

2023

# Verslag simulatieproef anaerobe vergisting



**INNOLAB BV**

Verslag van uitgevoerde simulatieproef in het veld van anaerobe vergisting van meelwormen FRASS in opdracht van INAGRO.



Marechalstraat 70  
B-8020 Oostkamp  
België  
Tel. : +32(0)9 264 04 00  
[www.innolab.be](http://www.innolab.be)  
29-9-2023

<b>1</b>	<b>Materialen en methoden</b> .....	<b>4</b>
1.1	Semi-continue test.....	4
1.1.1	Opstelling.....	4
1.1.2	Werkwijze .....	4
1.2	Analysemethodiek.....	6
1.2.1	Drogestofgehalte (DS).....	6
1.2.2	Organisch stof gehalte (OS).....	6
1.2.3	pH .....	6
1.2.4	EC.....	6
1.2.5	Gaschromatografie GC-FID.....	6
1.2.6	Gaskwaliteit .....	6
1.2.7	FOS/TAC .....	6
<b>2</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>7</b>
2.1	Inputmateriaal.....	7
2.1.1	Samenstelling .....	7
2.2	Procesparameters digestaat en biogas .....	9
2.2.1	Voeding.....	9
2.2.2	Gasproductie - en samenstelling .....	10
2.2.3	Verblijftijd .....	16
2.2.4	pH .....	16
2.2.5	FOS/TAC .....	17
2.2.6	Vluchtige vetzuren .....	18
2.2.7	Droge en organisch (droge) stofgehalte .....	21
2.2.8	Geleidbaarheid .....	21
2.2.9	Ammoniakale stikstof.....	23
2.2.10	Elementconcentratie en NPK .....	24
2.2.11	Thermofiele hygiëniseratie.....	26
<b>3</b>	<b>Besluit</b> .....	<b>27</b>

## LIJST VAN GRAFIEKEN

Grafiek 1: Absolute hoeveelheid inputmateriaal in g per dag .....	9
Grafiek 2: Overzicht van de organische belasting in gram ODS per liter per.dag .....	10
Grafiek 3: Verloop biogasproductie per dag .....	10
Grafiek 4: Verloop productiviteit .....	11
Grafiek 5 Relatieve biogasproductie .....	12
Grafiek 6: Verloop methaangehalte .....	13
Grafiek 7: Evolutie methaanproductie per dag .....	13
Grafiek 8: Relatieve methaanproductie .....	14
Grafiek 9: H <sub>2</sub> S-gehalte in biogas.....	14
Grafiek 10: Evolutie massareductie op basis van biogassamenstelling en –productie .....	15
Grafiek 11: Evolutie van de verblijftijd .....	16
Grafiek 12: pH-verloop .....	16
Grafiek 13: Verloop FOS/TAC-verhouding .....	17
Grafiek 14: Evolutie TAC-waarde .....	18
Grafiek 15: Verloop azijnzuur (AZ), propionzuur (PZ) en boterzuur (BZ).....	19
Grafiek 16 Verloop isoboterzuur (IBZ), isovaleriaanzuur (IVZ), valeriaanzuur (VZ) en capronzuur (CZ) .....	20
Grafiek 17: Verloop totale vetzuurconcentratie .....	20
Grafiek 18: Verloop droge en organische droge stofgehalte als %DS.....	21
Grafiek 19: Verloop geleidbaarheid .....	22
Grafiek 20: Verloop verhouding buffercapaciteit t.o.v. geleidbaarheid .....	22
Grafiek 21: Verloop Ammoniakale-N.....	23

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1:Resultaten batch test meelwormen-frass .....	7
Tabel 2: karakterisatie van de aangeleverde meelwormenfrassmonsters.....	8
Tabel 3: Overzicht toegepaste verdunningen op het inputmateriaal .....	8
Tabel 4: TN, K, Na en zwavel concentratie na 49 dagen.....	24
Tabel 5: Nutritionele waardes van het digestaat op het einde van de test.....	25
Tabel 6: Verloop concentraties E.Coli, Enterococcen en Salmonella.....	26

## LIJST VAN AFKORTINGEN

DS	droge stof
HRT	hydraulic retention time
ODS	organische droge stof
OS	organische stof
VM	verse massa

## OPDRACHT

In opdracht van INAGRO wordt een simulatieproef/ semi-continue test uitgevoerd om de haalbaarheid van monovergisting van meelwormen frass te bepalen via droge vergistingstechnologie, naast de bepaling van de methaanopbrengst is de doelstelling vooral om de processtabiliteit van het vergistingsproces te evalueren. Een bijkomende doelstelling is om een beeld te krijgen van het digestaat op het einde van het proces in kader van afzet en/of verwerking.

Tijdens het experiment worden de gas- en methaanproductie gekwantificeerd alsook de procesparameters opgevolgd. Op deze wijze wordt een volledig beeld verkregen van het proces en de biologische activiteit.

In dit rapport wordt eerst de testopstelling en methodiek beschreven om daarna per procesparameter dieper in te gaan op de waarnemingen tijdens het experiment.

Tot slot wordt een algemeen besluit geformuleerd met een oplisting van eventuele significante waarnemingen en aanbevelingen.

# 1 Materialen en methoden

---

## 1.1 Semi-continue test

### 1.1.1 Opstelling

De semi-continue test is opgestart in een droge vergistingsreactor type propstroom van 32 L met een effectief volume van 30 L. De reactor is voorzien van een schroefvormig mengelement, temperatuursensor, verwarming en gasmeting. De voormelde parameters worden aangestuurd en ingesteld door een PLC-module. De reactoren worden mesofiel bedreven bij 38,0 °C.



Figuur 1: Opstelling semi-continue reactor – type propstroom

### 1.1.2 Werkwijze

Het gebruikte entslib is afkomstig van een goed werkende mesofiele biogasinstallatie. Na een incubatieperiode van een paar dagen wordt de voeding angevat. De voeding bestaat uit meelwormen-frass. Door het hoge drogestofgehalte van het frass wordt deze eerst verdund met water (zie 2.1).

De reactor wordt gedurende de testperiode van 112 dagen éénmaal per dag gevoed en het tijdsinterval tussen elke voeding bedroeg gemiddeld exact 24u. Elke dag wordt eveneens éénmaal het spui-digestaat afgelaten via een overloop/sifon-systeem. De reactortemperatuur bedraagt 38,0°C; thermofiel werken is in deze case geen optie gezien het hoge stikstofgehalte in het frass en bijgevolg het digestaat. Het gevormde biogas wordt via een gasleiding naar een trommelgasmeter geleid. Deze meter neemt nauwkeurig de hoeveelheid gevormd biogas op. De reactortemperatuur en de snelheid waarmee het roerwerk draait wordt aangestuurd via een PLC-module. Er wordt in de propstroomreactor met een menginterval van 1 minuut mengen per 1.5 minuten gewerkt aan een toerental van 30 rpm wat neerkomt op een mengvermogen van 4 W/m<sup>3</sup>.

Eenmaal per week wordt van de reactor een digestaatstaal genomen voor analyse van de diverse procesparameters. Dagelijks wordt het biogas geanalyseerd op zijn samenstelling. Het testverloop verliep niet volledig zoals verwacht. Om het verloop overzichtelijk te maken wordt hieronder een korte chronologische opsomming van de genomen stappen weergegeven:

1. Opstart reactor met actief mesofiel digestaat en meelwormen frass
2. De start belasting bedraagt 1 g organische droge stof per liter digestaat per dag. De eerste dagen bleek de kwaliteit van het bekomen biogas niet optimaal (methaangehalte < 50%). Het relatieve methaangehalte is een waardemeter voor de activiteit van de methanogene bacteriën in het proces. Deze wordt als goed beschouwd, indien het methaangehalte boven de 50% ligt. Daar dit na 4 dagen niet geval was werd besloten het digestaat terug op te mengen met het digestaat voor de proeven van BSF frass. Dit resulteerde op dag vijf in een verhoging van het methaangehalte in het biogas. Vanaf dan werd de voedingsbelasting langzaam verhoogd tot dag 22, waarbij de maximale voorziene belasting van 10,8g ODS/l.d
3. De voedingsbelasting kon zo aangehouden worden gedurende een periode van 20 dagen tot dag 41. Vanaf dag 42 wordt een lichte daling in de gasproductie waargenomen, die verder daalt in de volgende dagen, op dag 44 wordt ook een sterke daling in het methaangehalte waargenomen van 63.6% naar 51.9%, waarna deze de volgende dagen daalt tot onder de 50%. Hierop wordt ook beslist om op dag 46 eerst de voedingsbelasting te halveren en vervolgens naar 0 te reduceren om de biologie de kans te geven de overtollige vetzuren om te zetten.
4. De volgende 4 dagen werd niet gevoed, om de biologie de kans te geven zich te herstellen. Het methaangehalte in de biogas was weer gestegen tot boven de 50%. Er werd nieuwe voeding aangemaakt met een lagere organische belasting (24% ODS) en stikstofgehalte. Echter het bleef problematisch om de vergisting terug op gang te krijgen
5. Op dag 58, 60 en 65 werd de vergister drie keer bijgeënt met 10% vers digestaat uit een actieve mesofiele vergister met de bedoeling de ammoniakale stikstof en de vluchtige vetzuren te doen dalen en de methanogene bacteriën terug te activeren. Hierbij observeren we echter slechts een lichte daling van de ammoniakale stikstof, ook de totale vetzuren blijven te hoog.
6. De voedingsbelasting werd op dag 69 langzaam terug opgebouwd, het methaangehalte in de biogas herstelde zich, maar daar de totale vetzuren en ammoniakale stikstof niet voldoende dalen en zelfs na een kleine daling opnieuw een stijging vertoonden op dag 78 werd besloten om opnieuw bij te enten met actieve biologie
7. Op dag 80 werd bijgeënt met 30% van het volume van de reactor met mesofiel digestaat. Met de bedoeling de ammoniakale stikstof en vluchtige vetzuren te doen dalen. De voedingsbelasting werd opnieuw langzaam opgebouwd en vanaf dag 87 stabiel gehouden op een belasting van 2.63 g ODS/l.d , iets meer dan 1/4 van de oorspronkelijk voorziene belasting. Op dag 102 werd het input materiaal iets meer verdund tot 22.25 % OS en zo de voedingsbelasting verlaagd tot 2.36 g ODS/l.d. Dit omdat de ammoniakale stikstof opnieuw boven de 5.5 gN/kg gestegen was.
8. Op dag 112 werd de test stopgezet en werd een thermofiele hygiëniserings test op laboschaal opgestart gedurende 4 uren.

## 1.2 Analysemethodiek

### 1.2.1 Drogestofgehalte (DS)

Het drogestofgehalte (DS) is de totale hoeveelheid opgeloste en vaste bestanddelen aanwezig in het staal. Hiervoor brengen we een nauwkeurig afgewogen hoeveelheid gehomogeniseerd staal in een gedroogd porseleinen kroesje waarvan het gewicht bepaald is. Het kroesje met het staal wordt gedroogd in de droogstoof op 105 °C gedurende 24 uur. Na afkoelen en weging wordt de hoeveelheid droge stof berekend.

