



Technische bovengrenzen van P_2O_5 gehalte dikke fractie na scheiding drijfmest met decanteercentrifuge

Update 2020

R.W. Melse, P. Hoeksma, N.W.M. Ogink

Rapport 1234



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Technische bovengrenzen van P_2O_5 gehalte dikke fractie na scheiding drijfmest met decanteercentrifuge

Update 2020

R.W. Melse, P. Hoeksma, N.W.M. Ogink

Wageningen Livestock Research
Wageningen, februari 2020

Rapport 1234

Melse, R.W., P. Hoeksma, N.W.M. Ogink, 2020. *Technische bovengrenzen P_2O_5 gehalte van dikke fractie na scheiding drijfmest met decanteercentrifuge; Update 2020*.
Wageningen Livestock Research, Rapport 1234.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/514881> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2020 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.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.
Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1234

Inhoud

Voorwoord	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond en probleemstelling	7
1.2 Doelstelling en afbakening	7
2 Materiaal en Methoden	8
2.1 Scheidingsexperimenten	8
2.2 Literatuuronderzoek	10
3 Resultaten	12
3.1 Scheidingsexperimenten	12
3.2 Literatuuronderzoek	13
4 Discussie en conclusie	15
4.1 Vergelijking experimenten en literatuur	15
4.2 Fosfaatgehalte	15
4.3 Concentratiefactor en scheidingsrendement	18
4.4 Berekening technische bovengrens P_2O_5 gehalte dikke fractie na scheiding met centrifuge	22
4.5 Conclusies	23
5 Literatuur	24
Bijlage 1 - Afleiding Formule 1b	25
Bijlage 2 - Afleiding Formule 4a	26

Voorwoord

In 2018 is een eerdere versie van voorliggend rapport gepubliceerd (Melse et al., 2018). Aangezien sindsdien nieuwe scheidingsresultaten van centrifuges zijn verzameld (Derikx, 2019), is er voor gekozen een update van het eerdere rapport uit te brengen waarin deze nieuwe cijfers zijn verwerkt.

De auteurs
Februari 2020

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Mestintermediairs slaan binnenkomende partijen mest op of bewerken deze tot andere mestproducten, waarna de mest en afgeleide mestproducten gedistribueerd worden naar afnemers in binnen- en buitenland. Voor de verantwoording van de meststromen van mestproducent tot afnemer dienen mestdistributeurs inzicht te verschaffen in de binnenkomende en afgezette mineralenstroom gedurende een jaar, zowel qua hoeveelheden als qua gehalten stikstof en fosfaat. De controlerende instanties (NVWA en Rvo.nl) hebben behoefte aan aanvullende methodes waarmee de juistheid van de opgegeven aan- en afvoer van mestproducten door mestdistributiebedrijven kan worden beoordeeld en waarmee onregelmatigheden kunnen worden opgespoord. Van diverse zijden wordt gesuggereerd dat er sprake is van substantiële fraude bij de verantwoording van de mineralenstroom door mestintermediairs. Fraude kan leiden tot concurrentievervalsing tussen mestintermediairs en tot milieuschade.

Deze fraude zou zich in het bijzonder toespitsen op de dikke fracties zoals die door scheiding van varkens- en rundveedrijfmest wordt geproduceerd. Hierbij zou het meestal draaien om het aanpassen van het fosfaatgehalte, bijvoorbeeld door het mestmonster te drogen (hierdoor stijgt het fosfaatgehalte per kilo monster) of door fosfaatkunstmest toe te voegen. Wanneer een dergelijke vracht wordt afgevoerd door een intermediair wordt er 'op papier' meer fosfaat afgevoerd dan in werkelijkheid. Op deze wijze wordt er 'zwarte mest' gecreëerd die buitenom de fosfaatboekhouding kan worden afgezet. Om fraude tegen te gaan is meer kennis nodig van de te verwachten samenstelling van mestscheidingsproducten en de technische grenzen.

De meest gebruikte technieken voor het scheiden van drijfmest zijn de vijzelpers (of: schroefpers) en de decanteercentrifuge. Uit onderzoek is bekend dat met een decanteercentrifuge in de regel hogere gehalten van fosfaat en droge stof in de dikke fractie worden gerealiseerd dan bij een vijzelpers, wat tevens resulteert in een hoger scheidingsrendement voor fosfaat en droge stof (Møller et al., 2002, 2007; Buisonjé en Smolders, 2002; Jørgensen en Stoumann Jensen, 2009; Hjorth et al., 2010; Vu et al., 2015). Dit kan verklaard worden door het feit dat relatief kleine deeltjes niet door de vijzelpers worden tegengehouden (ze gaan met de dunne fractie door de 'mestkoek' en de zeef heen), terwijl deze deeltjes bij de centrifuge als gevolg van de middelpuntvliedende kracht wel worden afgescheiden en in de dikke fractie belanden (Møller et al., 2002; Hjorth et al., 2010).

Voorliggende studie is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

1.2 Doelstelling en afbakening

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen welke fosfaatgehalten maximaal gevonden kunnen worden in dikke fracties die door middel van scheiding van rundvee- en varkensdrijfmest worden geproduceerd. Daarnaast dient te worden vastgesteld welke scheidingsrendementen kunnen worden gerealiseerd. Omdat voor de decanteercentrifuge in het algemeen hogere fosfaatgehalten in de dikke fractie worden verwacht dan voor de vijzelpers, richt dit onderzoek zich op scheiding met een centrifuge. Daarnaast dient te worden verkend wat de mogelijkheden zijn voor het inschatten van het maximale fosfaatiniveau dat technische haalbaar is voor een dikke fractie na scheiding. Aanvullend worden ook de beschikbare gegevens wat betreft N-totaal gerapporteerd.

Om dit doel te bereiken is een aantal scheidingsexperimenten en een literatuuronderzoek uitgevoerd.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Scheidingsexperimenten

Locaties en opzet experimenten

In de periode van november 2015 tot juni 2016 is op 5 loonbedrijven een lading rundveedrijfmest en een lading varkensdrijfmest gescheiden met een decanteercentrifuge. Op 2 van de 5 bedrijven is nog een extra lading rundveedrijfmest gescheiden.

Op twee bedrijven (locatie 1 en 2) is gewerkt met een Peralisi centrifuge (Italië), op twee bedrijven (locatie 3 en 5) met een Haus centrifuge (Turkije) en op één bedrijf (locatie 4) met een Westfalia centrifuge (Duitsland). In Tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van de centrifuges samengevat.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken centrifuges.

Locatie	Merk	Type	Capaciteit (ton/uur)	Snelheid (rpm)	Trommeldiameter (mm)
1	Pieralisi	Hercules 470/3	30	2750	470
2	Pieralisi	Mammoth 570/3	30	2600	570
3	Haus	DHI-5342	35	2640	530
4	Westfalia	755	70	2680	750
5	Haus	DHI-5342	35	2950	530

De grootte van de lading of vracht te scheiden drijfmest is telkens bepaald door de volle vrachtwagen voor het experiment en de lege vrachtwagen na het experiment op een weegbrug te wegen. Het verschilgewicht (ca. 35 ton) is dan de hoeveelheid gescheiden drijfmest.

De geproduceerde dikke fractie werd telkens opgevangen op een aanhanger. Het verschilgewicht vóór en na het experiment is dan de hoeveelheid geproduceerde dikke fractie.

De hoeveelheid geproduceerde dunne fractie is niet gemeten, maar berekend als het verschil tussen de hoeveelheid drijfmest en dikke fractie.

Afhankelijk van het type centrifuge duurde de scheiding van een vracht van ca. 35 ton drijfmest ca. 30 tot 60 minuten.

Bemonstering van de drijfmest heeft in duplo plaatsgevonden met het op de vrachtwagens aanwezige automatische monteringssysteem, óf door tijdens het scheidingsproces handmatig op 5 momenten twee monsters van een liter mest af te tappen uit de leiding tussen de transportwagen en de centrifuge, deze apart te verzamelen en vervolgens uit de verzamelde mest twee submonsters te nemen; op deze manier werden van elke vracht telkens twee monsters genomen (duplo-monster). De dikke fractie is bemonsterd door verdeeld over de tijdsduur van het experiment een tweetal mengmonsters te nemen (duplo-monster). De dunne fractie is bemonsterd door tijdens het scheidingsproces per 10 minuten twee maal een liter mest af te tappen uit de afvoerleiding van de centrifuge, deze apart te verzamelen en hieruit twee submonsters te nemen.

De volgende analyses zijn uitgevoerd: droge stof (DS) en as gehalte, totaal N (N-tot), totaal P₂O₅, of totaal P¹, totaal K, NH₄⁺, pH, EC en de hoeveelheid "Suspended Solids", oftewel het deel van de droge stof dat niet in water oplosbaar is.

De pH en EC voor de vaste monsters zijn bepaald door het monster te verdunnen met demi-water in een massaverhouding 1 : 4, even te roeren, een half uur te laten staan en nogmaals even te roeren; daarna zijn de pH en EC bepaald door de elektrode in de suspensie te houden.

De hoeveelheid 'suspended solids' wordt als volgt bepaald. De monsters van drijfmest en dunne fractie worden afgewogen en gecentrifugeerd, dan gedecanteerd. Het residu wordt aangevuld met water, geroerd, gecentrifugeerd en gedecanteerd (tweemaal) en dan kwantitatief in een kroesje overgebracht en gedroogd. De monster van dikke fractie worden eerst nog aangevuld met water en geroerd, alvorens bovenstaande procedure wordt uitgevoerd.

¹ 1 g P (fosfor) = 2,29 g P₂O₅ (fosfaat).

Het scheidingsrendement voor een component, in de regel gedefinieerd als de hoeveelheid die in de dikke fractie wordt teruggevonden, kan tenslotte als volgt worden berekend (in dit voorbeeld berekend voor P):

Formule 1a

$$\text{Scheidingsrendement } P (\%) = \frac{[Pdik] \times Mdik}{[Pdrijf] \times Mdrijf} \times 100$$

waarbij:

[P...] = totaal-P gehalte van ... ; eenheid: g/kg;

M... = massa van ... ; eenheid: kg;

dik, drijf = dikke fractie, drijfmest.

