

2014

[VERGIS(T) JE NIET]

Een alternatief voor glycerol bij co-vergisting



Vergistingsinstallatie Echten

Lisette van Dijken
Merlinde Wobben
V6b
Begeleider: dhr. Brouwer
Opdrachtgever: Waterschap Reest en Wieden
03-03-2014

Samenvatting

Waterschap Reest en Wieden heeft bij de waterzuiveringsinstallatie in Echten een vergistingsinstallatie. Het slib wat overblijft na het zuiveren van het water wordt daar vergist. Voor de vergisting is een tweede stroom nodig, een cosubstraat. Op dit moment wordt hiervoor gebruik gemaakt van glycerol. Dit is een zeer prijzige stof (€250 per ton). Daarom is er vraag naar een alternatief, een goedkopere stof die glycerol kan vervangen. In dit onderzoek is een begin gemaakt in deze zoektocht. Verscheidene stoffen zijn onderzocht of ze geschikt zijn. In het laboratorium is bepaald of en in welke mate deze stoffen vergisten.

Na twee rondes van experimenten is hier uitgekomen dat voederwei, een laagwaardig product van de kaasproductie bij Rouveen Kaasspecialiteiten, een goed alternatief kan zijn voor glycerol. Uit de staat van baten en lasten blijkt dat dit gebruik leidt tot een besparing van €73013,10 op jaarbasis.

Aan het eind van dit rapport is er een advies aan waterschap Reest en Wieden. Zij zullen de experimenten nog op grote schaal uit moeten voeren en zij zullen enkele aanpassingen aan de installatie moeten doorvoeren.

Summary

The Dutch water board 'Reest en Wieden' has a fermentation installation located at their wastewater treatment plant in Echten, The Netherlands. The remaining sludge after the water treatment is fermented in this installation. Besides the sludge is there a second flow necessary. At this moment the second flow is glycerol, which is a very expensive substance (€250 per ton). Therefore, an alternative is required. A start in this search is made in this research. Various substances are being researched. In the laboratory is determined whether they ferment and to what extent.

After two sets of experiments it became clear that voederwei, a low-grade product of the cheese production at Rouveen Kaasspecialiteiten, can be a good alternative for glycerol. The statement of profit and losses showed that the use of voederwei will lead to an annual saving of €73013,10 (approximately £60000).

At the end of this report there is an advice to 'Reest en Wieden'. They will have to carry on with the experiments on a bigger scale. They will also have to make a few changes to the installation.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
1.1 Relevantie onderzoek	4
1.2 Hoofd en deelvragen	4
1.3 Opbouw onderzoek	4
1.4 Wat is bekend/onbekend	5
1.5 Hypothese	6
1.6 De vergistingsinstallatie.....	6
2. Kansrijke afvalstromen	8
2.1 Eisen	8
2.1.1 Overheidseisen	8
2.1.2 Voorwaarden.....	8
2.2 Afvalstromen	9
2.2.1 Voederwei	9
2.2.2 Schouweieren	9
2.2.3 Eierschalen	9
2.2.4 Groente.....	9
2.2.5 Maaisel	9
3. Materiaal en methode.....	10
3.1 Materiaal	10
3.2 Methode.....	10
3.2.1 Voederwei	11
3.2.2 Schouweieren	11
3.2.3 Eierschalen	11
3.2.4 Groente.....	11
3.2.5 Maaisel	11
3.2.6 Vervolg.....	12
4. Resultaten.....	13
4.1 Gaschromatograaf.....	13
4.2 Kalkwater.....	19
5. Resultatenverwerking	20
5.1 Berekening biogas	20
5.2 Uitwerking staat van baten en lasten.....	21
6. Conclusie	22
6.1 Antwoorden deelvragen.....	22
6.1.1 Vergistingsinstallatie	22
6.1.2 Kansrijke afvalstromen	22
6.1.3 Biogas	22
6.1.4 Staat van baten en lasten	22
6.2 Antwoord hoofdvraag	22
6.3 Terugblik hypothese	23
7. Discussie	24
7.1 Resultatendiscussie	24
7.1.1 Betrouwbaarheid gaschromatograaf	24
7.1.2 Beperkt aantal afvalstoffen	24

7.1.3 Beperkte tijd	24
7.1.4 Verwarmingswaarden voederwei	24
7.2 Onvolkomenheden in werkplan	24
7.3 Voorgedane problemen	25
8. Advies aan waterschap Reest en Wieden	26
9. Literatuurlijst	27
Bibliografie	27

1. Inleiding

1.1 Relevantie onderzoek

Fossiele brandstoffen worden schaarser en het gebruik ervan zorgt voor een versterkt broeikaseffect. Dit zorgt ervoor dat de temperatuur op aarde stijgt, klimaten veranderen en ecosystemen worden vernietigd. Het versterkt broeikaseffect moet verminderd worden en daarom is het zaak dat er alternatieve brandstoffen of energiebronnen gevonden worden. Deze zoektocht vordert, maar is nog niet voltoerd. Het grote probleem is dat alternatieve brandstoffen en energiebronnen hoge kosten met zich meebrengen. Voorbeelden van alternatieve brandstoffen zijn biodiesel en bio-ethanol. Voor alternatieve energiebronnen moet worden gedacht aan windenergie, zonne-energie en kernenergie. In dit onderzoek wordt er een stukje verder gegaan op hoe waterschap Reest en Wieden de kosten van het gebruik van de alternatieve brandstof, biogas, kan verminderen.