### 1.2.2 Organisch stof gehalte (OS)

Het organische stofgehalte (OS), of ook wel het vluchtige stofgehalte genoemd (VS), is de totale hoeveelheid organische en vluchtige anorganische stoffen aanwezig in een staal. Hiertoe wordt een gekende hoeveelheid gedroogd staal gedurende vier uur op 550 °C verast. Na verhitten laten we het staal in de moffeloven staan en laten dit afkoelen tot ca 100 °C. Na afkoelen in de exsiccator wordt het kroesje en het staal gewogen. De analyse wordt steeds in tweevoud uitgevoerd.

### 1.2.3 pH

De pH-elektrode wordt geijkt volgens de instructies van het toestel met behulp van een aantal bufferende oplossingen. Na elke meetreeks wordt een controlestandaard gemeten.

### 1.2.4 EC

De geleidbaarheid of EC wordt bepaald met een conductiviteitselectrode die geijkt wordt volgens de instructies van het toestel door middel van een éénpuntskalibratie. Na elke meetreeks wordt een controlestandaard gemeten.

### 1.2.5 Gaschromatografie GC-FID

Chromatografische methoden scheiden verbindingen op basis van een verschil in affiniteit van de verbindingen tussen de mobiele en stationaire fase. De concentratie van organische verbindingen kan zo gemeten worden met behulp van chromatografie, zo ook die van de verschillende vluchtige vetzuren. Als interne standaard maakt men gebruik van acrylzuur.

### 1.2.6 Gaskwaliteit

Door middel van een gasanalysestoestel 'Biogas 5000' wordt de samenstelling van het geproduceerde biogas bepaald. Het toestel meet het gehalte aan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>S.

### 1.2.7 FOS/TAC

Beide parameters worden bepaald aan de hand van een titratie met zwavelzuur (0,1 N). De buffercapaciteit wordt uitgedrukt in mg CaCO<sub>3</sub> per liter en de concentratie vluchtige organische zuren in mg CH<sub>3</sub>COOH per liter.

## 2 Resultaten

### 2.1 Inputmateriaal

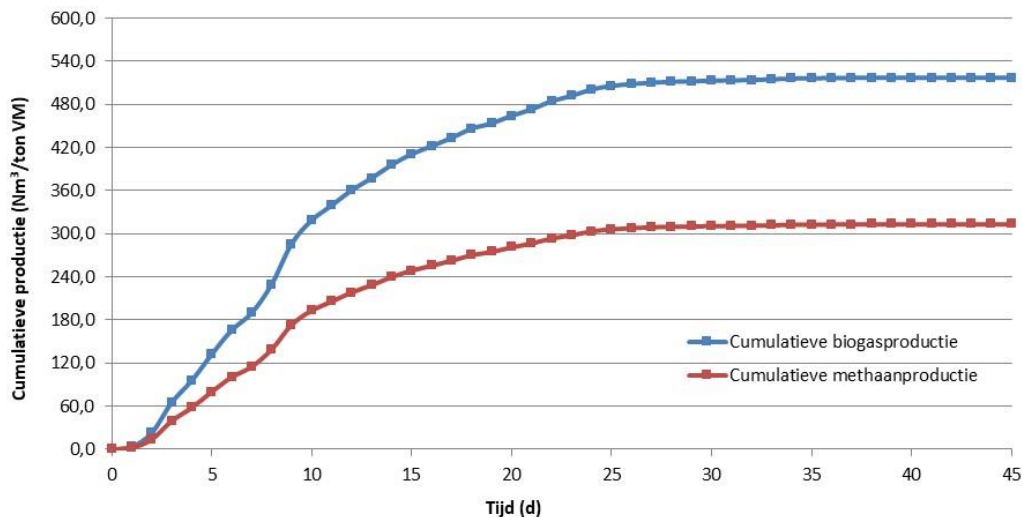
#### 2.1.1 Samenstelling

Het gebruikte inputmateriaal is in verschillende batches aangeleverd en werd bij aankomst eerst bevroren bij  $-22^{\circ}\text{C}$  om de nog levende insecten af te dodden en vervolgens gekoeld te bewaren. Op een eerste monster van het meelwormen-frass werd een biomethaanpotentieel test gelopen.

Tabel 1: Resultaten batch test meelwormen-frass

Meelwormen-frass		22611701 (referentie Innolab)
DS	%	85.26
ODS	% DS	90.98
VS	%	77.57
Biogasproductie	Nm <sup>3</sup> /ton VM	517.1
	Nm <sup>3</sup> /ton ODS	666.6
Biogassamenstelling		
Gemiddeld methaangehalte	%	60.6
Gemiddeld CO <sub>2</sub> -gehalte	%	39.4
Gemiddeld H <sub>2</sub> S-gehalte	ppm	80
Methaanproductie	Nm <sup>3</sup> /ton VM	313,4
	Nm <sup>3</sup> /ton OD	404,0

#### Kinetiek biogas- en methaanproductie



Het biogaspotentieel van de meelwormenfrass is  $517.1 \text{ Nm}^3/\text{ton VM}$ . De meerderheid van dit potentieel is geproduceerd in de eerste 20 dagen van de test. Er is geen productie meer na 38 dagen verblijftijd. Hetgeen betekent dat het substraat relatief snel afbreekt. Het methaangehalte gemeten aan het eind van het experiment is  $60,6 \%$  en het gehalte aan  $\text{H}_2\text{S}$  bedraagt  $80 \text{ ppm}$ . Normaliter zal in een continu gevoed vergistingssysteem een methaangehalte bekomen worden variërend tussen  $55,6$  en  $60,6 \%$ . Hetzelfde verschil is te voorzien voor het  $\text{H}_2\text{S}$ -gehalte, maar dan in omgekeerde zin. Het zwavelgehalte is gemiddeld wat erop wijst dat er geen aanleiding is voor zwavelinhibitie door het substraat.



Er wordt een kleine variatie in droge stof en organische stof opgemerkt tussen de verschillende batches van de meelwormenfrass. De totale stikstof varieert van 26 tot 29 g N/kg.

Tabel 2: karakterisatie van de aangeleverde meelwormenfrassmonsters

FRASS	datum	DS	ODS	OS
		%	%DS	%
22611701	16/11/2022	85.26	90.98	77.57
23239102	23/03/2023	86.84	92.69	80.49
23239115	21/04/2023	82.00	91.98	75.42
23239122	05/05/2023	86.78	88.98	77.21
23239134	19/05/2023	86.28	90.26	77.88

Daar het materiaal een te hoge organische stofgehalte bevat om zo te vergisten en dat ook het vochtgehalte te laag is, werd het eerst verdund met water (150%) tot een organische stofgehalte van 32,2%. Zodoende wordt door het aanlengen met water ook het stikstofgehalte van gemiddeld 27gN/kg verlaagd naar 10.8 gN/kg. Er wordt verwacht dat ongeveer 50-60% van de totale stikstof omgezet wordt in ammoniakale stikstof. De optimale maximumgrens voor een mesofiel proces bedraagt 5.5 gN/kg. Afhankelijk van hoeveel stikstof die omgezet wordt in ammoniakale stikstof wordt verwacht dat de ammoniakale stikstof rond de maximale bovengrens zal liggen.

Tabel 3: Overzicht toegepaste verdunningen op het inputmateriaal

FRASS	datum	verdunning	OS voor verdunning	OS
batch		%	%	%
23239102	27/03/2023	150	80.49	32.2
23239102	31/03/2023	150	80.49	32.2
23239102	05/04/2023	150	80.49	32.2
23239102	20/04/2023	150	80.49	32.2
23239115	03/05/2023	134	75.42	32.2
23239115	17/05/2023	164	75.42	24.8
23239134	07/07/2023	250	77.88	22.3

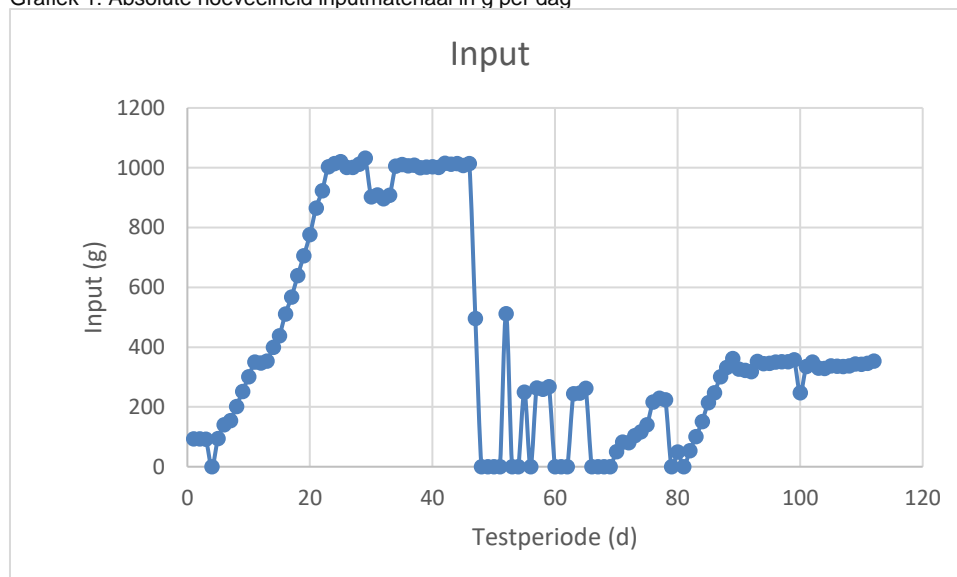
## 2.2 Procesparameters digestaat en biogas

### 2.2.1 Voeding

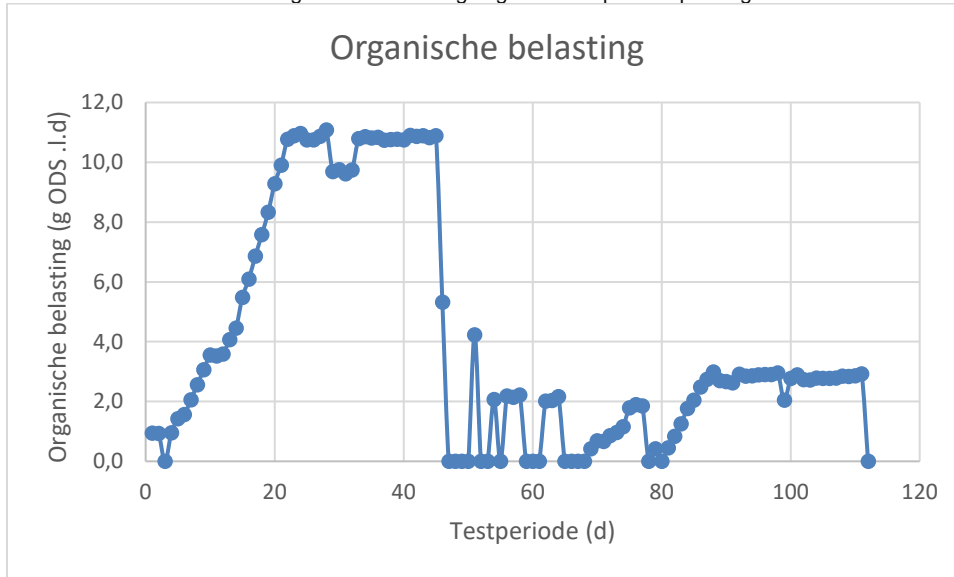
De hoeveelheid toegediende voeding heeft een invloed op de biogasproductie, het verloop van het proces wordt ook opgevolgd door een aantal specifieke parameters op te volgen. De voedingsbelasting wordt aangepast afhankelijk van de bekomen analyseresultaten met de bedoeling tot een stabiel proces te kunnen komen.

