, brengt mest voedingsstoffen in de toplaag van de bodem waardoor de gewasopbrengst omhoog gaat (Edmeades, 2002). Voor een optimale productie spelen echter twee factoren een belangrijke rol: ten eerste de kwaliteit en samenstelling van de mest die wordt gebruikt en daarnaast de nutriëntenstatus van de bodem, zoals de stikstof voorraad die de bodem heeft en die beschikbaar kan komen door mineralisatie. De hoeveelheid nutriënten die daadwerkelijk beschikbaar is voor het gewas is daardoor een wisselwerking tussen mestkwaliteit (nutriënten input) en bodemeigenschappen (mineralisatie, stikstof leverend vermogen). De belangrijkste factor voor hoeveel een meststof direct bijdraagt aan de gewasproductie is de hoeveelheid minerale stikstof in de mest. De gewasbehoefte of stikstofopname verschilt echter op verschillende momenten in het groeiseizoen en tussen verschillende bodemsoorten en landgebruik.

Grasland effectiviteit

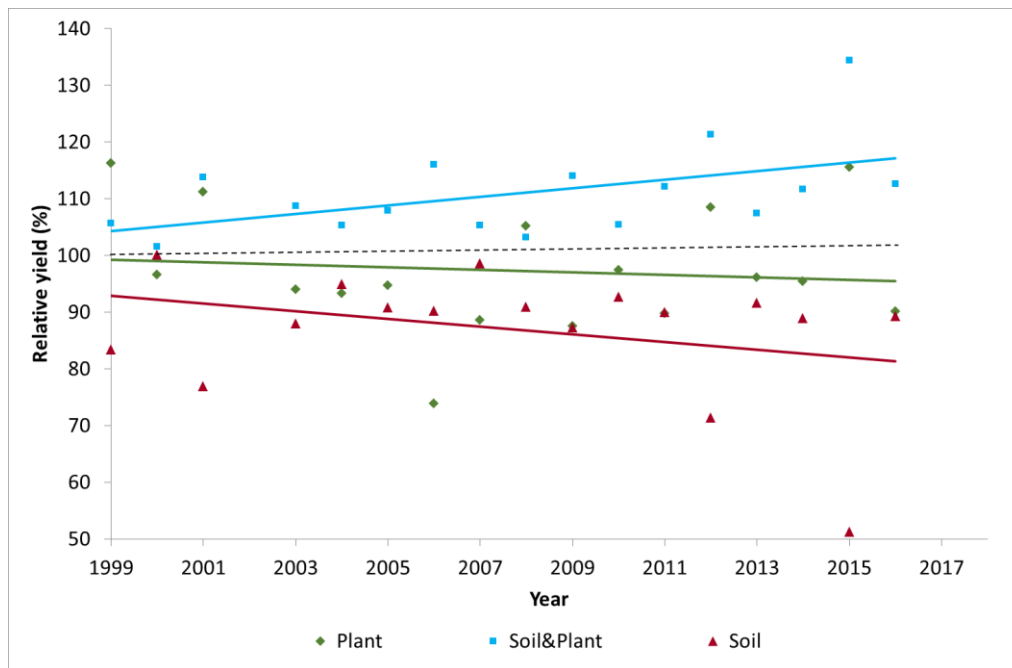
Op het moment dat gras begint te groeien kan het stikstof opnemen. Voor de groei veel stikstof nodig en vooral voor de aanmaak van wortels heeft grasland een hoge stikstofopname-capaciteit. Snelwerkende meststoffen met een hoog mineraal stikstofgehalte zoals vloeibare mestsoorten, drijfmest en varkensmest kunnen in deze stikstofbehoefte voorzien en verhogen de grasopbrengst. Vaste mestsoorten en organische mest bevatten veel gebonden stikstof dat pas na mineralisatie, later in het seizoen, kan vrijkomen. Deze mestsoorten zijn daarom minder effectief voor een hogere grasopbrengst maar dragen wel bij aan de opbouw van de bodem organische stof en het daaraan gerelateerde stikstof leverend vermogen. Ze kunnen daarmee indirect bijdragen aan de opbrengst van een perceel. In een bemestingsproef op grasland in Bakel was runderdrijfmest de mestsoort onder vijf mestsoorten die structureel een hogere grasopbrengst gaf (de Boer et al., 2007) (zie Figuur 1).



Figuur 1. Ontwikkeling van de drogestofopbrengst (ton ha^{-1}) gedurende zes jaar identieke bemesting per mestsoort bij een N-totaalgift van $260 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. DRM=drijfmest, Hum=humest, KAS=kunstmest, STAL=stalmest en NUL = referentie (de Boer et al., 2007).

Bouwland effectiviteit

In tegenstelling tot grasland kan er in bouwland sprake zijn van een hogere organische stof afbraak en hoge onttrekking van nutriënten. Hierdoor brengt dit landgebruik de risico's van een afnemende bodemvruchtbaarheid met zich mee. Onder andere door grondbewerking in combinatie met een beperkte aanvoer van organische stof door gewasresten kan er sprake zijn van een negatieve organische stofbalans die directe invloed heeft op de aanwezigheid en activiteit van het bodemleven en het stikstof leverend vermogen in de bodem. Om de bodemvruchtbaarheid in stand te houden en binnen de gebruikersnormen te blijven zijn meststoffen met een hoog organische stofgehalte per eenheid fosfaat (organische mestsoorten, dikke mest en dunne rundermest) en een hoge koolstof:stikstof verhouding (organische mestsoorten, vaste mest) het meest effectief voor de opbouw van organische stof binnen de wettelijke kaders. Ook is de efficiëntie van snelwerkende meststoffen met veel minerale stikstof soms lager in bouwland hetgeen een risico op verliezen met zich meebrengt. Koopmans en Bloem (2018) lieten in een studie naar de toepassing van uiteenlopende mest- en compostsoorten binnen de wettelijke kaders, de ontwikkeling in opbrengsten gedurende 17 jaar zien, in een intensieve rotatie op bouwland. Hierbij werd onderscheid gemaakt in de toepassing van minerale mest of runderdrijfmest in een planten-voedende strategie, de toepassing van een bodem-voedende strategie met diverse composten en vaste mestsoorten zoals vaste rundermest, vaste kippenmest of een GFT met drijfmest combinatie in bodem & plant voedende strategieën. De resultaten laten zien dat uitsluitend planten-voedende meststoffen zoals minerale mest en drijfmest op termijn leiden tot licht lagere opbrengsten (zie Figuur 2). Het volledig richten op de bodem met composten doet de opbrengsten versterkt teruglopen en wordt ook na 17 jaar niet gecompenseerd door een hogere mineralisatie in de bodem door organische stof opbouw. De combinatie van plantenvoeding en bodemopbouw lijkt op termijn het meest gunstig uit te pakken voor de opbrengsten in rotatie.