Reest en Wieden is een groot waterschap gevestigd in de provincies Drenthe en Overijssel. Het waterschap is in 2000 ontstaan uit een fusie van de waterschappen Meppelerdiep, Wold en Wieden en een deel van het Zuiveringsschap Drenthe. Het hoofdkantoor is gevestigd in Meppel [1]. In Echten heeft waterschap Reest en Wieden een vergistingsinstallatie. In deze installatie wordt slib vergist, waarbij biogas ontstaat. Wanneer er te weinig slib is om te vergisten, ontstaat er minder biogas. Met het ontstane biogas wordt er warmte en elektriciteit opgewekt. Wanneer er te weinig biogas is, is er onvoldoende warmte om de vergistingsinstallatie op temperatuur te houden en te weinig elektriciteit om de gehele installatie te voorzien. Daarom wordt er gedaan aan co-vergisting met glycerol. Glycerol vergist gemakkelijk en levert veel biogas om het tekort aan te vullen. Glycerol is erg duur (€250 per ton) en daarom is waterschap Reest en Wieden op zoek naar een goedkoper alternatief. Wanneer er een goedkoper alternatief is, worden de kosten voor het gebruik van een alternatieve brandstof verminderd.

1.2 Hoofd en deelvragen

Om tot een goedkoper alternatief te komen zijn er verschillende vragen gesteld. In dit onderzoek staat de volgende hoofdvraag centraal:

‘Welke afvalstromen van industrieën zijn voor het waterschap een goedkoper alternatief voor glycerol bij co-vergisting?’

Om deze vraag te beantwoorden zijn er verschillende deelvragen opgesteld. Allereerst moet de vraag ‘Hoe werkt de vergistingsinstallatie?’ worden beantwoord. Daarna moet het antwoord gevonden worden op de vraag: ‘Welke kansrijke afvalstromen zijn er in de omgeving van Echten?’. Daarna kan de vraag ‘Welke afvalstromen lijken, na laboratorium vergisting, het meest geschikt als cosubstraat in de vergistingsinstallatie van het waterschap Reest & Wieden?’ beantwoord worden. Tot slot kan de vraag ‘Wat zijn de baten en wat zijn de lasten bij het gebruik van afvalstromen in plaats van glycerol?’ beantwoord worden. Wanneer op deze vragen het antwoord bekend is, kan de eerder genoemde hoofdvraag beantwoord worden.

1.3 Opbouw onderzoek

In dit rapport wordt allereerst de bekende informatie gegeven. Uit deze gegevens wordt een hypothese opgesteld. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de vergistingsinstallatie werkt. Daarna worden de belangrijkste eisen waaraan het afvalproduct moet voldoen op een rijtje gezet en mogelijke afvalstromen uitgediept. In hoofdstuk drie wordt vervolgens uitgelegd met welke materialen en hoe

het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd. In het daaropvolgende hoofdstuk worden de verkregen resultaten weergegeven. Na een resultatenverwerking wordt er een conclusie getrokken. Deze conclusie bestaat onder andere uit een staat van baten en lasten. Vervolgens wordt de hoofdvraag beantwoord, volgt een terugblik op de hypothese en is er een (resultaten)discussie. Tot slot wordt er een advies gegeven aan waterschap Reest en Wieden.

1.4 Wat is bekend/onbekend

Vergisten is een biologisch proces waarbij, onder zuurstofloze omstandigheden (anaeroob), organische stof door micro-organismen wordt afgebroken tot methaan en koolstofdioxide [2]. In de vergistingsinstallatie van waterschap Reest en Wieden is er sprake van co-vergisting. Co-vergisting is het gelijktijdig vergisten van verschillende biomassastromen in een vergistingsinstallatie, waarbij biogas wordt geproduceerd. Waterschap Reest en Wieden vergist slib samen met glycerol. Slib is het restproduct van het zuiveringsproces. In Echten komt het slib van alle 7 zuiveringen van het waterschap samen (De rioolwaterzuiveringsinstallaties staan in Beilen, Dieverbrug, Echten, Meppel, Steenwijk, Smilde en Vollenhoven [3][4]).

In Echten werd voorheen alleen slib ontwaterd door een kamerfilterpers, er was nog geen vergistingsinstallatie. Het restproduct werd afgevoerd naar een composteerbedrijf. Na de MJA-3 (meerjarenafpraak tussen de overheid en waterschap Reest en Wieden [5]) was het noodzakelijk om dit te veranderen, omdat er een reductie van energieverbruik van 30% gerealiseerd moest worden. Door slib te vergisten wordt er biogas geproduceerd. Met dit biogas wordt elektriciteit en warmte opgewekt. De vergistings- en waterzuiveringsinstallatie zijn hierdoor zelfvoorzienend.

Co-vergisting wordt op verschillende schaalgroottes toegepast. Het kan op boerderijniveau plaatsvinden waarbij bijvoorbeeld mest en organisch materiaal uit eigen bedrijf wordt vergist. Het andere uiterste betreft grote centrale co-vergistingsinstallaties met verwerkingscapaciteiten van meer dan 100.000 m³/jaar. Een tussenvorm ontstaat wanneer een aantal, dat in elkaars nabijheid zijn gevestigd, besluiten een gezamenlijke vergistingsinstallatie op te richten [6].

Er staan inmiddels ca. 50 co-vergistingsinstallaties in Noord Nederland bij agrarische ondernemers. Samen produceren zij ca. 400 miljoen kWh elektriciteit (jaarverbruik van 120.000 huishoudens). Het aantal systemen zal toenemen door de SDE-regeling (Stimulering Duurzame Energie) [2]. Boeren gebruiken landbouwgewassen als cosubstraat. Vooral maïs wordt gebruikt. Dit wordt gebruikt, omdat de marktprijzen (€178 per ton [7]) bekend zijn en de gasopbrengst ook. Hierdoor is de prijs-kwaliteit verhouding goed in te schatten. Door de stijgende prijzen van landbouwgewassen heeft er een verschuiving plaatsgevonden naar industriële reststromen. Deze producten kunnen gekozen worden uit de positieve lijst [8]. Glycerol is een veel gebruikt cosubstraat [9]. Een cosubstraat is een zijstroom van een stof die op zichzelf niet vergist, maar wel mee vergist bij een al in gang gezet vergistingsproces. Glycerol is geen afvalstof, maar een bijproduct van de productie van biodiesel. Momenteel zijn er al afvalstoffen uit de voedingsindustrie die gebruikt worden als cosubstraat [6]. Sommige reststromen kunnen zorgen voor problemen in de vergister. Als reden voor de problemen wordt vooral zwavel genoemd. Ook de toevoer van grote hoeveelheden eiwit kan schadelijk zijn door de ammoniak die daaruit gevormd wordt.

