
Pyrolyse ter bepaling van de kwaliteit van organische stof in mest

Herman de Boer¹⁾, Karst Brolsma²⁾, Bas Fleurkens²⁾, Anneke Schoonbergen²⁾, Petra van Vliet²⁾

¹⁾ Wageningen Livestock Research

²⁾ Eurofins Agro

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en Eurofins Agro, en gefinancierd uit de PPS Beter Bodembeheer (onderdeel 1b, Sturen op mestkwaliteit) (AF 16064, BO-47-001-006), met medefinanciering van ZuivelNL

Wageningen Livestock Research
Wageningen, maart 2020

Rapport 1240

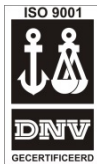
De Boer, H.C., Brolsma, K.M., Fleurkens, B.G.M., Schoonbergen, A., Van Vliet, P.C.J., 2020. *Pyrolyse ter bepaling van de kwaliteit van organische stof in mest*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1240.

Dit rapport is gratis te downloaden op of op <https://doi.org/10.18174/517478>
www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2018 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1240.

Inhoud

	Samenvatting	5
	Introductie	7
1	Materiaal en methoden	9
	1.1 Mestverzameling	9
	1.2 Standaardkenmerken mest	9
	1.3 Grondverzameling en grondsamenstelling	10
	1.4 Incubatieproef voor meting CO ₂ -respiratie	10
	1.5 Incubatieproef voor grondanalyse	10
	1.6 Meting pyrolyse GC-MS	10
	1.7 Berekeningen en statistische analyse	11
2	Resultaten	12
	2.1 Standaardkenmerken mest	12
	2.2 C-mineralisatie	12
	2.3 Pyrolyse	17
	2.4 Relatie tussen C-mineralisatie en pyrolyseparameters	17
3	Discussie	19
	3.1 Spreiding in C-mineralisatie tussen mesten	19
	3.2 Veranderingen in pyrolyseparameters tijdens incubatie	19
	3.3 Verklaring van C-mineralisatie uit mesteigenschappen	20
	Conclusies	21
	Dankwoord	22
	Literatuur	23
	Bijlage	24

Samenvatting

De kwaliteit van organische mest is belangrijk voor de Nederlandse landbouw. Een wezenlijk onderdeel van mestkwaliteit is de samenstelling van de organische stof (OS). Deze samenstelling bepaalt onder meer hoe snel de toegediende OS door het bodemvoedselweb kan worden afgebroken, en daarmee bijvoorbeeld de snelheid waarmee nutriënten uit de mest beschikbaar komen voor opname door gewassen. De OS-samenstelling bepaalt daarnaast ook hoeveel van de toegediende OS op termijn in de bodem overblijft en daar bijdraagt aan het gehalte stabiele OS. Dit gehalte is belangrijk voor bodemvruchtbaarheidsaspecten zoals het vasthouden van vocht en buffering van nutriënten. De snelheid van afbraak van de OS uit een mest geeft dus belangrijke informatie over de geschiktheid van deze mest om specifieke doelen te realiseren. Het is daarom belangrijk om inzicht te hebben in de afbraakpatronen van mest, niet alleen van verschillende soorten mest, maar ook van verschillende partijen binnen één soort.

Afbraakpatronen van OS kunnen relatief eenvoudig worden gemeten in incubatieproeven. Hierbij wordt mest gemengd met grond en wordt op een aantal tijdstippen de CO₂-respiratie van het mengsel gemeten. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om te berekenen hoeveel koolstof (C) er op een tijdstip door respiratie is verdwenen en hoeveel van de oorspronkelijk toegediende C nog aanwezig is. De overblijvende hoeveelheid C wordt hierbij gebruikt als een proxy (variabele) voor de overblijvende hoeveelheid OS. Dergelijke incubatieproeven zijn echter relatief duur en tijdrovend. Om verschillen in OS-kwaliteit bruikbaar te maken voor de praktijk, is er behoefte aan meetmethoden die op hoofdlijnen dezelfde informatie geven als incubatieproeven, maar die snel en goedkoop kunnen worden gemeten aan de mest. Een mogelijk kansrijke methode is pyrolyse van de OS in mest. Bij pyrolyse wordt organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden tot hoge temperatuur verhit, waarbij het materiaal uiteenvalt in een groot aantal verschillende fragmenten. Op basis van deze fragmenten kunnen organische verbindingen worden geïdentificeerd. Pyrolyse heeft als voordeel dat verschillende OS-kenmerken tegelijk kunnen worden geanalyseerd.

Om de geschiktheid van pyrolyse als meetmethode voor bepaling van OS-kwaliteit te beoordelen, zijn de afbraakpatronen van zes soorten mest vastgesteld in een incubatieproef en vervolgens gekoppeld aan hun pyrolyseresultaten. De zes soorten mest bestonden uit composten, runderdrijfmesten, digestaten van runderdrijfmest, varkensdrijfmesten, stromesten, en vrijloopstalmesten. Iedere mestsoort werd verzameld op vijf verschillende bedrijven, voor een totaal van 30 verschillende mesten. Doel van deze opzet was om een zo breed mogelijke variatie in samenstelling en kwaliteit van de OS te realiseren. De verzamelde mesten werden geanalyseerd op een aantal standaardkenmerken, gemengd met een zandgrond en ingezet in een incubatieproef bij constante temperatuur en vochtgehalte (20°C, 168 dagen). Tijdens incubatie werden monsters verzameld op $t = 1$ dag (begin incubatie) en $t = 168$ dagen (einde incubatie). Na drogen en malen werden deze monsters geanalyseerd met pyrolyse GC-MS. De gedetecteerde pyrolysefragmenten (op basis van pieken in het spectrum) werden per monster zover mogelijk geïdentificeerd, en op basis van deze fragmenten werden pyrolyseparameters onderscheiden. Met behulp van redundantie-analyse werd nagegaan of deze parameters verschilden tussen het begin en einde van de incubatieperiode. Daarna werd vastgesteld welke mestkenmerken de totale relatieve C-mineralisatie over de incubatieperiode het beste konden verklaren.

Uit de resultaten blijkt dat na 168 dagen incubatie de fractie overblijvende C voor de 30 mesten varieerde van 54% tot 94%. Hiermee was de spreiding in afbreekbaarheid van de OS, en daarmee van verschillen in OS-kwaliteit, voldoende gerealiseerd. De fractie overblijvende C aan het einde van de incubatieperiode was gemiddeld het laagst bij de runderdrijfmesten (63%; range 55-80%) en het hoogst bij de composten (90%, range 82-94%). Met de pyrolysemeting werden in de mengsels van grond en mest in totaal 272 pieken (pyrolysefragmenten) gedetecteerd. Hieruit konden 30 verschillende pyrolyseparameters worden onderscheiden. Deze set van parameters was aan het einde van de incubatieperiode significant verschillend vergeleken met het begin ($P < 0,001$). Bij de hoofdgroepen guaiacolen, syringolen, en lignine was er een toename van hun aandeel in de OS, terwijl er bij de koolhydraten, stikstofcomponenten, en alkanen+alkenen een afname was.

Met alleen de standaard mestkenmerken (DS, OS) kon maximaal 42% van de variantie in totale relatieve C-mineralisatie over de incubatieperiode verklaard worden; met alleen de pyrolyseparameters (verhouding alkanen/alkenen) maximaal 33%. Bij gebruik van zowel de standaard

mestkenmerken als de pyrolyseparameters kon maximaal 78% van de variantie verklaard worden, door: de verhouding alkanen tot alkenen (33%), DS (12%), OS (14%), totaal guaiacolen (12%), en de pH (7%). Meting van pyrolyseparameters aan mest gaf daarmee een aanzienlijke toename van de verklaarde variantie in C-mineralisatie uit deze mest. Pyrolyse lijkt daarmee een zinvolle aanvulling op bestaande bepalingen van OS-kwaliteit in mest.

