

14 NAAR EEN OPTIMALE OPSLAG EN BEHANDELING VAN VASTE KIPPEN- EN RUNDERMEST VIA COMPOSTEREN EN INKUILEN

Reubens B.¹, Willekens K.¹, Vandecasteele B.¹, Nelissen V.¹, Viaene J.¹

¹ *Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke*

14.1 AANLEIDING

Dat de zoektocht naar een geschikte, reglementaire maar tegelijk ook haalbare afzet en toepassing van dierlijke mest een actueel thema en bron van bezorgdheden en uitdagingen blijft vormen in de Vlaamse land- en tuinbouw, behoeft geen verdere uitleg. Mestverwerking en export lijken vaak de weg van de minste weerstand.

Toch zijn dit niet alleen probleemstromen met een potentieel grote milieu-impact; het zijn vaak ook producten met waarde in de context van behoud van bodemkwaliteit en organische stof-aanvoer. Maar hoe die kansen optimaal benutten?

In dit onderzoek werd gefocust op mogelijke optimalisatie van opslag en behandeling van kippenmest en vaste rundermest via compostering. We onderzoeken de hypothese of boerderijcompostering of inkuielen kansen bieden om de kwaliteit van kippenmest en vaste rundermest te verbeteren. En of dat interessant is voor de landbouwer en voor het

Dit artikel is gebaseerd op:

- Optimale aanwending van biologische mest voor een gezond biologisch gewas: Eindrapport (Reubens et al. 2013)
- Rapport Optimanure (Viaene et al., in voorbereiding)

milieu. We focussen vooral op de resultaten van het onderzoek met kippenmest; wat betreft de runderstalmest verschijnt binnenkort een afzonderlijk rapport (Viaene et al., in voorbereiding).

14.1.1 Kippenmest en opportuniteiten compostering

Onbehandelde kippenmest is vaak van wisselende kwaliteit, afhankelijk van ondermeer het staltype, de plek in de stal waar de mest vandaan komt, de opslagwijze en –periode, maar ook het kippenvoer en/of de verdere behandeling van de mest via bv. mengen, drogen of pelleren. Kippenmest heeft bovendien een hoge fosforinhoud in vergelijking tot de aanwezige stikstof (lage N/P-verhouding). Dat alles maakt deze mest voor akker- en tuinbouwers in Vlaanderen doorgaans weinig aantrekkelijk gezien de fosfaatbeperkingen vanuit de regelgeving (MAP), waardoor de fosforinhoud van de mest in de nabije toekomst nog meer beperkend wordt voor de mestgift. Ook op het kippenbedrijf zelf kan

de kippenmest vaak niet ingezet worden omwille van het weinig grondgebonden karakter ervan.

Het betrekken van kippenmest in de compostering kan resulteren in de ontwikkeling van een minder agressieve, trager werkende en beter te doseren meststof met een betere N/P verhouding en een biologisch gunstige samenstelling.

14.1.2 Runderstalmest en opportuniteiten compostering en inkuilen

In 2005 schatte het departement Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE) de hoeveelheid runderstalmest in externe mestopslag in Vlaanderen op 2.078.075 m³ (LNE, 2006). Het recent ingevoerde verbod van opslag van vaste mest op de kopakker in de periode van 15 november tot en met 15 januari en een maximale opslagduur van één maand op landbouwgrond buiten die periode, zorgt voor de nodige uitdagingen bij vleesveehouderijen, melkveebedrijven met potstal en akkerbouwers/groentetelers die mest tot in de winterperiode lieten aanvoeren om in het voorjaar (april/mei) op hun akkers uit te rijden. De veehouders zullen genoodzaakt worden om te investeren in een mestopslag op het bedrijf. VLAREM geeft aan dat de opslagplaats op het bedrijf aan enkele milieueisen moet voldoen: de vloer moet vloeistofdicht zijn, langs drie zijden moet ze omgeven zijn door mestdichte wanden van voldoende hoogte en de vierde zijde moet dermate aangelegd zijn dat afspoeling van mestsappen niet mogelijk is. Ervaringen in bestaande mestopslagruimtes geven aan dat door interne verhitting de mest in de bovenste zone vaak te droog wordt en er mogelijks veel stikstof vervluchtigt, waardoor de mestkwaliteit daalt. Verliezen van 20-40% stikstof (voornamelijk gasvormig) worden gerapporteerd (Eghball et al., 1997). De wettelijk opgelegde eisen zullen dus niet zomaar tot lagere stikstofverliezen leiden. Volgens LNE is vaste rundermest bovendien verantwoordelijk voor 35% van de totale broeikasgasemissie (methaan en lachgas) van externe mestopslag in Vlaanderen (LNE, 2006). De bijdrage van runderstalmest tot de lachgasemissies is hierbij het belangrijkste (> 85%) (LNE, 2006). Onderin zit los gestorte mest vaak te nat waardoor rotting en nutriëntenverliezen met sapverlies optreden.

Door omzetten van deze mest zouden nutriëntenverliezen kunnen beperkt worden en een langere opslagduur op de kopakker kunnen toegelaten worden. Composteren van de mest wordt op dit moment niet afzonderlijk behandeld in het MAP; wetenschappelijke onderbouwing zou hier verandering in kunnen brengen. Er zijn namelijk twee factoren die er toe leiden dat het risico op uitloging beperkt kan worden wanneer de stalrest gecomposteerd wordt: (1) de vorm van de ril, die zodanig is dat het water er mooi kan aflopen nadat zich een dunne korst heeft gevormd (deze korst reduceert ook de emissies); dit in tegenstelling tot de grillige vorm van een hoop ruwe stalrest waar water meer zal infiltreren; (2) het composteringsproces zelf waarbij stikstof wordt vastgelegd in de biomassa van micro-organismen (Hellebrand & Kalk, 2000). Het loont bijgevolg de moeite om extensieve compostering (tweetal keer omzetten) van stalrest op een kopakker te vergelijken met eenvoudig los gestorte mest op de kopakker en dit op vlak van onder meer risico op uitloging, gasvormige verliezen, kwaliteit, etc. Ook de vergelijking van dergelijke extensieve compostering op de kopakker versus op een vloeistofdichte ondergrond is relevant.