Momenteel is nog niet bekend welke afvalstoffen in aanmerking komen als cosubstraat voor de vergistingsinstallatie in Echten.

1.5 Hypothese

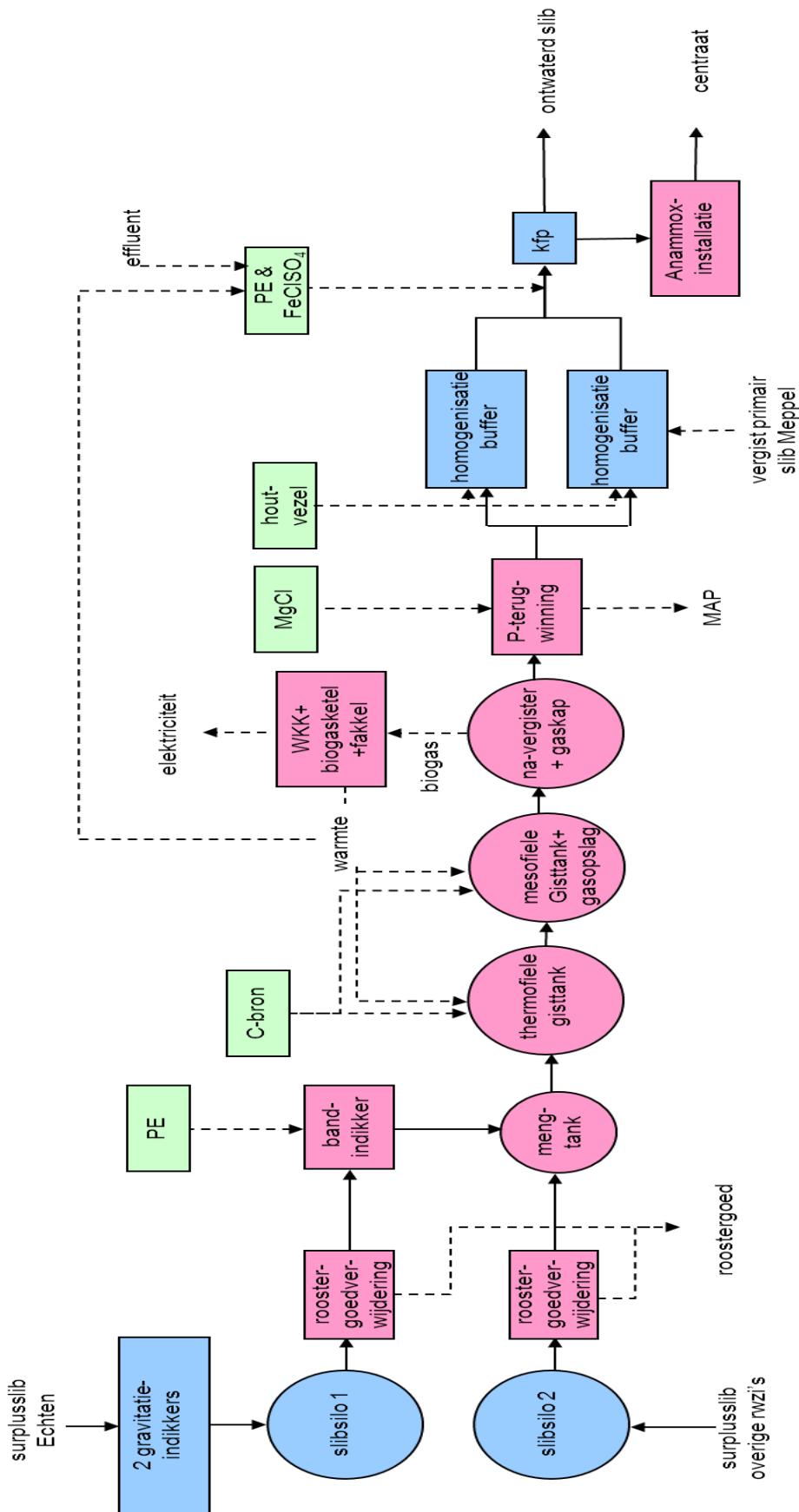
De verwachting is dat afvalstoffen uit de voedingsindustrie het best bruikbaar zijn als cosubstraat in de vergistingsinstallatie van het waterschap. Dit is de verwachting, omdat afvalstromen uit de voedingsindustrie al gebruikt worden door co-vergisters [6]. Daarnaast is een kenmerk van glycerol dat het gemakkelijk vergist. Bij de zoektocht naar een alternatief wordt gekeken naar stoffen die in eigenschappen zoveel mogelijk lijken op glycerol. Glycerol is hygroscopisch. Dit betekent dat glycerol waterdamp uit de lucht aan kan trekken. Vele voedingsmiddelen en zoetwaren zijn ook hygroscopisch [10]. Er wordt daarom verwacht dat afvalstoffen uit de voedingsindustrie ook hygroscopisch zijn en dus als een alternatief voor glycerol kunnen dienen.

1.6 De vergistingsinstallatie

Waterschap Reest en Wieden heeft een vergistingsinstallatie in Echten. De werking van deze installatie wordt hieronder beschreven.