Introductie

De kwaliteit van organische mest is belangrijk voor de Nederlandse landbouw. Mestkwaliteit heeft veel aspecten en kan op verschillende manieren worden omschreven en gedefinieerd. Een wezenlijk onderdeel van mestkwaliteit is de samenstelling van de organische stof (OS). Deze samenstelling bepaalt onder meer hoe snel de toegediende OS door het bodemvoedselweb kan worden afgebroken, en daarmee bijvoorbeeld de snelheid waarmee nutriënten uit de mest beschikbaar komen voor opname door gewassen. De OS-samenstelling bepaalt daarnaast ook hoeveel van de toegediende OS op termijn in de bodem overblijft en daar bijdraagt aan het gehalte stabiele OS. Dit gehalte is belangrijk voor bodemvruchtbaarheidsaspecten zoals vochtvasthoudend vermogen en buffering van nutriënten. De snelheid van afbraak van de OS uit een mest geeft dus belangrijke informatie over de geschiktheid van deze mest om specifieke doelen te realiseren. Het is daarom belangrijk om inzicht te hebben in de afbraakpatronen van mest, niet alleen van verschillende soorten mest, maar ook van verschillende partijen binnen één soort.

Afbraakpatronen van OS kunnen relatief eenvoudig worden gemeten in incubatieproeven. Hierbij wordt mest gemengd met grond en wordt op een aantal tijdstippen de CO₂-respiratie gemeten. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om te berekenen hoeveel koolstof (C) er op een tijdstip door respiratie is verdwenen en hoeveel van de oorspronkelijk toegediende C nog aanwezig is. De overblijvende hoeveelheid C wordt hierbij gebruikt als een proxy (variabele) voor de overblijvende hoeveelheid OS.

Dergelijke incubatieproeven zijn echter relatief duur en tijdrovend; een incubatieproef duurt meestal een aantal maanden. Om verschillen in de kwaliteit van OS in mest bruikbaar te maken voor de praktijk, is er behoefte aan parameters die op hoofdlijnen dezelfde informatie geven als incubatieproeven, maar die snel en goedkoop kunnen worden gemeten. De mogelijke geschiktheid van een snelle meetmethode kan worden beoordeeld door deze methode te relateren aan het gemeten afbraakpatroon uit een incubatieproef, en vervolgens deze relatie te beoordelen. Bij een goede relatie, en een goede herhaalbaarheid, kan de snelle meetmethode vervolgens worden ingezet om een partij mest te karakteriseren op OS-kwaliteit. De praktijk kan vervolgens met deze informatie onderbouwde beslissingen nemen over de inzetbaarheid van deze partij mest.

Een mogelijk kansrijke meetmethode is pyrolyse van de OS in mest. Bij pyrolyse wordt organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden tot hoge temperatuur verhit, waarbij het uiteenvalt in een groot aantal verschillende fragmenten. Op basis van deze fragmenten kunnen organische verbindingen worden geïdentificeerd. Pyrolyse heeft als voordeel dat verschillende OS-kenmerken tegelijk kunnen worden geanalyseerd. Om de geschiktheid van pyrolyse als meetmethode te beoordelen, is een experiment uitgevoerd waarin de afbraakpatronen van mest zijn gemeten in een incubatieproef en vervolgens zijn gekoppeld aan hun pyrolyseresultaten. De opzet, uitvoering, resultaten, en interpretaties van dit onderzoek zijn beschreven in het voorliggende rapport.

1 Materiaal en methoden

1.1 Mestverzameling

Voor het onderzoek werden zes soorten mest verzameld, per soort op vijf verschillende bedrijven, voor een totaal van 30 partijen mest. Het doel van deze opzet was om een brede spreiding in OS-samenstelling van mest te krijgen. De zes mestsoorten waren:

1. Composten
2. Digestaten van runderdrijfmest
3. Runderdrijfmesten
4. Varkensdrijfmesten
5. Strostalmesten
6. Vrijloopstalmesten/-composten

De vijf partijen per mestsoort kunnen als volgt nog verder worden beschreven:

1. Compost: 2 groencomposten, 1 compostaarde, 1 GFT-compost en 1 champost
2. Digestaat: 3 digestaten uit monovergisting en 2 uit co-vergisting
3. Runderdrijfmest: 3 mesten met relatief veel gras in het rantsoen en 2 met relatief veel snijmaïs in het rantsoen
4. Varkensdrijfmest: 2 zeugenmesten en 3 vleesvarkensmesten (2 met droogvoer en 1 met brijvoer in het rantsoen)
5. Strostalmest: 3 relatief jonge en 2 relatief oude strostalmesten, waaronder 2 vleesstierenmesten en 1 paardenstromest. Beide vleesstierenmesten werden verzameld op 1 bedrijf. Hierbij werd zowel een 'jonge' mest uit de stal als een 'oude' mest vanaf de mesthoop buiten verzameld
6. Vrijloopstalmest: 2 mesten met houtsnippers als strooisel, 1 met grovere houtdelen, 1 met stro, en 1 met divers organisch materiaal

De mestverzameling vond plaats van april t/m juli 2017. Op ieder bedrijf werd een mestmonster van tenminste 4 kg verzameld. Dit monster werd goed gemengd en onderverdeeld in 5 submonsters van ieder 0,8 kg. Deze submonsters werden bewaard bij -20°C tot het moment van gebruik.

1.2 Standaardkenmerken mest

De verzamelde mesten werden door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) in Wageningen geanalyseerd op 10 kenmerken (standaardkenmerken): pH, drogestof, organische stof, NH₄-N, NO₃-N, N-totaal, P-totaal, K-totaal, C-totaal en S-totaal. De pH werd gemeten met een standaard electrode; bij drijfmest in de verse mest en bij vaste mest na 1:5 verdunning met demiwater. Drogestof werd bepaald door 24 uur drogen bij 105°C, en organische stof door bepaling van het gloeiverlies (3 uur bij 550°C). NH₄-N en NO₃-N werden bepaald met SFA, na toevoeging van 1 M KCl aan de verse mest, centrifugatie, verdunning en filtratie. N-totaal en P-totaal werden bepaald met ICP-AES, en K-totaal met SFA, na destructie van verse mest met zwavelzuur en salicylzuur en de toevoeging van selenium en waterstofperoxide, bij een temperatuur van 100°C. C-totaal werd bepaald met een CN analyzer, na drogen van de mest bij 70°C en malen op 50 µm. S-totaal werd bepaald met ICP-AES, na drogen van de mest bij 70°C, toevoeging van salpeterzuur en zoutzuur, en destructie van het mengsel in een magnetron.

1.3 Grondverzameling en grondsamenstelling

De grond voor de incubatieproef werd verzameld op 17 juli 2017, op een perceel waar voor het tweede jaar snijmaïs (*Zea mays* spp. *mays*) werd verbouwd, na eerder drie jaar grasland. De grond bestond uit zwak lemig, matig fijn zand, en werd verzameld tot 10 cm diepte, in het midden tussen de rijen planten. Omdat er gras was ondergezaaid bevatte de verzamelde grond een kleine hoeveelheid graswortels. De verzamelde grond werd diezelfde dag vervoerd naar Wageningen en opgeslagen bij 4°C. Op 18 juli werd een partij van deze grond gemengd, gezeefd over een 5 mm zeef, bemonsterd voor analyse van de samenstelling, en daarna gebruikt voor het inzetten van de incubatieproef. De grond had de volgende samenstelling (na drogen bij 40°C): pH-KCl 5,5, pH-water 6,4, OS 6,4%, totaal C 3,3%, totaal N 1,9 g kg⁻¹, minerale N (N-NH₄ + N-NO₃ + N-NO₂) 10,7 mg kg⁻¹, C/N-verhouding 17,4, P-Al 47 mg P₂O₅ 100⁻¹ g, en K-HCl 11 mg K₂O 100⁻¹ g. De granulaire samenstelling (na drogen bij 105°C) was: 4% klei, 7% silt, en 82% zand.