Figuur 2. Verloop van de relatieve opbrengst in de tijd van drie bemesting strategieën. De relatieve opbrengst is weergegeven als gemiddelde van de opbrengsten binnen een bepaalde strategie (Koopmans en Bloem, 2018).

4.3 Bijdrage aan koolstofvastlegging

Dierlijke bemesting voegt over het algemeen organische stof toe aan de bodem, hoewel het type bemesting hierin een grote rol speelt. Maillart et al. (2014) heeft een meta-analyse uitgevoerd waarin 42 meerjarige bemestingsstudies onder de loop werden genomen. Hierin was de centrale vraag wat het effect is van dierlijke mest op het organische koolstofgehalte in de bodem. Hoewel er veel variatie in de meetgegevens zat en er studies wereldwijd waren meegenomen in de analyse had het gebruik van dierlijke mest een significant positief effect op de bodemorganische stof balans. Dit effect kwam deels doordat mest koolstof bevat en indirect door een hogere productie en daardoor meer gewasresten en wortels. De bijdrage van rundermest aan koolstof in de bodem was hierin groter dan het effect van varkensmest. Vaste mestsoorten zoals de dikke fractie van rundermest en vaste rundermest en organische mestsoorten zoals compost leggen meer koolstof vast dan vloeibare mestsoorten (Maltas et al., 2018). Ditzelfde is vastgesteld voor digestaat. Vergelijken met runderdrijfmest draagt digestaat van runderdrijfmest minder bij aan de opbouw van koolstof (van Geel en van Dijk, 2013) in de bodem. Wagenings onderzoek constateert een remmende werking op de organische stofafbraak na digestaat bemesting, dit kan echter het gevolg zijn van een verminderde activiteit van het bodemleven door digestaat bemesting, wat een effect kan geven voor de bodemvruchtbaarheid (den Boer et al, 2012). In het handboek bodem en bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl) staat onder andere de effectieve organische stof (EOS) van verschillende mestsoorten weergegeven, wat een indicatie geeft van de bijdrage aan de koolstofvastlegging van verschillende mest- en compostsoorten na het eerste jaar van toediening (zie Tabel 1).

Tabel 1: Onder andere Effectieve Organische Stof (EOS) van verschillende mestsoorten en composten.

Organische mest	OS (kg/ton)	H.C. ¹ (fractie)	EOS (kg/ton)	EOS/P ₂ O ₅ ² (kg/kg)	na 5 jaar ³		na 10 jaar ³	
					(kg/ha)	(fractie)	(kg/ha)	(fractie)
Drijfmest								
Rundvee	71	0,70	50	33	26	0,36	18	0,26
Vleesvarkens	79	0,33	26	7	7	0,09	5	0,06
Zeugen	25	0,34	9	2	2	0,10	2	0,06
Rosékalveren	71	0,70	50	19	26	0,36	18	0,26
Witvleeskalveren	17	0,70	12	11	6	0,36	4	0,26
Vaste mest								
Rundvee grupstal	155	0,70	109	25	56	0,36	40	0,26
Varkens (stro)	153	0,33	50	6	14	0,09	9	0,06
Pluimvee	416	0,33	137	7	39	0,09	25	0,06
Pluimvee + nadroog	393	0,33	130	5	35	0,09	24	0,06
Kippenstrooiselmest	359	0,34	122	5	35	0,10	22	0,06
Vleeskuikens + parelhoen	419	0,36	151	9	45	0,11	29	0,07
Vleeskalkoenen	427	0,36	154	8	45	0,11	29	0,07
Schapen	195	0,70	137	30	70	0,36	50	0,26
Geiten	174	0,70	122	23	63	0,36	45	0,26
Compost								
Champost	211	0,50	106	24	40	0,19	26	0,13
GFT-compost	242	0,90	218	50	165	0,68	136	0,56
Groencompost	179	0,90	161	73	122	0,68	101	0,56

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

² EOS-aanvoer (kg) per kg fosfaat in de mest

³ De hoeveelheid die 5 en 10 jaar na toediening van het vers organische materiaal nog over is in kg per ha en als fractie van de beginhoeveelheid.

⁴ C/N-verhouding van de organische stof in de mest (C/N-org).

De EOS geeft daarmee een indicatie van de hoeveelheid bodemorganische stof die wordt opgebouwd per ton toegevoegde mest of compost. De hoge EOS van de vaste mestsoorten en GFT- en groencompost is daarbij een indicatie van veel opbouw. Door de wettelijke beperkingen op de aanvoer van fosfaat kan de EOS per kg fosfaat aangevoerd, een interessante indicator zijn voor de praktijk, om relatief veel organische stof aan te voeren bij een beperkte fosfaatgift. In de praktijk moet daarnaast rekening worden gehouden met de bemestende waarde van de giften. In een langjarige bemestingsproef op bouwland liet drijfmest na 17 jaar toediening geen extra opbouw van organische stof zien ten opzichte van kunstmest. De hoeveelheid toegediende organische stof was bepalend voor de opbouw van de organische stof in de bodem, niet de kwaliteit van de gebruikte organische meststoffen (Koopmans en Bloem, 2018).

Op grasland zijn gewas- en wortelresten dominant in de aanvoer van organische stof. In een vijfjarige bemestingsproef op grasland lieten organische mestsoorten echter ook een hoger organisch stofgehalte zien in vergelijking met kunstmest, maar tussen mestsoorten werd geen verschil gevonden (van Eekeren et al., 2009a).

4.4 Emissie naar water en lucht

Emissie tijdens bemesten

Een deel van de stikstof in de mest wordt na bemesting niet door het gewas opgenomen maar gaat verloren aan de lucht of naar het grondwater. Dit gebeurt door de microbiële gemeenschap in de bodem die stikstof omzet tot lachgas of door vervluchtiging van ammoniak. Hoeveel stikstof uit de mest verloren gaat naar de lucht of het grondwater hangt af van de mestsamenstelling (Bernal en Kirchmann, 1991), de grondsoort, het tijdstip van bemesten en het weer.

De verhouding beschikbare stikstof/totale stikstof in de mest bepaald het risico op emissie (Shepherd en Newell-Price, 2013). Dunne mestsoorten zoals drijfmest bevatten vaak een hoge hoeveelheid beschikbare stikstof en hebben daardoor een grotere kans op emissie naar lucht of water. Vaste mestsoorten zoals de dikke fractie van runderdrijfmest en vaste rundermest hebben een relatief lage hoeveelheid beschikbare stikstof. Mest met veel beschikbare stikstof heeft een hoger risico op ammoniak vervluchtiging bij droog weer, wind en hoge temperaturen. Lachgas wordt juist gevormd bij nat weer, omdat de vorming van lachgas gebeurt door de denitrificatiestap in de stikstof cyclus. Daarom is het vochtgehalte van de mest ook belangrijk, want vloeibare mest kan middels het verhogen van het bodemvochtgehalte, de vorming van lachgas bevorderen met emissie tot gevolg (Flechard et al., 2007). Drogere mestsoorten hebben daarentegen een hogere kans op ammoniak emissie omdat ze niet gelijk in de bodem intrekken (Sommer en Hutchings, 2001).

