

2023

Verslag simulatieproef anaerobe vergisting



INNOLAB BV

Verslag van uitgevoerde simulatieproef in het veld van anaerobe vergisting van zwarte soldatenvlieg FRASS in opdracht van Thomas More.



Marechalstraat 70
B-8020 Oostkamp
België
Tel. : +32(0)9 264 04 00
www.innolab.be
2-10-2023

1	Materialen en methoden	4
1.1	Semi-continue test.....	4
1.1.1	Opstelling.....	4
1.1.2	Werkwijze	4
1.2	Analysemethodiek.....	7
1.2.1	Drogestofgehalte (DS).....	7
1.2.2	Organisch stof gehalte (OS).....	7
1.2.3	pH	7
1.2.4	EC.....	7
1.2.5	Gaschromatografie GC-FID.....	7
1.2.6	Gaskwaliteit	7
1.2.7	FOS/TAC	7
2	Resultaten	8
2.1	Inputmateriaal.....	8
2.1.1	Samenstelling	8
2.2	Procesparameters digestaat en biogas	10
2.2.1	Voeding.....	10
2.2.2	Gasproductie - en samenstelling	11
2.2.3	Verblijftijd	17
2.2.4	pH	18
2.2.5	FOS/TAC	18
2.2.6	Vluchtige vetzuren	20
2.2.7	Droge en organisch (droge) stofgehalte	22
2.2.8	Geleidbaarheid	23
2.2.9	Ammoniakale stikstof.....	25
2.2.10	Elementconcentratie en NPK	25
2.2.11	Thermofiele hygiëniserings.....	27
3	Besluit	28

LIJST VAN FIGUREN

Opstelling semi-continue reactor – type propstroom	4
--	---

LIJST VAN GRAFIEKEN

Grafiek 1: Absolute hoeveelheid inputmateriaal in g per dag	10
Grafiek 2: Overzicht van de organische belasting in gram ODS per liter per.dag	11
Grafiek 3: Verloop biogasproductie per dag.....	11
Grafiek 4: Verloop productiviteit	12
Grafiek 5 Relatieve biogasproductie	13
Grafiek 6: Verloop methaangehalte.....	14
Grafiek 7: Evolutie methaanproductie per dag	15
Grafiek 8: Relatieve methaanproductie	15
Grafiek 9: H ₂ S-gehalte in biogas	16
Grafiek 10: Evolutie massareductie op basis van biogassamenstelling en –productie	17
Grafiek 11: Evolutie van de verblijftijd	17
Grafiek 12: pH-verloop.....	18
Grafiek 13: Verloop FOS/TAC-verhouding.....	19
Grafiek 14: Evolutie TAC-waarde	19
Grafiek 15: Verloop azijnzuur (AZ), propionzuur (PZ) en boterzuur (BZ)	20
Grafiek 16 Verloop isoboterzuur (IBZ), isovaleriaanzuur (IVZ), valeriaanzuur (VZ) en capronzuur (CZ).....	21
Grafiek 17: Verloop totale vetzuurconcentratie	22
Grafiek 18: Verloop droge en organische droge stofgehalte als %DS	23
Grafiek 19: Verloop geleidbaarheid	24
Grafiek 20: Verloop verhouding buffercapaciteit t.o.v. geleidbaarheid	24
Grafiek 21: Verloop Ammoniakale-N	25

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Resultaten batchtest BSF-frass	8
Tabel 2: karakterisatie van de aangeleverde BSF-frassmonsters	9
Tabel 3: Overzicht toegepaste verdunningen op het inputmateriaal.....	9
Tabel 4: TN, K, Na en zwavel concentratie na 49 dagen.....	25
Tabel 5: Nutritionele waardes van het digestaat op het einde van de test.....	26

LIJST VAN AFKORTINGEN

BSF	Black Soldier Fly
HRT	Hydraulic retention time
DS	droge stof
ODS	organische droge stof
VM	verse massa
OS	organische stof

OPDRACHT

In opdracht van Thomas More wordt een simulatieproef/semi-continue test uitgevoerd om de haalbaarheid van monovergisting van zwarte soldatenvlieg-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 oplistings 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 33 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 aangevat. De voeding bestaat uit zwarte soldatenvlieg(BSF)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 3 minuten gewerkt aan een toerental van 30 rpm wat neerkomt op een mengvermogen van 4 W/m³.

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 BSF-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 meelwormen-frass. Dit resulteerde op dag vijf in een verhoging van het methaangehalte in het biogas. Vanaf dan werd de voedingsbelasting langzaam verhoogd tot dag 23, waarbij de voorziene belasting van 10,6g ODS/l.d bekomen werd. Op dag 27 werd nieuwe voeding aangemaakt met een OS van 30.37%. Zo werd een belasting van 11.1g ODS/l.d bekomen.
3. De voedingsbelasting kon zo aangehouden worden gedurende een periode van 18 dagen tot dag 41. Eenmalig werd op dag 33 niet gevoed, daar door problemen met het mengen de temperatuur in de reactor ter hoogte van de temperatuur sensor gestegen was tot 50°C. Het opnieuw activeren van de roerder toonde een onmiddellijke temperatuur daling tot 41,8°C.
4. Op dag 41 wordt een lichte daling in de gasproductie waargenomen, alsook wordt een daling van het methaangehalte waargenomen van 54.1% naar 50.4%. De daaropvolgende dag wordt een verdere daling van het methaangehalte genoteerd tot onder de 50%. Ook zijn de FOS/TAC-waarde en de concentratie aan vluchtige vetzuren gestegen. Er wordt een stijging van de H₂S-concentratie gemeten in het biogas, tot 4500 ppm. Hierop wordt beslist om op dag 42 de voedingsbelasting te halveren.
5. De volgende vijf dagen werd de gehalveerde voedingsbelasting aangehouden, om de biologie de kans te geven zich te herstellen. Het methaangehalte in de biogas daalde echter verder tot slechts 41%, om vervolgens langzaam opnieuw te stijgen. Pas wanneer op dag 47 eenmalig niet gevoed werd steeg het methaangehalte opnieuw boven de 50% tot 54%. De voedingsbelasting werd opnieuw verhoogd echter na 2 dagen daalde het methaangehalte opnieuw onder de 50%. Opnieuw werd één dag niet gevoed en steeg het methaangehalte opnieuw tot 54%.
6. Van dag 51 tot dag 65 werd de voedingsbelasting zo gestuurd tussen de 25% en 75% van de maximale voorziene belasting. Echter iedere keer 75% van de belasting weer bereikt werd, daalde het methaangehalte onder de 50%.
7. Uiteindelijk kon de belasting gedurende 5 dagen aangehouden worden op 50% van de voorziene belasting, maar daalde het methaangehalte ook opnieuw onder de 50% op dag 65. Gedurende deze periode bleven de totale vetzuren ook accumuleren, waarbij hoofdzakelijk een stijging van het propionzuur werd waargenomen en in verhouding ook een stijging van het isovaleriaanzuur. De ammoniakale stikstof bleef binnen de optimale grenzen. Het H₂S-gehalte is tussen het maximum van 4650 ppm op dag 44 gestaag beginnen dalen tot 2600 ppm op dag 65. Om het H₂S-gehalte verder te doen dalen werd vanaf dag 60 een aantal keren ijzertrichloride toegevoegd. Dit resulteerde in een verdere daling van het

H₂S-gehalte tot 1455 ppm. Dit echter zonder een positieve invloed te hebben op het proces.

8. Vanaf dag 66 werd de voeding gestopt. De resulteerde echter niet in een verbetering van het methaangehalte. Op dag 71 werd bijgeënt met 10% actieve biologie om de methanogene bacteriën opnieuw te activeren. Dit resulteerde echter pas na vijf dagen, op dag 76, in een verhoging van het methaangehalte tot boven de 50%. De vluchtige vetzuren daarentegen daalden niet. En hervatting van de voeding met een lage belasting op dag 76 resulteerde echter in een stijging van de vluchtige vetzuren met 16%. Waarbij nu vooral een stijging van het azijnzuur wordt waargenomen.
9. Op dag 78 daalde het methaangehalte opnieuw tot net onder de 50%. Hierbij werd besloten om op dag 80 de vergister opnieuw bij te enten met vers inoculum, ditmaal voor 50% van het volume. Dit resulteerde initieel in een stijging van het methaangehalte door het effect van het bij-enten. Maar de volgende tien dagen bleef zelfs met een lage voedingsbelasting het methaangehalte rond de 50% schommelen.
10. Vanaf dag 92 werd aan een constante voeding aangehouden van 0.5g ODS/l.d, slechts vijf procent van de initieel voorziene voedingsbealsting en dit gedurende twintig dagen. Het methaangehalte steeg tot een gemiddelde waarde van 63%. Pas gedurende deze periode van 20 dagen werd een gestage daling van de totale vetzuren waargenomen. Waarbij de azijnzuurconcentratie stabiel bleef en hoofdzakelijk een daling van het propionzuur werd waargenomen.

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 gasanalysetoestel 'Biogas 5000' wordt de samenstelling van het geproduceerde biogas bepaald. Het toestel meet het gehalte aan CH₄, CO₂, O₂ en H₂S.

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 CaCO₃ per liter en de concentratie vluchtige organische zuren in mg CH₃COOH per liter.

