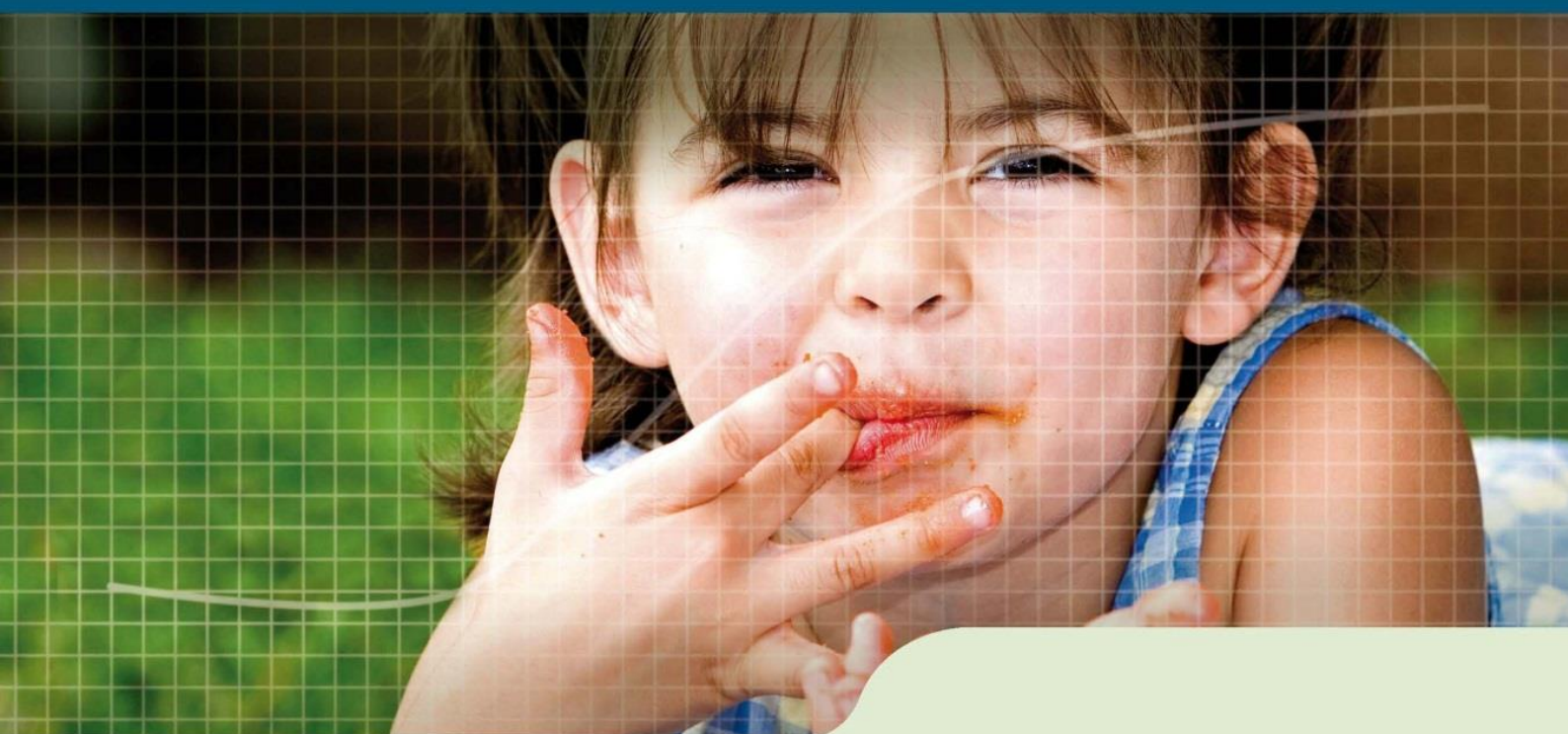


Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 729

Mestvergisting bij korte verblijftijden

Gefinancierd door het ministerie van EL&I

Oktober 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR



Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2013

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

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

Wageningen UR Livestock Research en Central
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen
met het Departement Dierwetenschappen van
Wageningen University de Animal Sciences Group
van Wageningen UR (University & Research
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



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

Abstract

In four CSTR laboratory reactors research has
been conducted into the effect of reduction of
the retention time on the biogas production from
pig and cattle slurry and the volatile fatty acid
content in the digester. Further, the effect of
adding a small amount of glycerine on the
retention time and the volatile fatty acid content
in the digester has been researched.

Keywords

Manure digestion, anaerobic digestion, biogas,
glycerine, manure, slurry

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

M. Timmerman (WLR)
M.H.A. van Eekert (LeAF)
J.W. van Riel (WLR)
E. Schuman (LeAF)

Titel

Mestvergisting bij korte verblijftijden

Rapport 729

Samenvatting

In vier (semi-)continu bedreven laboratorium
reactoren is onderzoek gedaan naar het effect
van het verkorten van de verblijftijd op de
biogasproductie van varkens- en rundveemest
en het gehalte aan vluchtige vetzuren in de
vergister. Tevens is onderzocht wat het effect is
van het toevoegen van een kleine hoeveelheid
glycerine op de verblijftijd en gehalte aan
vluchtige vetzuren in de vergister.

Trefwoorden

Mestvergisting, vergisting, biogas, glycerine,
mest

Rapport 729

Mestvergisting bij korte verblijftijden

M. Timmerman (WLR)
M.H.A. van Eekert (LeAF)
J.W. van Riel (WLR)
E. Schuman (LeAF)



Ministerie van Economische Zaken

Oktober 2013

"Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Kennisbasis onderzoek in het kader van het EZ programma Groene grondstoffen, thema Biorefinery en Bio-energie projectnummer KB-13-003-012"

Samenvatting

De rijksoverheid en de primaire sector (akkerbouw, tuinbouw en veehouderij) hebben in het Convenant Schone en Zuinige Agrosectoren afgesproken om in 2020 te streven naar een biogasproductie van 1.500 miljoen m³ biogas. Echter het financiële rendement van mest- en covergistingsinstallaties is onder de huidige omstandigheden niet rooskleurig. Verdere kennisontwikkeling is derhalve nodig om biogasproductie uit mest effectiever en rendabeler te maken, zodat de biogasproductie uit mest in Nederland verder kan toenemen.

Deze studie heeft zich gericht op opties wat het rendement van een simpele mestvergistingsinstallatie kan verbeteren. In het onderzoek is een proef opgezet met varkens- en rundveemest in vier (semi)-continu bedreven laboratorium vergisters. Onderzocht is wat het effect is op de biogasproductie van mest en op het gehalte aan vluchtige vetzuren in de vergister van:

- het reduceren van de verblijftijd en
- het toevoegen van een kleine hoeveelheid coproduct (glycerine).

Uit de resultaten van de uitgevoerde testen en de modellering kan het volgende worden geconcludeerd:

- Verlaging van de verblijftijd bij varkensmest tot 12-14 dagen was mogelijk, maar daarbij nam de biogasproductie per gram OS wel af. De totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) nam niet of nauwelijks toe bij het verlagen van verblijftijd. De (slechte) kwaliteit van de mest is hiervan mogelijk een oorzaak. Het valt niet uit te sluiten dat bij gebruik van verse varkensmest wel meer biogas zou zijn geproduceerd.
- Verlaging van de verblijftijd bij rundveemest tot 10-12 dagen was mogelijk, en daarbij nam de biogasproductie per gram OS niet af. De totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) nam wel toe bij verlagen van de verblijftijd. Bij het hier gehanteerde voedingsregime is een kortere verblijftijd niet aan te raden. De verwachting is dat bij een slechtere kwaliteit rundveemest, i.e. langer opgeslagen mest met een lager CZV gehalte, het effect van kortere verblijftijden ook negatief zal zijn (analoog aan varkensmest).
- Het effect van glycerine op de biogasproductie en de optimale verblijftijd kan per vergister verschillen, maar een kleine hoeveelheid glycerine geeft gemiddeld een flinke stijging in biogasproductie. De glycerine dosering lijkt geen noemenswaardig nadelig effect te hebben op de omzetting van de organische stof in de mest.
- Het gehalte en verhouding van vluchtige vetzuren is geen maat voor de effectiviteit van de vergisting bij een zekere verblijftijd, maar is meer een indicatie voor de samenstelling of effectiviteit van de micro-organismen die samenwerken tijdens de vergisting om organische stof om te zetten naar methaan (in biogas).
- Volgens de modelschattingen bleek dat het positieve effect van glycerinedosering relatief afneemt bij kortere verblijftijden. Voor elke praktijkvergister dient dus een afweging te worden gemaakt tussen optimale verblijftijd en effect van glycerinedosering.

Summary

The Dutch government and the primary sector (horticulture, arable and livestock sector) have agreed in the 'Covenant Clean and Sparingly Agro sectors' to strive for a biogas production of 1.500 million m³ biogas in 2020. Currently, the financial return of manure and co-digestion plants in the Netherlands is not high enough to sustain the widespread implementation of manure (co)digestion. Therefore, further knowledge development is necessary to increase the efficiency and cost-effectiveness of biogas production from manure which can help to increase the biogas production from manure in the Netherlands.

This study aimed at option which could improve the cost-effectiveness of simple manure digestion plants. Therefore, an experiment has been setup with pig and cattle manure in four (semi-)continuous laboratory digesters. The effect of:

- The reduction of the retention time and
- The addition of a small amount of coproduct (glycerine)

on the biogas production and the volatile fatty acid content in the digester have been assessed.

The results of the study (both in tests and from the statistical modelling) show that:

- For pig manure a decrease of the retention time to 12-14 days is feasible, but the biogas production per kg OM could decrease. The total biogas production (ml per 3.5 days) did not or hardly increase when the retention time was decreased. The absence of a positive effect of the decrease may be partially due to the low quality of the manure used in the study. Usage of fresh manure with a better quality could have resulted in a higher biogas production.
- For dairy cattle manure it was possible to decrease the retention time to 10-12 days, and the biogas production per kg OM could be maintained at a constant level. The total biogas production (ml per 3.5 days) did increase when the retention time was decreased. Application of a retention time shorter than 10-12 days is not recommended under the feed regime applied in this research (twice a week). It is expected that digestion at retention times of 10-12 days of dairy cattle manure of a lower quality, i.e. manure stored for a prolonged periods of time with a lower COD than usual, will also result in a negative effect on biogas production (similar to digestion of pig manure described in the report).
- The effect of glycerine on the biogas production differed per reactor, but the addition of a small amount resulted in a substantial increase of the biogas production. The glycerine addition did not negatively affect the transformation of the organic matter in the manure to biogas.
- The volatile fatty acid (VFA) content in manure digestate is not necessarily a measure for the effect on digestion of changes in the retention time. Rather, the VFA content is an indicator for the composition and/or effectiveness of the microbial biomass that cooperates in transforming organic matter to methane in biogas.
- The modelling results indicate that the positive effect of glycerine addition to the digester decreases at shorter retention times. The operation of any digester requires therefore a balance between optimal retention times and optimal glycerine addition.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Doelstelling.....	1
1.3	Afbakening	1
2	Onderzoeksopzet	2
2.1	Materiaal en methode	2
2.2	Waarnemingen.....	3
2.3	Statistische analyse	4
3	Resultaten.....	5
3.1	Samenstelling mest en digestaat	5
3.2	Biogasproductie en gehalten aan vluchtige vetzuren	5
3.2.1	Vergisting van varkensmest.....	5
3.2.2	Vergisting van rundveemest	8
3.3	Methaangehalte van het biogas.....	11
3.4	Statistische analyse	12
4	Discussie	15
5	Conclusies en aanbevelingen.....	17
5.1	Conclusies.....	17
5.2	Aanbevelingen	17
	Literatuur	18
	Bijlagen.....	19
	Bijlage 1 Varkensmestvergisters: aanvullende resultaten	19
	Bijlage 2 Rundveemestvergisters: aanvullende resultaten	21

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De rijksoverheid en de primaire sector (akkerbouw, tuinbouw en veehouderij) hebben in het Convenant Schone en Zuinige Agrosectoren afgesproken om in 2020 te streven naar een biogasproductie van 1.500 miljoen m³ biogas en circa 25-30% emissiereductie van overige broeikasgassen ten opzichte van 1990 (Anonymous, 2008). Dit betekent o.a. dat een aanzienlijk deel van de veehouderijbedrijven zijn mest zal moeten gaan (co)vergisten om dit resultaat te kunnen behalen.