De uitspoeling van nitraat via het grondwater gebeurt bij regenval en als het groeiende gewas de stikstof niet opneemt. De timing van de bemesting is daarom cruciaal voor het beperken van emissie naar water en lucht (van Es et al., 2006). Het type landgebruik, namelijk grasland of bouwland en de grondsoort zijn sterk bepalend voor het risico op stikstofverliezen naar het milieu. Bouwland op zandgrond geeft de grootste nitraatverliezen (van Es et al., 2006). Daarnaast heeft de manier van toediening en bewerking van de grond gevolg voor de emissiewaarden. Bij landbouwinjectie is de ammoniakemissie het laagst (gemiddeld < 5% van de toegediende ammonium) en de emissie is het hoogst bij bovengronds breedwerpige toediening (gemiddeld 70-75% van de toegediende ammonium (Huijsmans et al., 2011)). Het gebruik van dunne fracties (na mestscheiding) geeft waarschijnlijk iets hogere ammoniakverliezen (in het veld) maar iets lagere nitraatuitspoeling. De methode van bemesten en het inwerken in de grond kan emissie beperken en zou in samenspraak met de gift naar gewasbehoefte gebruikt kunnen worden voor het minimaliseren van emissie en uitspoeling (Bell et al., 2016)

4.5 Effect op (bodem)biodiversiteit

Het toevoegen van mest en daarmee organische stof en nutriënten heeft impact op het leven in de bodem en heeft daarmee uiteindelijk ook invloed op het bovengrondse voedselweb en haar diversiteit. De activiteit en soortenrijkdom van wormen bijvoorbeeld wordt beïnvloed door het organische stofgehalte van de gebruikte mest. Maar ook andere bodembewoners worden

beïnvloed door het type mest wat wordt aangebracht op het perceel. Een meta analyse gebaseerd op 54 studies naar het effect van verschillende bemestingsregimes op de diversiteit van nematoden door Liu et al. (2016) laat zien dat de diversiteit van nematoden (zowel soortenrijkdom als aantallen nematoden) gerelateerd is aan de hoeveelheid koolstof in de mest. Hoe hoger het gehalte aan koolstof des te meer soorten en individuen werden waargenomen. Echter, een hoger stikstofgehalte zorgde voor een daling in de soortenrijkdom van nematoden. Van springstaarten is bekend dat de aantallen en diversiteit afnemen bij het gebruik van dunne mestsoorten als digestaat en drijfmest (Pommeresche et al., 2017). Ook het aantal regenwormen neemt af bij het bemesten met digestaat, mogelijk als gevolg van het ammoniumgehalte (Nicholson et al., 2016). Bloem et al. (2017) vatten in een literatuurstudie de effecten van uiteenlopende mest- en compostsoorten op de bodembiodiversiteit als volgt samen:

Tabel 2. Kwalitatieve effecten van verschillende soorten bemesting op organische stof en bodemleven. Meer plussen wijst op een sterker effect, maar dit dient alleen binnen één kolom (per indicator) te worden vergeleken. Min duidt op een negatief effect. HWC is heet water extraheerbaar koolstof, PMN is potentieel mineraliseerbare stikstof (Naar Bloem, Koopmans en Schils, 2017)

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

Toelichting:

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

Geconcludeerd kan worden dat snelwerkende meststoffen vooral de plant en het bacteriële deel van de bodem voeden. Runderdrijfmest is gunstiger voor de organische stof dan varkensdrijfmest. Vaste mestsoorten voeden zowel de bodem als de plant en brengen daarmee een balans in de bodem met een rijker bodemleven. Digestaat is niet schadelijk, maar werkt voornamelijk als minerale mest. Dus combinaties met een koolstofbron (compost of vaste mest) zullen nodig zijn om het organische stofgehalte te ondersteunen. Compost bevat veel effectieve organische stof en is goed voor opbouw van stabiele organische stof, bodemstructuur en waterhoudend vermogen, maar bevat minder voeding voor bodemleven en plant. Ook op de langere termijn (na 17 jaar) lijkt hier in de studie van Koopmans en Bloem (2018) weinig verandering in op te treden.

4.6 Werkingstermijn en grondsoort

Werkingstermijn

De werkingstermijnen van dunne mestsoorten, drijfmest, vaste mestsoorten en organische mestsoorten verschillen sterk. De werkingstermijn van mest is sterk gerelateerd aan het gehalte effectieve organische stof dat de mest bevat en de hoeveelheid minerale stikstof. Mestsoorten die een hoog gehalte aan minerale stikstof hebben zijn over het algemeen snel werkend omdat de stikstof direct beschikbaar is voor planten. Dunne mestsoorten hebben weinig effectieve organische stof en een relatief hoog mineraal stikstofgehalte. Ook varkensmest bevat relatief weinig effectieve organische stof en een hoog mineraal stikstofgehalte en daarmee is ook varkensdrijfmest en de dikke fractie uit varkensdrijfmest snelwerkend. Rundermestsoorten, drijfmest, dikke fractie van runderdrijfmest en vaste rundermest bevatten een hoog organische stofgehalte en veel gebonden stikstof. Deze moet eerst nog vrijkomen uit de mest door mineralisatie en komt later in het groeiseizoen beschikbaar voor het gewas. Een deel van de meststoffen kan bijdragen aan de bodemvruchtbaarheid. Het effect is dan niet direct merkbaar in opbrengst maar door het verhogen van het organische stofgehalte en door stikstofvastlegging komt er nalevering van stikstof in de opvolgende seizoenen (Bokhorst en van der Burgt, 2012). Het risico op stikstofverliezen in het najaar en winterseizoen neemt hierbij wel toe. Dit kan alleen maar opgevangen worden door de bodem ook in die periode bedekt te houden.