Wanneer de hoeveelheden geproduceerde dikke en dunne fractie niet bekend zijn, kan het scheidingsrendement voor een component ook rechtstreeks worden berekend uit de gehalten in de verschillende fracties (in dit voorbeeld berekend voor P):

Formule 1b (zie Bijlage 1 voor afleiding)

$$\text{Scheidingsrendement } P (\%) = \frac{([Pdrijf] - [Pdun]) \times [Pdik]}{([Pdik] - [Pdun]) \times [Pdrijf]} \times 100$$

waarbij:

[P...] = totaal-P gehalte van ... ; eenheid: g/kg;

dik, dun, drijf = dikke fractie, dunne fractie, drijfmest.

Daarnaast kan de concentratiefactor (dimensieloos) voor een component worden berekend, ook hier weer berekend op basis van de hoeveelheid die in de dikke fractie wordt opgehoopt. Deze factor geeft aan hoeveel maal de concentratie in de dikke fractie hoger is dan in de drijfmest (in dit voorbeeld berekend voor P):

Formule 2

$$\text{Concentratiefactor } P (-) = \frac{[Pdik]}{[Pdrijf]}$$

waarbij:

[Pdik] = totaal-P gehalte van dikke fractie; eenheid: g/kg;

[Pdrijf] = totaal-P gehalte van drijfmest; eenheid: g/kg;

Op vergelijkbare wijze kan ook voor andere componenten (bijv. droge stof, totaal-N) het scheidingsrendement en de concentratiefactor worden berekend.

Massabalans ter controle

Ter beoordeling van de betrouwbaarheid van de verkregen meetgegevens is van alle scheidingsexperimenten allereerst een massabalans opgesteld voor alle gemeten componenten (totaal-N, totaal-P, totaal-K, droge stof, as en ammonium-N). Hiervoor worden de gemeten gehalten en de gemeten hoeveelheid drijfmest en dikke fractie gebruikt. Bij deze benadering wordt ervan uitgegaan dat de hoeveelheden in de drijfmest gelijk zijn aan de optelsom van de hoeveelheden in de dikke fractie en van de hoeveelheden in de dunne fractie. Vervolgens is de afwijking van de balans als volgt berekend (in dit voorbeeld voor totaal-P):

Formule 3

$$\text{Balansafwijking (\%)} = \frac{[Pdik] \times Mdik + [Pdun] \times (Mdrijf - Mdik) - [Pdrijf] \times Mdrijf}{[Pdrijf] \times Mdrijf} \times 100$$

waarbij:

[P...] = totaal-P gehalte van ... ; eenheid: g/kg;

M... = massa van ... ; eenheid: kg;

dik, dun, drijf = dikke fractie, dunne fractie, drijfmest.

Op vergelijkbare wijze kan de afwijking van de massabalans voor andere componenten dan totaal-P worden berekend. Aangenomen wordt dat de afwijking van de massabalans voor alle genoemde componenten tussen -15% en +15% dient te liggen om de gemeten data als betrouwbaar te beoordelen. Wanneer de afwijking groter is dan 15%, wordt geconcludeerd dat er aanzienlijke fouten zijn gemaakt in het traject van weging, bemonstering of laboratoriumanalyse van de monsters en worden de resultaten niet verder gebruikt.

2.2 Literatuuronderzoek

Naast de bovengenoemde experimenten is literatuuronderzoek verricht naar de scheiding van varkens- en rundvedrijfmest met een decanteercentrifuge. In het bijzonder is gezocht naar experimenten waarbij de gehalten voor droge stof en fosfaat van de verschillende fracties worden gerapporteerd; indien beschikbaar worden ook de gemeten massaverhoudingen en N-tot gehalten van de drijfmest en de geproduceerde dikke en dunne fractie meegenomen.

Vervolgens zijn de data op basis van drie criteria beoordeeld en geselecteerd:

1) Selectie mate van afwijking massabalans voor droge stof en P

In veel literatuurbronnen worden wel gehalten van droge stof en P gerapporteerd voor de drijfmest en de gescheiden fracties, maar ontbreekt een meting van de hoeveelheden dikke en dunne fractie die worden geproduceerd.

Daarom wordt allereerst de massaverhouding van de geproduceerde fractie berekend op basis van de droge stof gehalten. Wanneer de hoeveelheid drijfmest wordt gesteld op 100 % kunnen de hoeveelheid dikke fractie en dunne fractie als volgt worden berekend:

Formule 4a (zie Bijlage 2 voor afleiding)

$$\text{Hoeveelheid dikke fractie (\%)} = \frac{[DSdrijf] - [DSdun]}{[DSdik] - [DSdun]} \times 100$$

en:

Formule 4b

$$\text{Hoeveelheid dunne fractie (\%)} = 100 - \text{Hoeveelheid dikke fractie}$$

waarbij:

[DS...] = droge stof gehalte van ... ; eenheid: g/kg;

dik, dun, drijf = dikke fractie, dunne fractie, drijfmest.

Vervolgens kan met de op deze manier verkregen massaverhouding de balansafwijking voor P worden berekend met behulp van formule 3.

Aangenomen wordt dat de afwijking van de massabalans voor alle genoemde tussen -15% en +15% dient te liggen om de gemeten data als betrouwbaar te beoordelen. Wanneer de balansafwijking groter is dan 15%, wordt geconcludeerd dat er aanzienlijke fouten zijn gemaakt in weging, bemonstering of laboratoriumanalyse van de monsters en worden de resultaten niet verder gebruikt.

2) Selectie waarde scheidingsrendement P

De eerste publicaties over mestscheiding met centrifuges dateren uit de jaren 1980-1990. Op dat moment was de technologie nog niet zo ver ontwikkeld als vandaag de dag en werden relatief lage scheidingsrendementen voor P gerealiseerd. Om data te verzamelen die representatief is voor de centrifuges die vandaag de dag worden gebruikt voor scheiding van drijfmest, is besloten om als tweede criterium te hanteren dat het minimale scheidingsrendement voor P (d.w.z. de ophoping in de dikke fractie) voor rundveedrijfmest 50% en voor varkensdrijfmest 60% bedraagt. Wanneer het berekende scheidingsrendement (berekend met formule 1b) lager is, worden de literatuurgegevens niet nader gebruikt.

3) Selectie schaalgrootte experiment

Experimenten die zijn uitgevoerd op laboratoriumschaal, kunnen soms heel andere resultaten geven dan bij centrifuges die op praktijkschaal worden toegepast. De reden hiervoor is dat de technische specificaties (bijv. snelheid en diameter) van de centrifuges sterk kunnen afwijken. Daarom wordt er voor gekozen alleen literatuurgegevens te gebruiken die afkomstig zijn van experimenten die op praktijkschaal of op semi-praktijkschaal zijn uitgevoerd (capaciteit centrifuge minimaal 1 ton drijfmest/uur).

3 Resultaten

3.1 Scheidingsexperimenten

In onderstaande tabellen worden de resultaten van de scheidingsexperimenten met de verschillende centrifuges gegeven. Tabel 2 betreft de scheidingsresultaten voor rundveedrijfmest en Tabel 3 voor varkensdrijfmest; de gerapporteerde waarden zijn het gemiddelde van telkens 2 monsters. Vervolgens wordt in Tabel 4 weergegeven wat de afwijking in de massabalans voor droge stof, fosfaat en N-tot is, berekend volgens formule 3 uit paragraaf 2.1.

Met uitzondering van één van de experimenten, waren de afwijkingen in de massabalans inderdaad $\leq 15\%$, zoals beoogd. Voor één vracht rundveemest (locatie 4) gold dat de afwijking van de balans veel groter was, voor totaal-P en droge stof bedroeg de afwijking $+34\%$ en voor N-tot bedroeg de afwijking $+20\%$. Vanwege de grote afwijking van de balans is besloten op deze locatie een nieuwe vracht rundveemest te scheiden; bij de tweede scheiding waren de afwijkingen wel $\leq 15\%$. De meetresultaten met de te grote balansafwijking zijn verder buiten beschouwing gelaten en worden niet gerapporteerd in onderstaande tabellen.

Tabel 2 Experiment scheiding rundveedrijfmest met centrifuge^a.

Locatie	Drijfmest			Dikke fractie			Concentratie-factor P_2O_5 (-) ^b	Scheidingsrendement ^c		
	DS (%)	P_2O_5 (g/kg)	N-tot (g/kg)	DS (%)	P_2O_5 (g/kg)	N-tot (g/kg)		P_2O_5 (%)	N-tot (%)	Massa (%)
1 ^d	9.0	1.4	4.5	26	4.5	5.3	3.3	70	25	21
2	8.3	1.4	3.9	20	3.8	5.1	2.7	67	33	25
3	7.9	1.3	4.1	26	5.2	5.7	4.0	68	24	17
4	10.4	1.8	4.8	23	4.2	5.3	2.3	53	26	23
5	5.7	1.9	5.4	23	12	8.9	6.3	79	21	13
Gemiddelde:	8.2	1.6	4.5	24	5.9	6.1	3.7	60	26	20
SD	1.7	0.3	0.6	2.6	3.4	1.6	1.6	9.3	4.4	5.0

^a 1 g P (fosfor) = 2.29 g P_2O_5 (fosfaat).

^b Dit is het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie gedeeld door het P_2O_5 gehalte van de drijfmest.

^c Dit is het deel van de P_2O_5 , N-tot of massa van de drijfmest dat in de dikke fractie terecht komt.

^d Gemiddelde van twee bijna identieke vrachten.

Tabel 3 Experiment scheiding varkensdrijfmest met centrifuge^a.