14.1.3 Dikke fractie runderdrijfmest

Het scheiden van melkveemest gebeurt nauwelijks in Vlaanderen, maar de belangstelling groeit. De quotabeperking (op melkproductie) valt weg vanaf 1 april 2015 waardoor bedrijven kunnen uitbreiden en dus meer nood aan mestafzet zullen hebben. Het uitrijden van drijfmest zorgt ook vaak voor problemen met plantenziekten op intensief bewerkte gronden (bv. groentestreken zoals Roeselare). Onderzoek naar de behandeling (beluchten, toevoegen van preparaten, die micro-organismen bevatten of de microbiële activiteit stimuleren, ...) van drijfmest, dringt zich dan ook op. Het composteren van drijfmest zal echter zeer veel structuurmateriaal vereisen. Een optie is om de drijfmest te injecteren bij compostering van te droge stalmest (bv. van paarden) (persoonlijke communicatie Menart, 2013). Wanneer de mest eerst wordt gescheiden ontstaan fracties waarvan de samenstelling landbouwkundig en milieukundig beter aansluiten bij de behoefte van specifieke gewassen en sectoren. Door het fosfaat te concentreren in de dikke fractie kan het volume af te voeren mest verminderen, wat de kosten voor transport en mestverwerking beperkt. Doordat de meeste fosfor niet meer in de dunne fractie aanwezig is, is fosfor geen beperkende factor meer en zou meer dunne fractie kunnen uitgevoerd worden in vergelijking met drijfmest. De dikke fractie bevat meer organische stof dan de dunne fractie. De dikke fractie bevat ook meer fosfor (Schröder et al., 2010), hetgeen de afzetmogelijkheden op Vlaamse land- en tuinbouwgrond bemoeilijkt en de interesse in dit product binnen Vlaanderen dus beperkt. De uitdaging bestaat er dus in deze dikke fractie op de meest geschikte manier te behandelen om (1) de kwaliteit te optimaliseren, (2) verliezen bij opslag te minimaliseren, (3) de toepassing of afzet economisch interessant te maken en (4) een evenwicht te vinden bij toepassing van deze producten tussen opbouw/behoud van koolstof in de bodem, en het beperken van de fosforverliezen. Net zoals bij de stalmest loont het dus de moeite om composterings- en inkuilopties voor deze dikke fractie verder te bestuderen.

14.2 PROEFOPZET KIPPENMEST IN DE COMPOST

De composteringsproeven met kippenmest vonden plaats in het kader van het project "*Optimale aanwending van biologische mest van kippen en herkauwers voor een gezond biologisch gewas*" (Reubens et al. 2013). Dit project, gefinancierd door de Afdeling Duurzame Landbouwontwikkeling (ADLO), vertrok van uitdagingen op vlak van bodemvruchtbaarheid en het lokaal sluiten van kringlopen binnen de Vlaamse biologische landbouw. De vraag werd gesteld of een behandeling van de mest via compostering voorafgaand aan het gebruik ervan de kwaliteit kan verbeteren. Naast compostering op ril, werden diverse alternatieve technieken uitgetest die eerder te omschrijven zijn als een opmenging van kippenmest met compost. Ze vonden plaats zowel op het individuele bedrijf als onder de vorm van centrale bewerking. In Box 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende uitgevoerde proeven. Enkel de eerste twee proeven worden hier voorgesteld; van de andere proeven beperken we ons tot een weergave van de voornaamste conclusies. Voor een gedetailleerde beschrijving en weergave van de resultaten wordt verwezen naar het eindrapport van dit project (Reubens et al. 2013).

Box 1. Overzicht composteringsproeven kippenmest

- Proef 1. Compostering op ril. Effect van verschillende plantaardige uitgangsmaterialen
- Proef 2. Compostering op ril. Effect van verschillende doses kippenmest
- Proef 3. Compost in de loopstal als vangsubstraat
- Proef 4. Stockage van kippenmest in de compost
- Proef 5. Centrale compostering op een verwerkingsbedrijf

Deze eerste twee proeven met kippenmest bestonden uit een compostering op ril samen met plantaardige restproducten. Daarbij onderzochten we de effecten op het composteringsproces, de massabalans en de kwaliteit van het eindproduct van (1) verschillen qua samenstelling in uitgangsmateriaal en (2) verschillen in aandeel kippenmest. Ook praktische haalbaarheid en toepassingsgemak werden in beschouwing genomen.

Vertrekpunt van de eerste proef is de uitdaging in de praktijk om geschikt uitgangsmateriaal te vinden. De vraag stelt zich of minder makkelijk beschikbare stromen zoals houtschors effectief een meerwaarde bieden voor de compostering.

Vertrekpunt van de tweede proef is de voorkeur om een zo groot mogelijk aandeel mest in de compost te verwerken, om de praktijk betekenisvol te maken op bedrijfsniveau. De vraag stelt zich wat de bovengrens is voor een goed composteringsverloop en een kwaliteitsvolle compost.

In de eerste proef (najaar 2010) werden drie verschillende objecten vergeleken. Het mengsel voor elk van die objecten bestond uit een basis van (zuivere) kippenmest (zonder strooisel), tarwestro en vers grasmaaisel, waar voor de verschillende hopen houtschors, graszaadhooi of een mengsel van graszaadhooi en compost bijgemengd werd (Tabel 1).

Tabel 1: Vooropgestelde samenstelling (vol%) van de drie compostobjecten in kippenmest proef 1

Object	kippenmest	tarwestro	grasmaaisel	houtschors	graszaadstro	compost
A	10%	30%	15%	-	25%	20%
B	7,5%	30%	20%	42,5%	-	-
C	7,5%	30%	20%	-	42,5%	-

In de tweede proef (voorjaar 2011) werden opnieuw drie objecten vergeleken. Het mengsel voor elk van die objecten bestond uit een basis van tarwestro, houtschors, houtsnippers, graszaadhooi en vers grasmaaisel, waar voor de verschillende hopen een procentueel verschillende dosis (zuivere) kippenmest bijgemengd werd (Tabel 2). De

keuze voor en verhouding tussen de plantaardige materialen is gebaseerd op de bevindingen van de eerste composteringsproef.

De proporties zijn telkens zodanig opgesteld dat een gunstige C/N-verhouding (streefwaarde 30) bekomen werd bij aanvang van de compostering.