Grondsoort

De werking van meststoffen is een complex proces dat wordt bepaald door bodemeigenschappen zoals textuur, samenstelling, bodemleven en klimaat. Wat er met de stikstof en andere nutriënten uit de mest gebeurt is afhankelijk van de grondsoort vanwege verschillen in immobilisatie en mineralisatie van nutriënten en organische stof. Dit zorgt ervoor dat de plant beschikbare stikstof na bemesting kan verschillen tussen verschillende grondsoorten (Castellanos en Pratt, 1981; Chae en Tabatabai, 1986; Sørensen en Jensen 1995). Het immobiliseren van stikstof kan op verschillende manieren gebeuren, bijvoorbeeld door microben, door binding aan kleideeltjes of door adsorptie aan negatief geladen deeltjes. De studie van Shah et al. (2013) had specifiek tot doel om in kaart te brengen wat de interactie is tussen verschillende soorten meststoffen en grondsoorten als zand, klei en veen. Vaste rundermest en runderdrijfmest werden in een potproef met gras toegevoegd aan verschillende grondsoorten en vervolgens werd na 180 dagen de stikstof mineralisatie en stikstof opbrengst gemeten. In veengrond was de mineralisatie het hoogst, in klei was juist de immobilisatie het grootst. Dit heeft gevolgen voor de uitspoeling van nitraat op het moment dat er geen gewas staat. Door gebrek aan immobilisatie van vrijkomende stikstof is er grote kans op nitraatuitspoeling in zandgrond. Daarnaast speelt het risico op surface run-off en uitspoeling naar ondiep grondwater met name in veen. Hierbij kan ook fosfaatuitspoeling aan de orde zijn (van de Weerd en Torenbeek, 2007). In een studie die digestaat vergelijkt met varkens- en rundermest is de conclusie dat, gezien de geringere bijdrage aan de bodem organische stof voorraad, digestaat beter gebruikt kan worden

op zwaardere organische stofrijke gronden terwijl runderdrijfmest en vast mest meer geschikt zijn voor zandgrond (Risberg et al., 2017).

4.7 Stalsystemen van de toekomst en mestkwaliteit

Om ammoniakemissie in de veehouderij te voorkomen wordt sterk ingezet op het terugdringen van stalemissies. Stalemissies vormen echter slechts een deel van de totale nutriëntenverlies op bedrijfsniveau, daar ook bij het opslaan, verwerken en toedienen van de mest op het land verliezen plaatsvinden. Deze verliezen worden onder meer bepaald door de samenstelling van de mest.

Stalsystemen hebben grote invloed op de kwaliteit en samenstelling van de mest. Middels de keuze voor een bepaald stalsysteem wordt bepaald:

1. Uit welke ingrediënten mest is opgebouwd;
2. Welke processen plaatsvinden op en onder de stalvoer.

In de provincie Noord-Brabant dienen stallen die 15 (varkens, geiten, pluimvee) of 20 (rundvee) jaar oud zijn, in 2022 emissiearm te zijn. Door deze verstrengde regelgeving zijn boeren genoodzaakt om stalaanpassingen te doen. De Taskforce Toekomstbestendige stallen organiseerde in september 2018 een bijeenkomst waarbij boeren, bedrijven, kennisinstellingen en de overheid bijeenkwamen om ideeën voor milieuvriendelijke stalconcepten voor de varkenshouderij uit te wisselen. Het doel van de taskforce is om tien oplossingen te ontwikkelen om stallen te laten voldoen aan de nieuwe Brabantse milieuwetgeving. Bij deze zoektocht naar milieuvriendelijk stalconcepten zou het effect van stalsysteem op mestkwaliteit en het effect op bodemkwaliteit, landbouwkundige productie en diensten integraal moeten worden meegenomen.

5 Invloed van mest en compost, een matrix

Voorgaande hoofdstukken geven zicht in de kwaliteiten van mest en compost en hun bijdrage aan een vitale bodem op basis van de literatuur en de kansen en bedreigingen op langere termijn. De diensten van de bodem rond productie, koolstofvastlegging, emissies & biodiversiteit en consequenties voor aanwendingsperiode en stallen spelen hierbij een essentiële rol.

De vraag is hoe de verschillende mest- en compostsoorten meer kwantitatief zijn te vergelijken en hoe deze met wegingsfactoren in een matrix te koppelen zijn aan een vitale bodemkwaliteit en diensten. Parameters en bijbehorende wegingsfactoren geven daarbij inzicht in de kwaliteit en effecten van verschillende mest- en composten op het bodem-, water- en luchtsysteem.

Bij de ontwikkeling van de matrix zijn een drietal stappen gevolgd:

1. Analyseresultaten uit de literatuur zijn gebruikt om de kwaliteiten van mest en compost te karakteriseren. Hierbij zijn gegevens van Den Boer et al. (2012) gehanteerd.
2. Op basis van de literatuur uit hoofdstuk 4 en 'expert judgement' zijn criteria geselecteerd van de belangrijkste karakteristieken van mest- en compostsoorten die bepalend zullen zijn voor de effecten op de bodemkwaliteit, de landbouwkundige productie en diensten (Tabel 3).
3. De kwaliteit van mest- en compostsoorten zijn in tabel 4 via een feitentabel in kaart gebracht per ton product en vervolgens gesorteerd op basis van de criteria uit tabel 3 (kolom 3) waarbij na rangschikking scores van -2 (zeer ongunstig) tot +2 (gunstig) zijn toegekend. Bij een ongelijke schaalverdeling is 'expert judgement' toegepast om de scores van -2 tot +2 te verdelen. In sommige gevallen zijn meerdere indicatoren gebruikt. De effecten zijn in de matrix van Tabel 4 samengevat waarbij alle mest- en compostsoorten zijn gelinkt aan de impact factoren rond bodemkwaliteit, landbouwkundige productie en diensten.

Tabel 3 geeft de criteria weer die zijn gehanteerd bij het sorteren en toekennen van de scores bij het beoordelen van de invloed van mest- en compostkwaliteiten op de bodemkwaliteit en de diensten.

Tabel 3. Kwaliteit karakteristieken gehanteerd bij de beoordeling van mestsoorten en hun effecten op productie, bodem en drukfactoren.

Impact	Factor	Kriterium	Toelichting
Bodemkwaliteit	Fysische bodemkwaliteit (structuur)	Organische stof (kg/ton)	Bron opbouw bodemstructuur
	Chemische bodemkwaliteit (nutriënten)	Stikstof totaal/Fosfaat	Beter afgestemd op gewasbehoefte en bodemlever
	Biologische bodemkwaliteit (bodemleven)	Bloem et al., 2018, tabel 2	Effect op bodemleven
Landbouwkundige productie	Productie	Stikstof totaal en minimaal gehalte aan N-mineraal	Veel N en mineralisatie gunstig voor productie
	Effectiviteit voor Grasland	N-mineraal/N-totaal	Deel mineraal voor snelle voorjaarswerking
	Effectiviteit voor bouwland	Effectieve organische stof/Fosfaat	Voor organische stof opbouw zonder P overschot
Diensten en drukfactoren	C-vastlegging	Effectieve organische stof	Na 1 jaar grootste bijdrage o.s.
	Emissie naar water	Werkzame stikstof/Effectieve organische stof	Kans op N verlies neemt toe/toegediende o.s.
	Emissie lucht (ammoniak)	N-mineraal (kg/ton)	Bron van potentiële emissie
	Biodiversiteit (bijzonder soorten)	Droge stof, diversiteit samenstelling en injecteren	Basis voor voer en minimale verstoring
	Termijn (werking lang-kort)	Effectieve organische stof	Veel geeft langere nawerking

Tabel 4. Matrix: Samenstelling van diverse mest- en compostsoorten en hun effect op bodemkwaliteit, landbouwkundige productie en diensten. Scores lopen van -2 (zeer ongunstig, rood), -1 (ongunstig, rood), 0 (neutraal, geel), +1 (gunstig, groen) en +2 (zeer gunstig, groen).