1.4 Incubatieproef voor meting CO₂-respiratie

De incubatieproef werd uitgevoerd door het CBLB te Wageningen en ingezet op 18 juli 2017. Voor deze proef werden glazen flessen (ø 6,9 cm; 575 ml) gevuld met alleen verse zandgrond (controle) of verse zandgrond gemixt met de verschillende mesten. De verse grond (180 g) werd gemixt met 15 g verse mest en er werd gedemineraliseerd water toegediend tot 60% van de vloeigrens van de grond (341 g water kg⁻¹ droge grond). Hierbij werd gecorrigeerd voor de al toegediende hoeveelheid water met mest. Na het vullen werden de flessen gewogen, afgesloten met een prop watten, en gedurende 168 dagen weggezet bij 20°C, in het donker. De controle werd in viervoud ingezet en de behandelingen in tweevoud. De CO₂-respiratie van de flessen werd gemeten met een Innova 1412 foto-akoestische gasmonitor, 1, 3, 7, 14, 28, 56, 84, 112, 140 en 168 dagen na het inzetten. Bij iedere meting werd de CO₂-concentratie (ppm) in de fles gemeten aan het einde van een accumulatieperiode, en werd deze gecorrigeerd voor de CO₂-concentratie in de omgevingslucht (~ beginconcentratie in de flessen). De accumulatieperiode werd tijdens de proef verlengd, van 0,5 uur bij de eerste meting tot 16 uur bij de laatste meting, om de CO₂-concentratie tussen de 1000 en 10.000 ppm te houden. Na iedere meting werd gedemineraliseerd water toegevoegd om het oorspronkelijke vochtgehalte in de flessen te herstellen. Na het einde van de incubatieperiode (t = 168 dagen) werd van één fles per behandeling het luchtvolume ('headspace') gravimetrisch bepaald. Van de andere fles werd de inhoud gedroogd bij 40°C, gezeefd op 2 mm, en opgeslagen.

1.5 Incubatieproef voor grondanalyse

Parallel aan de incubatieproef met flessen werd ook een incubatieproef met polyethyleen zakjes ingezet (Velthof en Oenema 2010), met als doel om de in de flessenproef ingezette grondmestmengsels te analyseren op samenstelling. De incubatieproef met (luchtdoorlatende) polyethyleen zakjes werd onder dezelfde condities uitgevoerd als de incubatieproef met flessen, met dezelfde behandelingen, en met menging van dezelfde hoeveelheden grond en mest. De controle werd echter niet in viervoud maar in duplo uitgevoerd, en de behandelingen met toediening van mest niet in duplo maar in enkelvoud. Op dag 1 werden van alle behandelingen de relevante zakjes uitgehaald, werd de inhoud gedroogd bij 40°C, gezeefd op 2 mm, en opgeslagen.

1.6 Meting pyrolyse GC-MS

De verzamelde en gedroogde grondmonsters van t = 1 dag (begin incubatie, zakjes) en t = 168 dagen (einde incubatie, flessen) werden door Eurofins Agro (Wageningen) geanalyseerd met pyrolyse GC-MS. Deze analyse werd uitgevoerd met een Py-3030S pyrolysator (550°C) met Py-1020ET auto-shot sampler (Frontier Lab, Fukushima, Japan), die was verbonden met een GC-MS systeem (Trace GC Ultra) met een drievoudige vierpolige massaspectrometer (Thermo Scientific, Waltham MA, USA). De gedetecteerde pyrolysefragmenten (op basis van pieken in het gemeten spectrum) werden per monster zover mogelijk geïdentificeerd, en het totale geïdentificeerde gebied werd uitgedrukt als

100% totale ionenstroom (TIC). De relatieve hoeveelheid van elke piek werd vervolgens uitgedrukt als percentage van TIC. Geïdentificeerde pyrolysefragmenten werden verdeeld in hoofdgroepen, zoals alifatische verbindingen, lignine, stikstofhoudende verbindingen (inclusief chitine), en koolhydraten. Deze hoofdgroepen werden verder onderverdeeld in diverse componenten, gebaseerd op Van Nierop (2001, 2005), Buurman (2007, 2009), en Schellekens (2013).

1.7 Berekeningen en statistische analyse

Incubatieproef CO₂-respiratie

Voor de incubatieproef werd per fles/behandeling berekend hoeveel C er bij de start van de proef was toegediend met grond en mest. Vervolgens werd per fles per meettijdstip de CO₂-flux berekend, op basis van de begin- en eindconcentratie CO₂. Hierbij werd een molair volume (V_m) van 24,04 L mol⁻¹ (20°C) aangenomen. Met lineaire integratie van de CO₂-flux over de tijd werd per fles berekend hoeveel C er tussen de tijdstippen respireerde, en hoeveel er per tijdstip nog in de fles over was. Deze hoeveelheid werd uitgedrukt als fractie (%) van de oorspronkelijke hoeveelheid aanwezige C in grond + mest of in alleen mest (na correctie voor de hoeveelheid overblijvende C uit alleen de zandgrond). De fractie overblijvende C is een proxy (variabele) voor overblijvende OS; deze termen worden in de rapportage naast elkaar gebruikt. De berekende fracties overblijvende C van alle 30 mesten op alle meettijdstippen werden gezamenlijk statistisch geanalyseerd met behulp van de ANOVA-procedure voor herhaalde waarnemingen in statistisch pakket Genstat (19^e editie; VSNI, Hemel Hempstead, UK). Hierbij bestond de 'Treatment structure' uit Mestnr., de 'Block structure' uit Herhalingsnr., en de 'Timepointfactor' uit het volgnummer van de meettijdstippen (1 t/m 11).

Pyrolyse GC-MS

Voor de 30 geïdentificeerde pyrolyseparameters is nagegaan of deze verschilden tussen het begin en einde van de incubatieperiode. Hiervoor werd gebruik gemaakt van redundantie-analyse (RDA) in statistisch pakket CANOCO 5, met tijd ($t = 1$ d en $t = 168$ d) als verklarende variabele en de pyrolyseparameters als de te verklaren variabelen. Daarna werd vastgesteld welke mestkenmerken de totale relatieve C-mineralisatie (uit grond + mest) over de hele incubatieperiode het beste konden verklaren. Hierbij werden alle 41 mestkenmerken (10 standaardkenmerken; 30 pyrolyseparameters op $t = 1$ d) als verklarende variabelen opgenomen in een RDA-analyse. De selectie van de mestkenmerken werd hierbij stapsgewijs doorgevoerd. Daardoor werden de kenmerken geselecteerd die een sterk effect hadden op de totale mineralisatie, en werd tegelijk ook de door deze kenmerken verklaarde variantie gesorteerd. Mestkenmerken werden alleen geselecteerd als hun opname een significante toename in verklaarde variantie gaf ($P < 0,05$). De stapsgewijze selectie werd eerst gedaan voor de 10 standaardkenmerken, daarna voor de 30 pyrolyseparameters, en tenslotte voor alle 41 mestkenmerken gezamenlijk. De geselecteerde verklarende mestkenmerken werden daarna opgenomen in een lineair regressiemodel om de bijdrage van elk kenmerk te bepalen. Met behulp van dit regressiemodel is vervolgens per mest de totale relatieve C-mineralisatie geschat, en is deze modelwaarde afgezet tegen de gemeten waarde.

2 Resultaten

2.1 Standaardkenmerken mest

De standaardkenmerken van de 30 gebruikte mesten zijn gegeven in Tabel 1.

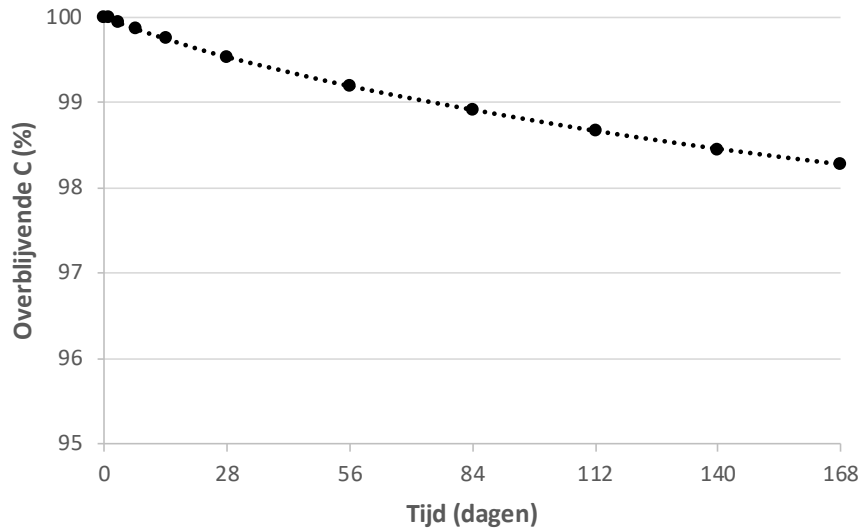
Tabel 1 Standaardkenmerken van de 30 verzamelde mesten (in g kg⁻¹ vers product, behalve pH en berekende C/N-verhouding).