2 Resultaten

2.1 Inputmateriaal

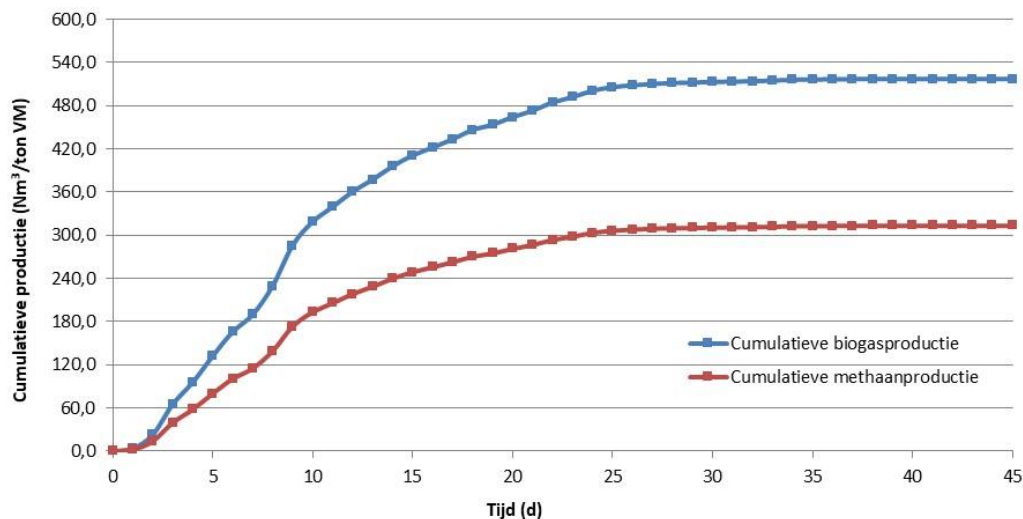
2.1.1 Samenstelling

Het gebruikte inputmateriaal is in verschillende batches aangeleverd en werd bij aankomst eerst bevroren bij -22°C om de nog levende insecten af te doden en vervolgens gekoeld te bewaren. Op een eerste monster van het BSF-frass werd een biomethaanpotentieel test gelopen.

Tabel 1: Resultaten batchtest BSF-frass

BSF-frass		22611702 (referentie Innolab)
DS	%	60.62
ODS	% DS	83.19
OS	%	50.43
Biogasproductie	Nm ³ /ton VM	349.9
	Nm ³ /ton ODS	693.8
Biogassamenstelling		
Gemiddeld methaangehalte	%	55.7
Gemiddeld CO ₂ -gehalte	%	44.3
Gemiddeld H ₂ S-gehalte	ppm	66
Methaanproductie	Nm ³ /ton VM	194.9
	Nm ³ /ton ODS	386.5

Kinetiek biogas- en methaanproductie



Het biogaspotentieel van de BSF-frass is $349.9 \text{ Nm}^3/\text{ton VM}$. De meerderheid van dit potentieel is geproduceerd in de eerste 13 dagen van de test. Er is geen productie meer na 40 dagen verblijftijd. Hetgeen betekent dat het substraat relatief snel afbreekt. Het methaangehalte gemeten aan het eind van het experiment bedraagt $55,7 \%$ en het gehalte aan H_2S bedraagt 66 ppm . Normaliter zal in een continu gevoed vergistingssysteem een

methaangehalte bekomen worden variërend tussen 50,7 en 55,7 %. Hetzelfde verschil is te voorzien voor het H₂S-gehalte, maar dan in omgekeerde zin. Het zwavelgehalte is gemiddeld wat erop wijst dat er geen aan leiding is voor zwavelinhibitie door het substraat.

Er wordt een significante variatie in droge stof en organische stof opgemerkt tussen de verschillende batches van de BSF-frass.

Tabel 2: karakterisatie van de aangeleverde BSF-frassmonsters

FRASS	datum	DS	ODS	OS
		%	%DS	%
22611702	16/11/2022	60.62	83.19	50.43
23239101	23/03/2023	43.22	88.24	38.13
23239105	27/03/2023	54.15	88.12	47.72
23239108	03/04/2023	59.75	88.37	52.80
23239111	13/04/2023	61.58	88.38	54.42
23239114	17/04/2023	64.64	90.42	58.45
23239118	24/04/2023	55.94	88.25	49.37
23239121	01/05/2023	51.62	88.51	45.69

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 (33 tot 79%) tot een organische stofgehalte van 28.6 of 30.4%. Zodoende wordt ook door het aanlengen met water een stikstofgehalte van 8.7 gN/kg bekomen. 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 net onder de maximale bovengrens zal liggen.

Tabel 3: Overzicht toegepaste verdunningen op het inputmateriaal

FRASS	datum	verdunning	OS voor verdunning	OS na verdunning
batch		%	%	%
23239101	27/03/2023	33	38.13	28.60
23239101	31/03/2023	33	38.13	28.60
23239101	05/04/2023	33	38.13	28.60
23239101	20/04/2023	33	38.13	28.60
23239105	24/04/2023	57	47.72	30.39
23239108	10/05/2023	74	52.80	30.35
23239111	09/06/2023	79	54.42	30.38

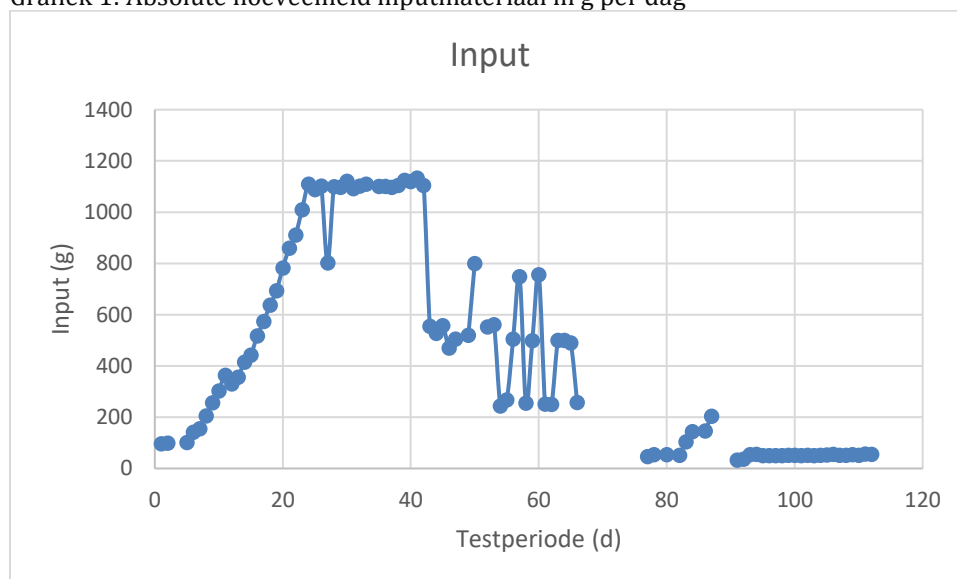
2.2 Procesparameters digestaat en biogas

2.2.1 Voeding

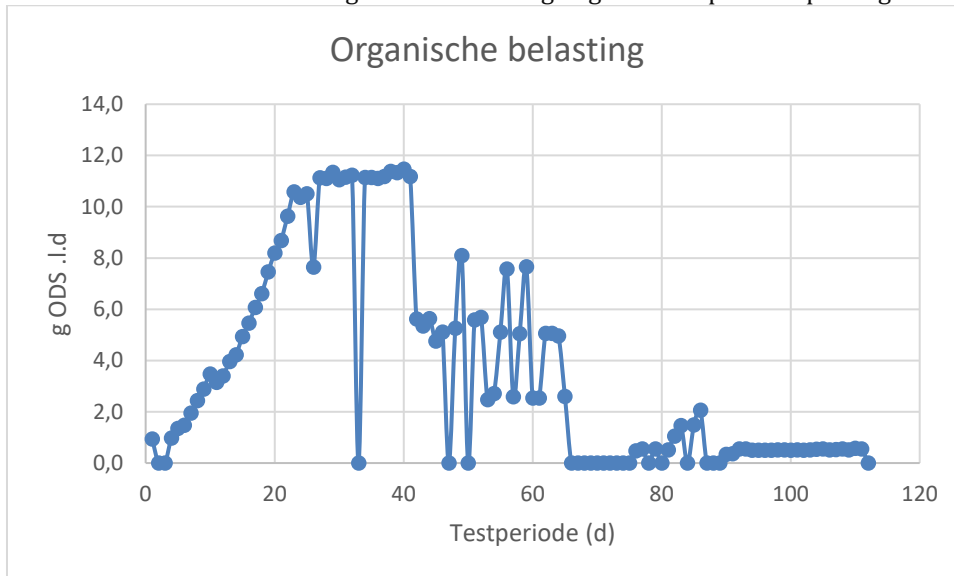
De hoeveelheid toegediende voeding heeft een invloed op de biogasproductie, het verloop van het proces wordt ook opgevolgd door een aantal specifieke parameters op te volgen. De voedingsbelasting wordt aangepast afhankelijk van de bekomen analyseresultaten met de bedoeling tot een stabiel proces te kunnen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

De voedingsbelasting wordt langzaam opgebouwd gedurende een periode van 23 dagen tot een HRT (hydraulic retention time) van 27 dagen bekomen wordt. De bedoeling was om deze residentietijd gedurende de duur van de test aan te houden. Echter na ongeveer 18 dagen bij de gewenste HRT werd de voedingsbelasting noodgedwongen verlaagd omdat de biogasproductie daalde en het methaangehalte in de biogas onder de 50% dook. Dit samen met een verhoging van de totale vluchtige 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 belasting verlaagd tot 0.5g ODS/l.d g. Deze beperkte belasting komt overeen met een HRT van 580 dagen. Dit is full scale echter geen realistische retentietijd.