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

Tabel 4 laat de uitkomst van de scores zien op het niveau van -2 (zeer ongunstig) tot +2 (gunstig) voor de impact op een vitale bodemkwaliteit en de diensten landbouwkundige productie, koolstof opslag, biodiversiteit en het beperken van emissies.

De best scorende meststoffen zijn hierbij aangegeven in groen, gevolgd door de neutraal scorende meststoffen in geel en de ongunstig scorende meststoffen in rood. Opvallend is dat de meststoffen die goed scoren op de chemische bodemkwaliteit ook goed scoren in de landbouwkundige productie en effectiviteit in benutting op grasland. Op de fysische en biologische bodemkwaliteit en de diensten, de landbouwproductie uitgesloten, scoren deze meststoffen echter niet gunstig. Goede scores voor de overige diensten worden veelal gevonden bij de vastere mestsoorten en de verschillende compostsoorten.

6 Toepassing van de matrix in de praktijk

De matrix is toegepast in een drietal voorbeelden uit de praktijk voor grasland, maisland en akkerbouw respectievelijk, met steeds een andere achtergrond in de vraagstelling.

6.1 Voorbeeld toepassing op grasland

In onderstaande toepassing in Tabel 5 is de inzet van mestsoorten op grasland afgewogen met als doel ook de bodemkwaliteit met de inzet van mest en compost op peil te houden.

In de benadering is de wens de graslandproductie te handhaven vooropgesteld (voorwaarde: graslandproductie scoort minimaal een +2) en daarbinnen zijn de criteria rond bodemkwaliteit en in mindere mate emissies naar water en lucht en bijdrage aan biodiversiteit meegenomen in de prioritering.

Voor de productie is de kolom 'grasland productie' uit de matrix als uitgangspunt genomen. Bij de bodemkwaliteit is de som genomen van scores van fysieke, chemische en biologische bodemkwaliteit van de verschillende mestsoorten. Voor de emissie naar water en lucht zijn de kolommen 'emissie naar water' en 'emissie naar lucht' gecombineerd.

In het resultaat scoort de runderdrijfmest relatief goed, gevolgd door digestaat en varkensdrijfmest. Dit is in overeenstemming met de ervaringen uit de praktijk en geeft daarmee zicht op de gewenste mestsoorten bij de wens van een goede graslandproductie met handhaving van een vitale bodemkwaliteit.

Tabel 5. Grasland voor goede productie en handhaven van bodemkwaliteit. Scores lopen van -2 (zeer ongunstig), -1 (ongunstig), 0 (neutraal), +1 (gunstig) en +2 (zeer gunstig) conform de Matrix. De best scorende meststof is aangegeven in groen, gevolgd door minder gunstige scorende alternatieven in geel.

Grasland productie	Bodemkwaliteit	Emissie naar water en lucht	Bijdrage aan biodiversiteit	Mestsoort
2	3	-1	-2	Runderdrijfmest
2	0	-3	-2	Digestaat covergisting runderdrijfmest 50%
2	0	-4	-2	Varkensdrijfmest
2	-1	-3	-2	Dunne fractie rundermest
2	-2	-4	-2	Mineralen concentraat varkensmest
2	-2	-4	-2	Gier rundvee
2	-2	-4	-2	Dunne fractie varkensmest
0	4	4	1	Groencompost
0	4	1	2	Vaste rundermest
0	3	3	1	GFT-compost
0	2	3	2	Bokashi bermmaaisel
0	2	1	0	Dikke fractie runderdrijfmest
0	-1	-4	0	Dikke fractie varkensdrijfmest

6.2 Voorbeeld toepassing op maisland

In het volgende voorbeeld (Tabel 6) is uitgegaan van een redelijke (niet persé) maximale productie van mais (positieve score) maar wel met een goede opbouw van bodemkwaliteit en lage emissies (geen negatieve scores).

In de benadering is voor de productie de kolom 'productie' uit de matrix als uitgangspunt genomen. Bij de bodemkwaliteit is de som genomen van de scores van fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit van de verschillende mestsoorten. Voor de emissie naar water en lucht zijn de kolommen 'emissie naar water' en 'emissie naar lucht' gecombineerd.

Een 3-tal mestsoorten blijkt redelijk goed aan de wensen te kunnen voldoen zonder negatief te scoren op een van de gewenste andere doelen. Vaste rundermest scoort hierbij ten opzichte van de andere meststoffen relatief hoog op meerdere criteria, gevolgd door de iets lager scorende gft-compost en de dikke fractie van runderdrijfmest.

Tabel 6. Mais met een redelijke productie en handhaven van de bodemkwaliteit en vermindering van emissies. Scores lopen van -2 (zeer ongunstige), -1 (ongunstig), 0 (neutraal), +1 (gunstig) en +2 (zeer gunstig) conform de Matrix. De best scorende meststof is aangegeven in groen, gevolgd door minder gunstige scorende alternatieven in geel.

Mais continu	Bodemkwaliteit	Emissie naar water en lucht	Bijdrage aan biodiversiteit	Mestsoort
2	3	-1	-2	Runderdrijfmest
2	0	-3	-2	Digestaat covergisting runderdrijfmest 50%
2	0	-4	-2	Varkendrijfmest
2	-1	-3	-2	Dunne fractie rundermest
2	-2	-4	-2	Mineralen concentraat varkensmest
2	-2	-4	-2	Gier rundvee
2	-2	-4	-2	Dunne fractie varkensmest
1	4	1	2	Vaste rundermest
1	-1	-4	0	Dikke fractie varkendrijfmest
0	3	3	1	GFT-compost
0	2	1	0	Dikke fractie runderdrijfmest
-1	4	4	1	Groencompost
-1	2	3	2	Bokashi bermmaaisel

6.3 Voorbeeld toepassing in de akkerbouw

In een derde voorbeeld in Tabel 7 wordt gestreefd naar een goede akkerbouwproductie maar wel met het handhaven van bodemkwaliteit en minimalisatie van de emissies.

Voor de productie is de kolom 'Effectiviteit voor bouwland' in de matrix als uitgangspunt genomen. Bij de bodemkwaliteit is de som genomen van de scores fysische, chemische en biologische

bodemkwaliteit van de verschillende mestsoorten. Voor de emissie naar water en lucht zijn de kolommen 'emissie naar water' en 'emissie naar lucht' gecombineerd.