De voedingsbelasting wordt langzaam opgebouwd gedurende een periode van 22 dagen tot een HRT (hydraulic retention time) van 30 dagen bekomen wordt. De bedoeling was om deze residentietijd gedurende de duur van de test aan te houden. Echter na ongeveer 23 dagen bij de gewenste HRT werd de voedingsbelasting noodgedwongen verlaagd omdat de biogas productie verlaagde en het methaangehalte in de biogas onder de 50% dook. Dit samen met een verhoging van de totale vetzuren toonde aan dat de biologie de toegediende voeding niet tijdig kon verwerken. Hierna werd de voeding stelselmatig aangepast in de hoop het proces terug stabiel te krijgen. Uiteindelijk werd de organische stof in de voeding verlaagd tot 24.8% OS en 22.3% OS door extra te verdunnen. En werd uiteindelijk slechts een beperkte hoeveelheid gevoed overeenkomend met 85 dagen HRT.

Grafiek 1: Absolute hoeveelheid inputmateriaal in g per dag



Grafiek 2: Overzicht van de organische belasting in gram ODS per liter per.dag

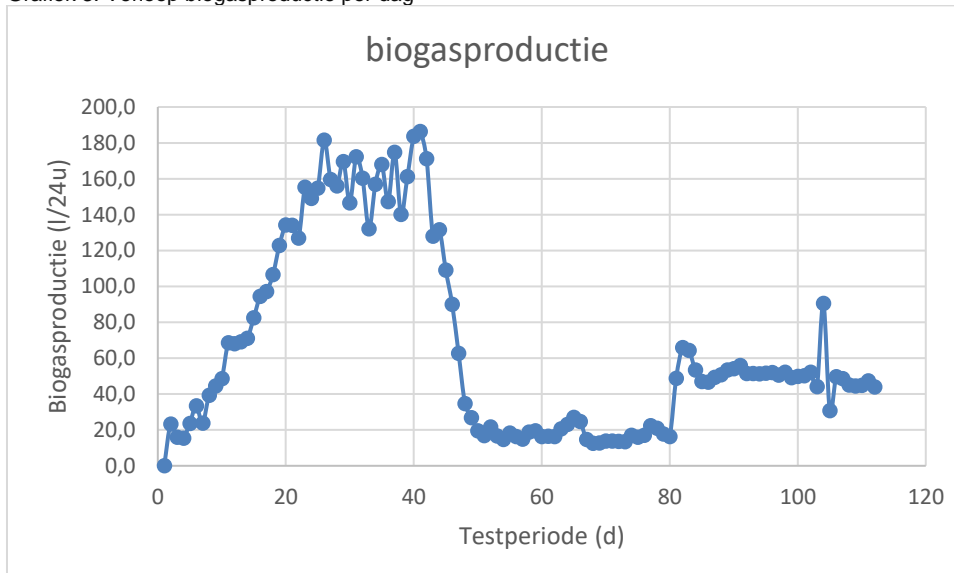


De organische belasting bedroeg in het eerste deel van de test 10,7 g ODS/l.d. Dit werd op het einde van de test verlaagd naar gemiddeld 2.8 g ODS/l.d.

### 2.2.2 Gasproductie - en samenstelling

Om het overzicht te bewaren wordt de biogasproductie weergegeven onder verschillende vormen. We beginnen het overzicht met de evolutie van het verloop van de dagproductie, het volume is steeds omgerekend naar een 24-uursvolume.

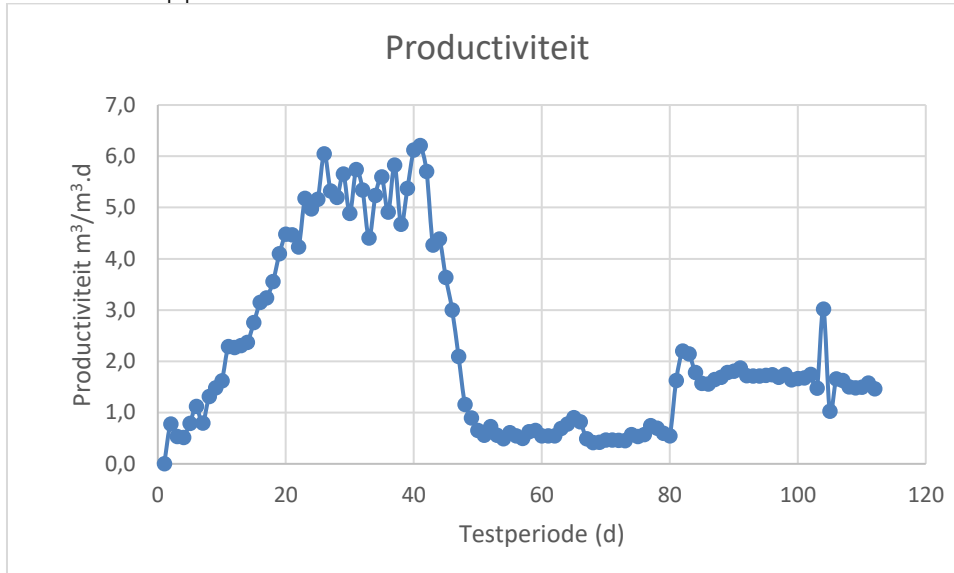
Grafiek 3: Verloop biogasproductie per dag



We zien een gestage stijging in de biogasproductie in de eerste 22 dagen. Wat mooi overeenkomt met de verhoging van de voedingsbelasting. De volgende 20 dagen blijft de biogasproductie op een hoog niveau, hetzij wel met een grotere variatie. Na 41 dagen begint de biogasproductie significant te dalen, alhoewel de voedingsbelasting constant werd aangehouden tot dag 45. Daar de relatieve methaanconcentratie daalt, werd ook de voedingsbelasting verlaagd, wat resulteert in een lagere biogasproductie. De gasproductie verhoogd opnieuw pas wanneer na 80 dagen de voedingsbelasting weer voorzichtig kan verhoogd worden na bij-enten met 30% vers digestaat.

Een andere wijze om de dagelijkse biogasproductie weer te geven is met behulp van de parameter productiviteit. De productiviteit is de hoeveelheid biogas die per eenheid van reactorvolume en per dag wordt vrijgesteld. Dit maakt het mogelijk om reactorprestaties van reactoren met een verschillend volume snel te vergelijken

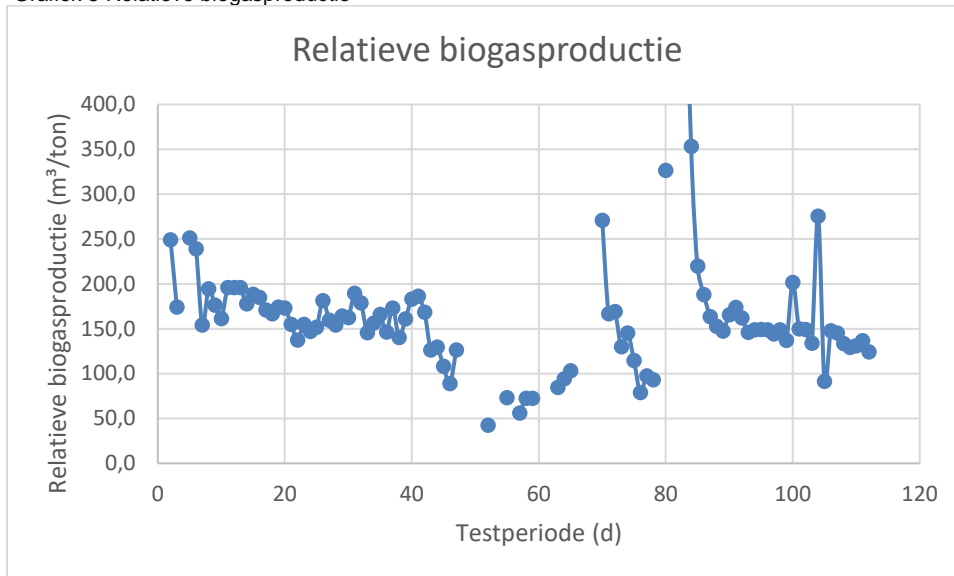
Grafiek 4: Verloop productiviteit



De productiviteit vertoont logischerwijs een zelfde verloop als de biogasproductie. De periode van dag 21 tot dag 41 vertoont een uitstekende productiviteit van gemiddeld 5.2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d Als we de laatste 30 dagen bekijken van het experiment waarbij het procesverloop opnieuw stabiel was zien we dat de productiviteit onder de 2 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> reactorvolume per dag ligt. Dit zijn lage waarden aangezien op de meeste installaties de productiviteit boven 3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d ligt. Een lage productiviteit resulteert in een hoge CAPEX.

De relatieve gasproductie geeft de gasproductie weer per massa-eenheid toegediende biomassa.

Grafiek 5 Relatieve biogasproductie

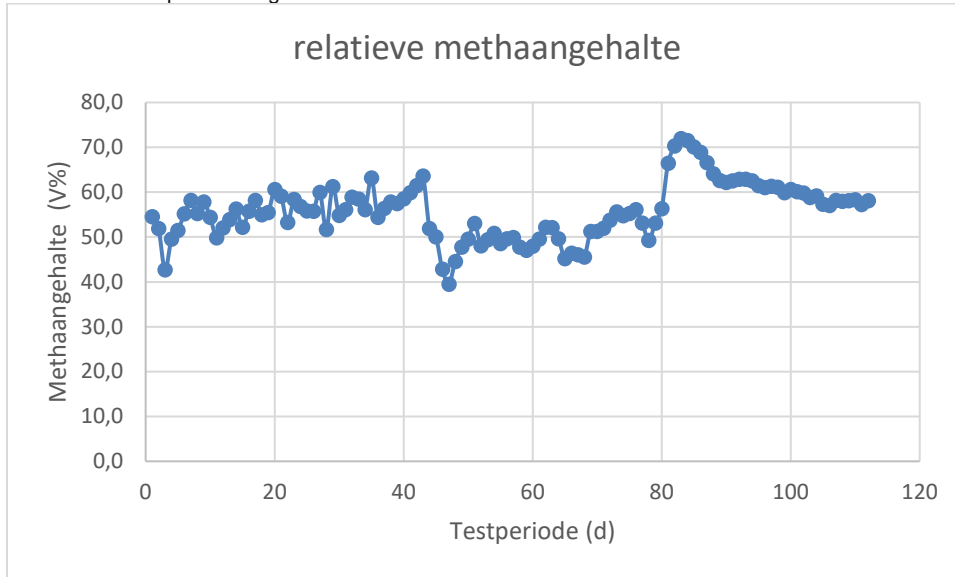


Uit de grafieken voor relatieve biogasproductie is goed af te leiden hoeveel perioden er zijn geweest gedurende het testverloop waar niet is gevoed, dit zijn de onderbrekingen in de curves. De verhoogde waarden bij dag 80 tot dag 84 hebben te maken met het toevoegen van vers digestaat in een poging om de ammoniakale stikstof en vluchtige vetzuren te doen dalen en de biologische activiteit te herstellen. Hier kan de productie per ton organische stof ook vergeleken worden met het potentieel dat uit de batchtest bekomen werd. Hierbij merken we dat in de periode met de hoogste gasopbrengst, gemiddeld gasproductie van 162 m<sup>3</sup>/ton bekomen werd. Uit de batchtest werd een biogaspotentieel van 517 Nm<sup>3</sup>/ton bekomen, rekening houdend met de verdunning van het input materiaal komt dit neer op een biogaspotentieel van 206.8 Nm<sup>3</sup>/ton. Of herrekent naar het biogaspotentieel per organische stof bekomen we een potentieel van 506 m<sup>3</sup>/ton ODS voor de piloottesten en van 666 Nm<sup>3</sup>/ton ODS voor de labo batchtesten. Hierbij wordt voor deze korte periode een biogasproductie per ODS bekomen die overeenkomt met 75% van het biogaspotentieel bekomen via de batchtest. De aanwezigheid van een significante hoeveelheid vluchtige vetzuren in het digestaat toont al aan dat de biogasproductie niet optimaal verloopt.