Tabel 2: Samenstelling (vol.%) van de drie compostobjecten in kippenmest proef 2

Object	kippenmest	tarwestro	grasmaaisel	houtschors	houtsnipppers	graszaadhooi
D	10%	15%	21%	27%	18%	9%
E	17%	12%	17%	27%	18%	9%
F	20%	13%	13%	27%	18%	9%

14.2.1 Verloop

De compostering liep telkens over een periode van ruim twee maanden. De objecten werden opgezet op een ril van 15-20 m lang en 2 à 3 m breed, met behulp van een verreiker en mestkar (Figuur 1). Het keren gebeurde met een compostkeerder type Sandberger ST300. Kort na opzet werden de hopen afgedekt met compostdoek, om te voorkomen dat ze te nat werden bij intense regenval. Noodzaak om te keren werd bepaald op basis van het temperatuursverloop en CO₂-metingen. Watergift, afgestemd op het vochtgehalte van het mengsel, gebeurde met behulp van een druppelirrigatiesysteem.

De weersomstandigheden in het najaar van 2010 (tijdens proef 1) werden gekenmerkt door intensieve regen, vorst en sneeuwval. In schril contrast tot de weersomstandigheden tijdens de eerste proef, werd de periode voor de tweede proef gekenmerkt door sterk uitdrogende omstandigheden. Het voorjaar van 2011 was dan ook extreem droog: de totale neerslaghoeveelheid tussen 18 februari en 9 mei bedroeg bij benadering slechts 59 mm (bron: KMI; ILVO, weerstation Melle).



Figuur 1: Opzet proef 1 (links) en proef 2 (rechts)

14.2.2 Resultaten en discussie

Kwaliteit compostproducten proef 1

Het composteringsproces tijdens de eerste proef kende voor de drie objecten een normaal verloop, met een duidelijke piek in activiteit gedurende de eerste veertien dagen. Vooral de compostering van objecten A en C verliep zeer gelijkaardig, daar waar object B langere tijd actief bleef. De aanwezigheid van houtschors als “bruin materiaal” vormt daar de verklaring voor: dit heeft de hoop luchtiger gemaakt en zorgde voor een continue aanvoer van vrij reactieve koolstof.

Ondanks het gebruik van compostdoek, waren de drie compostproducten op het einde van de proef erg kleverig en nat. Wellicht is het dikke pak sneeuw, dat een tijd op de doeken lag, geleidelijk gesmolten en door de doeken gedrongen. Door de meer luchtige structuur kon object B iets vlotter uitdrogen.

De voornaamste resultaten van de kwaliteitsbepalingen op elk van de eindproducten zijn weergegeven in Tabel 3.

De gemeten NO_3^- -N- en NH_4^+ -N-gehaltenes alsook de oxitop-bepaling wijzen erop dat alle producten na afloop van de proef een voldoende stabiliteit en zekere rijping vertoonden. Ook de C/N-verhouding zat voor alle producten goed (12 à 15) op het einde van de proef. De concentraties voor zware metalen bleven overal onder de wettelijke maximumnorm.

Tabel 3: Analyseresultaten bij afloop van de composteringsproef, met weergave van samenstelling van de zuivere kippenmest, een gemiddelde groencompost en een gemiddelde GFT-compost als referenties (Bokhorst & ter Berg 2001) (gemiddelde \pm standaarddeviatie)

Variabele	Object A	Object B	Object C	Groencompost	GFT-compost	Kippenmest
pH-H ₂ O (-)	8,56 \pm 0,14	8,59 \pm 0,06	8,31 \pm 0,05	8,35		
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3385 \pm 323	945 \pm 109	2453 \pm 217	1000		
NO_3^- -N (mg/l)	114 \pm 15	40,5 \pm 9,01	57,4 \pm 24,05	59		
NH_4^+ -N (mg/l)	45,83 \pm 53,64	<5	15,45 \pm 22,90	83		
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (-)	>1	>1	>1			
OS (%/DS)	36,8 \pm 0,2	51,0 \pm 2,7	30,8 \pm 1,8	34	37	43 \pm 2
Oxitop (mmol/kg OS/uur)	7,20 \pm 1,26	4,05 \pm 0,81	11,05 \pm 0,64			
DS (%)	37,5 \pm 1,5	34,5 \pm 0,6	36,0 \pm 1,9	59	70	63 \pm 1
vol. gewicht (g/l vers)	544 \pm 15	568 \pm 4	553 \pm 11	725	800	533 \pm 20
Cd (mg/kg DS)	0,72 \pm 0,06	1,14 \pm 0,07	0,35 \pm 0,08	0,7		0,31 \pm 0,01
Cr (mg/kg DS)	14,18 \pm 2,81	8,15 \pm 0,84	8,35 \pm 4,22	17		5,18 \pm 0,34
Cu (mg/kg DS)	52,14 \pm 2,14	33,26 \pm 1,63	31,38 \pm 17,31	30		64 \pm 3
Pb (mg/kg DS)	9,03 \pm 1,75	9,53 \pm 0,43	8,63 \pm 2,37	44		4,68 \pm 0,53
Ni (mg/kg DS)	11,05 \pm 8,91	9,93 \pm 6,88	9,7 \pm 8,88	9		6,75 \pm 0,13
Zn (mg/kg DS)	341 \pm 7	280 \pm 30	303 \pm 54	150		244 \pm 209
Mn (mg/kg DS)	489 \pm 47	231 \pm 10	339 \pm 77	341		225 \pm 135
C/N (-)	10,40 \pm 0,68	17,68 \pm 2,94	10,88 \pm 1,35	16	12	8,25 \pm 0,75
N/P (-)	1,64 \pm 0,21	2,23 \pm 0,64	1,42 \pm 0,24	4,7	4,2	1,94 \pm 0,56
C/P (-)	17,19 \pm 1,81	38,35 \pm 4,86	15,38 \pm 1,22	78	50	15,87 \pm 3,28
N_{tot} (kg/ton DS)	19,65 \pm 1,23	16,38 \pm 2,75	15,90 \pm 1,92	11	18	29,03 \pm 3,52
N_{min} (kg/ton DS)	0,78 \pm 0,25	0,22 \pm 0,04	0,36 \pm 0,02	0,37	1,00	
P_2O_5 (kg/ton DS)	27,70 \pm 2,88	17,29 \pm 2,49	25,79 \pm 1,83	4,9	9,6	35,53 \pm 5,94
K_2O (kg/ton DS)	34,35 \pm 2,75	14,24 \pm 0,47	31,29 \pm 7,47	10	14	19,87 \pm 7,96
Na_2O (kg/ton DS)	4,09 \pm 0,41	1,80 \pm 0,10	3,20 \pm 0,23			2,76 \pm 2,46
CaO (kg/ton DS)	96,06 \pm 1,53	71,34 \pm 1,94	84,83 \pm 13,29	28	35	56,02 \pm 54,81
MgO (kg/ton DS)	12,12 \pm 0,48	7,95 \pm 0,23	10,04 \pm 0,38	5	7	5,39 \pm 3,13