Grafiek 1: Absolute hoeveelheid inputmateriaal in g per dag



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

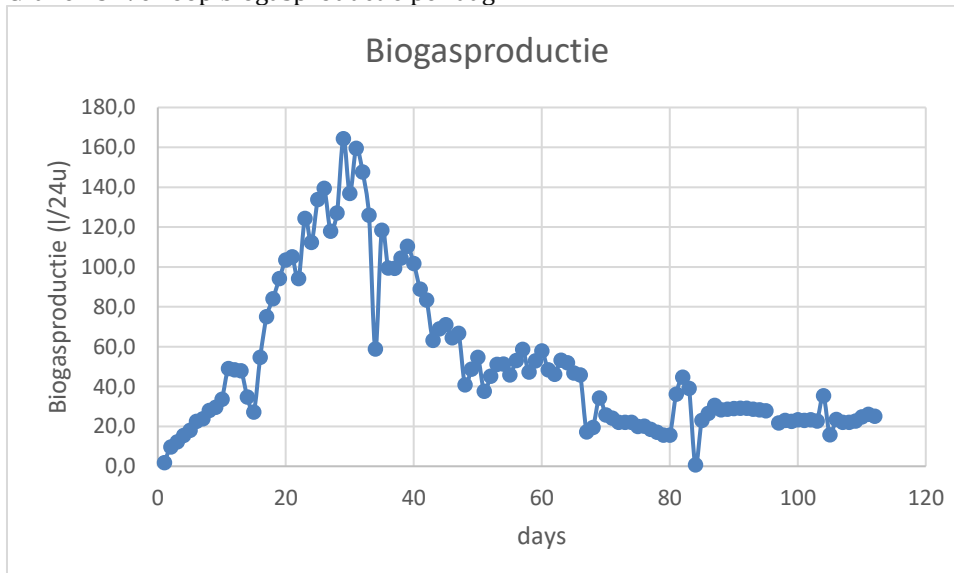


De organische belasting bedroeg in het eerste deel van de test 11.1 g ODS/l.d. Dit werd op het einde van de test verlaagd naar gemiddeld 0.5 g ODS/l.d.

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

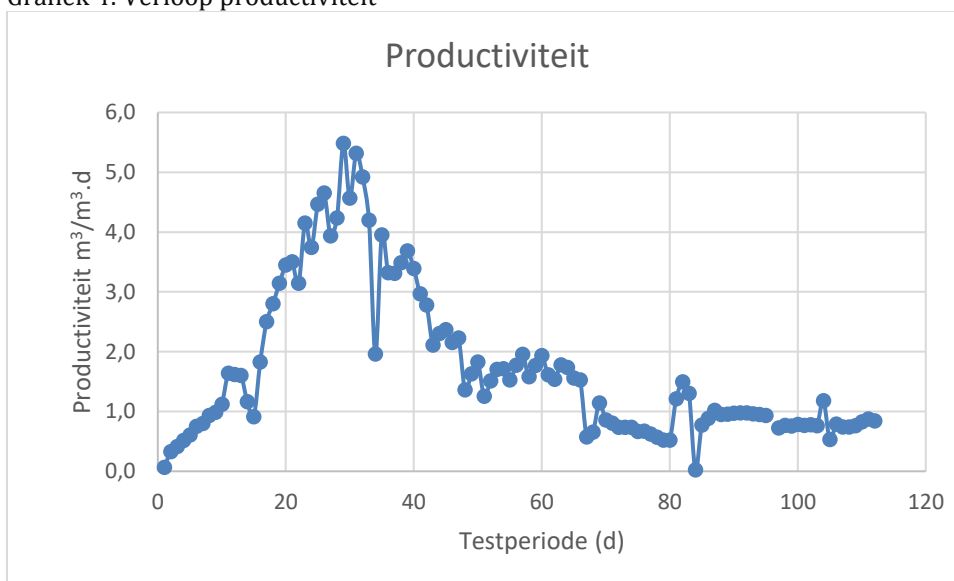


We zien een gestage stijging in de biogasproductie in de eerste 21 dagen. Wat mooi overeenkomt met de verhoging van de voedingsbelasting. De volgende 10 dagen blijft de biogasproductie verder stijgen, maar met grote schommelingen. Daarna merken we een daling en stabilisatie op van de productie tot op dag 39. Op dag 34 is er een scherpe daling, die te maken heeft met het feit dat op dag 33 niet gevoed werd wegens meng- en temperatuurproblemen. Vanaf dag 40 observeren we een daling van de biogasproductie tot en met dag 42. Waarna op dag 42 de voedingsbelasting gehalveerd wordt. Dit leidt

logischerwijze tot een daling in de biogasproductie dat zich dan wel stabiliseert de volgende dagen. Op dag 47 werd niet gevoed, wat opnieuw merkbaar was in een daling in de biogasproductie. De daaropvolgende schommelingen in de productie zijn ook te wijten aan de schommelingen in de voedingsbelasting. Op dag 67 werd de voeding opnieuw stilgelegd, wat ook te merken is in een daling van de biogasproductie. Vervolgens blijft de biogasproductie laag maar stabiel, uitgezonderd een verhoging van een paar dagen na het toedienen van vers inoculum op dag 80.

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

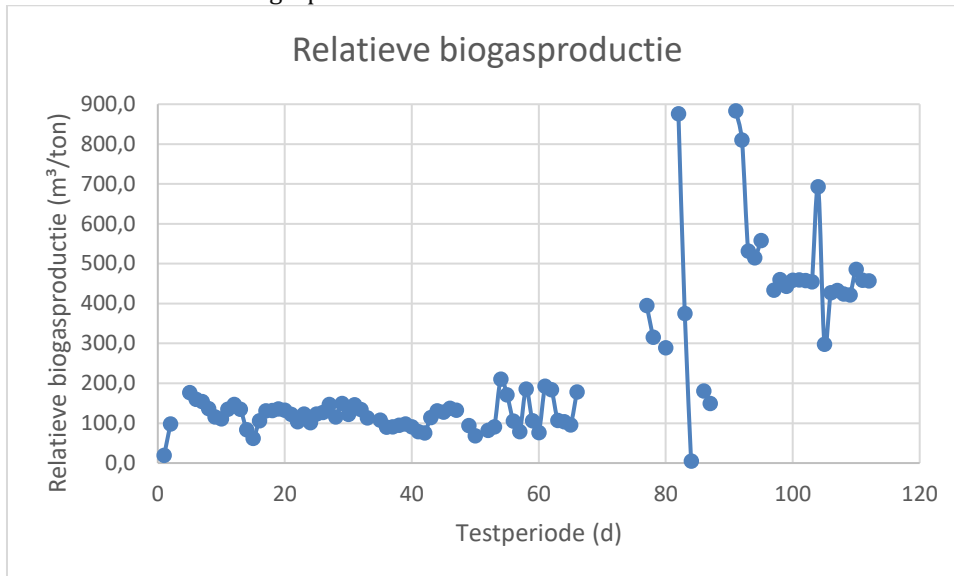
Grafiek 4: Verloop productiviteit



De productiviteit vertoont logischerwijs een zelfde verloop als de biogasproductie. De periode van dag 20 tot dag 41 vertoont een aanvaardbare productiviteit van gemiddeld $3,9 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$. Dit wel met grote schommelingen. Als we de laatste 28 dagen bekijken van het experiment waarbij het procesverloop opnieuw stabiel was zien we dat de productiviteit onder de 1 m^3 per m^3 reactorvolume per dag ligt. Dit zijn lage waarden aangezien op de meeste installaties de productiviteit boven $3 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$ 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



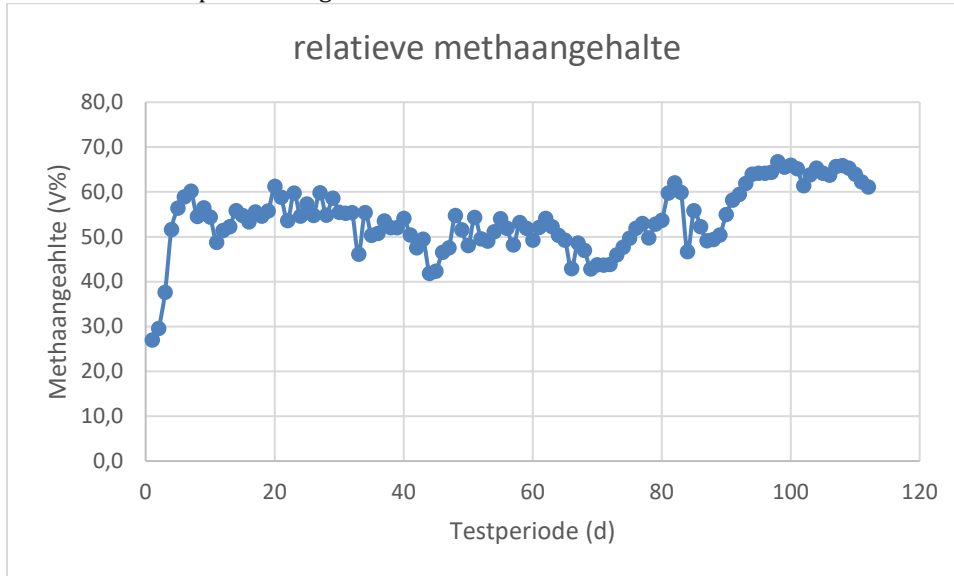
Uit de grafieken voor relatieve biogasproductie is goed af te leiden hoeveel perioden er zijn geweest gedurende het testverloop waar niet is gevoed, dit zijn de onderbrekingen in de curves. De verhoogde waarden bij dag 82 tot dag 84 hebben te maken met het toevoegen van vers digestaat in een poging om de vluchtige vetzuren te doen dalen en de biologische activiteit te herstellen. De verhoogde waarden op dag 91 tot 95 hebben te maken met het feit dat een heel lage voedingsbelasting werd aangehouden en dat er nog voldoende voeding in het digestaat aanwezig is om een basisproductie te geven.

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 $116 \text{ m}^3/\text{ton}$ bekomen werd. Uit de batchtest werd een biogaspotentieel van $349.9 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ bekomen, rekening houdend met de verdunning van het input materiaal komt dit neer op een biogaspotentieel van $208.1 \text{ Nm}^3/\text{ton}$. Of herrekenet naar het biogaspotentieel per organische stof bekomen we een potentieel van $386 \text{ m}^3/\text{ton ODS}$ voor de piloottest en van $694 \text{ Nm}^3/\text{ton ODS}$ voor de batchtest. Hierbij wordt voor deze korte periode een biogasproductie per ODS bekomen die overeenkomt met 55% 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 biogaspotentieel verhoogt sterk in de laatste periode waar een lage maar stabiele voedingsbelasting werd aangehouden. Echter geven deze waarden van gemiddeld $450 \text{ m}^3/\text{ton}$ geen realistisch beeld van de mogelijke productie daar de nog aanwezige voeding een significante hoeveelheid biogas kan produceren ten opzichte van de toegediende belasting.

Dagelijks is de biogassamenstelling bepaald met de focus op H_2S en methaan.

Grafiek 6: Verloop methaangehalte

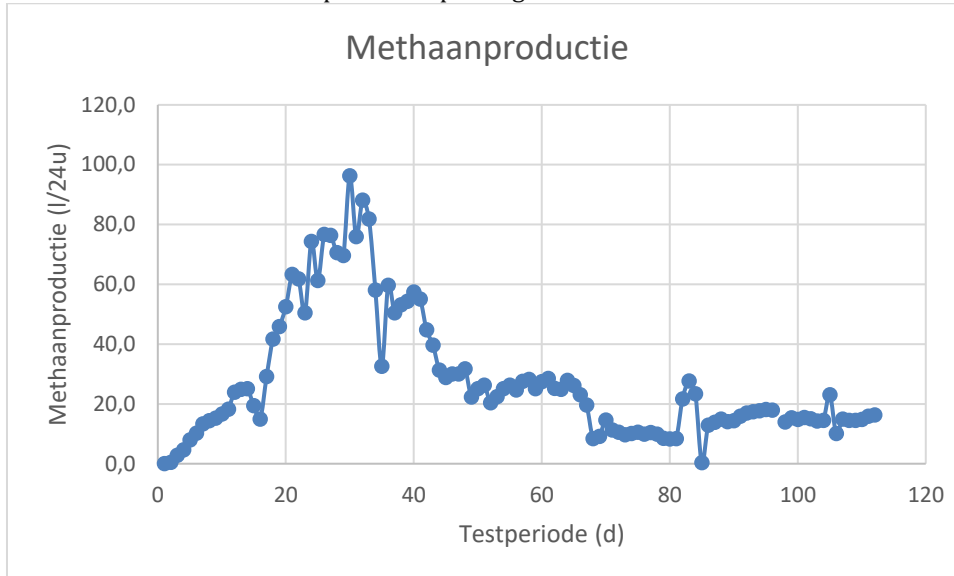


Het methaangehalte blijft tot dag 41 boven de 50%. Uitgezonderd op dag 33 door de temperatuur- en mengproblemen. Vanaf dag 20 merken we wel significante schommelingen in het methaangehalte. Vanaf dag 42 daalt het methaangehalte onder de 50%, ondanks het feit dat de voedingsbelasting gehalveerd werd, bleef het methaangehalte onder de 50% gedurende zes dagen en zakte zelfs weg tot 42%. Het is pas wanneer een dag niet gevoed werd op dag 47 dat het methaangehalte zich opnieuw herstelde tot bijna 55%. Vervolgens ontstond een jojo-beweging waarbij als de voedingsbelasting opnieuw verhoogd werd het methaangehalte daalde en omgekeerd terug steeg als de voedingsbelasting verlaagd werd. Tot uiteindelijk vanaf dag 65 het methaangehalte opnieuw onder de 50 daalde tot dag 75. Ondanks het feit dat er voor een periode van tien dagen niet werd gevoed. Er werd pas een stabilisatie en significante verhoging van het methaangehalte waargenomen 10 dagen na het bij-enten en het aanhouden van een lage maar stabiele voedingsbelasting. Hierbij werden gemiddelde waarden van 63% methaan bekomen. Hogere waarden voor het methaangehalte zijn niet abnormaal bij een lage voedingsbelasting.

De methaanproductie per dag wordt weergegeven in onderstaande grafiek:

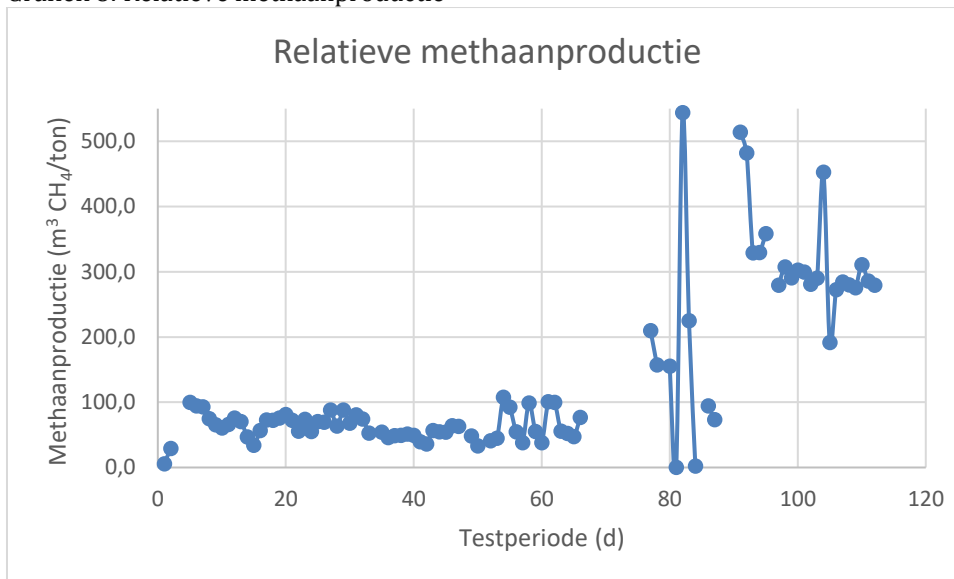
De methaanproductie volgt een gelijkaardig verloop als het verloop van de biogasproductie waarbij in het begin een piek bekomen wordt van enkele dagen en vervolgens een daling wordt waargenomen.

Grafiek 7: Evolutie methaanproductie per dag



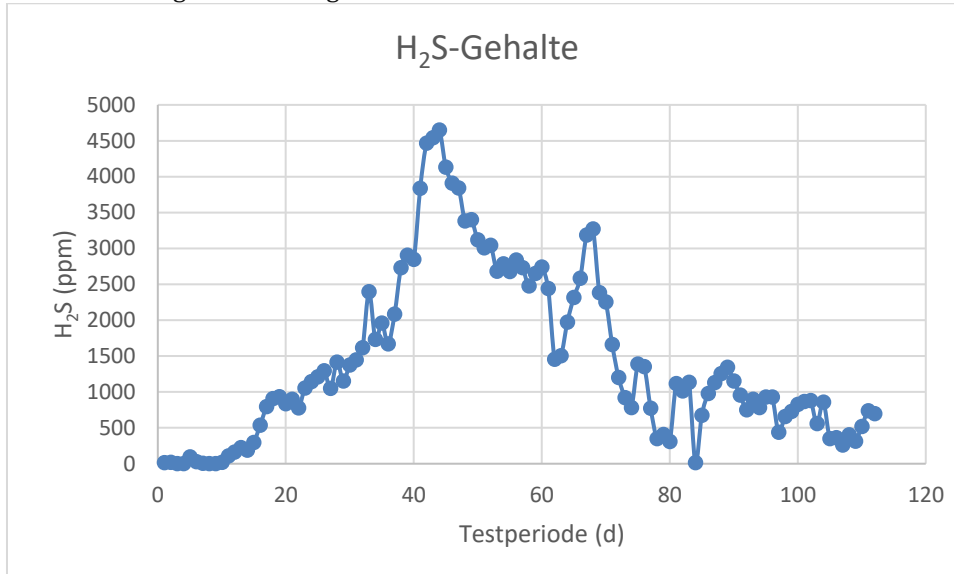
De relatieve methaanproductie wordt bepaald met behulp van het effectief gemeten methaangehalte. Deze is weergegeven in onderstaande grafiek.

Grafiek 8: Relatieve methaanproductie



In de eerste periode van de test hebben we een gemiddelde methaanproductie van $65 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$. Uitgedrukt in $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ODS}$ resulteert dit in $217 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ODS}$. Een waarde die op 56% ligt van de waarde bekomen voor de methaanproductie ($386.5 \text{ Nm}^3/\text{ton ODS}$) tijdens de batchtest. Na het bij-enten wordt een methaanproductie van $292 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ bekomen, maar door de combinatie van de lage voedingsbelasting en aanwezige voeding in de vergister is deze laatste waarde geen realistische productie voor de toegevoegde belasting.

Grafiek 9: H₂S-gehalte in biogas



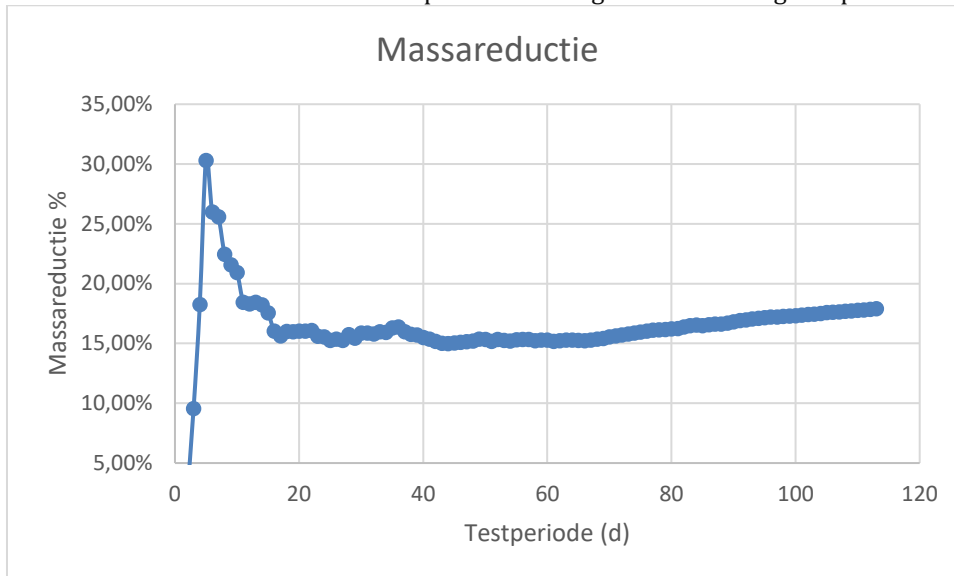
Tijdens de opbouw fase stijgen de H₂S-concentraties gestaag. Om vervolgens vanaf dag 36 tot dag 44 sterk te stijgen tot een waarde van 4650 ppm. Vervolgens observeren we een sterke daling tot er een stabilisatie optreedt bij 2600 ppm. De daling wordt ingezet nadat de voedingsbelasting gedurende drie dagen gehalveerd werd. In een industriële installatie kunnen deze H₂S-waardes verlaagd worden mits toepassen van luchtinjecties of addities van ijzer.

Vanaf dag 60 werd een aantal dagen vijf milliliter van een FeCl₃-oplossing toegevoegd. Dit zorgde voor een duidelijke daling van het H₂S-gehalte tot 1455 ppm. Na het stoppen met toedienen van het FeCl₃ merken we opnieuw een stijging van het H₂S-gehalte.

Vervolgens heeft het verlagen van de organische belasting heeft ook een duidelijke daling van de H₂S-productie tot gevolg. Het is ook niet duidelijk of de sterke toename van het H₂S-gehalte de oorzaak is van de daling in activiteit aangezien de waarden niet dermate hoog zijn om het proces in die mate te remmen.

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

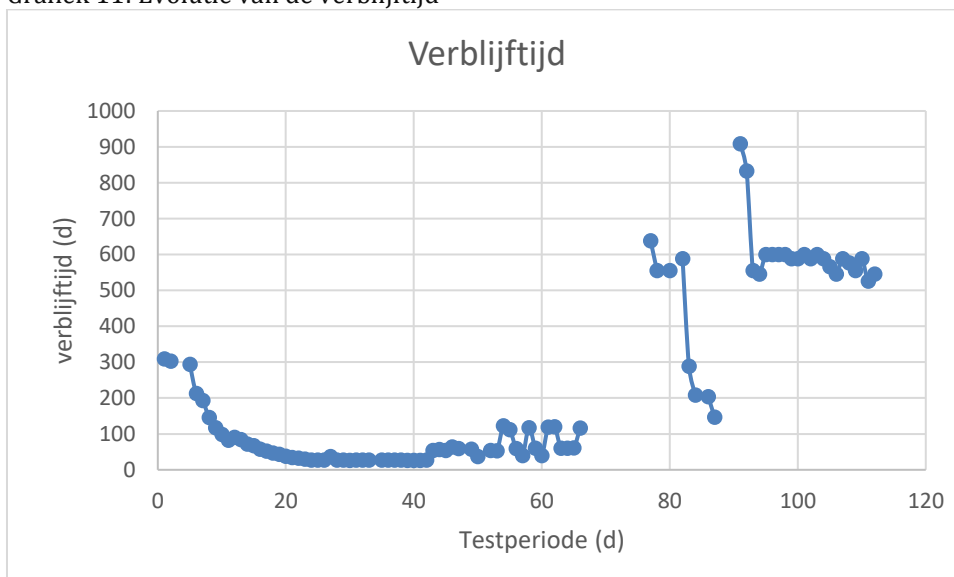


In de testopstelling zien we de massareductie tijdens de opstartfase stelselmatig afnemen door het verhogen van de voeding. In de eerste stabiele fase observeren we een massareductie van gemiddeld 15.7%. Vervolgens stijgt de massareductie naar een waarde rond de 17.5%.

2.2.3 Verblijftijd

Onderstaande grafiek geeft het verloop van de verblijftijd weer.

Grafiek 11: Evolutie van de verblijftijd

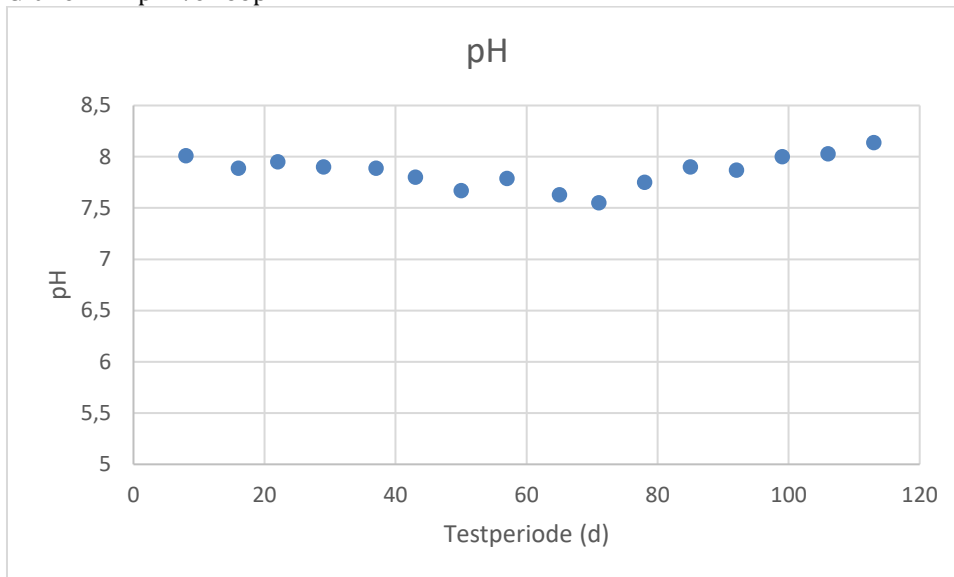


In de periode van dag 22 tot dag 41 bekomen we een stabiele verblijftijd van 30 tot 27 dagen. Naar het einde van de test toe, bekomen we opnieuw een meer stabiel proces echter met een verblijftijd van 580 dagen. Dit is full scale echter geen realistische retentietijd.

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

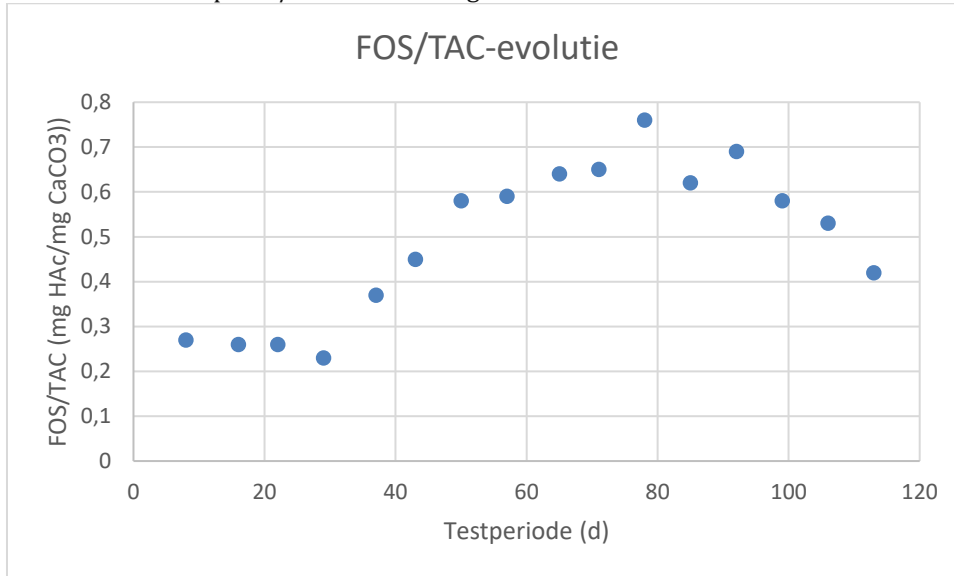


De pH in de reactor ligt gemiddeld boven de 7.8, behalve op het ogenblik dat de totale vetzuren hun hoogste punt bereiken, daalt de pH naar 7.55 om daarna weer te stijgen tot een pH boven 8.0. Dit is een hoge waarde gezien de relatief hoge vetzuurconcentraties die verder worden besproken. Deze hoge pH-waarde 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 CO_2 in oplossing en de 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.