De huidige trends van vergisting in de agrarische sector zijn de grotere belangstelling voor mestvergisting (evt. met een kleine hoeveelheid coproduct), afnemende belangstelling voor grote covergistingsinstallaties en uitbreiding van reeds bestaande covergistingsinstallaties. Echter, het financieel rendement van zowel mest- als covergisting is onder de huidige omstandigheden niet rooskleurig. Bij mestvergisting is de installatie relatief duur met relatief lage biogasopbrengsten, terwijl bij covergisters de stijgende prijzen voor coproducten zorgen voor slechte rendementen (Van den Boom, 2011). Ook het (operationele) management speelt bij covergisters een belangrijke rol. Daarom is meer kennisontwikkeling nodig om de biogasproductie meer kosteneffectief en rendabel te maken.

Om mestvergisting beter te laten renderen komen o.a. de volgende opties in beeld:

- Toepassing van een kleine, simpele standaard vergistingstank met geïntegreerde biogasopslag: hierin kan een grotere hoeveelheid mest bij kortere verblijftijden vergist worden mits de biogasproductie op peil blijft. Door standaardisatie kunnen vergisters goedkoper worden geproduceerd en geïnstalleerd.
- Inzet van een grotere WKK: de kosten van een WKK reduceren sterk in het traject van 30 tot 100 kWe, waardoor het zinvol lijkt om een kleine hoeveelheid coproduct in te doseren als 'energybooster' en 'stuurvloeistof' om zo een grotere WKK continu op vollast te kunnen laten draaien.

Het hier beschreven onderzoek heeft zich gericht op mestvergisting in een simpele volledig geroerde vergistingstank waarbij een kleine hoeveelheid coproduct kan worden gedoseerd. Hiermee kunnen beide hierboven beschreven opties voor verbetering van het rendement worden onderzocht.

1.2 Doelstelling

Het doel van het hier beschreven onderzoek was verbetering van het rendement van een simpele mestvergistingsinstallatie. Specifiek is hiervoor in deze studie onderzoek gedaan naar:

1. Het effect van het reduceren van verblijftijd op de biogasproductie van mest en op het gehalte aan vluchtige vetzuren in de vergister;
2. Het effect van het toevoegen van een kleine hoeveelheid coproduct (glycerine) op het effect van het verlagen van de verblijftijd en het gehalte aan vluchtige vetzuren in de vergister.

De resulterende kennis geeft meer inzicht in de mate waarin een simpele geroerde vergistingstank geoptimaliseerd kan worden door een reductie in de verblijftijd (zodat meer mest in dezelfde vergistingstank per tijdseenheid kan worden vergist), waarbij bovendien met een kleine hoeveelheid coproduct een goede biogasproductie kan worden gerealiseerd.

1.3 Afbakening

Rundvee- en varkensmest vormen het grootste mestvolume in Nederland en daarom is het onderzoek beperkt tot deze twee mestsoorten. Het effect van mixinstellingen op de reductie in verblijftijd is in dit onderzoek niet meegenomen, omdat in de proefopstelling de mixers in de reactoren door dezelfde aandrijving werden bediend. Hierdoor was een onafhankelijke instelling van de duur en frequentie van mixen per vergister niet mogelijk.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Materiaal en methode

In de proefopstelling zijn in totaal vier continu geroerde vergisters (CSTR's) bedreven (Figuur 1).



Figuur 1. De opstelling voor de vergistingstesten.

De wijze van bedrijven van de CSTR's is samengevat in Tabel 2-1 weergegeven. De vergisters zijn gedurende de eerste 28 dagen opgestart en daarna als monovergister of covergister bedreven.

Tabel 2-1. Algemene opzet van vergistingsexperimenten.

Code vergister	Mestsoort	Tijd (dagen)	Wijze van bedrijven
V1	Varkensmest VIC Sterksel	0-28	Opstart
		28-74	Monovergisting
		74-143	Covergisting
V2	Varkensmest VIC Sterksel	0-28	Opstart
		28-112	Covergisting
		112-143	Monovergisting
R3	Rundveemest De Marke	0-28	Opstart
		28-74	Monovergisting
		74-143	Covergisting
R4	Rundveemest De Marke	0-28	Opstart
		28-112	Covergisting
		112-143	Monovergisting

De twee CSTR's die op varkensmest draaiden zijn bij de opstart gevuld met circa 8,6 kg digestaat afkomstig van de Microferm-vergister op VIC Sterksel. De twee CSTR's die op rundveemest draaiden zijn bij de opstart gevuld met circa 8,8 kg digestaat afkomstig van de vergister op KTC De Marke. In de proef is verder gebruik gemaakt van varkensmest afkomstig van VIC Sterksel en rundveemest afkomstig van de melkveestal van KTC De Marke. De mest werd na aanlevering opgeslagen in een koelcel. Vanwege de beperkte opslagcapaciteit in de koelcel werd de mest in meerdere keren aangeleverd.

Als coproduct is gebruik gemaakt van glycerine. Glycerine is een goede 'stuurvloeistof' vanwege de snelle respons na toevoegen en is verpompbaar waardoor toevoegen in de praktijk makkelijk direct vanuit een opslagsilo kan plaatsvinden. Vanwege de beperkte benodigde hoeveelheid glycerine werd dit in één keer aangevoerd vanuit de opslagsilo van de biogasinstallatie op VIC Sterksel. Het covergisten met glycerine is circa 1 maand na aanvang gestart.

De uitgangspunten van de vier reactoren in de CSTR-proef waren:

- Elke reactor had een netto inhoud van bijna 9 liter;
- De reactortemperatuur werd op 37°C gehouden d.m.v. de watermantel van de reactor;
- De module waarin de vier reactoren stonden opgesteld werd op een temperatuur van 30°C gehouden;
- De verblijftijd bij aanvang van de proef bedroeg 20 dagen;
- De reactoren werden 2x per week gemeten en gevoed (maandagochtend en donderdagmiddag) wat neer kwam op een voeding van 1500 gram mest per keer bij aanvang van de proef. Voorafgaand aan elke voeding werd digestaat verwijderd. Hierbij werd rekening gehouden met een volumeverlies in de reactor door verdampen van water.
- Het was praktisch niet mogelijk om de glycerine in meerdere porties over de dagen heen toe te voegen aan de vergisters, vanwege de hoge viscositeit en relatief kleine hoeveelheden die werden toegevoegd.
- De reactoren werden continue gemixt via een langzaam draaiend roerwerk.

De totale proefduur bedroeg bijna 5 maanden.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van dynamische lineaire modellen (DLM) om per tijdstip zicht te houden op de response-curve, die de reactie van input op de biogasproductie van een reactor zo goed mogelijk beschrijft op basis van de database met metingen van de input en biogasproductie. Op basis van deze response-curve werd de input stapsgewijs verhoogd of verlaagd. Verhoging van de input werd in de eerste fase van de proef alleen geadviseerd als met behulp van de geschatte responscurve ook een gasproductieverhoging werd verwacht bij verhoogde voeding. De database werd telkens aangevuld met de laatste metingen. Daarna werd de responscurve opnieuw berekend en werd met de nieuwe responscurve het nieuwe voedingsregime bepaald voor de vergisters. DLM is hier dus gebruikt als een feedback systeem om te ontdekken wanneer de bacteriemassa in staat lijkt om een dosisverhoging te kunnen verzilveren in meer biogas.

In de eerste week werd de voeding in twee keer opgebouwd naar een input van 1500 gram per voeding wat neerkomt op een verblijftijd van circa 20 dagen. Deze input werd vervolgens gedurende 2,5 weken op hetzelfde niveau gehouden waarna de input werd verhoogd. Nadat een goede response-curve werd verkregen is overgegaan op het aanpassen van de input o.b.v. de response-curve. Op het eind van de proef (met name de laatste 2 weken van voeding) werd de input niet meer aangepast op basis van de response-curve, maar is de input verder verhoogd om te kijken of de biogasproductie daadwerkelijk afneemt als de verblijftijd te ver wordt verkort.

2.2 Waarnemingen

Bij elke levering van een nieuwe batch mest en glycerine werden de volgende parameters geanalyseerd:

- Zuurgraad (pH)
- Droge stofgehalte (DS)
- Organische stofgehalte (OS)
- Totaal chemisch zuurstofverbruik (CZV_t)
- Vluchtige vetzurengehalte (VVZ)
- Totaal-stikstof (N_t)
- Ammonium-stikstof (NH₄-N)
- Dichtheid

Analyse van het digestaat in de reactoren:

- pH (2x per week)
- Vluchtige vetzuren (2x per week)
- Ammonium-stikstof (1x per week)
- Buffercapaciteit (1x per week)

De biogasproductie werd online gemeten en gelogd. Het methaangehalte werd op het moment van voeden bepaald en was derhalve een momentopname. Naast deze metingen is na een aantal verschillende voedingen het methaangehalte in het biogas in de tijd bepaald tussen twee voedingen door.

2.3 Statistische analyse

Met behulp van tijdreeks-modellering in een gemengd model (REML) zijn de gegevens van alle reactoren geanalyseerd in één longitudinaal model. Hierbij zijn de gemiddelde (dus over vergisters en proefweken) reacties op verandering in mestdosis (verblijftijd) en glycerinedosis geschat. Voor de respons op glycerinedosis is het effect zodanig gemodelleerd dat de verandering in glycerinedosis ook van invloed is (als gevolg van groei van de bacteriepopulatie). De interactie tussen glycerinedosis en mestdosis wordt tevens geschat. Het model (op logschaal) is na terugtransformatie als volgt:

$$\underline{Y}_t = \beta_{0i} * (X_t + 1)^{\beta_{1i}} * e^{\beta_2 * X(t-3.5)} * e^{\beta_3 * X(t-10.5)} * (M_t / 1800)^{\beta_{4i} + \beta_{24} * X(t-1)} * (INTERVAL_t / 3.5)^{\beta_5} + \underline{\varepsilon}_{vt}$$

Met :

- $\underline{Y}_t$: Gemeten biogasproductie (ml) in het tijdsinterval vanaf de voeding tot de volgende voeding.
- β_{0i} : Geschatte biogasproductie (ml) bij een standaard mestdosis (1800 gram) ; per mesttype i; i=1 (rundveemest); i=2 (varkensmest)
- X_t : Glycerinedosis (gram), voorafgaand aan het tijdsinterval van biogasmeting.
- β_{1i} : Responsparameter voor effect van meest recente glycerinedosis (per mesttype i).
- $X_{(t-3.5)}, X_{(t-10.5)}$: Glycerinedoses in voorafgaande voedingen; deze voedingen zijn resp. op 3.5 en 10.5 dagen voorafgaand aan de huidige voeding verstrekt.
- β_2, β_3 : Responsparameter voor effect van voorafgaande glycerinevoedingen op resp. 3.5 en 10.5 dagen voorafgaand aan huidige voeding.
- M_t : Mestdosis (gram), voorafgaand aan het tijdsinterval van biogasmeting.
- β_{4i} : Responsparameter voor effect van mestdosis (per mesttype i); het effect wordt uitgedrukt per eenheid relatieve verandering (mestdosis/1800)
- β_{24} : Interactie-effect van mestdosis voorafgaand aan het tijdsinterval van biogasmeting en glycerinedosis in de voorlaatste voeding (op 3.5 dagen daarvoor).
- β_5 : Correctiefactor voor verschillen in tijdsinterval tussen voeden en moment van biogasproductiemeting.
- β_{0v} : random niveauverschillen in biogasproductie tussen vergisters
- $\beta_{0v,p}$: random niveauverschillen in biogasproductie tussen partijen drijfmest (binnen vergisters)
- INTERVAL_t: tijd (dag) tussen moment van biogasmeting en voorafgaande biogasmeting/voeding
- β_{1v} : random effectverschillen tussen vergisters voor de reactie op glycerine
- ε_{rest} : random dageffect binnen vergister v (=residuele variantie)

De analyse is in Genstat uitgevoerd met de procedure REML. Bij de analyse is rekening gehouden met de afhankelijkheid tussen herhaalde waarnemingen in de tijd per vergister door het schatten van een parameter voor de autocorrelatie. Bij de analyse zijn de eerste twee weken niet meegenomen vanwege de opstart van de vergisters. Verder is aangenomen dat per mesttype beide reactoren hetzelfde reageren, omdat uit de analyse van het gemengde model bleek dat er geen vergister-effect was over de hele periode.