Eén eindproduct, object B met houtschors, sprong er echter duidelijk uit. Verschillen uitten zich ondermeer op vlak van hogere stabiliteit, hogere C/N-verhouding, hogere stikstof/fosfor- (N/P) en koolstof/fosfor- (C/P) verhouding, en lagere fosfaatinhoud. Die relatief lagere fosfaatinhoud en hogere N/P-verhouding is interessant in het kader van MAP. Gezien de strengere fosfaatnormen wordt gestreefd naar een product met een relatief lage fosfor- en relatief hoge stikstof- en organische stofinhoud.

Wat stabiliteit betreft, wijst niet alleen de lagere oxitop-waarde maar ook het lage NH_4 -gehalte op een relatief betere stabiliteit van product B. Producten A en C zijn min of meer op één lijn te plaatsen, met uitzondering van de nutriëntenconcentraties: die lagen voor A een stuk hoger, door het toevoegen van compost. Beide producten zijn door een kleinere hoeveelheid structuurmateriaal sneller ingezakt. Door die compactie is de beluchting en zodoende de omzetting wellicht minder gunstig verlopen dan bij object B.

In vergelijking met typische waarden voor groencompost vallen bij deze compostproducten met kippenmest de relatief hogere nutriëntenconcentraties (bv. voor N, P, K, Ca, Mg) op. De N/P- en C/P-verhoudingen zijn echter relatief laag, wat te wijten is aan de hoge fosfaatinhoud van de toegevoegde kippenmest.

In vergelijking met de zuivere kippenmest zien we bij de compostproducten ondermeer een hogere concentratie van een aantal elementen (K, Ca, Mg, zware metalen) en een hogere C/N-verhouding. Opvallend is dat enkel bij het object met houtschors de N/P-verhouding effectief verbeterd is (hoger is geworden). Anderzijds is het wel waarschijnlijk dat ook in objecten A en C een substantiële vastlegging van N in microbiële biomassa plaatsvond, hetgeen het risico op toekomstige stikstofverliezen potentieel inperkt.

Kwaliteit compostproducten proef 2

Het composteringsproces tijdens de tweede proef verliep voor de drie objecten heel vlot en hield lange tijd aan. Het proces was echter ook erg arbeidsintensief, gezien de grote behoefte aan bewatering en dus ook de noodzaak om het materiaal regelmatig om te zetten. Van een duidelijke piek, een sterk stijgende of sterk dalende trend in temperatuur en activiteit, was geen sprake en verschillen tussen de objecten waren er op dat vlak ook nauwelijks. De gemiddelde temperatuur gedurende de ganse periode lag voor alle objecten rond de 50 °C, maar kende wel een sterke fluctuatie, schommelend tussen 16 °C (bij tijdelijke uitdroging) en 70 °C als extreme waarden. De voornaamste resultaten van de kwaliteitsbepalingen op de eindproducten zijn weergegeven in Tabel 4.

De gemeten NO_3^- -N- en NH_4^+ -N-gehalten alsook de oxitop-bepaling wijzen erop dat alle producten na afloop van de proef een voldoende stabiliteit en zekere rijping vertoonden. Hoewel de verschillen relatief klein zijn, springt de compost van object E er uit als meest stabiel product (laagste oxitop-waarde). Ook een aantal andere variabelen, zoals het hoogste NO_3^- -N-gehalte, wijzen er op dat dit product, met de middelste dosis kippenmest, verst gevorderd was in het composteringsproces.

De compost van object D, met de laagste dosis kippenmest, had de hoogste C/N-verhouding op het einde van de proef. Met uitzondering van de cadmiumconcentratie (met name afkomstig van de houtschors en -snippers) en de zinkconcentratie van

producten E en F (met name afkomstig van de gebruikte kippenmest), bleven de concentraties voor zware metalen onder de wettelijke maximumnorm.

Tabel 4: Analyseresultaten bij afloop van de composteringsproef, met weergave van samenstelling van de zuivere kippenmest als referentie (gemiddelde \pm standaarddeviatie)

Variabele	Object D	Object E	Object F	Kippenmest
pH-H ₂ O (-)	8,7 \pm 0,1	8,7 \pm 0,1	8,6 \pm 0,1	
EC (μ S/cm)	801 \pm 163	1404 \pm 73	804 \pm 151	
NO ₃ -N (mg/l)	17,8 en < 5	133,78 \pm 21,99	43,38 \pm 5,25	
NH ₄ -N (mg/l)	< 5	< 5	< 5	
NO ₃ /NH ₄ (-)	> 1	> 1	> 1	
OS (%/DS)	65,1 \pm 1,1	58,9 \pm 1,9	55,9 \pm 2,1	59,1 \pm 0,6
Oxitop (mmol/kg OS/uur)	7,38 \pm 0,79	4,88 \pm 0,86	5,88 \pm 2,05	
DS (%)	37,0 \pm 0,3	42,1 \pm 1,1	34,3 \pm 0,5	49,9 \pm 1,23
vol. gewicht (g/l vers)	502 \pm 5	487 \pm 7	642 \pm 9	551 \pm 6
Cd (mg/kg DS)	2,92 \pm 0,17	2,44 \pm 0,06	2,42 \pm 0,15	0,30 \pm 0,01
Cr (mg/kg DS)	11,13 \pm 2,50	13,35 \pm 1,91	17,35 \pm 3,11	13,38 \pm 1,04
Cu (mg/kg DS)	44,96 \pm 2,20	65,91 \pm 3,18	57,73 \pm 3,37	83,97 \pm 6,54
Pb (mg/kg DS)	11,35 \pm 0,10	11,53 \pm 0,92	10,70 \pm 0,14	5,4 \pm 0,29
Ni (mg/kg DS)	6,18 \pm 0,29	14,90 \pm 7,00	10,10 \pm 3,95	10,03 \pm 0,36
Zn (mg/kg DS)	372 \pm 16	513 \pm 31	456 \pm 23	589 \pm 21
Mn (mg/kg DS)	340 \pm 53	426 \pm 32	512 \pm 89	469 \pm 9
C/N (-)	18,45 \pm 0,35	14,78 \pm 0,89	15,98 \pm 1,51	9,43 \pm 0,22
N/P (-)	2,04 \pm 0,10	1,67 \pm 0,18	1,63 \pm 0,09	2,48 \pm 0,02
C/P (-)	37,99 \pm 1,69	24,88 \pm 3,93	26,12 \pm 2,24	23,52 \pm 0,80
N _{tot} (kg/ton DS)	19,58 \pm 0,34	22,23 \pm 0,70	19,53 \pm 1,17	34,88 \pm 0,75
N _{min} (kg/ton DS)	0,09 \pm 0,05	0,67 \pm 0,10	0,21 \pm 0,02	
P ₂ O ₅ (kg/ton DS)	22,01 \pm 1,27	30,84 \pm 4,08	27,57 \pm 1,85	32,24 \pm 0,97
K ₂ O (kg/ton DS)	20,08 \pm 0,63	24,64 \pm 0,81	17,09 \pm 1,01	29,67 \pm 1,07
CaO (kg/ton DS)	74,04 \pm 3,04	103,43 \pm 7,03	103,12 \pm 2,60	121,12 \pm 6,69
MgO (kg/ton DS)	8,18 \pm 0,27	10,4 \pm 0,59	9,66 \pm 0,45	12,12 \pm 0,72