Het is ook interessant om te zien dat de relatieve biogaspotentieel tijdens de twee periodes waar de gasproductie relatief stabiel was, van dag 21 tot dag 41 en van dag 89 tot dag 112 toch niet te sterk afwijken waarbij de biogasproductie (m<sup>3</sup>/ton/ODS) bekomen wordt met respectievelijke gemiddelde van 517 m<sup>3</sup>/ton ODS en 604 m<sup>3</sup>/ton ODS (of 145 m<sup>3</sup>/ton VM).

Dagelijks is de biogassamenstelling bepaald met de focus op H<sub>2</sub>S en methaan.

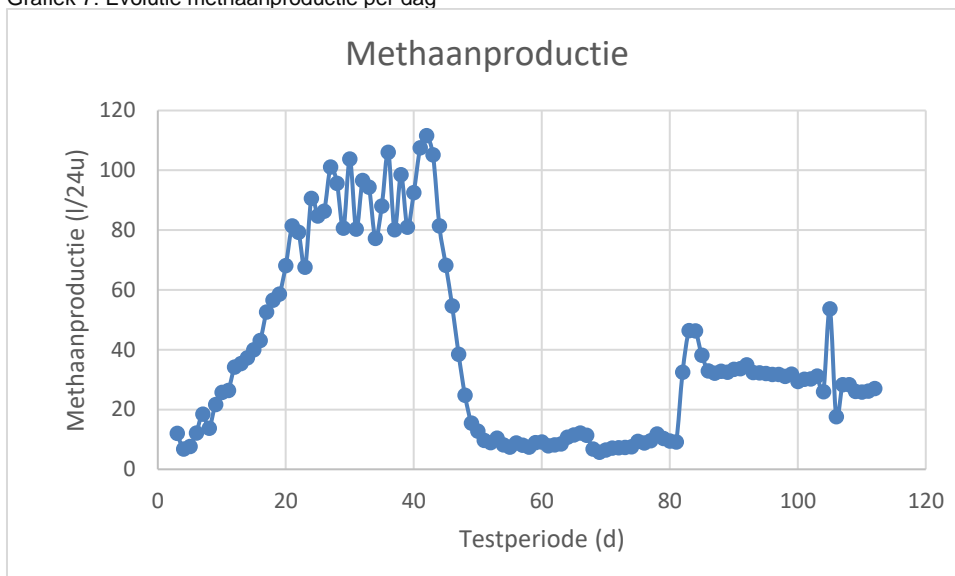
Grafiek 6: Verloop methaangehalte



Tijdens de graduele verhoging van de voedingsbelasting en de stabiele belastingsperiode van dag 21 tot dag 43 observeren we uitgezonderd een aantal kleine uitschieters een relatief methaangehalte van gemiddeld 56%. Vanaf dag 44 zien we een sterke daling van het relatief methaangehalte in de biogas wat wijst op inhibitie bij de methanogene bacteriën. In theorie helpt het verlagen van de voedingsbelasting dan om opnieuw een stabiel methaangehalte boven 50% te bekomen. Echter hier bleef het methaangehalte ondermaats tot er bijgeënt werd op dag 80. De verhoging die dan geobserveerd wordt is een toename in methaan tot meer dan 70% en wordt veroorzaakt door het ent-inoculum. Vervolgens stabiliseert het methaangehalte bij 58%. Deze waardes liggen ook binnen de voorspelde waarden uit de batchtest tussen de 55 en 60%.

De methaanproductie per dag wordt weergegeven in onderstaande grafiek:

Grafiek 7: Evolutie methaanproductie per dag

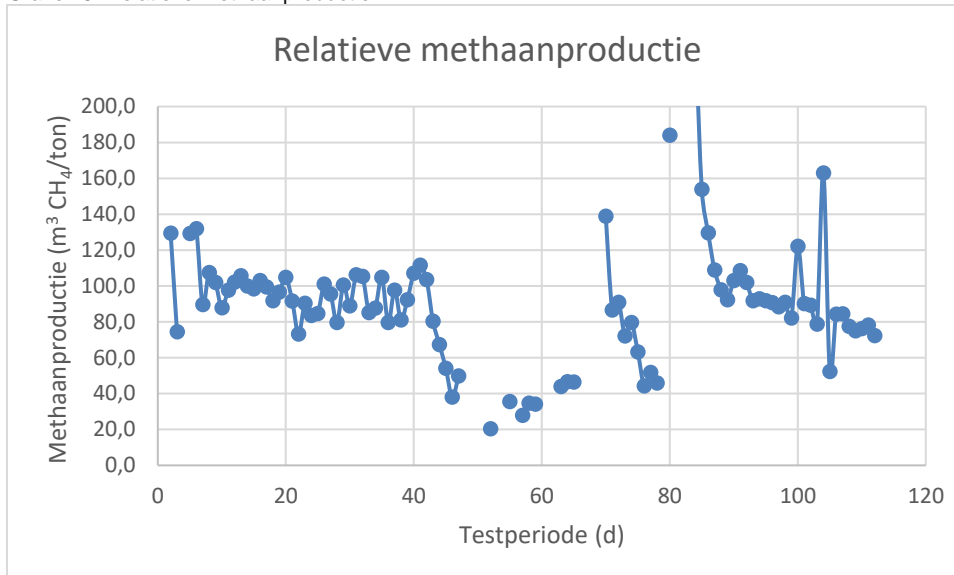


De methaanproductie volgt een gelijkaardig verloop als het verloop van de biogasproductie. In de periode van dag 21 tot dag 43 is er een significante schommeling

in de methaanproductie, maar ligt deze hoog. Dan volgt een drastische daling vanaf dag 43, waarbij de methaanproductie verder verlaagt door het verlagen van de hoeveelheid voeding, dit echter pas vanaf dag 46 en de methaanproductie verhoogd terug licht als de voeding weer verhoogd wordt.

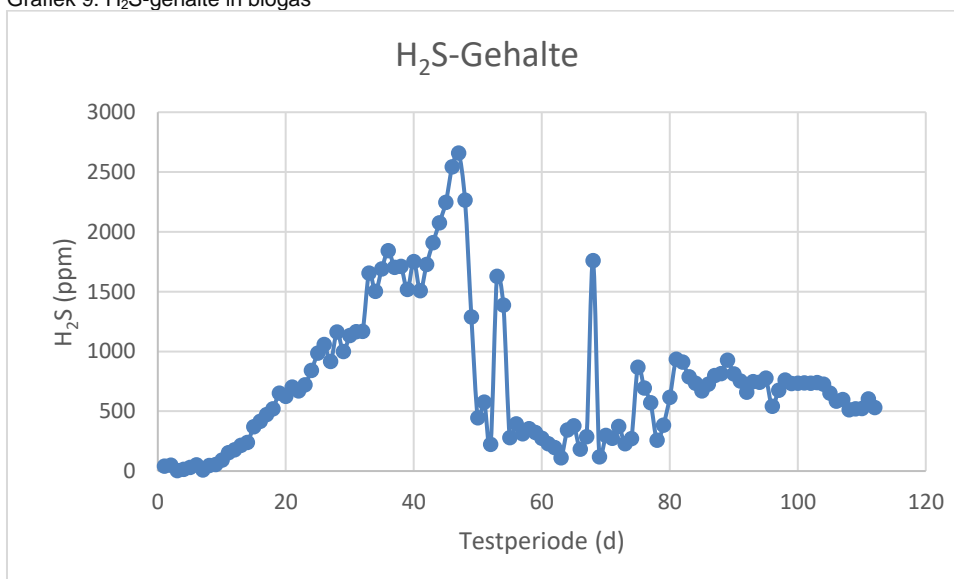
De relatieve methaanproductie wordt bepaald met behulp van het effectief gemeten methaangehalte. Deze is weergegeven in onderstaande grafiek.

Grafiek 8: Relatieve methaanproductie



In de eerste periode van de test hebben we een gemiddelde methaanproductie van  $97 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ . Dit valt volledig terug onder de  $40 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ . Na bij-enten bekomen we opnieuw een methaanproductie van ongeveer  $86 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ . Uitgedrukt in  $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ODS}$  resulteert dit respectievelijk in  $301 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ODS}$  en  $347 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ODS}$ . Waardes die op respectievelijk 75% en 86% liggen van de waarde bekomen voor de methaanproductie ( $404 \text{ Nm}^3/\text{ton ODS}$ ) tijdens de batchtest.

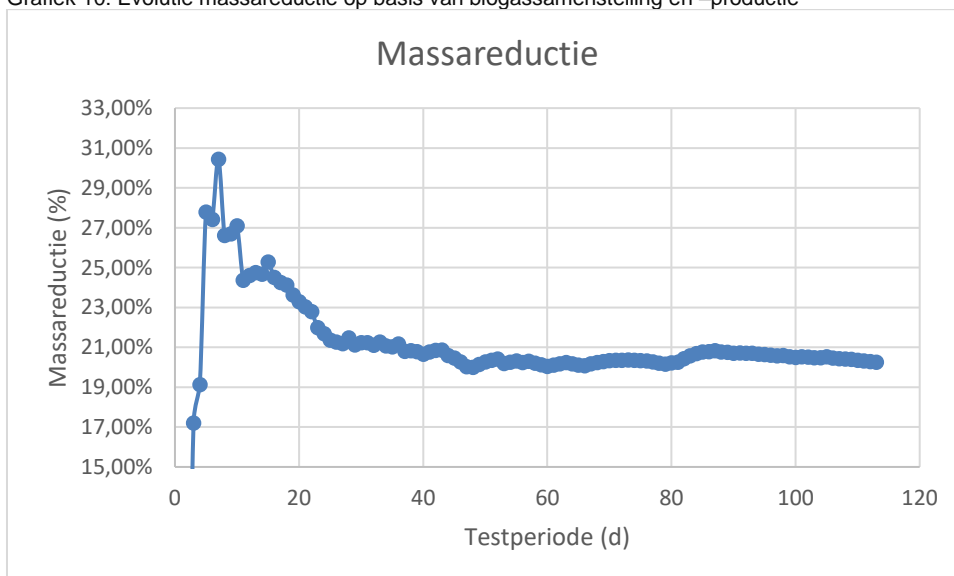
Grafiek 9: H<sub>2</sub>S-gehalte in biogas



Tijdens de opbouw fase stijgen de H<sub>2</sub>S-concentraties gestaag. Om eerste te stabiliseren rond de 1700 ppm. In een industriële installatie kunnen deze H<sub>2</sub>S-waardes verlaagd worden mits toepassen van luchtinjecties of addities van ijzer. Vervolgens observeren we vanaf dag 42 een verdere stijging van het H<sub>2</sub>S-gehalte tot 2650 ppm op dag 47. Het verlagen van de organische belasting heeft ook een duidelijke invloed op de H<sub>2</sub>S-productie. Het is ook niet duidelijk of de sterke toename van het H<sub>2</sub>S-gehalte de oorzaak is van de daling in activiteit aangezien de waarden niet dermate hoog zijn om het proces in die mate te remmen. Buiten nog 2 pieken in H<sub>2</sub>S-gehalte krijgen we op het einde een min of meer stabiele H<sub>2</sub>S-concentratie van 500-750 ppm in de biogas.