3 Resultaten

3.1 Samenstelling mest en digestaat

De analyseresultaten van de digestaten waarmee de reactoren zijn opgestart staan in Tabel 3-1 weergegeven. Gedurende de proefperiode zijn per mesttype in totaal vijf batches drijfmest aangeleverd, waarvan diverse parameters werden geanalyseerd. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-1. Zowel voor de varkensmest als voor de rundveemest zijn in de loop van de tijd variaties in samenstelling gevonden. Het eerste varkensmestmonster (d.d. 27 oktober) is met name voor wat betreft N_{totaal} , ammonium- en vluchtige vetzuurgehalten afwijkend van de later aangeleverde varkensmest, terwijl bij de rundveemest met name het vetzuurgehalte van het tweede mestmonster (d.d. 5 december) afwijkt.

Tabel 3-1. Samenstelling van digestaat, varkens- en rundveemest en glycerine (coproduct).

Monster	Datum	pH	DS	OS	%OS van DS	CZV _t	N _t	VVZ	NH ₄ -N	Dichtheid
		(-)	g/kg	g/kg		g/kg	g/kg	g CZV/kg DS	g/kg	g/l
Microferm digestaat	27-okt	8.1	54.0	37.6	69.6	52.1	5.33	6.7	3.9	1024
Varkensmest Sterksel	Dag 0-31	27-okt	7.2	67.8	52.9	78.0	73.1	4.09	90.8	2.7
	Dag 31-70	7-dec	7.4	84.9	63.0	74.2	88.7	7.04	44.1	4.8
	Dag 70-98	12-jan	7.8	78.0	54.1	69.4	81.9	6.19	24.6	4.0
	Dag 98-136	14-feb	7.9	75.3	56.2	74.6	81.2	6.19	52.2	4.0
	Dag 136-144	19-mrt	7.3	82.8	57.8	69.8	82.6	7.39	10.6	5.0
	Dag 136-144	19-mrt	7.3	82.8	57.8	69.8	82.6	7.39	10.6	5.0
Digestaat de Marke	26-okt	7.8	53.2	40.0	75.2	61.7	3.49	16.0	2.0	1017
Rundveemest De Marke	Dag 0-31	26-okt	7.5	77.8	61.2	78.7	96.9	3.56	105.5	1.7
	Dag 31-66	5-dec	7.5	84.2	65.7	78.1	103	3.58	181.3	1.6
	Dag 66-98	9-jan	7.0	89.4	71.3	79.7	101	3.58	123.3	1.7
	Dag 98-133	10-feb	7.3	88.0	69.3	78.8	105	3.89	104.3	1.7
	Dag 133-144	14-mrt	8.1	78.0	61.7	79.1	102	3.74	103.1	1.7
Glycerine	27-okt	8.1	885.9	842.1	95.0	1185	0.76	40.5	< 0.1	1351

3.2 Biogasproductie en gehalten aan vluchtige vetzuren

3.2.1 Vergisting van varkensmest

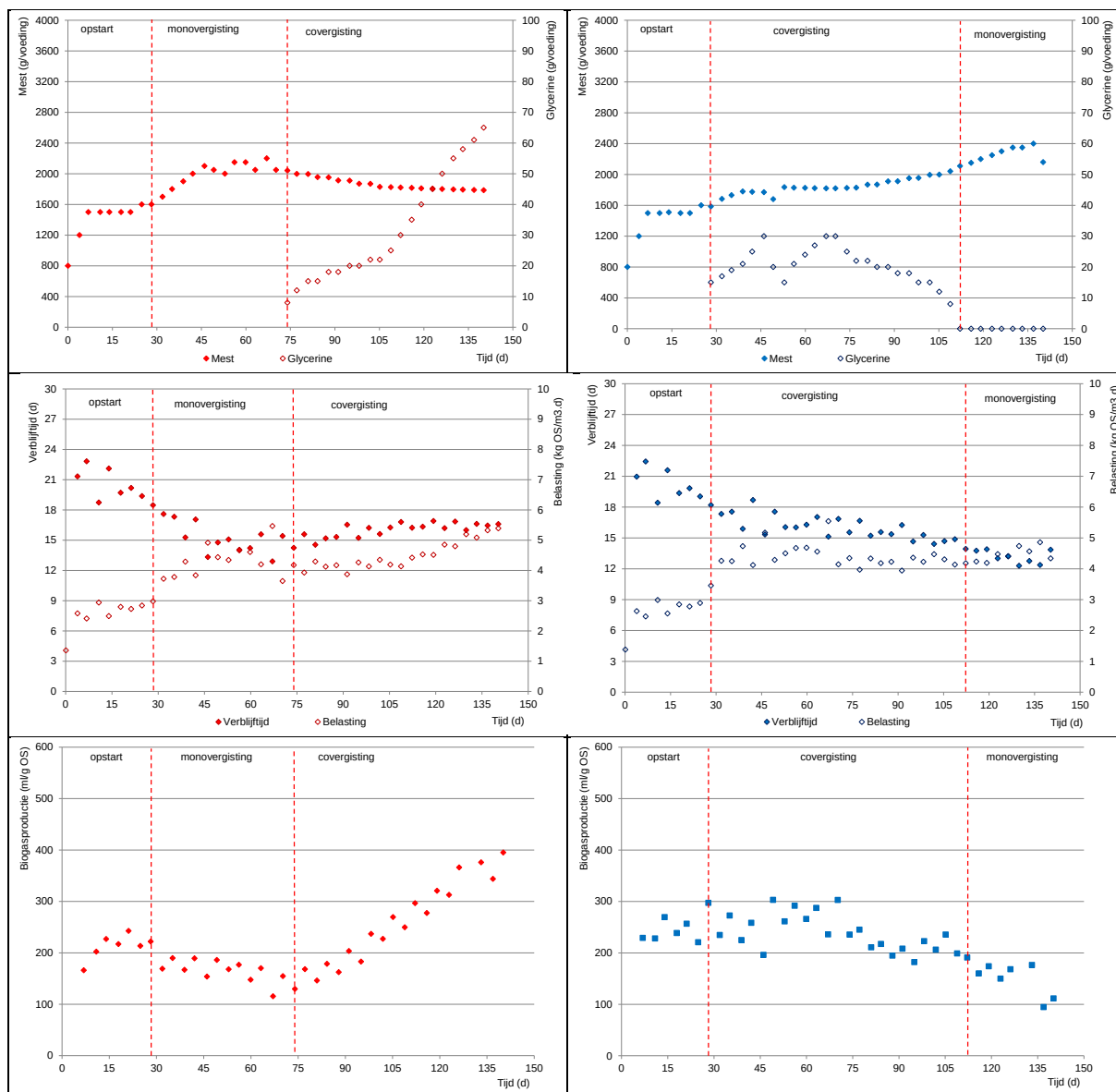
Voor de belangrijkste parameters van de “varkensmest”-CSTR's zijn de trends weergegeven in Tabel 3-2 en de resultaten in Figuur 3-1 en bijlage 1.

Tabel 3-2. Samenvatting van de belangrijkste parameters van de varkensmestvergisting.

		Opstart	V1		V2	
			mono	co	co	mono
VT ^a	d	~ 20	20→15	15→20	20→15	15→10
C:N ratio	-	17-18	12-13	→20	~ 15	→12-13
Biogasproductie	ml/g OS	200-250	200→150	→400	~200	→100
VFA	mg CZV/l	<500	→1500	→4500	→4000→1000	→< 500
C2/C3 ^b	-	C2	C2	C2/C3=1	Variabel	C2
NH ₄	mg/l	1500-2000	2000→3000	2500/3000	2000/2500	2000/2500

^a VT = Verbliftijd

^b C2/C3 = Verhouding azijnzuur (C2) en propionzuur (C3)



Figuur 3-1. Varkensmestvergisters (links = V1;rechts = V2): input (boven), verblijftijd en organische stofbelasting (midden), biogasproductie (onder).

Tijdens de opstartperiode (gedurende de eerste 28 dagen) zijn de varkensmestvergisters V1 en V2 op dezelfde wijze bedreven. Tijdens deze periode is de verblijftijd teruggebracht naar 20 dagen. De CSTR's werden bij aanvang gevuld met (gemiddeld) 8.575 gram digestaat. Het verschil tussen beide CSTR's onderling was minder dan 1% gewichtsprocent. De vergisters V1 en V2 vertoonden weinig verschil in biogasproductie tijdens de opstart (zie Figuur 3-1 en Tabel 3-2). Na 28 dagen was de gemiddelde biogasproductie 200-250 ml biogas/g OS (met vergelijkbaar methaangehalte), de vluchtige vetzuurgehalten van het digestaat waren lager dan 500 mg VFA-CZV/l en het grootste deel van de vetzuren bestond uit acetaat. De CZV:N ratio van de voeding was in deze periode ongeveer 17 (zie Bijlage 1). Het ammoniumgehalte was aan het eind van de opstart hoger in V1 (2.000 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$) dan in V2 (1.500 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$). Een directe oorzaak voor de gevonden verschillen tussen de duplo-vergisters V1/V2 is niet gevonden.

In vergister V1 is na de opstart eerst monovergisting toegepast tot dag 74. De verblijftijd werd gedurende de monovergisting verlaagd tot 15 dagen. De totale biogasproductie nam gedurende deze periode in het begin licht toe en na een periode van constante biogasproductie daalde de biogasproductie op het eind van de periode licht. De biogasproductie per gram organische stof nam in de periode van monovergisting geleidelijk af. Een oorzaak voor deze daling is niet direct aanwijsbaar. De ammoniumconcentratie nam toe evenals het VFA-gehalte. Het is niet duidelijk of deze zo hoog

waren dat toxiciteit van ammoniak of VFA aanleiding kan zijn geweest voor de afname van de biogasproductie. De kwaliteit van de aangeleverde mest kan echter wel van invloed zijn geweest op de biogasproductie. Vanaf dag 74 is covergisting toegepast door glycerine tot een maximum van 3.6% gewichtsprocent toe te voegen. Als gevolg van het covergisten van glycerine nam de totale biogasproductie in vergister V1 bijna rechtevenredig toe met de hoeveelheid glycerine die werd toegevoegd. Pas tegen het einde van de onderzoeksperiode begon de biogasproductie af te vlakken tot bijna 400 ml/g OS. Hierbij nam de VFA-gehalte ook toe en veranderde het vetzuurpatroon (zie Bijlage 1). Op het eind van de proefperiode werd er in tegenstelling tot eerder meer propionzuur dan azijnzuur gevonden, hetgeen een aanwijzing is dat de methanogene populatie in de vergister de afbraak van de organische stof niet langer kan bijhouden (de ingroei van methaanvormende micro-organismen was onvoldoende). Maar de pH in het systeem bleef stabiel, dus van ernstige verzuring van de vergister was nog geen sprake. De pH was gedurende proefperiode ongeacht de wijze van bedrijfsvoering nagenoeg constant en bedroeg 8.1 ± 0.1 . Het methaangehalte van het biogas in V1 was $68 \pm 3\%$.