In dit voorbeeld laten de resultaten zien dat een 6-tal mest- en compostsoorten inzetbaar zijn met relatief gunstige scores voor de landbouwkundige productie, opbouw van een vitale bodemkwaliteit en beperkte kans op verliezen naar water en lucht. Waar vaste rundermest en groencompost op alle fronten goed lijken te scoren, geven ook gft-compost, bokashi en de dikke fractie van rundermest kans op een gebalanceerde bemesting. Met runderdrijfmest lijkt op korte termijn de kans op emissies groter en lijkt de bijdrage aan biodiversiteit ook geringer.

Tabel 7. Bouwland productie met handhaven bodemkwaliteit en minimale emissies. Scores lopen van -2 (zeer ongunstig), -1 (ongunstig), 0 (neutraal), +1 (gunstig) en +2 (zeer gunstig) conform de Matrix. De best scorende meststoffen zijn aangegeven in donkergroen, gevolgd door minder gunstige alternatieven in lichter groen.

Bouwland productie	Bodemkwaliteit	Emissie naar water en lucht	Bijdrage aan biodiversiteit	Mestsoort
2	4	4	1	Groencompost
2	4	1	2	Vaste rundermest
2	3	3	1	GFT-compost
2	3	-1	-2	Runderdrijfmest
2	2	3	2	Bokashi bermmaaisel
2	2	1	0	Dikke fractie runderdrijfmest
2	-1	-3	-2	Dunne fractie rundermest
2	-2	-4	-2	Gier rundvee
0	0	-3	-2	Digestaat covergisting runderdrijfmest 50%
-1	0	-4	-2	Varkensdrijfmest
-1	-1	-4	0	Dikke fractie varkensdrijfmest
-1	-2	-4	-2	Mineralen concentraat varkensmest
-1	-2	-4	-2	Dunne fractie varkensmest

In alle gevallen gaat het om een benadering op hoofdlijnen in een bredere afweging die weinig zegt over de specifieke omstandigheden of individuele bedrijfssituaties. Ook moet worden uitgegaan van niveaus van toediening die binnen de wettelijke normen en de mestnormen vallen om niet negatieve bijeffecten te krijgen. De matrix en de bovenstaande invulling nemen de intrinsieke kwaliteit van de mest als uitgangspunt. Eventuele milieueffecten bij de productie van de mest en compost zijn in de beoordeling dan ook niet meegenomen.

7 Mestkwaliteit in handelingsperspectief

Het mestbeleid ziet in hoofdlijnen toe op het verminderen van luchtmissies (voornamelijk ammoniak) en het verminderen van stikstof- en fosfaat bodemoverschotten en daarmee de uitspoeling. Wetgeving richt zich - naast stalinrichtingseisen - op eisen t.a.v. mestaanwending en maximalisatie van plaatsingsruimte. Een mogelijk gevolg van een afnemende bodemkwaliteit (en dus verminderde standplaatscondities met als gevolg verminderde nutriëntenopname) kan zijn dat uit- en afspoeling van nutriënten en pesticiden toenemen, waarop vervolgens weer regelgeving wordt aangescherpt. Meer aandacht voor de bodem zou dit tij kunnen keren. Tijd voor een bodemverbeterend mestbeleid?

Deze quick scan laat zien dat de kwaliteit van mest en compost een grote impact heeft op de bodemkwaliteit en daarmee van invloed is op een vitale bodem. Hiernaast spelen diverse andere factoren als bodemtype, landgebruik, grondwaterregime, toediengingstijdstip en manier van toediening, een belangrijke rol.

Met deze quick scan is inzicht verkregen in de (integrale) werking van verschillende mest- en compostproducten op het gehele systeem dat een vitale bodem genoemd mag worden.

Samengevat:

1. Mest en compost laat zeer veel verschillende kwaliteiten zien. Wanneer is er nu sprake van 'goede mest' d.w.z. mest die bijdraagt aan een vitale bodem? Het algemene beeld is dat bij de impact die mest of compost op de bodemkwaliteit heeft niet naar één aspect moet worden gekeken. Dit hangt vooral samen met het stimuleren van de fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit in een integraliteit. Aansturen op het verhogen of minimaal handhaven van het organische stofniveau zal gepaard gaan met het verbeteren van de fysische bodemkwaliteit door een betere kruimelstructuur in de bodem, betere nutriënten benutting en daarmee minder emissies. Bloem et al., (2018) beschrijven de invloed van verschillende mest- en compostsoorten op het bodemleven. Drijfmest blijkt vooral het plant- en bacteriële-deel van het bodemleven te beïnvloeden. Composten blijken daarentegen vooral goed voor de opbouw van stabiele organische stof, bodemstructuur en waterbergend vermogen. Koopmans en Bloem (2018) laten zien dat een balans in plantenvoedende en bodemopbouwende mestsoorten een voorwaarde is om op termijn een evenwicht te vinden tussen zowel de landbouwkundige opbrengsten alsook het handhaven van een vitale bodem. Deze balans kan worden bereikt met vaste mest maar ook met combinaties van bodemopbouwende inputs zoals compost of vaste mest in combinatie met snelwerkende mest zoals drijfmest, dunne fractie of concentraat. De effecten hiervan op mineralisatie en emissie naar water zijn nog onderwerp van nadere studie in de publiek-private samenwerking 'Beter Bodembeheer' (www.beterbodembeheer.nl).

- Met de matrix uit hoofdstuk 5 is een kader geschetst van de maatstaven waarnaar gekeken kan worden bij het beoordelen van mest en compostsoorten, niet alleen uit het oogpunt van een vitale bodem maar ook gekoppeld aan de landbouwkundige productie en diensten als koolstofopslag, emissies en biodiversiteit. De geschetste kenmerken van mest- en compostkwaliteit die allen relatief eenvoudig via standaard bepalingen in laboratoria kunnen worden bepaald, blijken afdoende om mest- en composten te waarderen en rangschikken. De kwaliteitsparameters met benoemde criteria blijken de basis te kunnen vormen voor wegingsfactoren (van -2 tot +2) omtrent de prestatie van mest- en composten op hun bijdrage aan een vitale bodemkwaliteit, landbouwkundige productie, koolstofopslag, emissie naar water en lucht en bijdrage aan de biodiversiteit. Al naar het beoogde doel en landgebruik kunnen de mest- en composten worden beoordeeld.
- De matrix biedt met zijn scores en kleuren ook zicht op de kansen (groen) en bedreigingen (rood) van de verschillende genoemde mestsoorten en composten voor een vitale bodem en de aanpalende diensten die gepaard gaan met een vitale bodem (tabel 8).

Tabel 8. Kansen en bedreigingen van mest en composten. Scores lopen van -2 (rood, zeer ongunstige, bedreiging) via 0 (geel, neutraal) naar +2 (groen, zeer gunstig).