Uit de combinatie van de gegevens van de biogasproductie en -samenstelling kan het massaverlies bepaald worden die plaatsvindt tijdens het vergistingsproces. Onderstaande grafiek geeft een weergave van de massareductie.

Grafiek 10: Evolutie massareductie op basis van biogassamenstelling en -productie



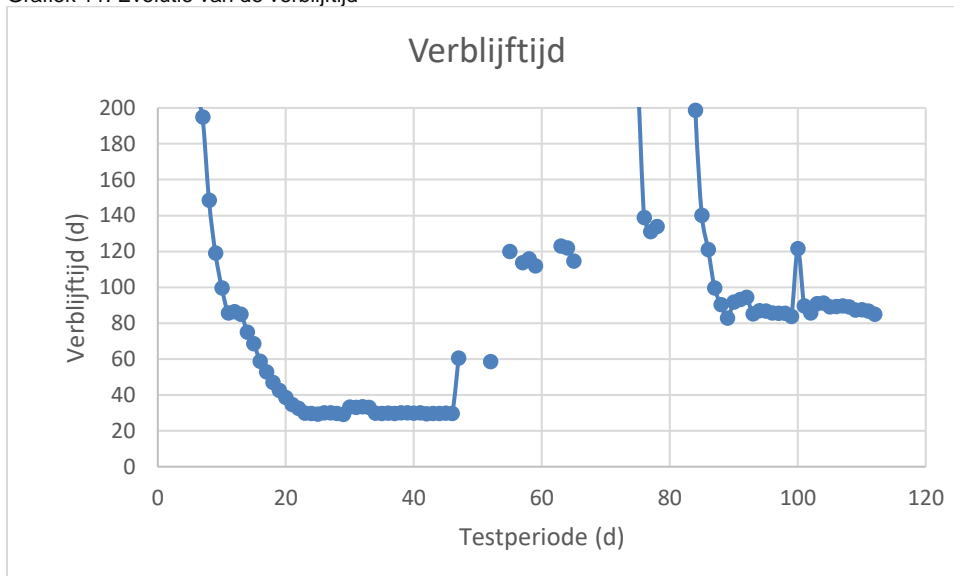
In de testopstelling zien we de massareductie tijdens de opstartfase stelselmatig afnemen door het verhogen van de voeding. In de eerste stabiele fase observeren we een massareductie van gemiddeld 21%. Vervolgens daalt de massareductie naar een waarde rond de 20%.



### 2.2.3 Verblijftijd

Onderstaande grafiek geeft het verloop van de verblijftijd weer.

Grafiek 11: Evolutie van de verblijftijd

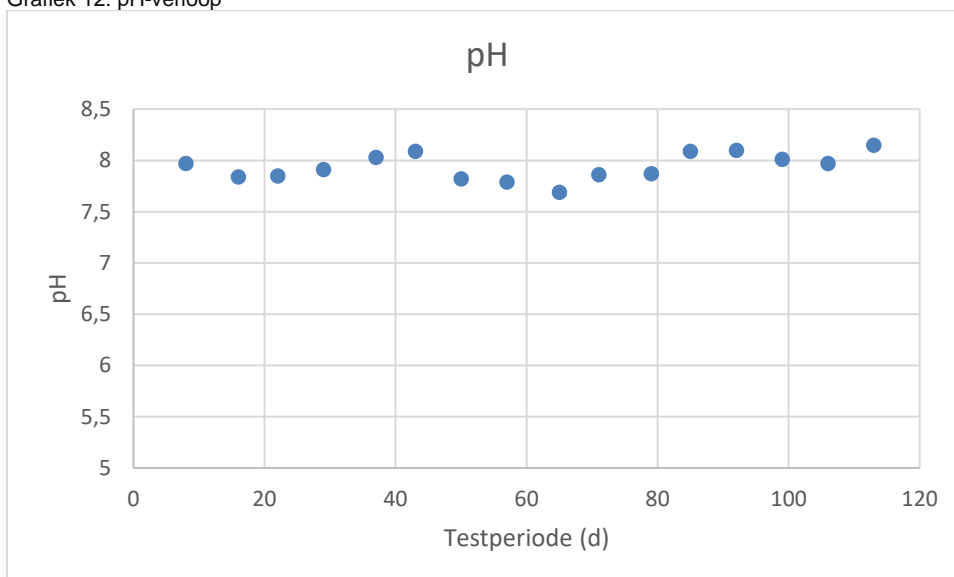


In de periode van dag 21 tot dag 46 bekomen we een stabiele verblijftijd van 30 dagen. Naar het einde van de test toe, bekomen we opnieuw een meer stabiel proces met een verblijftijd van 85 dagen.

### 2.2.4 pH

In de reactor is wekelijks de pH van het digestaat bepaald, de bekomen resultaten worden in onderstaande grafiek weergegeven.

Grafiek 12: pH-verloop



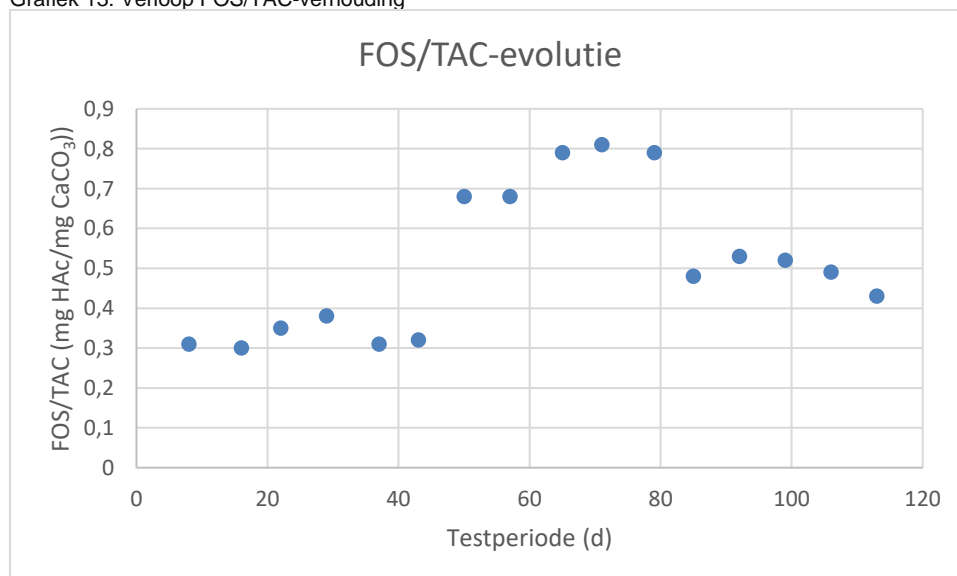
De pH in de reactor ligt boven de 7.8, behalve op het ogenblik dat de totale vetzuren hun hoogste punt bereiken, daalt de pH naar 7.69 om daarna weer te stijgen tot een pH boven 8.0. Dit is een hoge waarde gezien de relatief hoge vetzuurconcentraties die verder

worden besproken. Deze hoge pH-waarde die de reactor beschermen tegen verzuring volgen uit de hoge concentraties aan ammoniakale stikstof die de ammoniumbuffer in het digestaat versterkt.

### 2.2.5 FOS/TAC

Door de afbraak van organisch materiaal wordt er koolzuur gevormd. Koolzuur is slecht oplosbaar in water en er ontstaat een evenwicht tussen het koolzuur, de  $\text{CO}_2$  in oplossing en de  $\text{CO}_2$  boven de oplossing. Koolzuur is een tweewaardig zwak zuur en vormt met zijn zouten een buffersysteem in het digestaat. Deze zouten zijn voornamelijk natrium- en calciumcarbonaat. Naast voormeld buffersysteem kunnen we in het digestaat nog de sulfide- en het ammoniumbuffer onderscheiden. De som van de buffersystemen geeft ons de TAC-waarde of totale alkalische capaciteit. Tegenover de TAC-waarde staat de FOS-waarde die een maat is voor de concentratie aan vluchtige organische zuren in het digestaat. De FOS-waarde is steeds hoger dan de som van de gemeten vetzuurconcentraties via GC-FID. De verhouding tussen FOS- en TAC-waarde geeft indicatief aan in welke mate het digestaat in staat is om de aanwezige vetzuren te neutraliseren en de pH bijgevolg stabiel te houden.

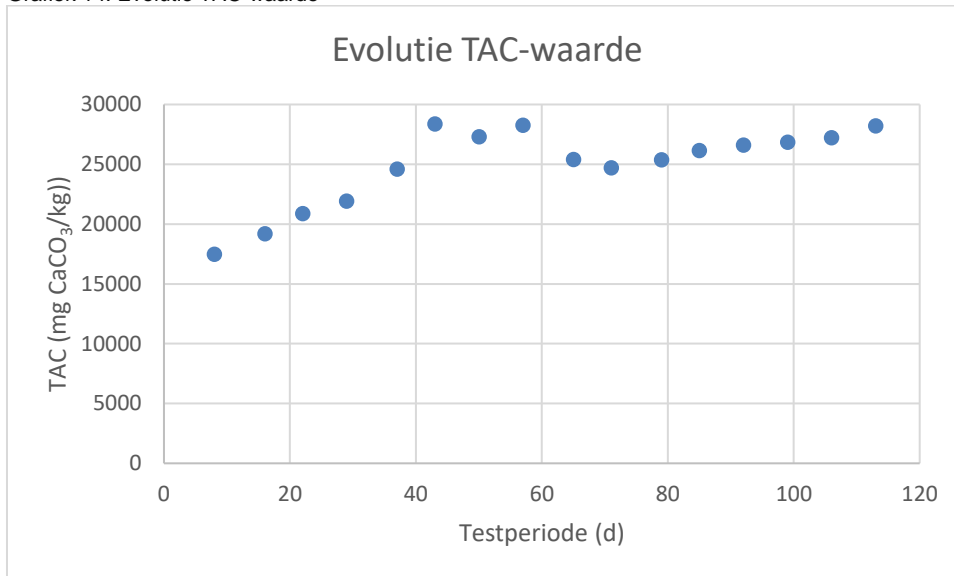
Grafiek 13: Verloop FOS/TAC-verhouding



De FOS/TAC-waarde van de vergister toont een optimale waarde tussen de 0.2 en 0.4 tot en met dag 43. Bij de volgende meting op dag 50 is er een verhoogde FOS/TAC waarde te zien tussen de 0.68 en 0.81, wat overeenkomt met de sterke verhoging van de vluchtige vetzuren. De FOS/TAC verlaagt pas na dag 80 door het opnieuw enten van de reactor. Echter blijft de FOS/TAC met een waarde van 0.43 tot 0.53 verhoogd.

De evolutie van alkaliniteit of buffercapaciteit wordt weergegeven in onderstaande grafiek.

Grafiek 14: Evolutie TAC-waarde

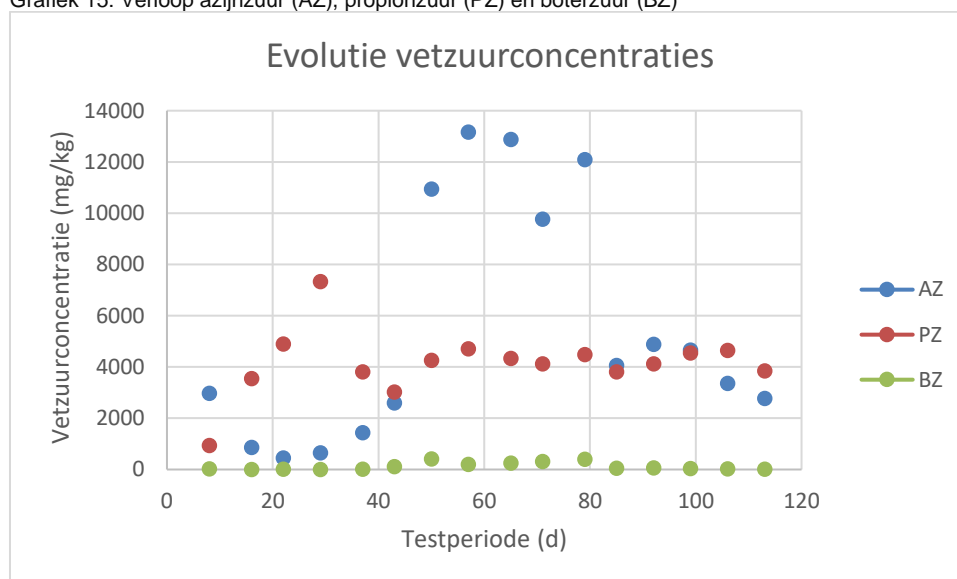


Tijdens de opbouwfase van de voedingsbelasting krijgen we een stijging van het bufferend vermogen, in overeenstemming met de stijging in ammoniakale stikstof. Tijdens de test ligt het bufferend vermogen tussen de 20000 en 30000 mg CaCO<sub>3</sub>/kg, zoals bij de meeste mesofiele reactoren. Het deels bij-enten van de reactor heeft geen negatieve invloed op het bufferend vermogen. Ondanks de stijging van de vluchtige vetzuren worden hoge waarden voor de TAC bekomen, die de robuustheid van het proces tegen verzuring positief beïnvloeden.

### 2.2.6 Vluchtige vetzuren

De vetzuurconcentratie(s) geven ons een beeld van de biologische activiteit van het volledige vergistingsproces en van de diverse tussenstappen. Ook kunnen hierdoor indicaties van inhibitie naar voren komen. Hiervoor leggen we vooral de focus op de concentraties van azijnzuur (AZ), propionzuur (PZ) en boterzuur (BZ).

Grafiek 15: Verloop azijnzuur (AZ), propionzuur (PZ) en boterzuur (BZ)



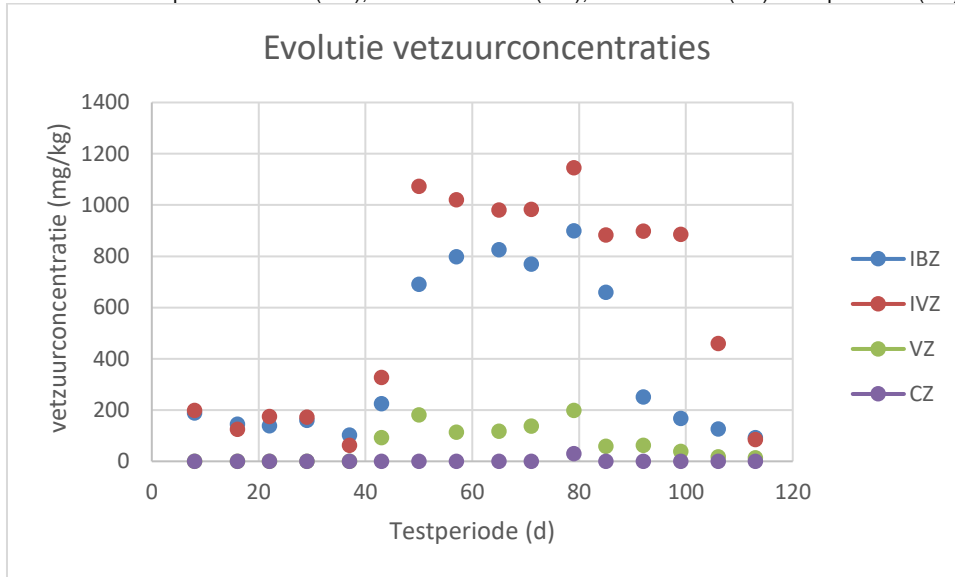
Op het einde van de belastingsopbouw vinden we een lage azijnzuurconcentratie en een verhoogde propionzuurconcentratie. Dit wijst erop dat de methanogene bacteriën een goede activiteit vertonen, maar de toegediende voeding niet op tijd volledig kan verwerkt worden. Op dag 43 net voor de daling in biogasproductie zien we de logische evolutie van de propionzuurconcentratie die daalt en de azijnzuur concentratie die in stijgende lijn is. Echter op dag 50 merken we een totaal ander beeld op. De propionzuur concentratie is opnieuw in stijgende lijn tot 4250 mg/kg, maar de azijnzuur concentratie is exponentieel verhoogd tot 13164 mg/kg. Dankzij de hoge buffercapaciteit en pH is de kans op verzuring klein. Ook het boterzuurgehalte, een indicator van de waterstofconsumptie, toont een verhoging tot 410 mg/kg.

Meer nog dan azijnzuur is boterzuur een indicator van de methanogene activiteit. De afwezigheid van dit vetzuur wijst op een geen zware overbelasting van de biologie en een continue goede waterstoftransfer. Deze laatste is de sleutel tot een stabiel en goedwerkend vergistingsproces omdat het een cruciale rol speelt in de vetzuuromzetting en methaanvorming, zonder omzetting van waterstof kunnen volgende reacties niet doorgaan:

<i>Substrate</i>	<i>Reaction</i>
Propionic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Butyric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Valeric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Isovaleric acid	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2 + \text{H}^+$
Capronic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Carbondioxid/hydrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

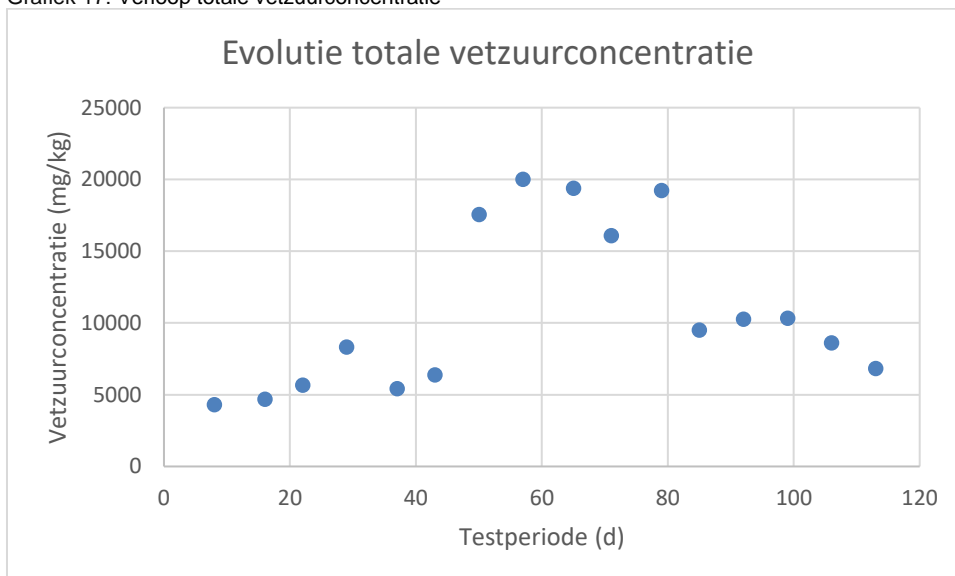
Ondanks het feit dat de organische belasting drastisch verlaagd werd, bleven de vluchtige vetzuren veel te hoog. Deze tonen pas een duidelijke daling als gevolg van het bij-enten met digestaat. Een dalende trend wordt pas volledig op het einde van de test geobserveerd, waarbij het azijnzuur opnieuw lager ligt dan het propionzuur. Maar de waarden blijven nog verhoogd. Propionzuur accumulatie kan ook wijzen op problemen met de waterstofomzetting. Waterstoftransfer kan vertraagd worden door een te hoge viscositeit. Van dag 28 tot dag 49 observeren we een vervijfvoudiging van de viscositeit.

Grafiek 16 Verloop isoboterzuur (IBZ), isovaleriaanzuur (IVZ), valeriaanzuur (VZ) en capronzuur (CZ)



De vetzuren isoboterzuur (IBZ), isovaleriaanzuur (IVZ), valeriaanzuur (VZ) en capronzuur in bovenstaande grafieken weergegeven komen in de beginfase slechts in lage of verwaarloosbare hoeveelheden voor. Vanaf dag 50 stijgt de concentratie aan isoboterzuur en isovaleriaanzuur naar waarden van 690 tot 1070 mg/kg, De hoeveelheid capron- en valeriaanzuur blijft laag tot nihil hetgeen belangrijk is voor de stabiliteit. De trend van de totale vetzuurconcentratie ziet er als volgt uit:

Grafiek 17: Verloop totale vetzuurconcentratie



De totale vetzuurconcentratie wordt in het begin bepaald door de propionzuurconcentratie. Deze toont al een verhoging op dag 29 terwijl de andere vetzuren nog optimaal zijn. Vervolgens daalt de totale vetzuurconcentratie tot er een exponentiele stijging is van het azijnzuur op dag 50.

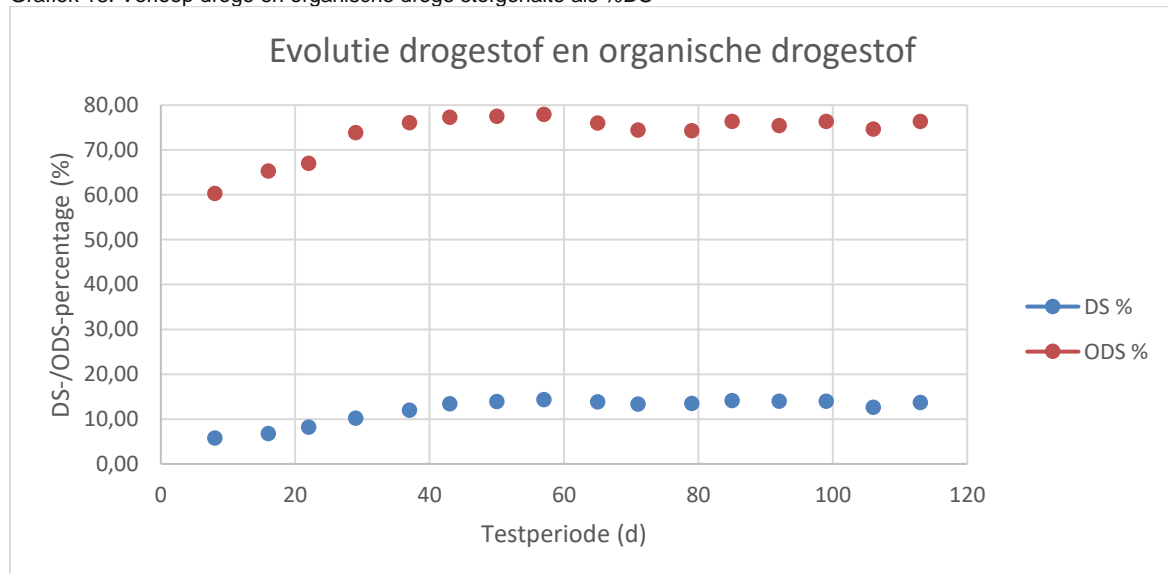
### 2.2.7 Droge en organisch (droge) stofgehalte

Hieronder wordt de evolutie in droge stof- en organisch droge stofgehalte in het digestaat weergegeven.

De droge stof evolueert tijdens de test naar een maximum van 14.31% om vervolgens tot onder de 14% te dalen. Rekening houdend met de droge stof van het inputmateriaal en Op basis van de bekomen methaan- en CO<sub>2</sub>-productie tijdens de test kunnen we bepalen dat in theorie de droge stof in de vergister 27% zou zijn in de eerste stabiele fase en 20% op het einde van de test. Deze waarden werden nooit behaald daar de voeding niet voldoende lang aan de gewenste hoeveelheid kon worden toegediend om 3 HRT's te bekomen die de invloed van het inoculum verwaarlozen.

De organische droge stof stijgt tot waarden van bijna 78%. Alhoewel de waarden vervolgens weer dalen tot waarden van 75-76% wijst dit op een moeilijke afbraak van de organische voeding.

Grafiek 18: Verloop droge en organische droge stofgehalte als %DS



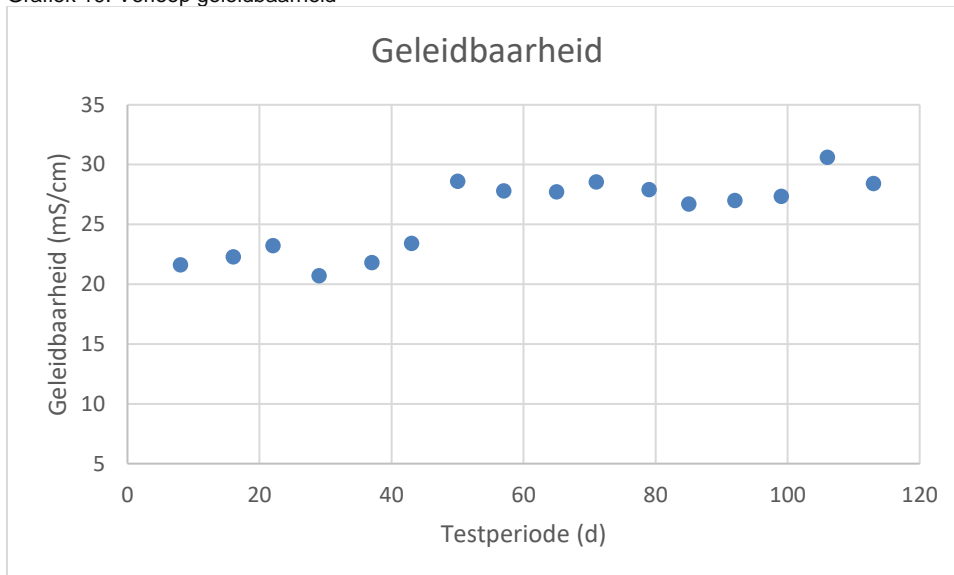
### 2.2.8 Geleidbaarheid

De geleidbaarheid van digestaten wordt beïnvloed door het zoutgehalte, de concentratie aan vetzuren en de heersende buffercapaciteit. Deze waarde geeft ons informatie over de zoutconcentratie in het digestaat indien de TAC-waarde gekend is. De verklaring hiervoor is de volgende: CaCO<sub>3</sub> creëert een bepaalde geleidbaarheid maar deze heeft geen invloed op de werking van een cel omdat het een ionofore verbinding is, die in staat is om door de celwand te diffunderen, een geladen ion mee te nemen en daardoor de osmotische waarden gelijk kan schakelen. Hierdoor is het van belang om de verhouding tussen de buffercapaciteit en geleidbaarheid te evalueren (TAC/EC).

De buffercapaciteit die wordt gemeten is een mengsel van ammoniakbuffer en carbonaat/bicarbonaatbuffer. In deze gaat het over de bicarbonaatbuffer, die ook de grootste invloed op de buffercapaciteit heeft. Er is dus een "evenwicht" van carbonaat en bicarbonaat, het is het bicarbonaat die een invloed heeft op de geleidbaarheid en niet het carbonaat. Bij bepaling van de buffercapaciteit wordt zowel bicarbonaat en carbonaat bepaald en waarbij carbonaat door de celwand kan diffunderen en osmotische waarden gelijkstellen door iontransport. De geleidbaarheid bevat ook bicarbonaat waardoor bij

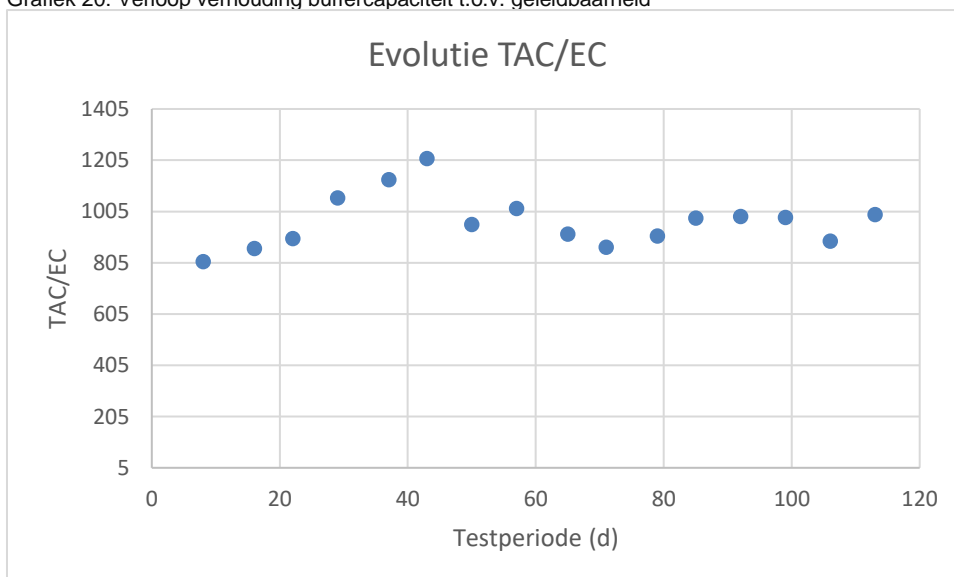
toenemend bufferend vermogen de geleidbaarheid stijgt aangezien bicarbonaat toeneemt maar het heeft geen invloed omdat carbonaat als regulator optreedt. Bij toenemend zoutgehalte stijgt de geleidbaarheid maar carbonaat kan op een bepaald punt niet meer als regulator optreden aangezien de verhouding “ion voor iontransport” op “carbonaat” groter is dan één waardoor een verandering in osmotische waarden plaatsvindt.

Grafiek 19: Verloop geleidbaarheid



Van dag 1 tot dag 43 hebben we een geleidbaarheid tussen de 20 en 25 mS/cm. Vanaf dag 50 zien we een duidelijke verhoging naar waarden tussen de 26 en de 31 mS/cm. Deze plotse stijging heeft hoofdzakelijk te maken met de sterke verhoging in de vetzuren en stijging van het bufferend vermogen. Deze waarden zijn normaal voor een mesofiel proces.

Grafiek 20: Verloop verhouding buffercapaciteit t.o.v. geleidbaarheid

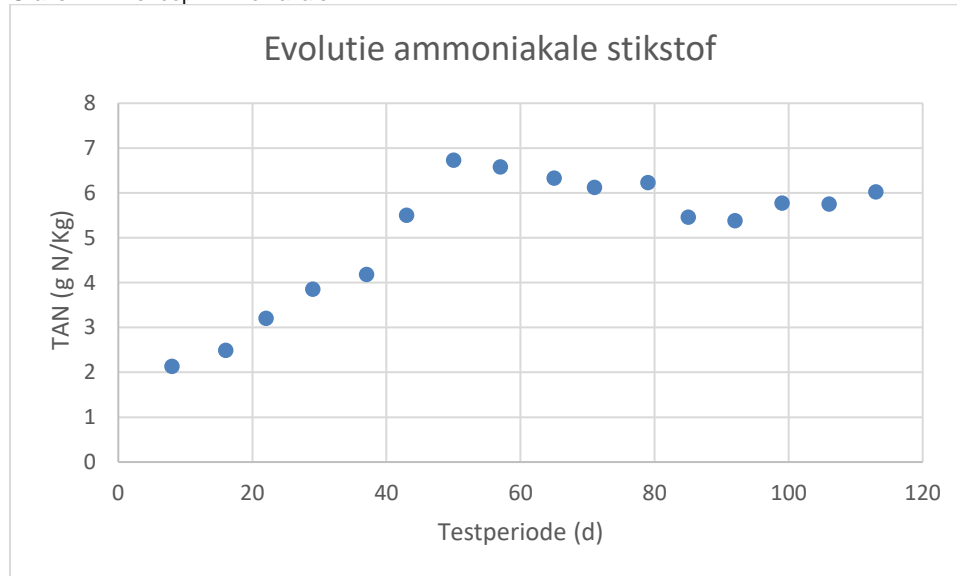


De TAC/EC verhouding ligt gedurende het volledige proces binnen de optimale grenzen. 800 is de optimum-ondergrens voor een mesofiele procesvoering. We merken een stijging tot 1205 waarna het vervolgens stabiliseert tot tussen de 860 en 1000.

## 2.2.9 Ammoniakale stikstof

Hieronder volgt de evolutie van het gehalte aan ammoniakale-N in het digestaat.

Grafiek 21: Verloop Ammoniakale-N



Tijdens de opbouwfase van de voeding merken we zoals verwacht een stijging van de ammoniakale stikstof. De stijging vlakt af op dag 37 éénmaal een constante voeding wordt toegediend. Echter stijgt daarna de ammoniakale stikstof opnieuw veel sterker op dag 43 en 50. Wat resulteert in waarden tot 6.73 gN/kg. Wat hoger is dan de optimum-bovengrens van 5.5 gN/kg voor een mesofiel proces. Uitgaande van een concentratie van 10.8 gN/kg in de voeding resulteert dit in een omzetting van 62 % van de totale stikstof in ammoniakale stikstof. Het verder verdunnen van de voeding naar een droge stof gehalte van 24,8% en totaal stikstofgehalte van 7.49 gN/kg resulteert echter maar in een daling van de ammoniakale stikstof in de reactor tot 6.12 gN/kg, mede door het feit dat het toedienen van een hoge hoeveelheid voeding niet kon aangehouden worden. Daarom werd de reactor bijgeënt met 30% vers inoculum met DS van 14.9% en ammoniakale stikstof gehalte van slechts 3gN/kg. Dit werd bijgeënt op dag 80. Hierdoor zien we een daling van de ammoniakale stikstof tot 5.46 gN/kg, Net binnen de optimale grenzen, maar toch hoger dan wat verwacht werd. Initieel is er een verdere daling tot 5.38 gN/kg, echter daarna observeren we in de daaropvolgende weken opnieuw een stijging tot 5.7-6.02 gN/kg. Ondanks het feit dat het stikstofgehalte in de voeding aanzienlijk verlaagd werd door te verdunnen, blijkt de omzetting van de aanwezige stikstof in de reactor toch tot waarden tot boven de optimum-bovengrens van de ammoniakale stikstof te stijgen. Dit wil echter niet zeggen dat het proces met deze waarden niet kan doorgaan. Dit is immers geen vaste grens.



## 2.2.10 Elementconcentratie en NPK

Totaal stikstof, natrium, kalium en zwavel waarden werden een eerste keer bepaald na 49 dagen. De resultaten worden in Tabel 4 weergegeven. De ammoniakale stikstof bedraagt 68,7% van de totale stikstof, wat wijst op een hoge omzettingsgraad van de aanwezige organische stikstof. Het kalium-en natriumgehalte liggen goed. De som het kaliumgehalte en natriumgehalte ligt met een waarde van 5320 mg/kg net boven de optimum-bovengrens van 5000 mg/kg, maar dit kan geen verklaring zijn voor de waargenomen problemen. Het zwavelgehalte ligt met een waarde van 681 mg S /kg ruim binnen de optimale waarden.

Tabel 4: TN, K, Na en zwavel concentratie na 49 dagen

<b>Parameter</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Concentratie ( / Verse massa)</b>
Totaal stikstof	kg N/ton	9,79
Kalium	mg K /kg	3760
Natrium	Mg Na /kg	1560
Zwavel	mg S /kg	681

Onderstaande tabel geeft de finale karakterisatie en concentraties van verschillende elementen weer in het digestaat op het einde van de test. Door het bijten van de vergister met 30 volume-% inoculum na 80 dagen, zijn de gemeten waardes niet 100% representatief voor het digestaat die gevormd zou worden door het vergisten van meelwormen-frass.

De aanwezigheid van volgende micronutriënten (Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Se en Zn) is aangewezen voor optimale vergistings omstandigheden. Uit de literatuur kunnen geen eenduidige minimum- of maximumconcentraties samengevat worden, daar de optimale concentraties aan micronutriënten heel systeem specifiek zijn. De gemeten waarden liggen voor de opgesomde micronutriënten wel binnen of boven de minimaal geadviseerde waardes.

Tabel 5: Nutritionele waarden van het digestaat op het einde van de test.

<b>Parameter</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Concentratie ( / Verse massa)</b>
pH	-	8,15
Geleidbaarheid	mS/cm	28,4
Viscositeit 38°C (Brookfield)	cP	804
Droge stof	%	13,68
Organische droge stof	% DS	76,39
Asgehalte	%	3,23
Totaal stikstof	kg N/ton	9,21
Totaal fosfor	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ton	7,09
Kalium	kg K <sub>2</sub> O/ton	6,45
Calcium	kg CaO/ton	2040
Magnesium	kg MgO/ton	2,43
Natrium	kg Na <sub>2</sub> O/ton	2,44
Zwavel	kg SO <sub>3</sub> /ton	2,31
Ammoniakale stikstof	kg N/ton	6,02
Arseen	mg/kg	<0,315
Calcium	mg/kg	2040
Cadmium	mg/kg	0,047
Kobalt	mg/kg	0,214
Chroom	mg/kg	5,89
Koper	mg/kg	16,5
Ijzer	mg/kg	706
Kalium	mg/kg	5360
Magnesium	mg/kg	1470
Mangaan	mg/kg	45,1
Molybdeen	mg/kg	0,671
Natrium	mg/kg	1810
Nikkel	mg/kg	3,56
Fosfor	mg/kg	3090
Lood	mg/kg	0,867
Zwavel	mg S /kg	923
Selenium	mg/kg	0,93
Zink	mg/kg	51,4

## 2.2.11 Thermofiele hygiëniseratie

Op het einde van de thermofiele gisting wordt een thermofiele hygiëniseratie uitgevoerd gedurende 4 uren om de afname van Salmonella, E.Coli en Enterococcon op te volgen. Er wordt een monstername interval van 30 minuten ingesteld. Door het hoge ammoniakale stikstofgehalte en de korte duur van de test was het minder relevant om ook hier de biogas vorming en samenstelling op te volgen.

De testen worden op laboschaal uitgevoerd bij 55°C onder thermofiele vergistingscondities. Hierbij werden acht verschillende laboreactoren gebruikt om iedere 30 minuten een relevant staal te hebben, waarbij kans op contaminatie uitgesloten was.

Na de mesofiele vergisting wordt geen aanwezigheid van E.Coli of Salmonella gedetecteerd. Er wordt wel een aanzienlijke hoeveelheid van 3.5E+04 kve/g Enterococcon gedetecteerd. Na een half uur bij 55°C worden al geen Enterococcon meer gedetecteerd.

Tabel 6: Verloop concentraties E.Coli, Enterococcon en Salmonella

Tijd	E.Coli	Enterococcon	Salmonella
	Kve/g	Kve/g	/25g
T=0	<10	3,50E+04	Niet aangetoond
T= 0,5u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 1u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 1,5u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 2u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 2,5u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 3u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 3,5u	<10	<10	Niet aangetoond
T= 4u	<10	<10	Niet aangetoond

### 3 Besluit

---

Een simulatieproef/ semi-continue test werd gedurende 112 dagen uitgevoerd om de haalbaarheid van monovergisting van meelwormenfrass te bepalen via droge vergistingstechnologie, naast de bepaling van de methaanopbrengst is de doelstelling vooral om de processtabiliteit van het vergistingsproces te evalueren. Een bijkomende doelstelling is om een beeld te krijgen van het digestaat op het einde van het proces in kader van afzet en/of verwerking.

Een semi-continue vergister van 32 liter van het propstroomtype wordt gedurende 112 dagen gevoed met meelwormen-frass. Hierbij wordt gestreefd om organische belasting van 10g ODS/l.d te bekomen en dit met een HRT van 30 dagen. Hiervoor wordt het aangeleverde meelwormen-frass verdund tot een droge stofgehalte van 34.7% en een organische stofgehalte van 32.2%. De opbouwfase van 1g ODS/l.d tot 10.8g ODS/l.d duurt 21 dagen. De gemeten digestaatparameters liggen allen binnen de optimale grenzen, buiten een verhoogde propionzuurconcentratie. De oorzaak hiervan is onduidelijk.

Vervolgens kan de organische belasting van 10,8g ODS/l.d aangehouden worden gedurende 24 dagen (dag 45).

De gemiddelde relatieve biogasproductie gedurende deze eerste stabiele periode van organische belasting bedraagt 162 m<sup>3</sup>/ton VM of 506 m<sup>3</sup>/ton ODS. Deze waardes liggen op 75% van het biogaspotentieel bepaald via de batchtest. Het relatieve methaangehalte in de biogas bedraagt gemiddeld 56%. De methaanproductie gedurende deze periode bedraagt: 97 m<sup>3</sup>/ton VM of 301 m<sup>3</sup>/ton ODS.

Op dag 43 observeert men echter al een significante daling van de biogasproductie en op dag 44 ook een daling van het methaangehalte in het biogas van 63% naar 52%. Twee dagen later op dag 45 is het methaangehalte ondertussen gedaald tot 42.8%. Waarbij op dag 42 de procesparameters nog binnen de optimale grenzen lagen, het gehalte aan ammoniakale stikstof lag o.a. op 5.5 gN/kg, uitgezonderd de totale vetzuurconcentratie die verder gestegen was tot 6300 mg/kg. Op dag 47 wordt een exponentiele stijging van de ammoniakale stikstof waargenomen tot 6.73 gN/kg en de totale vetzuurconcentratie die verder doorstijgt tot meer dan 17500 mg/kg, ondanks het feit dat de voeding voor een periode van drie dagen was stopgezet. In diezelfde periode wordt ook een stijging van de H<sub>2</sub>S-concentratie in de biogas waargenomen tot 2500 ppm. Mogelijkse is dit toe te wijzen aan het lyseren van de biologie zelf.

Verschillende pogingen om de biologie terug op gang te krijgen door bij te enten met 10% digestaat en de vetzuren en het ammoniakale stikstof gehalte te doen dalen door voeding te gebruiken met een verlaagde organische belasting van 24% OS en de voedingsbelasting opnieuw heel langzaam op te bouwen bleken slechts weinig succesvol. Het is pas wanneer de reactor op dag 80 bijgeënt werd met 30% van een mesofiel inoculum en de voedingsbelasting verlaagd werd naar 2.7 g ODS/l.d dat opnieuw een stabiel proces bekomen werd, echter met een HRT van meer dan 90 dagen. Na 112 dagen bleven de totale vetzuren en FOS/TAC waardes nog verhoogd. Ook de ammoniakale stikstof die initieel gedaald was tot onder de 5.5 gN/kg steeg opnieuw naar 6.0g N/kg.

De biogasproductie bedroeg 145 m<sup>3</sup>/ton VM of 603 m<sup>3</sup>/ton ODS dit echter met een RTD van 90 dagen.

Er werd een thermofiel nagistingstest opgezet gedurende een periode van 4 uur, een half uur is voldoende om de aanwezige enterococcon volledig af te doden.

De droge monovergisting van meelwormen-frass in een semicontinue propstroomreactor met een organische belasting van 10.8g ODS/l.d en HRT van 30 dagen leverde geen stabiel proces op. Het verlagen van de droge stof en verhogen van de HRT naar 90 dagen leverde opnieuw een meer stabiel proces op, met een biogasproductie op 90% van het biogaspotentieel bepaald aan de hand van de batchtest. Dit echter met een gemiddelde productiviteit van 1.7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.dag, wat mogelijk te laag is voor een rendabele procesvoering. In combinatie met cosubstraten wordt verwacht dat de vergisting van het meelwormen-frass mogelijk moet zijn.

Meer onderzoek is nodig om geschikte condities te vinden voor een stabiele en economisch rendabele monovergisting van meelwormen-frass. De oorzaak voor het ontstaan van de instabiliteit in de proces voering is nog onduidelijk. Zo wordt een verhoogde ammoniakale stikstof gehalte waargenomen, stijgt de vetzuur concentratie en het H<sub>2</sub>S gehalte, en wordt ook een verhoging van de viscositeit waargenomen. Het is echter onduidelijk wat de oorzaak en wat het gevolg is.

Een voorstel voor verder onderzoek hierbij is een test opzet met drie parallelle reactoren, waarbij een reactor als controle reactor kan dienen en de invloed van veranderende proces parameters op de twee andere reactoren kan opgevolgd worden. Zo kan o.a. de invloed van viscositeit verlagende middelen onderzocht worden.