Al het slib wordt in de installatie verzameld in slibsilo 1 en 2. Slibsilo 1 bevat erg dun slib en slibsilo 2 bevat iets dikker slib. Vanuit de slibsilo's gaat het slib door de roostergoedverwijdering. Vervuiling (vezels en spinsels) worden op deze manier verwijderd uit het slib. Het slib uit slibsilo 1 gaat vervolgens naar een bandindikker. Hier wordt het slib zo gevormd dat het slib een dikte heeft van 6% droge stof. Het slib vanuit slibsilo 1 en slibsilo 2 komt vervolgens samen in de mengtank. Vanuit de mengtank gaat het slib naar de thermofiele gisttank. Deze tank heeft een temperatuur van 55°C. Na ca. 10 dagen gaat het slib naar de mesofiele gisttank. De mesofiele gisttank heeft een temperatuur van 35°C. Hier verblijft het slib ongeveer 14 dagen. Vervolgens gaat het slib naar de na-vergister. Het ontstane gas (biogas) gaat vanuit de na-vergister naar de WKK. Een WKK is een warmtekrachtkoppelaar die zorgt voor een gecombineerde opwekking van warmte en elektriciteit, waarbij ook de warmte nuttig wordt gebruikt [11]. Met de elektriciteit wordt de gehele zuivering voorzien van stroom. De vergistingsinstallatie levert ca. 4 miljoen kWh per jaar. De warmte die ontstaat wordt gebruikt om de thermofiele en de mesofiele gisttank op 55°C en 35°C te houden. Na de na-vergister wordt er fosfaat teruggewonnen uit het restproduct. Het overige restproduct gaat naar de kamerfilterpers. In de kamerfilterpers wordt zoveel mogelijk water dat nog in het slib zit verwijderd. Hierdoor blijft het restproduct zeer beperkt. In figuur 1 (pagina 5) wordt de gehele installatie schematisch weergegeven.

Het restproduct gaat nog steeds naar een composteerbedrijf. Het slibvolume is door het plaatsen van de vergistingsinstallatie afgenomen met 30%. De kosten van het vervoeren van slib en de kosten van het verwerken van het slib door een composteerbedrijf zijn dus afgenomen. In dit onderzoek wordt vooral gekeken naar de thermofiele en mesofiele gisttank. Als er te weinig slib is om te vergisten ontstaat er te weinig warmte om de thermofiele en mesofiele gisttank op temperatuur te houden. Glycerol wordt op dat moment toegevoegd aan de thermofiele gisttank en doorloopt hetzelfde traject als hierboven beschreven. Uit glycerol ontstaat alleen biogas, er is geen restproduct. Door glycerol toe te voegen is er dus meer biogas en op deze manier kunnen de thermofiele en mesofiele gisttank op temperatuur worden gehouden en wordt er voldoende elektriciteit opgewekt voor de gehele zuivering.



Figuur 1: Blokschema vergistingsinstallatie Echten

2. Kansrijke afvalstromen

2.1 Eisen

Er zijn vele eisen waar afvalstromen aan moeten voldoen om een vervanger te kunnen zijn van glycerol bij de vergistingsinstallatie van waterschap Reest en Wieden in Echten. Allereerst zijn er overheidseisen, ten tweede moet het logistiek mogelijk zijn en ten derde moeten de afvalstromen biogas opleveren.

2.1.1 Overheidseisen

Afvalstromen worden in twee sectoren ingedeeld: dierlijke en niet-dierlijke bijproducten. Afvalstromen uit de sector van de niet-dierlijke bijproducten, die glycerol eventueel kunnen vervangen, moeten op de positieve lijst voor co-vergisting van het ministerie van LNV (Landbouw, Natuur en Voedsel) staan [12].

Dierlijke bijproducten worden ingedeeld in drie verschillende categorieën. Stoffen uit de eerste en tweede categorie mogen enkel door het verwerkingsbedrijf Rendac verwerkt worden. Stoffen uit categorie drie mogen op veel verschillende manieren verwerkt worden en zijn mogen dus gebruikt worden voor co-vergisting. Stoffen uit categorie drie zijn:

- Dieren die geslacht zijn in een slachthuis en na een inspectie in overeenstemming met de EU-wetgeving zijn goedgekeurd, maar om commerciële redenen niet voor humane consumptie geschikt zijn;
- Rauwe melk van gezonde dieren;
- In volle zee gevangen vis voor de productie van vismeel;
- Hoeven, haren, veren, horens van dieren goedgekeurd voor humane consumptie;
- Karkassen en bepaalde delen van hetzij dieren die in een slachthuis zijn geslacht en na een keuring voor het slachten geschikt zijn verklaard om voor menselijke consumptie te worden geslacht, hetzij karkassen en bepaalde delen van wild dat in overeenstemming met de Europese wetgeving voor menselijke consumptie is gedood: karkassen en delen van dieren die in overeenstemming met de communautaire wetgeving voor menselijke consumptie ongeschikt zijn verklaard, maar die geen symptomen van op mens of dier overdraagbare ziekten vertoonden;
- Dierlijke bijproducten die ontstaan bij de productie van voor menselijke consumptie bestemde levensmiddelen;
- Voormalige voedingsmiddelen, bijvoorbeeld voedingsmiddelen waarvan de exploitant besluit ze niet meer voor humane consumptie te bestemmen;
- Keukenafval en etensresten die niet afkomstig zijn van internationale middelen van vervoer [13].

2.1.2 Voorwaarden

Per jaar wordt er ongeveer 400 m³ glycerol gebruikt in de vergistingsinstallatie in Echten. De afvalstromen moeten in zo een grote hoeveelheid aanwezig zijn dat het minimaal net zoveel biogas oplevert als 400m³ glycerol. De opslagtank in Echten is 60 m³. De afvalstromen moeten dus redelijk regelmatig vrijkomen zodat de opslag geen probleem wordt. De afvalstromen moeten aangeleverd kunnen worden door een vrachtwagen. Om de kosten zoveel mogelijk te beperken is het van belang dat de afvalstromen op een niet al te grote afstand van de vergistingsinstallatie in Echten beschikbaar zijn.

2.2 Afvalstromen

2.2.1 Voederwei

Stoffen die veel eiwitten bevatten zouden in theorie omgezet kunnen worden in relatief veel biogas. Zuivelproducten bevatten veel eiwit, daarom is Rouveen Kaasspecialiteiten benaderd. Zij hebben een laagwaardige stroom voederwei, die veel eiwitten bevat. Dit product staat op de positieve lijst voor co-vergisting, het is een categorie 3 bijproduct (voormalige voedingsmiddelen). Voederwei ontstaat in grote hoeveelheden en de fabriek staat op een afstand van slechts 25 km van de vergistingsinstallatie in Echten. Daarom is dit een kansrijk cosubstraat.

2.2.2 Schouweieren

Een dierlijk bijproduct dat veel eiwit bevat zijn eieren. Bij Probroed en Sloot hebben ze op jaarbasis veel schouweieren. Dit zijn eieren waar tijdens de bevruchting iets mis is gegaan. Na achttien dagen in de broedcel te hebben gelegen, wordt ontdekt dat het ei niet is bevrucht. Deze eieren zijn dus consumptie-eieren die achttien dagen in een vacuüm ruimte hebben gelegen. Ze zijn dus niet verrot, ze zijn alleen veel minder viskeus geworden. Daardoor zijn ze dun genoeg om door de vergistingsinstallatie te gaan. Probroed en Sloot staat in Meppel en is 20 km afstand van Echten. Schouweieren behoren tot categorie 3 van de dierlijke bijproducten (dierlijke bijproducten die ontstaan bij de productie van voor menselijke consumptie bestemde levensmiddelen). Deze afvalstroom is dus kansrijk voor waterschap Reest en Wieden.

2.2.3 Eierschalen

De schouweieren van Probroed en Sloot hebben uiteraard ook een schaal. Eierschalen behoren ook tot GFT afval en worden dus ook vergist. Dit is ook een kansrijke afvalstroom. Als de schouweieren en de schalen beide vergisten maakt dat samen een nog betere afvalstroom.

2.2.4 Groente

Tegenwoordig wordt GFT afval niet alleen gecomposteerd, het wordt ook vergist. Benner Foodgroup (BFG) in Meppel heeft iedere dag een aantal kubieke meter groenteafval. Op dit moment gaat deze groente naar een verwerkingsbedrijf. Deze groente kan ook net als het GFT afval vergist worden. BFG staat in Meppel op 20 km afstand van Echten. Deze afvalstroom is dus een kansrijke afvalstroom.

2.2.5 Maaisel

Reest en Wieden produceert op jaarbasis veel maaisel, gras. Dit product is al binnen het bedrijf en kost dus geen geld. Er wordt ook veel gemaaid in de buurt van Echten, de transportkosten zullen dus laag zijn. De laatste tijd wordt er op meerdere plaatsen in Nederland geëxperimenteerd met het vergisten van gras, wat soms negatieve maar zeker ook positieve resultaten voortbrengt. Gras is dus een kansrijke afvalstroom.

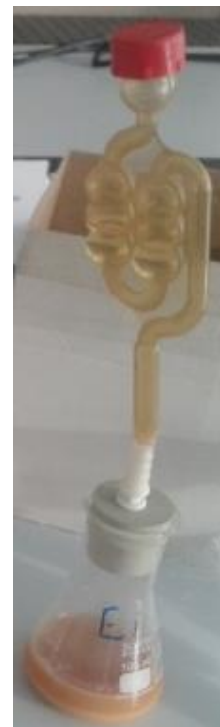
3. Materiaal en methode

Voor dit onderzoek zijn er twee experimenten gedaan. Dit is gedaan om zowel kwalitatief als kwantitatief vergisting aan te tonen. Met de genoemde afvalstoffen in paragraaf 2.2 is het onderzoek ingezet zonder initiator (een stof die de reactie op gang brengt). Na nader overleg met drs. J.A. (Arjan) Linthorst is besloten om het experiment ook in te zetten met een initiator. Deze initiator is alleen toegevoegd bij de afvalstoffen voederwei, gras, en groente. Bij deze stoffen is, volgens drs. Linthorst, de kans het grootst dat er biogassen ontstaan bij het vergisten. Als initiator is er droge gist gebruikt. Droge gist is bakkersgist dat is voorbereid zodat het gelijk klaar is voor gebruik en geen voorbehandeling met lauw water nodig heeft.

In dit geval fungeert de initiator als slib. In de vergistingsinstallatie wordt de vergisting van het cosubstraat in gang gezet door de vergisting van slib, in het experiment door gist.

3.1 Materiaal

- 2x 2 gram gras
- 2x 5 gram groente
- 2x 50 mL voederwei
- 3 schouweieren
- Stanleymes
- 8 erlenmeyers
- 8 kurken met gat
- 8 siliconen buisstukjes (3 cm)
- 8 witte connectoren
- 8 watersloten
- Kalkwater met pH \approx 12
- Gedestilleerd water
- 3 gram droge gist
- Weegschaal
- Gaschromatograaf (apolaire en polaire kolom) nano2 van Frans Killian
- 8 injectienaalden
- Aardgas
- Bekerglas 50 ml
- Trechter
- Mortier



Figuur 2: Opstelling experiment

3.2 Methode

Bij deze experimenten wordt gewerkt met glaswerk, het is daarom belangrijk om een veiligheidsbril te dragen als bescherming tegen knappend glas.

Iedere opstelling heeft dezelfde opbouw. In de erlenmeyer zit een afvalstof. Op iedere erlenmeyer is een kurk bevestigd met een gat erin. In dit gat wordt een witte connector geplaatst. Aan de andere kant van de connector wordt een siliconenbuisje van circa 3 cm bevestigd. In het siliconen buisje kan na de vergisting geprikt worden met een injectienaald. Op deze manier kan het een deel van het gas uit de erlenmeyer gehaald worden zonder dat de rest van het gas ontsnapt. Bovenop het siliconenbuisje wordt een waterslot bevestigd. Het waterslot wordt gevuld met water of met

kalkwater. In het eerste stadium is er nog zuurstof aanwezig in de erlenmeyer, er ontstaat dan CO₂. Als de erlenmeyer helemaal afgesloten zou zijn, wordt de druk in de erlenmeyer te hoog. Daarom is er gebruik gemaakt van een waterslot. De CO₂ kan in belletjes ontsnappen door het water of kalkwater heen. Het biogas dat later geproduceerd wordt zal niet ontsnappen, omdat de druk in dat stadium niet of nauwelijks verandert.

In iedere erlenmeyer worden vervolgens de afvalstoffen toegevoegd.

3.2.1 Voederwei

In een bekeerglas van 50 mL meet je nauwkeurig 50 mL voederwei af. Met behulp van een trechter voeg je de 50 mL toe aan de erlenmeyer. Op het bekeerglas bevestig je het waterslot. Het waterslot vul je met water. Vervolgens pak je een andere erlenmeyer en meet je opnieuw in een bekeerglas 50 mL voederwei af. Deze 50 mL voeg je toe aan de erlenmeyer. In deze erlenmeyer voeg je ongeveer 1 gram nauwkeurig afgewogen droge gist toe. De erlenmeyer wordt gezwenkt tot alle gist is opgelost. Vervolgens wordt hierop een waterslot bevestigd gevuld met kalkwater.

3.2.2 Schouweieren

Drie schouweieren worden geopend door het op de rand van het bekeerglas kapot te slaan. Het rauwe ei wordt toegevoegd aan een erlenmeyer. Op deze erlenmeyer moet een waterslot gevuld met water bevestigd worden.

3.2.3 Eierschalen

De schalen die zijn overgebleven van de schouweieren worden met een mortier geplet. De geplette eierschaal wordt samen met 20 mL water toegevoegd aan de erlenmeyer. Op deze erlenmeyer wordt een waterslot gevuld met water bevestigd.

3.2.4 Groente

Er wordt ongeveer 10 gram groente afgewogen en met het mes uit het stanleymes gehakseld tot stukjes van circa 3 millimeter. 5 gram groente wordt in een erlenmeyer gedaan en er wordt ongeveer 20 mL gedestilleerd water toegevoegd. Op deze erlenmeyer wordt een waterslot bevestigd gevuld met water. De overige 5 gram groente wordt toegevoegd in een andere erlenmeyer. In deze erlenmeyer wordt ook 20 mL gedestilleerd water toegevoegd. Daarnaast wordt er ongeveer 1 gram nauwkeurig afgewogen droge gist toegevoegd. De erlenmeyer wordt gezwenkt tot alle gist is opgelost. Op deze erlenmeyer wordt een waterslot bevestigd gevuld met kalkwater.

3.2.5 Maaisel

Allereerst wordt ongeveer 4 gram maaisel nauwkeurig afgewogen en met het mes uit het stanleymes gehakseld tot stukjes van circa 3 millimeter. 2 gram maaisel wordt in een erlenmeyer gedaan en er wordt ongeveer 20 mL gedestilleerd water toegevoegd. Op deze erlenmeyer wordt een waterslot bevestigd gevuld met water. De overige 2 gram maaisel wordt toegevoegd in een andere erlenmeyer. In deze erlenmeyer wordt ook 20 mL gedestilleerd water toegevoegd. Daarnaast wordt er ongeveer 1 gram nauwkeurig afgewogen droge gist toegevoegd. De erlenmeyer wordt gezwenkt tot alle gist is opgelost. Op deze erlenmeyer wordt een waterslot bevestigd gevuld met kalkwater.

3.2.6 Vervolg

Vervolgens worden de erlenmeyers in een broedstoof ingesteld op 55°C geplaatst. De erlenmeyers met een waterslot gevuld met water blijven 10 dagen staan, de erlenmeyers met een waterslot gevuld met kalkwater blijven 4 dagen staan. De broedstoof wordt na 10 dagen ingesteld op 35°C. De erlenmeyers met een waterslot gevuld met water blijven dan nog 14 dagen instaan.

Het experiment wordt vervolgd met behulp van de gaschromatograaf. Van aardgas zijn de bestanddelen bekend en in dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat deze lijkt op biogas. Aardgas is dus een goede referentiestof in dit onderzoek. Met een injectienaald wordt een monster van aardgas genomen. Vervolgens wordt met een gaschromatograaf en coach een chromatogram gemaakt. Er wordt gebruik gemaakt van een polaire en een apolaire kolom. Aan de hand van deze chromatogrammen wordt bepaald welke retentietijden de bestanddelen van aardgas hebben.

Na het bepalen van deze retentietijden wordt van iedere erlenmeyer met afvalstof een monster genomen. Met een injectienaald wordt geprikt in het siliconenbuisje. Het opgenomen ontstane gas wordt in de gaschromatograaf gedaan en de chromatogrammen worden gemaakt door coach. Met de bekende retentietijden van de bestanddelen van aardgas wordt bepaald welke gassen aanwezig zijn in het monster.

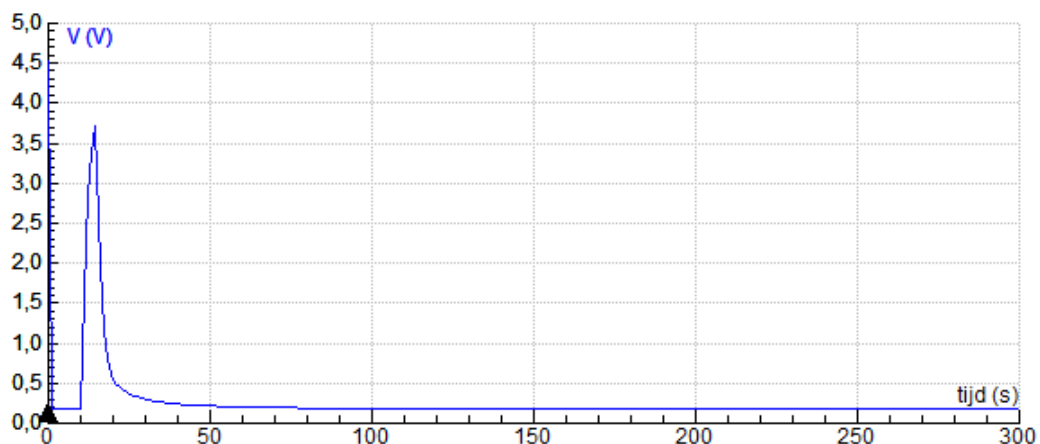
4. Resultaten

4.1 Gaschromatograaf

Aardgas is de referentiestof tijdens dit experiment. Aardgas is door de gaschromatograaf geleid en daarbij zijn de volgende chromatogrammen ontstaan:



Figuur 3: Chromatogram apolaire kolom aardgas



Figuur 4: Chromatogram polaire kolom aardgas

Het aardgas in Nederland bestaat uit de volgende gassen, in de volgende percentages [14].

component	volume %	mol %	massa %
methaan	81.30	81.29	69.97
ethaan	2.85	2.87	4.63
propaan	0.37	0.38	0.90
butaan	0.14	0.15	0.47
pentaan	0.04	0.04	0.16
hexaan	0.05	0.05	0.23
stikstof	14.35	14.32	21.52
zuurstof	0.01	0.01	0.02
kooldioxide	0.89	0.89	2.10

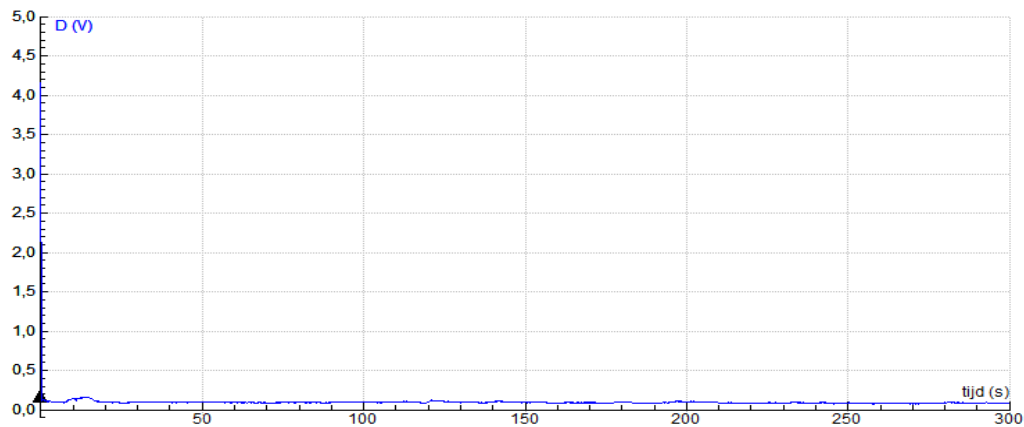
Tabel 1: samenstelling Gronings aardgas

Kleinere moleculen bewegen sneller door de kolom en komen dus eerder aan bij de detector dan grotere moleculen. Daaruit kan geconcludeerd worden dat de eerste piek van de apolaire kolom bij het kleinste koolwaterstofmolecuul, methaan, hoort. Dit wordt bevestigd door het feit dat methaan het meeste voorkomt in aardgas en deze eerste piek, bij een retentietijd van 63 seconden, het hoogst is. De tweede piek, bij 72 seconden, hoort bij ethaan en de derde piek, bij 97 seconden, hoort bij propaan. De piek bij 138 seconden hoort bij butaan en de piek bij 176 seconden hoort bij pentaan. De piek bij 14 seconden bij het chromatogram van de polaire kolom hoort bij waterstofsulfide [15].

De volgende resultaten zijn van de afvalstoffen die vergist zijn zonder initiator:



Figuur 5: Chromatogram apolaire kolom voederwei

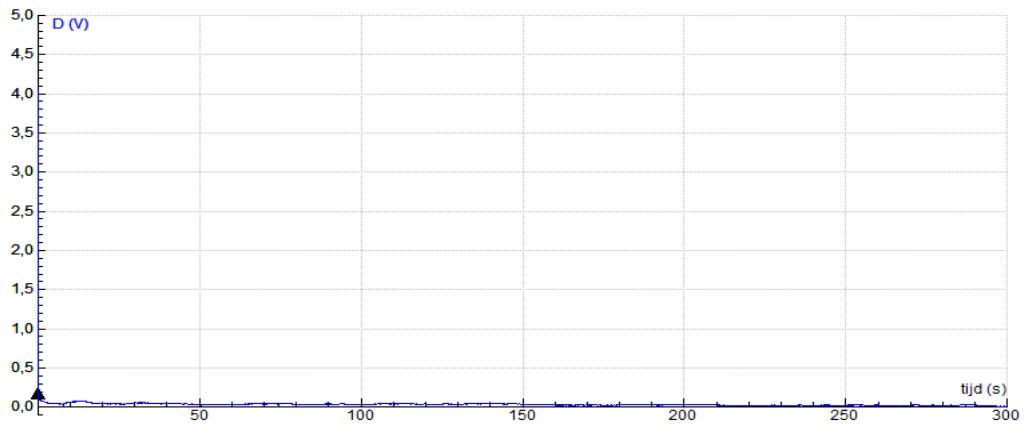


Figuur 6: Chromatogram polaire kolom voederwei

De piek bij 50 seconden die te zien is in figuur 5 is geen piek van methaan, maar een luchtpiek. De piek loopt langzaam omhoog en niet stijl, zoals te zien is in figuur 3 en 4. Dit geeft aan dat er geen biogas is ontstaan, maar dat er een luchtpiek is gedetecteerd [16]. In de grafiek van de polaire kolom zit een piek bij 12 seconden. Deze piek is waarschijnlijk ook een luchtpiek, maar zou ook kunnen duiden op de aanwezigheid van waterstofsulfide.



Figuur 7: Chromatogram apolaire kolom ei



Figuur 8: Chromatogram polaire kolom ei

De piek die bij 50 seconden te zien is in figuur 7 is, net als bij voederwei, een luchtpiek. Bij de polaire kolom is geen piek te zien. Er is dus geen biogas ontstaan bij de vergisting van ei.



Figuur 9: Chromatogram apolaire kolom maaisel



Figuur 10: Chromatogram polaire kolom maaisel

In zowel figuur 9 als 10 is geen piek te zien. Bij de vergisting van maaisel zonder gist is er dus geen biogas ontstaan.