In vergister V2 werd na de opstart covergisting toegepast en werd de glycerine tot dag 50 langzaam met toenemende hoeveelheden toegevoegd. De maximale dosering bedroeg 1.7% gewichtsprocent. Daarna werd de glycerinedosering langzaam afgebouwd tot dag 112. De biogasproductie nam in deze periode niet toe zoals dat gebeurde bij covergisting in V1. Rond dag 50 was sprake van een stijging van de VFA concentratie tot ongeveer 4.000 mg/l waarbij ook het aandeel propionzuur in de vetzuren toenam (zie Bijlage 1). Bij verlaging van de hoeveelheid glycerine herstelde de vergister en nam de VFA concentratie af evenals de propionzuurconcentratie in het digestaat. De biogasproductie in de vergister nam echter nauwelijks toe. Vanaf dag 112 werd alleen nog varkensmest toegevoegd. Bij de overgang naar monovergisting verbeterde de omzetting van varkensmest ook niet. De verblijftijd in deze periode daalde naar ongeveer 12 dagen, waarbij de biogasproductie per gram organische stof langzaam afnam. De pH was gedurende proefperiode ongeacht de wijze van bedrijfsvoering nagenoeg constant en bedroeg 8.1 ± 0.1 . Het methaangehalte van het biogas in V2 was $68 \pm 2\%$.

Het verlagen van de verblijftijd had bij de varkensmestvergisters een lagere biogasproductie per gram organische stof tot gevolg. Slechts bij een verblijftijd van 15 tot 20 dagen nam bij covergisting in V1 de biogasproductie per gram OS toe. Echter deze verhoging is met name toe te schrijven aan de omzetting van glycerine en niet aan een synergistisch effect van de glycerine dosering op de omzetting van organische stof in mest (Tabel 3-3). Voor beide vergisters met varkensmest was het percentage mest-OS dat werd omgezet min of meer constant (V1) of nam zelfs af (V2). De kwaliteit van de mest, maar ook de hogere ammoniumconcentraties kunnen hierbij een rol hebben gespeeld.

Tabel 3-3. Percentage mest-organische stof dat is omgezet tijdens de verschillende periodes van vergisting. Bij de berekening is uitgegaan van volledige omzetting van glycerine, waarbij 10% van de glycerine-CZV werd gebruikt voor biomassa en 90% werd omgezet naar methaan. De resterende hoeveelheid methaan die in een bepaalde periode is gevormd is vervolgens teruggerekend naar organische stof. Hierbij werd gebruik gemaakt van een conversiefactor van 1.4 g CZV/g organische stof.

	% mest-OS omgezet
V1 – varkensmest	
0-28 (opstart)	22
28-74 (monovergisting)	20
74-144 (covergisting)	19
V2 - varkensmest	
0-28 (opstart)	25
28-112 (covergisting)	21
112-144 (monovergisting)	18

3.2.2 Vergisting van rundveemest

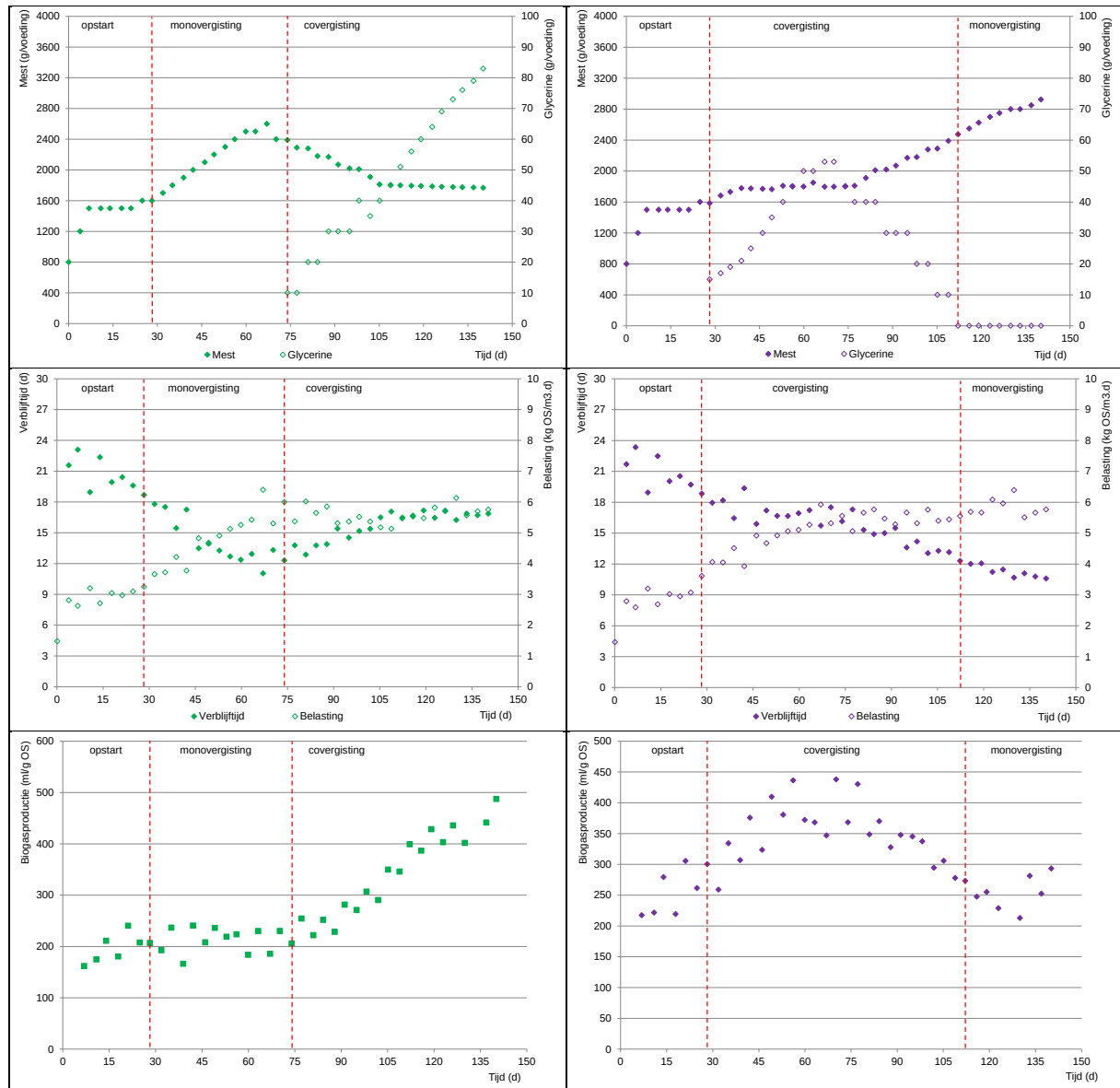
Voor de belangrijkste parameters van de “rundveemest”-CSTR's zijn de trends weergegeven in Tabel 3-4 en de resultaten in Figuur 3-2 en in bijlage 2.

Tabel 3-4. Samenvatting van resultaten van vergisting van rundveemest.

		Opstart	R3		R4	
			mono	co	co	mono
VT	d	~20	20→10	10→20	20→12	→10
C:N-ratio	-	25-30	28-30	→45	→40→27	→25-30
Biogasproductie	ml/g OS	200-300	200	→500	→450→250	→250
VFA	mg CZV/l	<1000	→1500	→5000→1000	→5000→500	→< 500
C2/C3	-	C2	→C2/C3=2	Variabel, C3>C2	C2/C3~1	C2/C3~1
NH ₄	mg/l	1500-2000	~ 1000-1500	~ 1000-1500	~ 1000-1500	~ 1000-1500

^a VT = Verbliftijd

^b C2/C3 = Verhouding azijnzuur (C2) en propionzuur (C3)



Figuur 3-2. Rundveemestvergisters (links = R3, rechts=R4): input (boven), verbliftijd en organische stofbelasting (midden), biogasproductie (onder).

Tijdens de opstartperiode (gedurende de eerste 28 dagen) zijn de vergisters R3 en R4 op dezelfde wijze bedreven. Tijdens deze periode is de verblijftijd teruggebracht naar 20 dagen. De CSTR's werden bij aanvang gevuld met (gemiddeld) 8.775 gram digestaat. Het verschil tussen beide CSTR's onderling was minder dan 1% gewichtsprocent. Ondanks de gelijke omstandigheden waarin de vergisters R3 en R4 werden opgestart vertoonden deze met rundveemest gevoede vergisters toch wat verschillen in de opstartperiode (Figuur 3-2 en Tabel 3-4). Na 28 dagen was de gemiddelde biogasproductie in R4 (250-300 ml biogas/g OS) hoger dan in R3 (~200 ml/ biogas/g OS met vergelijkbaarmethaangehalte). De vetzuur- (< 1.000 mg VFA-CZV/l) en ammoniumconcentratie (1.500 mg NH₄-N/l) waren in beide vergisters vergelijkbaar. De CZV:N ratio van de voeding was in deze periode ongeveer 27 (zie Bijlage 2). Een directe oorzaak voor de gevonden verschillen tussen de duplo-vergisters R3/R4 is niet gevonden.

Na de opstartperiode werd in vergister R3 monovergisting toegepast en werd langzaam de verblijftijd verlaagd van 20 naar 10-12 dagen. De totale biogasproductie nam in deze periode toe, waarbij de biogasproductie per gram organische stof min of meer constant bleef. De verlaging van de verblijftijd had een lichte verhoging van de vetzuurconcentratie tot gevolg net voor de overgang van mono- naar covergisting op dag 75. Vanaf dag 74 werd covergisting toegepast en werd de glycerinedosering langzaam verhoogd tot maximaal 4.7% gewichtsprocent op de laatste dag van de testen. Direct na de dosering van glycerine nam de vetzuurconcentratie toe tot 5.000 mg VFA/l. De oorzaak van de snelle verhoging van de vetzuurconcentratie direct na de start van de glycerinedosering komt mogelijk doordat de vergister aan het eind van de periode van monovergisting overbelast lijkt te zijn. Na verloop van tijd (rond 105 dagen) was de vetzuurconcentratie echter weer tot onder 1.000 mg/l gedaald waarschijnlijk mede door de lichte verhoging van de verblijftijd naar 16 dagen tijdens deze periode. De biogasproductie steeg in deze periode tot meer dan 400 ml/g OS. De pH was gedurende proefperiode ongeacht de wijze van bedrijfsvoering nagenoeg constant en bedroeg 7.9±0.1. Het methaangehalte van het biogas in R3 was 68±3%.

De eerste periode na opstart werd in vergister R4 covergisting toegepast en werd glycerine toegevoegd met een maximum van 2.9% gewichtsprocent op dag 70. Daarna werd de glycerinedosering weer verlaagd, terwijl tegelijkertijd de verblijftijd in de vergister werd verlaagd naar ongeveer 10 dagen. Tussen dag 28 en dag 70 vond er een geleidelijke verhoging van de biogasproductie plaats door vooral de grotere input van glycerine. Rond dag 70 werd per gram organische stof ongeveer 450 ml biogas geproduceerd. In die periode was ook de vetzuurconcentratie in de vergister verhoogd (tot een eenmalig maximum van bijna 5.000 mg/l. Echter tegelijkertijd was de microbiële populatie in de vergister al langzaam aan het verschuiven aangezien voor dag 60 de propionzuurconcentratie hoger was dan de azijnzuurconcentratie. Rond dag 60 verandert dit en is er relatief meer C2 aanwezig. Kort daarna is de vetzuurconcentratie ook weer gedaald tot beneden de 1.000 mg/l. Na dag 70 is de hoeveelheid glycerine afgebouwd en de input aan rundveemest verhoogd. Na dag 70 daalt de biogasproductie weer. Vanaf dag 112 werd monovergisting toegepast en de verblijftijd verder verlaagd tot ongeveer 10 dagen. De biogasproductie blijft min of meer stabiel, evenals de vetzuurconcentratie. Maar de biogasproductie per gram organische stof blijft bij een verblijftijd van 10 dagen boven het niveau liggen van biogasproductie bij de opstart (bij verblijftijd van 20 dagen). De pH was gedurende proefperiode ongeacht de wijze van bedrijfsvoering nagenoeg constant en bedroeg 7.9±0.1. Het methaangehalte van het biogas in R4 was 68±4%.