Nr.	Code	Soort	DS	OS	pH	N-totaal	P-totaal	K-totaal	NH ₄ -N	NO ₃ -N	C-totaal	C/N	S-totaal
1	CP1	Groencompost	732	191	8,5	5,1	0,9	4,5	0,0	0,0	63	12,4	0,6
2	CP2	Groencompost	589	201	8,8	4,2	0,7	4,2	0,1	0,0	102	23,9	0,6
3	CP3	Compostaarde	848	34	7,8	1,1	0,3	1,9	0,0	0,0	15	13,4	0,2
4	CP4	GFT-compost	638	209	8,9	9,8	2,0	6,4	0,8	0,1	122	12,4	1,4
5	CP5	Champost	339	202	6,6	6,8	1,6	8,6	0,3	0,0	115	16,8	8,6
6	DG1	Digestaat (monovergisting)	310	243	9,2	7,8	3,3	4,8	1,4	0,0	131	16,7	2,0
7	DG2	Digestaat (covergisting)	65	44	8,0	3,9	0,4	4,7	1,9	0,0	29	7,5	0,5
8	DG3	Digestaat (monovergisting)	64	45	7,6	3,3	0,4	4,1	1,5	0,0	27	8,2	0,3
9	DG4	Digestaat (monovergisting)	94	71	7,5	4,4	0,7	5,6	1,7	0,0	41	9,3	0,6
10	DG5	Digestaat (covergisting)	87	61	8,1	6,4	1,4	5,5	2,9	0,0	34	5,3	0,6
11	RDM1	Runderdrijfmest (gras)	64	48	8,0	3,9	0,4	4,3	2,1	0,0	30	7,7	0,5
12	RDM2	Runderdrijfmest (gras)	84	65	7,6	4,1	0,5	5,8	1,8	0,0	37	9,1	0,5
13	RDM3	Runderdrijfmest (mais)	93	79	7,1	3,5	0,6	2,5	1,1	0,0	43	12,3	0,4
14	RDM4	Runderdrijfmest (gras)	84	67	7,5	4,7	0,7	5,3	2,2	0,0	39	8,4	0,6
15	RDM5	Runderdrijfmest (mais)	99	74	7,7	4,5	0,7	5,0	1,9	0,0	43	9,5	0,7
16	VDM1	Zeugendrijfmest	60	38	7,9	5,0	2,4	4,4	2,5	0,0	22	4,4	0,7
17	VDM2	Zeugendrijfmest	56	35	8,0	4,7	2,1	4,3	2,4	0,0	21	4,5	0,7
18	VDM3	Vleesvarkensdrijfmest (droogvoer)	66	40	8,3	8,2	1,3	5,2	5,3	0,0	24	3,0	0,9
19	VDM4	Vleesvarkensdrijfmest (droogvoer)	45	29	7,8	7,2	0,9	4,4	4,9	0,0	18	2,6	0,7
20	VDM5	Vleesvarkensdrijfmest (brijvoer)	135	62	7,7	7,0	3,1	5,0	3,3	0,0	46	6,7	1,5
21	SSM1	Strostmest (melkkoeien, bio)	250	165	9,5	6,0	1,4	17,3	0,1	0,1	95	16,0	1,7
22	SSM2	Strostmest (vleesstieren, oud)	160	118	9,1	6,9	2,5	7,9	1,0	0,0	67	9,7	1,2
23	SSM3	Strostmest (vleesstieren, jong)	233	206	8,6	7,8	1,4	7,4	0,9	0,0	110	14,2	1,2
24	SSM4	Strostmest (melkkoeien)	305	130	9,4	5,8	2,3	8,3	0,1	0,1	59	10,3	1,1
25	SSM5	Strostmest (paarden)	391	331	9,2	9,4	2,1	13,4	0,6	0,0	180	19,2	1,5
26	VSM1	Vrijloopstmest (houtsnipers)	348	265	9,4	11,7	2,7	16,1	0,5	0,0	144	12,3	1,9
27	VSM2	Vrijloopstmest (stro)	263	195	9,4	6,0	1,2	15,2	0,4	0,0	106	17,8	1,5
28	VSM3	Vrijloopstmest (divers)	433	192	9,0	7,0	1,6	9,3	1,2	0,0	114	16,2	1,7
29	VSM4	Vrijloopstmest (houtsnipers)	315	236	9,2	8,7	2,1	13,6	0,6	0,0	126	14,4	1,9
30	VSM5	Vrijloopstmest (grof hout)	342	289	9,2	8,3	1,6	8,2	0,2	0,0	151	18,2	1,1

2.2 C-mineralisatie

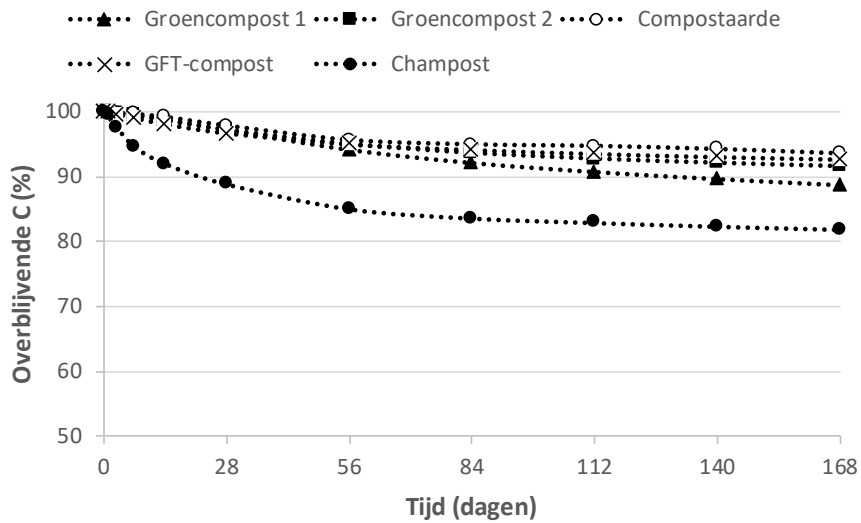
Uit de statistische analyse bleek dat de fractie overblijvende C uit een toegediende individuele mest afhankelijk was van zowel de mest als het meettijdstip ($P < 0,001$); het kleinste significante verschil (LSD; $P \leq 0,05$) in overblijvende C was 1,9% bij vergelijking van willekeurige combinaties van mest en meettijdstip, en 1,4% bij vergelijking tussen meettijdstippen per individuele mest.

De OS in de zandgrond brak langzaam af; na 168 dagen incubatie was er nog 98,3% over van de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid C (Figuur 1).



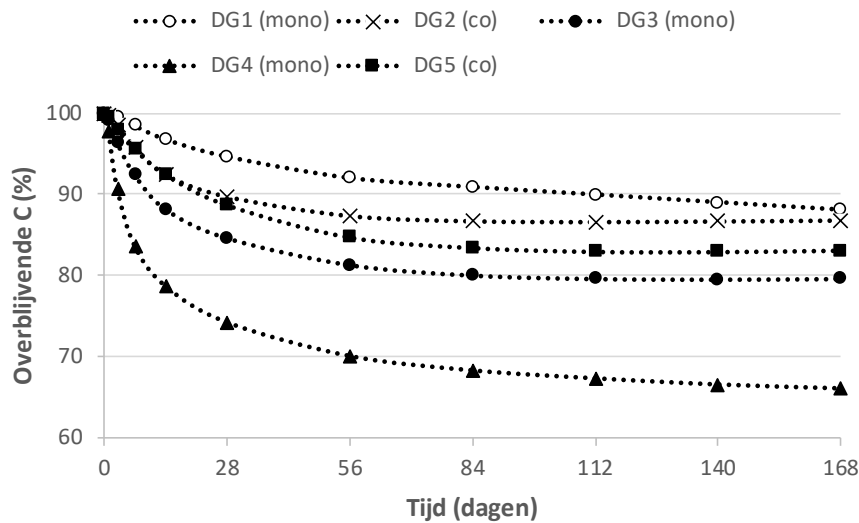
Figuur 1 Verloop van de fractie overblijvende C (%) in de zandgrond tijdens incubatie onder gecontroleerde omstandigheden.