Locatie	Drijfmest			Dikke fractie			Concentratie-factor P_2O_5 (-) ^b	Scheidingsrendement ^c		
	DS (%)	P_2O_5 (g/kg)	N-tot (g/kg)	DS (%)	P_2O_5 (g/kg)	N-tot (g/kg)		P_2O_5 (%)	N-tot (%)	Massa (%)
1	12	5.2	8.9	30	16	12	3.0	74	33	25
2	12	3.9	7.7	30	11	9.5	2.9	84	35	29
3	7.8	3.3	4.5	29	14	8.4	4.3	91	39	21
4	10	5.6	8.2	31	19	12	3.4	72	31	21
5	12	4.6	9.6	30	13	11	2.8	80	34	29
Gemiddelde:	11	4.5	7.8	30	15	11	3.3	80	34	25
SD	1.9	0.9	2.0	0.7	3.1	1.6	0.6	7.5	3.2	3.9

^a 1 g P (fosfor) = 2.29 g P_2O_5 (fosfaat).

^b Dit is het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie gedeeld door het P_2O_5 gehalte van de drijfmest.

^c Dit is het deel van de P_2O_5 , N-tot of massa van de drijfmest dat in de dikke fractie terecht komt.

Tabel 4 Berekende balansafwijking voor scheiding van rundvee- en varkensdrijfmest met centrifuge.

Locatie	Balansafwijking droge stof		Balansafwijking P_2O_5		Balansafwijking N-tot	
	Rundvee	Varkens	Rundvee	Varkens	Rundvee	Varkens
1	+4% ^a	0%	-2% ^a	-7%	-1% ^a	-1%
2	+0.5%	+4%	+1%	+3%	+1%	0%
3	+5%	+7%	+5%	+9%	0%	+3%
4	-1%	+1%	-3%	-3%	-3%	0%
5	+9%	+2%	+11%	+1%	+2%	-1%

^a Gemiddelde van twee bijna identieke vrachten.

3.2 Literatuuronderzoek

In onderstaande tabellen worden de resultaten van het literatuuronderzoek samengevat voor rundvee- en varkensdrijfmest, voor zover deze voldeden aan de in paragraaf 2.2 genoemde 3 criteria. De resultaten van literatuurbronnen die niet voldeden aan een of meerdere criteria (Fangueiro et al., 2015; een aantal metingen uit Derikx, 2019; Gastel et al., 1997; Lemmens et al., 2007; Rexilius, 1990; Schön et al., 1989; Vu et al., 2016) zijn niet opgenomen in Tabel 5 en 6 en worden niet nader gebruikt.

Tabel 5 Literatuurgegevens scheiding rundveedrijfmest met centrifuge^a.

Nummer	Drijfmest			Dikke fractie			Concentratie- factor P ₂ O ₅ (-) ^b	Scheidings- rendement ^c			Referentie
	DS (%)	P ₂ O ₅ (g/kg)	N-tot (g/kg)	DS (%)	P ₂ O ₅ (g/kg)	N-tot (g/kg)		P ₂ O ₅ (%)	N-tot (%)	Massa (%)	
1	6.0	1.0	2.9	26	5.2	5.7	5.3	58	12	11	Gilkinson en Frost, 2007
2	6.0	1.0	2.9	21	4.1	6.4	4.1	89	63	21	idem
3	8.6	0.9	3.4	17	1.7	3.9	2.0	68	40	34	Hilhorst en Verloop, 2010
4	6.4	1.6	^d	20	6.2	^d	3.9	75	^d	20	Møller et al., 2002
5	5.5	1.4	2.9	21	7.0	5.9	5.0	76	18	15	idem
6	4.5	1.1	2.6	21	7.4	6.0	6.8	76	29	11	idem
7	7.0	1.8	4.2	21	4.4	5.0	2.4	51	32	19	Møller et al., 2007
8	7.8	1.5	3.3	19	4.5	4.8	3.0	69	31	25	Verloop en Hilhorst, 2011.
9	6.6	1.3	3.5	21	5.1	5.3	3.9	68	22	17	idem
10	6.8	1.3	^d	15	4.0	^d	3.1	56	^d	23	idem
11	8.1	1.4	4.9	23	4.5	5.8	3.1	66	55	21	Derikx, 2019
12	8.9	2.9	6.3	26	10.3	8.7	3.6	84	36	22	idem
13	8.9	2.9	^d	27	11.2	^d	3.9	90	^d	25	idem
14	7.0	2.2	5.0	25	10.4	8.1	4.8	80	35	13	idem
15	7.9	2.5	5.7	24	10.8	8.5	4.4	78	28	18	idem
16	9.0	2.7	^d	25	9.6	^d	3.5	88	^d	27	idem
17	12.3	1.8	^d	23	3.4	^d	1.8	59	^d	39	idem
Gemiddelde:	7.5	1.7	4.0	22	6.5	6.2	3.8	72	33	21	
SD	1.8	0.7	1.2	3.2	3.0	1.5	1.2	12	15	7.5	

^a 1 g P (fosfor) = 2.29 g P₂O₅ (fosfaat).

^b Dit is het P₂O₅ gehalte van de dikke fractie gedeeld door het P₂O₅ gehalte van de drijfmest.

^c Dit is het deel van de P₂O₅, N-tot of massa van de drijfmest dat in de dikke fractie terecht komt, berekend volgens formule 1b.

^d Vanwege grote afwijking in de N-tot massabalans zijn geen waarden opgenomen.

Tabel 6 Literatuurgegevens scheiding varkensdrijfmest met centrifuge^a.

Nummer	Drijfmest			Dikke fractie			Concentratie- factor P ₂ O ₅ (-) ^b	Scheidings- rendement ^c			Referentie
	DS (%)	P ₂ O ₅ (g/kg)	N-tot (g/kg)	DS (%)	P ₂ O ₅ (g/kg)	N-tot (g/kg)		P ₂ O ₅ (%)	N-tot (%)	Massa (%)	
1	5.0	2.5	5.2	36	27	9.2	11	82	8.4	6.9	Melse et al., 2002a; Melse en Verdoes, 2005
2	5.7	3.2	^d	29	19	^d	6.0	72	^d	9.9	idem
3	4.7	2.8	4.8	27	18	9.4	6.5	70	29	9.1	Buiter, 2004
4	5.2	2.4	4.0	32	20	9.6	8.2	77	27	8.6	Buissonjé en Smolders, 2002
5	3.8	2.1	3.5	26	21	10	10	79	12	7.8	Gilkinson en Frost, 2007
6	3.8	2.1	3.5	23	17	10	8.1	95	53	13	idem
7	5.3	2.9	^d	25	14	^d	4.8	71	^d	12	Møller et al., 2002
8	4.8	2.6	^d	28	19	^d	7.3	68	^d	7.8	idem
9	2.6	1.4	3.9	18	20	11	14	74	19	5.0	idem
10	5.1	2.5	5.4	33	22	11	8.8	75	17	7.8	Møller et al., 2007
11	4.0	2.3	4.0	33	24	10	11	72	26	6.3	idem
12	6.8	3.0	^d	29	16	^d	5.2	78	^d	15	idem
13	8.9	5.3	6.9	36	27	12	5.2	82	13	15	idem
14	7.6	4.7	5.3	29	21	9.4	4.5	86	36	19	Derikx, 2019
15	6.9	3.2	6.2	30	18	9.8	5.6	80	24	13	idem
16	9.8	5.0	7.7	29	17	10	3.5	80	23	21	idem
17	9.0	5.1	7.2	30	20	11	4.0	83	35	19	idem
18	11	4.3	8.7	29	13	10	3.0	78	30	24	idem
19	9.5	4.9	6.0	28	18	7.4	3.6	68	56	17	idem
20	12	6.1	9.5	28	15	10	2.5	80	54	28	idem
21	9.0	4.7	7.2	26	15	10	3.3	85	63	26	idem
Gemiddelde:	6.7	3.5	5.7	29	19	10	6.5	78	31	14	
SD	2.6	1.3	1.7	4.1	3.9	0.9	3.1	6.6	16	6.7	

^a 1 g P (fosfor) = 2.29 g P₂O₅ (fosfaat).^b Dit is het P₂O₅ gehalte van de dikke fractie gedeeld door het P₂O₅ gehalte van de drijfmest.^c Dit is het deel van de P₂O₅, N-tot of massa van de drijfmest dat in de dikke fractie terecht komt, berekend volgens formule 1b.^d Vanwege grote afwijking in de N-tot massabalans zijn geen waarden opgenomen.

4 Discussie en conclusie

4.1 Vergelijking experimenten en literatuur

Voor wat betreft de resultaten van de scheiding van rundveedrijfmest, laten de experimenten en literatuur een vergelijkbaar beeld zien (Tabel 2 en 5). Voor wat betreft de varkensdrijfmest (Tabel 3 en 6) valt op dat het droge stof gehalte van de drijfmest bij de experimenten gemiddeld gezien een stuk hoger ligt dan bij de oudere onderzoeken uit de literatuur. De aan dit rapport toegevoegde nieuwe literatuurgegevens (Derikx, 2019) laten wel hogere gehalten zien. Ervan uitgaande dat de geproduceerde dikke fracties in beide gevallen vergelijkbaar zijn qua gehalte droge stof en fosfaat (dat is namelijk inherent aan de gebruikte scheidingstechniek), is het logische gevolg dat de gemiddelde concentratiefactor voor DS en P_2O_5 in de oudere literatuur dan ook hoger ligt dan in de uitgevoerde experimenten voor varkensmest. Dit fenomeen wordt nader besproken in paragraaf 4.3.

Verder valt op in Tabel 2 (rundveemest) dat het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie voor locatie 5 (12 g/kg) veel hoger is dan voor de andere locaties en ook veel hoger is dan de waarden die uit de oudere literatuur naar voren komen. Ook hier geldt dat de aan dit rapport toegevoegde nieuwe literatuurgegevens (Derikx, 2019) hogere gehalten zien. Voor varkensmest geldt dat in de literatuur een aantal malen een veel hoger P_2O_5 gehalte van de dikke fractie wordt gerapporteerd (Tabel 6) dan in onze experimenten is gevonden (Tabel 3). Het is niet duidelijk wat de oorzaak van deze verschillen is.

Zowel voor de experimentele data als voor de literatuur data geldt dat bij de scheiding van rundveemest gemiddeld een lager scheidingsrendement voor fosfaat werd gevonden dan bij varkensmest.

In de verdere analyse in onderstaande paragrafen wordt steeds alle data gebruikt, dus zowel de gegevens uit de experimenten (Tabel 2 en 3) als uit de literatuur (Tabel 5 en 6).

4.2 Fosfaatgehalte

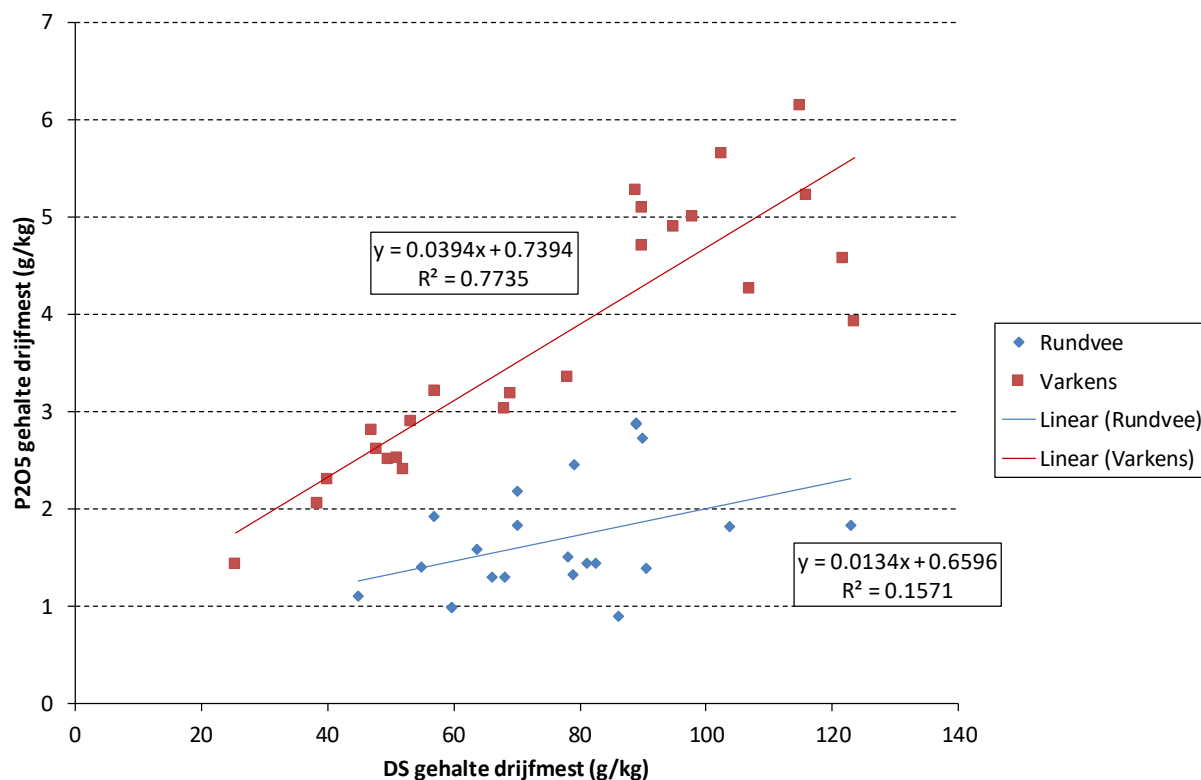
In Figuur 1 is het P_2O_5 gehalte van de drijfmest uitgezet tegen het DS gehalte, apart voor rundvee en varkensmest. Uit de figuur blijkt dat het P_2O_5 gehalte van varkensmest, zoals bekend, in het algemeen hoger ligt dan voor rundveedrijfmest.

Daarnaast laat Figuur 1 voor varkensmest zien dat een hoger drogestofgehalte ook een hoger fosfaatgehalte betekent maar dat dit verband voor rundveemest minder sterk lijkt te zijn.

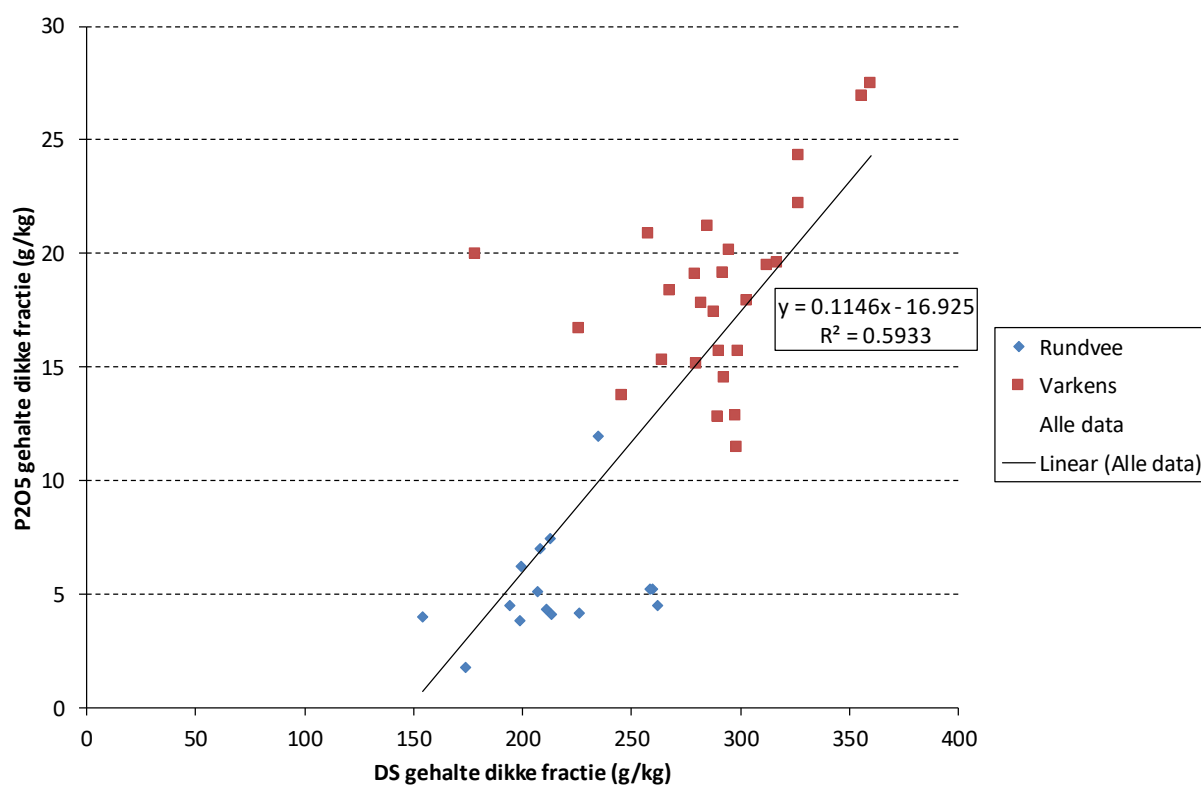
Blijkbaar zijn er tussen de verschillende ladingen rundveedrijfmest aanzienlijke verschillen qua verdeling droge stof en fosfaat. Aannemende dat een groot deel van de in de drijfmest aanwezige fosfaatverbindingen aanwezig is in niet-opgeloste toestand (gebonden aan de organische deeltjes), zou dit verklaard kunnen worden doordat de in de drijfmest aanwezige deeltjes een verschillend fosfaatgehalte hebben, bijvoorbeeld door verschillen in voer. Daarnaast moet bedacht worden dat de dataset relatief beperkt van omvang is.

Voor varkensmest lijkt er meer sprake van een 'verduunningseffect', waarbij er wel sprake is van een min of meer vaste verhouding tussen fosfaatgehalte en drogestofgehalte.

Voor de dikke fractie wordt binnen beide mestsoorten geen duidelijke relatie gevonden tussen het fosfaatgehalte en het droge stofgehalte (zie Figuur 2), ook niet voor varkensmest. Wanneer we de gegevens van beide mestsoorten samennemen, is er wel sprake van een lineair verband.

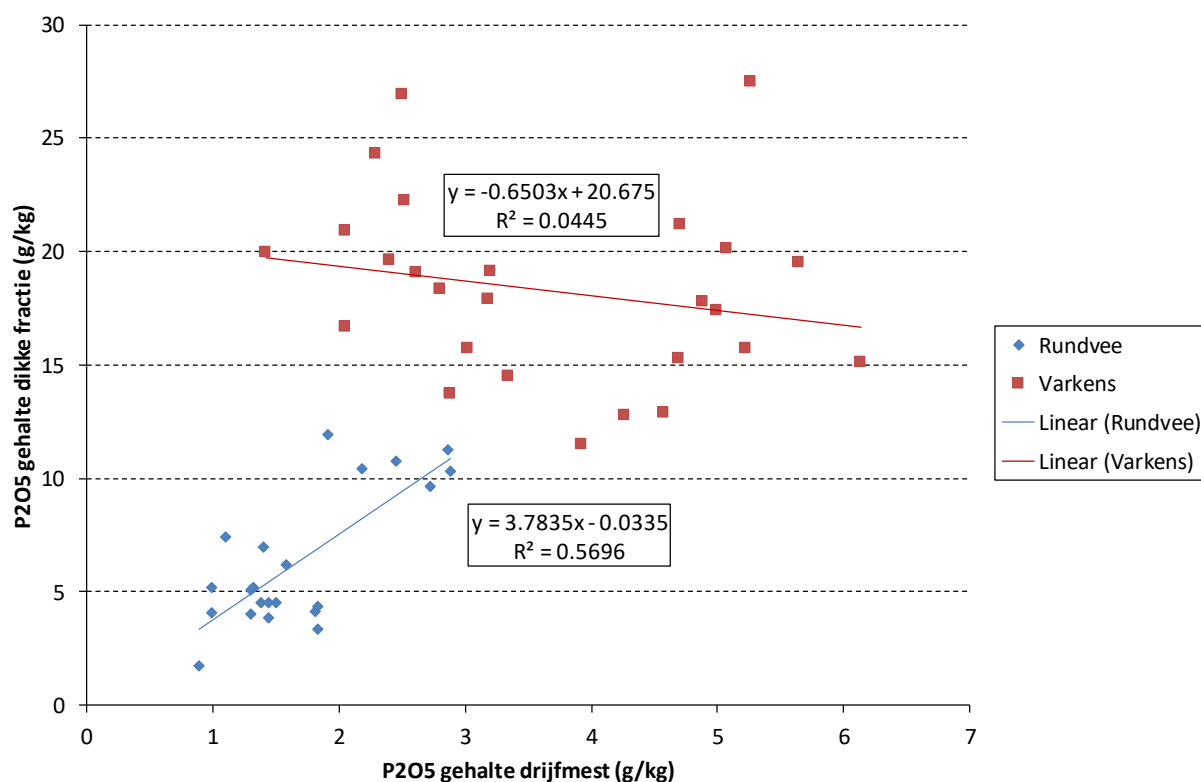


Figuur 1 Fosfaatgehalte drijfmest versus droge stof gehalte drijfmest.

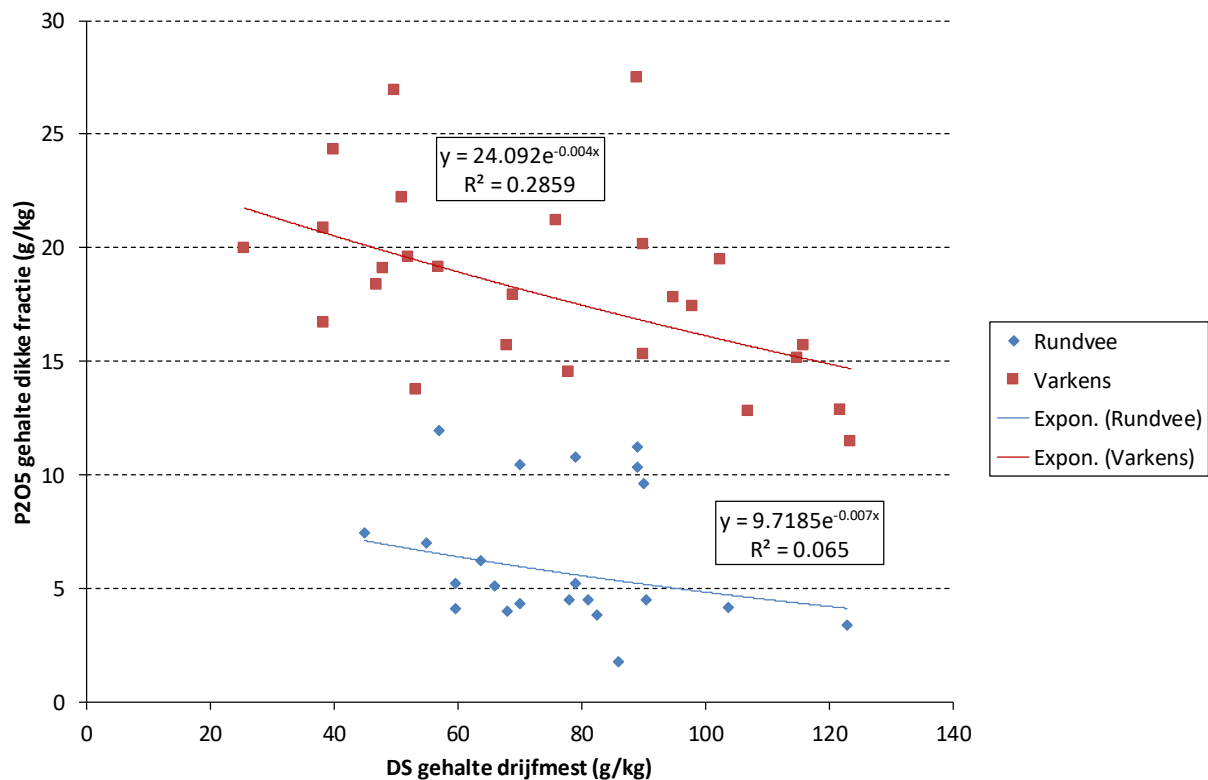


Figuur 2 Fosfaatgehalte dikke fractie versus droge stof gehalte dikke fractie; de lineaire regressielijn betreft alle data, zowel de rundvee- als de varkensmest.

In Figuur 3a wordt het P₂O₅ gehalte van de dikke fractie uitgezet tegen het P₂O₅ gehalte van de drijfmest, apart voor rundvee en varkensmest. Uit de figuur blijkt dat daartussen voor varkensmest geen duidelijke relatie is, voor rundveemest is dat verband sterker. Tussen het DS gehalte van de drijfmest en het P₂O₅ gehalte van de dikke fractie wordt evenmin een sterk verband gevonden, zoals wordt weergegeven in Figuur 3b.



Figuur 3a Fosfaatgehalte dikke fractie versus drijfmest na scheiding met centrifuge.



Figuur 3b Fosfaatgehalte dikke fractie versus DS gehalte drijfmest na scheiding met centrifuge.

In aanvulling op Figuur 1 laten Figuur 3a en 3b zien dat, evenals voor drijfmest, ook voor de P_2O_5 gehalten van de dikke fractie geldt dat deze voor varkensmest gemiddeld een stuk hoger liggen dan voor rundveemest.

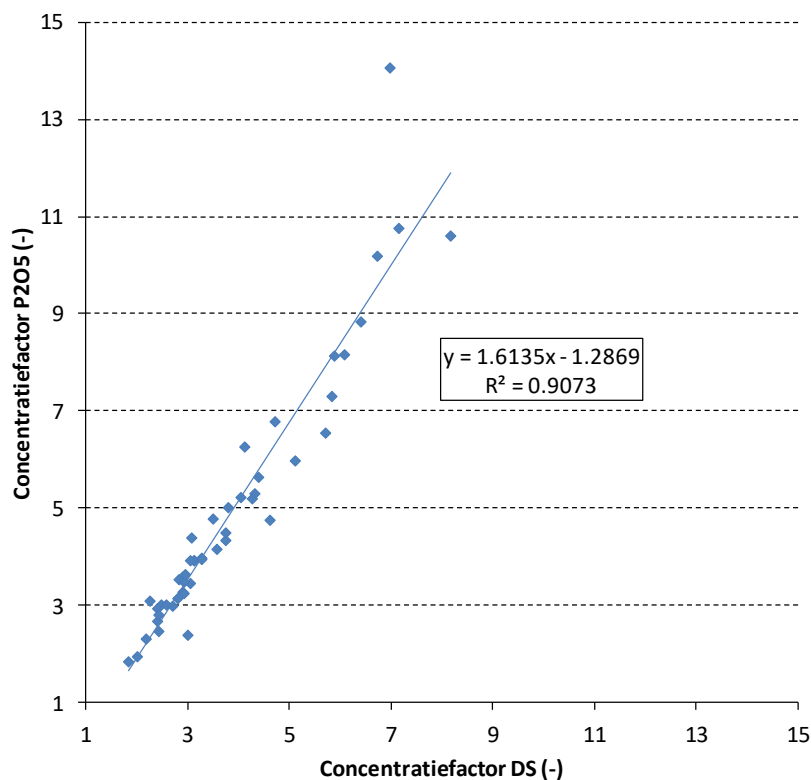
4.3 Concentratiefactor en scheidingsrendement

Tussen de concentratiefactor voor P_2O_5 en de concentratiefactor voor DS is wel een duidelijk verband te zien: hoe verder de mest wordt "ingedikt" middels de centrifuge, hoe verder zowel het P_2O_5 gehalte als het DS gehalte oploopt (zie Figuur 4).

Dit kan verklaard worden uit het feit dat een (groot) deel van de in de drijfmest aanwezige fosfaatverbindingen aanwezig is in niet-opgeloste toestand en gebonden is aan organische deeltjes. Wanneer de in de drijfmest aanwezige deeltjes als gevolg van de centrifugewerking voor een groot deel in de dikke fractie terecht komen, hoopt zich daar dus ook fosfaat op.