In vergelijking met typische waarden voor groencompost, vallen bij deze compostproducten met kippenmest, net als in de eerste composteringsproef, de relatief hogere nutriëntenconcentraties (bv. voor N, P, K, Ca, Mg) op. De N/P- en C/P-verhoudingen zijn echter relatief laag, wat te wijten is aan de hoge fosfaatinhoud van de toegevoegde kippenmest. Object D met de laagste dosering kippenmest haalt op dat vlak dan ook de beste scores.

14.2.3 Conclusies van de kleinschalige compostering

De resultaten van de eerste proef bevestigen dat voor een compostering van kippenmest met plantaardige reststromen de aanwezigheid van een component als houtschors van groot belang is. Houtschors is kwalitatief een interessant product (interessanter dan bv. graszaadhooi) in functie van een goede lucht- en waterhuishouding tijdens de compostering en voor het bekomen van een waardevol eindproduct op vlak van nutriëntenverhouding, stabiele organische stof-inhoud en strooibaarheid. Beschikbaarheid en prijs van houtschors vormen echter een belangrijk knelpunt, aangezien houtschors vaak gebruikt wordt als afdekmateriaal in tuinaanleg. Houtsnippers kunnen eventueel lokaal gewonnen worden (bv. bij beheerswerken) en vormen in dat

opzicht wellicht een interessant alternatief. Door hout te snipperen, waarbij het vervezeld wordt, benadert men meer de kwaliteit van een schorsproduct.

De tweede proef geeft aan dat het gebruik van houtsnippers, in combinatie met houtschors, een goede structuur en luchthuishouding garandeert en een evenwichtige en langdurige koolstofbron vormt, waardoor een gelijkmatig composteringsproces mogelijk is.

Compostering met de hogere doses kippenmest maakt het proces intensiever, hetgeen duidelijk weerspiegeld wordt in het temperatuursverloop. Een aandeel kippenmest van 15 vol% vormt bij kleinschalige compostering de bovengrens waarboven met name het verlies aan stikstof te hoog ligt. Gezien het grotere risico op stikstofverliezen en de aanzienlijke tijds- en arbeidsinvestering bij dergelijke intensieve compostering, kan men zich vragen stellen bij de energie- en nutriëntenefficiëntie van een compostering met hogere doses kippenmest.

Dergelijke compostering op ril biedt dus slechts mogelijkheden om relatief kleine hoeveelheden kippenmest te “upgraden”. Voor grotere hoeveelheden, dienen alternatieve pistes verkend te worden. Twee pistes wordt hierna voorgesteld.

14.2.4 Compost in de loopstal van leghennen

In deze proef werd een laag groencompost aangebracht in de scharrelruimte van een kippenstal, die moet dienen als een soort opvang of buffer voor de geproduceerde kippenmest. Uitgangspunt is dat het eindproduct na afvoer uit de stal bij toepassing op de akker een meerwaarde heeft in vergelijking met zuivere kippenmest of zuivere groencompost, onder meer door de respectievelijk hogere koolstof- en stikstofinhoud. Terzelfdertijd kan het een oplossing bieden voor de weinig grondgebonden pluimveehouderij, die op heden de zuivere mest nog moeilijk aan de man kan brengen. Het concept is gebaseerd op gelijkaardige projecten met rundvee (Aarts, 2011).

Het compostsubstraat werd regelmatig bevochtigd met een opgehangen sproeisysteem om te vermijden dat het te fel uitdroogde en dat teveel stof aan de kippen bleef kleven. Met een kleine cultivator werd het substraat regelmatig opengetrokken: zodoende werd de mest die bovenop de compost kwam te liggen beter ingemengd, het materiaal homogener verdeeld over de ganse ruimte, en het scharrelen van de kippen opnieuw gestimuleerd. Na vier maanden werden beperkte giften gehakseld stro toegevoegd als koolstofbron; na 5,5 maanden werd het substraat uit de stal verwijderd en als meststof gebruikt.

Het aanbrengen van groencompost in de scharrelruimte van een kippenstal blijkt een systeem met heel wat potentie. Opzet en opvolging van de ganse proef kostten de kippenhouder ongeveer 40 uur extra arbeidstijd. Een kleine tractor en cultivator, een minilader (bobcat) en een stalsysteem waarbij men gemakkelijk in en uit de stal kan rijden, zijn vereist om het geheel werkbaar te houden.

Tegenover die inspanning zijn de onmiskenbare voordelen:

- Het verkrijgen van een interessant en nutriëntenrijk product met vele toepassingsmogelijkheden en verhoogde kans op vlotte afzet;
- Het brongericht, duurzaam en relatief goedkoop beperken van stikstofverliezen in de stal, hetgeen aansluit bij het ecologisch ideaal van de bio-pluimveehouderij en steeds de voorkeur verdient ten opzichte van een 'end of the pipe'-oplossing zoals met luchtwassers;
- De betere luchtkwaliteit (lager ammoniakgehalte) in de stal.