De C in toegediende champost mineraliseerde sneller dan de C in de andere vier composten, met een fractie overblijvende C na 168 dagen van 82% (Figuur 2). Bij de andere composten varieerde deze fractie op dat tijdstip van 89% tot 94%.



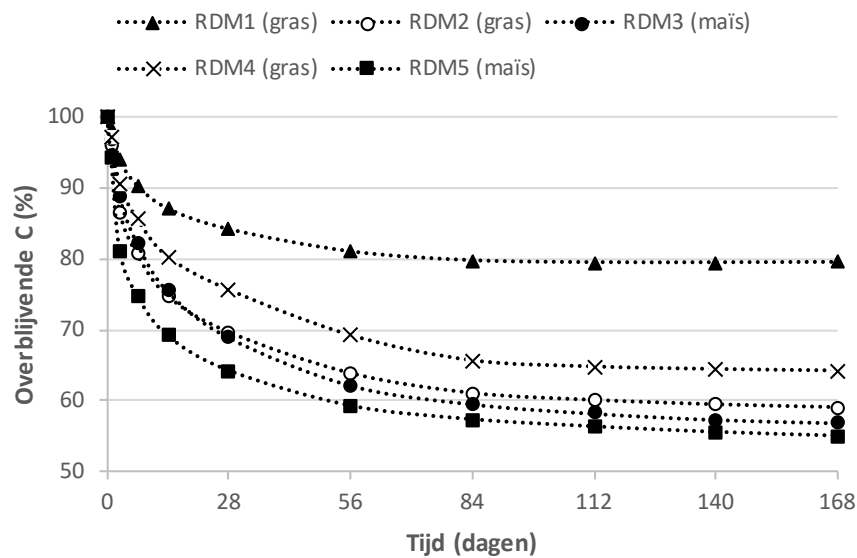
Figuur 2 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf composten tijdens incubatie met zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten voor de composten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

Bij vier van de vijf digestaten varieerde de fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie van 80% tot 88% (Figuur 3). Het digestaat van bedrijf 4 week duidelijk af, met een overblijvende fractie van 66%. Bij digestaten DG1 en DG4 ging de C-mineralisatie door tot aan het einde van de incubatieperiode, terwijl bij de andere digestaten de mineralisatie tijdens de incubatieperiode (vrijwel) tot stilstand kwam.



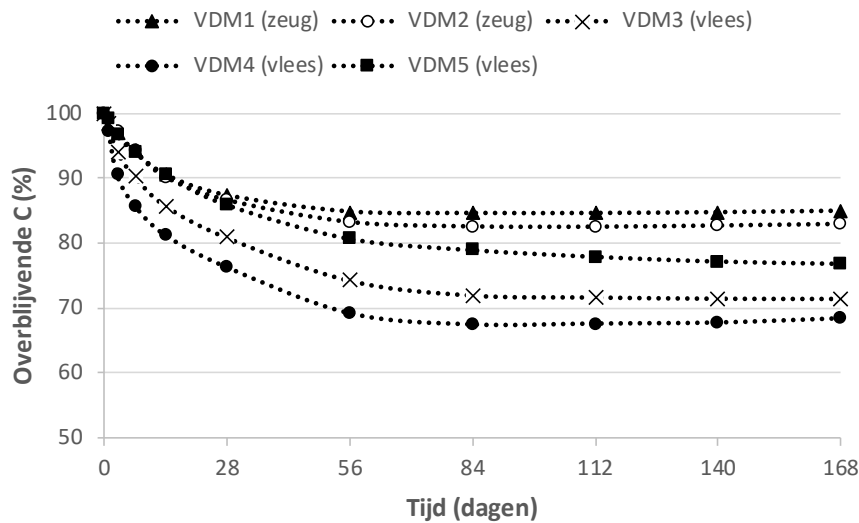
Figuur 3 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf digestaten (DG) uit mono- of co-vergisting van runderdrijfmest tijdens incubatie met zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten van de digestaten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

Bij de runderdrijfmesten varieerde de fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie van 55% tot 79% (Figuur 4). Bij RDM1 kwam de mineralisatie na 112 dagen tot stilstand, op een niveau van 79% overblijvende C, terwijl deze bij de andere vier drijfmesten nog (langzaam) doorging. De afname in fractie overblijvende C tussen $t = 112$ en $t = 168$ dagen varieerde bij deze vier drijfmesten van 0,6 tot 1,3 procentpunt en was daarmee klein.



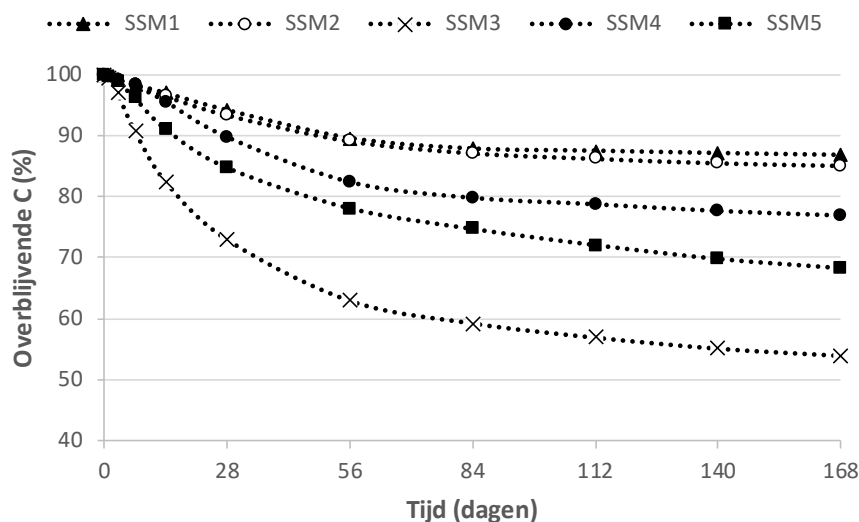
Figuur 4 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf runderdrijfmesten (RDM), geproduceerd met relatief veel gras of snijmaïs in het rantsoen, tijdens incubatie met zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten van de runderdrijfmesten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

Bij de varkensdrijfmesten varieerde de fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie van 68% tot 85% (Figuur 5). Bij drie van de vijf mesten kwam de mineralisatie tijdens incubatie tot stilstand; bij één mest ging de mineralisatie door (VDM5), en bij één mest (VDM4) leek de mineralisatie na 84 dagen licht negatief te worden. Hierbij leek de fractie overblijvende C tussen $t = 84$ d en $t = 168$ d toe te nemen; deze toename was met 1 procentpunt niet significant.



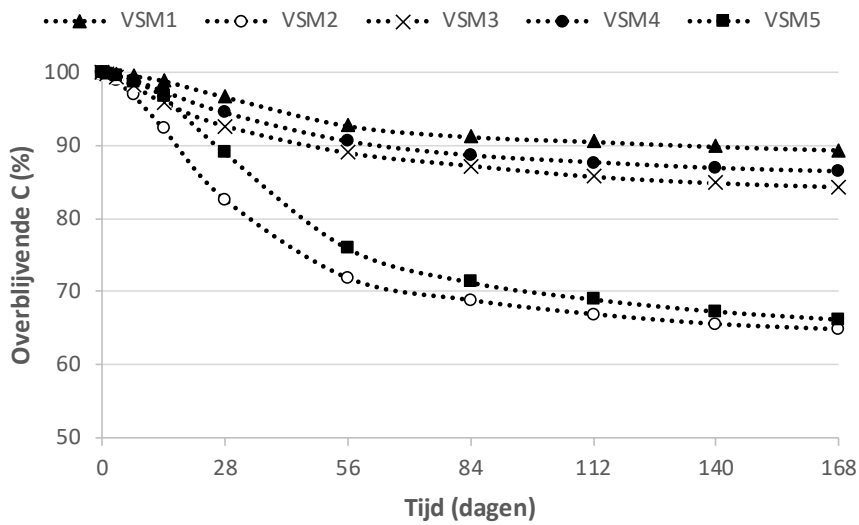
Figuur 5 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf varkensdrijfmesten (VDM), afkomstig van zeugen of vleesvarkens, tijdens incubatie met zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten van de varkensdrijfmesten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

Bij de strostalmesten varieerde de fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie van 54% tot 87% (Figuur 6). 'Jonge' vleesstiermest (SSM3) had een duidelijk snellere C-mineralisatie dan 'oude' vleesstiermest (SSM2).