Bij de vergisting van rundveemest was in de hier beschreven proeven wel een drastische verlaging van de verblijftijd mogelijk. Dit ging in het algemeen samen met een verhoging van de vetzuurconcentratie in het digestaat, maar het biologisch systeem van de rundveemestvergisters leken hiertegen beter bestand dan het biologisch systeem van de varkensmestvergisters. Wellicht is dit ook het geval omdat de ammoniumconcentratie lager was (en de CZV:N ratio hoger) in de rundveemestvergisters. Dosering van glycerine lijkt bij rundveemestvergisting wel een positief effect te hebben gehad op de omzetting van mest-OS (Tabel 3-5). Een definitieve conclusie hieromtrent is echter niet mogelijk aangezien de vergisters R3 en R4 een verschillend niveau hadden na opstart. Er kan wel met zekerheid gesteld dat de glycerinedosering geen nadelig effect heeft gehad.

Tabel 3-5. Percentage mest-organische stof dat is omgezet tijdens de verschillende periodes van vergisting. Bij de berekening is uitgegaan van volledige omzetting van glycerine, waarbij 10% van de glycerine-CZV werd gebruikt voor biomassa en 90% werd omgezet naar methaan. De resterende hoeveelheid methaan die in een bepaalde periode is gevormd is vervolgens teruggerekend naar organische stof. Hierbij werd gebruik gemaakt van een conversiefactor van 1.4 g CZV/g organische stof.

	% mest-OS omgezet
R3 – rundveemest	
0-28 (opstart)	20
28-74 (monovergisting)	26
74-144 (covergisting)	30
R4 – rundveemest	
0-28 (opstart)	26
28-112 (covergisting)	35
112-144 (monovergisting)	30

3.3 Methaangehalte van het biogas

De vergisters werden eenmaal per 3 tot 4 dagen gevoed. Om het effect van het voedingsregime op het methaangehalte van het biogas in de tijd te bepalen is op een aantal dagen het methaangehalte van het biogas in de tijd gevolgd van kort voor de voeding tot de volgende voeding. De trend in het methaangehalte van het biogas was vergelijkbaar op de verschillende dagen. De resultaten van de metingen op dag 123 in de proefperiode zijn weergegeven in Figuur 3-3. Op die dag werd aan V1 en R3 een mengsel van mest en glycerine gedoseerd en aan V2 en R4 alleen mest. De voeding van de vergisters en de organische belasting waren op dit moment voor:

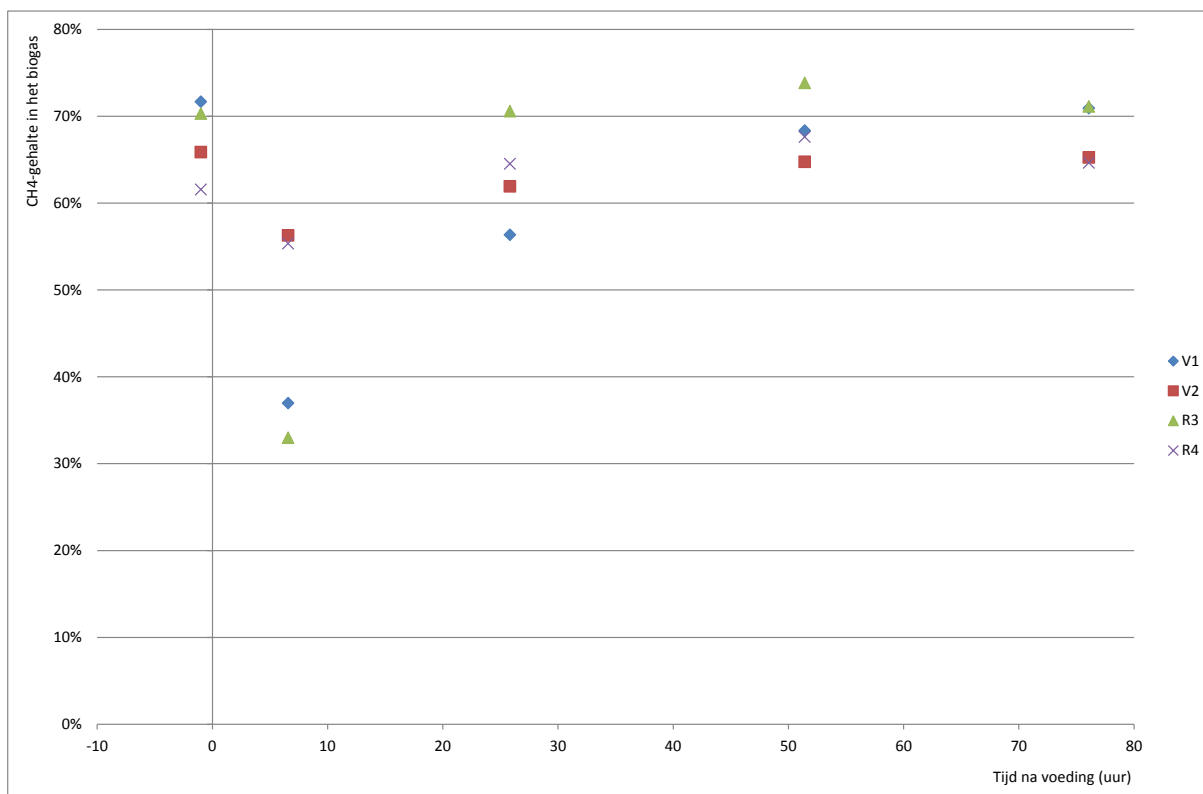
V1: 1805 g varkensmest en 45 gram glycerine bij een belasting van $4,85 \text{ kg OS m}^{-3}, \text{dag}^{-1}$;

V2: 2250 g varkensmest en 0 gram glycerine bij een belasting van $4,48 \text{ kg OS m}^{-3}, \text{dag}^{-1}$;

R3: 1786 g rundveemest en 64 gram glycerine bij een belasting van $5,82 \text{ kg OS m}^{-3}, \text{dag}^{-1}$;

R4: 2700 g rundveemest en 0 gram glycerine bij een belasting van $6,08 \text{ kg OS m}^{-3}, \text{dag}^{-1}$.

Uit de metingen blijkt na het voeren van mest alleen (V2 en R4) het methaangehalte tijdelijk (slechts) 7-10% zakt, maar binnen een dag is het methaangehalte weer terug op het niveau voor de voeding. Bij een voeding met glycerine (V1 en V3) wordt het methaangehalte veel lager direct na de voeding, maar ook in dit geval was het methaangehalte genormaliseerd na 24 uur. Dit effect van snelle daling van het methaangehalte kan toegewezen worden aan de aanwezigheid van glycerine in de voeding, omdat de belasting van V1 en V2 enerzijds en R3 en R4 anderzijds vergelijkbaar hoog waren. Het glycerine wordt klaarblijkelijk meteen na dosering omgezet naar vetzuren. Dit resulteert in een (tijdelijke) daling van het methaangehalte van het biogas. Blijkbaar is de methanogene activiteit direct na voeren te laag om de grote hoeveelheid vetzuren gelijk om te zetten, maar de methanogene bacteriën lijken niet geremd door de vetzuren en binnen 24 uur is het methaangehalte van het biogas weer op niveau (ondanks de relatief hoge belasting van de vergisters). Deze resultaten bevestigen het negatieve effect van batchgewijs voeren. Bij vaker voeren met lagere dosering in een keer zal het effect van voeren op het methaangehalte veel minder sterk zijn. Echter, de resultaten laten ook zien dat het microbieel systeem in de vergisters goed in staat is om te herstellen van tijdelijke overbelasting door vetzuren. Dit hangt vermoedelijk samen met de bufferende capaciteit die aanwezig is in de mest.



Figuur 3-3. Fractie methaan in biogas direct voor en gedurende 80 uur na de voeding op dag 123 van de testen.

3.4 Statistische analyse

In Tabel 3-6 staan de parameterschattingen van het gemengde model (REML) voor de vergelijking van mestsoort.

Tabel 3-6. Parameterschattingen voor directe respons op glycerine en mest voor toetsing van verschillen tussen mestsoort (rundveemest of varkensmest).

modelparameter					
Parameteromschrijving		rund	varken	SED	Significantie
Gasproductie bij standaarddosering (monovergisting)	β_{0i}	10.23 ^a	9.84 ^b	0.12	***
Effect van glycerinedosis-verhoging	β_{1i}	.069	.082	.024	NS
Effect van mestdosis-verhoging	β_{4i}	1.11 ^a	0.27 ^b	0.35	*

Parameterschattingen met een verschillend superscript zijn significant verschillend.

(Significantie-aanduiding : * :p<0.05 ; ** : p<0.01; ***: p<0.001)

Uit de resultaten van de parameterschatting blijkt dat in deze proef per standaardhoeveelheid input meer biogas wordt geproduceerd uit rundveemest dan uit varkensmest (zie parameter β_{0i}). Verdere verkorting van de verblijftijd (door hogere mestdosis) leverde bij rundveemest ook een grotere biogasproductieverhoging (zie parameter β_{4i}). Verder bleek dat de relatieve productieverhoging door glycerine bij beide mestsoorten vergelijkbaar en onderling niet significant verschillend zijn (zie parameter β_{1i}).

Tabel 3-7. Parameterschattingen (e-machten, vanwege de exponentiële functie) voor uitgestelde respons op glycerinedosis en interactie met mestdosis.

modelparameter				
Parameteromschrijving		waarde	SE	Significantie
Effect van glycerinedosis in voorlaatste voeding	β_2	.006	.002	***
Interactie-effect van glycerinedosis in voorlaatste voeding en mestdosis in laatste voeding	β_{24}	-.027	.011	*
Effect van glycerinedosis in voeding van 10.5 dagen voorafgaand aan de laatste voeding	β_3	.004	.002	*
Correctiefactor vanwege variatie in tijdsinterval tussen moment van voeden en moment van meting biogasproductie	β_5	.839	.049	***