14.2.5 Centrale behandeling van kippenmest op een verwerkingsbedrijf

Met deze praktijkproef werden op een mestverwerkend bedrijf de mogelijkheden nagegaan van een mestbewerking via centrale "compostering". Een mengsel van kippenmest, fijngezeefde groencompost en paardenmest, goed voor respectievelijk 73.5%, 21% en 5.5% van het vers gewicht, werd in een gesloten tunnel geplaatst. In die tunnel wordt van onder uit in de hoop lucht geblazen. De ammoniakale stikstof in de lucht wordt via luchtwassers voortdurend gerecycleerd. De hoofddoelstelling van de verblijfstijd in de tunnels is een hygiënisatie: het mengsel warmt geleidelijk op en wordt gedurende een 10-tal uren boven de 70 °C gehouden, om bepaalde pathogenen (bv. *Clostridium*, *Salmonella*) af te doden. Daarna werd het mengsel nog 5 dagen in de tunnel bewaard voor geleidelijke afkoeling (tot ongeveer 50 °C). Tenslotte werd het in een grote hal opgeslagen, waar het verder kon stabiliseren tot uiteindelijke afzet bij de afnemer.

Dergelijke mestbewerking via centrale behandeling in gesloten tunnels blijkt een manier zijn om grotere hoeveelheden kippenmest, eventueel samen met andere mestfracties, om te vormen tot een gehygiëniseerd en qua samenstelling interessanter product voor afzet binnen de Vlaamse landbouw. Technisch is dit haalbaar en naargelang de behoefte kan de samenstelling van het eindproduct relatief eenvoudig bijgestuurd worden. Toch zijn er een aantal cruciale aandachtspunten, waarvan beschikbaarheid van voldoende uitgangsmateriaal op het juiste moment, traceerbaarheid van de biologische materialen en economische rendabiliteit wellicht de voornaamste zijn.

14.2.6 Fosforbeschikbaarheid

Omdat de geteste producten rijk waren aan fosfor, werd de fosforbeschikbaarheid verder getest. De binding met calcium bleek een belangrijke factor voor het bepalen van de fosfor-binding en de fosfor-beschikbaarheid in de composten, de compost na gebruik als strooisel, de kippenmest die in een 50/50 gewichtsverhouding met groencompost gemengd en gestockeerd werd, en de centraal behandelde kippenmest. De P-beschikbaarheid werd ook beïnvloed door de zuurstoftoestand in de geteste producten: de beschikbaarheid van P steeg sterk bij anaerobe omstandigheden. Ten slotte werd ook getest wat het effect was van het mengen van kippenmestcompost met biochar. De biochar was geproduceerd op basis van houtig materiaal en had een hoge C/P-verhouding van 150. Het mengen van 10% biochar op verse stofbasis in de compost resulteerde in een duidelijke afname van de P-beschikbaarheid in de compost; dit blijkt ook een mogelijkheid om het risico op P-verliezen kort na uitrijden van de compost te verminderen (Vandecasteele et al., 2014).

14.2.7 Conclusie

Het betrekken van kippenmest in een compostering kan resulteren in de ontwikkeling van een minder zoute, trager werkende en beter te doseren meststof met een hogere N/P verhouding, rijker aan koolstof en met een hogere biodiversiteit dan de zuivere mest. Met andere woorden: een kwaliteitsproduct dat zijn afzet kan vinden in de (biologische) tuin- en akkerbouw, zowel omwille van zijn bodemverbeterende als van zijn plantenvoedende eigenschappen.

Naast de kwalitatieve dimensie dienen wat deze praktijken betreft ook technische haalbaarheid, beschikbaarheid van uitgangsmaterialen en economische rendabiliteit beschouwd te worden. Aan kwaliteit hangt doorgaans een kostenplaatje vast op korte termijn, hoewel ook verwacht wordt dat dit vaak op langere termijn een waardevolle investering kan zijn. Mits centrale organisatie en goede samenwerking en afspraken tussen producent en afnemer zijn er potentieel zeker interessante toepassingsmogelijkheden.

14.3 PROEFOPZET VASTE RUNDERMEST

In het voorjaar van 2014 vond op de composteersite van ILVO een proef plaats met als doel de uitwerking van verschillende pistes voor de verwerking en toepassing van runderstalmest en dikke fractie van runderdrijfmest na scheiding, geschikt voor specifieke bedrijfssituaties. Daarbij werd gezocht naar reststromen en toeslagstoffen, geschikt om op te mengen met deze vaste mesttypes, en naar de composterings- of inkuiltechniek die de beste resultaten geeft. Via composteer- en inkuilproeven werd nagegaan hoe kwaliteit verhoogd en nutriëntenverliezen verminderd kunnen worden bij de opslag en bewerking van vaste rundermest. Verschillende inkuilemmers en rillen (langwerpige hopen) voor compostering en inkuiling werden opgezet waarbij de mest al dan niet bijgemengd werd met andere (plantaardige) stromen of additieven. Door de bijmenging van stromen met een hogere koolstof/fosfor (C/P) verhouding dan de vaste mest onderzochten we of het eindproduct een (nog) hogere gebruikswaarde kan hebben voor de landbouw. Voor de additieven (clinoptiloliet en effectieve micro-organismen (EM)) werd nagegaan of deze in staat zijn de nutriëntenverliezen tijdens het proces te reduceren. Clinoptiloliet is het meest voorkomende natuurlijke zeoliet ter wereld, en wordt in de landbouw ingezet omwille van zijn grote affiniteit voor NH_4^+ -ionen, waardoor stikstofverliezen tijdens het composteringsproces gereduceerd zouden kunnen worden. Effectieve micro-organismen (EM) zijn een combinatie van nuttige, opbouwende micro-organismen zoals melkzuurbacteriën, gisten, actinomyceten, fotosynthetiserende bacteriën en schimmels die vrij in de natuur voorkomen. De combinatie van deze aerobe en anaerobe micro-organismen heeft als doel om de gunstige micro-organismen te stimuleren en zo het composteer- of fermentatieproces te optimaliseren.