Mestsoorten	Fysische bodemkwaliteit (structuur)	Chemische bodemkwaliteit (nutriënten)	Biologische bodemkwaliteit (bodemleven)	Productie	Effectiviteit voor Grasland	Effectiviteit voor bouwland	C-vastlegging	Beperken emissie naar water	Beperken emissie naar lucht	Biodiversiteit (bijzonder soorten)
Mineralen concentraat varkensmest	-2	2	-2	2	2	-1	-2	-2	-2	-2
Gier rundvee	-2	2	-2	2	2	2	-2	-2	-2	-2
Dunne fractie varkensmest	-1	1	-2	2	2	-1	-2	-2	-2	-2
Dunne fractie rundermest	-1	2	-2	2	2	2	-2	-2	-1	-2
Digestaat covergisting runderdrijfmest 50%	-1	1	0	2	2	0	-1	-1	-2	-2
Varkensdrijfmest	0	0	0	2	2	-1	-1	-2	-2	-2
Dikke fractie varkensdrijfmest	1	-2	0	1	0	-1	0	-2	-2	0
Runderdrijfmest	0	1	2	2	2	2	0	0	-1	-2
Vaste rundermest	2	0	2	1	0	2	1	1	0	2
Bokashi bermmaaisel (8 weken)**	2	0	0	-1	0	2	1	1	2	2
Dikke fractie runderdrijfmest	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0
Groencompost	2	1	1	-1	0	2	2	2	2	1
GFT-compost	2	0	1	0	0	2	2	2	1	1

4. De werking van meststoffen is een complex proces dat wordt bepaald door bodemeigenschappen zoals textuur, samenstelling, bodemleven en klimaat. Wat er met de stikstof en andere nutriënten uit de mest gebeurt is sterk afhankelijk van de grondsoort vanwege verschillen in immobilisatie en mineralisatie van nutriënten en organische stof. Dit zorgt ervoor dat de plant-beschikbare stikstof na bemesting sterk kan verschillen tussen grondsoorten maar ook tussen jaren. Duidelijk is wel dat de aanwending van relatief snelwerkende meststoffen vanuit het oogpunt van emissie afgestemd dient te zijn op een optimale gewasbenutting en minimale uitspoelingsrisico's. Indien er gewerkt wordt met vaste mest of dikke fracties die voornamelijk de bodemopbouw ten goede komen is vanuit het perspectief van een vitale bodem een najaarstoediening gewenst. Met een actief bodemleven om tot humusvorming te komen in combinatie met een goede koolstof: stikstof verhouding kunnen zowel emissies worden beperkt alsook de koolstofvastlegging gefaciliteerd.
5. Provinciale overheden zouden kunnen bijdragen aan een bodemverbeterend mestbeleid door veel meer de bodem als een integraal geheel te beschouwen en dit als uitgangspunt te nemen voor beleidsopgaven rond emissies, klimaat en biodiversiteit. Innovaties zouden zich daarbij niet uitsluitend moeten richten op emissiebeperking maar veelmeer op het stimuleren van een vitale bodem waarbij de verschillende functies en genoemde diensten als koolstofopslag, biodiversiteit, landbouwkundige productie en beperking van emissies in evenwicht en balans worden afgewogen. Door niet alleen te redeneren vanuit directe gevaren (emissies) maar ook vanuit kansen. Die kansen gaan zich voordoen bij de bodem als basis voor koolstofopslag. Hiervoor is het nodig de bijdrage van landbouwkundige maatregelen die deze opslag bevorderen te onderkennen en te onderzoeken. Zo is de bijdrage van gewassen aan koolstofopslag in de bodem veelal nog onbekend. Onduidelijk is ook in hoeverre het recyclen van materiaal als groen- en gft-afval regionaal perspectief biedt bij de opbouw van een vitale bodem. Ook de inzet van combinaties van dierlijke mest met de inzet van groenbemesters heeft potentie om bij te dragen aan het verhogen van het organische stofgehalte van een bodem. In de regelgeving zou daartoe het mestbeleid veel beter op het (GLB) vergroeningsbeleid afgestemd kunnen worden. Bij zorgvuldig beheer en vruchtwisseling is het mogelijk het opbrengstpotentieel van gronden verder te verhogen met lagere stikstofverliezen dan met de gangbare (veelal minerale of drijf-) mesttoedieningen nu wordt bereikt.

Door de focus breder te trekken dan alleen emissie en meer aandacht te besteden aan het meerjarig effect van mest als bodemverbeteraar is het misschien mogelijk om via bronmaatregelen uiteindelijk hetzelfde effect (of meer...) te bereiken. Men zou dit regeneratie van ons oorspronkelijke meststelsel kunnen noemen. Er zijn momenteel al experimenten met andere stelsels, maar ook hier ligt de focus veelal op emissiebeperking (b.v. vaste mest te scheiden van de urine, emissiebeperkende vloerroosters). De uitdaging is om deze focus breder te

trekken en ook te kijken naar het effect van verschillende mestproducten op ons bodem-, water- en luchtsysteem. Dat betekent dus dat we bij het formuleren van geschikte mestsoorten en hun samenstelling moeten uitgaan van de wensen van de gebruiker, op basis van een gezond bodemsysteem. Mest weer als voedingsbron voor het bodemsysteem.

De matrix, waarbij inzicht verkregen is in het integrale effect van de bodem-milieu-impact van mestproducten, geeft de basis om voor- en nadelen tegen elkaar te kunnen wegen en zo een waardeoordeel te kunnen vormen.