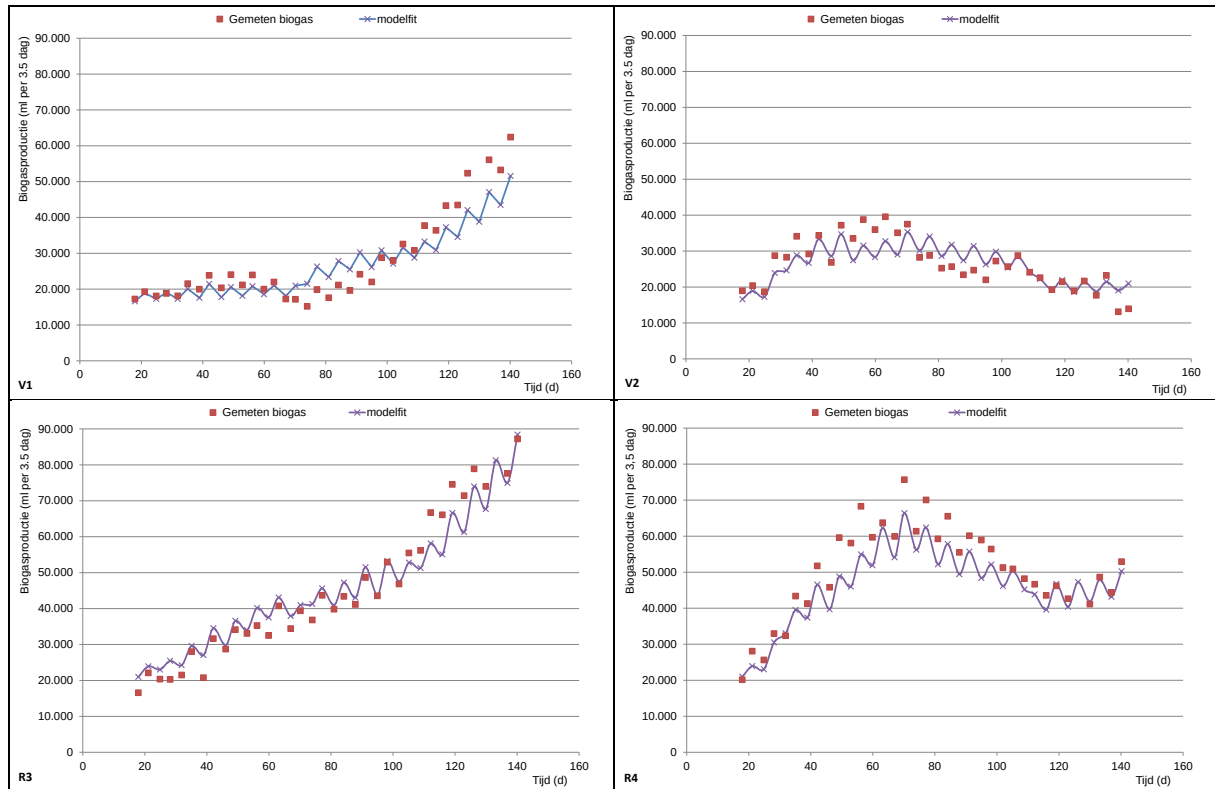
Parameterschattingen met een verschillend superscript zijn significant verschillend.

(Significantie-aanduiding : * :p<0.05 ; ** : p<0.01; ***: p<0.001)

De resultaten van de parameterschatting (Tabel 3-7) laten zien dat het niveau glycerine van de voorlaatste voeding eveneens een positief effect op de huidige biogasproductie heeft (zie parameter β_2). Dit heeft mogelijk te maken met het feit dat bij verrijking van de input met glycerine het digestaat nog minder is uitgegist op 3.5 dagen na voeding. Het interactie-effect (parameter β_{24}) van glycerinevoeding in de voorlaatste voeding met de mestdosis in de laatste voeding is eveneens significant geschat. Mogelijk is het 'wegspoelende' effect van het nog te vergisten restmateriaal in de digestaat bij verkorting van de verblijftijd hier de verklaring. Verder werd er een positief effect van de glycerinedosis van 10.5 dagen (3 voedingen hiervoor) voorafgaande aan de laatste voeding

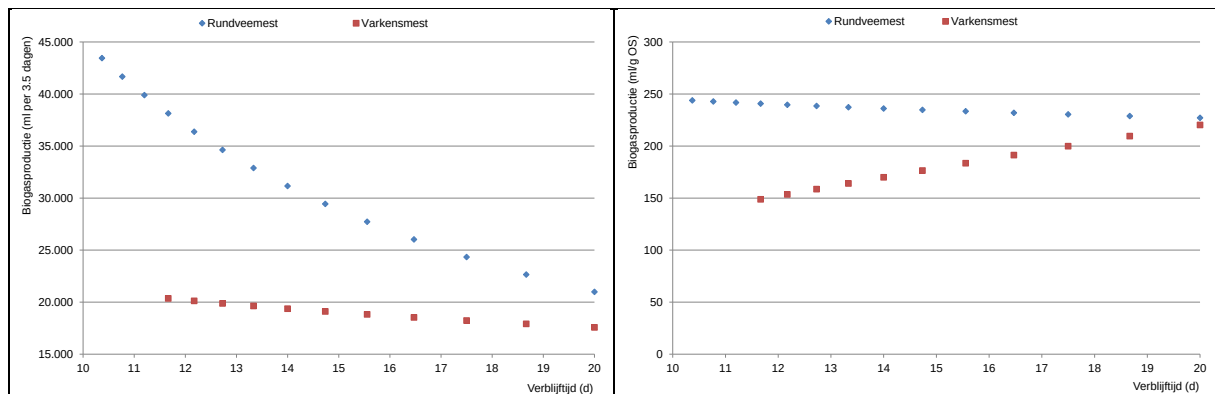
geconstateerd (parameter β_3). Verwacht wordt dat dit het positieve lange termijn effect van glycerine op de groei van de bacteriemassa is. De correctiefactor voor verschillen in het tijdsinterval tussen het tijdstip van voeren en het tijdstip van biogasmeting (parameter β_5) is sterk significant.

In Figuur 3-3 staan metingen van het geproduceerde biogas in de proef per vergister weergegeven. Daarbij staat de model-fit van het gemengde model met behulp van de lijn aangegeven.



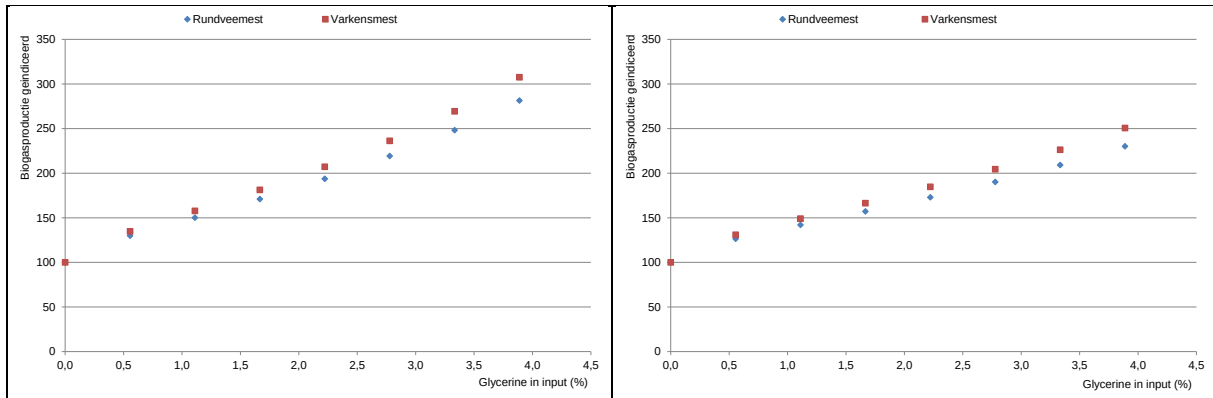
Figuur 3-3. Waargenomen biogasproductie (in ml per 3.5 dagen) uitgezet tegen de tijd, inclusief de model-fit op basis van de geschatte modelparameters in het gemengde model.

Door het specifieke design is het mogelijk om de effecten van verblijftijd en glycerineniveau in de input te schetsen (Figuur 3-4). Met de gevolgde aanpak van gestuurde voeding op respons is het mogelijk om de verblijftijd van rundveemest gedoceerd te verlagen tot ongeveer 10 dagen. Hierbij is de biogasproductie per gram OS niet gedaald. Bij varkensmest is dit niet haalbaar. De biogasproductie stijgt weliswaar licht bij een lagere verblijftijd, maar per gram ingevoerde OS daalt de biogasproductie.



Figuur 3-4. Geschatte biogasproductie uitgezet tegen verblijftijd (links = ml per 3.5 dagen; rechts= ml per gram OS).

Bij zowel de rundveemest als de varkensmest kon met een kleine dosis glycerine de biogasproductie sterk worden verhoogd (Figuur 3-5). Bij een percentage glycerine van ongeveer 4 procent en een verblijftijd van 15.6 dagen blijkt het mogelijk om de biogasproductie ongeveer te verdrievoudigen. Het verschil in het productie verhogende effect van glycerine was bij beide mestsoorten niet significant verschillend. Volgens de modelschattingen neemt het effect van glycerine relatief af bij een lagere verblijftijd. Oftewel het rendement van de glycerine is afhankelijk van zowel de mestkwaliteit als de verblijftijd, want bij de rundveemest gaf glycerine absoluut gezien meer biogas (ml/gram mest) en ook bij een langere verblijftijd.



Figuur 3-5. Geschatte verhoging in biogasproductie (indexcijfer) uitgezet tegen percentage glycerine in de input (links = verblijftijd van 15.6 dagen; rechts = verblijftijd van 14 dagen).

4 Discussie

Verblijftijd en biogasproductie van de varkensmest

Uit de resultaten blijkt dat het mogelijk is om monovergisting van varkensmest toe te passen bij een verblijftijd van circa 12-14 dagen met een organische belasting van 4,5-5,0 kg OS/m³. Echter dit leidde tot een lage biogasproductie per gram OS waardoor de totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) niet of nauwelijks toenam in vergelijking met langere verblijftijden. De biogasproductie per gram OS uit mest was gedurende de hele onderzoeksperiode aanzienlijk lager dan verwacht en met circa 150-200 ml/gram OS in de periode van monovergisting aan de zeer lage kant. In eerder onderzoek lag de biogasproductie aanzienlijk hoger op circa 400-450 ml/gram OS (Timmerman et al., 2009) wat vergelijkbaar is met de richtwaarde van 400 ml/gram OS (KTBL, 2005). Het totaal CZV-gehalte van de varkensmest was in dit onderzoek circa 80 g/kg, terwijl dit in het vorige onderzoek op circa 100 g/kg lag. Echter, het stikstof- en ammoniumgehalte van de aangeleverde mest was iets hoger dan in het vorige onderzoek. Hierdoor lag het ammoniumgehalte in de vergister gedurende bijna de gehele onderzoeksperiode boven de 5,0 g/l terwijl het ammoniumgehalte in het vorige onderzoek onder de 4,0 g/l lag. Uit navraag bij VIC Sterksel bleek dat de varkensmest niet afkomstig was van het eigen bedrijf, maar dat de varkensmest afkomstig was van derden en door een intermediair werd aangevoerd voor gebruik in de biogasinstallatie op VIC Sterksel. De herkomst van de varkensmest was hierdoor onbekend. Mogelijke verklaringen voor de lage biogasproductie zijn:

- Het lagere CZV-gehalte en diensgevolge de lagere potentiële biogasproductie, zijn waarschijnlijk het gevolg van de leeftijd (bewaartijd) van de mest. Waarschijnlijk is een deel van de potentiële biogasproductie al in de mestopslag vervluchtigd.
- De lagere CZV:N – verhouding heeft een ongunstige invloed gehad op het functioneren van de micro-organismen.
- Een hoger ammoniumgehalte in de vergister kan een negatieve invloed hebben gehad op de methanogene bacteriën, waardoor minder biogas is geproduceerd.
- De varkensmest bevatte stoffen die het biogasproces negatief hebben beïnvloed zoals bijvoorbeeld bepaalde desinfectiemiddelen.

De kwaliteit van de varkensmest zal dus waarschijnlijk onvoldoende zijn geweest voor een normale biogasproductie. Voor een succesvolle monovergisting van varkensmest is het cruciaal om te zorgen dat verse mest van goede kwaliteit aan de vergister wordt toegevoerd. Dit houdt in dat de mest snel vanuit de stallen naar de vergister moet gaan en dat aandacht besteed moet worden aan gebruik van bedrijfsmiddelen zoals desinfectans die mogelijk een nadelige invloed kunnen hebben op de microbiële populatie in de vergister.