Tabel 5 toont de verschillende behandelingen met stalmest en dikke fractie van runderdrijfmest. De compostbehandelingen werden op praktijkschaal uitgevoerd, zowel op de kopakker als op beton, terwijl voor de inkuilbehandelingen zowel op praktijk- als laboschaal (met inkuil-emmers) gewerkt werd.

De compostbehandelingen met stalmest variëren in:

- Locatie (kopakker versus beton)
- Behandelingsproces (composteren, geen behandeling)

De inkuilbehandelingen met stalmest variëren in:

- Schaalgrootte: praktijschaal of inkuilemmers
- Al dan niet toedienen van effectieve micro-organismen (EM)

De compost/inkuilbehandelingen met dikke fractie variëren in:

- Samenstelling (puur versus bijmengen met andere stromen en/of additieven)

Effecten op het composteringsproces, de massabalans en de kwaliteit van het eindproduct werden onderzocht. Bij de vergelijking van de verschillende behandelingen werden volgende vragen gesteld:

- Zijn er verschillen in nutriëntenverliezen naar bodem/lucht?
- Zijn er verschillen in procesverloop?
- Zijn er verschillen in kwaliteit van de eindproducten?

Tabel 5: Overzicht behandelingen bij de proefopzet rond het composteren en inkuilen van stalmest en dikke fractie

		Behandeling
<i>Zonder doek</i>	<i>Kopakker</i>	Onbehandelde runderstalmest
		Compostering runderstalmest
<i>Compostering (met doek)</i>	<i>Beton</i>	Compostering runderstalmest
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + runderstalmest
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + clinoptiloliet
	<i>Praktijschaal (beton)</i>	Runderstalmest + EM*
		Dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras + EM*
<i>Inkuilen</i>	<i>Laboschaal (inkuil-emmers)</i>	Runderstalmest
		Dikke fractie runderdrijfmest
		Dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras
		Dikke fractie runderdrijfmest + runderstalmest
		Dikke fractie runderdrijfmest + clinoptiloliet
		Dikke fractie runderdrijfmest + EM*
		Runderstalmest + EM*
Dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras + EM*		

*EM = Effectieve micro-organismen

14.3.1 Proefopzet

De compostering op praktijschaal liep over een periode van twee maanden (16 april tot 17 juni 2014). De objecten werden met behulp van een verreiker en mestkar opgezet op een ril van 8 m lang, 3 m breed en 1 m hoog. Het keren gebeurde met een compostkeerder type TG 301 (Gujer Innotec AG; Figuur 2). Tabel 6 geeft een overzicht van de samenstelling van de hopen. Kort na opzet werden de hopen afgedekt met een compostdoek (behalve de onbehandelde stalmest op de kopakker), om te voorkomen dat ze te nat werden bij intense regenval. De noodzaak om te keren werd bepaald op basis van het temperatuurverloop en CO₂-metingen.

De inkuiling op praktijkschaal liep over dezelfde periode als de compostering. Ook hier werden de objecten met behulp van een verreiker en mestkar opgezet, waarna de hopen ingekort en aangedrukt werden. De hopen werden vervolgens afgedekt met kuil-folie en een compostdoek om ze luchtdicht te maken (Figuur 2). Bij aanvang van de proef waren de rillen ongeveer 8 m lang, 3 m breed en 1 m hoog.

Tijdens het vullen van de inkuilemmers werd met dezelfde verhoudingen gewerkt als voor de compost- en inkuilhopen het geval was (Tabel 6 en Figuur 3). Deze emmers werden, eens volledig gevuld, afgesloten. De proef met de inkuilemmers liep gelijktijdig met de proef op praktijkschaal.

Tabel 6: Samenstelling compost- en inkuilhopen bij aanvang van de proef (EM = effectieve micro-organismen; DF = dikke fractie van runderdrijfmest)

		Behandeling	Volume (m ³)				
			Stalmest	DF	Stro	Gras	Totaal
<i>Zonder doek</i>	<i>Kopakker</i>	Onbehandelde runderstalmest	24				24
		Compostering runderstalmest	24				24
		Compostering runderstalmest	24				24
<i>Compostering (met doek)</i>	<i>Beton</i>	Compostering dikke fractie runderdrijfmest		24			24
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras		16	4	4	24
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + runderstalmest	12	12			24
		Compostering dikke fractie runderdrijfmest + clinoptiloliet		24			24
<i>Inkuilen</i>	<i>Praktijkschaal (beton)</i>	Runderstalmest + EM	24				24
		Dikke fractie runderdrijfmest + stro + gras + EM	16	4	4		24



Figuur 2: Links: Keren van de ril met clinoptiloliet (wit); Rechts: Afgedekte, ingekuilde hopen



Figuur 3: Gevulde inkuilemmer

De resultaten van deze proef worden binnenkort gepubliceerd (Viaene et al., in voorbereiding). Enkele voorlopige resultaten worden hieronder weergegeven.

14.3.2 Bewerking van runderstalmest op praktijkschaal

Het *composteren* van stalmest ten opzichte van louter *stockage* leidde tot een droger eindproduct, te verklaren door het afdekken met een semipermeabele doek en het keren van de gecomposteerde hoop. Het *inkuilen* van stalmest + EM leidde tot een natter eindproduct in vergelijking met het composteren, te wijten aan de lagere temperaturen en het afdekken van de hoop met kuilfolie.

De stalmest *onbehandeld* laten of *composteren* leidde niet tot een verschillend organische stofgehalte; beide behandelingen vertoonden dus eenzelfde afbraakactiviteit. Het *inkuilen* daarentegen leidde tot een hoger organische stofgehalte aangezien er nauwelijks afbraak van organische stof plaatsvond.

Het *al dan niet composteren* van stalmest leidde niet tot een verschillend gehalte minerale N. Het *inkuilen* had wel een effect: er werd minder NO_3^- -N en meer NH_4^+ -N gemeten dan bij de onbehandelde/gecomposteerde hopen als gevolg van de anaerobe omstandigheden. *Stockage*, *composteren* of *inkuilen* had geen effect op de totale en plantbeschikbare P, de pH, de elektrische geleidbaarheid en de C/P-verhouding van de eindproducten met stalmest.