Figuur 6 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf strostalmesten (SSM) tijdens incubatie met zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten van de strostalmesten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

Bij de vrijloopstalmesten varieerde de overblijvende fractie C na 168 dagen incubatie van 65% tot 89% (Figuur 7). Vrijloopstalmest met houtsnippers als strooisel (VSM1, VSM4) mineraliseerde langzamer dan vrijloopstalmest met wat grovere houtdelen als strooisel (VSM5). De vrijloopstalmest met stro als strooisel (VSM2) mineraliseerde relatief snel. Deze mest kan overigens ook gezien worden als een strostalmest.



Figuur 7 Verloop van de fractie overblijvende C (%) van vijf vrijloopstalmesten (VSM) tijdens incubatie met een zandgrond onder gecontroleerde omstandigheden. Resultaten van de vrijloopstalmesten zijn na aftrek van de bijdrage van de zandgrond.

2.3 Pyrolyse

Tijdens pyrolyse van de mengsels van grond en mest werden in totaal 272 verschillende pieken (pyrolysefragmenten) gedetecteerd. Met deze pieken konden 30 verschillende pyrolyseparameters (hoofdgroepen en componenten) worden onderscheiden (Tabel 2). Deze set van parameters, gemeten in de mengsels van grond en mest, was aan het einde van de incubatieperiode significant verschillend vergeleken met het begin ($P < 0,001$). Voor de hoofdgroepen guaiacolen, syringolen, en lignine was er een toename van hun aandeel in de OS, terwijl er voor koolhydraten, stikstofcomponenten en alkanen + alkenen een afname was.

Tabel 2 Overzicht van de geïdentificeerde pyrolyseparameters, uitgedrukt als aandeel van de 'Total Ion Current' (TIC), als aandeel van een hoofdgroep, of in verhouding tot een andere parameter. Per parameter is de gemiddelde relatieve waarde (voor alle mesten, $n = 30$) en de bijbehorende standaardfout gegeven voor de meting op dag 1 (begin incubatie) en dag 168 (einde incubatie).

Nr.	Parameter	Eenheid	Waarde na:	
			1 dag	168 dagen
1	Total ion current (TIC)		100	100
2	Totaal guaiacolen (G)	% TIC	4,0 (0,1)	6,2 (0,3)
3	<i>C₃-guaiacolen</i>	% G	11,8 (0,2)	11,9 (0,4)
4	Totaal syringolen (S)	% TIC	1,8 (0,0)	3,1 (0,2)
5	<i>C₃-syringolen</i>	% S	25,8 (0,3)	24,5 (0,3)
6	Syringolen/guaiacolen	-	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)
7	Totaal lignine (LIG)	% TIC	8,0 (0,2)	11,8 (0,6)
8	<i>Totaal vinyl</i>	% LIG	48,9 (0,4)	42,6 (0,7)
9	<i>Totaal acetyl + formyl</i>	% LIG	12,2 (0,1)	13,9 (0,2)
10	<i>Totaal guaiacolen + syringolen</i>	% LIG	9,0 (0,1)	10,7 (0,3)
11	Totaal lignine/levoglucosan	-	9,5 (0,2)	21,8 (1,1)
12	Totaal koolhydraten (KH)	% TIC	19,9 (0,1)	18,6 (0,2)
13	<i>Van cellulose</i>	% KH	4,2 (0,1)	2,9 (0,1)
14	<i>Van hemicellulose</i>	% KH	3,4 (0,1)	4,1 (0,1)
15	<i>Van microbiële oorsprong</i>	% KH	23,8 (0,1)	23,9 (0,2)
16	2-Furaldehyde	% TIC	4,2 (0,1)	4,2 (0,1)
17	Pyridine	% TIC	2,1 (0,0)	1,7 (0,0)
18	Totaal stikstofcomponenten (N)	% TIC	20,6 (0,1)	18,7 (0,1)
19	<i>Van microbiële oorsprong</i>	% N	38,5 (0,1)	40,2 (0,2)
20	<i>Van plantaardige oorsprong</i>	% N	12,3 (0,1)	15,3 (0,2)
21	<i>Van chitine</i>	% N	26,9 (0,2)	22,2 (0,2)
22	Diketodipyrrole ¹⁾	% TIC	0,6 (0,0)	1,0 (0,0)
23	Totaal alkanen en alkenen (ALK)	% TIC	6,8 (0,1)	6,4 (0,1)
24	<i>Alkanen</i>	% ALK	65,1 (0,1)	63,5 (0,1)
25	<i>Alkenen</i>	% ALK	34,9 (0,1)	36,5 (0,1)
26	<i>Alkanen/alkenen</i>	-	1,9 (0,0)	1,7 (0,0)
27	<i>Hogere alk. (C₂₁-C₃₁)</i>	% ALK	42,9 (0,2)	42,5 (0,3)
28	<i>Lagere alk. (C₁₁-C₂₀)</i>	% ALK	57,1 (0,2)	57,5 (0,3)
29	<i>Lagere alkanen; even/oneven aantal C-atomen</i>	-	0,9 (0,0)	1,2 (0,0)
30	Vertakte alkenen	% TIC	0,8 (0,0)	0,7 (0,0)

¹⁾ van zowel microbiële als plantaardige oorsprong

2.4 Relatie tussen C-mineralisatie en pyrolyseparameters

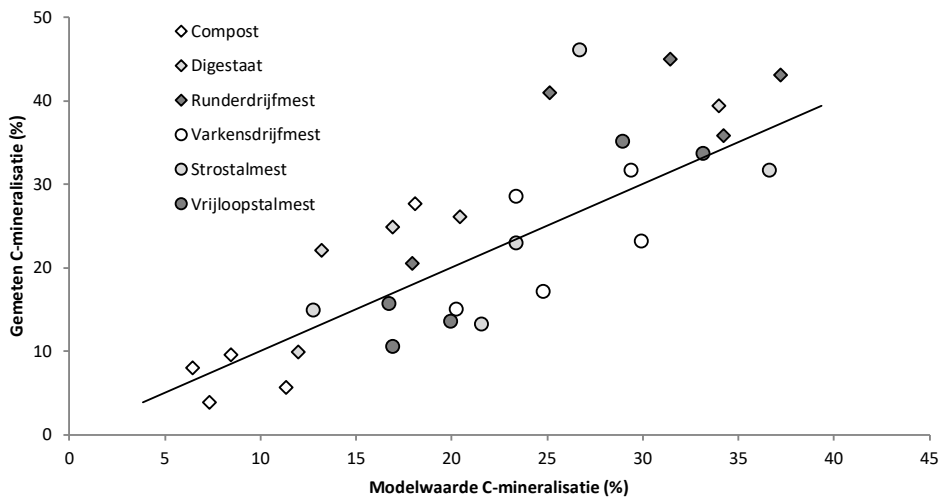
Uit de stapsgewijze redundantie-analyse volgt dat er met alleen de standaard mestkenmerken maximaal 42% van de variantie in C-mineralisatie verklaard kon worden ($P < 0,05$), door de kenmerken DS en OS (Tabel 3). Met alleen de pyrolyseparameters kon maximaal 33% van de

variantie verklaard worden ($P < 0,05$), door de verhouding alkanen/alkenen. Bij combinatie van alle mestkenmerken kon maximaal 78% van de totale mineralisatie verklaard worden ($P < 0,05$), door de verhouding alkanen/alkenen, DS, OS, totaal guaiacolen, en pH. Aanvullende meting van de verhouding alkanen/alkenen en totaal guaiacolen door middel van pyrolyse gaf daarmee een aanzienlijke toename van de verklaarde variantie in C-mineralisatie.

Tabel 3 Verklaarde variantie (%) in C-mineralisatie en P-waarden voor geselecteerde mestkenmerken na redundantie-analyse, bij gebruik van alleen de standaard mestkenmerken, alleen de pyrolyseparameters, of beide groepen gecombineerd.