8 Referenties

- Bell, M.J. Hinton, N.J. Cloy, J.M. Topp, C.F.E. Rees, R.M. Williams, J.R. Misselbrook, T.H. Chadwick, D.R., How do emission rates and emission factors for nitrous oxide and ammonia vary with manure type and time of application in a Scottish farmland? *Geoderma*, 264, (2016), pp.81-93.
- Bloem, J., Koopmans, C.J. en Schils, R. Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw. Wageningen Environmental Research en Louis Bolk Instituut, Rapport 2843 (2017), 54 p.
- De Boer, H.C., van Eekeren, N., Hanegraaf, M.C., Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische stof of kunstmest. Animal Sciences Group, rapport nr. 69, (2007), 29 p.
- Den Boer, D.J., Reijneveld J.A., Schröder, J.J., van Middelkoop, J.C. Mestsamenstelling in Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen. CBGV rapport nr 1 (2012).
- Bokhorst, J., van der Burgt, G.J., Organische stofbeheer en stikstofleverend vermogen van de grond in Nederlandse akkerbouw. Louis Bolk Instituut rapport nr. 2012-017 LbP (2012), 21 p.
- van der Bom, F., Nunes, I., Raymond, N.S., Hansen, V., Bonnichsen, L., Magid, J., Nybroe, O., Jensen, L.S. Long-term fertilisation form, level and duration affect the diversity, structure and functioning of soil microbial communities in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 122, (2018) pp. 91-103.
- Bonanomi, G., D'Ascoli, R., Antignani, V., Capodilupo, M., Cozzolino, L., Marziaoli, R., Puopolo, G., Rutigliano, F.A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., Zoina, A. Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy. *Applied Soil Ecology*, 47(3), (2011) pp.184-194.
- van Bruggen, C. CBS, Dierlijke mest en Mineralen, (2016), 42p.
- Bernal, M. P., Kirchmann, H. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biology and Fertility of Soils*, 13(3), (1992) pp. 135-141.
- Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., De Oliveira, T., Roger-Estrade, J. Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), (2015) pp. 553-567.
- Castellanos, J. Z., Pratt, P. F. Mineralization of Manure Nitrogen—Correlation with Laboratory Indexes 1. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), (1981) pp. 354-357.
- Chae, Y. M., Tabatabai, M. A. Mineralization of Nitrogen in Soils Amended with Organic Wastes 1. *Journal of environmental quality*, 15(2), (1986) pp. 193-198.
- Edmeades, D. The long term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 66, (2003) pp. 165-180.
- Van Eekeren, N., De Boer, H., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., De Goede, R., Brussaard, L. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol. Fertil. Soils* 45 (2009a), 595-608.
- Van Eekeren, N., Van Liere, D., De Vries, F., Rutgers, M., De Goede, R., Brussaard, L. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Appl. Soil Ecol.* 42 (2009b), 254-263.
- Van Es, H. M., Sogbedji, J. M., Schindelbeck, R. R. Effect of manure application timing, crop, and soil type on nitrate leaching. *Journal of environmental quality*, 35(2), (2006) pp. 670-679.
- Fierer, N., Strickland, M. S., Liptzin, D., Bradford, M. A., Cleveland, C. C. Global patterns in belowground communities. *Ecology letters*, 12(11), (2009) pp. 1238-1249.
- Flechard, C.R., et al. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 121 (2007), pp. 135-152.
- van Geel, W. C. A., van Dijk, W. Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en de risico's-Deskstudie in het kader van Energierijk. No. 565. PPO AGV, 2013.

- De Goede, R.G.M., Brussaard, L., Akkermans, A.D.L., 2003. On-farm impact of cattle slurry manure management on biological soil quality. *Neth. J. Agric. Sci.* 51, 103-133.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U. Short- term and residual availability of nitrogen after long- term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168(4), (2005) pp. 439-446.
- Handboek bodem en bemesting. <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organische-stofbeheer/Organische-stof/Kengetallen-organische-stof.htm>
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. 2011 Plant Research International. 387
- Leroy, B. L. M., Herath, H. M. S. K., Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D., Moens, M. The quality of exogenous organic matter: short- term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil Use and Management*. 24(2), (2008) pp.139-147.
- Koopmans, C.J. , Bloem, J. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping - Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk instituut Publ. nr. 2018-001 LbP (2018), 40 p.
- Liu, T., Chen, X., Hu, F., Ran, W., Shen, Q., Li, H., Whalen, J. K. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: evidence from a meta-analysis of nematode communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, (2016) pp. 199-207.
- Maillard, É., Angers, D. A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology*. 20, (2014), pp. 666-679.
- Maltas A., Kebli H., Oberholzer H.R., Weisskopf P., Sinaj S., The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long- term field experiment under a Swiss conventional farming system. *Land Degradation and Development*. 29 (2018) pp. 926–938.
- Monaco, S., Hatch, D.J., Sacco, D., Bertora, C., Grignani, C. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize-based forage systems, *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 3, (2008) pp. 608-615.
- Nicholson, F., Taylor, M., Bhogal, A., Rollett, A., Williams, J., Price, P.N., Chambers, B., Becvar, A., Wood, M., Litterick, A., Crooks, B., Knox, O., Walker, R., Misselbrook, T., Cardenass, L., Chadwick D., Lewis P., Else, M. field experiments for quality digestate and compost in agriculture. WRAP, DC-agri; WP1 report, (2016). 93 p.
- Pommeresche, R., Løes, A., Torp, T. Effects of animal manure application on springtails (Collembola) in perennial ley, *Applied Soil Ecology*, 110 (2017), pp. 137-145.
- Risberg, K., Cederlund, H., Pell, M., Arthurson, V., Schnürer, A. Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure—Chemical composition and effects on soil microbial activity. *Waste management*, 61, (2017) pp. 529-538.
- Schröder, J. J., Aarts, H. F. M., Van Middelkoop, J. C., Schils, R. L. M., Velthof, G. L., Fraters, B., Willems, W. J. Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy*, 27(1), (2007) pp. 102-114.
- Scotti, R., Conte, P., Berns, A. E., Alonzo, G., Rao, M. A. Effect of organic amendments on the evolution of soil organic matter in soils stressed by intensive agricultural practices. *Current Organic Chemistry*, 17(24), (2013) pp. 2998-3005.
- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., Rao, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), (2015) pp. 333-352.
- Scotton, J. C., da Silva Pereira, J., Campos, A. A. B., Pinto, D. F. P., Costa, W. L. F., Homma, S. K. Different sources of inoculum to the bokashi provides distinct effects on the soil quality. *Brazilian Journal of Sustainable Agriculture*, 7(3), (2017).

- Shah, G. M., Rashid, M. I., Shah, G. A., Groot, J. C. J., Lantinga, E. A. Mineralization and herbage recovery of animal manure nitrogen after application to various soil types. *Plant and soil*, 365(1-2), (2013) pp.69-79.
- Shepherd, M., Newell-Price, P., Manure management practices applied to a seven-course rotation on a sandy soil: effects on nitrate leaching. *Soil Use Management*, 29 (2) (2013), pp. 210-219.
- Sommer, S., Hutchings, N., Ammonia emission from field applied manure and its reduction. *European Journal of Agronomy*. 15 (2001), pp. 1-15.
- Sørensen, P., Jensen, E. S. Mineralization-immobilization and plant uptake of nitrogen as influenced by the spatial distribution of cattle slurry in soils of different texture. *Plant and Soil*, 173(2), (1995) pp. 283-291.
- Velthof, G.L., Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Alterra rapport 2211 (2011), Wageningen, 78 p.
- Van Vliet, P.C.J., De Goede, R.G.M. Effects of slurry application methods on soil faunal communities in permanent grassland. *Eur. J. Soil Biol.* 42 (2006), S348-S352.
- de Vries, F. T., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L., Bloem, J. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), (2006) pp. 2092-2103.
- Van de Weerd, H., Torenbeek, R. Uitspoeling van meststoffen uit grasland: emissieroutes onder de loep. STOWA rapport 2007-14, Utrecht 2007.
- Whalen, J. K., Parmelee, R. W., Edwards, C. A. Population dynamics of earthworm communities in corn agroecosystems receiving organic or inorganic fertilizer amendments. *Biology and Fertility of Soils*, 27(4), (1998) pp. 400-407.
- www.beterbodembeheer.nl