De behandelingen met runderstalmest vertoonden duidelijk de trend van een onstabiel (hoge C/N-verhouding, lage NO_3^- -N/ NH_4^+ -N-verhouding) naar een stabiel product (lage C/N-verhouding, NO_3^- -N/ NH_4^+ -N-verhouding > 1). Stalmest *composteren* op de kopakker resulteerde in een stabiel eindproduct dan wanneer deze *niet gecomposteerd* werd. Het *inkuilproduct* met stalmest vertoonde een veel lagere afbraakactiviteit dan de compost, wat resulteerde in een hogere C/N-verhouding en lagere NO_3^- -N/ NH_4^+ -N-verhouding dan de gecomposteerde eindproducten.

De relatief kleine verschillen in kwaliteit tussen de gecomposteerde en onbehandelde stalmestobjecten kunnen eventueel verklaard worden door enerzijds het strorijke karakter van de stalmest, en de relatief kleine afmetingen van de objecten, waardoor de buitenste zone relatief groot is ten opzicht van het totale volume. Bij een grotere hoop gestockeerde stalmest is de kans groter op ongewenste effecten, die ook de kwaliteit negatief kunnen beïnvloeden. Dit kan er op wijzen dat de opslag van strorijke stalmest in relatief kleine hopen toch minder een probleem is.

Algemeen kan gesteld worden dat inkuilproducten potentieel hebben om gebruikt te worden als bodemverbeterend middel of meststof, omdat het materiaal rijk is aan organische stof en toelaat om de nutriënten te benutten. Tijdens het inkuilproces vond er weinig afbraak van organische stof plaats, waardoor na toepassing in de bodem nog veel organisch materiaal zal worden omgezet. Verder zullen inkuilproducten mogelijks na inwerking in de bodem initieel nutriënten uit de bodem vastleggen in plaats van de nutriënten uit het materiaal vrij te geven. Tot slot moet ook worden nagegaan wat het risico op emissies is na toediening.

14.3.3 Bewerking van dikke fractie van runderdrijfmest op praktijschaal

Toevoegen van stro en gras of stalmest aan de dikke fractie leidde tot een droger eindproduct, te wijten aan de hogere temperatuurontwikkeling en dus grotere verdamping in deze hopen. Het *inkuilen* van dikke fractie met stro en gras leidde tot een natter product dan het *composteren* van deze materialen, aangezien bij het inkuilen geen sterke temperatuurstijging plaatsvond en de waterdamp ook niet kon ontsnappen door de kuilfolie.

Het toevoegen van stro en gras, clinoptiloliet of stalmest aan de dikke fractie had geen effect op het organische stofgehalte van de *composten*. Het *inkuilen* zorgde wel voor een hoger gehalte aan organische stof aangezien er weinig afbraak plaatsvond.

De NO_3^- -N concentraties en de NO_3^- -N/ NH_4^+ -N-verhouding in de *composten* werden gereduceerd wanneer stalmest of stro en gras werden toegevoegd aan de dikke fractie. Lagere NH_3 -emissies bij de hoop waaraan clinoptiloliet werd toegediend wijzen erop dat clinoptiloliet mogelijk NH_4^+ -N beter vasthoudt in de dikke fractie. De *kuil* met dikke fractie had een hogere C/N-verhouding en een lagere NO_3^- -N/ NH_4^+ -N-verhouding dan de *gecomposteerde behandelingen*, hetgeen bevestigt dat er weinig afbraak plaatsvond. Net zoals bij de ingekuilde stalmest wijst dit erop dat het inkuilproduct nog verder zal afbreken wanneer het aan de bodem wordt toegediend.

Er was geen verschil in totale N, P, pH, elektrische geleidbaarheid en C/P in de verschillende behandelingen met dikke fractie. De relatief kleine verschillen in kwaliteit tussen de objecten met dikke fractie kunnen eventueel verklaard worden door het vezelrijke karakter van het product.

14.3.4 Bewerking van vaste mest op laboschaal (inkuilemmers)

Er werden weinig effecten vastgesteld van toediening van EM bij stalmest, en van toediening van EM, clinoptiloliet, stalmest, stro en gras, of stro en gras en EM bij de dikke fractie. Twee behandelingen werden zowel op praktijschaal als op laboschaal uitgevoerd: stalmest + EM en dikke fractie + stro + gras + EM. Uit een vergelijking van de eindproducten blijkt dat, vooral voor de behandeling met stalmest, de gemeten parameters verschillen tussen de proef op labo- en de proef op praktijschaal.

14.3.5 Conclusie

Om dit verhaal en de mogelijkheden van compostering of inkuilen correct te kunnen interpreteren, is het belangrijk ook naar de effecten (op bodemcondities, nutriëntenvrijstelling, gewasontwikkeling, ...) van de eindproducten bij toepassing te kijken. Aansluitend worden dan ook nog incubatie- en potproeven met deze producten uitgevoerd. De resultaten hiervan zullen binnenkort gepubliceerd worden (Viaene et al., in voorbereiding).

14.4 LITERATUURLIJST

Aarts A. Compoststal. www.compoststal.nl. Laatst geraadpleegd op 10-2014.

Bokhorst J., ter Berg C. (2001). Handboek mest en compost, behandelen, beoordelen en toepassen. Louis Bolk Instituut, Driebergen, Nederland. 292 p.

Eghball B., Power J.F., Gilley J.E. and Doran J.W. (1997). Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *Biological Systems Engineering: Papers and publications*. Paper 130.

Hellebrand H.J., Kalk W.D. (2000). Emissions caused by manure composting. *Agrartechnische Forschung*, 6(2), 26-31.

LNE, Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid (2006). Externe mestopslag: inventarisatie van opslagsystemen en bepaling van ammoniak-, lachgas- en methaanemissies uit deze systemen. 213p.

Reubens, B., Willekens, K., Beeckman, A., De Neve, S., Vandecasteele, B., Delanote, L. (2013). Optimale aanwending van biologische mest voor een gezond biologisch gewas : eindrapport. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek. 104 blz. (ILVO Mededeling).

Vandecasteele, B., Reubens, B., Willekens, K., De Neve, S. (2014). Composting for increasing the fertilizer value of chicken manure: effects of feedstock on P availability. *Waste and Biomass Valorization* 5, 491-503 (10.1007/s12649-013-9264-5)

Viaene, J., Nelissen, V., Reubens, B., Vandecasteele, B., Willekens, K. (in voorbereiding). Rapport Optimanure: Optimaliseren van de opslag en bewerking van vaste rundermest via compostering of inkuilen.