Type mestmeting	Kenmerk	Verklaarde variantie (%)	P-waarde
Standaard	Droge stof	26	0.008
	Organische stof	16	0.008
	<i>Totaal</i>	42	
Pyrolyse	Alkanen/alkenen	33	0.004
Standaard + pyrolyse	Alkanen/alkenen	33	0.004
	Droge stof	12	0.02
	Organische stof	14	0.008
	Totaal guaiacolen	12	0.002
	pH	7	0.018
	<i>Totaal</i>	78	

Met behulp van de modelparameters uit Tabel 3 zijn de voorspelde waarden voor totale relatieve C-mineralisatie vergeleken met de gemeten waarden (Fig. 8). Bij drie mesten week de gemeten waarde bovengemiddeld af van de voorspelde waarde. Dit betreft twee runderdrijfmesten (mestnummers 12 en 15) en een strostalmest (mestnummer 23).



Figuur 8 De gemodelleerde versus de gemeten C-mineralisatie; modelwaarden volgen uit de parameters in Tabel 3.

3 Discussie

3.1 Spreiding in C-mineralisatie tussen mesten

De fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie varieerde voor alle 30 mesten tussen de 54% en 94% (Tabel 4). Daarmee was een voldoende ruime spreiding gerealiseerd in de afbreekbaarheid van de OS. Lashermes et al. (2009) rapporteerden een ruimere spreiding van 9% en 95%, voor een dataset met toediening van 83 verschillende organische producten aan 15 verschillende gronden. Deze dataset bevatte echter ook producten met een laag OS-gehalte, of relatief veel snel afbreekbare OS, zoals proceswater uit de afvalverwerking. Deze producten kunnen verantwoordelijk zijn geweest voor de (erg) lage fracties overblijvende C.

In het voorliggende onderzoek varieerde de relatieve C-mineralisatie van de vijf runderdrijfmesten van 55% tot 79%. In eerder onderzoek, bij dezelfde temperatuur en incubatieduur, varieerde de fractie overblijvende C van 31% tot 95%, afhankelijk van de gebruikte drijfmest, zandgrond, en mestdosering (De Boer 2013, De Boer et al. 2018, De Boer 2019). In het eerdere onderzoek werd ook geconstateerd dat toediening van runderdrijfmest en andere dunne mesten aan zandgrond de mineralisatie van bodem-C kan remmen, terwijl dit bij vaste mest(fracties) niet het geval leek (De Boer et al. 2018). De oorzaak van deze remming is nog onbekend. Een dergelijke remming was in het voorliggende onderzoek niet direct zichtbaar uit het verloop van de mineralisatiecurves, maar kan desondanks wel aanwezig zijn geweest. De relatieve C-mineralisatie tussen $t = 112$ en $t = 168$ dagen was met 0,6-1,3 procentpunt erg klein, en lijkt niet conform de hoeveelheid mineralisatie die mag worden verwacht bij een ongestoord verlopende mineralisatie. Mogelijk is er ook remming opgetreden bij de C-mineralisatie uit de digestaten en varkensdrijfmesten. De C-mineralisatie van de composten, strostalmesten en vrijloopstalmesten leek wel voldoende snel te verlopen, conform eerdere resultaten (De Boer 2013, De Boer et al. 2018, Postma & Ros 2016).

De fracties overblijvende C uit het incubatieonderzoek (Tabel 4) zijn na temperatuurcorrectie (Noij et al. 1993) te vertalen naar de humificatiecoëfficiënten van de mesten: de fractie van toegediende OS die 1 jaar na toediening nog in bodem aanwezig is. Een incubatieperiode van 168 dagen bij 20°C komt overeen met een incubatieperiode van 331 dagen bij de gemiddelde veldtemperatuur in Nederland (10,1°C). Deze periode is 34 dagen korter dan de jaarlengte van 365 dagen; de werkelijke humificatiecoëfficiënten zullen dus iets lager zijn.

3.2 Veranderingen in pyrolyseparameters tijdens incubatie

De resultaten van de pyrolyse werden uitgedrukt in TIC (totale ionenstroom). Deze parameter is in grote mate afhankelijk van de hoeveelheid OS die gepyrolyseerd wordt. Het lijkt daarom logisch om te veronderstellen dat door het afnemen van het OS-gehalte tijdens incubatie ook de absolute hoeveelheid TIC zou moeten afnemen. Daarmee zou een toename van het aandeel van een pyrolyseparameter in TIC mogelijk eerder geïnterpreteerd moeten worden vanuit de afname van het OS-gehalte, in plaats van als een daadwerkelijke toename in gehalte. Er is echter nog veel onduidelijk over de precieze interpretatie van TIC, en TIC kan daarom niet 1:1 gekoppeld worden aan de hoeveelheid OS in het mengsel van grond en mest. Daarmee kunnen toenames of afnames in relatieve aandelen van pyrolyseparameters op dit moment niet direct gerelateerd worden aan absolute veranderingen in OS-gehalte.

Gedurende de incubatieperiode nam het aandeel alkenen toe en het aandeel alkanen af. Deze verschuiving is niet goed te verklaren, onder andere omdat er nog veel discussie is over de herkomst van alkanen en alkenen in grond (o.a. Suárez Abelenda et al. 2011, Buurman et al. 2009, Nierop et al.

2001). Marinari et al. (2007) zelfs plastics als mogelijke bron van alkanen en alkenen. Suárez Abelenda et al. (2011) stelt dat alkanen en alkenen afkomstig zijn van planten, en Schellekens et al. (2013) koppelt de aanwezigheid van alkanen specifiek aan afgebrand grasland. De zandgrond die werd gebruikt in de incubatieproef was afkomstig van een perceel waar voor het tweede jaar snijmaïs werd geteeld, na eerst drie jaar grasland. Er lijkt daarmee in het voorliggende experiment een link te zijn tussen de aanwezigheid van alkanen en de aanvoer van organische materiaal afkomstig van gras.

3.3 Verklaring van C-mineralisatie uit mesteigenschappen

In dit onderzoek wordt slechts een relatief klein deel (42%) van de variantie in totale relatieve C-mineralisatie verklaard door de standaard mestkenmerken (Tabel 3); de toevoeging van pyrolyseparameters (de verhouding tussen alkanen en alkenen en totaal guaiacolen) aan de analyse geeft een aanzienlijke toename in verklaarde variantie, tot 78%. Meting van de OS-samenstelling met pyrolyse levert daarmee in dit onderzoek een wezenlijke bijdrage aan de verklaring (en voorspelling) van de totale C-mineralisatie, en daarmee van de C-mineralisatie.

Met behulp van vijf variabelen kon maximaal 78% van de variantie in relatieve C-mineralisatie worden verklaard. Vijf variabelen lijkt relatief veel; Lashermes et al. (2009) konden met vier variabelen maximaal 74% van de variantie in overblijvende C verklaren, ondanks dat er door hen een grotere range aan organische producten (n = 83) en typen grond (n = 15) werd gebruikt. Aantrekkelijk aan onze resultaten is dat de 78% verklaarde variantie volledig vanuit mestkenmerken verklaard kon worden. Lashermes et al. (2009) konden met behulp van mestkenmerken (ruwe-celstofanalyse) niet meer dan 54% van de variantie in overblijvende C verklaren. In hun onderzoek verhoogde de toevoeging van de relatieve C-mineralisatie (in de eerste drie dagen van incubatie) als verklarende variabele de verklaarde variantie tot de genoemde 74%.

Tot slot valt bij de bestudering van onze resultaten op dat het gehalte N-totaal of gehalte minerale N in de mesten geen bijdrage gaf aan de verklaring van de variantie in hun C-mineralisatie, ondanks dat er bij een aantal mesten (jonge strostalmest en vrijloopstalmest) het minerale N-gehalte erg laag was en er tijdens incubatie N-immobilisatie kan zijn opgetreden.

Conclusies

- De fractie overblijvende C na 168 dagen incubatie varieerde voor de 30 mesten tussen de 54% en 94%. Hiermee was de spreiding in afbreekbaarheid van de OS, en daarmee van verschillen in OS-kwaliteit, voldoende gerealiseerd;
- De fractie overblijvende C aan het einde van de incubatieperiode was gemiddeld het laagst bij de runderdrijfmesten (63%; range 55%-80%) en het hoogst bij de composten (90%; range 82%-94%);
- Met pyrolysemeting werden in de mengsels van grond en mest in totaal 272 pieken (pyrolysefragmenten) gedetecteerd. Hieruit konden 30 verschillende pyrolyseparameters worden onderscheiden;
- Deze set van 30 parameters was aan het einde van de incubatieperiode significant verschillend vergeleken met het begin ($P < 0,001$). Bij de hoofdgroepen guaiacolen, syringolen, en lignine was er een toename van hun aandeel in de OS, terwijl er bij de koolhydraten, stikstofcomponenten en alkanen+alkenen een afname was;
- Met alleen de standaard mestkenmerken (DS, OS) kon maximaal 42% van de variantie in totale relatieve C-mineralisatie over de incubatieperiode verklaard worden; met alleen de pyrolyseparameters (verhouding alkanen/alkenen) maximaal 33%;
- Bij gebruik van zowel de standaard mestkenmerken als de pyrolyseparameters kon maximaal 78% van de variantie verklaard worden, door: de verhouding alkanen tot alkenen (33%), DS (12%), OS (14%), totaal guaiacolen (12%), en de pH (7%);
- Meting van pyrolyseparameters aan mest gaf daarmee een aanzienlijke toename van de verklaarde variantie in C-mineralisatie uit deze mest. Pyrolyse lijkt daarmee een zinvolle aanvulling op bestaande bepalingen van OS-kwaliteit in mest.

Dankwoord

Paul Galama (WLR) en Studieclub 'Morgen' worden bedankt voor het agenderen van de noodzaak voor het opzetten van een mestwaarderingsstelsel (met de kwaliteit van OS als belangrijk onderdeel), Paul Galama en Pieter de Wolf (WPR) voor het inbrengen van dit onderwerp in de PPS Beter Bodembeheer; Katrin Oltmer (Eurofins) voor het regelen van de mestverzameling; melkveepruifbedrijf De Marke voor de mogelijkheid om grond van een maïspaneel te verzamelen; Willeke van Tintelen en Tamas Salanki (CBLB) voor uitvoer van de incubatiepruiven, en Jantine van Middelkoop (WLR) en Petra van Vliet (Eurofins) voor de review van conceptversies van dit rapport.

Het onderzoek in dit rapport werd gefinancierd uit de PPS Beter Bodembeheer (Onderdeel 1b, Sturen op mestkwaliteit) (AF 16064, BO-47-001-006), met medefinanciering van ZuivelNL.

Literatuur

- De Boer HC (2013) On farm development of bedded-pack dairy barns in the Netherlands - Nutrient balances and manure quality of bedding material. Report 709, Wageningen Livestock Research
- De Boer HC (2019). Afbreeksnelheid van organische stof uit runderdrijfmest: effecten van dosering, zoutgehalte, en herkomst mest en grond. Rapport 1231, Wageningen Livestock Research
- De Boer HC, Timmerman M, Verdoes N, Schilder H (2018) Afbraak van organische stof uit (bewerkte) rundermest na toediening aan een zandgrond. Rapport 1095, Wageningen Livestock Research
- Buurman P, Nierop KGJ, Kaal J, Senesi N (2009) Analytical pyrolysis and thermally assisted hydrolysis and methylation of EUROSIL humic acid samples – A key to their source. *Geoderma* 150:10-22
- Buurman P, Schellekens J, Fritze HI, Nierop KGJ (2007) Selective depletion of organic matter in mottled podzol horizons. *Soil Biology & Biochemistry* 39:607-621
- Lashermes G, Nicolardot B, Parnaudeau V, Thuriès L, Chaussod R, Guillotin ML, Linères M, Mary B, Metzger L, Morvan R, Tricaud A, Villette C, Houot S (2009) Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science* 60:297-310
- Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S (2007) Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: A comparison between organic and mineral fertilization. *Bioresource Technology* 98:2495-2502
- Nierop KGJ, Pulleman MM, Marinissen JCY (2001) Management induced organic matter differentiation in grassland and arable soil: a study using pyrolysis techniques. *Soil Biology & Biochemistry* 33:755-764
- Nierop KGJ, Van Bergen PF, Buurman P, Van Lagen B (2005) NaOH and Na₄P₂O₇ extractable organic matter in two allophanic volcanic ash soils of the Azores Islands – a pyrolysis GC/MS study. *Geoderma* 127:36-51
- Noij IGAM, Janssen BH, Wesselink LG, Van Grinsven JJM (1993) Modelling nutrient and moisture cycling in tropical forests. Tropenbos Series 4, The Tropenbos Foundation, Wageningen
- Postma R, Ros G (2016) Bepalen van stabiliteit van GFT-en groencomposten. NMI-rapport 1580, NMI, Wageningen
- Schellekens J, Barberá GG, Buurman P, Pérez-Jordà G, Martínez-Cortizas A (2013) Soil organic matter dynamics in Mediterranean A-horizons – The use of analytical pyrolysis to ascertain land-use history. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 104:287-298
- Suárez Abelenda M, Buurman P, Camps Arbestain C, Kaal J, Martínez-Cortizas A, Gartzia-Bengoetxea N, Macías F (2011) Comparing NaOH-extractable organic matter of acid forest soils that differ in their pedogenic trends: a pyrolysis-GC/MS study. *European Journal of Soil Science* 62:834-848
- Velthof GL, Oenema O (2010) Estimation of plant-available nitrogen in soils using rapid chemical and biological methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41:52-71

Bijlage

Tabel 4 Overblijvende hoeveelheid C in mengsels van grond en mest, of alleen in mest (na correctie voor de bijdrage van grond), aan het begin en einde van een 168-dagen durende incubatieperiode.

Nr.	Code	Soort	Cover in mest+grond (g fles ⁻¹)		Cover uit mest (%)
			T = 0 d	T = 168 d	T = 168 d
1	CP1	Groencompost	0.95	0.84	88.7 ¹⁾
2	CP2	Groencompost	1.52	1.40	91.6
3	CP3	Compostaarde	0.22	0.21	93.6
4	CP4	GFT-compost	1.82	1.69	92.7
5	CP5	Champost	1.72	1.41	81.9
6	DG1	Digestaat (mono)	1.96	1.73	88.0
7	DG2	Digestaat (co)	0.44	0.38	86.8
8	DG3	Digestaat (mono)	0.41	0.32	79.6
9	DG4	Digestaat (mono)	0.62	0.41	66.1
10	DG5	Digestaat (co)	0.52	0.43	83.1
11	RDM1	Runderdrijfmest (gras)	0.45	0.36	79.5
12	RDM2	Runderdrijfmest (gras)	0.56	0.33	59.0
13	RDM3	Runderdrijfmest (maïs)	0.64	0.36	56.9
14	RDM4	Runderdrijfmest (gras)	0.59	0.38	64.2
15	RDM5	Runderdrijfmest (maïs)	0.64	0.35	55.0
16	VDM1	Zeugenmest	0.34	0.28	84.9
17	VDM2	Zeugenmest	0.32	0.26	82.9
18	VDM3	Vleesvarkensmest (droogvoer)	0.36	0.26	71.4
19	VDM4	Vleesvarkensmest (droogvoer)	0.28	0.19	68.3
20	VDM5	Vleesvarkensmest (brijvoer)	0.70	0.54	76.8
21	SSM1	Strostmest (melkkoeien, bio)	1.43	1.24	86.8
22	SSM2	Strostmest (vleesstieren, oud)	1.00	0.86	85.1
23	SSM3	Strostmest (vleesstieren, vers)	1.65	0.89	53.9
24	SSM4	Strostmest (melkkoeien)	0.89	0.69	77.0
25	SSM5	Strostmest (paarden)	2.70	1.84	68.3
26	VSM1	Vrijloopstmest (houtsnippen)	2.16	1.93	89.4
27	VSM2	Vrijloopstmest (stro)	1.59	1.03	64.8
28	VSM3	Vrijloopstmest (divers)	1.70	1.44	84.3
29	VSM4	Vrijloopstmest (houtsnippen)	1.89	1.64	86.4
30	VSM5	Vrijloopstmest (grof hout)	2.27	1.50	66.2

¹⁾ LSD = 1.9% (bij vergelijking tussen mesten onderling, in de laatste kolom; $\alpha = 0,05$)

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



Wageningen Livestock Research Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

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 Wageningen Research 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, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