Verblijftijd en biogasproductie van de rundveemest

Uit de resultaten blijkt dat het mogelijk is om monovergisting van rundveemest toe te passen bij een verblijftijd van circa 10-12 dagen met een organische belasting van 6,0-6,5 kg OS/m³. Ondanks de korte verblijftijd bleef de biogasproductie per gram OS op peil waardoor de totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) bij de kortere verblijftijden toenam. De biogasproductie uit de rundveemest was met circa 200-250 ml/gram OS in de periode van monovergisting iets lager dan de richtwaarde van 280 ml/gram OS (KTBL, 2005). Het ammoniumgehalte lag bij de rundveemestvergister met 2,5 g/l aanzienlijk lager dan die van de varkensmestvergisters. Navraag bij KTC De Marke bleek dat het melkvee een rantsoen kreeg van 50% gras en 50% maïs op droge stof basis met daarnaast nog ongeveer 7 kg krachtvoer per koe per dag, waarbij de vertering van de mest redelijk was. Mogelijk dat de wat lagere biogasproductie veroorzaakt is doordat de organische stof wat moeilijker afbreekbaar was aangezien de vertering bij het melkvee ook niet optimaal was.

Gehalte aan vluchtige vetzuren

Het totaal gehalte aan vluchtige vetzuren en de verhouding van vetzuren onderling fluctueerde per vergister. Op verschillende tijdstippen was de input hetzelfde, maar bleken gehalten aan vluchtige vetzuren sterk te verschillen tussen deze tijdstippen. Zo bleek bij vergister V2 dat door een tijdelijke verlaging van de hoeveelheid glycerine het gehalte aan vluchtige vetzuren weer daalde en dat bij het opnieuw verhogen van de glycerine-input de gehalten niet meer sterk stegen. De buffercapaciteit van de verschillende vergisters bleef min of meer constant tijdens de vergisting (zie bijlagen) en de pH van de digestaten fluctueerde nauwelijks. Het gehalte aan vluchtige vetzuren is derhalve geen maat voor het effect van de verblijftijd of organische belasting die mogelijk is in een vergister. Het geeft aan dat bepaalde groepen micro-organismen actiever zijn en andere groepen micro-organismen minder actief zijn en geeft derhalve inzicht in de activiteit van de verschillende microbiële groepen die betrokken zijn

bij vergisting en of onderlinge afstemming in orde is en dus of het vergistingsproces gebalanceerd verloopt op dat moment.

Glycerine

Het toevoegen van een kleine hoeveelheid glycerine leidde tot een aanzienlijk hogere biogasproductie, maar het effect was per vergister was soms (tijdelijk) verschillend. Hierdoor moest de glycerine dosis op bepaalde momenten tijdelijk worden teruggebracht om verstoring van de biomassa te voorkomen. Bij verbeterde respons kon de glycerine-dosis daarna weer worden verhoogd. Er is dus gewerkt met responsgestuurde input tijdens de uitvoering van de experimenten. De response van glycerine is daarmee op een bepaald moment, mest en ook tijdsafhankelijk aangezien de historische input van invloed is op het resultaat. Internationaal onderzoek laat ook zien dat er verschillen zijn met betrekking tot de optimale hoeveelheid glycerine die toegevoegd kan worden. Dit onderstreept dat de respons afhankelijk is van de vergister en de mest. In het algemeen lijkt een kleine hoeveelheid tot maximaal 6% de beste resultaten te geven (Amon et al., 2006; Astals et al., 2011; Castrillon et al., 2011; Wohlgemut et al., 2011). De snelle response van glycerine geeft goede mogelijkheden om te sturen op een bepaalde biogasproductie en met een relatief kleine hoeveelheid kan dan een goede biogasproductie worden gerealiseerd. Op deze manier is het mogelijk om een WKK-installatie van 50-100 kWe bij mestvergisting in te zetten in plaats van een relatief kleine WKK van 20-40 kWe.

Batchgewijs voeden

Een praktisch probleem was het 2x per week voeden van de reactoren, waardoor na toevoeging een grote hoeveelheid makkelijk afbreekbare organische stof werd omgezet in vetzuren. Deze relatieve hoge toevoer kon door de methanogenen niet gemakkelijk worden bijgehouden waardoor het methaangehalte bij korte verblijftijden en hoge glycerine doseringen daalde in de periode na voeding, maar zich wel weer herstelde voor de volgende voeding. Door in een praktijksituatie de glycerine frequenter te voeden zal de daling van het methaangehalte naar verwachting voorkomen kunnen worden.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Uit de resultaten van de uitgevoerde testen en de modellering kan het volgende worden geconcludeerd:

- Verlaging van de verblijftijd bij varkensmest tot 12-14 dagen was mogelijk, maar daarbij nam de biogasproductie per gram OS wel af. De totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) nam niet of nauwelijks toe bij het verlagen van verblijftijd. De (slechte) kwaliteit van de mest is hiervan mogelijk een oorzaak. Het valt niet uit te sluiten dat bij gebruik van verse varkensmest wel meer biogas zou zijn geproduceerd.
- Verlaging van de verblijftijd bij rundveemest tot 10-12 dagen was mogelijk, en daarbij nam de biogasproductie per gram OS niet af. De totale biogasproductie (ml per 3.5 dagen) nam wel toe bij verlagen van de verblijftijd. Bij het hier gehanteerde voedingsregime is een kortere verblijftijd niet aan te raden. De verwachting is dat bij een slechtere kwaliteit rundveemest, i.e. langer opgeslagen mest met een lager CZV gehalte, het effect van kortere verblijftijden ook negatief zal zijn (analoog aan varkensmest).
- Het effect van glycerine op de biogasproductie en de optimale verblijftijd kan per vergister verschillen, maar een kleine hoeveelheid glycerine geeft gemiddeld een flinke stijging in biogasproductie. De glycerine dosering lijkt geen noemenswaardig nadelig effect te hebben op de omzetting van de organische stof in de mest.
- Het gehalte en verhouding van vluchtige vetzuren is geen maat voor de effectiviteit van de vergisting bij een zekere verblijftijd, maar is meer een indicatie voor de samenstelling of effectiviteit van de micro-organismen die samenwerken tijdens de vergisting om organische stof om te zetten naar methaan (in biogas).
- Volgens de modelschattingen bleek dat het positieve effect van glycerinedosering relatief afneemt bij kortere verblijftijden. Voor elke praktijkvergister dient dus een afweging te worden gemaakt tussen optimale verblijftijd en effect van glycerinedosering.

5.2 Aanbevelingen

Het uitgevoerde onderzoek met vier laboratoriumvergisters laat zien dat mestvergisting bij korte verblijftijden van minder dan 15 dagen goed mogelijk is. Echter, in de huidige onderzoekopstelling was het niet mogelijk om zonder grote aanpassingen het roerinterval en de roerintensiteit te variëren tussen vergisters. Ook bleek vanwege de kleine hoeveelheid en hoge viscositeit van de glycerine het niet mogelijk om de glycerine automatisch meerdere keren per voedingsinterval te doseren. Uit de tussentijdse metingen kwam duidelijk naar voren dat een relatief grote hoeveelheid glycerine in één keer doseren bij korte verblijftijden tot een (tijdelijk) hoge belasting van het proces leidt waardoor het methaangehalte na de voeding daalt (maar zich ook weer herstelt). Het uitvoeren van testen op (semi)-praktijkschaal, waarbij het volume van de reactor beter is afgestemd op de noodzakelijke invoerstroom is derhalve belangrijk om definitief aan te kunnen tonen dat met een goed voedingsinterval en verse mest een goede biogasproductie haalbaar is in een simpele, geroerde vergister bij een korte verblijftijd.

Het gehanteerde Dynamische Lineaire Model (DLM) is een geschikte tool voor het operationeel bijsturen van een (co)vergister en kan de operator van een vergister helpen in het maken van een afweging tussen optimale verblijftijd en effect van glycerinedosering. In de praktijk zou toepassing van DLM op praktijkvergisters meer informatie kunnen verschaffen in de mogelijkheden voor toepassing van DLM bij het bepalen van de optimale verblijftijd en toenemende biogasproductie als gevolg van glycerinedosering. Als dit bij verschillende vergisters wordt getest levert dit richtlijnen op voor de relatie tussen verblijftijd en coproduct dosering enerzijds, en biogasproductie anderzijds.

Literatuur

Amon, T., A. Amon, V. Kryvoruchko, V. Bodiroza, E. Pötsch en W. Zollitsch, 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. International Congress Series 1293: 217– 220.

Anonymous, 2008. Convenant Schone en Zuinige Agrosectoren (versie 1.0). Ministerie van EL&I.

Astals, S., M. Ariso, A. Gali en J. Mata-Alvarez, 2011. Co-digestion of pig manure and glycerine: experimental and modelling study. Journal of Environmental Management 92(4): 1091-1096.

Castrillon, L., Y. Fernandez-Nava, P. Ormaechea en E. Maranon, 2011. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. Bioresource Technology 102(17): 7845-7849.

KTBL, 2005. Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

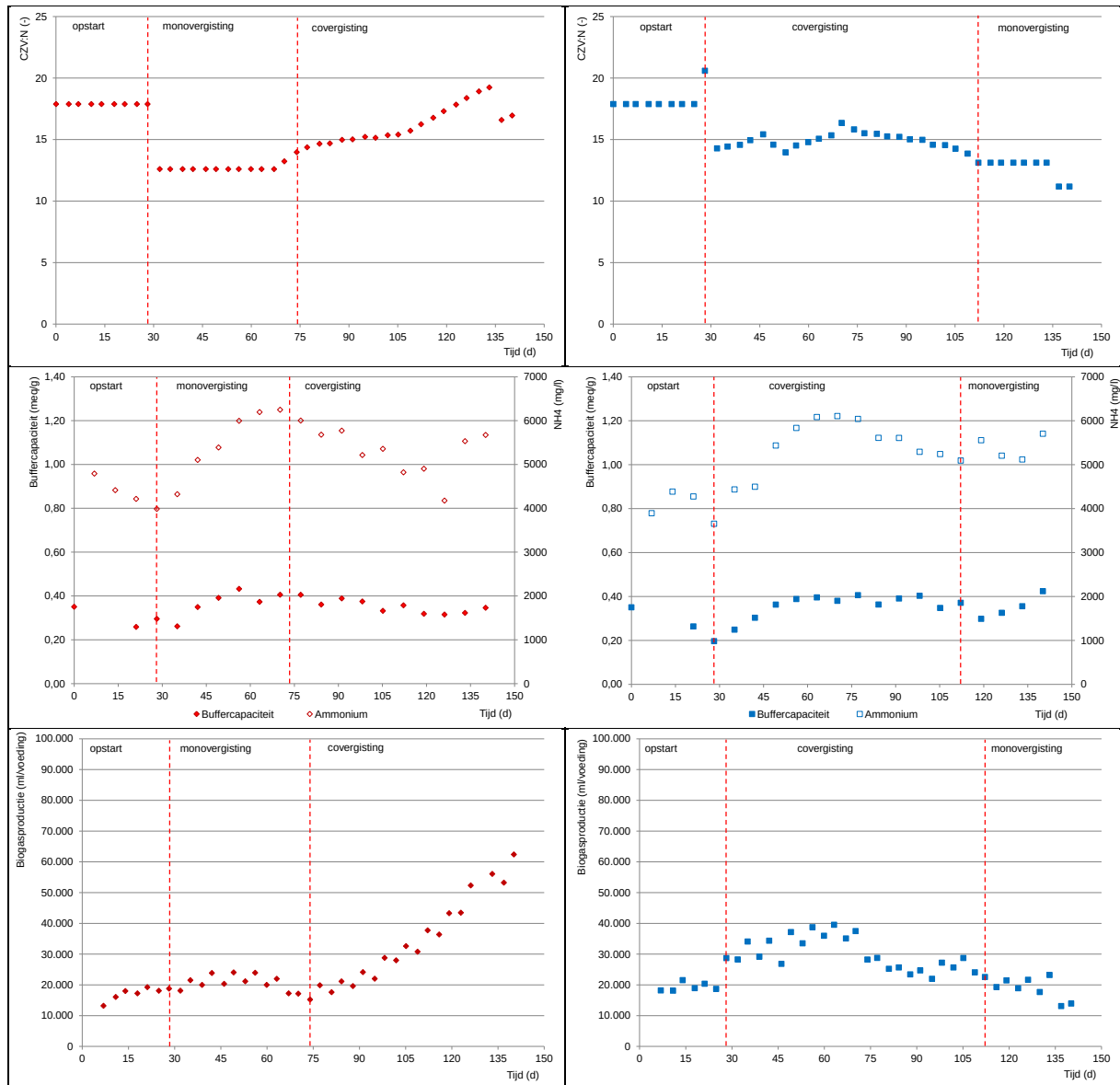
Timmerman, M., J.W. van Riel, I. Bisschops en M. van Eekert, 2009. Optimaliseren van mestvergisting. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. Rapport 243.