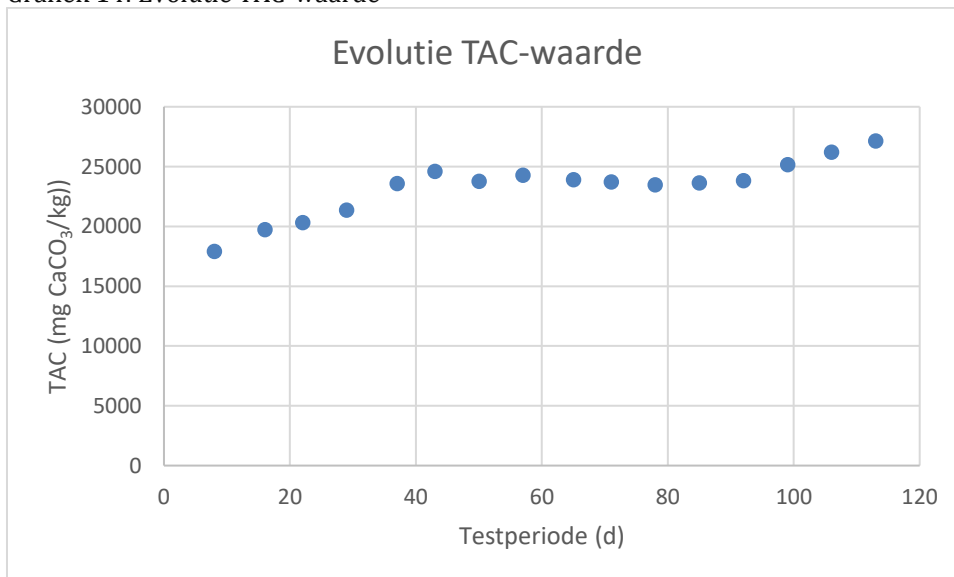
Grafiek 13: Verloop FOS/TAC-verhouding



De FOS/TAC-waarde van de vergister toont een optimale waarde tussen de 0.2 en 0.4 tot en met dag 37. Bij de volgende meting op dag 43 is er een verhoogde FOS/TAC waarde te zien van 0.45 die verder gaat stijgen tot waardes tussen de 0.58 en 0.76, wat overeenkomt met de sterke verhoging van de vluchtige vetzuren. De FOS/TAC verlaagt pas na dag 92. Na het opnieuw enten van de reactor op dag 80 werd een daling waargenomen, die echter eerst gevolgd werd door een nieuwe verhoging voor de FOS/TAC opnieuw duidelijk begon te dalen. Echter blijft de FOS/TAC met een waarde van 0.42 tot op het einde verhoogd.

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

Grafiek 14: Evolutie TAC-waarde



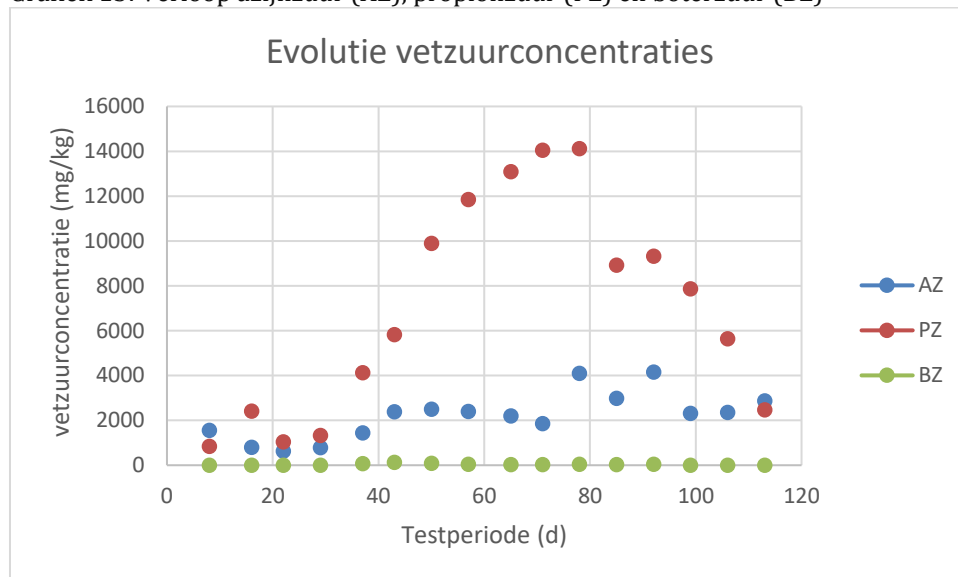
Tijdens de opbouwfase van de voedingsbelasting krijgen we een stijging van het bufferend vermogen, in overeenstemming met de stijging in ammoniakale stikstof. Tijdens de test ligt het bufferend vermogen tussen de 20000 en 30000 mg CaCO₃/kg, zoals

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)



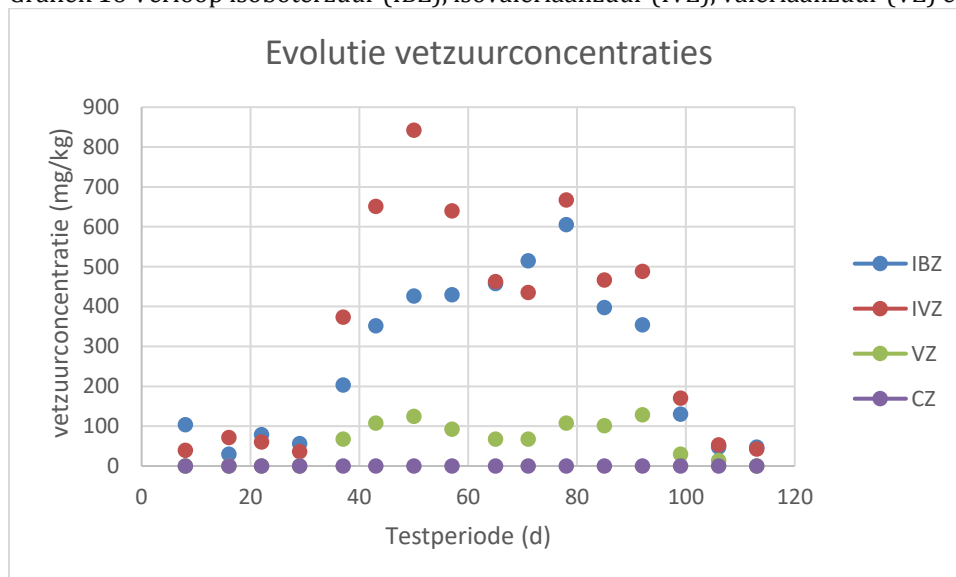
Op het einde van de belastingsopbouw vinden we een aanvaardbare azijnzuurconcentratie en propionzuurconcentratie. Dit wijst erop dat de methanogene bacteriën een goede activiteit vertonen, en de toegediende voeding goed kan verwerkt worden. Op dag 37 merken we een verdubbeling van de azijnzuur concentratie en verdriedubbeling van de propionzuur concentratie. Vervolgens stijgt de azijnzuur concentratie nog met 40% en propionzuur concentratie met 50% op dag 42. Waarna de voedingsbelasting met de helft gereduceerd werd. Dit zorgde voor een stabilisatie in de azijnzuur concentratie, maar het propionzuur gehalte blijft exponentieel stijgen tot 14118 mg/kg propionzuur. Dankzij de hoge buffercapaciteit en pH is de kans op verzuring klein. Het boterzuur gehalte, een indicator van de waterstofconsumptie, toont slechts een matige verhoging tot 138 mg/kg.

Meer nog dan azijnzuur is boterzuur een indicator van de methanogene activiteit. De afwezigheid van dit vetzuur wijst op 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:

Substrate	Reaction
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. Het propionzuur toont pas een duidelijke daling als gevolg van het bij-enten met digestaat. Een dalende trend wordt pas vanaf dag 99 waargenomen wanneer een lage maar constante voedingsbelasting wordt toegediend. Op het einde van de test zijn zowel azijnzuur als propionzuur nog verhoogd.

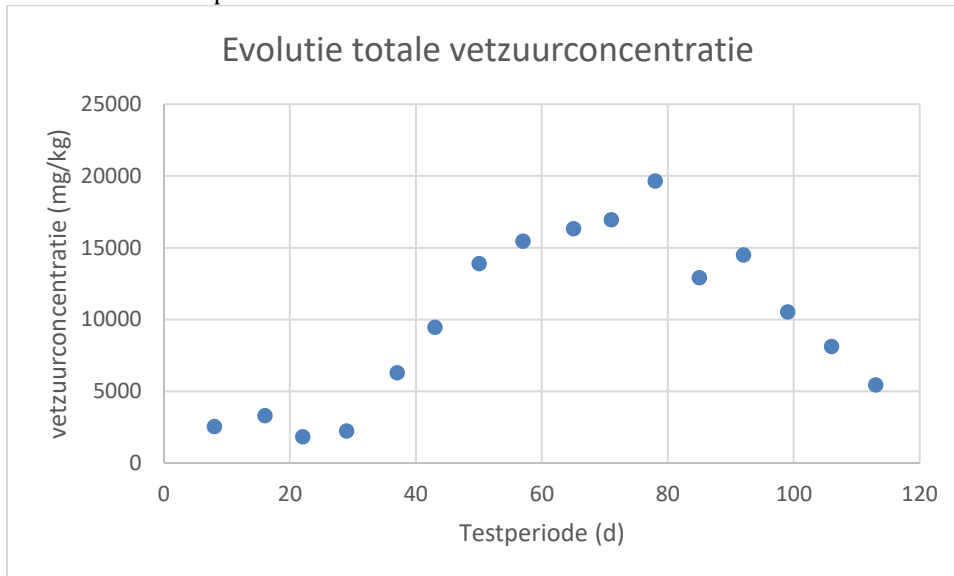
Grafiek 16 Verloop isoboterzuur (IBZ), isovaleriaanzuur (IVZ), valeriaanzuur (VZ) en capronzuur (CZ)



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 37 stijgt de concentratie aan isoboterzuur en isovaleriaanzuur naar waarden van 605 tot 842 mg/kg, De hoeveelheid valeriaanzuur stijgt tot waarden van 124 mg/kg en de hoeveelheid capronzuur blijft 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 hoofdzakelijk bepaald door de propionzuurconcentratie alsook door de azijnzuurconcentratie bij lagere propionzuurwaarden. We merken een significante verhoging in de totale vetzuren vanaf dag 37 en dit in stijgende lijn tot dag 78. Waarna na het bij-enten en het aanhouden van een lage voedingsbelasting de vetzuurconcentratie daalt.

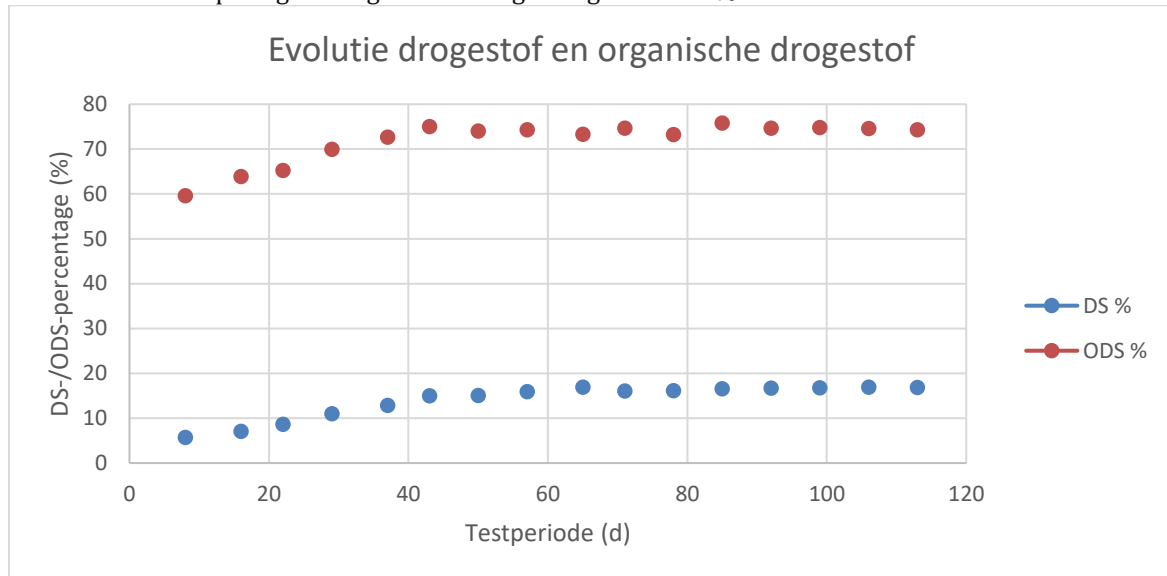
2.2.7 Droge en organisch (droge) stofgehalte

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

De droge stof evolueert tijdens de test naar een maximum van 16.93% en blijft vrij stabiel tussen de 16.5% en 17.0%. Rekening houdend met de droge stof van het inputmateriaal en op basis van de bekomen methaan- en CO₂-productie tijdens de test kunnen we bepalen dat in theorie de droge stof in de reactor 28% zou moeten bedragen. 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 rond 74%. Wat in lijn ligt met de massa reductie van om en bij 16%.

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

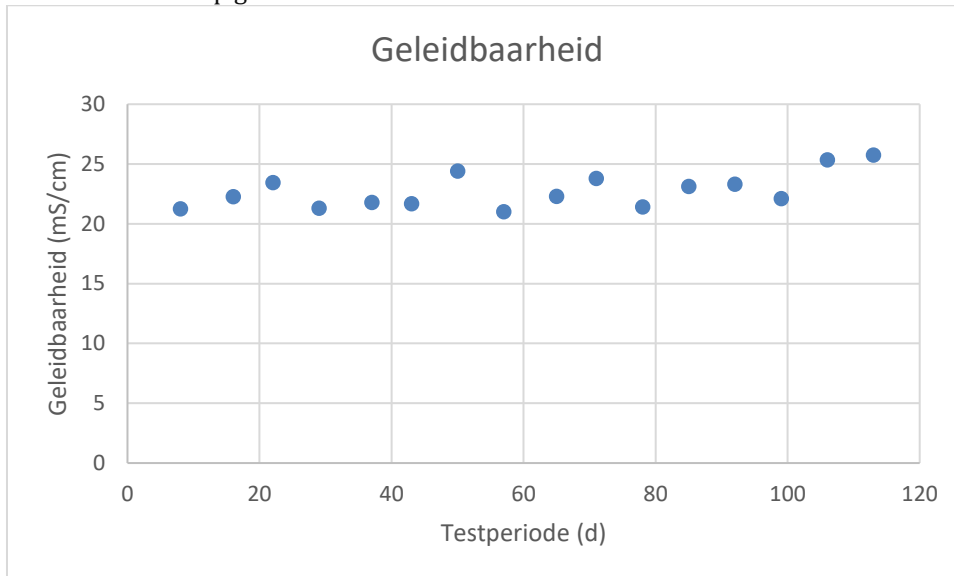


2.2.8 Geleidbaarheid

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_3 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).

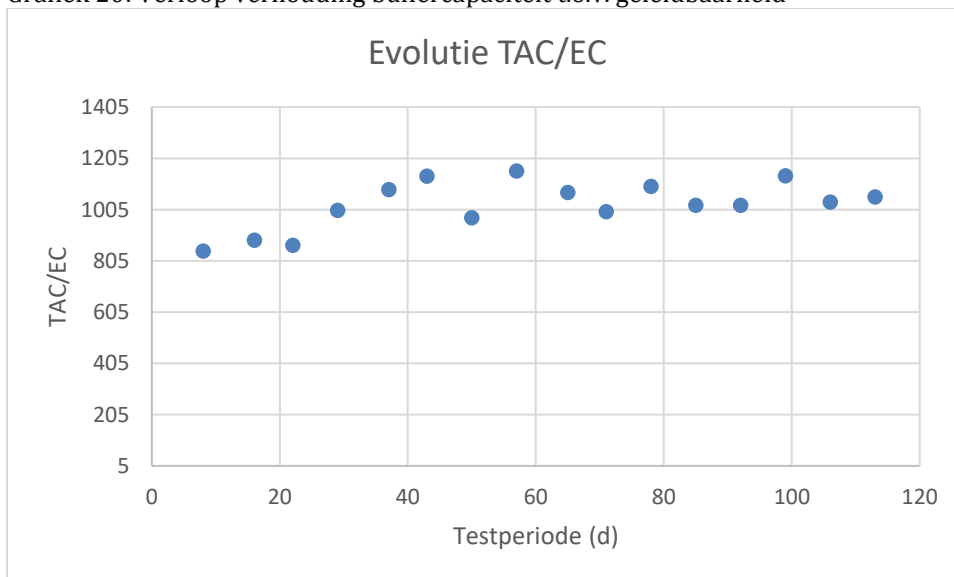
De buffercapaciteit die wordt gemeten is een mengsel van ammoniakbuffer en carbonaat/bicarbonaatbuffer. In deze gaat het over de bicarbonaatbuffer, die ook de grootste invloed op de buffercapaciteit heeft. Er is dus een "evenwicht" van carbonaat en bicarbonaat, het is het bicarbonaat die een invloed 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



De geleidbaarheid blijft gedurende het verloop van de test tussen de 21 en 25 mS/cm. Enkel op het einde merken we een lichte stijging tot net boven de 25 mS/cm. Deze waarden zijn normaal voor een mesofiel proces en wijzen niet op een te hoge zoutlast.

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

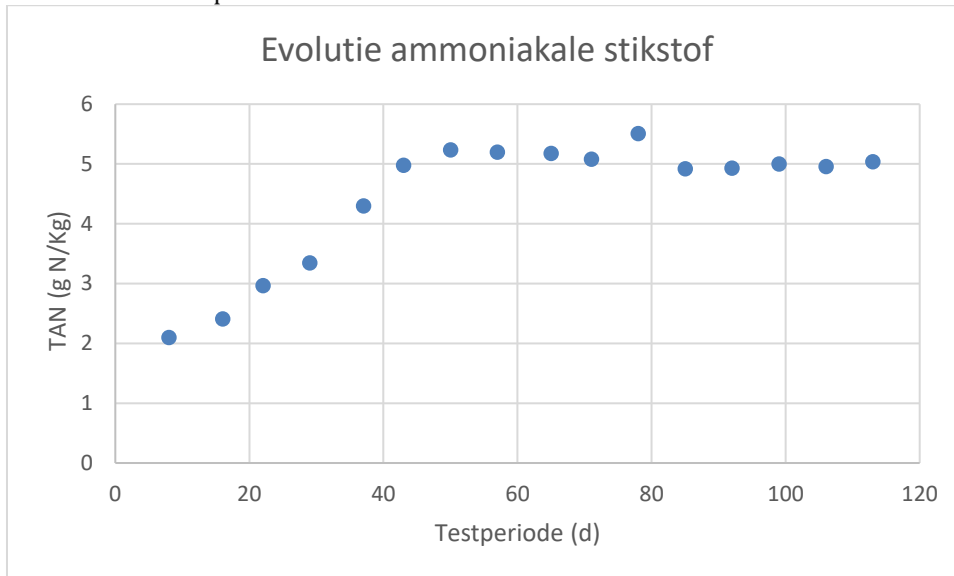


De TAC/EC verhouding ligt gedurende het volledige proces binnen de optimale grenzen. 800 is de optimum-ondergrens voor een mesofiele procesvoering. We merken een stijging tot 1156 waarna er wat fluctuaties zijn tussen de 1000 en de 1200. De zoutdruk is dan ook zeer laag.

2.2.9 Ammoniakale stikstof

Hieronder volgt de evolutie van het gehalte aan ammoniakale stikstof 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 vanaf dag 43 op het moment dat de maximale voedingsbelasting niet meer kon aangehouden worden. Vervolgens blijft de ammoniakale stikstof vrij stabiel tussen de 4.9 en 5.3 gN/kg uitgezonderd een uitschieter op dag 78 van 5.5 gN/kg. Gedurende het gehele proces lag de ammoniakale stikstof onder de optimumboven grens van 5.5 gN/kg voor een mesofiel proces.

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.

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

Parameter	Eenheid	Concentratie (/ Verse massa)
Totaal stikstof	kg N/ton	8,2
Kalium	mg K /kg	5200
Natrium	Mg Na /kg	2880
Zwavel	mg S /kg	1050

De ammoniakale stikstof bedraagt 63.9% van de totale stikstof, wat wijst op een hoge omzettingsgraad van de aanwezige organische stikstof. Het kalium-en natriumgehalte liggen aan de hoge kant. De som het kaliumgehalte en natriumgehalte ligt met een waarde van 8080 mg/kg 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 1050 mg S /kg ruim binnen de optimale waarden.

Onderstaande tabel geeft de finale karakterisatie en concentraties van verschillende elementen weer in het digestaat op het einde van de test.

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

Parameter	Eenheid	Concentratie (/ Verse massa)
pH	-	8,14
Geleidbaarheid	mS/cm	25,75
Viscositeit 38°C (Brookfield)	cP	1924
Droge stof	%	16,86
Organische droge stof	% DS	74,29
Asgehalte	%	4,33
Totaal stikstof	kg N/ton	9,04
Totaal fosfor	kg P ₂ O ₅ /ton	7,56
Kalium	kg K ₂ O/ton	8,10
Calcium	kg CaO/ton	2,67
Magnesium	kg MgO/ton	2,53
Natrium	kg Na ₂ O/ton	4,00
Zwavel	kg SO ₃ /ton	3,19
Ammoniakale stikstof	kg N/ton	5,04
Arseen	mg/kg	<0,690
Calcium	mg/kg	1910
Cadmium	mg/kg	<0,069
Kobalt	mg/kg	0,219
Chroom	mg/kg	10,3
Koper	mg/kg	18,1
Ijzer	mg/kg	904
Kalium	mg/kg	6730
Magnesium	mg/kg	1520
Mangaan	mg/kg	29,7
Molybdeen	mg/kg	1,01
Natrium	mg/kg	2970
Nikkel	mg/kg	6,08
Fosfor	mg/kg	3300
Lood	mg/kg	0,814
Zwavel	mg S /kg	1280
Selenium	mg/kg	1,28
Zink	mg/kg	43,7

Door het bij-enten van de vergister met 50 volume-% inoculum na 80 dagen, zijn de gemeten waardes niet 100% representatief voor het digestaat die gevormd zou worden door het vergisten van BSF-frass.

De aanwezigheid van volgende micronutriënten (Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Se en Zn) is aangewezen voor optimale vergistingsomstandigheden. 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.

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 Enterococci op te volgen. Er wordt een monsternamen 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 biogasvorming 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 Salmonella gedetecteerd. Er wordt een minimale hoeveelheid E.Coli gedetecteerd, die al na 30 minuten hygiëniseratie afgedood wordt. Er wordt wel een aanzienlijke hoeveelheid van $8.8E+04$ kve/g Enterococci gedetecteerd. Na een 1,5 uur bij 55°C worden geen Enterococci meer gedetecteerd.

Tijd	E.Coli	Enterococci	Salmonella
	Kve/g	Kve/g	/25g
T=0	10	$8,80E+04$	Niet aangetoond
T= 0,5u	<10	120	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

Besluit

Een simulatieproef/semi-continue test werd gedurende 112 dagen uitgevoerd om de haalbaarheid van monovergisting van BSF-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.

Een semi-continue vergister van 32 liter van het propstroomtype wordt gedurende 112 dagen gevoed met BSF-frass. Hierbij wordt gestreefd om organische belasting van 11g ODS/l.d te bekomen en dit met een HRT van 27 dagen. Hiervoor wordt het aangeleverde BSF-frass verdund tot een droge stofgehalte van 34.5% en een organische stofgehalte van 28.6-30.4%. De opbouwfase van 1g ODS/l.d tot 11g ODS/l.d duurt 23 dagen. De gemeten digestaatparameters liggen allen binnen de optimale grenzen, buiten een licht verhoogde vetzuurconcentratie, wat niet abnormaal is in een opbouwfase, daar de biologie zich continu moet aanpassen aan de verhoogde voedingsbelasting.

Vervolgens kan de organische belasting van 11g ODS/l.d aangehouden worden gedurende 19 dagen (dag 41).

De gemiddelde relatieve biogasproductie gedurende deze eerste stabiele periode van organische belasting bedraagt 116 m³/ton VM of 386 m³/ton ODS. Deze waardes liggen op 55% van het biogaspotentieel bepaald via de batchtest. Het relatieve methaangehalte in de biogas bedraagt gemiddeld 54%. De methaanproductie gedurende deze periode bedraagt: 65 m³/ton VM of 217 m³/ton ODS.

Op dag 41 observeert men echter een lichte daling van de biogasproductie en een daling van het methaangehalte in de biogas. De daaropvolgende dag wordt een verdere daling van het methaangehalte waargenomen tot onder de 50%. Ook zijn de FOS/TAC waarde en de vluchtige vetzuren gestegen. Ondanks het feit dat de voeding gehalveerd werd blijven de totale vetzuren stijgen. Er wordt ook een stijging van de H₂S-concentratie gemeten in het biogas, tot een concentratie van 4500 ppm.

De totale vetzuren en logischerwijze ook de FOS/TAC blijven stijgen in de daarop volgende weken, alhoewel de voedingsbelasting gemiddeld slechts op de helft van de gewenste voedingsbelasting ligt. De totale vetzuren blijven zo doorstijgen tot op dag 77 een totaal van 19655 mg/kg bereikt wordt. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door een hoge concentratie aan propionzuur en in mindere mate door een verhoogde concentratie aan azijnzuur. Het is pas wanneer de voeding gestopt werd dat de vetzuren minder snel stijgen. Door het toevoegen van vers inoculum (50 gewicht%) en het hanteren van een constante maar lage voedingsbelasting van 0.5 g/l.d beginnen de totale vetzuren te dalen. De overige digestaatparameters blijven allen binnen de optimale grenzen, behalve de som van het kalium- en natriumgehalte die ook boven de optimum-grens van 5000 mg/kg liggen met een som boven 8000 mg/kg.

Ook het methaangehalte stabiliseert pas wanneer vers inoculum wordt toegediend en de lage en stabiele voedingsbelasting blijft aangehouden worden. De bekomen waardes liggen met 63 methaangehalte hoger dan in het eerste deel, ook de biogasproductie per ton voeding ligt een heel stuk hoger. Echter geven deze waardes van gemiddeld 450 m³ biogas/ton geen realistisch beeld van de mogelijke productie daar de nog aanwezige

voeding een significante hoeveelheid biogas kan produceren ten opzichte van de toegediende belasting. Ook is de HRT van 580 dagen geen realistische retentietijd. Er werd een thermofiel nagistingstest opgezet gedurende een periode van 4 uur. Een half uur is voldoende om de aanwezige E.coli af te doden en anderhalf uur is voldoende om de aanwezige enterococcon volledig af te doden.

De droge monovergisting van BSF-frass in een semicontinue propstroomreactor leverde geen stabiel proces op. Het methaangehalte van de biogas daalde en er werd een sterke stijging van de totale vetzuren waargenomen. Er is pas een stabiel proces gekomen wanneer de voedingsbelasting drastisch verlaagd werd naar industrieel niet relevante hoeveelheden voor een rendabele procesvoering.

Meer onderzoek is nodig om geschikte condities te vinden voor economisch rendabele monovergisting van BSF-frass. In combinatie met cosubstraten wordt verwacht dat de vergisting van het BSF-frass mogelijk moet zijn.