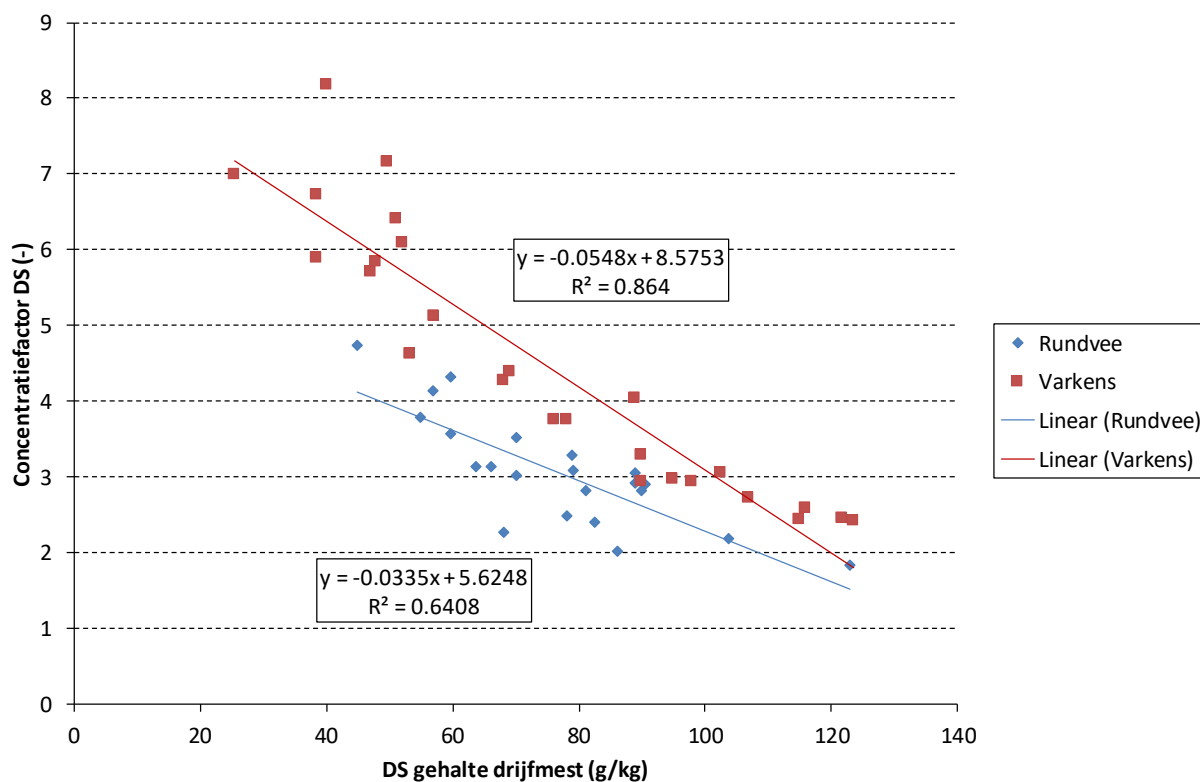
Daarnaast zal een deel van de fosfaat en droge stof in opgeloste vorm aanwezig zijn. Het feit dat de concentratiefactor van fosfaat sneller oploopt dan van droge stof (de richtingscoëfficiënt van Figuur 4 is groter dan 1) duidt er op dat voor droge stof geldt dat een groter deel van de totale hoeveelheid opgelost is dan voor fosfaat het geval is.

Het uiteindelijke afscheidingspercentage en de gehalten in de dikke en dunne fractie hangen af van het ontwerp en de afstelling van de centrifuge, zoals bijvoorbeeld het toerental, de diameter en het debiet (Hjorth et al., 2010).



Figuur 4 Concentratiefactor P_2O_5 versus DS voor scheiding van drijfmest met centrifuge.

Verder blijkt er een verband te zijn tussen het DS gehalte van de drijfmest en de DS concentratiefactor (zie Figuur 5), zoals ook wordt beschreven door Møller et al.(2002).



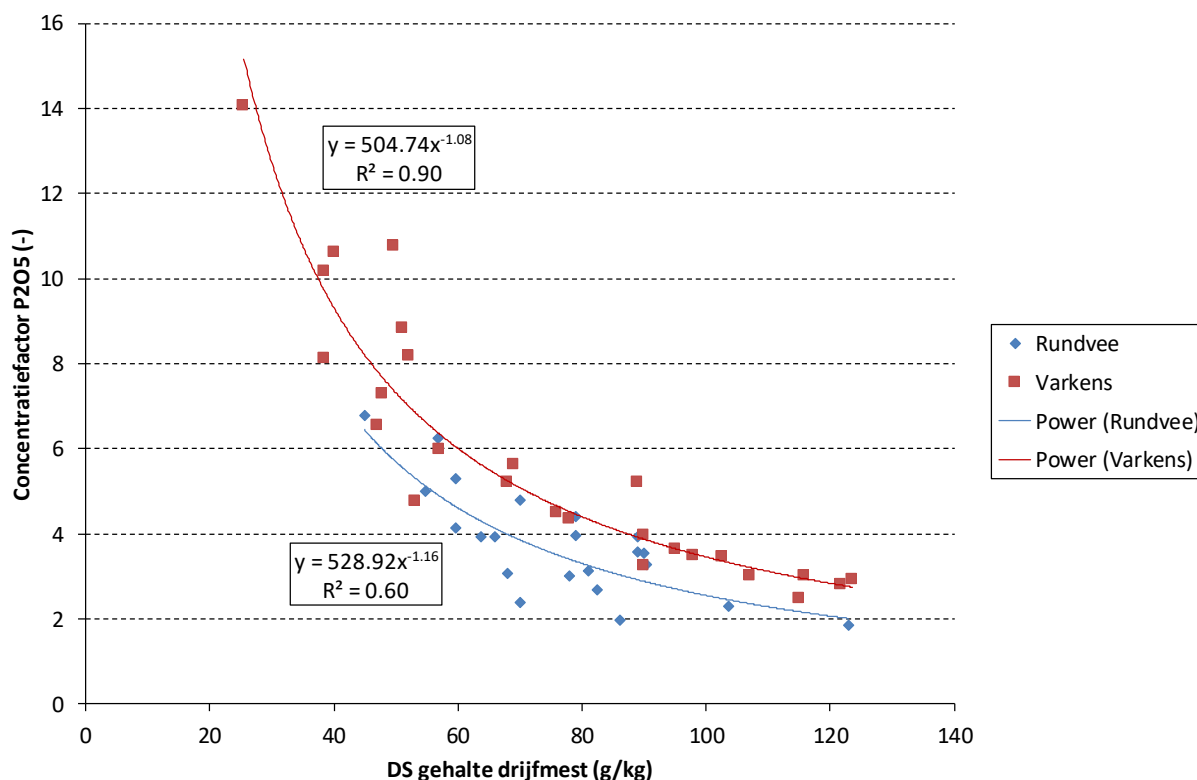
Figuur 5 Concentratiefactor DS versus DS gehalte drijfmest bij scheiding van drijfmest met centrifuge.

Dit is te verklaren doordat: 1) het DS gehalte voor een groot gedeelte niet opgeloste verbindingen betreft die aanwezig zijn als deeltjes en 2) de techniek van centrifugeren dusdanig is dat er een dikke fractie wordt gemaakt met een min of meer vaststaand DS gehalte waarin deze deeltjes zich ophopen; het DS gehalte van de dikke fractie bedraagt ca. 150 tot 350 g/kg en is afhankelijk van het 'type' droge stof (zoals de deeltjesgrootteverdeling) en de eigenschappen van de centrifuge, maar onafhankelijk van het DS gehalte van de ingaande drijfmest.

Met andere woorden: wanneer het droge stof gehalte van de drijfmest lager is, zit er meer water in de mest. Dit water komt hoofdzakelijk in de dunne fractie terecht, terwijl het droge stof gehalte van de dikke fractie hierdoor niet wordt beïnvloed. Er wordt dan minder dikke fractie geproduceerd (want er zaten minder kg droge stof in de drijfmest) en meer dunne fractie. Aangezien de concentratiefactor wordt gedefinieerd als het DS gehalte van de dikke fractie (ongewijzigd) gedeeld door het DS gehalte van de drijfmest (lager), is de concentratiefactor dan ook hoger.

Wanneer het droge stof gehalte van de drijfmest hoger is, zal er meer dikke fractie worden geproduceerd (en iets minder dunne fractie); in dit geval zal de concentratiefactor DS lager worden.

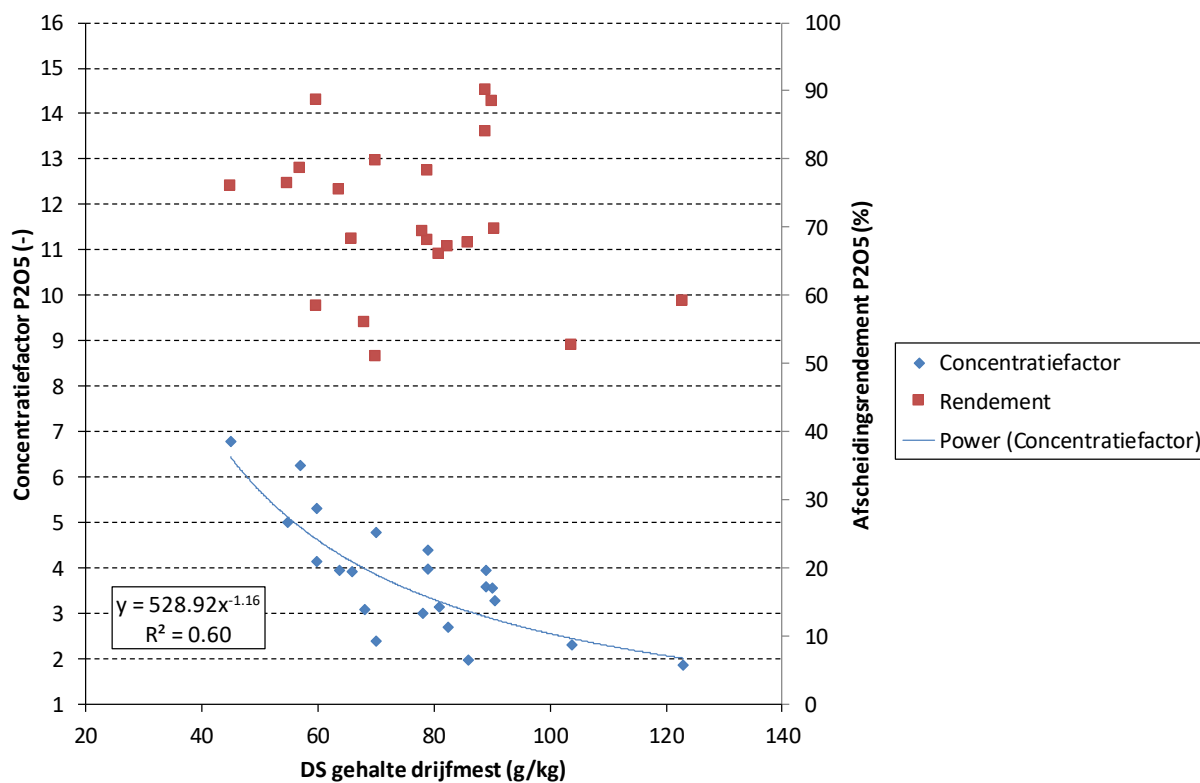
Aangezien de concentratiefactor voor DS en P_2O_5 gelijk oplopen (zie Figuur 4), is dus net als voor de concentratiefactor voor DS (zie boven) te verwachten dat een hoger DS gehalte van de drijfmest resulteert in een lagere concentratiefactor P_2O_5 en een lager DS gehalte van de drijfmest in een hogere concentratiefactor P_2O_5 . Dit wordt weergegeven in Figuur 6, apart voor scheiding van rundvee- en varkensdrijfmest. Het verband tussen de concentratiefactor P_2O_5 en het P_2O_5 gehalte van de drijfmest is zwakker, in het bijzonder voor rundveemest (rundveemest: $R^2 = < 0.001$; varkensmest: $R^2 = 0.81$).



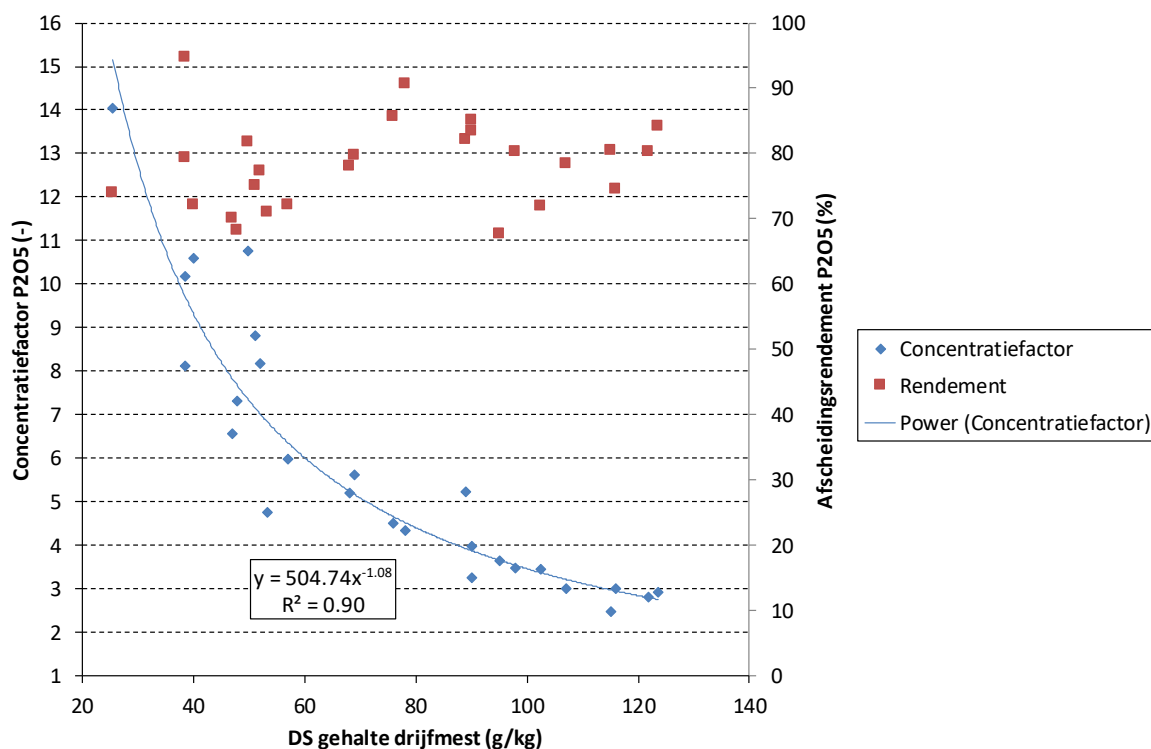
Figuur 6 Concentratiefactor P_2O_5 versus DS gehalte drijfmest bij scheiding van drijfmest met centrifuge.

In aanvulling op Figuur 6 kunnen ook de scheidingsrendementen van P_2O_5 worden weergegeven voor deze datapunten. Dat wordt in Figuur 7 en Figuur 8 gedaan, apart voor rundvee- en varkensmest. Om de vergelijking tussen Figuur 7 en 8 te vergemakkelijken, wordt op de assen hetzelfde bereik weergegeven.

Figuur 7 en 8 zijn daarmee een grafische weergave van de werking van de centrifuge: in de grafieken wordt vastgelegd hoe een decanteercentrifuge, afhankelijk van het DS gehalte van de ingaande mest, functioneert m.b.t. de concentratiefactor P_2O_5 en het gerealiseerde scheidingsrendement voor P_2O_5 .



Figuur 7 Concentratiefactor en scheidingsrendement P_2O_5 versus DS gehalte drijfmest bij scheiding van rundveedrijfmest met centrifuge.



Figuur 8 Concentratiefactor en scheidingsrendement P_2O_5 versus DS gehalte drijfmest bij scheiding van varkensdrijfmest met centrifuge.

Uit vergelijking van Figuur 7 en 8 volgt, zoals reeds eerder werd opgemerkt, dat het gemiddelde P_2O_5 scheidingsrendement voor rundveemest (ca. 70%) lager is dan voor varkensmest (ca. 80%). Verder valt op dat het drogestofgehalte voor varkensdrijfmest (25-125 g/kg) een grotere bandbreedte bestrijkt dan voor rundveedrijfmest (45-125 g/kg).

Uit de figuren blijkt ook duidelijk dat de gevonden concentratiefactoren van P_2O_5 samenhangen met de DS gehalten van de ingaande drijfmest. Wel is sprake van een aanzienlijke spreiding rond de getoonde regressielijnen. Het verschil tussen de berekende regressielijn en de gemeten P_2O_5 concentratiefactoren bedraagt voor rundveemest maximaal 1,5 en voor varkensmest maximaal 3,3 bij deze dataset. Deze spreiding zou mogelijk (deels) veroorzaakt kunnen zijn door verschillen tussen centrifuges met betrekking tot ontwerp en operationele factoren (diameter, toerental etc.) en niet alleen door de mestsamenstelling zelf.

4.4 Berekening technische bovengrens P_2O_5 gehalte dikke fractie na scheiding met centrifuge

Uit de uitgevoerde scheidingsexperimenten en het literatuuronderzoek is als maximale gehalte voor P_2O_5 in de dikke fractie na scheiding voor rundveemest een waarde van 12 g/kg en voor varkensmest een waarde van 27 g/kg gevonden. Deze waarden zijn gebaseerd op een beperkt aantal monsters en het is denkbaar dat er in principe nog hogere waarden zouden zijn gevonden zijn wanneer nog meer monsters beschikbaar waren. Het is echter niet zo dat het fosfaatgehalte van de dikke fractie maar hoger en hoger kan worden: er is sprake van een 'technische bovengrens'. De reden hiervoor is dat de concentratie van P_2O_5 in de dikke fractie enerzijds wordt beperkt door de samenstelling van de ingaande mest (waarvan het gehalte van P_2O_5 een maximum heeft) en anderzijds door het technisch functioneren van de centrifuge (waarvan de maximale indikkingsfactor wordt beperkt door het scheidingsprincipe).

Het maximale fosfaatgehalte van de dikke fractie na scheiding kan als volgt worden berekend. Zoals in de vorige paragraaf is besproken, hangt de met de centrifuge gerealiseerde P_2O_5 concentratiefactor af van het droge stof gehalte van de ingaande drijfmest. Uit Figuur 7 en 8 blijkt dat de gevonden

maximale P_2O_5 concentratiefactor voor rundvee- en varkensmest ca. 7 resp. ca. 14 bedraagt, bij minimale droge stof gehalten in de ingaande drijfmest van ongeveer 45 resp. 25 g/kg. Op basis van Figuur 1 kan vervolgens worden geprobeerd om een inschatting te maken van het maximale P_2O_5 gehalte van drijfmest met deze DS gehalten. Voor rundveedrijfmest is geen duidelijk verband tussen DS en P_2O_5 gehalte aanwezig en kan gesteld worden dat het maximale P_2O_5 gehalte bij lagere DS gehalten ca. 2 g/kg bedraagt. Voor varkensdrijfmest is een duidelijkere correlatie tussen het P_2O_5 gehalte en het DS gehalte, en kan gesteld worden dat bij de laagste DS gehalten eveneens een maximaal P_2O_5 gehalte van ca. 2 g/kg kan worden verwacht. Door deze P_2O_5 gehalten te vermenigvuldigen met bovengenoemde maximale P_2O_5 concentratiefactor komt het maximaal te verwachten fosfaatgehalte van de dikke fractie uit op $2 \times 7 = 14$ g/kg resp. $2 \times 14 = 28$ g/kg voor rundvee- en varkensmest; vanwege de onzekerheden in de laboratoriumanalyses en metingen wordt aangenomen dat gerapporteerde waarden tot maximaal 10% boven deze technische grenswaarden kunnen liggen.

Hieruit volgt dat de technische bovengrens van het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie afkomstig van mestscheiding met centrifuge uitkomt op 15 g P_2O_5 /kg resp. 31 g P_2O_5 /kg voor rundvee- en varkensmest.

Het is in principe mogelijk om de categorie "varkensmest" op te splitsen in een categorie "zeugenmest" en "vleesvarkensmest". Vanwege het hogere droge stofgehalte en de daaraan gekoppelde lagere concentratiefactor zal dit voor vleesvarkensmest naar verwachting een lagere bovengrens opleveren dan de hierboven berekende waarde van 31 g P_2O_5 /kg.

4.5 Conclusies

- 1) Uit literatuur en eigen experimenten is voor het maximale P_2O_5 gehalte van de dikke fractie, zoals die door drijfmestscheiding met een decanteercentrifuge wordt geproduceerd, een maximale waarde van 12 g/kg voor rundveemest en 27 g/kg voor varkensmest gevonden.
- 2) Het gemiddelde P_2O_5 scheidingsrendement voor rundveedrijfmest bedroeg 72% en voor varkensdrijfmest bedroeg dit 78%; individuele rendementen kunnen hiervan sterk afwijken.
- 3) Het drogestofgehalte van de drijfmest geeft een indicatie van de te verwachten P_2O_5 concentratiefactor die bereikt zal worden bij het scheiden van drijfmest met een decanteercentrifuge. Wel is er sprake van een grote spreiding, dat wil zeggen dat er bij gelijke drogestofgehalten P_2O_5 concentratiefactoren kunnen worden gevonden die voor rundveemest tot 1,5 punten en voor varkensmest tot 3,3 punten kunnen afwijken van een lineaire regressielijn die berekend is als 'best fit' voor de beschikbare dataset. De gevonden spreiding is bij varkensmest dus groter dan bij rundveemest.
- 4) Op basis van de onderzoeksresultaten kan een technische bovengrens van het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie worden berekend. Het maximale P_2O_5 gehalte van de dikke fractie wordt namelijk beperkt door zowel het P_2O_5 gehalte van de drijfmest als door het technisch functioneren van de centrifuge (waarvan de maximale indikkingsfactor wordt bepaald door het scheidingsprincipe). Op basis van de maximale P_2O_5 concentratiefactor en de bijbehorende P_2O_5 gehalten van de drijfmest kan berekend worden dat de technische bovengrens van het P_2O_5 gehalte van de dikke fractie afkomstig van mestscheiding met een decanteercentrifuge 15 g/kg resp. 31 g/kg bedraagt voor rundvee- en varkensmest.

Literatuur

- Buissonjé, F.E. de, M. Smolders (2002). Mest vergisten verlaagt scheidingsrendement. Praktijkkompas Varkens, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad; inclusief achterliggende data.
- Buiter, W.J. (2004). Scheiding van biologische varkensmest met een decanteercentrifuge. ZLTO Advies. Web: <http://edepot.wur.nl/115455>.
- Derikx, P.L. (2019). Rapportage aanvullend onderzoek nutriënten 2018. RIKILT Wageningen University & Research, rapport 2019.001. *De onderliggende data zijn beschikbaar gesteld aan de auteurs.*
- Fangueiro, D., J. Coutinho, L. Borges and E. Vasconcelos (2015). Recovery efficiency of nitrogen from liquid and solid fractions of pig slurry obtained using different separation technologies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178(2): 229-236.
- Gastel, J.P.B.F. van, N. Verdoes, M.P. Beurskens-Voermans (1997). Euralclar mestspoel- en mestbehandelingssysteem. Proefverslag P 1.172. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- Gilkinson, S., P. Frost, 2007. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a decanting centrifuge and a brushed screen separator. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a decanting centrifuge and a brushed screen separator. Agri-Food and Biosciences Institute, Hillsborough, Northern Ireland.
- Hilhorst, G., K. Verloop (2010). Scheiden van rundveemest met decanter van GEA Westfalia Separator : testresultaten van scheiden met vergiste en onvergiste rundveemest. Koeien&Kansen - Rapport nr. 57: 22 pp.
- Hjorth, M., K.V. Christensen, M.L. Christensen, S.G. Sommer (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30 (2010) 153-180.
- Jørgensen, K., L. Stoumann Jensen (2009). Chemical and biochemical variation in animal manure solids separated using different commercial separation technologies. *Bioresource Technology* 100: 3088-3096.
- Lemmens, B., J. Ceulemans, H. Elslander, S. Vanassche, E. Brauns, K. Vrancken (2007). BBT voor mestverwerking, 3de uitgave, pagina 119: BDB(Bodemkundige Dienst van België).
- Melse, R.W., D.A.J. Starmans, N. Verdoes (2002a). Manura 2000, Hollvoet te Reusel. Praktijkboek nr. 4. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Melse, R.W., D.A.J. Starmans, N. Verdoes (2002b). Manura 2000, Houbensteyn te Ysselsteyn. Praktijkboek nr. 5. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Melse, R.W., N. Verdoes (2005) Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. *Biosyst. Eng.* Vol 92 No 1 pp 47-57.
- Melse, R.W. ; Hoeksma, P. ; Ogink, N.W.M. (2018). Technische bovengrenzen van P2O5 gehalte dikke fractie na scheiding drijfmest met decanteercentrifuge : Verkennende studie - versie januari 2017. Wageningen : Wageningen Livestock Research, rapport 1100.
- Møller, H.B., S.G. Sommer, B.K. Ahring (2002). "Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions." *Bioresource Technology* 85(2): 189-196.
- Møller, H.B., J.D. Hansen, C.A.G. Sørensen (2007) Nutrient recovery by solid-liquid separation and methane productivity of solids, *Trans. ASABE* 50, 193-200.
- Rexilius, R. (1990). Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Feststoffabtrennung aus Flüssigmist und zur Feststoffkompostierung. PhD dissertation. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) (0931-6264) Nr. 185.
- Schön, M., W. Reimann, J. Franz (1989). Zentrifugieren von Faulschlamm aus Schweinegülle. *Agrartechnik*, Berlin 39, 125-126.
- Verloop, K., G. Hilhorst (2011). Gebruik van de dunne en dikke fractie van rundmest getest op Koeien & Kansen-melkveebedrijven. Scheidingsresultaten 2010 en 2011 (Bijlage I). Rapport nr. 63 / Rapport Plant Research International nr. 42. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Vu, P.T., R.W. Melse, G. Zeeman, P.W.G. Groot Koerkamp (2016). Composition and biogas yield of a novel source segregation system for pig excreta. *Biosystems Engineering* Vol 145 pp 29-38.

Bijlage 1 Afleiding Formule 1b

Het scheidingsrendement voor P kan als volgt worden geschreven (Formule 1a uit paragraaf 2.2):

$$(1) \text{ Scheidingsrendement } P (\%) = (M_{dik} \times P_{dik}) / (M_{drijf} \times P_{drijf}) \times 100$$

of:

$$(2) \text{ Scheidingsrendement } P (\%) = (M_{dik} / M_{drijf}) \times (P_{dik} / P_{drijf}) \times 100$$

waarbij:

M... = de massa van respectievelijk de drijfmest en de dunne en dikke fractie

P... = het gehalte totaal-P van de betreffende stroom

Verder wordt in Bijlage 2 voor droge stof afgeleid dat:

$$(3) M_{dik} / M_{drijf} = (DS_{drijf} - DS_{dun}) / (DS_{dik} - DS_{dun})$$

Aangezien niet alleen voor droge stof maar voor alle componenten geldt dat de massa voor en na scheiding gelijk is, kan ook voor totaal-P worden geschreven dat:

$$(4) M_{dik} / M_{drijf} = (P_{drijf} - P_{dun}) / (P_{dik} - P_{dun})$$

Als we de term M_{dik} / M_{drijf} in (2) vervangen door $(P_{drijf} - P_{dun}) / (P_{dik} - P_{dun})$ op basis van (4), wordt formule (2) als volgt:

$$\text{Scheidingsrendement } P (\%) = \frac{(P_{drijf} - P_{dun})}{(P_{dik} - P_{dun})} \times (P_{dik} / P_{drijf}) \times 100$$

Dit kan worden herschreven tot (is gelijk aan Formule 1b uit paragraaf 2.2):

$$\text{Scheidingsrendement } P (\%) = \frac{((P_{drijf} - P_{dun}) \times P_{dik})}{((P_{dik} - P_{dun}) \times P_{drijf})} \times 100$$

Bijlage 2 Afleiding Formule 4a

De hoeveelheid droge stof en massa blijft gelijk in het systeem voor en na scheiding, dus:

$$(1) M_{drijf} \times DS_{drijf} = M_{dik} \times DS_{dik} + M_{dun} \times DS_{dun}$$

en:

$$(2) M_{drijf} = M_{dik} + M_{dun}$$

waarbij:

M... = de massa van respectievelijk de drijfmest en de dunne en dikke fractie

DS... = het gehalte droge stof van de betreffende stroom

Als we de term M_{dun} in (1) vervangen door $(M_{drijf} - M_{dik})$ op basis van (2), wordt formule (1) als volgt:

$$\begin{aligned} M_{drijf} \times DS_{drijf} &= M_{dik} \times DS_{dik} + (M_{drijf} - M_{dik}) \times DS_{dun} \\ &= M_{dik} \times DS_{dik} + M_{drijf} \times DS_{dun} - M_{dik} \times DS_{dun} \end{aligned}$$

Rangschikken leidt tot:

$$M_{dik} \times DS_{dun} - M_{dik} \times DS_{dik} = M_{drijf} \times DS_{dun} - M_{drijf} \times DS_{drijf}$$

En als M_{dik} en M_{drijf} buiten haakjes wordt gehaald:

$$M_{dik} \times (DS_{dun} - DS_{dik}) = M_{drijf} \times (DS_{dun} - DS_{drijf})$$

Dit kan vervolgens worden omgewerkt tot:

$$M_{dik} = (DS_{dun} - DS_{drijf}) / (DS_{dun} - DS_{dik}) \times M_{drijf}$$

En tenslotte tot:

$$M_{dik} / M_{drijf} = (DS_{drijf} - DS_{dun}) / (DS_{dik} - DS_{dun})$$

Wanneer de hoeveelheid dikke fractie wordt uitgedrukt als % van de ingaande drijfmest wordt de formule (is gelijk aan Formule 4a uit paragraaf 2.2):

$$\text{Hoeveelheid dikke fractie (\%)} = (DS_{drijf} - DS_{dun}) / (DS_{dik} - DS_{dun}) \times 100$$

Op vergelijkbare wijze kan voor de dunne fractie worden afgeleid dat:

$$\text{Hoeveelheid dunne fractie (\%)} = (DS_{drijf} - DS_{dik}) / (DS_{dun} - DS_{dik}) \times 100$$

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.