Van den Boom, H., 2011. Benchmark (co-)vergisting boekjaar 2010: Rendement door markt in verdrukking! Rabobank Nederland. November 2011.

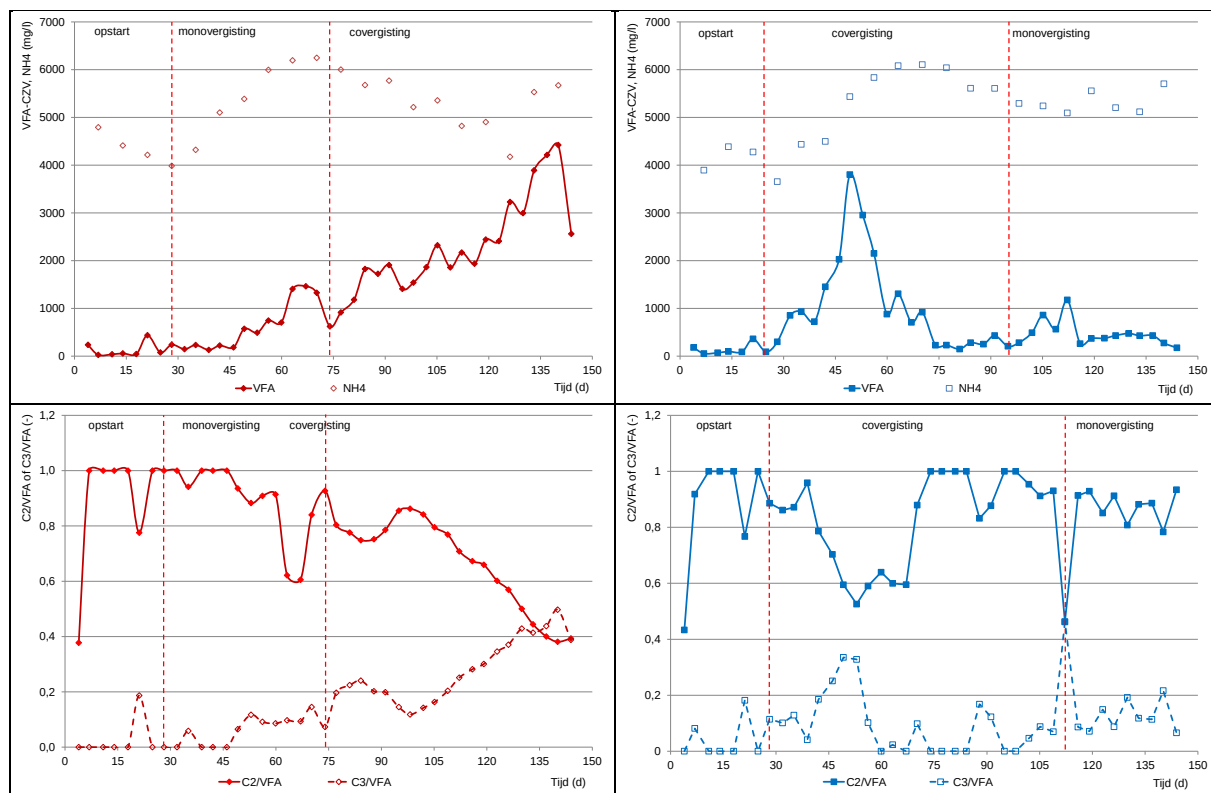
Wohlgemut, O., N. Cicek, J. Oleszkiewicz en R. Sparling, 2011. Co-digestion of hog manure with glycerol to boost biogas and methane production. Transactions of the ASABE 54(2): 723-727.

Bijlagen

Bijlage 1 Varkensmestvergisters: aanvullende resultaten

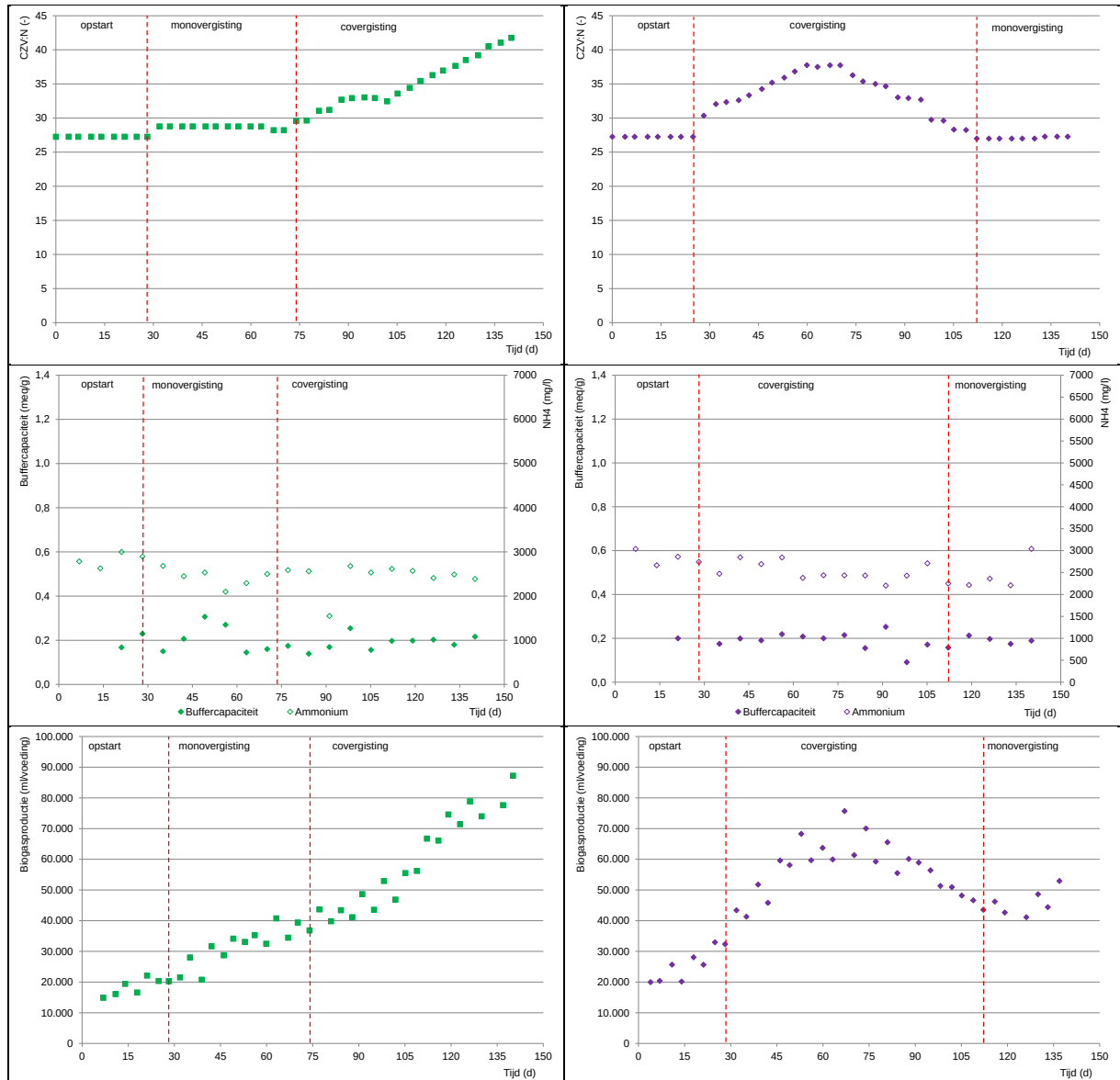


Figuur A. Varkensmestvergisters (links = V1, rechts = V2): Verhouding CZV:N, buffercapaciteit, biogasproductie.

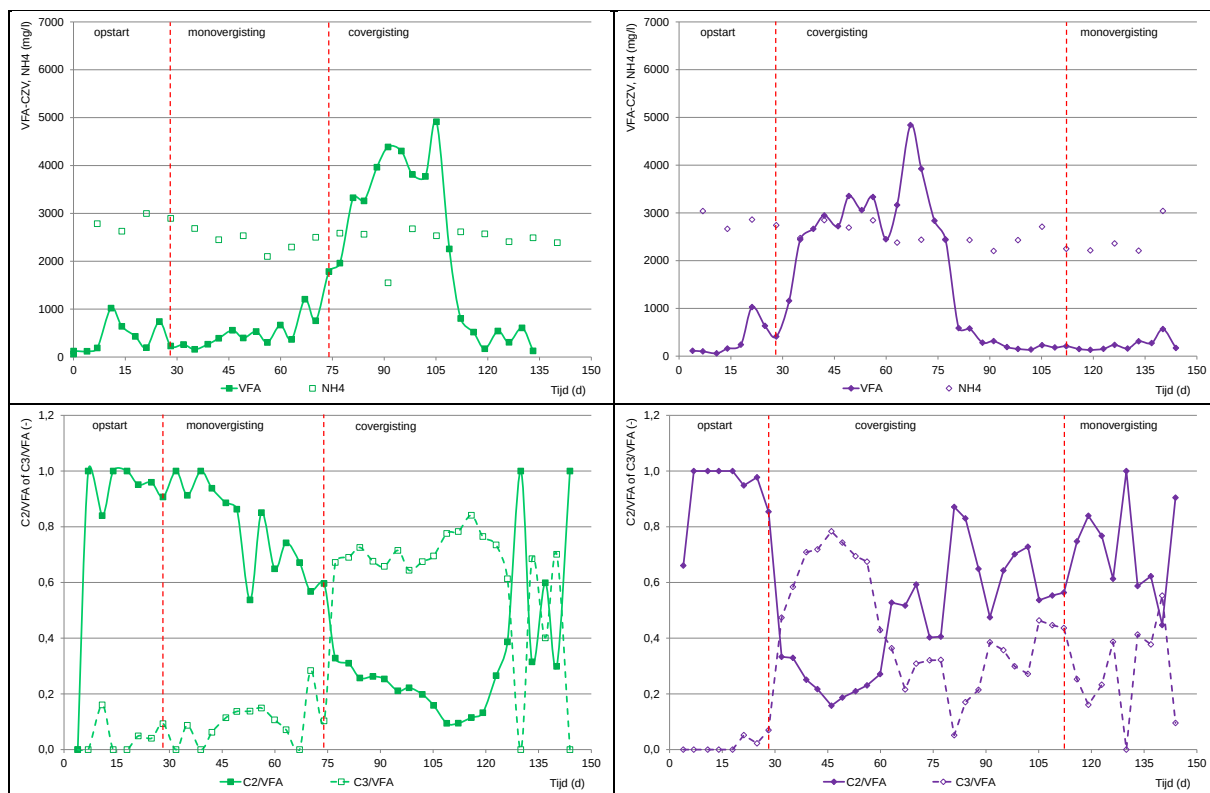


Figuur B. Varkensmestvergisters (links = V1, rechts = V2): VFA en NH₄-N gehalte en de C2 en C3 vetzuren als fractie van totaal VFA.

Bijlage 2 Rundveemestvergisters: aanvullende resultaten



Figuur A. Rundveemestvergisters (links = R3, rechts = R4): Verhouding CZV:N, buffercapaciteit, biogasproductie.



Figuur B. Rundveemestvergisters (links = R3, rechts = R4): VFA en NH4-N gehalte en de C2 en C3 vetzuren als fractie van totaal VFA.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl