



Monitoring van mestparameters en methaanproductie van mest in mestsilos

M. Timmerman, C.M. Groenestein

Rapport 1252



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Monitoring van mestparameters en methaanproductie van mest in mestsilos

M. Timmerman, C.M. Groenestein

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Klimaatenvelpe' (projectnummer BO-53-003-009-SV)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, Mei 2020

Rapport 1252

Timmerman, M., C.M. Groenestein, 2020. *Monitoring van mestparameters en methaanproductie van mest in mestsilos*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1252.

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten van een studie gepresenteerd om het verloop in samenstelling en temperatuur van mest in mestsilos met verschillende mestsoorten vast te stellen om zodoende inzicht te verkrijgen in de variabiliteit en de relatie tussen verschillende mestparameters (organische stof, chemisch zuurstofverbruik, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit) en de methaanproductie van mest in mestsilos.

Summary

This report presents the results of a study performed to determine the variation in manure composition and temperature in manure silos with different manure types in order to gain insight into variability and the relationship between different manure parameters (organic matter, chemical oxygen demand, temperature, pH, volatile fatty acids and methanogenic activity) and the methane production from manure in manure silos under Dutch conditions.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/525105> 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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1252

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Achtergrond	7
	1.2 Doel	7
	1.3 Afbakening	8
	1.4 Achtergrondinformatie van het vergistingsproces	8
2	Materiaal en Methode	10
	2.1 Onderzoeklocaties	10
	2.2 Onderzoeksuitvoering	10
	2.3 Laboratoriumonderzoeken	11
	2.4 Statistische analyses	14
	2.5 Model voorspelling methaanemissie	15
3	Resultaten	16
	3.1 Mestmanagement en -samenstelling	16
	3.2 Potentiële en realiseerbare methaanproductie mestsilos	17
	3.3 Organische stof	19
	3.4 Temperatuur	21
	3.5 Zuurgraad (pH)	24
	3.6 Vluchtige vetzuren (VVZ)	25
	3.7 Methanogene activiteit (MA)	26
	3.8 Aanvullende statistische analyses	27
4	Discussie	29
5	Conclusies en aanbevelingen	31
	Literatuur	32
	Bijlage 1 Invloed zwenken op RMM	34
	Bijlage 2 Resultaten mestsilos A	35
	Bijlage 3 Resultaten mestsilos B	40
	Bijlage 4 Resultaten mestsilos C	45
	Bijlage 5 Resultaten mestsilos D	50
	Bijlage 6 Resultaten mestsilos E	55
	Bijlage 7 Resultaten mestsilos F en G	60
	Bijlage 8 Resultaten mestsilos H en I	67
	Bijlage 9 Model voorspelling methaanemissie mestsilos	77
	Bijlage 10 Correlaties mestparameters	80

Samenvatting

Er is nog niet veel onderzoek gedaan naar de methaanemissies uit mestsilos en de variabiliteit van de factoren die deze methaanemissie beïnvloeden tussen bedrijven. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de temperatuur in de mestopslagen verschillen tussen bedrijven als gevolg van de bouwwijze van kelders en mestsilos. Opslagtijden kunnen eveneens aanzienlijk verschillen, evenals de verdeling van de opslagperiode tussen de mestkelder in de stal en de mestopslag buiten de stal. Inzicht in deze variabiliteit kan bijdragen tot het benutten van managementopties voor het reduceren van de methaanemissie uit mestsilos die toegesneden zijn op het betreffende bedrijf. Het doel van deze studie was daarom om het verloop van de samenstelling en temperatuur van mest in mestsilos met verschillende mestsoorten te monitoren om zodoende inzicht te verkrijgen in de variabiliteit en de relatie tussen verschillende mestparameters (organische stof, chemisch zuurstofverbruik, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit) en de methaanemissie.

Er zijn in totaal negen verschillende mestsilos onderzocht in deze studie. In vier mestsilos was melkveemest opslagen, in één mestsilo gemengde mest, en in vier silos varkensmest. In de periode van eind februari/begin maart tot en met december 2019 werden maandelijks de bemonsteringen en metingen van de mestsilo's uitgevoerd. Dit leverde in totaal 10 meetdagen per mestsilo op. Uitzondering hierop was mestsilo G die vanaf april is gemeten. Op elke meetdag zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Bepaling van de mesthoogte in de mestsilo.
- Meting van de luchtsamenstelling (O_2 , CO_2 , CH_4 , en H_2S) vlak boven het mestoppervlak.
- Meting van de buitenluchttemperatuur, temperatuur aan het mestoppervlak en de wandtemperatuur van de mestsilo aan de zuid-, west, noord en oostkant.
- Bemonstering van de mestsilo (boven, midden en onder) indien voldoende mest aanwezig was. Tevens werd een mengmonster gemaakt van de monsters van de verschillende hoogten. Na elke bemonstering werd de temperatuur, pH en Reductie en Oxidatie potentiaal (ORP) van de mestmonsters gemeten.
- Elk kwartaal werd de bezinklaag in de mestsilo bemonsterd ten behoeve van het bepalen van de methanogene activiteit.

De mestmonsters van de verschillende hoogten (boven, midden en onder) zijn geanalyseerd op de volgende kenmerken: droge en organische stofgehalte, totaal-stikstof, ammonium-stikstof, totaal-fosfor en het chemisch zuurstofverbruik (CZV). De mengmonsters en de monsters van de bezinklagen zijn geanalyseerd op droge en organische stofgehalte, pH en het gehalte vluchtige vetzuren (VVZ). Van de mengmonsters zijn de Potentiële Methaanproductie Mestsilo (PMM) en Realiseerbare Methaanproductie Mestsilo (RMM) bepaald. De Potentiële Methaanproductie Mestsilo (PMM) betreft de hoeveelheid methaan die potentieel uit de op het monstertijdstip in de mestsilo aanwezige organische stof kan worden gevormd. Dit getal kan worden gezien als de maximaal mogelijke methaanproductie onder ideale omstandigheden. De PMM komt overeen met het Biochemisch Methaan Potentieel (BMP) met het verschil dat de BMP bepaald wordt van vers uitgescheiden mest. De Realiseerbare Methaanproductie Mestsilo (RMM) betreft de hoeveelheid methaan die daadwerkelijk uit de op het monstertijdstip in de mestsilo aanwezige organische stof kan worden gevormd, onder de condities zoals deze op dat tijdstip golden. Van de monsters van de bezinklagen is de methanogene activiteit (MA) bepaald om na te gaan hoe actief de micro-organismen in de bezinklagen zijn in de vorming van methaan.

Het mestmanagement van de mestsilos verschilde per bedrijf. Sommige bedrijven gebruikten de mestsilos maar een paar maanden in de winterperiode, terwijl andere bedrijven de mestsilo het hele jaar door gebruikten. De gemeten vullingsgraden van de mestsilos varieerde van 2% tot 100%. In de winterperiode waren de vullingsgraden het hoogst en in de zomerperiode het laagst. De samenstelling van de mest in de mestsilos varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. Het droge stofgehalte varieerde van 11 tot 106 g/kg en het organische stofgehalte varieerde van 5 t/m 83 g/kg.

De temperatuur van de mest in de mestsilos varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. De gemeten mesttemperatuur varieerde van 6°C in de winter tot 24°C in de zomer.

De methaanproductie van de mest in de mestsilos varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. De gemiddelde PMM van de mestsilos varieerde van 63 tot 239 NI CH₄/kg OS. De gemiddelde RMM varieerde van 8 tot 49 NI CH₄/kg OS. De twee mestsilos (F en H) waar frequent mest uit de stallen naar werd afgevoerd hadden de hoogste RMM. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde van 4 tot 32%. Ter vergelijking: de MCF voor rundveemest en varkensmest is respectievelijk 17% en 36% van de BMP van mest. Van de onderzochte mestparameters (organische stof, chemisch zuurstofverbruik, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit) bleken alleen het vluchtige vetzuren gehalte en de methanogene activiteit een significante correlatie te hebben met de potentiële methaanproductie (PMM) van de mest uit de mestsilos. De mesttemperatuur en de methanogene activiteit bleken een significante correlatie te hebben met de realiseerbare methaanproductie (RMM) van de mest uit de mestsilos.

De positieve relaties die zijn gevonden tussen de methaanproductie, de mesttemperatuur en de methanogene activiteit kunnen worden gebruikt om de methaanemissie uit mestopslagen te verminderen. Hierbij dient in acht genomen te worden dat allerlei factoren verstrengelt zijn met temperatuur, waaronder opslagtijd. Vanwege het belang van temperatuur op de methaanvorming verdient het aanbeveling de bepaling van methanogene activiteit (MA) in het laboratorium onder psychrofiële condities uit te voeren. Voor de methanogene activiteit is wel nader onderzoek nodig naar de invloedsfactoren van de methanogene activiteit en hoe deze zijn te beïnvloeden om tot een lagere methanogene activiteit te komen en daarmee tot een lagere methaanemissie. De RMM-test is een relatief eenvoudige in-vitro-methode die als maat dient voor de methaanemissie uit de mestsilos. Het verdient aanbeveling deze methode te valideren met emissiemetingen aan mestsilos.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Opslag van drijfmest vindt zowel in mestkelders in de stal als in mestopslagen buiten de stal plaats. In de meest recente Emissieregistratie rapportage voor 2016 bedroeg de methaanemissie uit mest 4,0 Tg CO₂-eq tegen 8,8 Tg CO₂-eq uit enterische methaanemissie (Coenen *et al.*, 2018). De geschatte omvang van de methaanemissie uit mestopslagen in de nationale emissieregistratie is niet gebaseerd op rechtstreekse emissiemetingen aan mestopslagen aangezien deze bepalingmethode technisch complex en kostbaar is. De kwantificering van methaanemissie is gestoeld op een modelmatige benadering van de afbraak van organische stof in opgeslagen mest (Tier 2 methode). In deze methode spelen twee kengetallen een hoofdrol: het deel van de organische stof in de vers uitgescheiden mest dat potentieel afbreekbaar is, het biochemisch methaan potentieel (BMP) en de fractie van de BMP dat in de praktijk daadwerkelijk wordt afgebroken, de methaanconversiefactor (MCF). Gecombineerd met berekeningen van de uitgescheiden hoeveelheid organische stof in de verschillende diercategorieën levert dit de nationale schattingen voor methaanemissie uit mestopslagen op.

De geschatte waarden voor BMP en MCF zijn generiek en waren voor een belangrijk deel gebaseerd op door de IPCC vastgestelde rekenmethode en kengetallen uit de jaren negentig van de vorige eeuw (Zeeman en Gerbens, 2002). De kengetallen zijn voor Nederland in 2016 geüpdatet (Groenestein *et al.*, 2016). De rekenmethode van de IPCC voor diverse vormen van opslag biedt geen ruimte om uit te gaan van diverse parallelle opslagvormen zoals het geval is bij opslag van drijfmest in mestkelders in de stal i.c.m. buitenopslagen. Er mag vanuit gegaan worden dat bedrijven onderling verschillen zullen vertonen in de niveaus van BMP en MCF en daarmee ook in methaanemissie uit de mestopslagen die op een bedrijf aanwezig zijn. De waarde van de BMP is een maat voor de afbreekbaarheid van de organische stof en is vooral afhankelijk van het rantsoen. MCF is afhankelijk van een groot aantal omgevingsfactoren in de mestopslag zoals de aanwezigheid van entmateriaal bij aanvang van de opslagperiode, temperatuur van de mest, pH, korstvorming op de mest en verblijftijd in de opslag (Groenestein *et al.*, 2016). De effecten kunnen bovendien verschillen tussen de opslag in mestkelders in de stal en de mestopslagen buiten de stal, als gevolg van bijvoorbeeld verschillen in mestmanagement (bijv. regelmatige verwijdering van mest uit de stal of enkele keren per jaar verwijderen van mest uit de stal), organische stof, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit.

Er is weinig bekend over de variabiliteit van de factoren die de MCF beïnvloeden tussen bedrijven. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de temperatuur in de mestopslagen verschillen tussen bedrijven als gevolg van de bouwwijze van kelders en mestsilo's. Opslagtijden kunnen eveneens aanzienlijk verschillen, evenals de verdeling van de opslagperiode tussen de mestkelder in de stal en de mestopslag buiten de stal. Inzicht in deze variabiliteit kan bijdragen tot het benutten van managementopties voor het verminderen van de methaanemissie die toegesneden zijn op het individuele bedrijf.

1.2 Doel

Het doel van deze studie was om het verloop van de samenstelling en temperatuur van mest in mestsilo's met verschillende mestsoorten te monitoren om zodoende inzicht te verkrijgen in de variabiliteit en de relatie tussen verschillende mestparameters (organische stof, chemisch zuurstofverbruik, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit) en de methaanemissie.

1.3 Afbakening

Directe meting van methaanemissies uit praktijksilo's maakten geen onderdeel uit van de studie, omdat dit voor de meeste mestilo's dure aanpassingen vergt (lek dicht maken) en vanwege het grote aantal mestilo's in dit onderzoek.

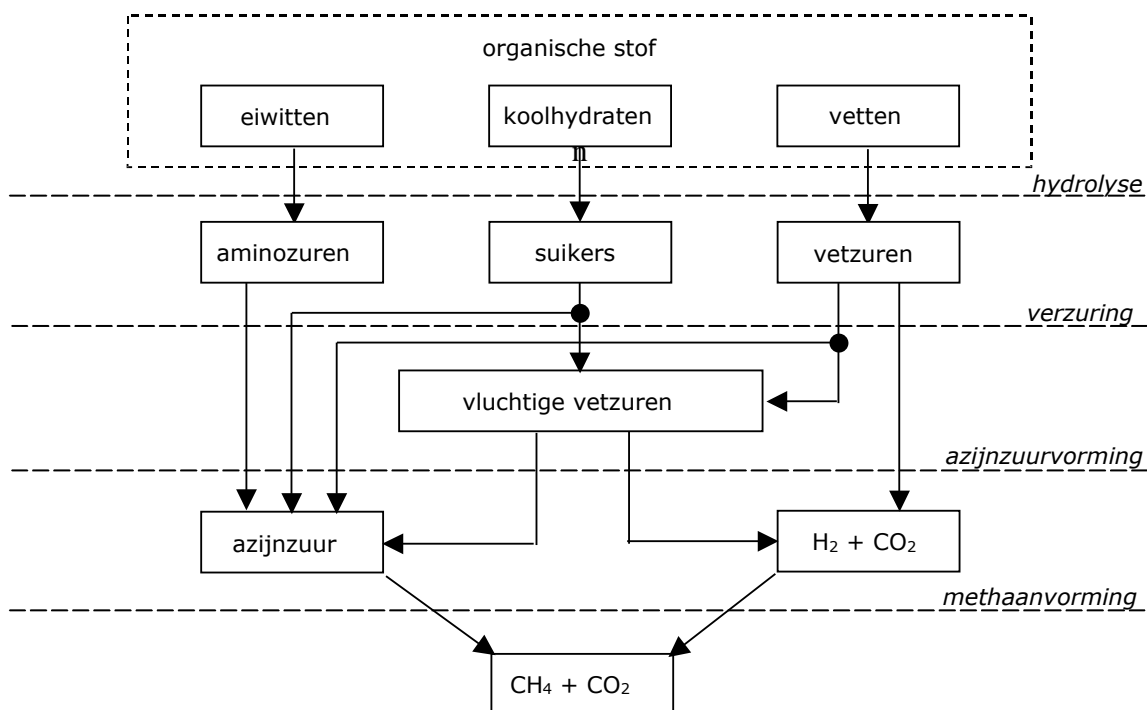
Het onderzoek naar buitenopslagen van mest is beperkt tot mestilo's. Mestzakken en mestbassins zijn niet meegenomen vanwege beperkingen in de uitvoeringen zoals het op een goede en veilige manier kunnen bemonsteren van deze mestopslagen.

1.4 Achtergrondinformatie van het vergistingsproces

Vergistingsproces

Biogas ontstaat in een biologisch anaeroob proces waarbij micro-organismen organisch materiaal omzetten tot een gasmengsel (het biogas). Het biogas bestaat voor voornamelijk uit methaan (50-75 vol.-%) en koolstofdioxide (25-50 vol.-%) met daarnaast (zeer) kleine hoeveelheden andere gassen zoals waterstof, zwavelwaterstofgas en ammoniak. Daarnaast bevindt zich waterdamp in het biogas. De samenstelling van het biogas wordt sterk bepaald door het organisch materiaal en het verloop van het vergistingsproces. Het vergistingsproces kan worden onderverdeeld in vier fasen waarin specifieke groepen micro-organismen een rol spelen (zie ook figuur 1.1):

- Hydrolyse: in de eerste fase worden complexe, onopgeloste organische stoffen omgezet naar eenvoudige, opgeloste organische stoffen.
- Verzuring (acidogenese): omzetting van eenvoudige, opgeloste organische stoffen naar vluchtige vetzuren en koolstofdioxide.
- Azijnzuurvorming (acetogenese): omzetting van vluchtige vetzuren naar azijnzuur en waterstof, waarbij ook koolstofdioxide kan worden gevormd.
- Methaanvorming (methanogenese): omzetting van azijnzuur en koolstofdioxide en waterstof in methaan.



Figuur 1.1 Vereenvoudigde schematische weergave van het vergistingsproces (Sanders, 2001).

Temperatuur

De micro-organismen die het vergistingsproces mogelijk maken kunnen op basis van hun optimale omgevingstemperatuur in drie groepen worden ingedeeld (FNR, 2016):

- Psychrofiële micro-organismen hebben hun optimale temperatuur beneden de 25°C. Onder deze condities wordt de organische stof traag omgezet in biogas en is de biogasproductie lager dan bij hogere temperaturen.
- Mesofiele micro-organismen hebben hun optimale temperatuur tussen de 37 en 42°C. Onder deze condities worden relatieve hoge biogasproducties behaald bij een goede processtabiliteit.
- Thermofiele micro-organismen hebben hun optimale temperatuur tussen de 50 en 60°C. Bij deze hogere temperatuur wordt een hogere afbraaksnelheid van de organische stof bereikt, maar het vergistingsproces is bij deze temperaturen ook gevoeliger voor verstoringen en onregelmatige toevoer van organisch materiaal.

Zuurgraad (pH)

De verschillende micro-organismen in het vergistingsproces hebben hun eigen optimale zuurgraad (pH). Voor de hydrolyserende en zuurvormende bacteriën ligt het optimum tussen een pH van 5,2 en 6,3, maar ook bij hogere pH zijn deze bacteriën nog actief. Voor de azijnzuurvormende en methaanvormende bacteriën ligt het optimum tussen een pH van 6,5 en 8,0. Vinden alle processen plaats in één tank, dan ligt de pH van het vergistingsproces meestal tussen de 7 en 8. De pH wordt bepaald door de basen en zuren die aanwezig zijn in het organisch materiaal (zoals mest) en die ontstaan tijdens het vergistingsproces. Mest heeft over het algemeen een pH tussen de 7 en 8 en een hoog gehalte aan carbonaat en ammonium waardoor het beschikt over een groot carbonaat- en ammoniakbufferevenwicht. Schommelingen in de hoeveelheid zuren en basen in de mestsilo worden goed opgevangen en gebufferd waardoor de pH in een mestsilo over het algemeen vrij stabiel is.

Remmende stoffen en verontreinigingen

Er kunnen stoffen voorkomen die een remmende werking hebben op het vergistingsproces waardoor een lagere biogasproductie wordt gerealiseerd. Dit kunnen enerzijds stoffen zijn die ontstaan tijdens het vergistingsproces en anderzijds stoffen die in het organisch materiaal zitten. Absolute grenzen voor te hoge concentraties zijn moeilijk aan te geven vanwege het grote adaptatie vermogen van micro-organismen. Voor niet aan hoge stikstofgehalten aangepaste micro-organismen heeft ammoniak een remmende werking vanaf 80-250 mg/l. Afhankelijk van temperatuur en pH komt dit overeen met een ammoniumgehalte van 1,7-4,0 g/l. Praktijkervaring bij covergistinginstallaties duiden op een ammoniumgehalte van 3,0-3,5 g/l waar vanaf remmingen beginnen op te treden. Tijdens het vergistingsproces wordt ook zwavelwaterstof gevormd, wat in opgeloste vorm bij concentraties vanaf 50 mg/l remmend kan werken op het vergistingsproces. Antibiotica, schoonmaak- en reinigingsmiddelen kunnen vanaf geringe hoeveelheden ook een remmende werking op het vergistingsproces hebben (FNR, 2016).

2 Materiaal en Methode

2.1 Onderzoeklocaties

De opzet van het onderzoek was gericht op de factoren die de methaanproductie van mestsilos kunnen beïnvloeden in de praktijk, en was gebaseerd op een steekproef op een aantal praktijklocaties waarin deze factoren werden geïnventariseerd. Het had de voorkeur om verschillende mestsoorten mee te nemen afkomstig uit verschillende soorten mestsilos die representatief waren voor de gebruikte mestsilos in Nederland. Er zijn in totaal negen mestsilos meegenomen in dit onderzoek. In tabel 2.1 zijn de kenmerken van de mestsilos die zijn onderzocht weergegeven.

Tabel 2.1 Kenmerken van de onderzochte mestsilos.

Nr	Mestsoort	Bouwmateriaal	Afdekking	Inhoud (m ³)	Kleur wand	Kleur afdekking
A	Melkveemest	Beton	Spankap	1500	Grijs	Grijs
B	Melkveemest	Beton	Spankap	1500	Groengrijs	Groen
C	Melkveemest	Kunststof	Drijfdek	535	Zwart	Zwart
D	Melkveemest (biologisch)	Beton	Drijfdek	720	Grijs	Grijs
E	Melkvee-, vleesvee en vleesvarkensmest	Hout	Drijfdek	707	Bruinzwart	Zwart
F	Zeugen- en vleesvarkensmest	Beton	Spankap	2100	Grijs	Grijs
G	Zeugen- en vleesvarkensmest	Beton	Spankap	650	Grijs	Grijs
H	Vleesvarkensmest	Staal	Spankap	750	Donkerblauw	Grijs
I	Vleesvarkensmest	Kunststof	Drijfdek	1125	Zwart	Zwart

Het merendeel van de mestsilos was gemaakt van beton. De overkapping betrof een spankap of een drijfdek. De mestsilos F en G stonden op hetzelfde varkensfokbedrijf. De mest kwam op dit bedrijf eerst in de grote mestilo F terecht en als deze silo vol zat dan liep de mest over in de kleine mestilo G. De mestilos H en I stonden op hetzelfde vleesvarkensbedrijf. In mestilo H bezinkte de varkensmest en werd de dunne mest die bovenin de mestilo zat overgepompt naar mestilo I. Hiermee waren er twee mestsoorten beschikbaar waarmee de veehouder akkerbouwers beter kon bedienen. In bijlagen 2 tot en met 8 staat aanvullende informatie over de onderzochte mestilos en het mestmanagement ervan.

In periode van eind februari/begin maart tot en met december 2019 zijn maandelijks de waarnemingen bij de mestilos uitgevoerd en werden de mestilos bemonsterd. Dit leverde in totaal 10 meetdagen per mestilo op. Uitzondering hierop was mestilo G die voor de eerste keer in april werd bemonsterd. Deze mestilo verving een andere mestilo die niet meer bemonsterd kon worden, omdat asbest in het terrein rondom die mestilo was gevonden. Op twee opeenvolgende dagen per meetronde werden bij alle mestilos de bemonstering en waarnemingen uitgevoerd.

2.2 Onderzoeksuitvoering

Waarnemingen en metingen op locatie

De volgende waarnemingen zijn uitgevoerd bij elke bemonstering van een mestilo:

- Met een afstandsmeter (Stanley TLM65i) is de afstand tussen het mestniveau en de bovenkant van de mestilo gemeten om de mesthoogte in de mestilo te kunnen bepalen.

- Met een biogasmeter (MRU Optima 7) is de luchtsamenstelling handmatig gemeten aan de bovenkant van de meststilo op de plek waar de monsternemer de monsters ging nemen (aan de bovenrand van de meststilo) en m.b.v. een meetstok vlak boven het mestniveau in de meststilo.
- Met een oppervlakte en lucht thermometer (Testo 810) is op ongeveer borsthoogte (circa 1,5 m hoogte) de buitenluchttemperatuur, de temperatuur van de silowand aan de zuid-, west-, noord- en oostkant en de temperatuur van het mestoppervlak gemeten.

Mestbemonstering en -metingen

De bemonstering van de mest in de silo's vond als volgt plaats:

- Met een 1-liter zonemonsternemer is de meststilo op drie verschillende hoogten (bovenin, halverwege en onderin de meststilo) drie keer bemonsterd. Indien een meststilo deels gevuld was werd alleen een monster genomen van een bepaalde hoogte als het mestniveau boven dit niveau uitkwam. De meststilo werd als leeg beschouwd als in de meststilo dermate weinig drijfmest aanwezig was waarbij het niet meer mogelijk was om nog een goed mestmonster te nemen. Bij een lege meststilo was er nog wel een bezinklaag aanwezig.
- De drie mestmonsters van elke hoogte werd gelegeerd in een aparte schone emmer.
- Direct na de monsternamen werd de mest in de emmers kortstondig geroerd en werd met een gecombineerde meter (Hanna HI98121) de temperatuur, pH en Reductie en Oxidatie potentiaal (ORP) gemeten van de mest.
- Na de meting werd voor elke hoogte een monsterpot (circa 0,4 liter) met desbetreffende mest gevuld, gecodeerd en bewaard in een koelbox tot aan aflevering bij het laboratorium van Wageningen Livestock Research voor analyse op droge stof, organische stof, totaal-stikstof, ammonium-stikstof, totaal-fosfor en chemisch zuurstofverbruik (CZV).
- Hierna werd de inhoud van de drie emmers bij elkaar gedaan en kortstondig gemengd, en van het mengmonster werden m.b.v. een gecombineerde meter (Hanna HI9821) de temperatuur, pH en EC gemeten. Vervolgens werd een thermosfles gevuld met het mengmonster, gecodeerd en de gemeten mesttemperatuur op de thermosfles gezet. De thermosflessen werden zodanig bewaard dat de temperatuur zo constant mogelijk bleef tot aan aflevering bij het laboratorium van LeAF voor de bepalingen van de potentiële en realiseerbare methaanproductie van de meststilo.
- Met een 0,5 liter bodemhapper (type Van Veen bodemhapper, firma Eijkelkamp) werd een monster van de bezinklaag in de meststilo genomen. Dit werd als volgt uitgevoerd. Voor de monsternamen werden de grijpers van de bodemhapper geopend en vastgezet met behulp van een pal. De bodemhapper werd in een gelijkmatig en traag tempo door de drijfmest heen naar beneden gelaten. Zodra de grijpers de bezinklaag raken wordt de pal van de bodemhapper ontspannen. Tijdens het optrekken van de bodemhapper namen de grijpers door het hefboomeffect van de stangen het monster van de toplaag van de bezinklaag. Na optrekken van de bodemhapper werd het monster opgevangen in een schone emmer. Met de bodemhapper werden in totaal drie monsters genomen van de bezinklaag.
- De drie bezinklaagmonsters werd meteen kortstondig gemengd en met een gecombineerde meter (Hanna HI9821) werden de temperatuur, pH en EC gemeten. Na de meting werd een monsterpot (circa 0,4 liter) gevuld met mest van de bezinklaag, gecodeerd en bewaard in een koelbox tot aan aflevering bij het laboratorium van LeAF voor de bepaling van de methanogene activiteit.

2.3 Laboratoriumonderzoeken

De verzamelde mestmonsters van de verschillende hoogten (boven, midden en onder) zijn in het laboratorium van Wageningen Livestock Research geanalyseerd op de volgende kenmerken:

- Droge stof gehalte (drogen bij 105 °C) (NEN 7432)
- Organische stof (o.b.v. gloeiverlies) (NEN 7432)
- Totaal-N (NEN 7434)
- Ammonium-N (NEN 7438)
- Totaal-P uitgedrukt als P₂O₅ (NEN 7435)
- Chemisch Zuurstofverbruik (CZV) (NEN 6633)

De analyseresultaten zijn uitgedrukt in gram per kilogram product tenzij anders aangegeven.

De mengmonsters en monsters van de bezinklagen uit de mestsilos zijn zo spoedig mogelijk na aanlevering door het laboratorium van LeAF op volgende parameters geanalyseerd:

- Droge- en organische-stofgehalte
Het gehalte droge stof en organische stof werd bepaald volgens de standaardmethode, met droging van de monsters bij 105°C en verassing bij 550°C.
- pH
De pH is gemeten met een dagelijks gekalibreerde pH-elektrode.
- Gehalte vluchtige vetzuren (VVZ) (C2 t/m C5)
Het gehalte aan vluchtige vetzuren van de opgeloste fractie werd gaschromatografisch bepaald. De voorbereiding van de monsters bestond uit 20 minuten centrifugeren bij 10000 rpm, en verdunning van het supernatant met 3% mierenzuur. Deze analyse betreft vluchtige vetzuren met een ketenlengte van 2 t/m 5 koolstofatomen (azijnzuur, propionzuur, boterzuur en valeriaanzuur). De detectielimiet was voor elk vetzuur 20 mg/l.
- Potentiële Methaanproductie Mestsilo
De Potentiële Methaanproductie Mestsilo (PMM) betreft de hoeveelheid methaan die potentieel uit de op het monstertijdstip in de mestsilo aanwezige organische stof kan worden gevormd. Dit getal kan worden gezien als de maximaal mogelijke methaanproductie onder ideale omstandigheden. De Potentiële Methaanproductie Mestsilo (PMM) komt overeen met het Biochemisch Methaan Potentieel (BMP). Het verschil tussen de twee is dat een BMP van mest normaliter wordt bepaald van vers uitgescheiden mest, terwijl de PPM is bepaald specifiek van de aanwezige mest in de mestsilo. Dit betreft geen vers uitgescheiden mest. In dit meeste gevallen wordt de mest eerst in de mestkelder verzameld en komt pas daarna in de mestsilo

De PMM is bepaald van de mengmonsters uit de mestsilo. De PMM van de monsters is bepaald zonder voorbehandeling. De monsters zijn door LeAF zo spoedig mogelijk na ontvangst onder anaerobe condities in duplo geïncubeerd met een standaard inoculum van LeAF. Dit standaard inoculum was digestaat uit de slibvergister van de RWZI in Ede. De testopzet voor de bepalingen zijn gebaseerd op het protocol zoals beschreven in (Holliger *et al.*, 2016). Globaal zijn de testen als volgt ingezet: de biogastesten zijn (in duplo) uitgevoerd bij 30°C in 1 liter flessen, en aan elke fles is een buffer (pH 7), macronutriënten en sporenelementen toegevoegd. Blanco's met alleen digestaat zijn meegenomen in de testen om te kunnen corrigeren voor endogene biogasproductie uit het digestaat. Voor aanvang van de testen is de gasfase van alle flessen vervangen door stikstofgas. De flessen zijn geschud weggezet in een schudincubator (100 rpm). De looptijd van deze testen was (tenzij anders gemeld) ongeveer 30 dagen. Gedurende de test werd de gasproductie regelmatig gevolgd met behulp van een drukmeetsysteem. Met de verkregen data is de biogasproductie bepaald. Na afloop van de test zijn de pH, biogassamenstelling en het VVZ-gehalte in de flessen bepaald. De pH en het VVZ-gehalte werden na afloop bepaald om te controleren of de PMM test goed was verlopen. Dit is het geval als er geen VVZ meer werden gemeten en de pH neutraal (7-8) was. In alle gevallen waren er geen VVZ meer aanwezig en was de pH neutraal.

Het volume geproduceerd biogas werd bepaald met behulp van een drukmeetsysteem. De biogasproductie is uitgedrukt onder normaal condities (273.15 K en 101.33 kPa) in normaal-liters (NI) of normaal kubieke meters (Nm³). De gehalten aan methaan en koolstofdioxide in het biogas werden gaschromatografisch bepaald.

- Realiseerbare Methaanproductie Mestsilo
De Realiseerbare Methaanproductie Mestsilo (RMM) betreft de hoeveelheid methaan die daadwerkelijk uit de op het monstertijdstip in de mestsilo aanwezige organische stof kan worden gevormd, onder de condities zoals deze op dat tijdstip golden. In de RMM test is bepaald hoeveel methaan er in 30 dagen gevormd wordt uit het monster bij de temperatuur van het te testen monster, zonder verdere toevoeging van bijvoorbeeld een

inoculum. De RMM ligt altijd lager dan PMM, omdat in de mestsilos nooit sprake zal zijn van een ideale omstandigheden en daarom zal de realiseerbare methaanproductie altijd lager liggen dan de potentiële methaanproductie. De waarde van RMM is indicatief, omdat de RMM niet in de praktijk is geverifieerd met de emissiemetingen van de mestsilos. De gebruikte analysemethode wordt gebruikt bij biogasinstallaties om de restgasproductie van digestaat uit de vergister te bepalen, en was daarmee de best beschikbare methode om een indicatie te verkrijgen van de hoogte van de methaanemissie uit mestsilos zonder emissiemetingen aan de mestsilos zelf te doen.

De RMM is bepaald van de mengmonsters uit de mestsilos. De aangeleverde monsters zijn door LeAF zo spoedig mogelijk na ontvangst onder anaerobe condities in duplo geïncubeerd. De RMM-testen zijn (in duplo) uitgevoerd in 1-liter flessen bij de gemiddelde heersende temperatuur in de mestsilos op een meetdag. Deze varieerde van 6°C in de winter tot 24°C in de zomer. Aan elke fles is 200 g monster toegevoegd en voor aanvang van de testen is de gasfase van alle flessen vervangen door stikstofgas. De looptijd van de RMM-testen was (tenzij anders vermeld) 30 dagen. De testen zijn ongeschud weggezet, waarna in de eerste twee weken de inhoud van de flessen tweemaal per week handmatig werden gezwenkt en in de resterende weken werd eenmaal per week handmatig gezwenkt. Tijdens de test is de hoeveelheid gevormd biogas regelmatig gemeten. Aan het eind van de test zijn de pH, de gehalten aan methaan en koolstofdioxide in het gevormde biogas en de VVZ-concentratie in de flessen bepaald.

Het volume geproduceerd biogas werd bepaald met behulp van een drukmeetsysteem. De biogasproductie is uitgedrukt onder normaal condities (273.15 K en 101.33 kPa) in normaal-liters (NI) of normaal kubieke meters (Nm³). De gehalten aan methaan en koolstofdioxide in het biogas werden gaschromatografisch bepaald.

De meeste mestsilos werden tijdens de opslagperiode alleen vlak voor het uitrijden gemixt. De standaardprocedure bij de RMM-testen was om de flessen wekelijks 1 of 2 keer te zwenken. Tijdens de uitvoering van het onderzoek kwam de vraag op of het mengen als gevolg van het zwenken mogelijk tot een overschatting van de RMM zou kunnen leiden aangezien de meeste mestsilos niet gemengd werden. Om na te gaan of er verschillen optreden tussen het wel/niet mengen zijn tijdens twee meetdagen extra mengmonsters verzameld om van een aantal monsters de RMM bij wekelijks wel te zwenken en bij niet zwenken te bepalen. Vanwege gebrek aan capaciteit was het niet mogelijk bij alle mengmonsters zowel een gezwenkte als een ongezwente RMM-test doen. In bijlage 1 zijn de resultaten van de gezwenkte en de ongezwente monsters weergegeven. De verschillen varieerde van -6% tot +10%, waarbij dus zowel een hogere als een lagere RMM werd gerealiseerd indien de mengmonsters ongezwent weg werden gezet. Dit duidt erop dat de standaardprocedure van het zwenken niet zal leiden tot een significante overschatting van de RMM door het zwenken, waardoor de resultaten van de standaardprocedure konden worden gebruikt bij de analyses.

- **Methanogene Activiteit (MA) van de bezinklagen**
Men gaat er in het algemeen vanuit dat als er een bezinklaag aanwezig is in een mestsilos er entmateriaal aanwezig is die de methaanemissie direct op gang zou kunnen brengen. Echter 'bezinklaag' is een algemene term en zegt niks over de hoeveelheid micro-organismen die aanwezig zijn in de bezinklaag en hoe actief deze zijn. Om wat over de activiteit van micro-organismen in bezinklagen te kunnen zeggen en over verschillen tussen mestsilos is de methanogene activiteit (MA) van de bezinklagen bepaald. De methanogene activiteit (MA) is een bepaling om na te gaan hoe actief de micro-organismen zijn in de vorming van methaan.

De opzet van de methanogene activiteitstest was globaal als volgt. Het bezinklaagmonster werd door LeAF in duplo geïncubeerd met acetaat bij 30°C in een schudincubator. Voor aanvang van de testen is de gasfase van alle flessen vervangen door stikstofgas. De flessen zijn geschud weggezet in een schudincubator (100 rpm). De biogasproductie is in

de tijd gevolgd met behulp van het Oxitop-systeem, welke de druk in de fles regelmatig meet en registreert. Het methaangehalte van het biogas is na 7 en 14 dagen bepaald. De maximale methaanvorming is bepaald op het steilste stuk van de methaanvormingscurve en gerelateerd aan het organische stofgehalte van het monster om uiteindelijk tot een methanogene activiteit te komen (uitgedrukt in mg CH₄-CZV/g OS.dag).

2.4 Statistische analyses

Variatie in mestsamenvorming op verschillende hoogten

Om na te gaan of er een grote of kleine variatie in mestsamenvorming was tussen de mestmonsters die op verschillende hoogten zijn genomen is de standaarddeviatie van de mestsamenvorming berekend. Om de standaarddeviatie te berekenen is de Excel-functie STDEV.P gebruikt om variatie uit te rekenen indien er voldoende mest in de meststapel aanwezig was om op twee of drie hoogten een monster te nemen.

Berekening van het gemiddelde en gewogen gemiddelde PMM en RMM per meststapel

Het gemiddelde is berekend door alle meetwaarden van een meststapel bij elkaar op te tellen en te delen door het aantal metingen. Het gewogen gemiddelde is berekend door per meetronde de meetwaarde van een meststapel te vermenigvuldigen met de vullingsgraad, deze bij elkaar op te tellen en vervolgens te delen door som van alle vullingsgraden.

Het onderscheid tussen deze twee gemiddelde is van belang indien de totale methaanemissie van de meststapel over het hele jaar wil gaan berekenen op basis van één gemiddelde meetwaarde. Bij het gemiddelde wordt er geen rekening gehouden met de vullingsgraad en bij het gewogen gemiddelde wordt daar wel rekening mee gehouden. In de wintermaanden zijn de meststapels over het algemeen vol terwijl in de zomermaanden de meststapels voornamelijk deels gevuld of leeg zijn. Tijdens warme maanden mag verwacht worden dat de emissie hoger ligt dan in de koude maanden. Als er geen rekening wordt gehouden met de vullingsgraad dan kan een gemiddelde waarde tot een overschatting leiden van de emissie per jaar omdat ervanuit wordt gegaan dat elke meetmoment een even grote bijdrage aan de emissie levert. Dit is in de praktijk niet geval omdat de emissie afhankelijk is van zowel de methaanproductie per kilogram organische stof als de hoeveelheid mest die in de meststapel aanwezig is.

Trendlijnen en determinatiecoëfficiënt R²

Om de relaties te helpen interpreteren tussen mestparameters en de PMM en RMM is gebruik gemaakt van lineaire trendlijnen en de determinatiecoëfficiënt R² in de gegenereerde figuren. Aangezien het onderzoek niet was uitgevoerd als een statistisch opgezet experimenteel onderzoek moeten deze waarden daarom als indicatieve waarden worden beschouwd om de resultaten die in figuren worden gepresenteerd te helpen interpreteren.

Aanvullende statistische analyses

Er zijn twee aanvullende statistische analyses gedaan om het beeld wat uit de resultaten naar voren kwam te toetsen. In de eerste analyses zijn de correlatiecoëfficiënten berekend m.b.v. de correlation function in het Data Analysis ToolPak van Excel. De tweede analyse betrof een quick scan of er mestparameter(s) waren die een goede proxy (schatter) zouden kunnen zijn voor de gemeten RMM. In de quick scan zijn de volgende mestparameters (x-variabele) meegenomen in de analyse: temperatuur mest, organische stof, vluchtige vetzuren (VVZ) en pH. De methanogene activiteit (MA) is niet meegenomen, omdat deze niet in elke meetronde is bepaald. In de analyse is mestsoort ook meegenomen als mestparameter (0=melkveemest, 0.5=gemengde mest, 1=varkensmest). De analyse van de voorspellende waarde van de mestparameters (x-variabelen) op de RMM (y-variabele) is uitgevoerd op logschaal. Door de keuze voor analyse op logschaal zijn twee metingen met een RMM van 0 buiten beschouwing gelaten. De quick scan analyse is uitgevoerd m.b.v. een REML-analyse in Genstat.

2.5 Model voorspelling methaanemissie

Sommer *et al.* (2004) hebben een model voorgesteld om de effecten van organische stof en temperatuur op de methaanemissie uit mestopslagen te kwantificeren. In het kader van dit onderzoek zijn de onderzoeksresultaten vergeleken met dit model om een indruk te krijgen of de modelvoorspellingen in lijn lagen met de gerealiseerde methaanproductie uit de mestilo o.b.v. de RMM-test. In bijlage 9 staan de resultaten van deze vergelijking weergegeven.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk staan de overall resultaten beschreven van het onderzoek. De resultaten per mestilo staan beschreven in bijlagen 2 t/m 8.

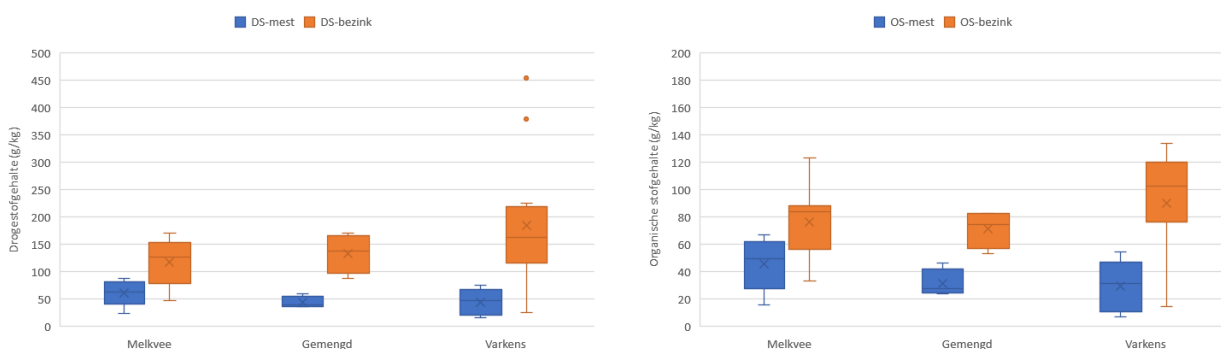
3.1 Mestmanagement en -samenstelling

Mestmanagement

Het gebruik van de mestilo's verschilde per bedrijf. Sommige bedrijven maakten maar er een paar maanden in de winterperiode gebruik van, terwijl andere bedrijven de mestilo het hele jaar door gebruikten. De vullingsgraden van de mestilo's varieerde van 2% tot 100%. In de winterperiode waren de vullingsgraden het hoogst en in de zomerperiode het laagst.

Droge en organische stofgehalten

In figuur 3.1 staat in een boxplot per mestsoort het minimum, eerste kwartaal, mediaan, gemiddelde, derde kwartiel, het maximum en uitschieters weergegeven van het drogestof- en organische stof gehalte van de mengmonsters van de drijfmest in de mestilo en van de monsters van de bezinklagen.

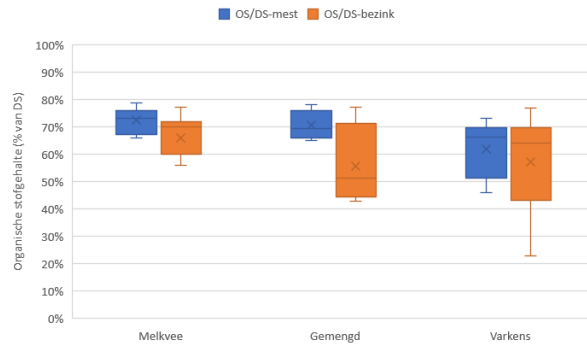


Figuur 3.1 Per mestsoort minimum (\perp), eerste kwartaal (onderste $-$), mediaan (middelste $-$), gemiddelde (X), derde kwartiel (bovenste $-$), het maximum (\top) en uitschieters (o) in droge stof (figuur links) en organische stofgehalten (figuur rechts) van de mestmonsters van de aanwezige drijfmest en van de monsters van de bezinklagen in de onderzochte mestilo's.

Het droge stofgehalte in de mest varieerde van 11 t/m 106 g/kg en het organische stofgehalte varieerde van 5 t/m 83 g/kg. Het drogestof en organische stofgehalte in de mest waren beduidend lager dan in de bezinklaag. Over alle mestsoorten heen was het gemiddelde drogestofgehalte van de aanwezige mest 50 g/kg en van de bezinklagen 150 g/kg. Daarbij was de variatie in gehalten in de bezinklagen groter.

Aandeel organische stof in de droge stof (OS%)

In figuur 3.2 staat in een boxplot per mestsoort het minimum, eerste kwartaal, mediaan, gemiddelde, derde kwartiel en het maximum weergegeven van het aandeel organische stof in de droge stof van de mengmonsters van de drijfmest in de mestilo en van de monsters van de bezinklagen.

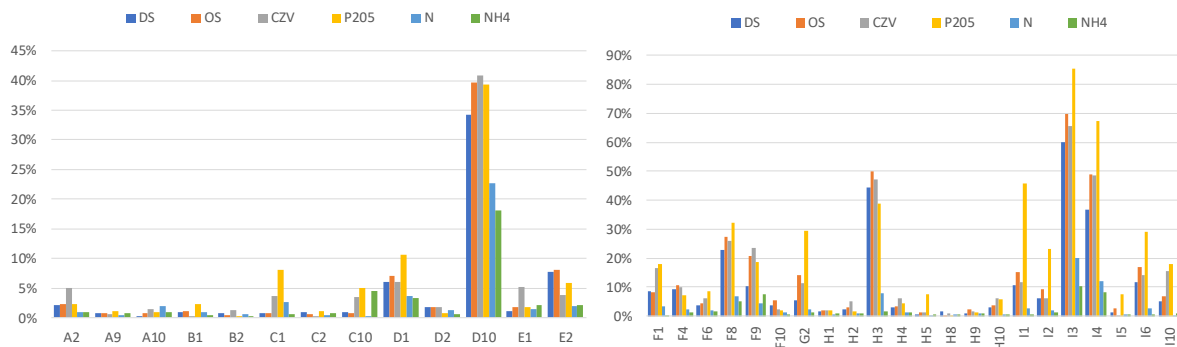


Figuur 3.2 Per mestsoort minimum (\perp), eerste kwartaal (onderste —), mediaan (middelste —), gemiddelde (X), derde kwartaal (bovenste —) en het maximum (\top) van het aandeel van de organische stof in de droge stof van de mestmonsters van de aanwezige drijfmest en van de monsters van de bezinklagen in de onderzochte mestsilos.

Het aandeel van de organische stof in de droge stof was kleiner bij de bezinklagen dan van de aanwezige mest. Dit komt waarschijnlijk doordat meer organische stof is afgebroken in de bezinklagen dan in vergelijking tot de mest en uitzakken van vaste deeltjes zoals zand in de mest. Het aandeel van de organische stof in de drogestof vertoonde een grotere variatie bij de bezinklagen dan bij de mest.

Variatie in mestsamenstelling op verschillende hoogten

In figuur 3.3 staat per mestsilos per meetronde de standaarddeviatie weergegeven van de mestsamenstelling indien er voldoende mest in de mestsilos aanwezig was om op twee of drie hoogten een monster te nemen.



Figuur 3.3 De standaarddeviatie van de mestsamenstelling van melkveemest en gemengde mest (figuur links) en varkensmest (figuur rechts) indien er voldoende mest was om op twee of drie hoogten een mestmonster te nemen (codering: de letter geeft de mestsilos aan en het cijfer de meetronde).

Bij melkveemest en gemengde mest is de minste spreiding te zien, en maar één grote uitschieter. De uitschieter betreft zeer dunne rundveemest waarvan het 'midden'-monster een drogestofgehalte van 12 g/kg had en het 'onder'-monster een drogestofgehalte van 24 g/kg. Ook bij gemengde mest is weinig spreiding te zien tussen monsters op verschillende hoogten. De meeste spreiding is te zien bij de varkensmest. De spreiding wordt voor het merendeel bepaald door de monsters die zijn genomen van de mestsilos I waarin de dunne mest zat. Bij dunne, zeer waterige mest (1 à 2% ds) leiden kleine absolute verschillen al tot relatief grote procentuele afwijkingen vanwege de lage gehalten. Daarbij bezinkt varkensmest ook makkelijker dan rundveemest wat tot grotere verschillen leidt tussen monsters op verschillende hoogten.

3.2 Potentiële en realiseerbare methaanproductie mestsilos

PMM en RMM per mestsilos

In tabel 3.1 staat per mestsilos over alle meetdagen het aantal PMM- en RMM-testen, het gemiddelde PMM en RMM en het gewogen gemiddelde PMM en RMM per mestsilos alsmede het aandeel van de RMM in de PMM.

Tabel 3.1 Aantal PMM- en RMM-testen per totaal aantal meetdagen, gemiddelde en gewogen gemiddelde PMM en RMM per mestsilos (uitgedrukt in NI CH₄/kg OS) en het aandeel RMM per PMM.

Nr.	Mestsoort	#testen / #meetdagen	Gemiddelde			Gewogen gemiddelde		
			PMM	RMM	Aandeel	PMM	RMM	Aandeel
A	Melkveemest	9/10	132	14	10%	142	13	9%
B	Melkveemest	5/10	140	18	13%	131	11	9%
C	Melkveemest	3/10	195	8	4%	193	8	4%
D	Melkveemest (biologisch)	10/10	128	15	12%	127	13	10%
E	Melkvee-, vleesvee en vleesvarkensmest	9/10	159	24	15%	176	24	13%
F	Zeugen- en vleesvarkensmest	9/10	239	40	17%	217	44	20%
G	Zeugen- en vleesvarkensmest	1/9	63	12	20%	63	12	20%
H	Vleesvarkensmest	10/10	156	49	32%	156	48	31%
I	Vleesvarkensmest	10/10	92	17	19%	99	20	20%

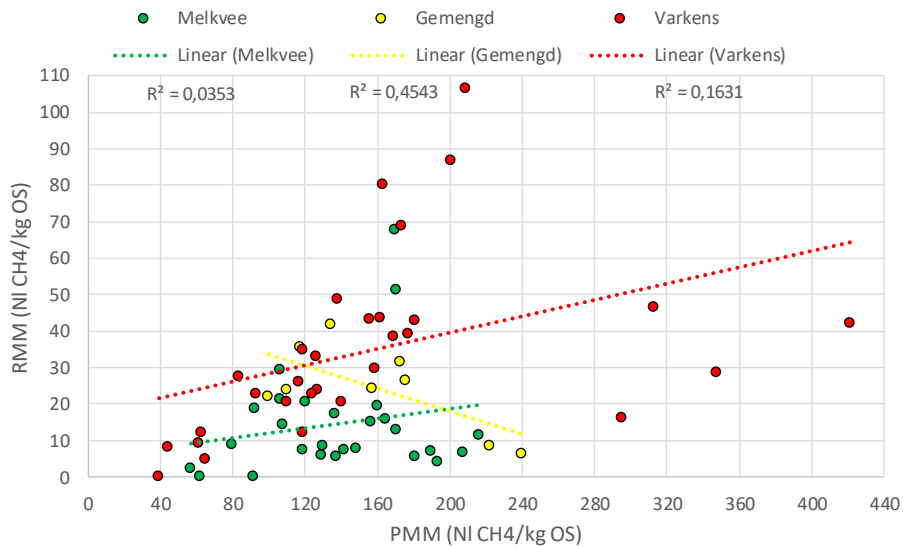
Uit tabel 3.1 komt naar voren dat de gemiddelde potentiële methaanproductie van een mestsilos (PMM) sterk kan verschillen tussen mestsilos. Het hoogste gemiddelde PMM was 239 NI CH₄/kg OS terwijl het laagste 63 NI CH₄/kg OS bedroeg. Tussen de mestsilos met melkveemest was de variatie kleiner als de mestsilos met varkensmest. De grotere variatie bij varkensmest zal veroorzaakt zijn door verschil in mestmanagement van de aanwezige mestsilos op beide varkensbedrijven.

De gemiddelde realiseerbare methaanproductie van een mestsilos (RMM) blijkt ook sterk te verschillen tussen mestsilos. Het hoogste gemiddelde RMM was 49 NI CH₄/kg OS terwijl het laagste 8 NI CH₄/kg OS bedroeg. De gemiddelde RMM van de mestsilos met varkensmest lag hoger dan het gemiddelde RMM van de mestsilos met melkveemest. Dit zal o.a. veroorzaakt worden doordat de op de onderzochte varkensbedrijven de mest regelmatig uit de stal werd verwijderd waardoor relatief verse mest in de mestsilos F en H terecht kwam in tegenstelling tot de mest op de melkveebedrijven die maar een aantal malen per jaar mest naar de mestsilos pompte. De RMM was beduidend lager dan de PMM. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde van 4 t/m 32%. Ter vergelijking: de MCF voor rundveemest en varkensmest is respectievelijk 17% en 36% van de BMP van mest (Groenestein et al., 2016). Hierbij moet bedacht worden dat de mest in de silo vaak ouder is dan die waarop BMP en MCF zijn gebaseerd en dat in oude mest al OS is omgezet in methaan die dus niet meer bijdraagt aan de PMM en de RMM.

Het meewegen van de vullingsgraad bij de berekening van het gemiddelde kan leiden tot een verandering in de gemiddelde waarden van de PMM en RMM. Het meewegen van de vullingsgraden in de berekening beïnvloedde de gemiddelde PMM met -9 tot 11%, en de gemiddelde RMM met -38 tot 13%.

Relatie tussen PMM en RMM

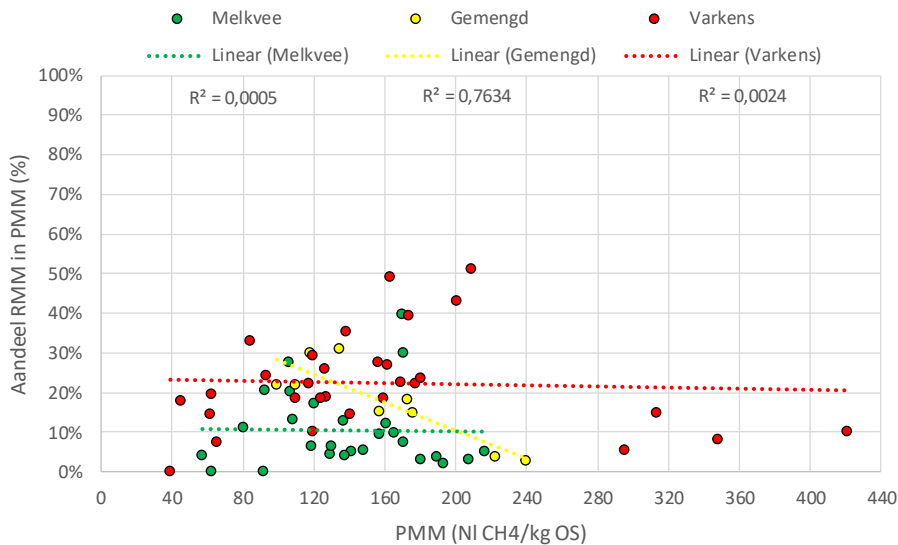
In figuur 3.4 staat de relatie tussen gemeten PMM en de RMM van de mest weergegeven.



Figuur 3.4 De PMM als functie van de RMM per mestsoort.

Op basis van figuur 3.5 is er geen verband te zien tussen de RMM en de hoogte van de PMM. De PMM geeft de maximale methaanproductie onder ideale omstandigheden weer. Dit betekent onder meer dat er in de test voldoende methanogene activiteit aanwezig is om gevormde vluchtige vetzuren om te zetten naar methaan. De RMM geeft de methaanproductie onder meer realistische omstandigheden weer, waarbij de methanogene activiteit van het monster per mestsilos en in de tijd kan variëren, en daarmee ook de methaanproductie. Blijkbaar is er geen direct verband tussen de RMM en PMM en zijn er andere factoren van invloed.

In figuur 3.5 staat de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM afgezet tegen de PMM.



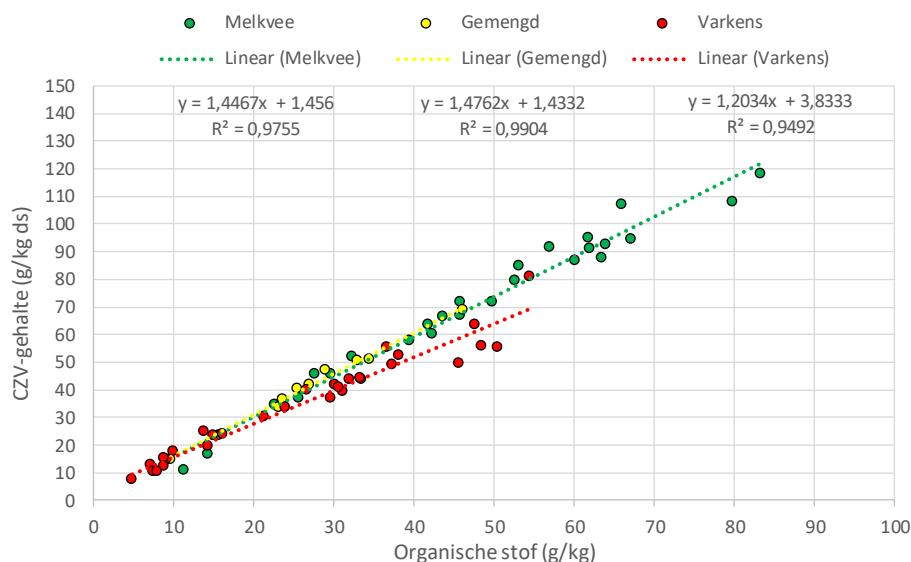
Figuur 3.5 Het aandeel van de RMM in de PMM als functie van de PMM per mestsoort.

Er is een grote spreiding te zien in het aandeel van de RMM in de PMM. De RMM uitgedrukt als aandeel van de PMM heeft geen relatie met de hoogte van de PMM.

3.3 Organische stof

Organische stof en chemisch zuurstofverbruik (CZV)

In figuur 3.6 staat per mestsoort de relaties tussen de gehalten aan organisch stof en chemisch zuurstofverbruik weergegeven.

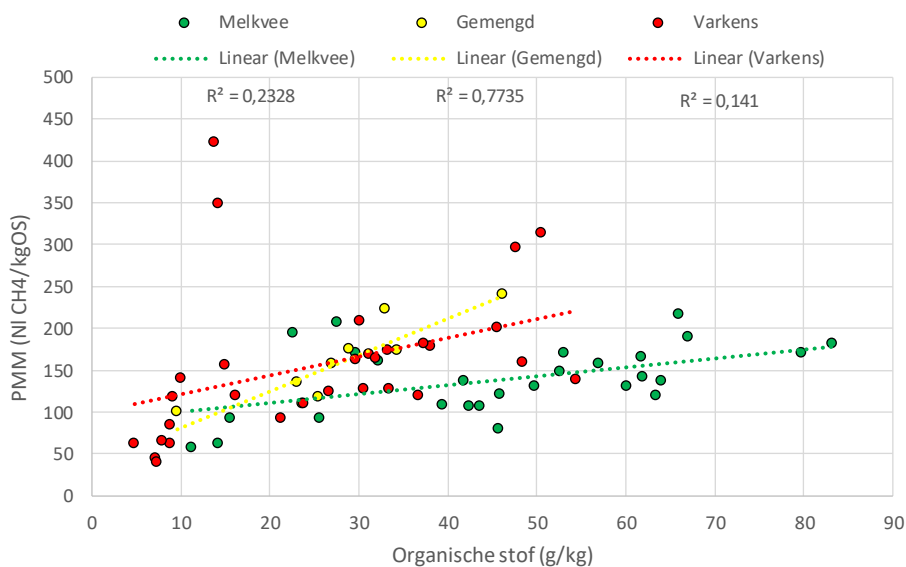


Figuur 3.6 Chemisch zuurstofverbruik (CZV) in relatie tot het organisch stofgehalte per mestsoort.

Figuur 3.6 laat een duidelijke relatie zien tussen het CZV- en het OS-gehalte. Er is sprake van een vaste verhouding tussen het CZV- en het OS-gehalte. De lijn van de varkensmest wijkt hierbij wel iets af van de lijn van de melkveemest en de gemengde mest. Gezien deze vaste verhouding tussen CZV en OS is het niet nodig om bij de verdere analyses onderscheid te maken tussen het CZV- en het OS-gehalte om relaties te onderzoeken. De relaties zullen voor zowel het CZV- als OS-gehalte hetzelfde zijn.

Potentiële methaanproductie meststilo (PMM) en organische stof

In figuur 3.7 staat per mestsoort de relaties tussen de PMM en het organisch stofgehalte weergegeven.

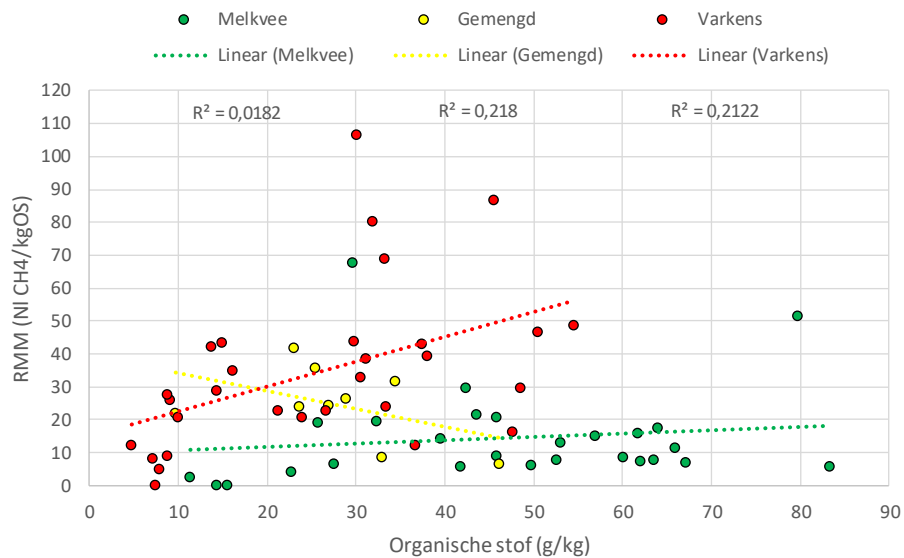


Figuur 3.7 PMM als functie van het organische stofgehalte per mestsoort.

Bij elke mestsoorten lijkt er sprake te zijn van een toenemende PMM bij een hoger OS-gehalte. Echter de variatie is groot wat aangeeft dat naast het OS-gehalte er nog andere variabelen zijn die van invloed zijn op de PMM. Een variabele die van invloed zal zijn geweest betreft de ouderdom van de mest die in de meststilo is terechtgekomen. Verse mest bevat meer makkelijke afbreekbare organische stof die omgezet kan worden dan oude mest.

Realiseerbare methaanproductie meststilo (RMM) en organische stof

In figuur 3.8 staat per mestsoort de relaties tussen de RMM en het gehalte aan organisch stof weergegeven.



Figuur 3.8 RMM als functie van het organische stofgehalte per mestsoort.

Bij zowel melkveemest als gemengde mest neemt de RMM niet toe bij een hoger OS-gehalte. Bij varkensmest lijkt er wel sprake te zijn van een toename, maar hier speelt een bedrijfsfactor mee dat de lage OS-gehalten afkomstig zijn van mestsilos I die dunne mest kreeg uit mestsilos H die als soort van bezinksilo fungeerde waardoor een vertekend beeld kan ontstaan.

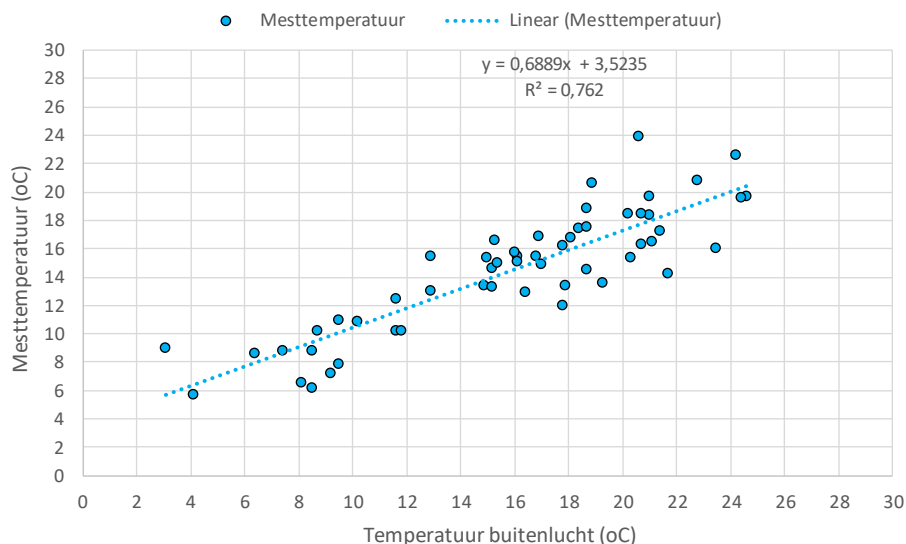
Verder is de spreiding in RMM groot. Melkveemest gaf de laagste RMM te zien, en de varkensmest de hoogste. Op de twee bedrijven met varkensmest werd de mest regelmatig uit de stal verwijderd naar de mestsilos waardoor de mest relatief vers was. De mestsilos op de melkveebedrijven daarentegen werden voornamelijk gebruikt als de mestkelder onder de stal vol zat in de winterperiode en dus relatief oude mest bevatte, en tevens ook een koude periode betrof als de mest in de mestsilos zat. Verder is het in varkensstallen warmer dan in melkveestallen waardoor varkensmest een hogere temperatuur heeft als het de stallen verlaat en naar de mestsilos wordt gepompt.

3.4 Temperatuur

De gemeten mesttemperatuur varieerde van 6°C in de winter tot 24°C in de zomer. De gemeten wandtemperatuur varieerde 0 t/m 55°C. De gemeten wandtemperatuur zal hebben afgehangen van het meetmoment op de dag, de kleur van de silo, mate van beschutting door bouwwerken en/of vegetatie, zijde van de silo en het weer op het moment van meten. De laagste wandtemperatuur werd in november gemeten aan de oostkant bij een nagenoeg lege grijze betonnen silo aan het begin van de ochtend bij bewolkt weer met een buitenluchttemperatuur van net boven het vriespunt. De hoogste wandtemperatuur werd in juli gemeten aan de westzijde bij een nagenoeg lege zwarte kunststof silo halverwege de middag bij zonnig weer met een buitenluchttemperatuur van 24°C.

Mesttemperatuur en buitenluchttemperatuur

In figuur 3.9 staat de relatie tussen gemeten mesttemperatuur en de gemeten buitenluchttemperatuur ten tijde van de monsternamen weergegeven.

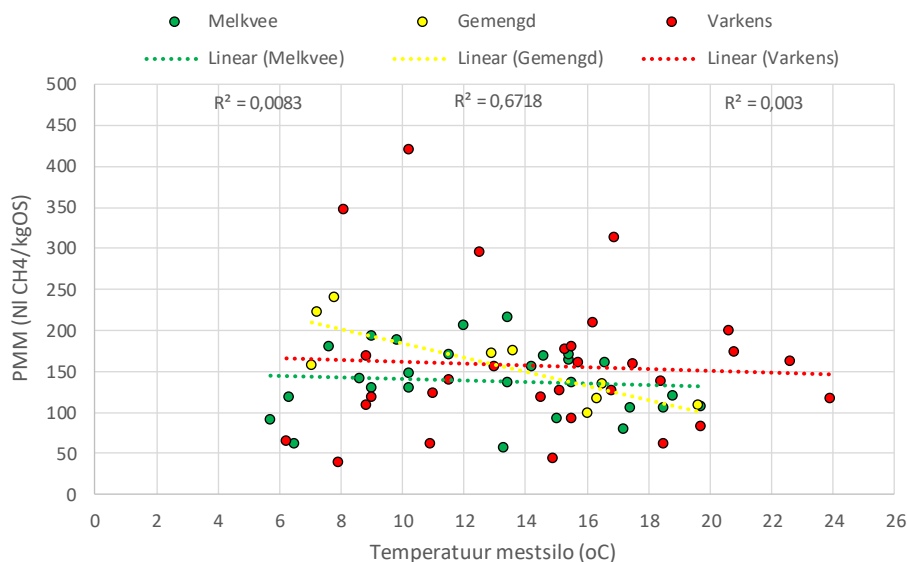


Figuur 3.9 Gemeten buitenluchttemperatuur als functie van de gemeten mesttemperatuur op het moment van monsternamen.

Figuur 3.9 laat zien dat hogere mesttemperaturen samenhangen met een hogere buitenluchttemperatuur. De spreiding wordt veroorzaakt doordat het niet mogelijk was om bij alle mestsilo's op hetzelfde tijdstip zowel de buitenluchttemperatuur als de mesttemperatuur te meten en de mestmonsters te nemen. De gemeten buitenluchttemperatuur lag meestal hoger dan de temperatuur van de mest. Dit hangt mede samen met het moment van de meting dat overdag plaatsvond en de buitentemperaturen dan hoger liggen als in de nacht. Vanwege het bufferende vermogen van de mest zijn de temperatuur fluctuaties in de mest veel kleiner dan de variatie in temperatuur van de buitenlucht. Daarom is ervoor gekozen om de mesttemperatuur als maatstaf voor het effect van temperatuur te nemen aangezien deze constanter gedurende de dag is. Daarbij heeft de mesttemperatuur een directe invloed op de biologische en chemische processen in de mest.

Potentiële methaanproductie mestsilo en mesttemperatuur

In figuur 3.10 staat de relaties tussen de PMM en de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur 3.10 PMM als functie van de mesttemperatuur per mestsoort.

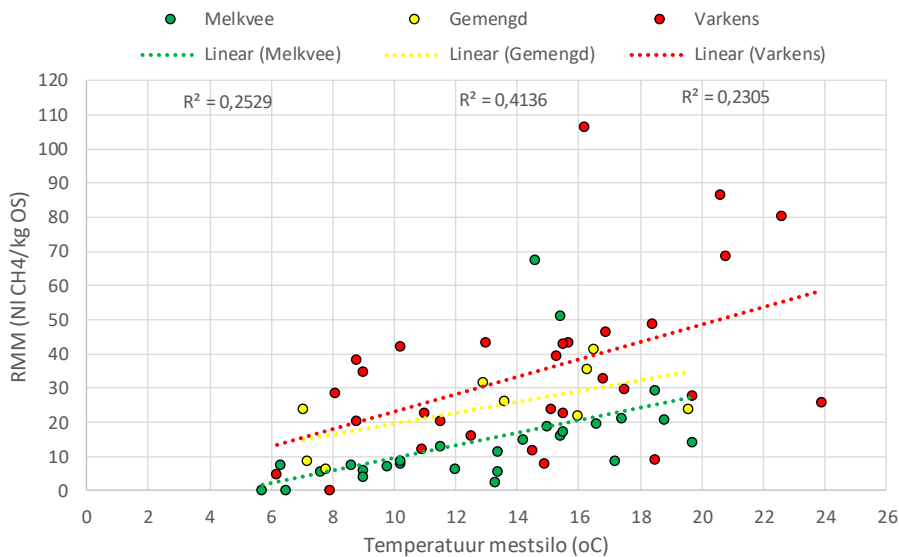
Figuur 3.10 laat zien dat er geen sprake lijkt te zijn van een verband tussen de mesttemperatuur en de hoogte van de PMM. Voor de gemengde mest lijkt er een afname te zijn, maar deze mest was afkomstig van één bedrijf waardoor andere bedrijfsfactoren een rol gespeeld kunnen hebben.

Dat er geen relatie lijkt te zijn tussen de PMM en mesttemperatuur lijkt verklaarbaar doordat de PMM bepaald is bij een vaste temperatuur van 30°C. De mesttemperatuur in de silo's lag vooral in de

psychrofiële zone van microbiële omzetting, terwijl de PMM-test werd uitgevoerd onder mesofiele condities, met een mesofiele ent. Er lijkt bij een hogere mesttemperatuur een wat lagere PMM op te treden. Aangezien de hogere temperatuur tijdens de zomermaanden voorkomen waarin de mestsilos geen tot weinig mest bevatten en niet tot weinig worden bijgevoerd betekent dit tijdens deze hogere temperaturen vooral oude(re) mest in de silo's aanwezig is. Bij oude(re) mest is al een deel van de organisch stof omgezet naar biogas wat ervoor zorgt dat de PMM van deze mest lager is.

Realiseerbare methaanproductie mestsilos en mesttemperatuur

In figuur 3.11 staat de relaties tussen de RMM en de mesttemperatuur weergegeven.

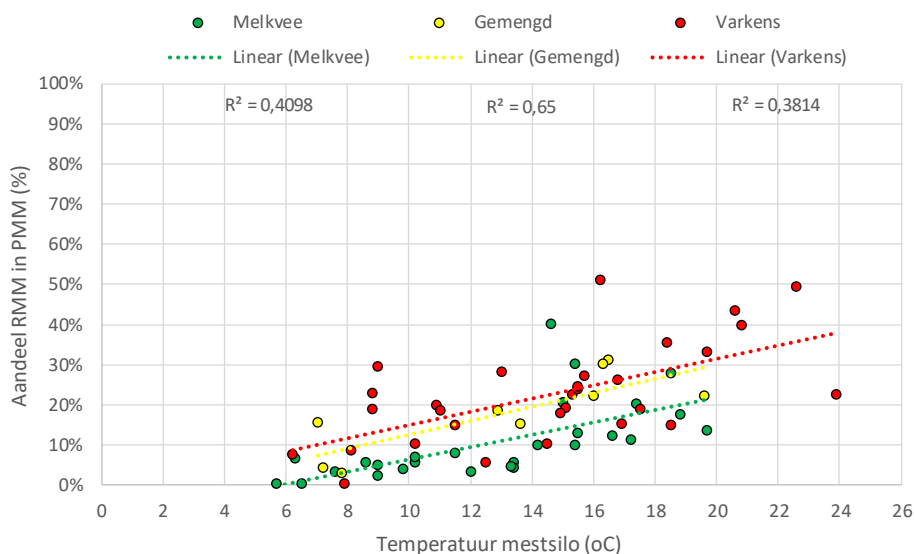


Figuur 3.11 RMM als functie van de mesttemperatuur per mestsoort.

Er blijkt dat bij alle mestsoorten sprake te zijn van een toenemende RMM bij een hogere temperatuur. Bij de RMM-test zijn het methanogenen, die actief zijn in de psychrofiële zone, die zorgen voor de omzetting van organische stof in methaan en koolstofdioxide. Bij varkensmest is de spreiding het grootst. Dit kan mogelijk te maken hebben met het feit dat de hogere temperaturen in de zomermaanden optreden waarbij op melkveebedrijven de mestsilos (bijna) leeg is, en het om oude(re) mest zal gaan. De spreiding is groot waardoor blijkt dat naast de mesttemperatuur er nog andere variabelen zijn die van invloed zijn op de RMM.

Aandeel van RMM in de PMM en mesttemperatuur

In figuur 3.12 staat de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM en de mesttemperatuur weergegeven.



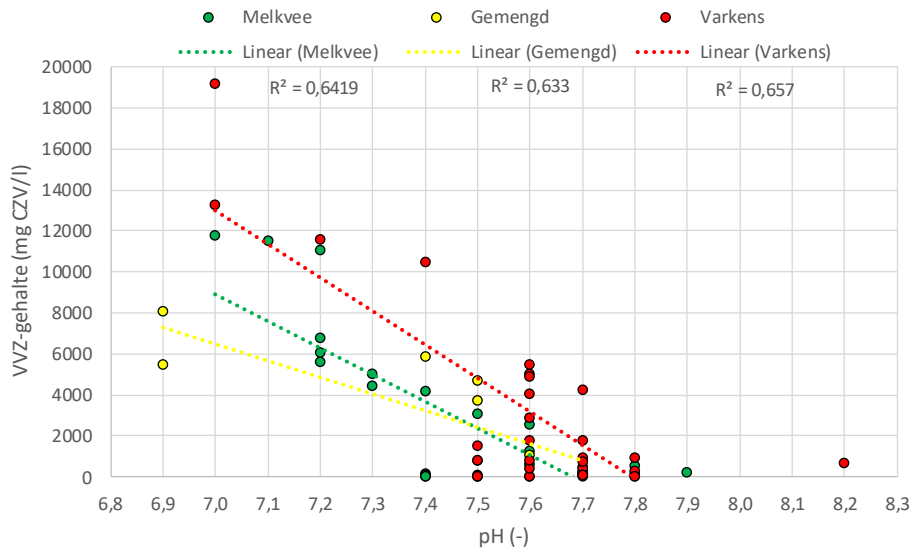
Figuur 3.12 Aandeel van RMM in PMM als functie van de mesttemperatuur per mestsoort.

Er blijkt dat bij alle mestsoorten sprake te zijn van een toenemend aandeel van RMM in de PMM bij een hogere temperatuur.

3.5 Zuurgraad (pH)

Zuurgraad (pH) en gehalte aan vluchtige vetzuren (VVZ)

In figuur 3.13 staat de relatie tussen gemeten pH van de mest en het VVZ-gehalte weergegeven.

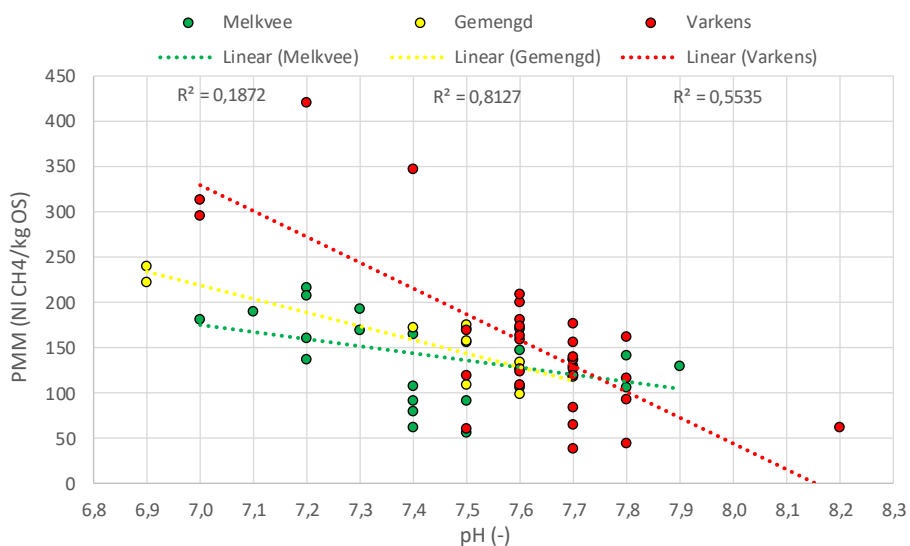


Figuur 3.13 VVZ-gehalte als functie van de gemeten pH per mestsoort.

De hogere gehalten aan VVZ komen vooral voor bij de lagere pH-waarden. Hoe hoger de pH, hoe lager het VVZ-gehalte blijkt te zijn. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat bij een lagere pH waarden een bepaalde mate van verzuring van de mest is opgetreden. De vetzuren maken de oplossing zuurder en dat leidt dus tot een (iets) lagere pH.

Potentiele methaanproductie mest silo (PMM) en zuurgraad (pH)

In figuur 3.14 staat de relaties tussen gemeten PMM en de pH van de mest weergegeven.

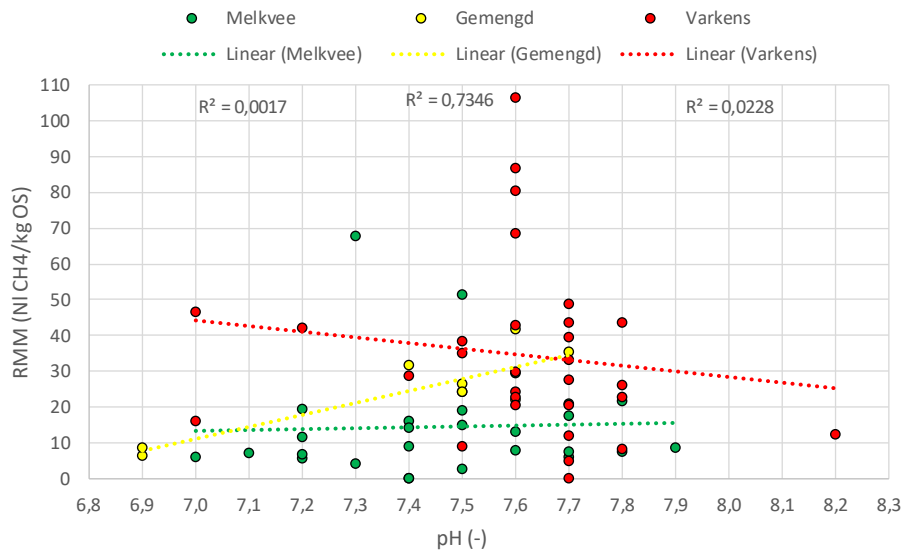


Figuur 3.14 De PMM als functie van de pH van de mest per mestsoort.

Het lijkt erop dat een lagere pH leidt tot een hogere PMM. Een mogelijke oorzaak voor de hogere PMM zou kunnen liggen in de hogere VVZ-gehalten bij lagere pH's. Hogere VVZ-gehalten kan betekenen dat dit versere mest was en daardoor meer afbreekbaar organische stof beschikbaar was die omgezet kon worden in biogas. De hydrolyse van de organische stof en verzuring kan al aangevangen zijn, maar de methaanvorming nog niet in dezelfde mate.

Realiseerbare methaanproductie mestilo (RMM) en zuurgraad (pH)

In figuur 3.15 staat de relatie tussen de gemeten RMM en de pH van de mest weergegeven.



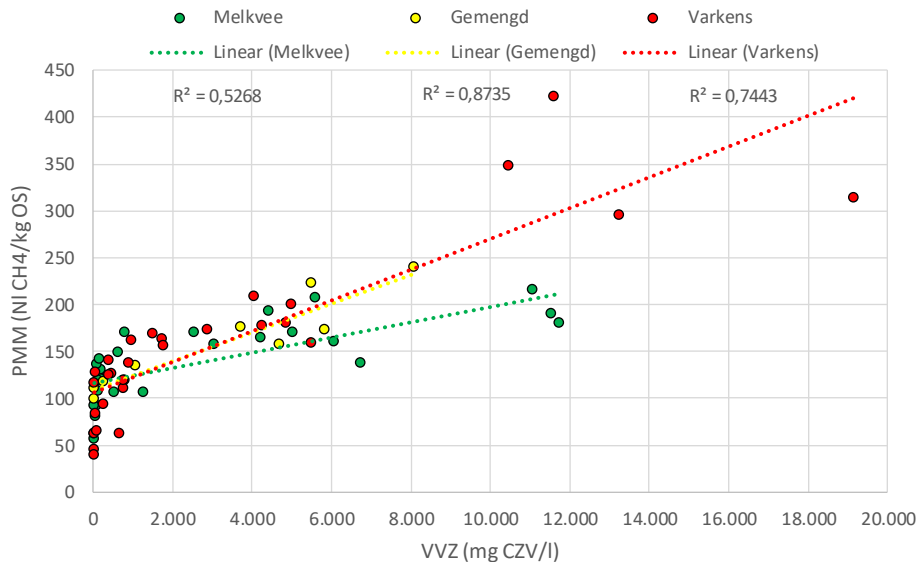
Figuur 3.15 RMM als functie van de pH van de mest per mestsoort.

Er lijkt op basis van figuur 3.15 geen verband te zijn tussen de pH van de mest en de hoogte van de RMM. Bij gemengde mest lijkt er wel een verband te zijn, maar dat is mest van maar één bedrijf en er zijn geen meetpunten tussen de pH 6,9 en 7,4 wat een vertekend beeld kan geven.

3.6 Vluchtige vetzuren (VVZ)

Potentiële methaanproductie mestilo (PMM) en vluchtige vetzuren (VVZ)

In figuur 3.16 staat de relaties tussen de PMM en het VVZ-gehalte van de mest weergegeven.



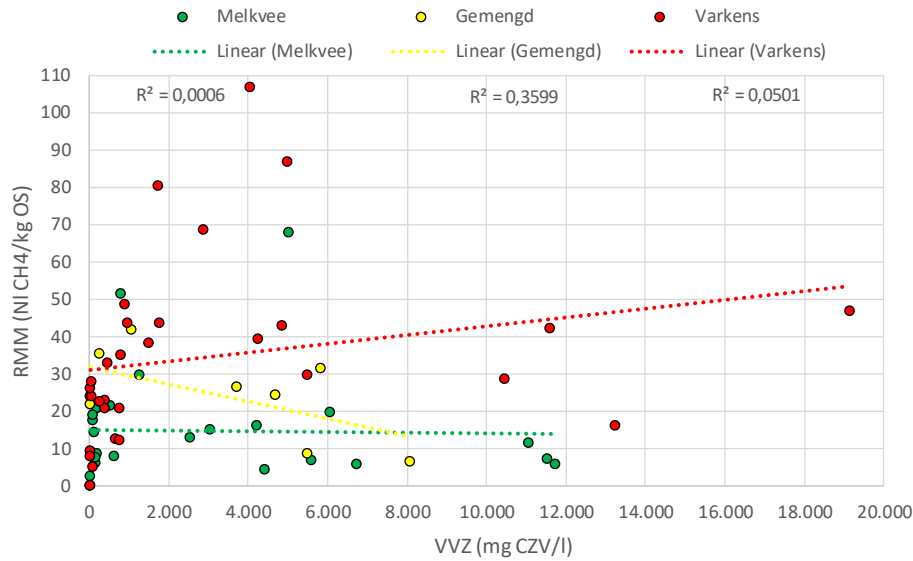
Figuur 3.16 PMM als functie van het VVZ-gehalte per mestsoort.

Er lijkt sprake te zijn van een verband tussen het VVZ-gehalte en de PMM. Bij hogere VVZ-gehalten is de PMM ook hoger. Zoals eerder te zien was, waren de VVZ-gehalten hoger bij lagere pH-waarden (figuur 3.14) en gaven lagere pH waarden een hogere PMM te zien (figuur 3.15). Hogere VVZ-gehalten kan betekenen dat dit versere mest was en daardoor meer afbreekbare organische stof beschikbaar was die omgezet kon worden in biogas, en dus tot een hogere PMM leiden. De spreiding boven 10.000 mg VVZ/l neemt sterk toe. Bij varkensmest geven de vier hoogste VVZ-waarden een vertekend beeld, want deze liggen ver van de andere metingen vandaan. Dit betreffen metingen van de eerste vier meetronden van mestilo F. Van meetronde 1 t/m meetronde 4 neemt VVZ-gehalte met elke

meetronde toe, en ook de pH is deze periode gedaald van 7,4 naar 7,0. Tevens is in deze periode de mestilo ook met nieuwe mest gevuld.

Realiseerbare methaanproductie mestilo (RMM) en vluchtige vetzuren (VVZ)

In figuur 3.17 staat de relatie tussen de RMM en het VVZ-gehalte van de mest weergegeven.



Figuur 3.17 RMM als functie van het VVZ-gehalte per mestsoort.

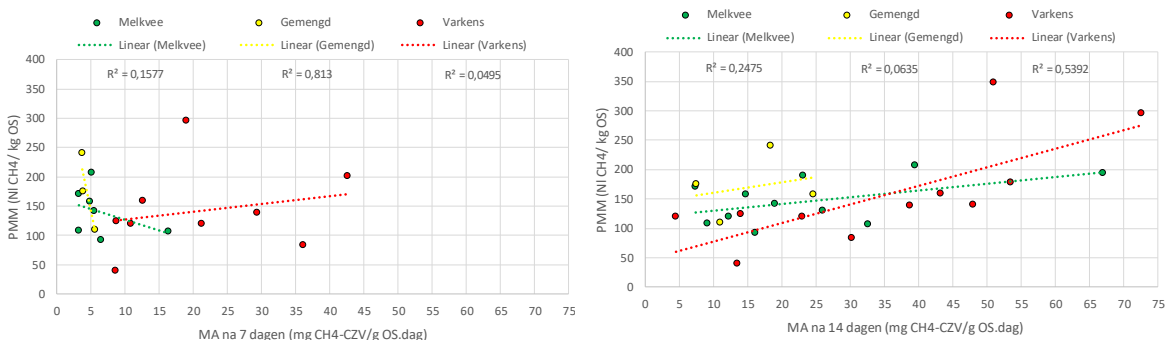
Er lijkt geen verband te zijn tussen het VVZ-gehalte en de hoogte van de RMM. Dit lijkt erop te wijzen dat de methanogene activiteit beperkend is bij de omzetting van organische stof naar methaan. De aanwezige organische stof kan wel verzuren, maar verdere omzetting naar biogas verloopt schijnbaar moeilijk.

3.7 Methanogene activiteit (MA)

Van de bezinklagen is de MA bepaald. Hiervoor is met de monsters een 14-daagse test uitgevoerd bij 30°C en is zowel over de eerste 7 dagen (dag 1-7) en over de tweede 7 dagen (dag 8-14) de methanogene activiteit is bepaald door te meten hoe snel acetaat naar methaan werd omgezet. Het aantal meetpunten verschilt tussen beide bepalingen, omdat in de eerste meetronde er een relatief lange lagfase was van 6 tot 9 dagen voordat de micro-organismen zich hadden aangepast aan de groeiomstandigheden en daarom is voor de eerste meetronde alleen de MA bepaald na 14 dagen. Bij de andere meetronden bleek van een aantal monsters dat het toegediende acetaat al na 7 dagen was omgezet waardoor geen MA bepaald kon worden over dag 8-14.

Potentiële methaanproductie mestilo (PMM) en methanogene activiteit (MA)

In figuur 3.18 staat de relatie tussen de PMM als functie van de gemeten MA in de bezinklagen in de periode 1-7 dagen en 8-14 dagen na start van de test.

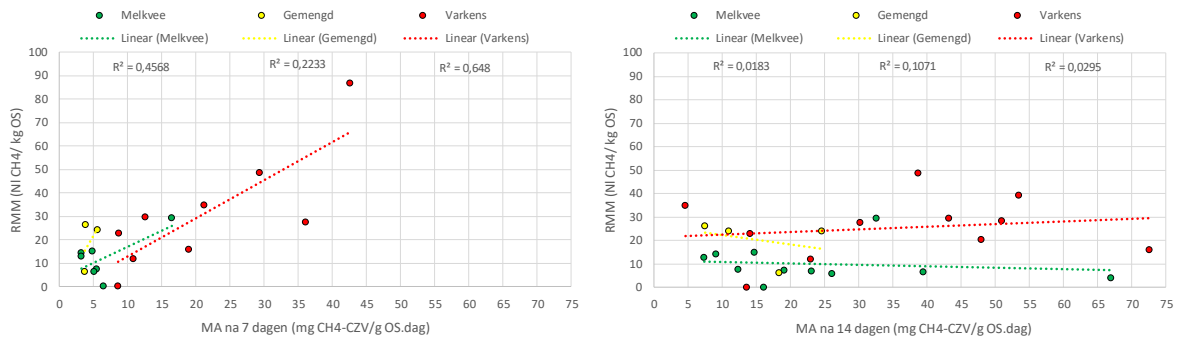


Figuur 3.18 PMM als functie van de MA in de periode 1-7 dagen (links) en in de periode 8-14 dagen (rechts) na start van de test.

Uit figuur 3.18 komt naar voren dat de PMM lijkt verband te hebben met de MA in de eerste 7 dagen, maar met de MA in de periode 8-14 dagen lijkt er wel een verband te zijn. Een mogelijke verklaring is dat zowel de PPM-test als de MA-test werden uitgevoerd onder mesofiele condities (30°C), terwijl in de mest psychrofiële condities heersen. Mest bevat van nature mesofiele micro-organismen, die onder de psychrofiële condities weinig actief zijn. Tijdens de test onder mesofiele condities worden deze organismen geactiveerd en nemen hun aantallen snel toe. Naarmate de testduur vorderde veranderde de microbiologische samenstelling van de mest dus steeds meer ten opzichte van het moment van bemonstering.

Realiseerbare methaanproductie mestsilos (RMM) en methanogene activiteit (MA)

In figuur 3.19 staat de relatie tussen de RMM als functie van de gemeten MA in de bezinklagen in de periode 1-7 dagen en 8-14 dagen na start van de test.



Figuur 3.19 RMM als functie van de MA in de periode 1-7 dagen (links) en in de periode 8-14 dagen (rechts) na start van de test.

Uit figuur 3.19 komt naar voren dat de RMM wel een verband lijkt te hebben met de MA in de eerste 7 dagen, maar niet met de MA in de periode 8-14 dagen. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de MA-test is uitgevoerd onder mesofiele condities (30°C), terwijl in de mestsilos psychrofiële condities heersen. Mest bevat van nature mesofiele micro-organismen, die onder de psychrofiële condities weinig actief zijn. Tijdens de test onder mesofiele condities worden deze organismen geactiveerd en nemen hun aantallen snel toe. Naarmate de testduur vorderde veranderde de microbiologische samenstelling van de mest dus steeds meer ten opzichte van het moment van bemonstering. Dit kan ook een reden zijn waarom de MA in de eerste week bij varkensmest hoger was, aangezien de varkensmest sneller vanuit de stal naar de mestsilos werd gepompt en in varkensstallen een hogere temperatuur heerst dan in rundveestallen waardoor de condities in varkensmest minder verschilde van de condities tijdens de test dan die van melkveemest.

3.8 Aanvullende statistische analyses

Correlaties tussen mestparameters

In tabel 3.2 staan de correlatiecoëfficiënten voor de mestparameters met de PMM en RMM weergegeven over alle mestsoorten heen. In bijlage 10 staan de correlatiecoëfficiënten bij analyses van de afzonderlijke mestsoorten weergegeven.

Tabel 3.2 Correlatiecoëfficiënten van de mestparameters met de PMM en RMM weergegeven over alle mestsoorten heen (groene getallen hebben een positieve correlatie > 0,50; rode getallen hebben een negatieve correlatie < -0,50).

Parameter	PMM (NI CH ₄ /kg OS)	RMM (NI CH ₄ /kg OS)
RMM (NI CH ₄ /kg OS)	0,32	-
DS (g/kg)	0,27	0,03
OS (g/kg)	0,27	-0,01
Temperatuur mest (oC)	-0,11	0,51
pH (-)	-0,57	0,12
VVZ (mg CZV/l)	0,81	0,11
MA 1-7 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,02	0,80
MA 8-14 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,56	0,18

De correlatiecoëfficiënten bevestigen het beeld wat uit de resultaten naar voren kwam.

- Er is geen tot een zwakke relatie van de droge en organische stof met PMM en RMM.
- De temperatuur vertoont geen/zwakke relatie met de PMM, maar wel een positieve correlatie met de RMM.
- De pH is negatief gecorreleerd met de PMM, maar vertoont geen/zwakke relatie met de RMM.
- De VVZ hebben een sterke correlatie met de PMM, maar vertoont geen/zwakke relatie met de RMM.
- De MA over 1-7 dagen had geen correlatie met de PMM, maar wel een sterke positieve correlatie met de RMM.
- De MA over 8-14 dagen heeft een positieve correlatie met de PMM, maar geen/zwakke correlatie met de RMM.

Quick scan REML-analyse

De resultaten van de Quick scan lieten het volgende zien:

- Alleen mestsoort en de mesttemperatuur bleken significant te zijn als voorspellers voor de RMM te zijn. Alle overige mestparameters waren niet-significant en hadden weinig voorspellende waarde.
- Er bleek een correlatie te zijn tussen de opeenvolgende metingen in dezelfde mestsilos.

De Quick scan bevestigt daarmee het beeld wat uit de resultaten en correlatiecoëfficiënten met RMM naar voren kwam.

Een punt van aandacht bij de interpretatie van de invloed van mestsoort is dat het mestmanagement van de onderzochte mestsilos op de melkvee- en varkensbedrijven wezenlijk verschilde. De mestsilos met melkveemest werden meestal maar een keer per jaar gevuld met relatief oude mest, terwijl de mestsilos met varkensmest regelmatig gevuld werden vanuit de stallen met relatief verse mest.

4 Discussie

PMM

De PMM in dit onderzoek is bepaald van de opgeslagen mest in de mestsilos, niet van vers uitgescheiden mest of van mest uit de mestkelders in de stal. Hierdoor zal een deel van de organische stof die is uitgescheiden door de dieren reeds zijn afgebroken en omgezet in biogas voordat de bepaling van de PMM plaatsvond. De PMM in dit onderzoek zal daarom een onderschatting van de BMP zijn die van verse mest bepaald wordt. Groenestein *et al.* (2016) geven als beste schatter voor de BMP van rundveedrijfmest een waarde van 220 l/kg OS, en voor varkensdrijfmest een waarde van 310 l/kg OS. De gewogen gemiddelde PMM van rundveedrijfmest in dit onderzoek varieerde van 127 t/m 193 l/kg OS, wat 12 tot 42% lager is dan de BMP uit Groenestein *et al.* (2016). De gewogen gemiddelde PMM van de varkensmest van de twee mestsilos waar relatief verse mest in kwam bedroeg 217 en 156 l/kg OS, wat 30% en 50% lager is dan de BMP uit Groenestein *et al.* (2016).

RMM

De bepaling van de RMM diende in dit onderzoek als schatting voor de methaanemissie die optreedt uit mestsilos, omdat het uitvoeren van metingen te duur werd bevonden. Door mestmonsters te nemen uit de mestsilos en vervolgens de monsters weg te zetten in een temperatuur geregelde klimaatkast om op relatief eenvoudige wijze het geproduceerde biogas te meten was, kon een indicatie worden verkregen van de methaanemissie die in de praktijk kan optreden. De RMM-testen werden uitgevoerd bij de gemiddelde mesttemperatuur van de mestsilos op een meetdag. In hoeverre de RMM-testen de werkelijke methaanemissie goed schatten kon in dit onderzoek niet worden gevalideerd omdat er geen emissiemetingen plaatsvonden bij de mestsilos. Een validatie is wel noodzakelijk om na te kunnen gaan of RMM-testen een relatief eenvoudige methode zijn om de methaanemissie uit de mestsilos goed te kunnen schatten. Bij uitgevoerde emissiemetingen aan een mestsilo met melkveemest varieerde de gemeten methaanemissie tussen 8 en 65 l CH₄/kg OS (Kariyapperuma *et al.*, 2018). De RMM van melkveemest varieerde in dit onderzoek van 0 t/m 68 NI CH₄/kg OS, en ligt daarmee in dezelfde range, wat bemoedigend is.

Groenestein *et al.* (2016) geven als beste schatter om de methaanemissie uit mestopslagen van rundveedrijfmest te bepalen een BMP van 220 l/kg OS met een MCF van 11% voor een opslag met natuurlijke korst en 17% voor een opslag zonder natuurlijke korst. Dit geeft een geschatte methaanemissie van respectievelijk 24 en 37 l/kg OS over de gehele opslagduur (mestkelder + mestsilo). De gewogen gemiddelde RMM voor rundveemest varieerde van 8 t/m 13 l/kg OS, wat 33-54% van de geschatte MCF-productie bij een aanwezigheid van een korst en 22-35% zonder korst. Groenestein *et al.* (2016) geven als beste schatter om de methaanemissie uit mestsopslagen van varkensdrijfmest te bepalen een BMP van 310 l/kg OS met een MCF van 36%. Dit geeft een geschatte methaanemissie van 112 l/kg OS over de gehele opslagduur (mestkelder + mestsilo). Bij de onderzochte mestsilos met varkensmest kwam de mest relatief vers in de eerste silo en liep dan daarna over naar de tweede silo. De totale RMM van mestsilo F en G was 56 (44 plus 12) l/kg OS, en van mestsilos H en I was 68 (48+20) l/kg OS. Dit komt neer op respectievelijk 50 en 61% van de geschatte MCF-productie.

De onderzoeksuitvoering liep van eind februari/begin maart t/m december, waardoor wel van alle warme maanden de RMM is bepaald maar niet van twee koude maanden. Aangezien uit de resultaten naar voren komt dat een lagere mesttemperatuur zorgt voor lagere RMM betekent dit dat twee meetdagen met (zeer) lage RMM niet in de gemiddelde RMM verwerkt kon worden. De gemiddelde RMM was lager uitgevallen als deze twee koude maanden ook waren meegenomen.

Bij mestmonsters met een zeer laag organisch stofgehalte (<20 g/kg) is het bepalen van de RMM lastig doordat er relatief weinig biogas wordt gevormd wat het nauwkeurig vaststellen van het geproduceerde biogasvolume bemoeilijkt. De onnauwkeurigheid neemt toe doordat een kleine

afwijking in biogasvolume gedeeld wordt door een laag OS-gehalte wat tot een relatief grote fout kan leiden in de RMM.

Vaststellen van relaties met mestparameters

Het vaststellen van relaties tussen mestparameters en de PMM en RMM is lastig omdat meerdere factoren tegelijkertijd van invloed zijn op de methaanproductie. Tijdens de opslagperiode neemt de temperatuur toe als het uitrijseizoen begint, maar tegelijkertijd neemt de versheid van de mest af en wordt organische stof afgebroken en omgezet in biogas. Er zijn hier dan twee tegenstrijdige krachten aan het werk. De temperatuur zorgt voor een toename in RMM terwijl de organische stof die geëmitteerd is als biogas zorgt voor een afname in RMM, omdat de koolstof maar één keer kan emitteren. Na afloop van het uitrijseizoen gebeurt juist het tegenovergestelde. De temperatuur neemt af, maar de mest silo wordt gevuld met nieuwe mest. Er is dus sprake van een relatie tussen temperatuur, de afbraak van organische stof en de ouderdom van de mest. Om de relaties tussen mestparameters en methaanemissie beter te kunnen onderzoeken zouden ook de relaties tussen verschillende mestparameters en de methaanemissie meegenomen dienen te worden. Daarnaast worden mest silo meestal op meerdere momenten in het jaar bijgevoerd met mest en wordt ook mest op meerdere momenten uit de mest silo gehaald.

Methanogene activiteit

Een opvallend resultaat was het verschil in de relaties tussen PMM en RMM met de MA. Bij de PMM bleek er geen correlatie te zijn met de MA in de dagen 1-7, maar wel met de MA in de dagen 8-14. Bij de RMM was het juist andersom, wel een relatie met de MA in de dagen 1-7, maar niet met de MA in de dagen 8-14. Een mogelijke oorzaak zou kunnen zijn dat de psychrofiële micro-organismen in de dagen 1-7 nog de overhand hebben, terwijl in dagen 8-14 de mesofiele micro-organismen de overhand krijgen. Een ander punt wat speelt is dat de MA-test normaal gesproken maar enkele dagen duurt, maar omdat de methanogene activiteit in veel monsters erg laag was na één week, hebben de testen nog een tweede week doorgelopen. Dit duidt erop dat de standaardprocedure voor MA-testen voor vergistingsinstallaties aangepast dient te worden naar psychrofiële condities indien de methanogene activiteit in mest silo's wordt bepaald waar psychrofiële condities heersen.

De MA varieerde sterk tussen de verschillende monsters, in de dagen 1-7 varieerde deze van 3 t/m 43 mg CH₄-CZV/g OS.dag en in de dagen 8-14 van 5 t/m 73 mg CH₄-CZV/g OS.dag. Wat de oorzaken zijn van de grote variaties in MA is onduidelijk. Een mogelijke oorzaak kan liggen in de samenstelling en activiteit van de micro-organismen in de mest. Onderzoekresultaten laten zien dat de microbiële gemeenschap in mest verandert bij veranderingen in opslagduur, temperatuur en fysisch-chemische samenstelling van de mest (Barret *et al.*, 2012; Barret *et al.*, 2013; Joung-Soo *et al.*, 2018; Trabue *et al.*, 2016). Er dient verder onderzoek gedaan te worden naar de oorzaken van de grote variaties in MA.

Een mogelijke optie die wordt geopperd om de methaanemissie uit mestopslagen te reduceren is het verwijderen van de bezinklaag uit de mest silo direct voordat de zomerperiode begint. Men gaat er hierbij vanuit dat de bezinklaag voldoende methanogene activiteit bevat om de mest die in de mest silo komt te enten en daarmee het vergistingsproces sneller op gang te brengen. Onderzoeken op laboratoriumschaal lijken dit te ondersteunen, maar uit een onderzoek bij een mest silo in de praktijk bleek geen effect te zijn van het verwijderen van de bezinklaag op de methaanemissie (Baldé *et al.*, 2016; Massé *et al.*, 2016). In de praktijk blijkt het lastig om een mest silo volledig schoon te maken, terwijl dit op laboratoriumschaal wel mogelijk is. Verder dient in ogenschouw genomen te worden of de mest zonder vooropslag in de stal direct naar de mest silo wordt afgevoerd of dat de mest eerst in een mestkelder in de stal wordt opgeslagen voordat het naar de mest silo wordt gepompt. In de mestkelder zal ook een bezinklaag aanwezig zijn waardoor verse mest al ge-ent wordt voordat deze in de mest silo wordt opgeslagen. De effectiviteit van het verwijderen van de bezinklagen uit mest silo's in dergelijke situaties kan daarmee weinig tot nihil zijn.

5 Conclusies en aanbevelingen

In Nederland is nog niet veel onderzoek verricht naar methaanemissie uit mestopslagen buiten de stal. Deze studie is bedoeld als een eerste inventarisatie van emissies van CH₄ uit mestsilos. De resultaten van deze oriëntatie geven ten eerste inzicht in de effecten op de mestsamenstelling van de verschillende manieren waarop mestsilos gebruikt worden in de praktijk (mestmanagement). Ten tweede is het een eerste inventarisatie van factoren die de methaanemissie beïnvloeden op basis van die verschillen. Dit geeft handvaten om de emissie van methaan uit mestsilos te reduceren en tevens kan het de focus bepalen van toekomstig nader onderzoek.

- Het mestmanagement van de onderzochte mestsilos verschilde sterk tussen bedrijven. Het gebruik van de mestsilo varieerde van een paar maanden tot een heel jaar, en van enkele keren vullen van de mestsilo tot regelmatig vullen gedurende het hele jaar.
- De samenstelling van de mest in een mestsilo varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. Het droge stofgehalte varieerde van 11 tot 106 g/kg en het organische stofgehalte varieerde van 5 t/m 83 g/kg.
- De temperatuur van de mest in de mestsilos varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. De gemeten mesttemperatuur varieerde van 6°C in de winter tot 24°C in de zomer.
- De methaanproductie van de mest in de mestsilos varieerde gedurende het jaar en verschilde tussen mestsilos. De gemiddelde PMM van de mestsilos varieerde van 63 tot 239 NI CH₄/kg OS. De gemiddelde RMM varieerde van 8 tot 49 NI CH₄/kg OS. De twee mestsilos (F en H) waar frequent mest uit de stallen naar werd afgevoerd hadden de hoogste RMM. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde van 4 tot 32%.
- De RMM van en het aandeel RMM in PMM van varkensmest is groter dan dat van rundveemest, wat betekent dat per kg OS in varkensmest meer methaan emitterde dan per kg OS in rundveemest. Dit komt overeen met de theorie dat meer makkelijk afbreekbare OS in varkensmest zit omdat dat door pensfermentatie bij runderen al is afgebroken. Echter in onderhavig onderzoek bleek dat varkensmest vaker verser in de mestsilo terecht kwam. Opslagtijd van mest is derhalve verstrengeld met mestsoort.
- De RMM-test is een relatief eenvoudige en goedkope in-vitro-methode, en lijkt een veelbelovende maat voor de methaanemissie uit mestsilos. Het verdient aanbeveling deze methode te valideren met emissiemetingen aan mestopslagen.
- Van de onderzochte mestparameters (organische stof, chemisch zuurstofverbruik, temperatuur, pH, vluchtige vetzuren en methanogene activiteit) bleken alleen de mesttemperatuur en de methanogene activiteit een significante correlatie te hebben met de methaanproductie van de mest uit de mestsilos. Hierbij dient in acht genomen te worden dat vertraging van de methanogene activiteit (door bv een lagere temperatuur) niet per definitie betekent dat er minder methaan gevormd wordt wanneer de methaan-vorming door kan blijven gaan (door langere opslagtijden).
- Methanogene activiteit is een resultante van factoren die de snelheid waarmee micro-organismen methaan vormen beïnvloeden. Nader onderzoek is nodig om zicht te krijgen op deze methanogene activiteit bij de huidige diversiteit aan mestmanagement en bij veranderend toekomstig mestmanagement (verwijderen uit de stal, mestscheiden).
- Bovenstaande geeft aan dat verfijning van de analyse nodig is in meer fundamenteelere onderzoeken naar methanogene activiteit in mest en mestproducten, maar dit onderzoek toont al wel aan dat een reductie via koelen en verkorten van opslagtijd perspectiefvol is om de methaanemissie te reduceren.

Literatuur

- Baldé, H., A. C. VanderZaag, S. D. Burt, R. J. Gordon, en R. L. Desjardins. 2016. Does Fall Removal of the Dairy Manure Sludge in a Storage Tank Reduce Subsequent Methane Emissions? *Journal of environmental quality* 45 (6):2038-2043. doi 10.2134/jeq2016.03.0083
- Baral, K. R., G. Jégo, B. Amon, R. Bol, M. H. Chantigny, J. E. Olesen, en S. O. Petersen. 2018. Greenhouse gas emissions during storage of manure and digestates: Key role of methane for prediction and mitigation. *Agric. Syst.* 166:26-35. doi 10.1016/j.agsy.2018.07.009
- Barret, M., N. Gagnon, B. Morissette, E. Topp, M. Kalmokoff, S. P. J. Brooks, F. Matias, D. I. Massé, L. Masse, en G. Talbot. 2012. *Methanoculleus* spp. as a biomarker of methanogenic activity in swine manure storage tanks. *FEMS Microbiology Ecology* 80 (2):427-440. doi 10.1111/j.1574-6941.2012.01308.x
- Barret, M., N. Gagnon, E. Topp, L. Masse, D. I. Massé, en G. Talbot. 2013. Physico-chemical characteristics and methanogen communities in swine and dairy manure storage tanks: Spatio-temporal variations and impact on methanogenic activity. *Water Research* 47 (2):737-746. doi 10.1016/j.watres.2012.10.047
- Coenen, P. W. H. G., M. C. van Zanten, P. J. Zijlema, E. J. M. M. Arets, K. Baas, A. C. W. M. van den Berghe, E. P. van Huis, G. Geilenkirchen, M. 't Hoen, M. Hoogsteen, R. te Molder, R. Dröge, J. A. Montfoort, C. J. Peek, J. Vonk, S. Dellaert, en K. W.W.R. 2018. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2016. National Inventory Report 2018. . RIVM Report 2018-0006. RIVM, Bilthoven.
- Elsgaard, L., A. B. Olsen, en S. O. Petersen. 2016. Temperature response of methane production in liquid manures and co-digestates. *Sci. Total Environ.* 539:78-84. doi 10.1016/j.scitotenv.2015.07.145
- FNR. 2016. Leitfaden Biogas Von der Gewinnung zur Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen, Duitsland.
- Groenestein, C. M., J. Mosquera, en R. W. Melse. 2016. Methaanemissie uit mest : schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Wageningen Livestock Research, Wageningen.
- Holliger, C., M. Alves, D. Andrade, I. Angelidaki, S. Astals, U. Baier, C. Bougrier, P. Buffière, M. Carballa, V. De Wilde, F. Ebertseder, B. Fernández, E. Ficara, I. Fotidis, J. C. Frigon, H. F. De Lacroix, D. S. M. Ghasimi, G. Hack, M. Hartel, J. Heerenklage, I. S. Horvath, P. Jenicek, K. Koch, J. Krautwald, J. Lizasoain, J. Liu, L. Mosberger, M. Nistor, H. Oechsner, J. V. Oliveira, M. Paterson, A. Pauss, S. Pommier, I. Porqueddu, F. Raposo, T. Ribeiro, F. R. Pfund, S. Strömberg, M. Torrijos, M. Van Eekert, J. Van Lier, H. Wedwitschka, en I. Wierinck. 2016. Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Sci. Technol.* 74 (11):2515-2522. doi 10.2166/wst.2016.336
- Joung-Soo, L., Y. Seung Hak, K. Bong-Soo, en L. Eun Young. 2018. Comparison of microbial communities in swine manure at various temperatures and storage times. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 31 (8):1373-1380. doi 10.5713/ajas.17.0704
- Kariyapperuma, K. A., G. Johannesson, L. Maldaner, A. VanderZaag, R. Gordon, en C. Wagner-Riddle. 2018. Year-round methane emissions from liquid dairy manure in a cold climate reveal hysteretic pattern. *Agricultural and Forest Meteorology* 258:56-65. doi 10.1016/j.agrformet.2017.12.185
- Massé, D. I., G. Jarret, F. Hassanat, C. Benchaar, en N. M. C. Saady. 2016. Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221:109-114. doi 10.1016/j.agee.2016.01.018
- Petersen, S. O., A. B. Olsen, L. Elsgaard, J. M. Triolo, en S. G. Sommer. 2016. Estimation of Methane Emissions from Slurry Pits below Pig and Cattle Confinements. *PloS one* 11 (8):e0160968. doi 10.1371/journal.pone.0160968
- Sanders, W. T. M. 2001. Anaerobic hydrolysis during digestion of complex substrates. PhD. Wageningen UR, Wageningen.
- Sommer, S. G., S. O. Petersen, en H. B. Møller. 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69 (2):143-154. doi 10.1023/B:FRES.0000029678.25083.f8
- Trabue, S. L., B. J. Kerr, B. L. Bearson, M. Hur, T. Parkin, E. S. Wurtele, en C. J. Ziemer. 2016. Microbial community and chemical characteristics of swine manure during maturation. *Journal of Environmental Quality* 45 (4):1144-1152. doi 10.2134/jeq2015.09.0446
- Wikipedia. 2020. Arrhenius equation. https://en.wikipedia.org/wiki/Arrhenius_equation. Accessed 1 mei 2020.

Zeeman, G., en S. Gerbens. 2002. CH4 emissions from animal manure in Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPPC.

Bijlage 1 Invloed zwenken op RMM

Tabel A Resultaten van de mengmonsters van meetdag 6 (12 en 13 augustus) die zowel gezwenkt als ongezwent zijn.

Parameter	Mestsilo A		Mestsilo F		Mestsilo H	
	gezwent	ongezwenkt	gezwent	ongezwenkt	gezwent	ongezwenkt
Organische stof (g/kg)	39,5	39,5	36,4	36,4	54,5	54,5
Temperatuur RMM-test	19	19	19	19	19	19
pH (-)	7,8	7,7	7,8	7,7	7,8	7,7
VVZ t=0 (mg CZV/l)	122 ± 6	122 ± 6	4989 ± 129	4989 ± 129	912 ± 14	912 ± 14
VVZ t=30 (mg CZV/l)	53 ± 2	48 ± 1	60 ± 10	45 ± 5	33 ± 1	37 ± 1
Biogas (NI/kg OS)	29 ± 1	30 ± 0	122 ± 45	131 ± 28	76 ± 4	75 ± 3
Biogas (Nm3/ton)	1,1	1,2	4,4	4,8	4,1	4,1
Methaan (%)	49%	49%	71%	73%	64%	65%
Methaan (NI/kg OS)	14	15	87	96	49	49
Methaan (Nm3/ton)	0,56	0,58	3,15	3,48	2,65	2,66
Snelheid (-)	4,1	3,7	7,1	6,7	4,8	4,5
Verschil gezwenkt t.o.v. ongezwent						
Methaan (%)		0%		3%		2%
Methaan (NI/kg OS)		3%		10%		0%
Methaan (Nm3/ton)		3%		10%		0%

Tabel B Resultaten van de mengmonsters van meetdag 8 (14 en 15 oktober) die zowel gezwenkt als ongezwent zijn.

Parameter	Mestsilo A		Mestsilo H		Mestsilo I	
	gezwent	ongezwenkt	gezwent	ongezwenkt	gezwent	ongezwenkt
Organische stof (g/kg)	64,0	64,0	30,6	30,6	7,20	7,20
Temperatuur RMM-test	15	15	15	15	15	15
pH (-)	7,7	7,7	7,9	7,8	8,1	8,1
VVZ t=0 (mg CZV/l)	287 ± 4	287 ± 4	473 ± 1	473 ± 1	28 ± 1	28 ± 1
VVZ t=30 (mg CZV/l)	108 ± 3	113 ± 7	31 ± 1	32 ± 0	BDL	BDL
Biogas (NI/kg OS)	29 ± 1	28 ± 0	53 ± 2 (56)	57 ± 5	36 ± 0	34 ± 0
Biogas (Nm3/ton)	1,9	1,8	1,6	1,7	0,3	0,2
Methaan (%)	60%	59%	62%	63%	22%	22%
Methaan (NI/kg OS)	17	17	33	36	8	7
Methaan (Nm3/ton)	1,11	1,06	1,01	1,10	0,06	0,05
Snelheid (-)	3,4	2,9	5,5	7,0	9,1	20,9
Verschil gezwenkt t.o.v. ongezwent						
Methaan (%)		-2%		2%		0%
Methaan (NI/kg OS)		-5%		9%		-6%
Methaan (Nm3/ton)		-5%		9%		-6%

Bijlage 2 Resultaten mestsilos A

Algemeen

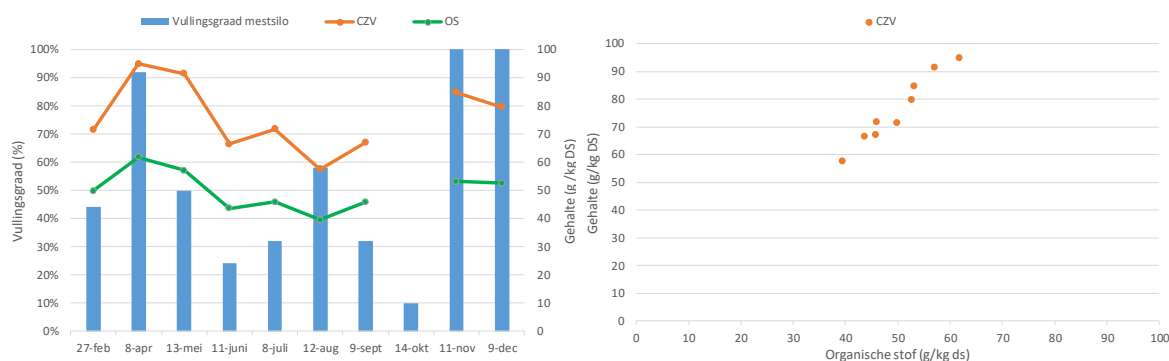
Mestsilo A stond op een melkveebedrijf waar zowel melkvee als jongvee aanwezig was. De koeien waren gehuisvest op een ammoniakreducerende vloer met daaronder een kelder. Er werd geen beweiding toegepast. De melkkoeien werden gemolken met een automatisch melksysteem (AMS). Het spoelwater van de AMS en de melktank kwamen in de mestkelder terecht. Het rantsoen bestond uit gras en mais aangevuld met bijproducten en mengvoer.

Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. De mestsilo wordt in de winterperiode in één of meerdere keren vanuit de mestkelder gevuld. In de 2^e helft van februari wordt de mestsilo leeggereden en dan nogmaals gevuld met mest. Deze mest wordt na de eerste snede uitgereden. Hierna staat de mestsilo meestal leeg tot aan de winterperiode wanneer er voor de eerste keer weer mest wordt ingepompt. Er was geen mixer aanwezig in de mestsilo. De mest in de silo wordt voor het uitrijden niet gemixt. De veehouder gaat ervan uit dat de mest in de silo voldoende wordt gemengd tijdens het overpompen van de mest uit de mestkelders naar de mestsilo toe.

De mestsilo was een grijze betonnen mestsilo met een grijze kunststof spankap. De mestsilo had een interne hoogte van circa 5 meter, een interne diameter van circa 20 meter, en een taps toelopende vloer die middenin circa 30 cm lager lag dan de zijkant. De capaciteit van de mestsilo was circa 1500 m³. De mestsilo had verder twee mangaten van circa 2 bij 2 meter. Aan de westkant van de mestsilo stonden boompjes en struiken die zorgden voor beschutting en schaduwwerking op deze kant van de mestsilo.

Resultaten

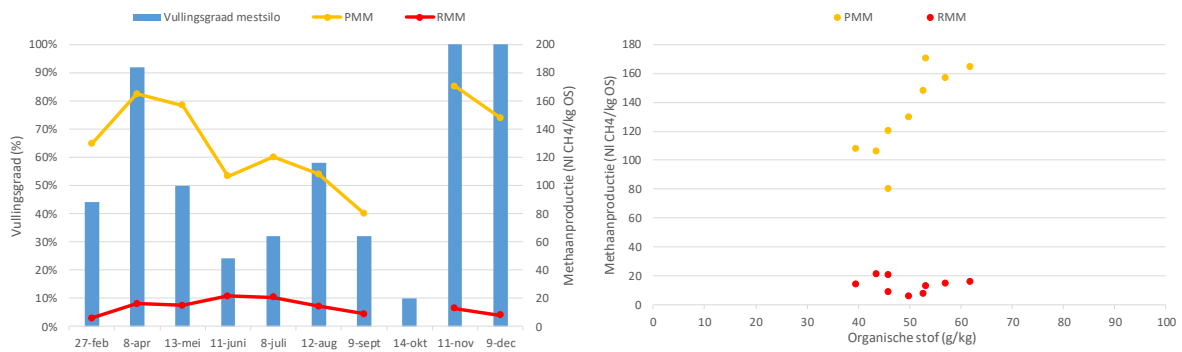
In figuur A.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte (OS) op de meetdagen weergegeven.



Figuur A.1 Vullingsgraad van mestsilo A, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en het organische stofgehalte (rechts).

De mestsilo is op meerdere momenten gevuld. Op 14 oktober was de mestsilo dermate leeg dat er geen mestmonster kon worden genomen. De resterende aanwezige mest zal voor het grootste deel bestaan uit een bezinklaag. Het CZV en OS-gehalte hebben een gelijke trend wat ook blijkt uit de relatie tussen het CZV en het OS-gehalte, die vrij constant was. De eerste keer bijvullen (8 april) leidt tot een hoger CZV en OS-gehalte, de tweede keer bijvullen (12 aug.) niet, en het opnieuw vullen (11 nov.) gaf een hoger CZV en OS-gehalte te zien. Het CZV en OS-gehalte dalen na de eerste keer bijvullen naar een lager niveau waarna het min of meer constant blijft. Na het vullen in november daalt het CZV gehalte 6% en het OS-gehalte 1%.

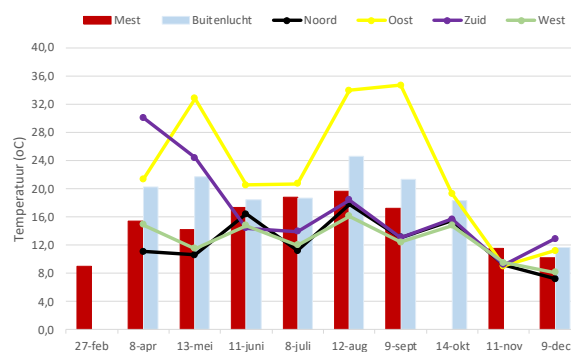
In figuur A.2 staat de vullingsgraad van de meststilo en de PMM en de RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur A.2 Vullingsgraad van meststilo A, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

De eerste keer (8 april) bijvullen leidt tot een hogere PMM. Ook de RMM was verhoogd, maar dit kan ook (mede) veroorzaakt zijn doordat de temperatuur van de meststilo was gestegen van 9 naar ruim 15°C. Na de daling blijft de PMM tot en met augustus min of meer constant. Na de tweede keer bijvullen (12 aug) daalt zowel de PMM als de RMM, terwijl het OS-gehalte vrijwel hetzelfde was en ook de temperatuur was vrijwel hetzelfde gebleven (19 vs. bijna 20°C). Na het opnieuw vullen (11 nov.) dalen de PMM en RMM in december, waarbij het organische stofgehalte en de temperatuur (ruim 11 vs. ruim 10°C) niet veel van elkaar verschilde. De RMM zit aan het begin van het jaar op een laag niveau en neemt in het voorjaar licht toe om vervolgens in de zomerperiode licht te dalen. Er bleek een vrij goed verband te zijn tussen de PMM en het OS-gehalte, hoe hoger het OS-gehalte des te hoger was de PMM. Dit bleek niet het geval te zijn voor de RMM, waarbij er geen relatie te zien was met het OS-gehalte.

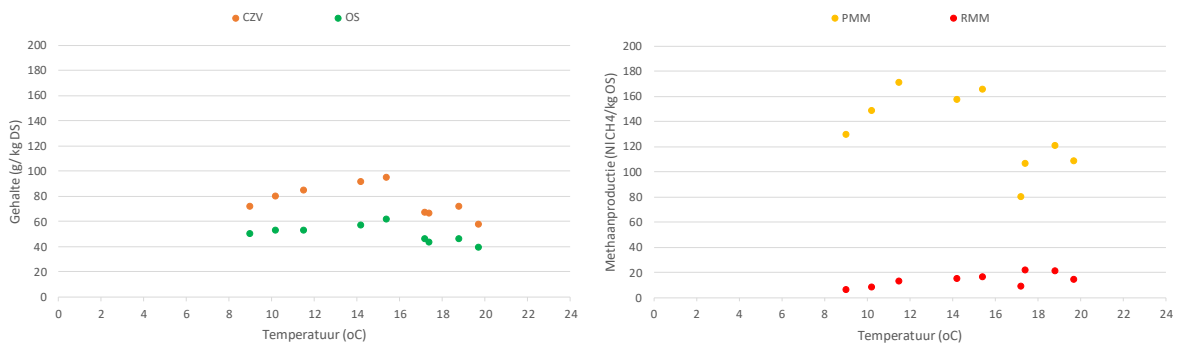
In figuur A.3 staat de gemeten temperatuur van de meststilo op de meetdagen weergegeven. Met uitzondering van de eerste meetdag toen er om 8:10 werd gemeten, is op alle volgende meetdagen midden op de dag gemeten (tussen 11:15 en 13:15).



Figuur A.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monstername bij meststilo A.

De mesttemperatuur laat het meest constante patroon zien. Aan het begin van het jaar is de temperatuur laag en neemt richting de zomermaanden toe waarna het afneemt richting de winter. De buitentemperatuur fluctueert iets meer en bij de wandtemperaturen is een grote spreiding te zien. Deze grote spreiding wordt veroorzaakt door de locatie van de wand: of de zon er op heeft geschinen of niet, en de mate van schaduwwerking als gevolg van bomen en struiken.

In figuur A.4 staan de relaties tussen de CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.

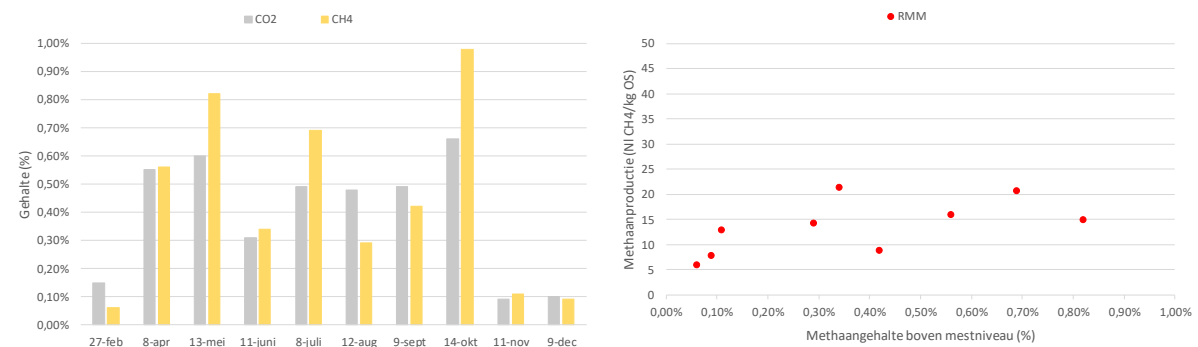


Figuur A.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilos A.

De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de temperatuur laat zien dat een hogere temperatuur (tot circa 16°C) gepaard ging met hogere gehalten. Dit zal veroorzaakt zijn doordat in het voorjaar de mestsilos bijgevuld werd met versere mest waarin hogere gehalten voorkwamen dan in de mest die al in de silo aanwezig was, en dit was opnieuw het geval bij het opnieuw vullen in november. Bij een verdere stijging van de temperatuur (boven de 16°C) nemen beide gehalten af. Deze afname zal (deels) veroorzaakt zijn door emissie van koolstof in de vorm van CO₂ en CH₄. De afname kan ook deels veroorzaakt zijn doordat de mestsilos niet werd gemixt voor het uitrijden. Door het achterwege laten van het mixen kan bij het uitrijden relatief dikkere mest uit de silo zijn gepompt waardoor relatief dunnere mest met lagere gehalten achter is gebleven in de mestsilos.

De PMM neemt niet toe met een hogere temperatuur, maar juist af bij hogere temperaturen. Bij de hogere temperaturen waren de CZV en OS-gehalten ook lager. Dit kan veroorzaakt zijn doordat dit oudere mest betrof die al langer in de mestsilos zat en waarvan een deel van de organische stof zal zijn omgezet in CO₂ en CH₄. De RMM zit op een laag niveau en stijgt met een toenemende temperatuur, en laat daarmee een ander patroon zien dan de PMM.

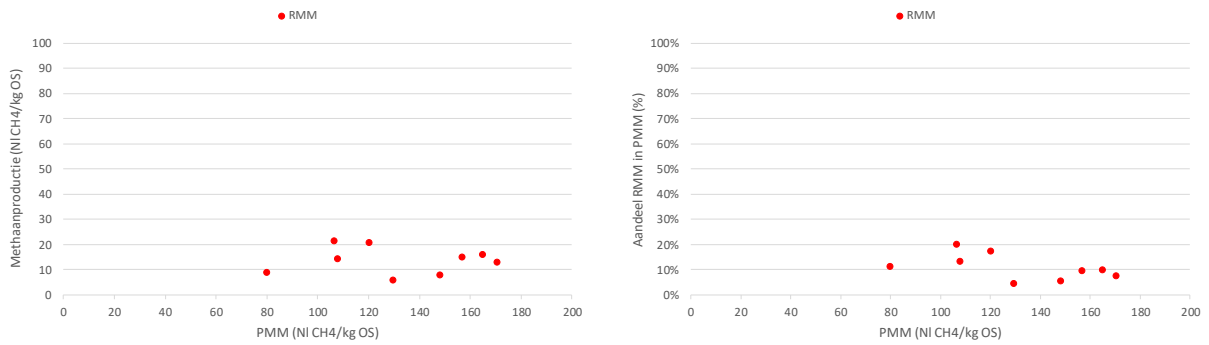
In figuur A.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de mestsilos en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur A.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau (rechts) van mestsilos A.

In winterperiode waren het CO₂- en CH₄-gehalte boven het mestniveau het laagst. In de overige perioden schommelde de gehalten zonder een duidelijke toename in een bepaalde periode. Een hoger methaangehalte boven het mestniveau lijkt samen te gaan met een lichte stijging van het RMM.

In figuur A.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur A.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van meststilo A.

Een hogere PMM leidde niet tot een hogere RMM. De hoogste PMM werden gemeten in de koudere periode en de lagere PMM in de warmere periode, terwijl dit bij de RMM juist andersom was. De RMM was ten opzichte van de PMM vrij constant, tussen de 10 en 20 NI CH₄/kg OS. Dit leidt ertoe dat het aandeel van de RMM in de PMM afneemt bij een hogere PMM. Het aandeel van de RMM was minimaal 5% en maximaal 20% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 132 NI CH₄/kg OS, en de RMM 14 NI CH₄/kg OS wat 10% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de meststilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 142 NI CH₄/kg OS, en de RMM 13 NI CH₄/kg OS wat 9% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen A.1 en A.2 staan de analyseresultaten van meststilo A weergegeven.

Tabel A.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van meststilo A.

Datum	27-feb	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	63,3	83,0	77,4	59,7	65,8	54,2	64,3	-	69,8	69,9
Organische stof (g/kg)	49,8	61,8	57,0	43,6	45,9	39,5	45,8	-	53,1	52,6
Organische stof (% van drogestof)	79%	75%	74%	73%	70%	73%	71%	-	76%	75%
CZV (g/kg)	71,5	95,0	91,5	66,5	71,8	57,5	67,1	-	84,7	79,6
pH (-)	7,7	7,4	7,5	7,8	7,7	7,4	7,4	-	7,6	7,6
ORP (mV)	-	-353	-339	-359	-360	-356	-319	-	-349	-359
VVZ t=0 (mg CZV/l)	150 ± 18	4204 ± 167	3061 ± 244	524 ± 15	205 ± 3	122 ± 6	59 ± 1	-	2542 ± 10	613 ± 10
C2 t=0 (mg/l)	141 ± 17	2750 ± 114	1963 ± 152	492 ± 14	192 ± 3	115 ± 6	56 ± 1	-	496 ± 1	218 ± 3
C3 t=0 (mg/l)	BDL	663 ± 24	488 ± 44	BDL	BDL	BDL	BDL	-	1329 ± 6	251 ± 5
C4 t=0 (mg/l)	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	-	BDL	BDL
C5 t=0 (mg/l)	BDL	130 ± 4	112 ± 8	BDL	BDL	BDL	BDL	-	BDL	BDL
Temperatuur in meststilo (oC)	9,0	15,4	14,2	17,4	18,8	19,7	17,2	-	11,5	10,2
PMM-test										
Biogas (NI/kg OS)	209 ± 2	266 ± 4	245 ± 2	169 ± 44	197 ± 4	180 ± 11	129 ± 2	-	275 ± 2	239 ± 3
Biogas (Nm3/ton)	10 ± 0	16 ± 0	14 ± 0	7 ± 2	9 ± 0	7 ± 0	6 ± 0	-	15 ± 0	12 ± 0
Methaan (%)	62%	62%	64%	63%	61%	60%	62%	-	62%	62%
Methaan (NI/kg OS)	130	165	157	106	120	108	80	-	171	148
Methaan (Nm3/ton)	6,5	10,2	8,9	4,6	5,5	4,3	3,7	-	9,1	7,8
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,09	0,11	0,10	0,07	0,08	0,07	0,05	-	0,11	0,10
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	20	19	17	-	9	8
pH (-)	7,7	7,7	7,8	7,6	7,7	7,8	7,6	-	7,8	7,9
VVZ t=30 (mg CZV/l)	162 ± 5	3111 ± 147	1311 ± 57	159 ± 0	127 ± 0	53 ± 2	47 ± 1	-	1688 ± 1	150 ± 6
Biogas (NI/kg OS)	13 ± 0,3	29 ± 2	24 ± 1	35 ± 1	39 ± 1	29 ± 1	20 ± 0	-	21 ± 0	15 ± 0
Biogas (Nm3/ton)	0,6	1,8	1,4	1,5	1,8	1,1	0,9	-	1,1	0,8
Methaan (%)	45%	55%	62%	61%	53%	49%	44%	-	61%	52%
Methaan (NI/kg OS)	6	16	15	21	21	14	9	-	13	8
Methaan (Nm3/ton)	0,3	1,0	0,8	0,9	0,9	0,6	0,4	-	0,7	0,4
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	127	-	110	-	-	146,3	-	-	154,1	-
Organische stof (g/kg)	77,3	-	84,4	-	-	88,1	-	-	86,1	-
Organische stof (% van drogestof)	61%	-	72%	-	-	60%	-	-	56%	-
pH (-)	7,7	-	7,9	-	-	7,6	-	-	7,5	-
VVZ (mg CZV/l)	99 ± 3	-	776 ± 8	-	-	30 ± 3	-	-	649 ± 7	-
C2 (mg/l)	93 ± 3	-	673 ± 5	-	-	28 ± 3	-	-	254 ± 2	-
C3 (mg/l)	BDL	-	BDL	-	-	BDL	-	-	250 ± 4	-
C4 (mg/l)	BDL	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	BDL	-	29 ± 1	-	-	BDL	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS.dag)	-	-	4,7	-	-	3,3	-	-	3,4	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS.dag)	-	-	4,9	-	-	3,0	-	-	3,1	-
CH4 in biogas (%)	-	-	48%	-	-	42%	-	-	46%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS.dag)	23,9	-	14,9	-	-	10,2	-	-	6,8	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS.dag)	28,2	-	14,6	-	-	8,0	-	-	7,9	-
CH4 in biogas (%)	82%	-	69%	-	-	66%	-	-	73%	-

BDL = Below detection limit

Tabel A.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilos A.

Datum	27-feb	8-apr	13-mei	11-jun	8-jul	12-aug	9-sep	14-okt	11-nov	9-dec
<u>Drogestof (g/kg)</u>										
Boven	-	88,1	-	-	-	-	-	-	71,3	70,9
Midden	-	84,4	-	-	-	-	-	-	71,5	71,1
Onder	64,8	84,3	78,2	59,2	67,5	58,1	66,3	-	70,2	70,9
<u>As (g/kg)</u>										
Boven	-	23,1	-	-	-	-	-	-	17,2	17,5
Midden	-	22,2	-	-	-	-	-	-	17,1	17,7
Onder	14,7	22,6	20,7	15,9	19,7	16,0	19,9	-	16,9	18,3
<u>Organische stof (g/kg)</u>										
Boven	-	64,9	-	-	-	-	-	-	54,1	53,4
Midden	-	62,2	-	-	-	-	-	-	54,3	53,4
Onder	50,1	61,6	57,5	43,3	47,8	42,1	46,4	-	53,3	52,6
<u>Organische stof (% ds)</u>										
Boven	-	74%	-	-	-	-	-	-	76%	75%
Midden	-	74%	-	-	-	-	-	-	76%	75%
Onder	77%	73%	74%	73%	71%	72%	70%	-	76%	74%
<u>CZV (g/kg)</u>										
Boven	-	101,6	-	-	-	-	-	-	84,0	79,4
Midden	-	92,4	-	-	-	-	-	-	85,4	81,1
Onder	71,5	91,0	91,5	66,5	71,8	57,5	67,1	-	84,7	78,3
<u>OS/CZV (%)</u>										
Boven	-	64%	-	-	-	-	-	-	64%	67%
Midden	-	67%	-	-	-	-	-	-	64%	66%
Onder	70%	68%	63%	65%	67%	73%	69%	-	63%	67%
<u>Totaal-P (g/kg)</u>										
Boven	-	0,76	-	-	-	-	-	-	0,55	0,57
Midden	-	0,72	-	-	-	-	-	-	0,56	0,56
Onder	0,55	0,73	0,67	0,54	0,58	0,50	0,63	-	0,57	0,56
<u>Totaal-P2O5 (g/kg)</u>										
Boven	-	1,74	-	-	-	-	-	-	1,26	1,30
Midden	-	1,64	-	-	-	-	-	-	1,28	1,28
Onder	1,25	1,67	1,53	1,23	1,34	1,15	1,45	-	1,29	1,29
<u>Totaal-N (g/kg)</u>										
Boven	-	4,19	-	-	-	-	-	-	4,32	4,49
Midden	-	4,16	-	-	-	-	-	-	4,37	4,53
Onder	3,82	4,10	3,94	3,15	3,26	2,78	2,75	-	4,37	4,33
<u>Ammonium-N (g/kg)</u>										
Boven	-	1,95	-	-	-	-	-	-	2,25	2,30
Midden	-	1,99	-	-	-	-	-	-	2,24	2,30
Onder	1,95	1,98	1,94	1,55	1,68	1,47	1,27	-	2,21	2,25
<u>Ammonium-N (% totaal-N)</u>										
Boven	-	46%	-	-	-	-	-	-	52%	51%
Midden	-	48%	-	-	-	-	-	-	51%	51%
Onder	51%	48%	49%	49%	52%	53%	46%	-	51%	52%
<u>ORP</u>										
Boven (mV)	-	-350	-	-	-	-	-	-	-336	-331
Midden (mV)	-	-360	-	-	-	-	-	-	-340	-363
Onder (mV)	-300	-352	-339	-359	-368	-307	-319	-	-349	-368
<u>pH</u>										
Boven (-)	-	7,39	-	-	-	-	-	-	7,93	7,87
Midden (-)	-	7,29	-	-	-	-	-	-	7,86	7,74
Onder (-)	7,6	7,32	7,6	7,73	7,54	7,46	7,43	-	7,78	7,80

Bijlage 3 Resultaten mestsilos B

Algemeen

Mestsilo B stond op een melkveebedrijf waar zowel melkvee als jongvee aanwezig was. De koeien waren gehuisvest op een traditionele roostervloer met mestkelder. Er werd geen beweiding toegepast. De melkkoeien werden gemolken met een automatisch melksysteem (AMS). Het spoelwater van de AMS en de melktank kwamen in de mestkelder terecht. Het rantsoen bestond uit gras en mais aangevuld met perspulp en mengvoer.

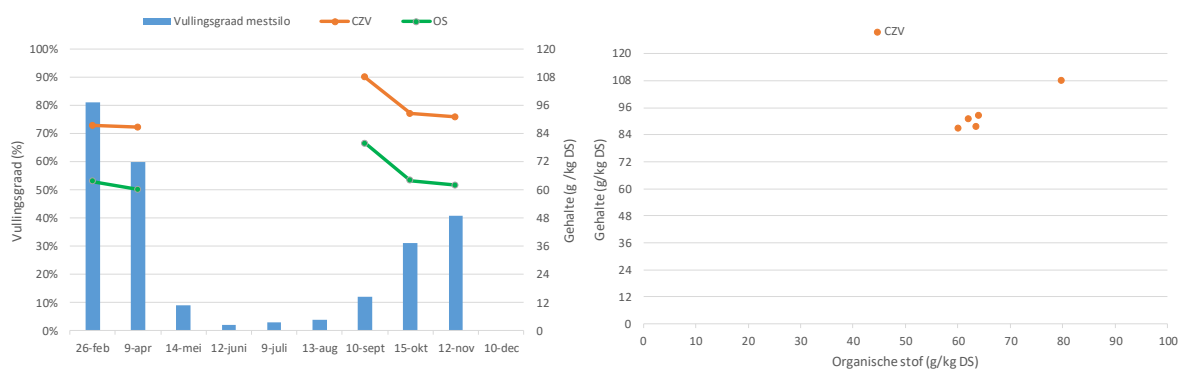
Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. De mestsilo wordt circa 2,5 maand per jaar gebruikt. In januari wordt de mestsilo volgepompt en wordt afhankelijk van het weer eind maart/begin april leeggereden op het maisland. Soms wordt de mestsilo ook tijdelijk verhuurd. De mestsilo bevatte een mixer, maar deze werkte niet meer. Voor het uitrijden wordt de mestsilo door de loonwerker gemixt via een mixer aan een mobiele kraan.

De mestsilo was een groen/grijze betonnen mestsilo met een groene kunststof spankap. De hoogte van de mestsilo was circa 5,0 meter (waarvan circa 1,2 m ondergronds). De diameter van de mestsilo bedroeg circa 19,6 m. Het volume was circa 1500 m³. De mestsilo had twee mangaten van circa 1,5 bij 1,0 meter.

De metingen van 10 december zijn niet meegenomen, omdat de mest in de mestsilo op dat moment was aangevuld met mest van een ander bedrijf dat krap in de opslag zat en het melkveebedrijf deze opslag niet meer nodig had aangezien het melkveebedrijf per 1 januari verplaatst werd en op een andere locatie verder ging.

Resultaten

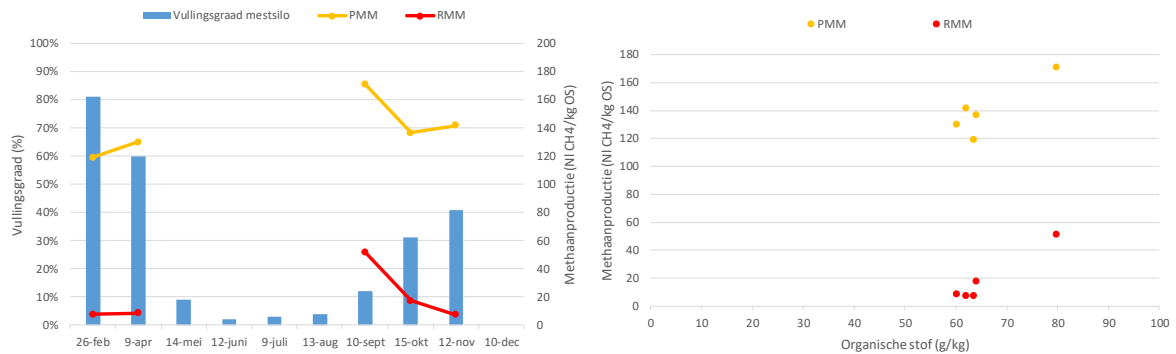
In figuur B.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur B.1 Vullingsgraad van mestsilo B, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en het organische stofgehalte (rechts).

De mestsilo was bij aanvang voor 80% gevuld en is in het voorjaar in meerdere keren leeggereden, waarna de mestsilo zo goed als leeg was tot aan het najaar waar een aantal keren mest is overgepompt naar de mestsilo. Het CZV en OS-gehalte hebben een gelijke trend wat ook blijkt uit de relatie tussen het CZV en het OS-gehalte, die vrij constant was. In het begin van het jaar dalen het CZV en OS-gehalte weinig. Bij het opnieuw vullen van de mestsilo in het najaar is er wel een daling te zien. Deze afname zal (deels) veroorzaakt zijn door emissie van koolstof in de vorm van CO₂ en CH₄ en kan (deels) veroorzaakt door de bijgepompte mest als deze lagere gehalten had dan de aanwezige mest in de mestsilo.

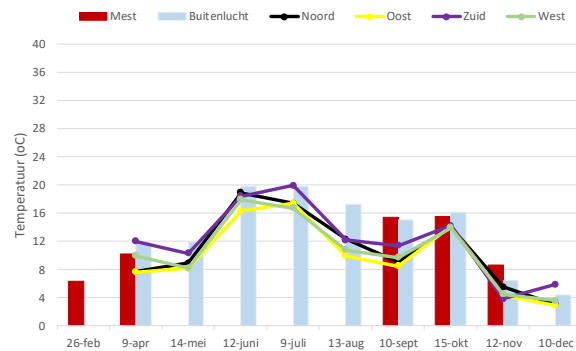
In figuur B.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur B.2 Vullingsgraad van mestsilo B, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

In het begin van het jaar stijgt de PMM licht, maar de RMM niet. In september is de PMM het hoogst en daalt vervolgens waarna het constant blijft. De RMM was ook het hoogst in september en daalt vervolgens in de twee volgende maanden. Vier van de vijf mestmonsters hadden vrijwel hetzelfde CZV en OS-gehalte en tevens vrijwel dezelfde PMM- en RMM. Het monster met het hoge gehalte is genomen in september waarbij ook de hoogste PMM- en RMM werden gemeten.

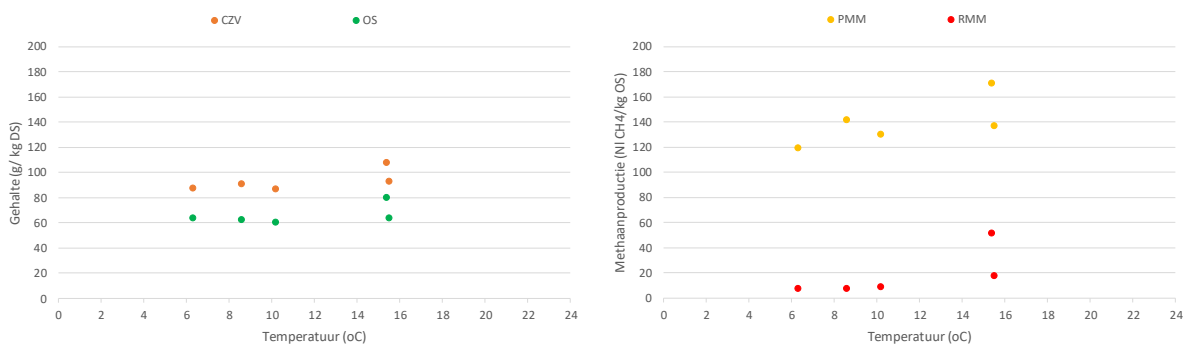
In figuur B.3 staat de gemeten temperatuur van de mestsilo op de meetdagen weergegeven. Op alle meetdagen hebben de metingen in de eerste helft van de ochtend plaatsgevonden (tussen 8:55 en 9:45).



Figuur B.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van mestsilo B.

De mesttemperatuur was het laagst in de winterperiode en had hogere waarden in het voorjaar en het najaar. De wandtemperaturen verschilden weinig van elkaar, want mede zal veroorzaakt doordat de metingen in de eerste helft van de ochtend plaatsvonden. Tevens was de invloed van de zon op de wandtemperatuur nog gering aangezien aan de oostkant van de mestsilo een opslagloods op circa twee meter afstand stond die zorgde voor schaduwwerking op de oostkant van de mestsilo.

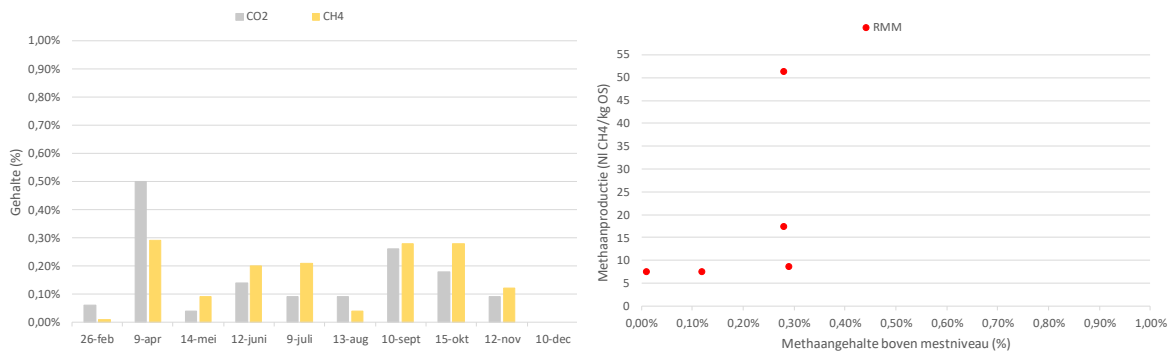
In figuur B.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur B.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilo B.

Er bleek bij deze meststilo geen relatie te zijn tussen de mesttemperatuur en het CVZ- en OS-gehalte. Het hoge gehalte bij de hoogste gemeten temperatuur werd veroorzaakt doordat de meststilo in september opnieuw gevuld werd met mest. Er lijkt sprake te zijn van een hogere PMM en RMM bij een hogere temperatuur, maar het aantal meetdagen was daarentegen beperkt.

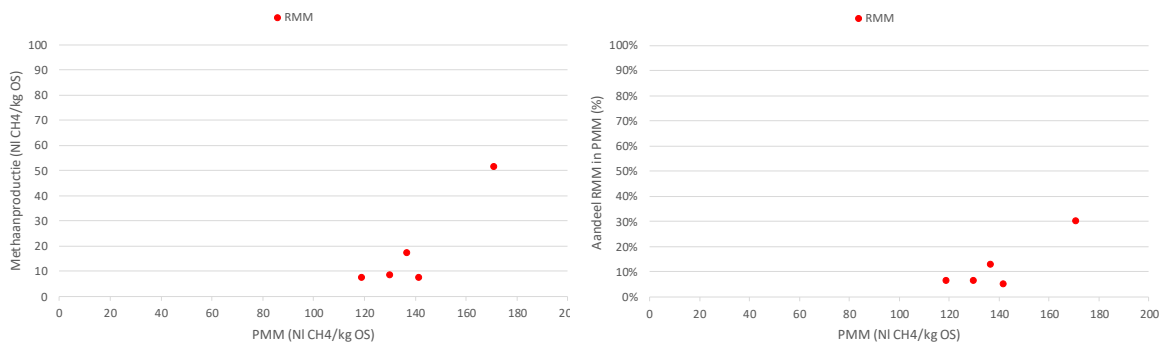
In figuur B.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de meststilo en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur B.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van meststilo B.

In winterperiode waren het CO₂- en CH₄-gehalte boven mestniveau het laagst. In overige perioden schommelde de gehalten zonder een duidelijke toename in een bepaalde periode. Een hogere methaangehalte boven het mestniveau lijkt samen te gaan met een hogere RMM, maar het aantal meetdagen was beperkt.

In figuur B.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur B.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van meststilo B.

Bij vier van de mestmonsters zaten de PMM en RMM rond hetzelfde niveau. Het afwijkende monster had zowel een hogere PMM als RMM, maar dit was het monster van de nieuwe vulling in september met het hogere OS-gehalte. Vanwege het beperkt aantal monsters is het onduidelijk of bij deze meststilo daadwerkelijk sprake is van een relatie tussen de RMM en PMM. Het aandeel van de RMM lag voor vier van de vijf monsters op circa 10% van de PMM. Het afwijkende monster had een aandeel van 30% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 140 NI CH₄/kg OS, en de RMM 18 NI CH₄/kg OS wat 13% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de meststilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 131 NI CH₄/kg OS, en de RMM 11 NI CH₄/kg OS wat 9% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen B.1 en B.2 staan de analyseresultaten van meststilo B weergegeven.

Tabel B.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mestilo B.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-juni	9-juli	13-aug	10-sept	15-okt	12-nov	10-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	88,2	82,9	-	-	-	-	105,5	86,7	85,5	-
Organische stof (g/kg)	63,5	60,1	-	-	-	-	79,8	64,0	62,0	-
Organische stof (% van drogestof)	72%	73%	-	-	-	-	76%	74%	73%	-
CZV (g/kg)	87,4	86,6	-	-	-	-	107,9	92,5	91,0	-
pH (-)	7,7	7,7	-	-	-	-	7,4	7,7	7,6	-
ORP (mV)	-	-350	-	-	-	-	-343	-353	-350	-
VVZ t=0 (mg CZV/l)	348 ± 31	193 ± 0	-	-	-	-	7624 ± 79	287 ± 4	145 ± 3	-
C2 t=0 (mg/l)	265 ± 25	181 ± 0	-	-	-	-	3684 ± 17	269 ± 4	136 ± 3	-
C3 t=0 (mg/l)	43 ± 3	BDL	-	-	-	-	1679 ± 4	BDL	BDL	-
C4 t=0 (mg/l)	BDL	BDL	-	-	-	-	254 ± 27	BDL	BDL	-
C5 t=0 (mg/l)	BDL	BDL	-	-	-	-	465 ± 30	BDL	BDL	-
Temperatuur in mestilo (oC)	6,9	10,2	-	-	-	-	15,9	15,6	8,4	-
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	192 ± 2	213 ± 32	-	-	-	-	267 ± 1	224 ± 26	236 ± 7	-
Biogas (Nm3/ton)	12 ± 0	13 ± 2	-	-	-	-	21 ± 0	14 ± 2	15 ± 0	-
Methaan (%)	62%	61%	-	-	-	-	64%	61%	60%	-
Methaan (Nl/kg OS)	119	130	-	-	-	-	171	137	142	-
Methaan (Nm3/ton)	7,6	7,8	-	-	-	-	13,6	8,7	8,8	-
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,09	0,09	-	-	-	-	0,13	0,09	0,10	-
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	-	-	-	-	17	15	9	-
pH (-)	7,7	7,9	-	-	-	-	7,5	7,7	7,8	-
VVZ t=30 (mg CZV/l)	126 ± 17	180 ± 30	-	-	-	-	814 ± 12	108 ± 3	144 ± 2	-
Biogas (Nl/kg OS)	15 ± 0,6	17 ± 0	-	-	-	-	79 ± 1	29 ± 1	15 ± 4	-
Biogas (Nm3/ton)	1,0	1,0	-	-	-	-	6,3	1,9	0,9	-
Methaan (%)	50%	50%	-	-	-	-	65%	60%	49%	-
Methaan (Nl/kg OS)	8	9	-	-	-	-	51	17	7	-
Methaan (Nm3/ton)	0,5	0,5	-	-	-	-	4,1	1,1	0,5	-
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,01	0,01	-	-	-	-	0,04	0,01	0,01	-
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	137	-	157	-	-	112,7	-	-	156,1	-
Organische stof (g/kg)	83,6	-	108	-	-	87,1	-	-	89,7	-
Organische stof (% van drogestof)	60%	-	81%	-	-	77%	-	-	57%	-
pH (-)	7,7	-	8,1	-	-	7,5	-	-	7,6	-
VVZ (mg CZV/l)	1328 ± 3	-	529 ± 2	-	-	491 ± 3	-	-	89 ± 1	-
C2 (mg/l)	1023 ± 1	-	496 ± 2	-	-	419 ± 2	-	-	84 ± 1	-
C3 (mg/l)	156 ± 3	-	BDL	-	-	29 ± 1	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	BDL	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	BDL	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	3,1	-	-	67,5	-	-	5,4	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	3,3	-	-	66,5	-	-	5,5	-
CH4 in biogas (%)	-	-	47%	-	-	85%	-	-	56%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	11,4	-	7,4	-	-	N/A	-	-	19,7	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	13,2	-	7,9	-	-	N/A	-	-	18,4	-
CH4 in biogas (%)	65%	-	66%	-	-	N/A	-	-	80%	-

BDL = Below detection limit

Tabel B.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilos B.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-jun	9-jul	13-aug	10-sep	15-okt	12-nov	10-dec
<u>Drogestof (g/kg)</u>										
Boven	86,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	87,8	89,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	85,9	87,7	-	-	-	-	107,3	90,1	87,7	-
<u>As (g/kg)</u>										
Boven	23,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	24,1	25,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	23,8	24,5	-	-	-	-	28,7	25,3	24,1	-
<u>Organische stof (g/kg)</u>										
Boven	62,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	63,7	63,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	62,1	63,2	-	-	-	-	78,6	64,8	63,6	-
<u>Organische stof (% ds)</u>										
Boven	72%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	73%	72%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	72%	72%	-	-	-	-	73%	72%	73%	-
<u>CZV (g/kg)</u>										
Boven	87,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	87,2	87,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	87,6	85,5	-	-	-	-	107,9	92,5	91,0	-
<u>OS/CZV (%)</u>										
Boven	71%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	73%	73%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	71%	74%	-	-	-	-	73%	70%	70%	-
<u>Totaal-P (g/kg)</u>										
Boven	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,64	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	0,61	0,63	-	-	-	-	0,69	0,54	0,60	-
<u>Totaal-P2O5 (g/kg)</u>										
Boven	1,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	1,46	1,44	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	1,40	1,44	-	-	-	-	1,58	1,23	1,38	-
<u>Totaal-N (g/kg)</u>										
Boven	4,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	4,30	4,23	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	4,21	4,19	-	-	-	-	4,61	4,25	4,13	-
<u>Ammonium-N (g/kg)</u>										
Boven	2,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	2,23	2,24	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	2,25	2,24	-	-	-	-	2,13	2,13	2,03	-
<u>Ammonium-N (% totaal-N)</u>										
Boven	52%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	52%	53%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	53%	53%	-	-	-	-	46%	50%	49%	-
<u>ORP</u>										
Boven (mV)	-355	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (mV)	-313	-364	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (mV)	-334	-345	-	-	-	-	-337	-344	-350	-
<u>pH</u>										
Boven (-)	7,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (-)	7,91	7,65	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (-)	7,93	7,74	-	-	-	-	7,54	7,73	7,84	-

Bijlage 4 Resultaten mestsilos C

Algemeen

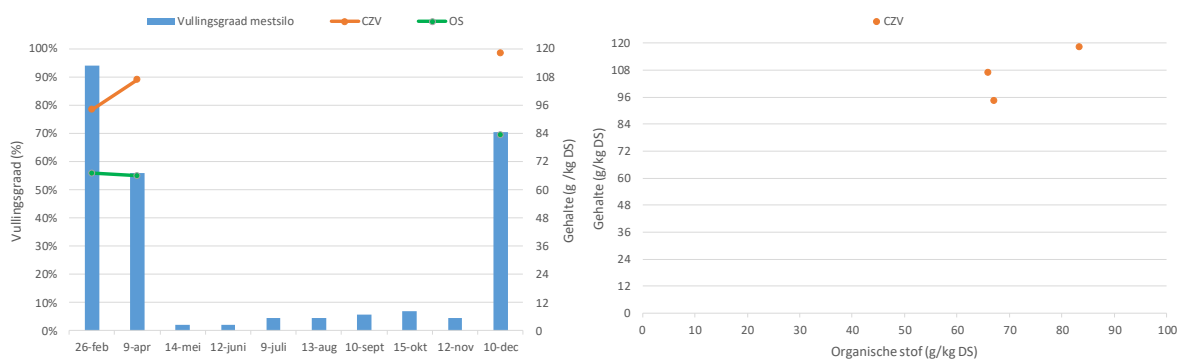
Mestsilo C stond op een melkveebedrijf waar zowel melkvee als jongvee aanwezig was. De koeien waren gehuisvest op een traditionele roostervloer en een deel van het jongvee op een grupstal. Er werd beweiding toegepast. De melkkoeien werden gemolken in een melkstal. Het spoelwater van de meststal en de melktank kwamen in de mestkelder terecht. Het rantsoen bestond uit gras, mais en mengvoer.

Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. De mestsilo wordt in twee keer gevuld. De eerste keer begin december en de tweede keer begin februari. Elke drie weken wordt de mestsilo gemixt, omdat anders de mest niet meer goed te mixen is. In april wordt de mestsilo deels leeggereden op het maisland en de rest wordt na de eerste snede op het grasland uitgereden waarna de mestsilo leeg staat tot aan de volgende winterperiode.

De mestsilo was een zwart flexobassin met LPDE binnenhoes en een zwart drijfdek. Het drijfdek had drijvers en een slurf langs de zijkant van de mestsilo. De hoogte van de mestsilo was 4,1 meter (waarvan 0,50 meter onder het maaiveld) en de diameter bedroeg 12,9 m. Het volume was 535 m³. In het drijfdek zat een mixergat van circa 1 bij 1,2 meter.

Resultaten

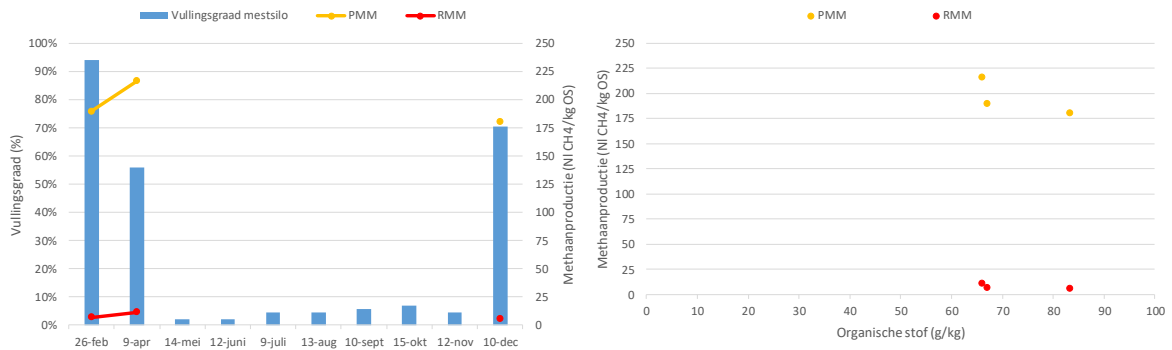
In figuur C.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur C.1 Vullingsgraad van mestsilo C, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en het organische stofgehalte (rechts).

De mestsilo was bij aanvang voor ruim 90% gevuld en is in het voorjaar in meerdere keren leeggereden, waarna de mestsilo zo goed als leeg was tot aan december. Er lijkt een relatie tussen het CZV en het OS-gehalte te zijn, maar het aantal monsters was met drie monsters zeer beperkt. In het begin van het jaar stijgt het CZV-gehalte, maar blijft het OS-gehalte vrijwel gelijk. Onduidelijk is waarom het CZV-gehalte is toegenomen, terwijl het OS-gehalte gelijk is gebleven. Bij het opnieuw vullen van de mestsilo in het december werden het hoogste CZV- en OS-gehalte gemeten.

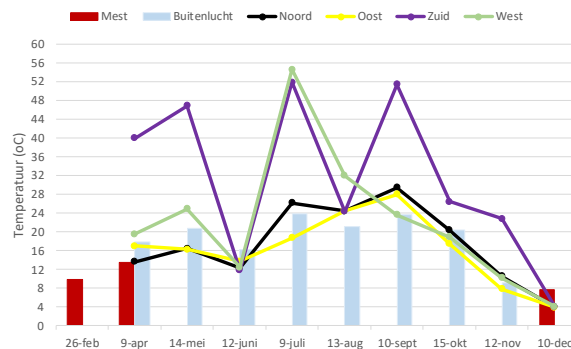
In figuur C.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur C.2 Vullingsgraad van mestsilos C, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

In het begin van het jaar stijgen de PMM en RMM. Ondanks het hogere CZV- en OS-gehalte in december is de PMM dan niet de hoogst gemeten waarde in het jaar. De RMM blijkt in december het laagst van alle drie de metingen te zijn. Zowel de PMM als de RMM lijken niet te stijgen als het organische stofgehalte toeneemt, maar het aantal monsters was met drie monsters zeer beperkt.

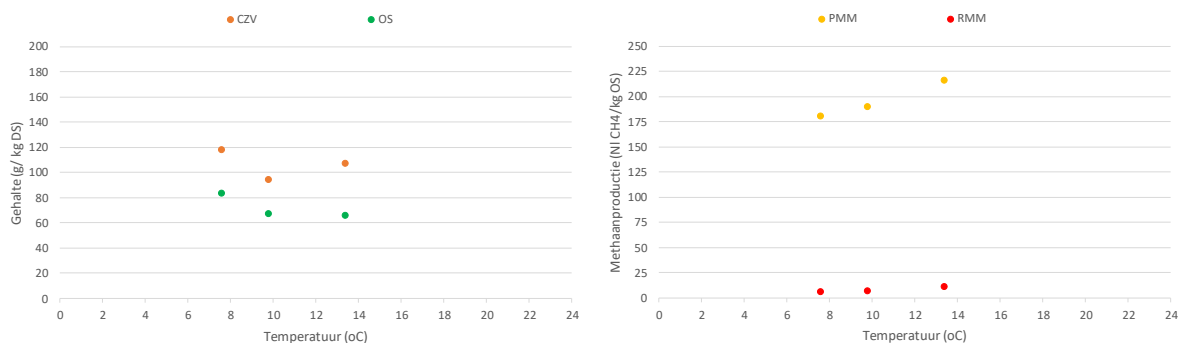
In figuur C.3 staat de gemeten temperatuur van de mestsilos op de meetdagen weergegeven. Op alle meetdagen hebben de metingen halverwege de middag plaatsgevonden (tussen 14:30 en 16:00).



Figuur C.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van mestsilos C.

Er was alleen mest aanwezig in de mestsilos tijdens de winterperiode. Hierdoor waren de mesttemperaturen laag. De wandtemperaturen verschilde sterk van elkaar, want mede zal veroorzaakt zijn doordat de metingen halverwege de middag plaatsvonden en de zwarte kleur van de wand. Op 12 juni en 13 augustus was het regenachtig tijdens de metingen en lagen de wandtemperaturen dicht bij elkaar. In oktober, november en december was het (half) bewolkt en verschilde de wandtemperaturen ook niet heel veel van elkaar. Op de overige meetdagen was het zonnig en die op momenten worden grote temperatuurverschillen waargenomen.

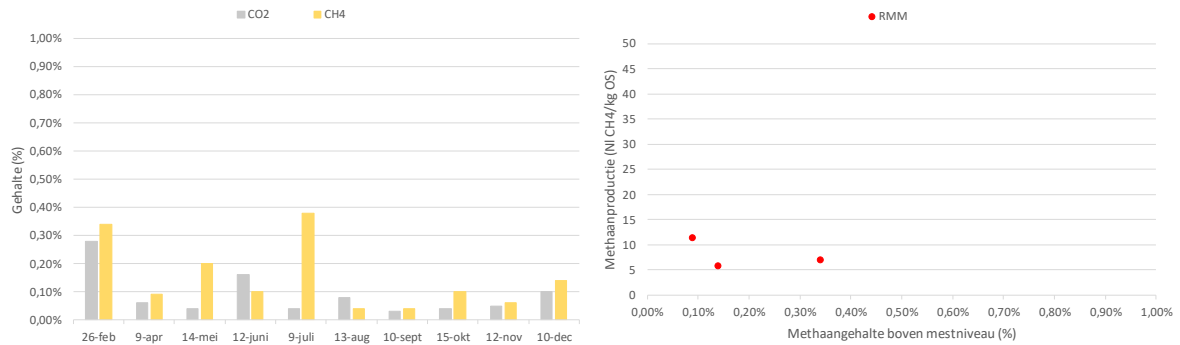
In figuur C.4 staan de relaties tussen CZV- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur C.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilos C.

Er lijkt bij geen relatie tussen de mesttemperatuur en het CVZ- en OS-gehalte te zijn, maar het aantal monsters was zeer beperkt. Er lijkt sprake te zijn van een hogere PMM en RMM bij een hogere temperatuur, maar het aantal meetdagen was daarentegen beperkt.

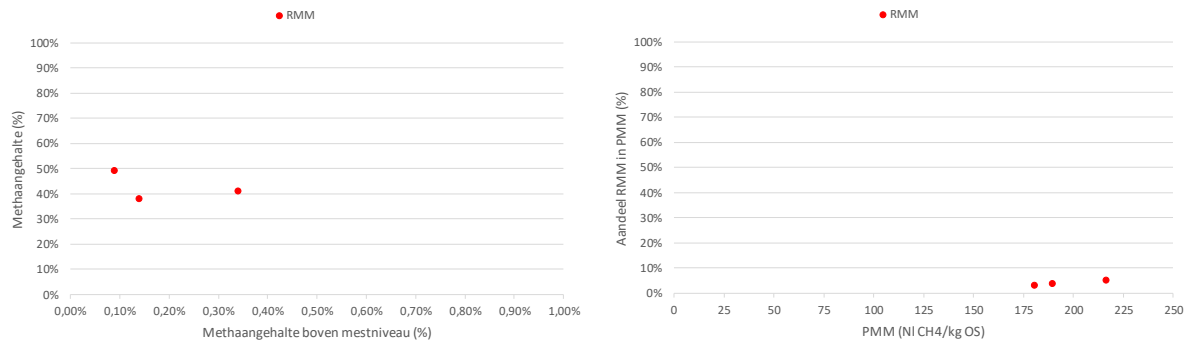
In figuur C.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de meststilo en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur C.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monsternamen (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van meststilo C.

Er is geen duidelijke periode geweest waarin het CO₂- en/of CH₄-gehalte boven het mestniveau het laagst of het hoogst was. Vanwege het beperkte aantal monsters valt er geen relatie te leggen tussen het methaangehalte boven het mestniveau en de RMM.

In figuur C.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur C.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van meststilo C.

Zowel de RMM als het aandeel van de RMM in de PMM lijken toe te nemen met een hogere PMM. Vanwege het zeer beperkte aantal monsters is het onduidelijk of bij deze meststilo daadwerkelijk sprake is van een relatie tussen de RMM en PMM. Het aandeel van de RMM lag tussen de 3 en 5% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 195 NI CH₄/kg OS, en de RMM 8 NI CH₄/kg OS wat 4% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de meststilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 193 NI CH₄/kg OS, en de RMM 8 NI CH₄/kg OS wat 4% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen C.1 en C.2 staan de analyseresultaten van meststilo C weergegeven.

Tabel C.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mestilo C.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-juni	9-juli	13-aug	10-sept	15-okt	12-nov	10-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	82,3	83,9	-	-	-	-	-	-	-	103,6
Organische stof (g/kg)	67,1	66,0	-	-	-	-	-	-	-	83,3
Organische stof (% van drogestof)	79%	79%	-	-	-	-	-	-	-	80%
CZV (g/kg)	94,2	106,7	-	-	-	-	-	-	-	118,1
pH (-)	7,1	7,2	-	-	-	-	-	-	-	7,0
ORP (mV)	-	-328	-	-	-	-	-	-	-	-334
VVZ t=0 (mg CZV/l)	1522 ± 423	11071 ± 79	-	-	-	-	-	-	-	-1737 ± 610
C2 t=0 (mg/l)	6182 ± 198	6219 ± 304	-	-	-	-	-	-	-	-6216 ± 300
C3 t=0 (mg/l)	2168 ± 92	2258 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-2020 ± 94
C4 t=0 (mg/l)	507 ± 16	291 ± 0	-	-	-	-	-	-	-	-651 ± 30
C5 t=0 (mg/l)	355 ± 30	369 ± 7	-	-	-	-	-	-	-	-424 ± 17
Temperatuur in mestilo (oC)	9,8	13,4	-	-	-	-	-	-	-	7,6
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	287 ± 0	338 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	278 ± 17
Biogas (Nm3/ton)	19 ± 0	22 ± 1	-	-	-	-	-	-	-	23 ± 1
Methaan (%)	66%	64%	-	-	-	-	-	-	-	65%
Methaan (Nl/kg OS)	189	216	-	-	-	-	-	-	-	181
Methaan (Nm3/ton)	12,7	14,3	-	-	-	-	-	-	-	15,1
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,13	0,13	-	-	-	-	-	-	-	0,13
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	-	-	-	-	-	-	-	8
pH (-)	7,1	7,6	-	-	-	-	-	-	-	7,3
VVZ t=30 (mg CZV/l)	11189 ± 67	10635 ± 32	-	-	-	-	-	-	-	-11213 ± 75
Biogas (Nl/kg OS)	17 ± 0,3	23 ± 1	-	-	-	-	-	-	-	15 ± 0,1
Biogas (Nm3/ton)	1,1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	1,2
Methaan (%)	41%	49%	-	-	-	-	-	-	-	38%
Methaan (Nl/kg OS)	7	11	-	-	-	-	-	-	-	6
Methaan (Nm3/ton)	0,5	0,7	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,00	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,00
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	100	-	135	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof (g/kg)	77,1	-	110	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof (% van drogestof)	77%	-	81%	-	-	-	-	-	-	-
pH (-)	7,3	-	7,9	-	-	-	-	-	-	-
VVZ (mg CZV/l)	0358 ± 339	-	6400 ± 80	-	-	-	-	-	-	-
C2 (mg/l)	5642 ± 222	-	2931 ± 37	-	-	-	-	-	-	-
C3 (mg/l)	1886 ± 29	-	1595 ± 15	-	-	-	-	-	-	-
C4 (mg/l)	452 ± 17	-	171 ± 4	-	-	-	-	-	-	-
C5 (mg/l)	325 ± 19	-	269 ± 5	-	-	-	-	-	-	-
MA-test										
Dag			dag 4-7							
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
CH4 in biogas (%)	-	-	0%	-	-	-	-	-	-	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14							
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	24,4	-	7,4	-	-	-	-	-	-	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	21,9	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-
CH4 in biogas (%)	66%	-	51%	-	-	-	-	-	-	-

BDL = Below detection limit

Tabel C.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilos C.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-jun	9-jul	13-aug	10-sep	15-okt	12-nov	10-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	84,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	84,5	88,3	-	-	-	-	-	-	-	101,9
Onder	83,3	90,0	-	-	-	-	-	-	-	100,1
As (g/kg)										
Boven	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	18,1	20,0	-	-	-	-	-	-	-	21,7
Onder	18,1	21,0	-	-	-	-	-	-	-	21,2
Organische stof										
Boven	65,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	66,3	68,3	-	-	-	-	-	-	-	80,2
Onder	65,2	69,0	-	-	-	-	-	-	-	78,9
Organische stof (%ds)										
Boven	77%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	79%	77%	-	-	-	-	-	-	-	79%
Onder	78%	77%	-	-	-	-	-	-	-	79%
CZV (g/kg)										
Boven	96,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	89,4	107,0	-	-	-	-	-	-	-	122,2
Onder	97,2	106,5	-	-	-	-	-	-	-	114,1
OS/CZV (%)										
Boven	68%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	74%	64%	-	-	-	-	-	-	-	66%
Onder	67%	65%	-	-	-	-	-	-	-	69%
Totaal-P (g/kg)										
Boven	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,52	0,72	-	-	-	-	-	-	-	0,66
Onder	0,46	0,74	-	-	-	-	-	-	-	0,60
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	1,19	1,65	-	-	-	-	-	-	-	1,52
Onder	1,06	1,68	-	-	-	-	-	-	-	1,38
Totaal-N (g/kg)										
Boven	4,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	4,16	4,64	-	-	-	-	-	-	-	4,25
Onder	4,00	4,60	-	-	-	-	-	-	-	4,27
Ammonium (g/kg)										
Boven	2,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	2,06	2,03	-	-	-	-	-	-	-	1,77
Onder	2,08	2,06	-	-	-	-	-	-	-	1,93
Ammonium (% totaal-N)										
Boven	48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	49%	44%	-	-	-	-	-	-	-	42%
Onder	52%	45%	-	-	-	-	-	-	-	45%
ORP										
Boven (mV)	-298	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (mV)	-303	-314	-	-	-	-	-	-	-	-307
Onder (mV)	-310	-320	-	-	-	-	-	-	-	-323
pH										
Boven (-)	7,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (-)	7,13	7,07	-	-	-	-	-	-	-	7,53
Onder (-)	7,14	7,19	-	-	-	-	-	-	-	7,30

Bijlage 5 Resultaten mestsilos D

Algemeen

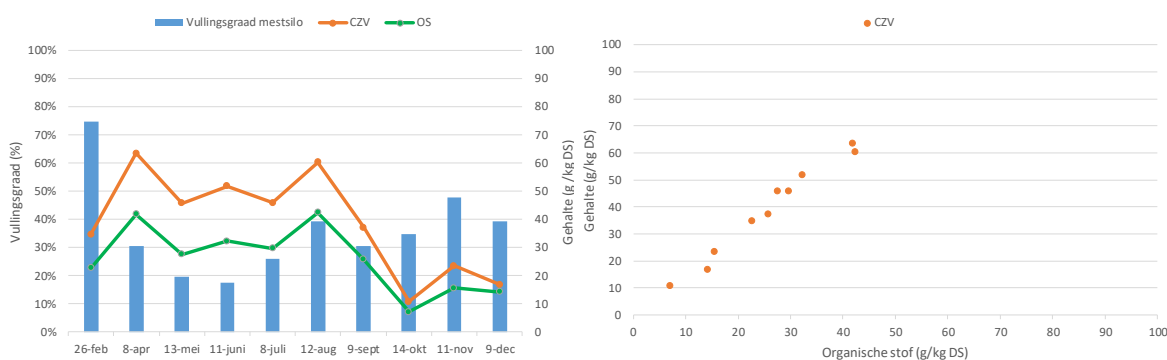
Mestsilo D stond op een akkerbouwbedrijf waar rundveemest van een biologisch melkveebedrijf in kwam. De mest werd aangevoerd via een loonbedrijf.

Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de akkerbouwer jaarlijks min of meer hetzelfde. De mestsilo wordt in de periode januari-maart volgereden en daarna in het voorjaar uitgereden. In de zomerperiode komt er opnieuw mest in die aan het eind van de uitrijperiode op het land wordt uitgereden. De mestsilo wordt voor het uitrijden gemixt door de loonwerker.

De mestsilo was een grijze betonnen silo met een grijs kunststof dekzeil. De hoogte van de mestsilo was circa 2,30 meter en de diameter bedroeg circa 20 m. Het volume was circa 720 m³. In het drijfdek zat een mixergat van circa 1 bij 1 meter.

Resultaten

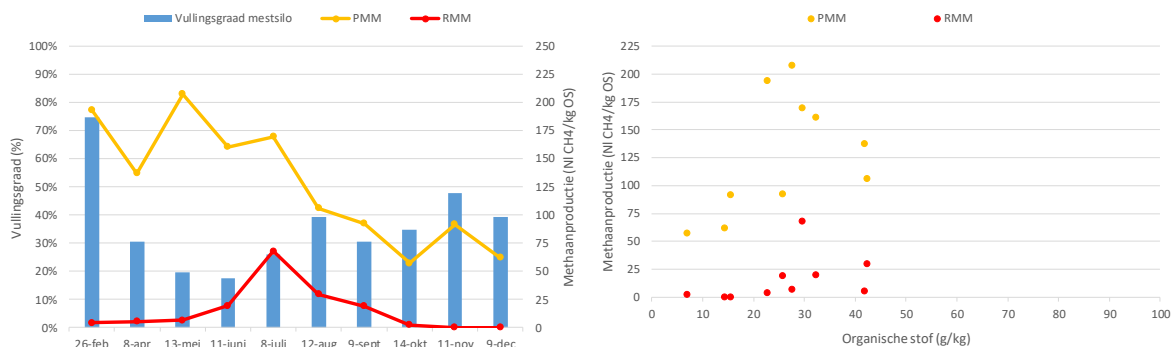
In figuur D.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur D.1 Vullingsgraad van mestsilo D, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en organische stofgehalte (rechts).

De mestsilo was tijdens de meetdagen nooit geheel gevuld of geheel leeg. Tot en met augustus waren het CZV en OS-gehalte redelijk constant, maar daarna dalen de gehalten naar een (zeer) laag niveau. De zeer lage gehalten zijn mogelijk veroorzaakt door regenval in de silo. De relatie tussen het CZV en OS-gehalte was vrij constant, ook bij lage organische stofgehalten bleef de relatie behoorlijk constant.

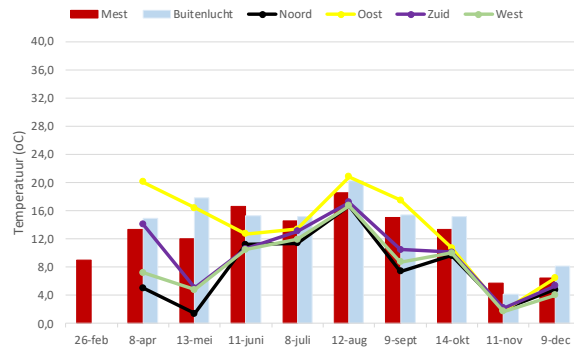
In figuur D.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur D.2 Vullingsgraad van mestsilo D, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

In de eerste helft van het jaar is de PMM het hoogst waarna het begint te dalen tot aan oktober waar het op een vrij laag niveau blijft zitten. De RMM vertoont daarentegen een heel ander patroon. In het begin van het jaar is de productie heel laag, waarna het langzaam toeneemt en piekt in de zomer waarna het afneemt en daalt naar nul. De PMM vertoont een grote variatie in relatie tot het OS-gehalte. Het lijkt in eerste instantie toe te nemen met een hogere OS-gehalte waarna het weer lijkt af te nemen, maar de spreiding is groot. Bij de RMM is de spreiding minder groot. De RMM lijkt wat toe te nemen met een toenemend organisch stofgehalte.

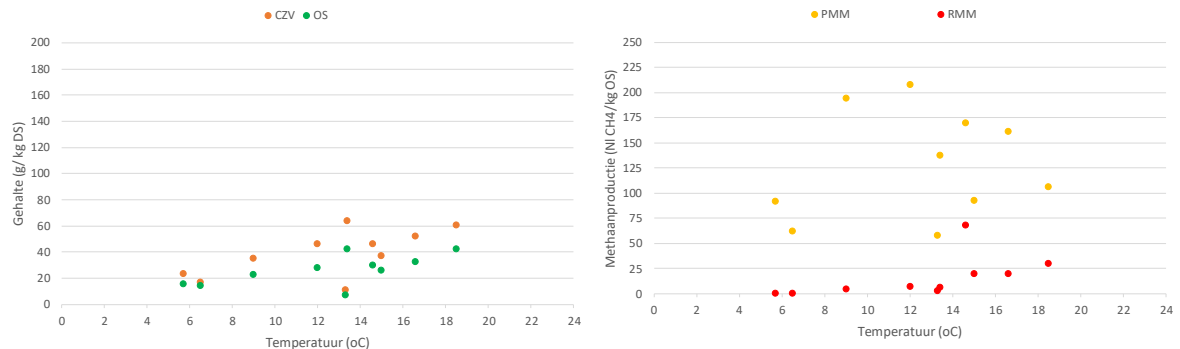
In figuur D.3 staat de gemeten temperatuur van de meststilo op de meetdagen weergegeven. Op alle meetdagen hebben de metingen halverwege de ochtend plaatsgevonden (tussen 9:10 en 10:30).



Figuur D.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van meststilo D.

Zowel de mesttemperatuur als de buitentemperatuur laten een constant patroon zien. Aan het begin van het jaar is de temperatuur laag en neemt richting de zomermaanden toe waarna het afneemt richting de winter. Bij de wandtemperaturen is er een beperkte variatie te zien. Dit zal mede veroorzaakt zijn doordat de metingen halverwege de ochtend hebben plaatsgevonden en dus relatief weinig tijd was voor de zon om het beton op te warmen, en daarbij heeft beton een grotere warmtecapaciteit in vergelijking tot ijzer of kunststof.

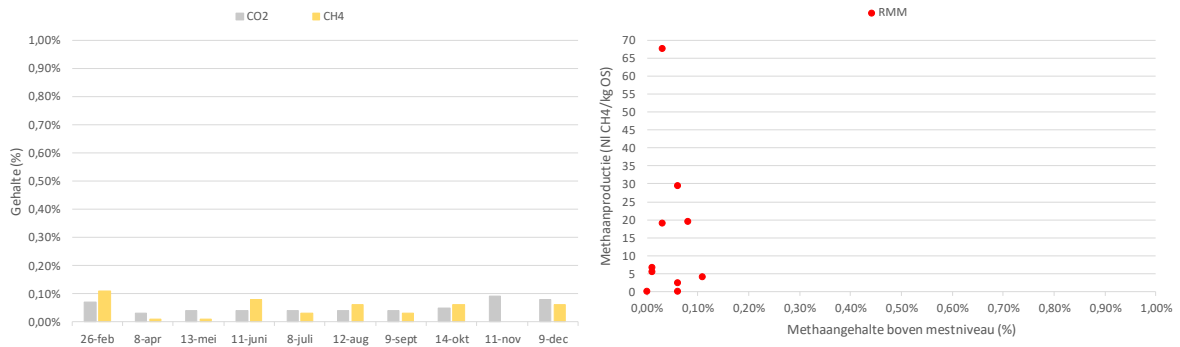
In figuur D.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur D.4 De relatie tussen het CVZ- en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van meststilo D.

Er is een vrij grote spreiding in het CVZ- en OS-gehalte. Er lijkt sprake te zijn van een verband tussen het CVZ- en OS-gehalte en de mesttemperatuur. De PMM vertoonde een grote variatie met temperatuur, waarbij er geen sprake lijkt van een verband met de mesttemperatuur. Bij de RMM lijkt er wel een verband te zijn met de mesttemperatuur, hoe hoger de temperatuur hoe hoger de RMM.

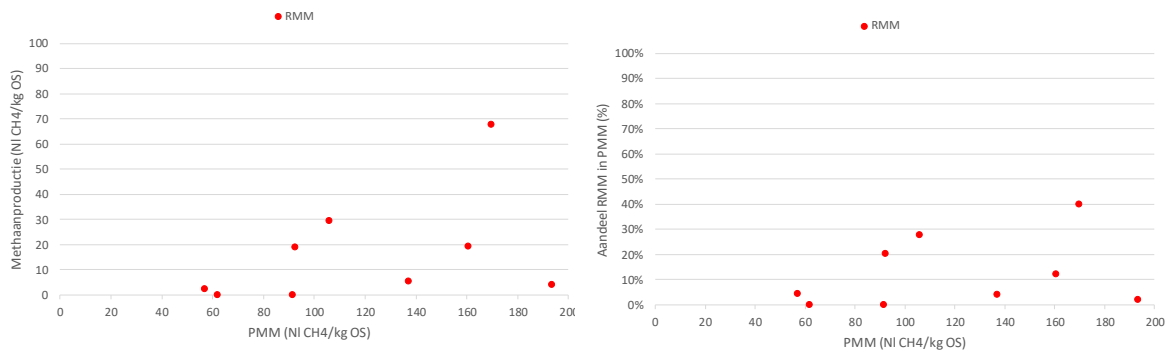
In figuur D.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de meststilo en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur D.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van mestlo D.

Er is geen duidelijke periode waarin het CO₂- en/of CH₄-gehalte boven mestniveau het laagst of het hoogst was. Over het gehele jaar bleven op bijna alle meetdagen de gehalten onder de 0,10%. Er was geen verband tussen het CH₄-gehalte boven het mestniveau en de RMM.

In figuur D.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur D.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van mestlo D.

Bij zowel de RMM als het aandeel van de RMM in de PMM lijkt er geen sprake te zijn van een verband met de PMM. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde sterk, van 0 tot 40% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 128 NI CH₄/kg OS, en de RMM 15 NI CH₄/kg OS wat 12% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de mestlo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 127 NI CH₄/kg OS, en de RMM 13 NI CH₄/kg OS wat 10% van de PMM is.

Analysesresultaten

In tabellen D.1 en D.2 staan de analysesresultaten van mestlo D weergegeven.

Tabel D.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mestilo D.

Datum	26-feb	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	33,7	58,4	41,2	46,0	42,9	59,8	37,6	11,3	23,6	21,5
Organische stof (g/kg)	22,7	41,8	27,6	32,3	29,7	42,4	25,7	7,04	15,6	14,3
Organische stof (% van drogestof)	67%	72%	67%	70%	69%	71%	68%	62%	66%	66%
CZV (g/kg)	34,7	63,5	45,8	51,8	45,8	60,3	37,1	10,8	23,4	16,8
pH (-)	7,3	7,2	7,2	7,2	7,3	7,6	7,5	7,5	7,4	7,4
ORP (mV)	-	-320	-332	-330	-332	-342	-300	-261	-281	-279
VVZ t=0 (mg CZV/l)	4430 ± 7	6738 ± 87	5597 ± 3	6059 ± 95	5014 ± 347	1251 ± 17	77 ± 1	27 ± 0	27 ± 2	27 ± 2
C2 t=0 (mg/l)	2912 ± 2	4077 ± 61	3440 ± 8	3563 ± 58	3129 ± 36	840 ± 3	73 ± 1	25 ± 0	26 ± 2	25 ± 2
C3 t=0 (mg/l)	720 ± 4	1103 ± 13	924 ± 2	1007 ± 14	919 ± 16	93 ± 4	BDL	BDL	BDL	BDL
C4 t=0 (mg/l)	BDL	208 ± 1	115 ± 2	210 ± 14	60 ± 60	19 ± 1	BDL	BDL	BDL	BDL
C5 t=0 (mg/l)	114 ± 1	167 ± 0	157 ± 1	173 ± 3	86 ± 86	88 ± 3	BDL	BDL	BDL	BDL
Temperatuur in mestilo (oC)	9,0	13,4	12,0	16,6	14,6	18,5	15,0	13,3	5,7	6,5
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	293 ± 3	± 78 (289)	314 ± 14	247 ± 1	257 ± 0	171 ± 2	149 ± 12	100 ± 6	158 ± 8	105 ± 9
Biogas (Nm3/ton)	7 ± 0	9 ± 3 (12)	9 ± 0	8 ± 8	8 ± 0	7 ± 0	4 ± 0	1 ± 0	2 ± 0	1 ± 0
Methaan (%)	66%	65%	66%	65%	66%	62%	62%	57%	58%	59%
Methaan (Nl/kg OS)	193	137	207	161	170	106	92	57	92	62
Methaan (Nm3/ton)	4,4	5,7	5,7	5,2	5,0	4,5	2,4	0,4	1,4	0,9
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,13	0,09	0,12	0,10	0,11	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	20	19	17	15	9	8
pH (-)	7,3	7,5	7,7	7,5	7,7	7,7	7,7	7,9	7,9	7,9
VVZ t=30 (mg CZV/l)	5378 ± 32	7573 ± 85	6181 ± 22	5917 ± 86	1496 ± 13	100 ± 4	47 ± 5	20 ± 0	23 ± 3	0 ± 0
Biogas (Nl/kg OS)	20 ± 0,4	21 ± 1	21 ± 1	36 ± 0	98 ± 1	49 ± 1	37 ± 1	15 ± 1	9 ± 0	8 ± 1
Biogas (Nm3/ton)	0,5	0,9	0,6	1,2	2,9	2,1	1,0	0,1	0,1	0,1
Methaan (%)	20%	26%	31%	54%	69%	60%	51%	16%	0%	0%
Methaan (Nl/kg OS)	4	5	7	19	68	29	19	2	0	0
Methaan (Nm3/ton)	0,1	0,2	0,2	0,6	2,0	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	57,8	-	171	-	-	79,2	-	-	48,1	-
Organische stof (g/kg)	40,5	-	123	-	-	56,2	-	-	33,6	-
Organische stof (% van drogestof)	70%	-	72%	-	-	71%	-	-	70%	-
pH (-)	7,3	-	7,7	-	-	7,6	-	-	7,5	-
VVZ (mg CZV/l)	5568 ± 199	-	3178 ± 52	-	-	1018 ± 12	-	-	40 ± 1	-
C2 (mg/l)	3840 ± 127	-	2164 ± 20	-	-	724 ± 11	-	-	38 ± 1	-
C3 (mg/l)	972 ± 42	-	337 ± 10	-	-	53 ± 1	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	BDL	-	76 ± 3	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	BDL	-	109 ± 6	-	-	81 ± 1	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-17			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	5,4	-	-	16,5	-	-	6,8	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	4,7	-	-	16,3	-	-	6,0	-
CH4 in biogas (%)	-	-	46%	-	-	65%	-	-	52%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	65,4	-	33,2	-	-	31,4	-	-	17,1	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	68,5	-	45,7	-	-	33,9	-	-	15,1	-
CH4 in biogas (%)	79%	-	83%	-	-	82%	-	-	78%	-

BDL = Below detection limit

Tabel D.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van meststro D.

Datum	26-feb	8-apr	13-mei	11-jun	8-jul	12-aug	9-sep	14-okt	11-nov	9-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	35,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	33,1	61,2	-	-	-	-	-	-	-	12,0
Onder	30,9	59,1	42,3	45,4	42,8	62,4	38,7	11,7	24,2	24,4
As (g/kg)										
Boven	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	11,3	17,8	-	-	-	-	-	-	-	5,1
Onder	10,6	17,1	14,0	14,0	13,9	19,7	12,8	4,4	8,2	8,4
Organische stof										
Boven	24,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	21,8	43,5	-	-	-	-	-	-	-	6,9
Onder	20,3	42,0	28,2	31,4	28,8	42,7	25,9	7,2	16,0	16,0
Organische stof (% ds)										
Boven	67%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	66%	71%	-	-	-	-	-	-	-	58%
Onder	66%	71%	67%	69%	67%	68%	67%	62%	66%	65%
CZV (g/kg)										
Boven	36,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	35,6	62,3	-	-	-	-	-	-	-	10,0
Onder	31,8	64,6	45,8	51,8	45,8	60,3	37,1	10,8	23,4	23,7
OS/CZV (%)										
Boven	65%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	61%	70%	-	-	-	-	-	-	-	69%
Onder	64%	65%	62%	61%	63%	71%	70%	67%	68%	68%
Totaal-P (g/kg)										
Boven	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,24	0,47	-	-	-	-	-	-	-	0,09
Onder	0,21	0,46	0,34	0,37	0,34	0,52	0,34	0,09	0,20	0,20
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,54	1,08	-	-	-	-	-	-	-	0,20
Onder	0,49	1,06	0,79	0,85	0,78	1,19	0,78	0,20	0,46	0,46
Totaal-N (g/kg)										
Boven	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	2,12	3,26	-	-	-	-	-	-	-	1,02
Onder	1,96	3,18	2,61	2,65	2,67	3,11	2,36	0,92	1,55	1,62
Ammonium-N (g/kg)										
Boven	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	1,19	1,75	-	-	-	-	-	-	-	0,68
Onder	1,10	1,77	1,40	1,49	1,56	1,72	1,35	0,69	0,97	0,98
Ammonium-N (% totaal-N)										
Boven	55%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	56%	54%	-	-	-	-	-	-	-	67%
Onder	56%	56%	54%	56%	58%	55%	57%	75%	62%	61%
ORP										
Boven (mV)	-293	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (mV)	-296	-310	-	-	-	-	-	-	-	-257
Onder (mV)	-276	-330	-332	-330	-312	-350	-295	-246	-278	-289
pH										
Boven (-)	7,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (-)	7,20	6,99	-	-	-	-	-	-	-	7,34
Onder (-)	7,20	6,93	7,1	7,17	7,37	7,60	7,56	7,32	7,46	7,39

Bijlage 6 Resultaten mestsilos E

Algemeen

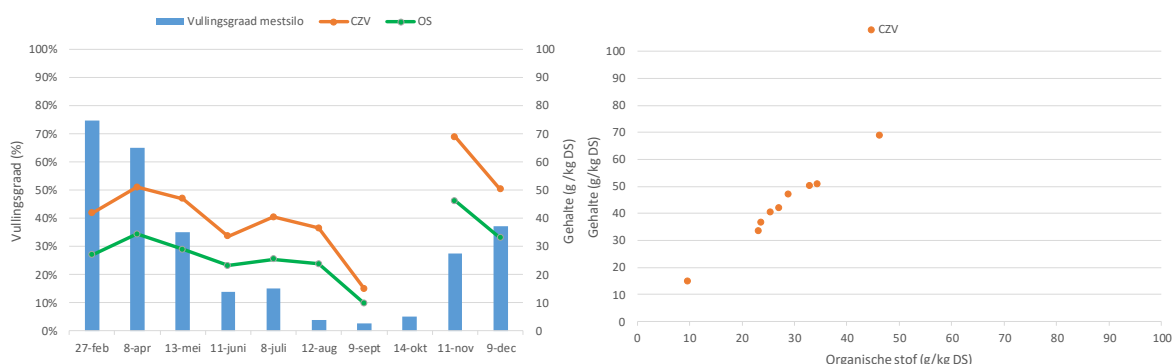
Mestsilo E stond op een gemengd bedrijf met melkkoeien, jongvee, zoogkoeien en vleesvarkens. Het rantsoen van de melkkoeien bestond uit gras en mais aangevuld met soja en mengvoer. Het rantsoen van het jongvee en de zoogkoeien bestond uit gras aangevuld met wat mengvoer. De vleesvarkens kregen alleen mengvoer.

Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. In oktober/november gaat de eerste mest vanuit de stallen naar de silo toe. Gedurende de wintermaanden wordt als putten vol zijn, mest overgepompt naar de mestsilo. Tijdens het uitrijseizoen wordt telkens eerst de putten leeg gereden en daarna de mestsilo. Eind augustus is de silo leeg. De mestsilo wordt voor het uitrijden gemixt.

De mestsilo is een bruinzwarte houten silo met een zwart kunststof drijfdek. De hoogte van de mestsilo bedraagt 4,0 m en de diameter 15,0 meter. Het volume was 707 m³. De bodem van de mestsilo heeft de vorm van een trechter met een inhoud van circa 50 m³ welke voor het grootste deel gevuld is met een bezinklaag. Er is een mixergat aanwezig van circa 1 bij 2 meter.

Resultaten

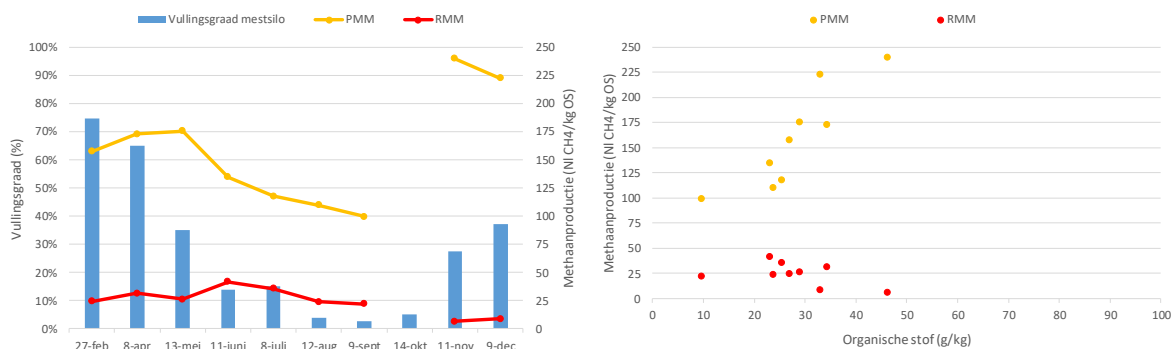
Volgens de veehouder zijn de gehalten in de mest niet zo hoog, omdat alle regenwater wat op het drijfdek valt ook in de mest terechtkomt. In figuur E.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organisch stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur E.1 Vullingsgraad van mestsilo E, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en organische stofgehalte (rechts).

De mestvoorraad in de mestsilo nam gedurende het voorjaar af. In augustus en september was de mestsilo bijna leeg, maar kon er nog wel een mestmonster genomen worden. In oktober was dit niet meer het geval. Dat in oktober de mestsilo voller lijkt dan de twee maanden kan veroorzaakt zijn door onnauwkeurigheid bij het meten van de hoogte van het mestniveau in de mestsilo. Het CZV- en OS-gehalte namen in het begin van het jaar iets toe en daalden dan geleidelijk tot aan het laagste punt in september. Bij het opnieuw vullen van de mestsilo in het najaar waren de CZV- en OS-gehalte het hoogst waarna ze vervolgens in december zijn gedaald. Het CZV- en OS-gehalte hielden gelijke trend gedurende het jaar. De relatie tussen het CZV- en OS-gehalte was constant, ook bij het lage organische stofgehalte bleef de relatie met het CZV-gehalte gelijk.

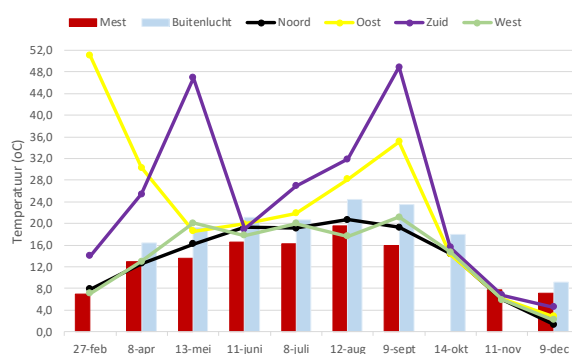
In figuur E.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur E.2 Vullingsgraad van meststilo E, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

Tijdens de eerste drie meetdagen lag de PMM op vrijwel hetzelfde niveau, waarna het begon te dalen tot aan september. Bij het opnieuw vullen van de meststilo werd de hoogste PMM gemeten die vervolgens weer lager was in december. De RMM vertoonde een ander patroon dan de PMM. Over de periode februari t/m september was de RMM vrij constant met een kleine piek in juni. Bij het opnieuw vullen van de meststilo was de RMM het laagst en steeg dan heel licht in december. De PMM was hoger bij hogere OS-gehalten. De RMM vertoonde daarentegen geen duidelijke relatie met het OS-gehalte. Het bleef redelijk constant rond de 25 NI CH₄/kg OS. De laagste RMM met het hoogste OS-gehalte was afkomstig van de meting in november waarbij de mest een temperatuur had van 7,8°C.

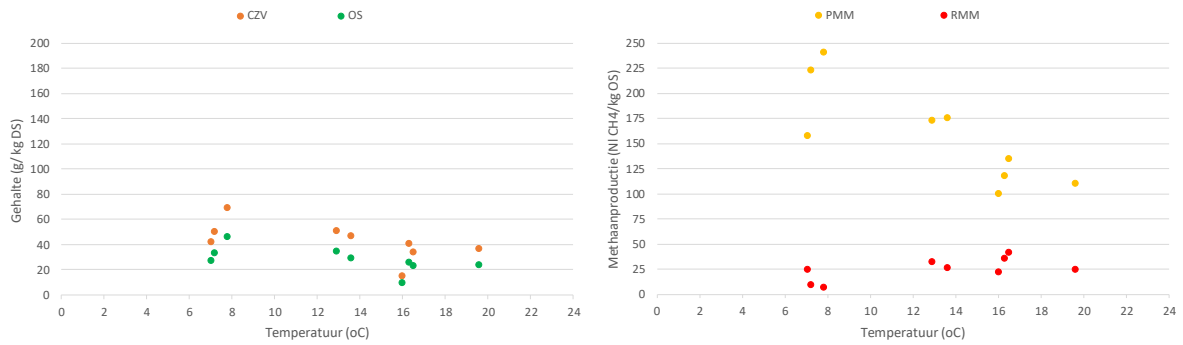
In figuur E.3 staat de gemeten temperatuur van de meststilo op de meetdagen weergegeven. Op de eerste meetdag vond de meting plaats om 10:10 en op de metingen op de overige meetdagen vond plaats in de eerste helft van de middag (tussen 12:15 en 15:00).



Figuur E.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van meststilo E.

Zowel de mesttemperatuur als de buitentemperatuur liet een constant patroon zien. Aan het begin van het jaar is de temperatuur laag en neemt toe richting de zomermaanden waarna het afneemt richting de winter. De wandtemperaturen lieten een grote variatie zien. Dit wordt veroorzaakt door het moment van de meting en bruin/zwarte kleur van de meststilo. Op de eerste meetdag was het zonnig en vond de meting plaats om 10:10 wat samenhang met beschijning van de zon op de oostkant van de meststilo die dan ook de hoogste meetwaarde had. Op 13 juni en 9 september werd gemeten tijdens zonnig, (bijna) onbewolkt weer aan het begin van de middag. De zon stond op de zuidkant te schijnen waardoor de hoogste temperatuur aan de zuidkant werd gemeten. Op de overige meetdagen was het minder mooi weer met bewolkter weer en/of regenachtig weer.

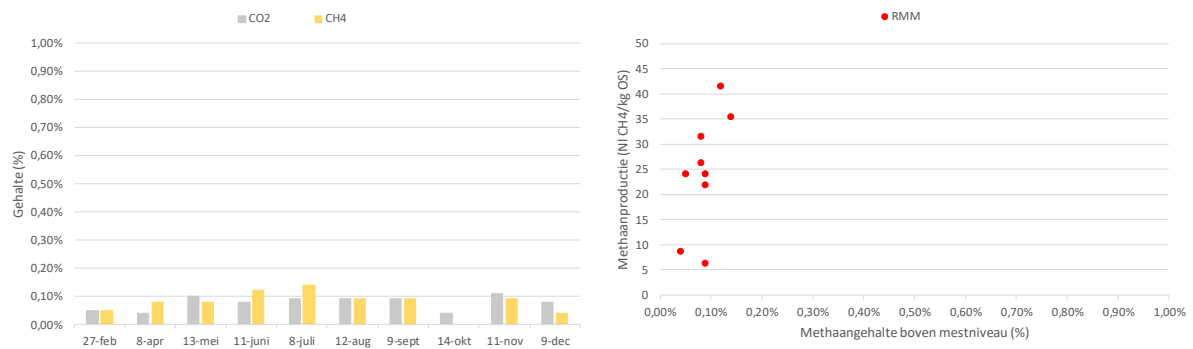
In figuur E.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur E.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilos E.

Het CZV- en OS-gehalte lijken een negatief verband te hebben met de temperatuur, bij toenemende temperaturen zijn de gehalten lager. De PMM vertoonde een redelijke variatie met de mesttemperatuur, en bij een toenemende mesttemperatuur nam de PMM af. Deze afname zal (deels) veroorzaakt zijn door emissie van koolstof in de vorm van CO₂ en CH₄. De RMM vertoonde daarentegen een ander patroon, bij toenemende temperatuur nam de RMM toe.

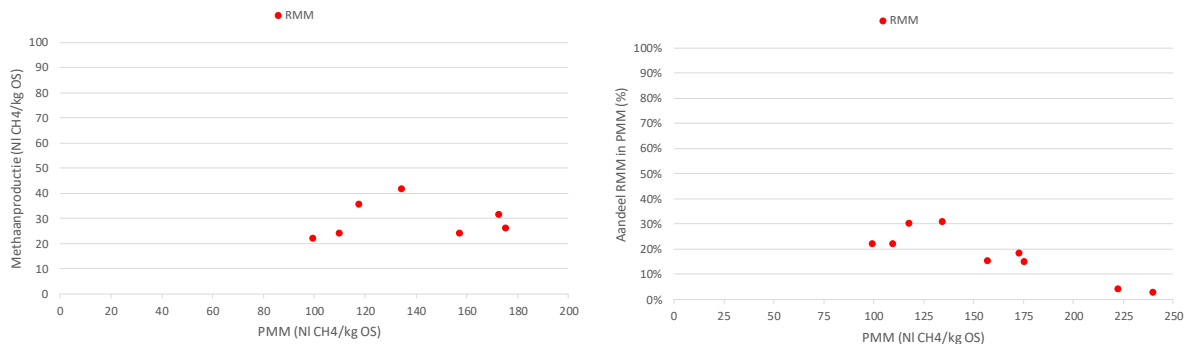
In figuur E.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de mestsilos en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur E.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van mestsilos E.

Er was geen duidelijke periode waarin het CO₂- en/of CH₄-gehalte boven mestniveau het laagst of het hoogst was. Over het gehele jaar bleven op bijna alle meetdagen de gehalten onder de 0,10%. Er lijkt sprake te zijn van een verband tussen het CH₄-gehalte boven het mestniveau en de RMM, waarbij een hogere CH₄-gehalte lijkt te duiden op een hogere RMM.

In figuur E.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur E.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van mestsilos E.

Er lijkt geen sprake te zijn van een verband tussen de RMM en de PMM. De RMM schommelde rond de 30 NI CH₄/kg OS. Het aandeel van de RMM in de PMM lijkt af te nemen bij een hogere PMM. Echter de

hogere PMM's werden gemeten in de koudere maanden van het jaar. In deze perioden waren de RMM het laagst. Er hier is dus sprake van een interactie met mesttemperatuur. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde van 3 tot 31% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 159 NI CH₄/kg OS, en de RMM 24 NI CH₄/kg OS wat 15% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de mestilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 176 NI CH₄/kg OS, en de RMM 24 NI CH₄/kg OS wat 13% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen E.1 en E.2 staan de analyseresultaten van mestilo weergegeven.

Tabel E.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mestilo E.

Datum	27-feb	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	38,8	48,5	41,7	34,6	39,3	36,5	14,1	-	59,4	43,3
Organische stof (g/kg)	27,0	34,4	28,9	23,1	25,5	23,7	9,7	-	46,2	33,0
Organische stof (% van drogestof)	70%	71%	69%	67%	65%	65%	68%	-	78%	76%
CZV (g/kg)	41,8	50,9	46,9	33,6	40,4	36,5	14,9	-	68,8	50,2
pH (-)	7,5	7,4	7,5	7,6	7,7	7,5	7,6	-	6,9	6,9
ORP (mV)	-	-337	-340	-369	-360	-321	-285	-	-287	-294
VVZ t=0 (mg CZV/l)	4701 ± 14	5844 ± 62	3715 ± 44	1053 ± 259	251 ± 6	29 ± 0	25 ± 2	-	8085 ± 36	5483 ± 136
C2 t=0 (mg/l)	3016 ± 23	3197 ± 35	1927 ± 24	745 ± 1	165 ± 5	27 ± 0	24 ± 1	-	4308 ± 27	3150 ± 78
C3 t=0 (mg/l)	980 ± 26	1173 ± 5	889 ± 11	336 ± 5	49 ± 1	BDL	BDL	-	1170 ± 14	849 ± 21
C4 t=0 (mg/l)	BDL	130 ± 3	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	-	667 ± 8	310 ± 9
C5 t=0 (mg/l)	BDL	207 ± 5	154 ± 0	BDL	BDL	BDL	BDL	-	248 ± 5	134 ± 2
Temperatuur in mestilo (oC)	7,0	12,9	13,6	16,5	16,3	19,6	16,0	-	7,8	7,2
PMM-test										
Biogas (NI/kg OS)	242 ± 0	270 ± 3	270 ± 5	207 ± 7	193 ± 1	183 ± 1	163 ± 14	-	375 ± 2	337 ± 6
Biogas (Nm3/ton)	7 ± 0	9 ± 0	8 ± 0	5 ± 0	5 ± 0	4 ± 0	2 ± 0	-	17 ± 0	11 ± 0
Methaan (%)	65%	64%	65%	65%	61%	60%	61%	-	64%	66%
Methaan (NI/kg OS)	157	173	176	135	118	110	99	-	240	222
Methaan (Nm3/ton)	4,2	5,9	5,1	3,1	3,0	2,6	1,0	-	11,1	7,3
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,10	0,12	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	-	0,16	0,15
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	20	19	17	-	9	8
pH (-)	7,5	7,6	7,8	7,7	7,8	7,8	7,7	-	7,0	7,2
VVZ t=30 (mg CZV/l)	4220 ± 146	3742 ± 312	2254 ± 48	30 ± 1	21 ± 0	19 ± 1	BDL	-	10004 ± 20	6640 ± 32
Biogas (NI/kg OS)	43 ± 1,3	50 ± 1	41 ± 6 (46)	64 ± 1	60 ± 1	48 ± 2	42 ± 3	-	25 ± 1	27 ± 0
Biogas (Nm3/ton)	1,2	1,7	1,2	1,5	1,5	1,1	0,4	-	1,2	0,9
Methaan (%)	56%	63%	64%	65%	59%	50%	52%	-	25%	32%
Methaan (NI/kg OS)	24	32	26	42	35	24	22	-	6	9
Methaan (Nm3/ton)	0,7	1,1	0,8	1,0	0,9	0,6	0,2	-	0,3	0,3
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	-	0,00	0,01
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	171	-	151	-	-	125,3	-	-	87,4	-
Organische stof (g/kg)	82,8	-	81,7	-	-	53,5	-	-	67,6	-
Organische stof (% van drogestof)	48%	-	54%	-	-	43%	-	-	77%	-
pH (-)	7,6	-	8,2	-	-	7,5	-	-	6,9	-
VVZ (mg CZV/l)	3424 ± 86	-	4366 ± 8	-	-	39 ± 4	-	-	8185 ± 24	-
C2 (mg/l)	2066 ± 40	-	2309 ± 3	-	-	37 ± 4	-	-	4428 ± 10	-
C3 (mg/l)	645 ± 28	-	923 ± 6	-	-	BDL	-	-	1198 ± 3	-
C4 (mg/l)	BDL	-	77 ± 1	-	-	BDL	-	-	707 ± 4	-
C5 (mg/l)	120 ± 0	-	180 ± 0	-	-	BDL	-	-	178 ± 1	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	4,1	-	-	6,2	-	-	3,5	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	3,5	-	-	4,9	-	-	3,8	-
CH4 in biogas (%)	-	-	45%	-	-	54%	-	-	34%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	25,2	-	8,2	-	-	10,5	-	-	17,8	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	24,0	-	6,8	-	-	11,5	-	-	18,9	-
CH4 in biogas (%)	77%	-	59%	-	-	70%	-	-	61%	-

BDL = Below detection limit

Tabel E.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilos E.

Datum	27-feb	8-apr	13-mei	11-jun	8-jul	12-aug	9-sep	14-okt	11-nov	9-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	38,9	45,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	38,2	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	39,3	54,6	43,1	36,6	39,9	41,3	17,5	-	57,3	42,5
As (g/kg)										
Boven	11,2	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	11,5	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	11,7	16,2	13,0	12,0	13,6	14,4	5,8	-	12,9	10,4
Organische stof										
Boven	27,7	31,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	26,7	35,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	27,6	38,4	30,1	24,6	26,3	26,9	11,8	-	44,4	32,1
Organische stof (% ds)										
Boven	71%	70%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	70%	70%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	70%	70%	70%	67%	66%	65%	67%	-	77%	75%
CZV (g/kg)										
Boven	40,6	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	40,0	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	44,9	53,6	46,9	33,6	40,4	36,5	14,9	-	68,8	50,2
OS/CZV (%)										
Boven	68%	63%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	67%	71%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	61%	72%	64%	73%	65%	74%	79%	-	65%	64%
Totaal-P (g/kg)										
Boven	0,36	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,36	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	0,37	0,51	0,41	0,34	0,37	0,39	0,24	-	0,49	0,43
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	0,82	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	0,82	1,07	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	0,86	1,17	0,93	0,77	0,85	0,89	0,54	-	1,12	0,98
Totaal-N (g/kg)										
Boven	3,03	3,64	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	3,09	3,62	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	3,14	3,78	3,29	3,03	3,38	3,03	1,10	-	2,91	2,60
Ammonium-N (g/kg)										
Boven	1,80	2,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	1,87	2,17	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	1,90	2,26	1,94	1,86	2,17	1,97	0,70	-	1,45	1,34
Ammonium-N (% totaal-N)										
Boven	59%	59%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	61%	60%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	60%	60%	59%	61%	64%	65%	64%	-	50%	51%
ORP										
Boven (mV)	-290	-357	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (mV)	-292	-345	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (mV)	-292	-339	-340	-369	-359	-341	-285	-	-296	-290
pH										
Boven (-)	7,35	7,19	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (-)	7,30	7,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (-)	7,40	7,29	7,3	7,58	7,60	7,43	7,23	-	7,14	6,97

Bijlage 7 Resultaten mestsilos F en G

Algemeen

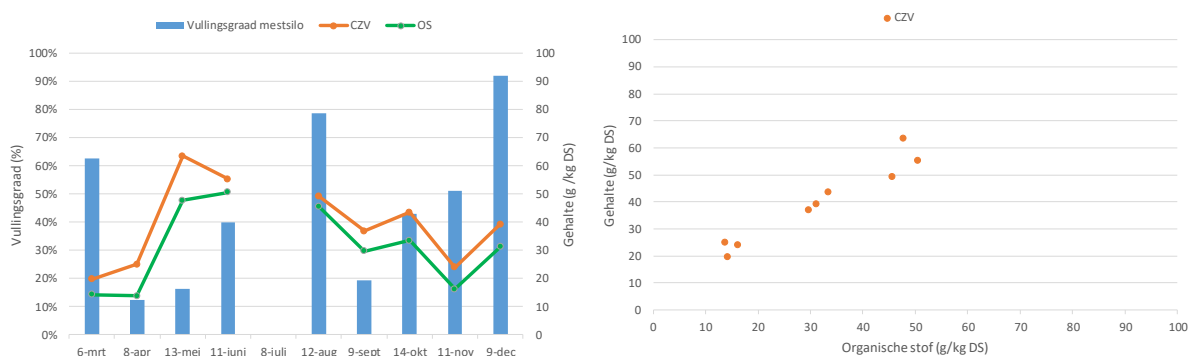
De mestsilos F en G stonden op een gesloten varkensfokbedrijf. De varkens kregen alleen mengvoer.

Het mestmanagement van de mestsilo was volgens de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. Er wordt mest naar de mestsilo's afgevoerd als de pompput vol zit. De mest uit de afdelingen worden per 3, 6 of 9 weken afgelaten. De mest komt eerst in de grote mestsilo F terecht en als deze silo vol zit loopt de mest over in de kleine mestsilo G. De mestsilos worden alleen bij afvoer gemixt door de loonwerker. Bij de mestafvoer ligt de nadruk op het voorjaar en zomer. S 'winters gaan er elke week een paar vrachten weg als de mestsilo's vol zitten. Er wordt geprobeerd om elk jaar de mestsilo's helemaal leeg te rijden, maar dat lukt niet elk jaar.

Mestsilo F was een grijze betonnen silo met een grijze spankap. De hoogte van de mestsilo was 4,5 meter en de diameter bedroeg 24,0 meter. Het volume was circa 2000 m³. Er was een mangat aanwezig. Mestsilo G was een grijze betonnen silo met grijze spankap. De hoogte van de mestsilo was 5,5 meter en de diameter bedroeg 12,0 meter. Het volume was ruim 600 m³. Er was een mangat aanwezig. Bij aanvang van het onderzoek was de spankap op mestsilo F kapot en deze is tijdens het onderzoek vervangen door een nieuwe spankap.

Resultaten

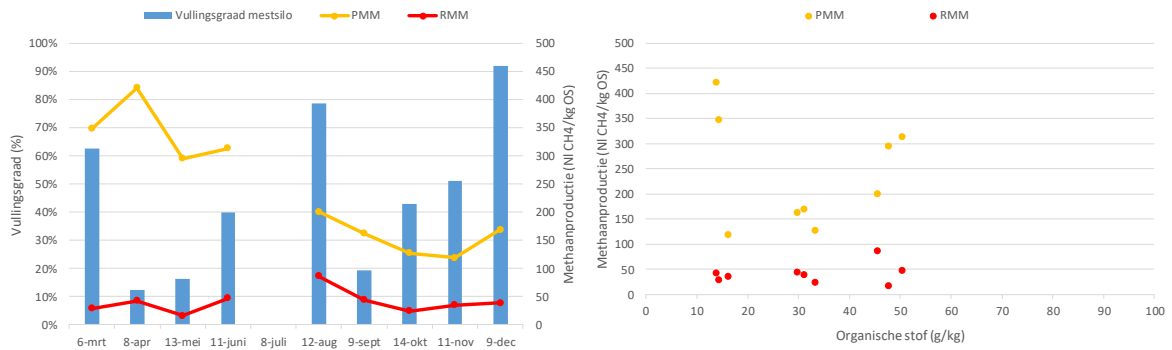
Alleen de resultaten van mestsilo F worden getoond, omdat mestsilo G maar op één meetdag gevuld was met varkensmest. Op de andere meetdagen was de mestsilo zo goed als leeg waardoor geen monsters genomen kon worden. Op 8 juli zijn er geen metingen verrichtten omdat een te hoog H₂S-gehalte werd gemeten op de werkplek van de monsternemer aan de bovenrand van de mestsilo waardoor de werkzaamheden om veiligheids- en gezondheidsredenen gestaakt werden. In figuur F.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de gehalten aan organische stof en chemisch zuurstofverbruik (CZV) op de meetdagen weergegeven.



Figuur F.1 Vullingsgraad van mestsilo F, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en organische stofgehalte (rechts).

Doordat de mestsilo regelmatig werd gevuld en mest regelmatig werd afgevoerd is het niet mogelijk om het CZV- en OS-gehalte te relateren aan opslagduur. Het CZV en OS-gehalte namen in de eerste helft van het jaar toe en in tweede helft van het jaar lijkt er sprake te zijn van een daling. Het verband tussen het CZV- en OS-gehalte was vrij constant, ook bij lage organische stofgehalten bleef het verband behoorlijk gelijk.

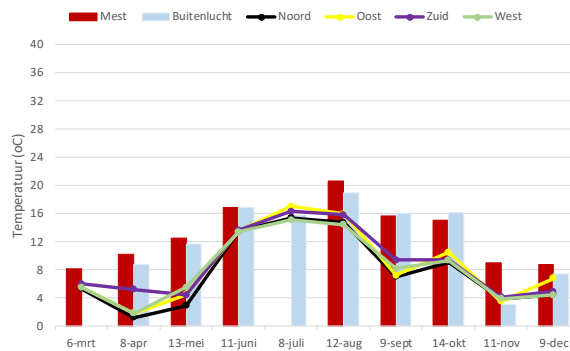
In figuur F.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur F.2 Vullingsgraad van mestilo F, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

In het begin van het jaar is de PMM het hoogst. In de tweede helft van het jaar ligt de PMM beduidend lager dan in de eerste helft van het jaar. Onduidelijk is waar dit verschil tussen de eerste helft en de twee helft van het jaar door veroorzaakt wordt, want het CZV- en OS-gehalte verschilden niet in dergelijke mate. De RMM vertoonde een ander patroon dan de PMM. De RMM was vrij constant met een kleine piek in augustus. De PMM lijkt toe te nemen met het organisch stofgehalte. De RMM vertoonde daarentegen geen duidelijke relatie met het organisch stofgehalte.

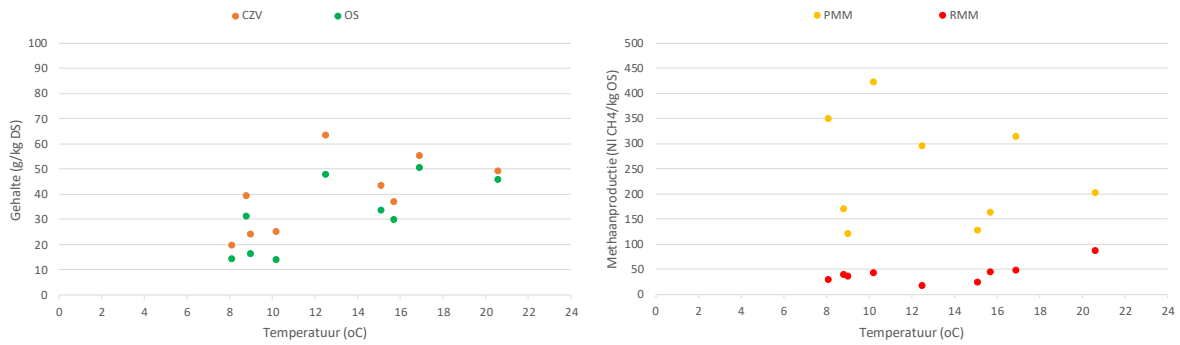
In figuur F.3 staat de gemeten temperatuur van de mestilo op de meetdagen weergegeven. Vanwege de gezondheidsstatus van het varkensfokbedrijf werd de metingen op dit bedrijf als eerste op een meetdag uitgevoerd. De metingen vonden plaats aan het begin van de ochtend (tussen 7:50 en 8:45).



Figuur F.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monstername van mestilo F.

Zowel de mesttemperatuur als de buitentemperatuur lieten een constant patroon zien. Aan het begin van het jaar was de temperatuur laag en nam toe richting de zomermaanden waarna het afnam richting de winter. De wandtemperaturen lieten een beperkte variatie zien. Dit zal mede veroorzaakt zijn doordat de metingen aan het begin van de ochtend hebben plaatsgevonden en dus relatief weinig tijd was voor de zon om het beton op te warmen, en daarbij heeft beton een grotere warmtecapaciteit in vergelijking tot ijzer of kunststof.

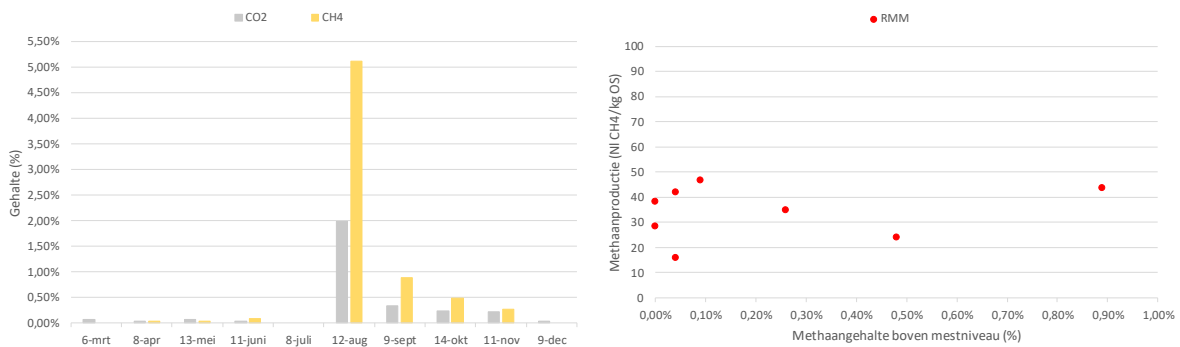
In figuur F.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur F.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilos F.

Het CZV- en OS-gehalte lijken een positief verband te hebben met de temperatuur, bij toenemende temperaturen zijn de gehalten hoger. De PMM vertoonde een grote variatie met de mesttemperatuur, waarbij er geen verband lijkt te zijn met de mesttemperatuur. De RMM lijkt niet toe te nemen met de temperatuur, tot aan de 18°C bedraagt de RMM minder dan 50 NI CH₄/kg OS. De hoogste waarde daarentegen werd gemeten in augustus bij een temperatuur van 20,6°C.

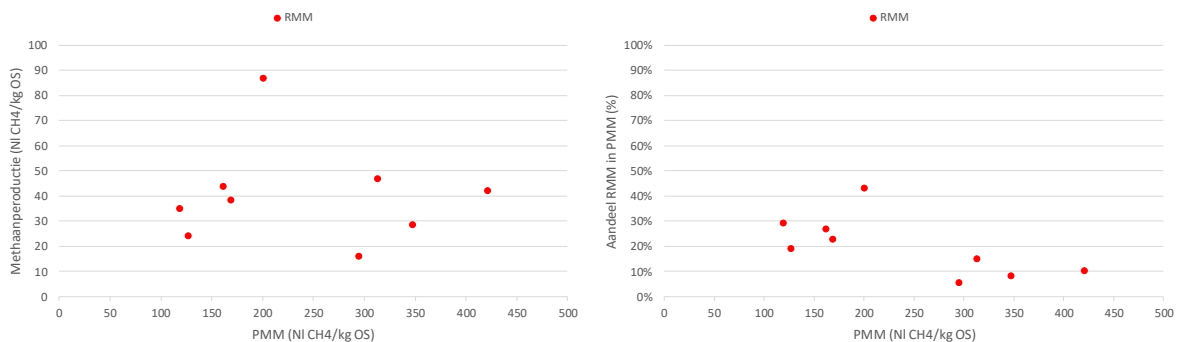
In figuur F.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de mestsilos en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur F.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monsternamen (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van mestsilos F.

In de eerste helft van het jaar lagen de CO₂- en CH₄-gehalten onder de 0,10%, maar aan het begin van de tweede helft van het jaar schieten de gehalten plotseling omhoog naar meerdere procenten. Na deze piek dalen gehalten sterk en nemen af richting het einde van het jaar en waren in december lager dan 0,05%. Er lijkt geen sprake te zijn van een verband tussen het CH₄-gehalte boven het mestniveau en de RMM.

In figuur F.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur F.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van mestsilos F.

Er lijkt geen sprake te zijn van een verband tussen de RMM en de PMM. De RMM schommelde sterk. Het aandeel van de RMM in de PMM lijkt af te nemen bij hogere PMM's.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 239 NI CH₄/kg OS, en de RMM 40 NI CH₄/kg OS wat 17% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de meststilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 217 NI CH₄/kg OS, en de RMM 44 NI CH₄/kg OS wat 20% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen F.1 en F.2 staan de analyseresultaten van meststilo F weergegeven. En in tabellen G.1 en G.2 staan de analyseresultaten van meststilo G weergegeven.

Tabel F.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van meststilo F.

Datum	6-mrt	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	24,6	24,5	69,0	68,9	-	64,6	46,5	49,5	27,5	46,5
Organische stof (g/kg)	14,3	13,8	47,7	50,5	-	45,6	29,7	33,4	16,2	31,2
Organische stof (% van drogestof)	58%	56%	69%	73%	-	71%	64%	68%	59%	67%
CZV (g/kg)	19,7	25,0	63,5	55,3	-	49,3	36,8	43,5	23,9	39,2
pH (-)	7,4	7,2	7,0	7,0	-	7,6	7,8	7,6	7,5	7,5
ORP (mV)	-	-331	-300	-303	-	-354	-313	-342	-334	-332
VVZ t=0 (mg CZV/l)	0455 ± 279	1588 ± 168	255 ± 1491	9166 ± 106	-	4989 ± 129	957 ± 10	47 ± 0	789 ± 0	1490 ± 12
C2 t=0 (mg/l)	5516 ± 125	6128 ± 103	6106 ± 684	8437 ± 48	-	1740 ± 30	823 ± 7	44 ± 0	561 ± 1	755 ± 5
C3 t=0 (mg/l)	1710 ± 55	1923 ± 20	2313 ± 265	3517 ± 17	-	1974 ± 60	52 ± 2	BDL	126 ± 1	349 ± 4
C4 t=0 (mg/l)	651 ± 25	693 ± 19	1104 ± 121	1648 ± 8	-	BDL	BDL	BDL	BDL	30 ± 0
C5 t=0 (mg/l)	392 ± 21	431 ± 4	605 ± 69	905 ± 7	-	70 ± 3	BDL	BDL	BDL	51 ± 0
Temperatuur in meststilo (oC)	8,1	10,2	12,5	16,9	-	20,6	15,7	15,1	9,0	8,8
PMM-test										
Biogas (NI/kg OS)	490 ± 11	577 ± 1	434 ± 21	454 ± 2	-	304 ± 10	249 ± 21	208 ± 3	189 ± 14	256 ± 14
Biogas (Nm3/ton)	7 ± 0	8 ± 0	21 ± 1	23 ± 0	-	14 ± 2	7 ± 1	7 ± 0	3 ± 0	8 ± 0
Methaan (%)	71%	73%	68%	69%	-	66%	65%	61%	63%	66%
Methaan (NI/kg OS)	348	421	295	313	-	201	162	127	119	169
Methaan (Nm3/ton)	5,0	5,8	14,1	15,8	-	9,1	4,8	4,2	1,9	5,3
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,25	0,23	0,22	0,29	-	0,19	0,13	0,10	0,08	0,13
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	-	19	17	15	9	8
pH (-)	7,4	7,6	7,2	7,4	-	7,8	7,8	7,8	7,9	7,6
VVZ t=30 (mg CZV/l)	8059 ± 12	11122 ± 57	6744 ± 150	5620 ± 470	-	60 ± 10	27 ± 0	26 ± 1	42 ± 2	2504 ± 84
Biogas (NI/kg OS)	56 ± 5,8	78 ± 0	38 ± 1	74 ± 1	-	122 ± 45	65 ± 2	42 ± 2	59 ± 1	58 ± 1
Biogas (Nm3/ton)	0,8	1,1	1,8	3,7	-	5,6	1,9	1,4	1,0	1,8
Methaan (%)	51%	54%	42%	63%	-	71%	67%	57%	59%	66%
Methaan (NI/kg OS)	29	42	16	47	-	87	44	24	35	38
Methaan (Nm3/ton)	0,4	0,6	0,8	2,4	-	3,9	1,3	0,8	0,6	1,2
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,02	0,02	0,01	0,04	-	0,08	0,04	0,02	0,02	0,03
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	172	-	378	-	-	117,3	-	-	454,3	-
Organische stof (g/kg)	132	-	104	-	-	78,0	-	-	102,5	-
Organische stof (% van drogestof)	77%	-	28%	-	-	67%	-	-	23%	-
pH (-)	7,2	-	7,6	-	-	7,6	-	-	7,5	-
VVZ (mg CZV/l)	9880 ± 162	-	0728 ± 196	-	-	4784 ± 43	-	-	56 ± 3	-
C2 (mg/l)	5345 ± 61	-	4735 ± 70	-	-	1703 ± 15	-	-	53 ± 2	-
C3 (mg/l)	1539 ± 49	-	2220 ± 32	-	-	1861 ± 17	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	605 ± 8	-	769 ± 39	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	367 ± 10	-	450 ± 1	-	-	73 ± 1	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	22,4	-	-	46,3	-	-	19,9	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	15,5	-	-	38,9	-	-	22,6	-
CH4 in biogas (%)	-	-	66%	-	-	79%	-	-	86%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	49,8	-	54,4	-	-	n.a.	-	-	6,3	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	52,2	-	90,8	-	-	n.a.	-	-	2,8	-
CH4 in biogas (%)	79%	-	83%	-	-	n.a.	-	-	87%	-

BDL = Below detection limit

n.a. = Not available, alle acetaat was omgezet.

Tabel F.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van meststro F.

Datum	6-mrt	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
<u>Drogestof (g/kg)</u>										
Boven	29,5	-	-	-	-	-	-	-	-	44,9
Midden	26,0	-	-	62,0	-	55,5	-	36,0	27,7	47,5
Onder	24,1	24,1	67,0	74,6	-	59,8	45,6	57,1	34,1	49,2
<u>As (g/kg)</u>										
Boven	12,3	-	-	-	-	-	-	-	-	16,2
Midden	10,6	-	-	17,7	-	18,6	-	14,0	13,9	17,0
Onder	9,8	10,3	19,9	19,8	-	19,7	17,3	18,8	13,1	16,3
<u>Organische stof (g/kg)</u>										
Boven	17,3	-	-	-	-	-	-	-	-	28,8
Midden	15,4	-	-	44,3	-	36,9	-	21,9	13,8	30,4
Onder	14,2	13,8	47,1	54,7	-	40,1	28,3	38,4	21,1	32,9
<u>Organische stof (% ds)</u>										
Boven	59%	-	-	-	-	-	-	-	-	64%
Midden	59%	-	-	71%	-	66%	-	61%	50%	64%
Onder	59%	57%	70%	73%	-	67%	62%	67%	62%	67%
<u>CZV (g/kg)</u>										
Boven	17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	38,1
Midden	17,7	-	-	49,9	-	46,3	-	32,2	18,3	40,2
Onder	24,3	25,0	63,5	60,7	-	52,3	36,8	54,8	29,5	39,4
<u>OS/CZV (%)</u>										
Boven	101%	-	-	-	-	-	-	-	-	75%
Midden	87%	-	-	89%	-	80%	-	68%	75%	76%
Onder	59%	55%	74%	90%	-	77%	77%	70%	71%	83%
<u>Totaal-P (g/kg)</u>										
Boven	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01
Midden	0,23	-	-	1,22	-	1,03	-	0,67	0,40	0,97
Onder	0,21	0,20	0,87	1,41	-	1,22	0,90	1,30	0,59	0,98
<u>Totaal-P2O5 (g/kg)</u>										
Boven	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	2,31
Midden	0,53	-	-	2,79	-	2,37	-	1,53	0,93	2,21
Onder	0,47	0,46	1,98	3,22	-	2,80	2,06	2,99	1,35	2,25
<u>Totaal-N (g/kg)</u>										
Boven	3,75	-	-	-	-	-	-	-	-	4,37
Midden	3,46	-	-	4,90	-	4,57	-	4,01	3,96	4,38
Onder	3,53	3,37	4,42	5,13	-	4,74	4,40	4,59	4,32	4,48
<u>Ammonium-N (g/kg)</u>										
Boven	2,66	-	-	-	-	-	-	-	-	2,83
Midden	2,66	-	-	2,96	-	3,10	-	2,73	2,26	2,86
Onder	2,67	2,58	2,61	3,03	-	3,21	3,00	3,02	2,63	2,84
<u>Ammonium-N (% totaal-N)</u>										
Boven	71%	-	-	-	-	-	-	-	-	65%
Midden	77%	-	-	61%	-	68%	-	68%	57%	65%
Onder	76%	77%	59%	59%	-	68%	68%	66%	61%	64%
<u>ORP</u>										
Boven (mV)	-301	-	-	-	-	-	-	-	-	-320
Midden (mV)	-314	-	-	-300	-	-353	-	-302	-321	-325
Onder (mV)	-312	-331	-300	-305	-	-351	-322	-320	-307	-330
<u>pH</u>										
Boven (-)	7,20	-	-	-	-	-	-	-	-	7,58
Midden (-)	7,32	-	-	6,96	-	7,75	-	7,60	7,64	7,56
Onder (-)	7,24	7,01	6,5	6,94	-	7,71	7,82	7,67	7,64	7,35

Tabel G.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mestilo G.

Datum	6-mrt	8-apr	13-mei	11-juni	8-juli	12-aug	9-sept	14-okt	11-nov	9-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	-	13,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof (g/kg)	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof (% van drogestof)	-	37%	-	-	-	-	-	-	-	-
CZV (g/kg)	-	7,6	-	-	-	-	-	-	-	-
pH (-)	-	8,2	-	-	-	-	-	-	-	-
ORP (mV)	-	-360	-	-	-	-	-	-	-	-
VVZ t=0 (mg CZV/l)	-	680 ± 22	-	-	-	-	-	-	-	-
C2 t=0 (mg/l)	-	457 ± 14	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 t=0 (mg/l)	-	103 ± 4	-	-	-	-	-	-	-	-
C4 t=0 (mg/l)	-	BDL	-	-	-	-	-	-	-	-
C5 t=0 (mg/l)	-	18 ± 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatuur in mestilo (oC)	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	-	101 ± 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Biogas (Nm3/ton)	-	0 ± 0	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (%)	-	62%	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nl/kg OS)	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nm3/ton)	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nm3/kg CZV)	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-
pH (-)	-	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-
VVZ t=30 (mg CZV/l)	-	592 ± 74	-	-	-	-	-	-	-	-
Biogas (Nl/kg OS)	-	36 ± 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Biogas (Nm3/ton)	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (%)	-	34%	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nl/kg OS)	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nm3/ton)	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Methaan (Nl/kg CZV)	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	-	-	156	-	-	164,6	-	-	159,6	-
Organische stof (g/kg)	-	-	94,4	-	-	102,3	-	-	92,2	-
Organische stof (% van drogestof)	-	-	61%	-	-	62%	-	-	58%	-
pH (-)	-	-	8,0	-	-	7,5	-	-	7,6	-
VVZ (mg CZV/l)	-	-	18 ± 18	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C2 (mg/l)	-	-	17 ± 17	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C3 (mg/l)	-	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	-	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	-	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	64,3	-	-	46,0	-	-	18,3	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	67,7	-	-	39,1	-	-	18,4	-
CH4 in biogas (%)	-	-	91%	-	-	88%	-	-	87%	-
Dag			dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	8,7	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	10,5	-
CH4 in biogas (%)	-	-	89%	-	-	n.a.	-	-	89%	-

BDL = Below detection limit

n.a. = Not available, alle acetaat was omgezet.

Tabel G.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilo G.

Datum	6-mrt	8-apr	13-mei	11-jun	8-jul	12-aug	9-sep	14-okt	11-nov	9-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	-	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-
As (g/kg)										
Boven	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof										
Boven	-	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Organische stof (% ds)										
Boven	-	40%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	39%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	47%	-	-	-	-	-	-	-	-
CZV (g/kg)										
Boven	-	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-
OS/CZV (%)										
Boven	-	67%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	69%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	73%	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal-P (g/kg)										
Boven	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal-N (g/kg)										
Boven	-	2,64	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	2,51	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	2,61	-	-	-	-	-	-	-	-
Ammonium-N (g/kg)										
Boven	-	2,28	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	2,21	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	2,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Ammonium-N (% totaal-N)										
Boven	-	87%	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden	-	88%	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder	-	86%	-	-	-	-	-	-	-	-
ORP										
Boven (mV)	-	-358	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (mV)	-	-359	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (mV)	-	-359	-	-	-	-	-	-	-	-
pH										
Boven (-)	-	8,13	-	-	-	-	-	-	-	-
Midden (-)	-	8,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Onder (-)	-	8,06	-	-	-	-	-	-	-	-

Bijlage 8 Resultaten mestsilos H en I

Algemeen

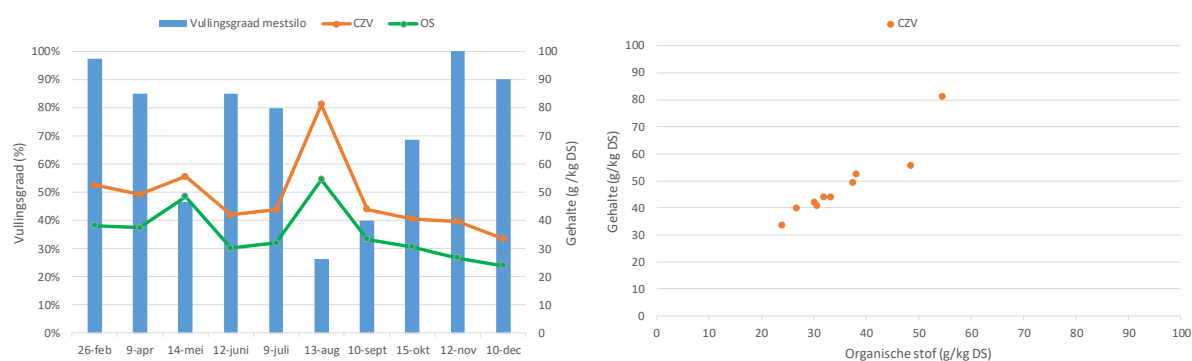
Mestsilo's H en I stonden op een vleesvarkensbedrijf. De varkens waren gehuisvest in een traditionele stal en een dubbeldeks stal met ondiepe putten.

Het mestmanagement van de mestsilo was de veehouder jaarlijks min of meer hetzelfde. Op dit vleesvarkensbedrijf zijn de mestsilo's het gehele jaar in gebruik, omdat de vleesvarkensstallen een beperkte opslagcapaciteit hebben. Er vindt wekelijks mestafvoer plaats naar mestsilo H. In mestsilo H bezinkt de varkensmest en wordt de dunne mest die bovenin de mestsilo zit overgepompt naar mestsilo I. Hiermee zijn er twee mestsoorten beschikbaar waarmee de veehouder akkerbouwers beter kan bedienen. Mestsilo H wordt gemixt door de mest rond te pompen met een pomp die zich buiten de silo bevindt. In mestsilo I zit een elektrische mixer. Deze mestsilo wordt in principe twee per jaar gemixt: vlak voor het uitrijden in februari en vlak voor het uitrijden in september.

Mestsilo H was een donkerblauwe stalen silo met een grijze spankap. De hoogte van de mestsilo was 5 meter (waarvan 1 meter ondergronds) en de diameter bedroeg 14,0 meter. Het volume was 770 m³. Er was een mangat aanwezig in de spankap. Mestsilo I was een zwarte kunststof silo met een zwart dekzeil. De hoogte van de mestsilo was 4 meter en de diameter bedroeg 18 meter. Het volume was 1018 m³. Er was een mixergat aanwezig in het drijfzeil.

Resultaten mestsilo H

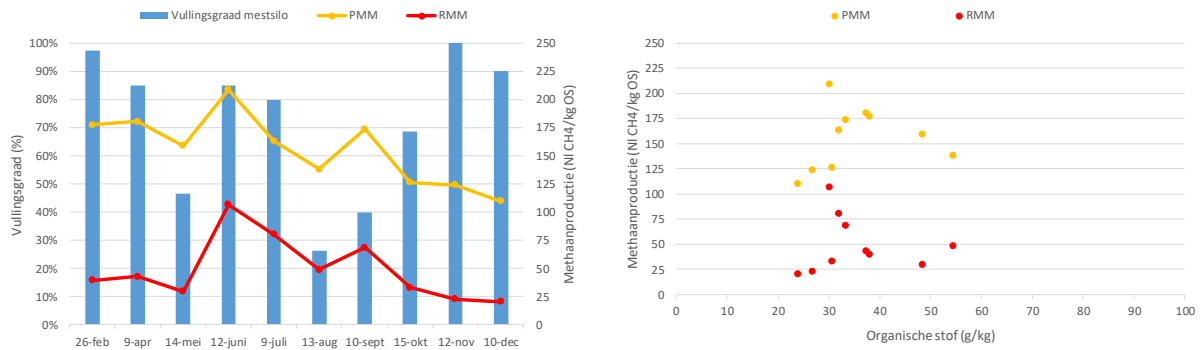
In figuur H.1 staat de vullingsgraad van de mestsilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur H.1 Vullingsgraad van mestsilo H, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en het organische stofgehalte (rechts).

Doordat de mestsilo regelmatig werd gevuld en mest regelmatig werd afgevoerd is het niet mogelijk om het CZV- en OS-gehalte te relateren aan de opslagduur. Het CZV- en OS-gehaltes vertoonden een langzaam dalende trend over het jaar met uitzondering van een piek in augustus. Dit zou een gevolg kunnen zijn van bezinking aangezien de silo voor driekwart leeg was op het moment van monsternamen. Het CZV- en OS-gehalte vertoonden een gelijke trend. De relatie tussen het CZV- en OS-gehalte was vrij constant.

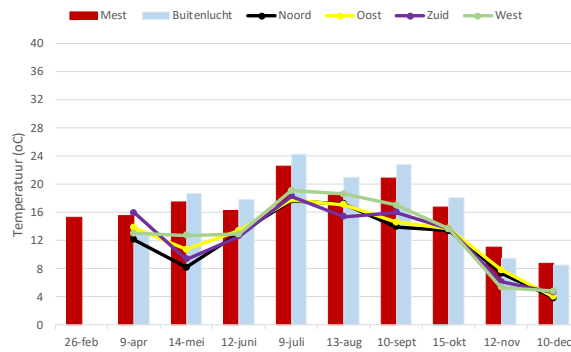
In figuur H.2 staat de vullingsgraad van de mestsilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.



Figuur H.2 Vullingsgraad van mestilo H, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

De PMM liet over de verloop van het jaar een dalende trend zien met twee pieken in juni en september. De RMM vertoonde een gelijke trend met twee pieken in juni en september. De PMM vertoonde een grote variatie met het organisch stofgehalte. Ook de RMM vertoonde een grote variatie zonder duidelijke relatie met het organisch stof gehalte.

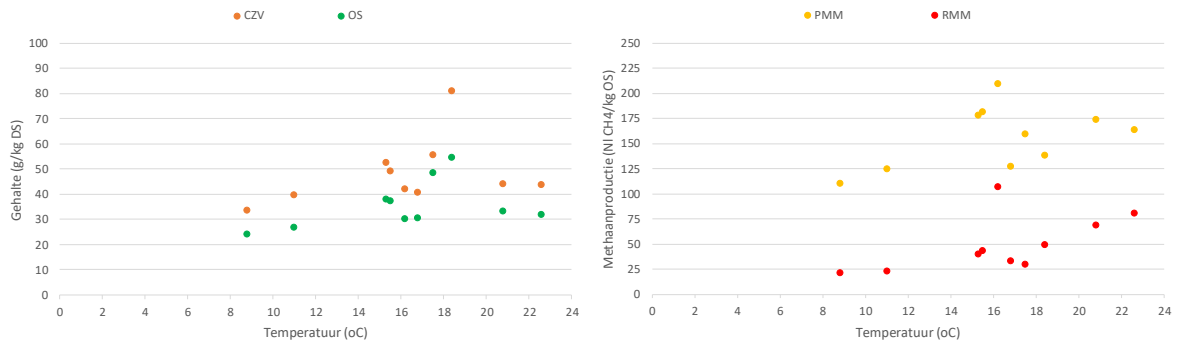
In figuur H.3 staat de gemeten temperatuur van de mestilo op de meetdagen weergegeven. De metingen vonden plaats op midden van de dag (tussen 11:40 en 12:45).



Figuur H.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van mestilo H.

De mesttemperatuur liet een wat ander patroon zien dan andere mestilo's. In het begin van het jaar was de mesttemperatuur aan de relatief hoge kant waarna in de zomer de temperatuur hoger was en in het najaar daalde naar waarden die ook bij andere mestilo's werd waargenomen. Onduidelijk is waarom de mesttemperatuur verhoogd was aan het begin van de meetperiode. De wandtemperaturen lieten een beperkte variatie zien. Dit zal veroorzaakt worden door de aanwezige beschutting met bomen en struiken rond het merendeel van de mestilo. Tevens stond de mestilo vlak naast de andere mestilo die ook voor schaduwwerking zorgde op kant zonder bomen en struiken.

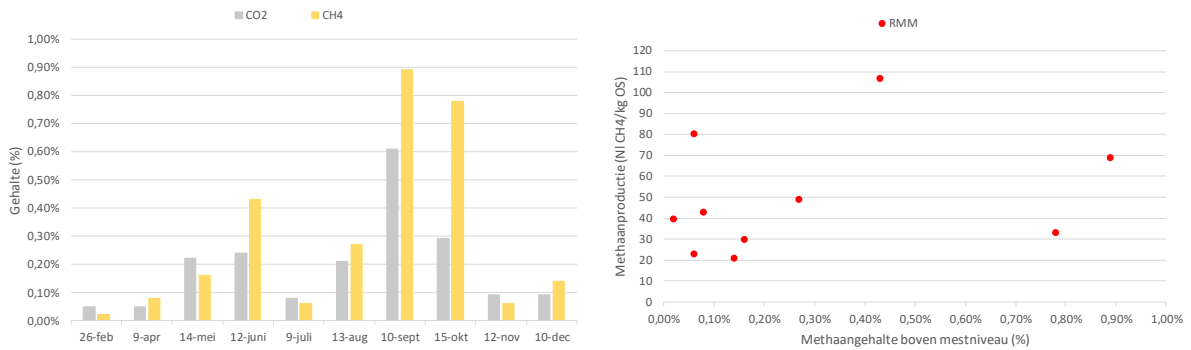
In figuur H.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur H.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van mestsilos H.

Gezien de spreiding en het regelmatige vullen en legen van de mestsilos lijkt er geen sprake te zijn van een verband tussen het CZV- en OS-gehalte en de mesttemperatuur. De PMM vertoonde een grote variatie en er lijkt geen verband te zijn met de temperatuur. De RMM vertoonde minder spreiding en daar lijkt wel sprake te zijn van een relatie met de mesttemperatuur. De RMM nam gestaag toe met een toenemende temperatuur.

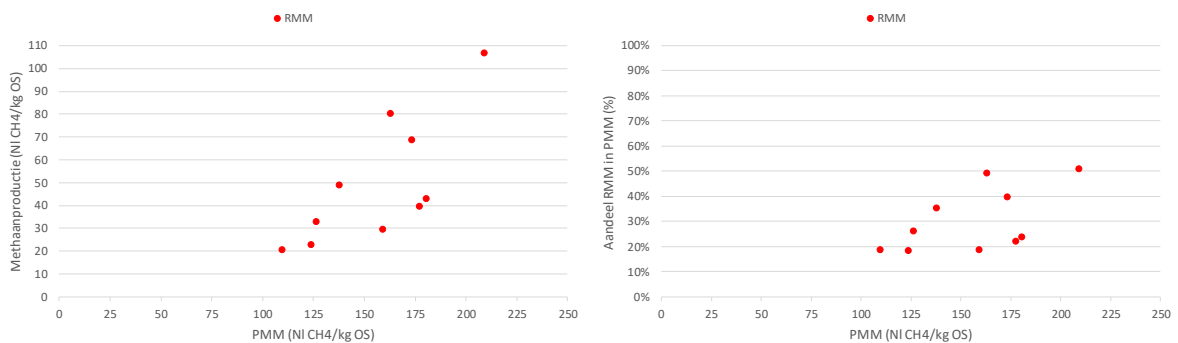
In figuur H.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de mestsilos en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur H.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van mestsilos H.

De gehalten aan CO₂ en CH₄ vertoonden een variabel verloop over het jaar heen. In de winter waren ze het laagst waarbij het merendeel van de gehalten onder de 0,10% lag. In het voorjaar namen de waarden toe, om vervolgens in zomer weer te dalen en dan te pieken in de nazomer. De RMM vertoonde geen relatie met het gemeten methaangehalte boven het mestniveau.

In figuur H.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



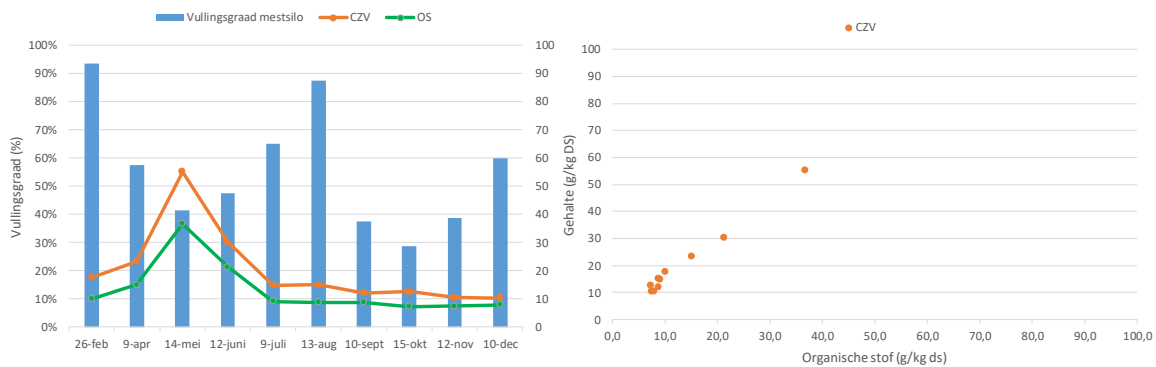
Figuur H.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van mestsilos H.

Ondanks de nodige spreiding lijkt er bij deze meststilo wel sprake te zijn van een relatie tussen de RMM en de PMM. Een toenemende PMM gaf ook een toenemende RMM te zien. Het aandeel van de RMM in de PMM vertoonde een grote spreiding waarbij geen sprake lijkt te zijn van een verband met de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 156 NI CH₄/kg OS, en de RMM 49 NI CH₄/kg OS wat 32% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de meststilo wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 156 NI CH₄/kg OS, en de RMM 48 NI CH₄/kg OS wat 31% van de PMM is.

Resultaten meststilo I

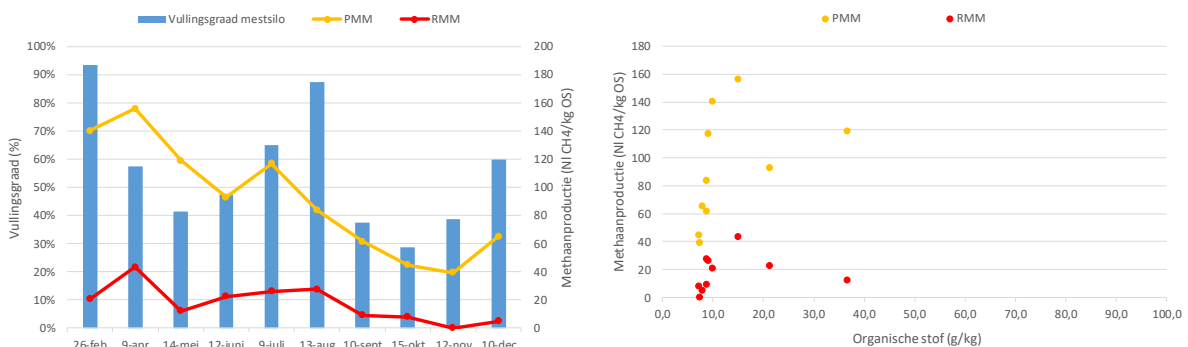
In figuur I.1 staat de vullingsgraad van de meststilo, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het organische stofgehalte op de meetdagen weergegeven.



Figuur I.1 Vullingsgraad van meststilo I, het CZV en organische stofgehalte tijdens de meetmomenten (links) en de relatie tussen het CZV-gehalte en organische stofgehalte de (rechts).

Doordat de meststilo regelmatig werd gevuld en mest regelmatig werd afgevoerd is het niet mogelijk om het CZV- en OS-gehalte te relateren aan de opslagduur. Het CZV en OS-gehalte stegen aan het begin van jaar en piekten in mei waarna ze daalden naar een laag constant niveau in de tweede helft van het jaar. Een mogelijke oorzaak voor de piek in mei is dat aan het begin van het jaar de bezinking in stalen silo minder was, omdat deze vol zat en dus sneller overliep met hogere gehalten naar de kunststof meststilo. In de tweede helft van het jaar zal de bezinking in de stalen silo beter hebben gewerkt waardoor de gehalten in de kunststof silo zeer laag waren. De relatie tussen het CZV- en OS-gehalte was vrij constant.

In figuur I.2 staat de vullingsgraad van de meststilo en de PMM en RMM op de meetdagen weergegeven.

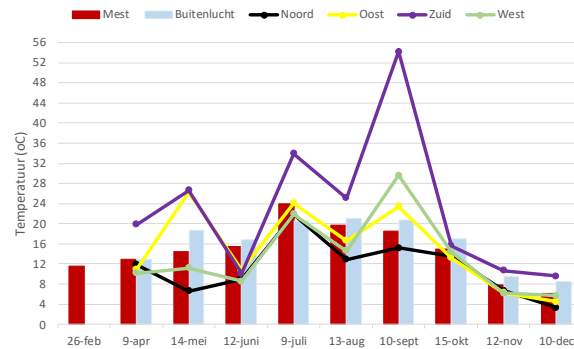


Figuur I.2 Vullingsgraad van meststilo H, de PMM en RMM op de meetmomenten (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met het organische stofgehalte (rechts).

Over het verloop van het jaar laat de PMM een dalende trend zien met twee pieken in april en juli, maar lijkt in december weer toe te nemen mogelijk doordat de bezinking in de stalen silo minder is geworden omdat deze vol was aan het eind van het jaar. De RMM was in de tweede helft van het jaar lager dan in de eerste helft van het jaar. De PMM vertoonde een grote variatie met het organisch

stofgehalte waarbij er geen sprake lijkt te zijn van een verband. Ook de RMM vertoonde geen duidelijke relatie met het organisch stofgehalte.

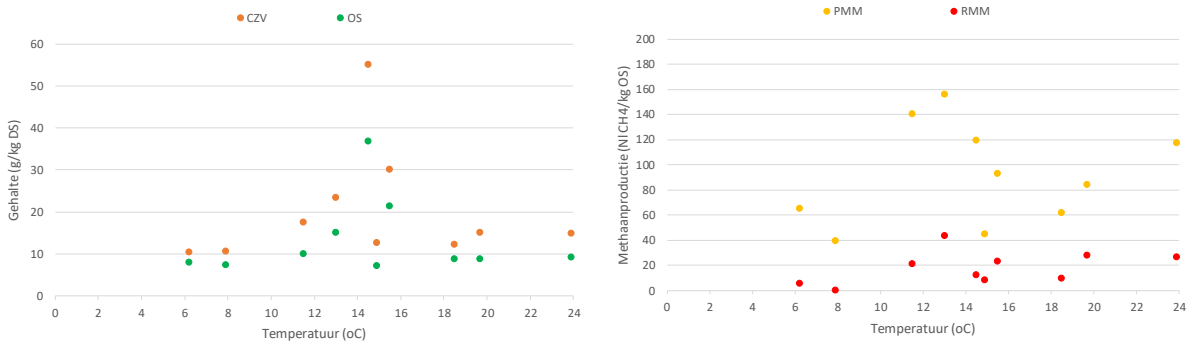
In figuur I.3 staat de gemeten temperatuur van de meststilo op de meetdagen weergegeven. De metingen vonden plaats op het midden van de dag (tussen 12:00 en 13:00).



Figuur I.3 Mesttemperatuur, buitenluchttemperatuur en wandtemperatuur op het moment van monsternamen van meststilo I.

De mesttemperatuur in de kunststofsilo was lager dan in de stalen silo. Dit wordt veroorzaakt doordat de mest niet rechtstreeks uit de stallen kwam, maar via de stalen silo en daardoor afgekoeld was in de buitenlucht voordat het naar de kunststof silo ging. Echter ook in de kunststofsilo was de mesttemperatuur in het begin van het jaar aan de relatief hoge kant waarna in de zomer de temperatuur hoger was en in het najaar daalde naar waarden die ook bij andere meststilo's werd waargenomen. Onduidelijk was waarom de mesttemperatuur verhoogd was aan het begin van de meetperiode. De wandtemperaturen varieerde van elkaar. Dit kwam vanwege open ligging van de meststilo met maar aan een kant beschutting van de stalen silo en tevens door zwarte kleur van de kunststof silo die makkelijker opwarmt door zonnestraling.

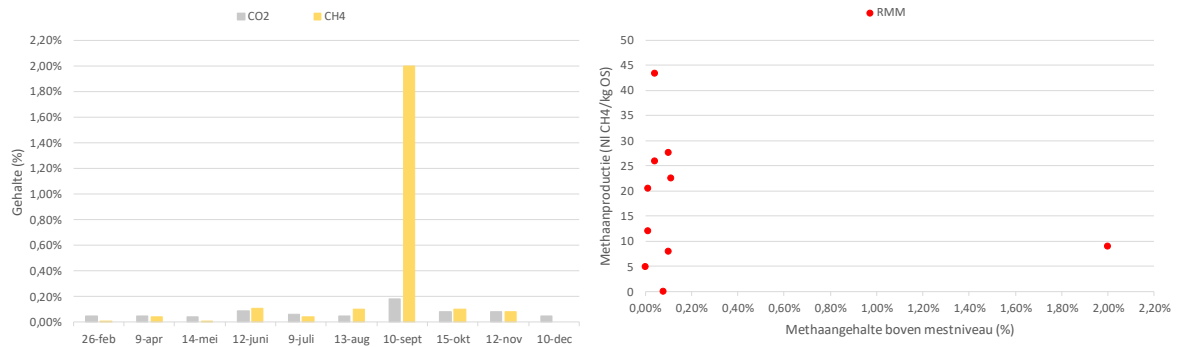
In figuur I.4 staan de relaties tussen CVZ- en OS-gehalten met de mesttemperatuur en de PMM en RMM met de mesttemperatuur weergegeven.



Figuur I.4 De relatie tussen het CZV en OS-gehalte met de mesttemperatuur (links) en de relatie tussen de PMM en RMM met de mesttemperatuur (rechts) van meststilo I.

Gezien de spreiding en het regelmatige vullen en legen van de meststilo lijkt er geen sprake te zijn van een verband tussen het CZV- en OS-gehalte en de mesttemperatuur. De PMM vertoonde een groter variatie waarbij er geen verband lijkt te zijn met de temperatuur. De RMM vertoonde een minder grote spreiding waarbij de productie schommelde rond de 20 NI CH₄/kg OS. Er lijkt ook geen relatie te zijn met de mesttemperatuur.

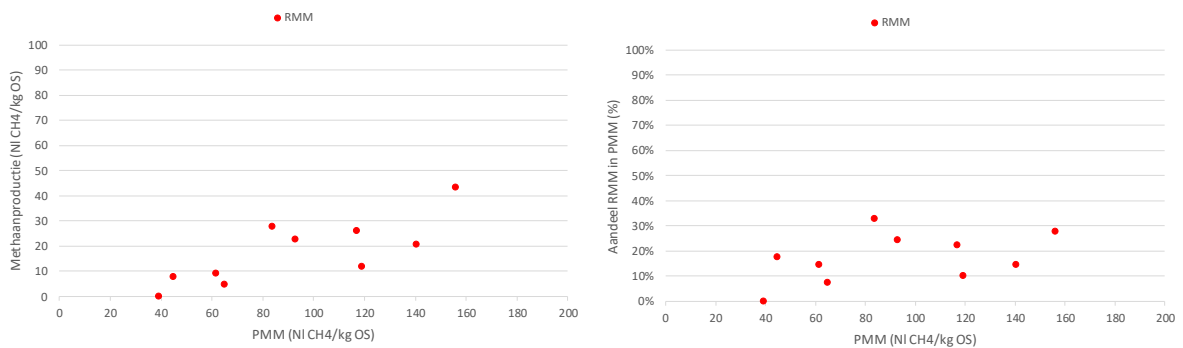
In figuur I.5 staat de luchtsamenstelling boven mestniveau van de meststilo en de relatie tussen de RMM en het methaangehalte boven het mestniveau weergegeven.



Figuur I.5 De CO₂- en CH₄-gehalten boven het mestniveau ten tijde van de monstername (links) en de relatie tussen de RMM en het CH₄-gehalte boven het mestniveau (rechts) van mestsilos I.

De gehalten aan CO₂ en CH₄ waren voor het merendeel lager dan 0,10% over het jaar heen met uitzondering van een piek in september. Onduidelijk is waar deze piek door veroorzaakt werd. De RMM vertoonde geen relatie met het gemeten methaangehalte boven het mestniveau.

In figuur I.6 staat de relatie tussen de RMM en de PMM weergegeven.



Figuur I.6 De relatie tussen RMM en PMM (links) en de relatie tussen het aandeel van de RMM in de PMM met de PMM (rechts) van mestsilos I.

Er lijkt sprake te zijn van een relatie tussen de RMM en de PMM. Een toenemende PMM gaf ook een toenemende RMM te zien. Het aandeel van de RMM in de PMM vertoonde een grote spreiding met als gemiddelde 17% van de PMM. Het aandeel van de RMM in de PMM varieerde van 0 tot 33% van de PMM.

Over alle meetdagen heen bedroeg de gemiddelde PMM 92 NI CH₄/kg OS, en de RMM 17 NI CH₄/kg OS wat 19% van de PMM is. Indien de vullingsgraad van de mestsilos wordt meegewogen dan bedroeg de gewogen gemiddelde PMM 99 NI CH₄/kg OS, en de RMM 20 NI CH₄/kg OS wat 20% van de PMM is.

Analyseresultaten

In tabellen H.1 en H.2 staan de analyseresultaten van mestsilos H weergegeven. En in tabellen I.1 en I.2 staan de analyseresultaten van mestsilos I weergegeven.

Tabel H.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van mest silo H.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-juni	9-juli	13-aug	10-sept	15-okt	12-nov	10-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	56,2	56,0	69,2	44,9	47,4	75,0	48,6	47,6	41,0	38,9
Organische stof (g/kg)	38,1	37,4	48,5	30,1	31,9	54,5	33,3	30,6	26,7	23,9
Organische stof (% van drogestof)	68%	67%	70%	67%	67%	73%	69%	64%	65%	61%
CZV (g/kg)	52,5	49,2	55,6	41,9	43,7	81,1	43,9	40,6	39,7	33,5
pH (-)	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,7	7,6	7,6
ORP (mV)	-	-409	-386	-372	-404	-388	-399	-390	-394	-
VVZ t=0 (mg CZV/l)	4243 ± 101	4861 ± 1	5483 ± 1	4060 ± 47	1748 ± 154	912 ± 14	2890 ± 65	473 ± 1	409 ± 9	765 ± 2
C2 t=0 (mg/l)	2183 ± 33	2254 ± 2	2099 ± 2	1773 ± 21	1412 ± 2	644 ± 5	2044 ± 52	444 ± 1	384 ± 9	452 ± 1
C3 t=0 (mg/l)	1014 ± 40	1221 ± 3	1320 ± 3	1179 ± 13	132 ± 76	127 ± 5	353 ± 9	BDL	BDL	156 ± 0
C4 t=0 (mg/l)	BDL	110 ± 0	270 ± 1	BDL	23 ± 23	BDL	52 ± 1	BDL	BDL	BDL
C5 t=0 (mg/l)	186 ± 3	200 ± 1	371 ± 3	189 ± 2	BDL	17 ± 0	35 ± 0	BDL	BDL	23 ± 0
Temperatuur in mest silo (oC)	15,3	15,5	17,5	16,2	22,6	18,4	20,8	16,8	11,0	8,8
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	273 ± 10	278 ± 14	241 ± 5	312 ± 5	255 ± 13	219 ± 4	267 ± 3	204 ± 4	200 ± 6	169 ± 1
Biogas (Nm3/ton)	10 ± 0	10 ± 1	12 ± 0	9 ± 0	8 ± 0	12 ± 0	9 ± 0	6 ± 0	5 ± 0	4 ± 0
Methaan (%)	65%	65%	66%	67%	64%	63%	65%	62%	62%	65%
Methaan (Nl/kg OS)	177	181	159	209	163	138	174	126	124	110
Methaan (Nm3/ton)	6,8	6,8	7,7	6,3	5,2	7,5	5,8	3,9	3,3	2,6
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,13	0,14	0,14	0,15	0,12	0,09	0,13	0,10	0,08	0,08
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	20	19	17	15	9	8
pH (-)	7,7	7,7	7,8	7,7	7,7	7,8	7,7	7,9	7,9	8,0
VVZ t=30 (mg CZV/l)	1885 ± 24	2344 ± 171	2529 ± 38	31 ± 5	23 ± 1	33 ± 1	28 ± 2	31 ± 1	64 ± 5	142 ± 51
Biogas (Nl/kg OS)	57 ± 1,6	63 ± 3	40 ± 2	148 ± 0	118 ± 0	76 ± 4	98 ± 5	53 ± 2 (56)	40 ± 1	36 ± 1
Biogas (Nm3/ton)	2,2	2,4	1,9	4,5	3,8	4,1	3,3	1,6	1,1	0,9
Methaan (%)	69%	68%	74%	72%	68%	64%	70%	62%	57%	57%
Methaan (Nl/kg OS)	39	43	30	107	80	49	69	33	23	21
Methaan (Nm3/ton)	1,5	1,6	1,4	3,2	2,6	2,7	2,3	1,0	0,6	0,5
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,03	0,03	0,03	0,08	0,06	0,03	0,05	0,02	0,02	0,01
Snelheid (-)	2,7	3,8	2,0	9,0	10,0	4,8	8,5	5,5	11,5	6,5
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	187	-	145	-	-	154,3	-	-	225,6	-
Organische stof (g/kg)	122	-	102	-	-	113,1	-	-	133,7	-
Organische stof (% van drogestof)	65%	-	71%	-	-	73%	-	-	59%	-
pH (-)	8,3	-	7,9	-	-	7,7	-	-	7,5	-
VVZ (mg CZV/l)	3687 ± 118	-	4604 ± 1	-	-	561 ± 4	-	-	355 ± 3	-
C2 (mg/l)	2007 ± 71	-	1849 ± 30	-	-	466 ± 3	-	-	333 ± 3	-
C3 (mg/l)	1021 ± 28	-	1164 ± 10	-	-	43 ± 1	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	BDL	-	161 ± 3	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	BDL	-	283 ± 26	-	-	BDL	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	13,2	-	-	29,0	-	-	8,8	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	12,0	-	-	29,7	-	-	8,7	-
CH4 in biogas (%)	-	-	61%	-	-	74%	-	-	66%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	52,2	-	46,5	-	-	40,2	-	-	14,2	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	54,8	-	39,9	-	-	37,3	-	-	13,9	-
CH4 in biogas (%)	83%	-	83%	-	-	85%	-	-	81%	-

BDL = Below detection limit

Tabel H.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie meethoogten zijn genomen van mestsilo H.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-jun	9-jul	13-aug	10-sep	15-okt	11-nov	10-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	53,7	52,7	-	48,9	-	-	-	-	41,6	41,2
Midden	54,7	53,0	35,2	45,6	46,3	-	-	47,6	42,2	38,5
Onder	55,8	55,5	91,6	46,5	46,8	83,8	46,8	46,1	42,6	40,2
As (g/kg)										
Boven	17,9	17,5	-	17,1	-	-	-	-	15,6	18,1
Midden	17,8	17,4	13,9	16,2	16,3	-	-	17,4	15,0	14,5
Onder	18,4	17,7	27,9	15,9	16,1	21,5	15,8	15,9	15,3	15,1
Organische stof (g/kg)										
Boven	35,8	35,2	-	31,8	-	-	-	-	26,0	23,0
Midden	36,9	35,6	21,3	29,4	30,0	-	-	30,2	27,2	24,0
Onder	37,5	37,8	63,7	30,6	30,8	62,3	31,1	30,2	27,3	25,1
Organische stof (% ds)										
Boven	67%	67%	-	65%	-	-	-	-	62%	56%
Midden	67%	67%	61%	65%	65%	-	-	63%	64%	62%
Onder	67%	68%	70%	66%	66%	74%	66%	66%	64%	62%
CZV (g/kg)										
Boven	51,3	47,4	-	44,4	-	-	-	-	38,9	30,9
Midden	52,5	47,5	29,4	38,4	44,2	-	-	40,3	40,3	33,6
Onder	53,7	52,6	81,8	42,8	43,3	81,1	43,9	41,0	39,9	35,9
OS/CZV (%)										
Boven	70%	74%	-	72%	-	-	-	-	67%	74%
Midden	70%	75%	72%	77%	68%	-	-	75%	67%	71%
Onder	70%	72%	78%	72%	71%	77%	71%	74%	68%	70%
Totaal-P (g/kg)										
Boven	1,22	1,24	-	1,19	-	-	-	-	0,98	1,04
Midden	1,27	1,25	0,76	1,12	1,21	-	-	1,06	1,01	0,90
Onder	1,28	1,29	1,73	1,07	1,04	1,78	1,15	1,06	1,00	0,95
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	2,80	2,85	-	2,73	-	-	-	-	2,24	2,38
Midden	2,91	2,86	1,74	2,56	2,77	-	-	2,43	2,31	2,07
Onder	2,94	2,96	3,97	2,45	2,38	4,09	2,63	2,43	2,28	2,17
Totaal-N (g/kg)										
Boven	5,54	5,19	-	4,50	-	-	-	-	4,80	4,89
Midden	5,51	5,24	4,23	4,49	4,79	-	-	5,02	4,89	4,83
Onder	5,59	5,30	4,96	4,37	4,77	5,80	5,03	4,98	4,91	4,85
Ammonium-N (g/kg)										
Boven	3,69	3,45	-	2,86	-	-	-	-	3,26	3,39
Midden	3,70	3,48	2,92	2,93	3,20	-	-	3,29	3,23	3,34
Onder	3,75	3,53	3,02	2,93	3,23	3,55	3,34	3,32	3,29	3,36
Ammonium-N (% totaal-N)										
Boven	67%	66%	-	64%	-	-	-	-	68%	69%
Midden	67%	66%	69%	65%	67%	-	-	65%	66%	69%
Onder	67%	67%	61%	67%	68%	61%	66%	67%	67%	69%
Boven (mV)										
Boven (mV)	-385	-388	-	-386	-	-	-	-	-369	-397
Midden (mV)										
Midden (mV)	-379	-393	-380	-390	-408	-	-	-390	-378	-408
Onder (mV)										
Onder (mV)	-381	-398	-392	-390	-405	-386	-375	-398	-381	-391
pH										
Boven (-)	7,73	7,56	-	7,68	-	-	-	-	7,65	7,68
Midden (-)	7,65	7,50	7,5	7,64	7,54	-	-	7,66	7,64	7,67
Onder (-)	7,61	7,42	7,5	7,59	7,57	7,77	7,80	7,60	7,68	7,67

Tabel I.1 Resultaten van de analyses, metingen en testen van de mengmonsters en de bezinklaagmonsters van meststilo I.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-juni	9-juli	13-aug	10-sept	15-okt	12-nov	10-dec
Mengmonster										
Drogestof (g/kg)	20,6	27,0	54,0	34,8	19,7	19,2	18,0	16,0	15,5	16,8
Organische stof (g/kg)	10,0	15,0	36,7	21,3	9,1	8,8	8,8	7,20	7,4	7,9
Organische stof (% van drogestof)	49%	56%	68%	61%	46%	46%	49%	45%	47%	47%
CZV (g/kg)	17,5	23,3	55,2	30,1	14,9	15,0	12,1	12,6	10,5	10,3
pH (-)	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,7	7,5	7,8	7,7	7,7
ORP (mV)	-	-390	-381	-393	-398	-402	-395	-390	-394	-389
VVZ t=0 (mg CZV/l)	385 ± 13	1780 ± 32	756 ± 12	266 ± 3	42 ± 0	63 ± 1	42 ± 1	28 ± 1	25 ± 3	79 ± 4
C2 t=0 (mg/l)	231 ± 11	786 ± 20	180 ± 2	169 ± 2	40 ± 0	59 ± 1	39 ± 1	26 ± 0	23 ± 3	74 ± 4
C3 t=0 (mg/l)	55 ± 0,6	434 ± 4	260 ± 5	56 ± 0	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
C4 t=0 (mg/l)	BDL	34 ± 1	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
C5 t=0 (mg/l)	27 ± 0	109 ± 3	83 ± 2	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Temperatuur in meststilo (oC)	11,5	13,0	14,5	15,5	23,9	19,7	18,5	14,9	7,9	6,2
PMM-test										
Biogas (Nl/kg OS)	230 ± 6	240 ± 0	189 ± 14	145 ± 3	205 ± 7	147 ± 10	108 ± 7	86 ± 6	77 ± 3	116 ± 6
Biogas (Nm3/ton)	2 ± 0	4 ± 0	7 ± 1	3 ± 0	2 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0	1 ± 0
Methaan (%)	61%	65%	63%	64%	57%	57%	57%	52%	51%	56%
Methaan (Nl/kg OS)	140	156	119	93	117	84	62	45	39	65
Methaan (Nm3/ton)	1,4	2,3	4,4	2,0	1,1	0,7	0,5	0,3	0,3	0,5
Methaan (Nm3/kg CZV)	0,08	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05
RMM-test										
Temperatuur tijdens test (oC)	10	13	11,5	16,5	20	19	17	15	9	8
pH (-)	7,7	8,0	8,0	8,0	8,1	8,0	8,0	8,1	8,1	8,1
VVZ t=30 (mg CZV/l)	155 ± 10	660 ± 87	223 ± 22	BDL	<20	<20	BDL	BDL	24 ± 1	26 ± 6
Biogas (Nl/kg OS)	50 ± 1,3	71 ± 2	23 ± 1	41 ± 1	65 ± 3	69 ± 1	41 ± 0	36 ± 0	20 ± 2	27 ± 2
Biogas (Nm3/ton)	0,5	1,1	0,8	0,9	0,6	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2
Methaan (%)	41%	61%	52%	55%	40%	40%	22%	22%	0%	18%
Methaan (Nl/kg OS)	21	43	12	23	26	28	9	8	0	5
Methaan (Nm3/ton)	0,2	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Methaan (Nl/kg CZV)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Bezinklaag										
Drogestof (g/kg)	199	-	115	-	-	25,2	-	-	42,7	-
Organische stof (g/kg)	76,5	-	77	-	-	14,3	-	-	27,0	-
Organische stof (% van drogestof)	39%	-	67%	-	-	57%	-	-	63%	-
pH (-)	7,6	-	8,2	-	-	7,9	-	-	7,9	-
VVZ (mg CZV/l)	236 ± 9	-	819 ± 42	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C2 (mg/l)	151 ± 6	-	246 ± 32	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C3 (mg/l)	21 ± 1	-	254 ± 3	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C4 (mg/l)	BDL	-	BDL	-	-	BDL	-	-	BDL	-
C5 (mg/l)	21 ± 2	-	85 ± 2	-	-	BDL	-	-	BDL	-
MA-test										
Dag			dag 4-7			dag 5-7			dag 5-7	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	10,6	-	-	36,0	-	-	8,5	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	-	-	11,0	-	-	36,2	-	-	8,7	-
CH4 in biogas (%)	-	-	67%	-	-	68%	-	-	59%	-
Dag	dag 11-13		dag 11-14			dag 11-14			dag 11-14	
Fles 1 (mg CH4-COD/g VS,dag)	51,6	-	22,9	-	-	29,3	-	-	13,2	-
Fles 2 (mg CH4-COD/g VS,dag)	44,4	-	23,0	-	-	31,2	-	-	13,9	-
CH4 in biogas (%)	75%	-	82%	-	-	81%	-	-	79%	-

BDL = Below detection limit

Tabel I.2 Resultaten van de analyses en metingen van de mestmonsters die op de drie methoogten zijn genomen van mestsilo I.

Datum	26-feb	9-apr	14-mei	12-jun	9-jul	13-aug	10-sep	15-okt	12-nov	10-dec
Drogestof (g/kg)										
Boven	25,6	-	-	-	-	23,7	-	-	-	-
Midden	20,2	29,1	21,8	21,7	19,8	18,2	-	-	-	17,8
Onder	21,2	25,7	86,7	47,0	20,3	19,3	18,3	17,0	14,9	16,1
As (g/kg)										
Boven	10,9	-	-	-	-	11,7	-	-	-	-
Midden	9,9	12,3	10,9	11,4	10,6	10,0	-	-	-	9,6
Onder	9,8	11,7	26,1	16,8	10,7	10,1	10,1	8,9	8,4	9,0
Organische stof										
Boven	14,7	-	-	-	-	12,0	-	-	-	-
Midden	10,3	16,8	10,8	10,3	9,1	8,2	-	-	-	8,2
Onder	11,4	14,0	60,7	30,3	9,6	9,2	8,2	8,1	6,5	7,1
Organische stof (% ds)										
Boven	57%	-	-	-	-	51%	-	-	-	-
Midden	51%	58%	50%	48%	46%	45%	-	-	-	46%
Onder	54%	54%	70%	64%	47%	48%	45%	48%	43%	44%
CZV (g/kg)										
Boven	20,4	-	-	-	-	18,0	-	-	-	-
Midden	15,6	24,7	19,0	15,5	14,9	13,3	-	-	-	11,9
Onder	16,7	21,9	91,3	44,8	14,9	13,8	12,1	12,6	10,5	8,7
OS/CZV (%)										
Boven	72%	-	-	-	-	67%	-	-	-	-
Midden	66%	68%	57%	67%	61%	62%	-	-	-	69%
Onder	69%	64%	66%	68%	65%	66%	67%	64%	62%	82%
Totaal-P (g/kg)										
Boven	0,37	-	-	-	-	0,34	-	-	-	-
Midden	0,15	0,45	0,19	0,23	0,20	0,18	-	-	-	0,16
Onder	0,15	0,28	2,36	1,16	0,24	0,20	0,14	0,14	0,12	0,11
Totaal-P2O5 (g/kg)										
Boven	0,86	-	-	-	-	0,77	-	-	-	-
Midden	0,35	1,02	0,43	0,52	0,47	0,41	-	-	-	0,37
Onder	0,35	0,64	5,39	2,65	0,54	0,47	0,31	0,32	0,27	0,26
Totaal-N (g/kg)										
Boven	4,17	-	-	-	-	3,96	-	-	-	-
Midden	3,96	4,37	4,15	3,93	3,82	3,75	-	-	-	3,32
Onder	3,94	4,20	6,23	5,01	3,86	3,78	3,75	3,36	3,25	3,32
Ammonium-N (g/kg)										
Boven	3,16	-	-	-	-	3,14	-	-	-	-
Midden	3,12	3,24	3,23	3,03	3,14	3,15	-	-	-	2,70
Onder	3,17	3,17	3,98	3,57	3,17	3,17	3,16	2,82	2,74	2,75
Ammonium-N (% totaal-N)										
Boven	76%	-	-	-	-	79%	-	-	-	-
Midden	79%	74%	78%	77%	82%	84%	-	-	-	81%
Onder	80%	76%	64%	71%	82%	84%	84%	84%	84%	83%
ORP										
Boven (mV)	-385	-	-	-	-	-402	-	-	-	-
Midden (mV)	-394	-390	-382	-399	-399	-411	-	-	-	-373
Onder (mV)	-391	-398	-381	-399	-401	-404	-389	-388	-389	-380
pH										
Boven (-)	7,73	-	-	-	-	7,66	-	-	-	-
Midden (-)	7,77	7,55	7,40	7,69	7,58	7,60	-	-	-	7,74
Onder (-)	7,75	7,60	7,50	7,65	7,55	7,59	7,67	7,65	7,74	7,67

Bijlage 9 Model voorspelling methaanemissie mestsilos

Algemeen

Sommer *et al.* (2004) hebben een model voorgesteld om de effecten van organische stof en temperatuur op de methaanemissie uit mestopslagen te kwantificeren. In het kader van dit onderzoek zijn de onderzoeksresultaten vergeleken met dit model om een indruk te krijgen of de modelvoorspellingen in lijn lagen met de gerealiseerde methaanproductie uit de mestsilos o.b.v. de RMM-test.

Materiaal en Methode

Sommer *et al.* (2004) hebben het volgende model voorgesteld om de effecten van organische stof en temperatuur op de methaanemissie uit mestopslagen te kwantificeren.

$$F_t = \left(OS_d + 0.01 OS_{nd} \right) e \left(\ln A - \frac{E_A}{RT} \right)$$

In dit model zijn:

- F = emissie snelheid (g CH₄/kg OS/uur)
- OS_d = afbreekbare organische stof (g/kg)
- OS_{nd} = niet-afbreekbare organische stof (g/kg)
- A = Arrhenius parameter (g CH₄/kg OS/uur)
- E_A = schijnbare activeringsenergie (J/mol)
- R = gasconstante (J/K/mol)
- T = temperatuur (K)

Het model beschouwt organische stof als de belangrijkste drijvende variabele voor de methaanemissie. De temperatuurafhankelijkheid van de methaanemissie wordt geschat via de Arrhenius vergelijking. Verschillende auteurs hebben verschillende waarden voor de parameters in het model gebruikt om de methaanemissie te voorspellen, zie tabel A.

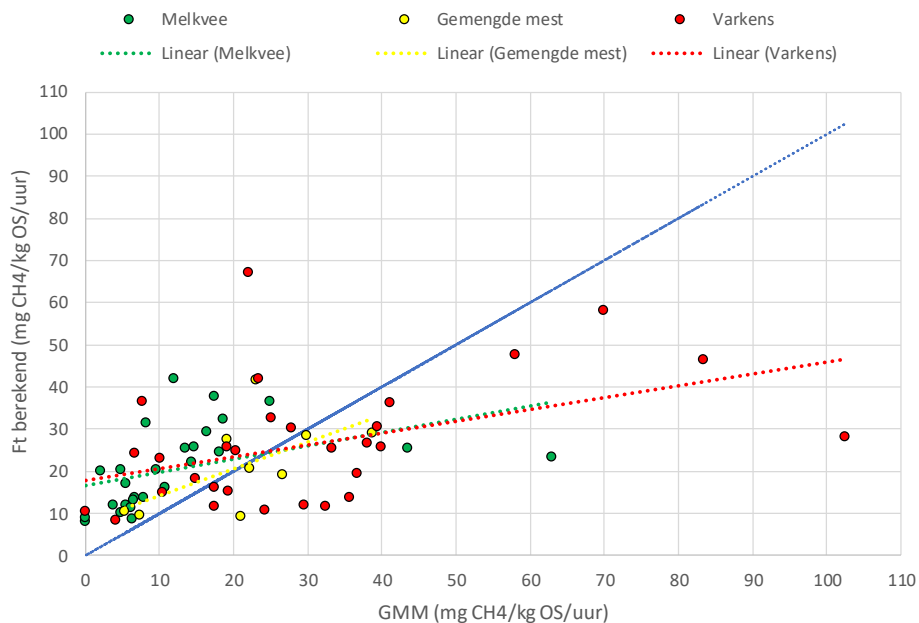
Tabel A Gehanteerde parameters in het algoritme om de methaanemissie te voorspellen.

Auteurs	Rundvee				Varkens			
	OS _d	OS _{nd}	Ln(A)	E _a	OS _d	OS _{nd}	Ln(A)	E _a
Sommer <i>et al.</i> (2004)	46%	54%	43,3	112,7	89%	11%	43,2	112,7
Elsgaard <i>et al.</i> (2016)	-	-	33,3	83,3	-	-	31,1	80,2
Petersen <i>et al.</i> (2016)	33%	67%	31,2	81,0	51%	49%	31,2	81,0

Voor de parameters in het model zijn de waarden van Petersen *et al.* (2016) gebruikt, omdat deze beter onderbouwd zijn dan die van Sommer *et al.* (2004). Hierbij zijn voor gemengde mest de waarden van rundveemest aangehouden, omdat het merendeel van de gemengde mest uit rundveemest bestond. Voor de dichtheid van methaan is 0,67 kg/m³ aangehouden, zoals ook is gebruikt door Groenestein *et al.* (2016). De methaanemissie per dag is o.b.v. de RMM-test bepaald door de methaanproductie te delen door het aantal dagen dat de RMM-test heeft geduurd. In sommige gevallen was er in de RMM-test bij aanvang een hogere biogasproductiesnelheid dan aan het eind van de test. Dus dit is wel een vereenvoudiging van de data.

Resultaten

In figuur A is de berekende methaanemissie vergeleken met de methaanemissie o.b.v. de RMM-test.



Figuur A Berekende methaanemissie o.b.v. het model uitgezet tegen methaanemissie o.b.v. de RMM-test voor de afzonderlijke mestsoorten (de blauwe lijn geeft aan waar de berekende emissie gelijk is aan de methaanemissie o.b.v. de RMM-test).

Figuur A laat zien dat er sprake is van een vrij grote spreiding en dat de berekende methaanemissie sterk kan afwijken van de methaanemissie o.b.v. de RMM-test. Er is geen sprake van een goede voorspelling door het model aangezien de meeste punten (sterk) afwijken van de blauwe lijn. Voor de melkveemest is er bijna altijd sprake van een overschatting door het model en voor varkensmest wisselt het sterk met zowel over- als onderschattingen.

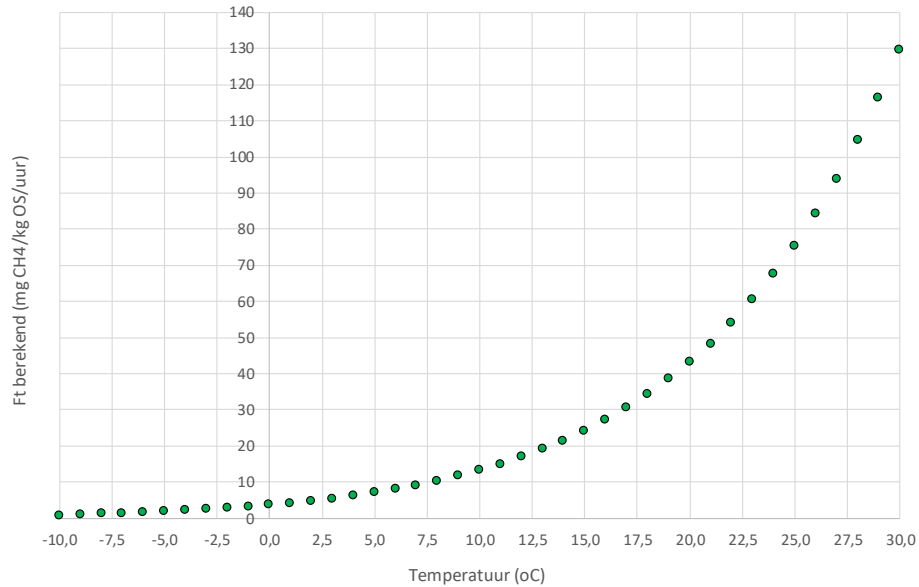
Discussie

In dit onderzoek leverde het model geen goede voorspelling op. Baral *et al.* (2018) hebben hetzelfde model vergeleken met metingen van de methaanemissie uit mestopslagen op pilot-schaal (5 m³ mestinhoud). Op basis van de onderzoeksresultaten werd geconcludeerd dat de methaanemissie niet voorspeld kan worden op basis van alleen de organische stof en de temperatuur. Kariyapperuma *et al.* (2018) hebben emissiemetingen bij een mestilo in de praktijk vergeleken met het USEPA-moel. Het USEPA-model maakt ook gebruik van de Arrhenius vergelijking om de methaanemissie te voorspellen. De voorspelde waarde bleek op jaarbasis 2,3x groter te zijn dan de gemeten emissie. Oftewel een flinke overschatting van het model.

Mogelijke oorzaken van de verschillen kunnen zijn dat de Elsgaard *et al.* (2016) en Petersen *et al.* (2016) dezelfde voorbehandeling hebben toegepast van de mest. De mest werd gezeefd en alleen de delen kleiner dan 2 mm werden gebruikt en vervolgens werd de gezeefde mest geïncubeerd voor 17 uur bij 20-22°C om de methanogenese te activeren. Vervolgens werd de methaanproducties van de voorbehandelde mest onder verschillende omstandigheden bepaald. Door deze voorbehandelingen kunnen de uitkomsten zijn beïnvloed. Verder wordt het model gefit op de meetdata om de parameters van het model te bepalen. Echter deze parameters zijn dan specifiek voor de onderzochte situatie. In andere situaties kunnen de parameters afwijken. Om een model voor meerdere situaties te kunnen gebruiken dient de nauwkeurigheid en robuustheid van het model met de vastgestelde parameters met mesten afkomstig van verschillende bedrijven onder verschillende omstandigheden getest te worden.

Sommer *et al.* (2004) geven geen uitleg waarom het model o.b.v. de Arrhenius-vergelijking een goede methode zou zijn voor het voorspellen van de methaanemissie. In de fysische chemie is de Arrhenius vergelijking een formule voor de temperatuurafhankelijkheid van reactiesnelheden (Wikipedia, 2020). Het vergistingsproces is een biologisch-chemisch proces en niet alleen een fysisch chemisch proces. Sommer *et al.* (2004) geven geen uitleg waarom ze specifiek voor deze temperatuurafhankelijkheid hebben gekozen. Tevens wordt ook niet uitgelegd wat de verschillende parameters van de Arrhenius

vergelijking betekenen als dit bekeken wordt vanuit het vergistingsproces. In figuur B is voor melkveemest de emissie berekend met het model voor het temperatuurtraject van -10 t/m 30°C.



Figuur B Berekende methaanemissie o.b.v. het model test voor het temperatuurtraject van -10 t/m 30°C.

Uit figuur B wordt duidelijk dat de emissie exponentieel toeneemt bij stijgende temperatuur. Bij temperatuur onder nul vindt volgens het model emissie plaats en bij hogere temperaturen neemt de emissie zeer sterk toe. Wat de figuur tevens duidelijk maakt is dat het model geen rekening houdt met de temperatuurtrajecten waarin micro-organismen actief zijn in het vergistingsproces. Psychrofiële micro-organismen hebben hun optimale temperatuur beneden de 25°C, mesofiele micro-organismen hebben hun optimale temperatuur tussen de 37 en 42°C, terwijl thermofiele micro-organismen hun optimale temperatuur hebben tussen de 50 en 60°C. Er is in het vergistingsproces geen sprake van een vloeiende overgang van de activiteit van de ene groep micro-organismen naar een andere groep bij een stijgende temperatuur. Zodra de temperatuur lager of hoger is dan het optimum dan neemt de activiteit van de micro-organismen af en daalt de methaanproductie. Het temperatureffect van de Arrhenius vergelijking vormt dan geen goede weergave van het effect van temperatuur op het vergistingsproces.

Bijlage 10 Correlaties mestparameters

Tabel A Correlatiecoëfficiënten van de mestparameters met PMM en RMM over alle mestsoorten heen.

Parameter	PMM (NI CH ₄ /kg OS)	RMM (NI CH ₄ /kg OS)
PMM (NI CH ₄ /kg OS)	1,00	
RMM (NI CH ₄ /kg OS)	0,32	1,00
DS (g/kg)	0,27	0,03
OS (g/kg)	0,27	-0,01
Temperatuur mest (oC)	-0,11	0,51
pH (-)	-0,57	0,12
VVZ (mg CZV/l)	0,81	0,11
MA 1-7 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,02	0,80
MA 8-14 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,56	0,18

Tabel B Correlatiecoëfficiënten van de mestparameters met PMM en RMM van melkveemest.

Parameter	PMM (NI CH ₄ /kg OS)	RMM (NI CH ₄ /kg OS)
PMM (NI CH ₄ /kg OS)	1,00	
RMM (NI CH ₄ /kg OS)	0,19	1,00
DS (g/kg)	0,47	0,17
OS (g/kg)	0,48	0,13
Temperatuur mest (oC)	-0,09	0,50
pH (-)	-0,43	0,04
VVZ (mg CZV/l)	0,73	-0,02
MA 1-7 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	-0,40	0,68
MA 8-14 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,50	-0,14

Tabel C Correlatiecoëfficiënten van de mestparameters met PMM en RMM van gemengde mest.

Parameter	PMM (NI CH ₄ /kg OS)	RMM (NI CH ₄ /kg OS)
PMM (NI CH ₄ /kg OS)	1,00	
RMM (NI CH ₄ /kg OS)	-0,67	1,00
DS (g/kg)	0,80	-0,34
OS (g/kg)	0,88	-0,47
Temperatuur mest (oC)	-0,82	0,64
pH (-)	-0,90	0,86
VVZ (mg CZV/l)	0,93	-0,60
MA 1-7 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	-0,90	0,47
MA 8-14 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,25	-0,33

Tabel D Correlatiecoëfficiënten van de mestparameters met PMM en RMM van varkensmest.

Parameter	PMM (NI CH ₄ /kg OS)	RMM (NI CH ₄ /kg OS)
PMM (NI CH ₄ /kg OS)	1,00	
RMM (NI CH ₄ /kg OS)	0,40	1,00
DS (g/kg)	0,37	0,45
OS (g/kg)	0,38	0,46
Temperatuur mest (oC)	-0,05	0,48
pH (-)	-0,74	-0,15
VVZ (mg CZV/l)	0,86	0,22
MA 1-7 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,22	0,80
MA 8-14 dgn (mg CH ₄ -CVZ/g OS.dag)	0,73	0,17

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

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.