Figuur 11: Chromatogram apolaire kolom groente



Figuur 12: Chromatogram polaire kolom groente

In de grafiek van de apolaire kolom is een piek te zien bij 50 seconden. Deze piek is een luchtpiek. In de grafiek van de polaire kolom is bij 10 seconden een piek te zien die kan staan voor een luchtpiek of voor een waterstofsulfidepiek.



Figuur 13: Chromatogram apolaire kolom eischaal



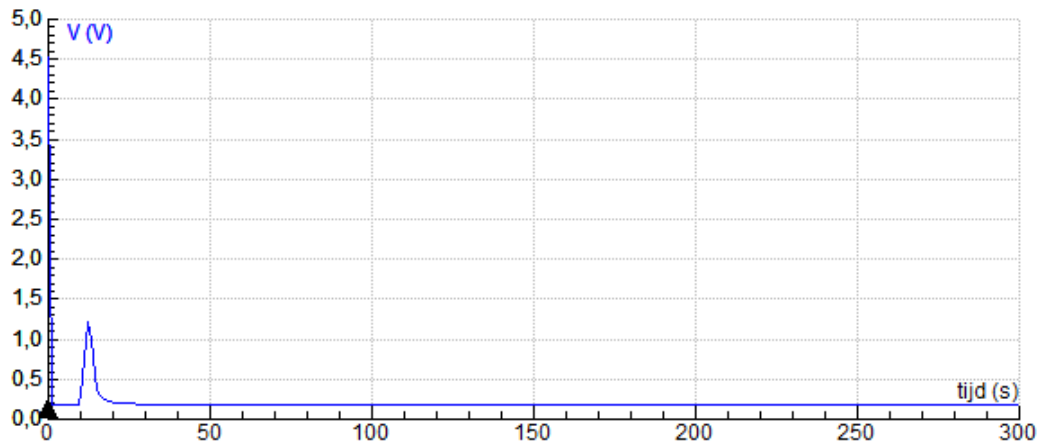
Figuur 14: Chromatogram polaire kolom eischaal

In de grafiek van de apolaire kolom is een luchtpiek te zien bij 50 seconden. In de grafiek van de polaire kolom is helemaal geen piek te zien. Er is hier dus geen biogas ontstaan.

Zonder initiator wordt het vergistingsproces dus niet in gang gezet. Hieronder staan de resultaten die verkregen zijn met de vergisting van voederwei, maaisel en groenten met gist als initiator.

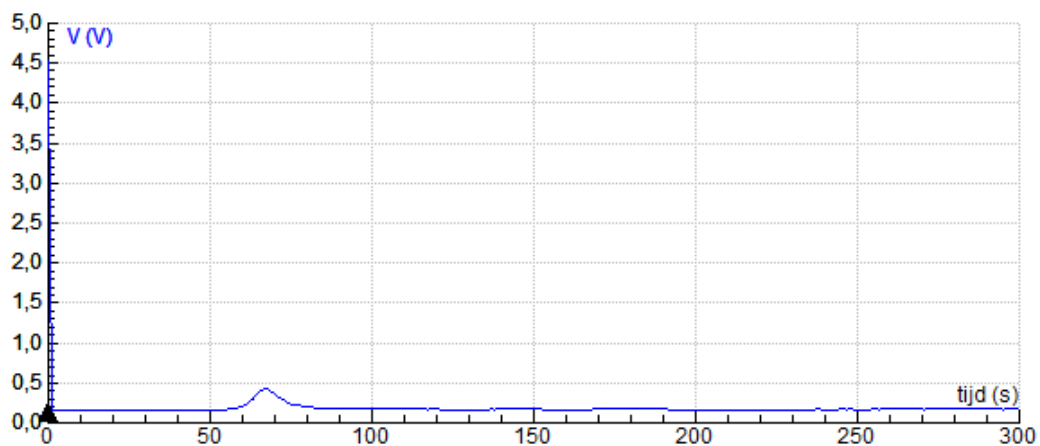


Figuur 15: Chromatogram apolaire kolom voederwei

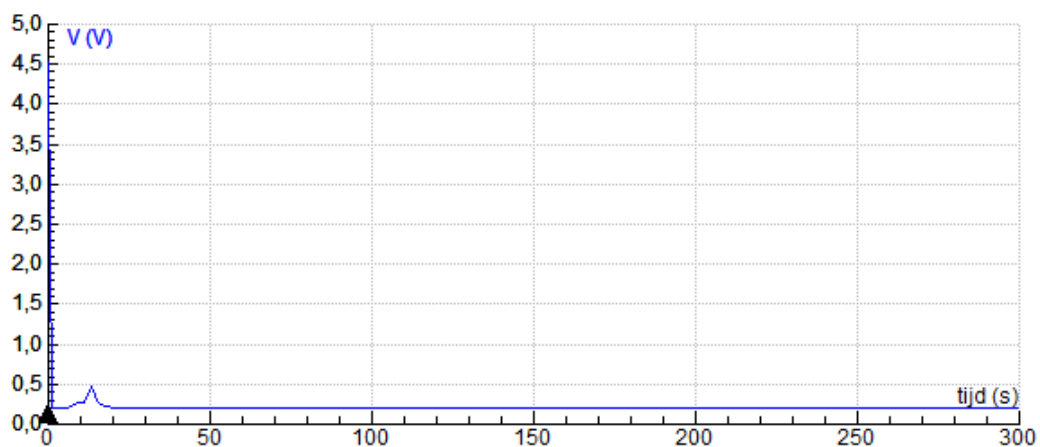


Figuur 16: Chromatogram polaire kolom voederwei

De piek bij 72 seconden die te zien is in de grafiek van de apolaire kolom staat voor methaan. De piek bij 80 seconden staat voor ethaan. De piek bij 107 seconden is de piek van propaan. De piek bij 12 seconden in de grafiek van de polaire kolom staat voor waterstofsulfide.

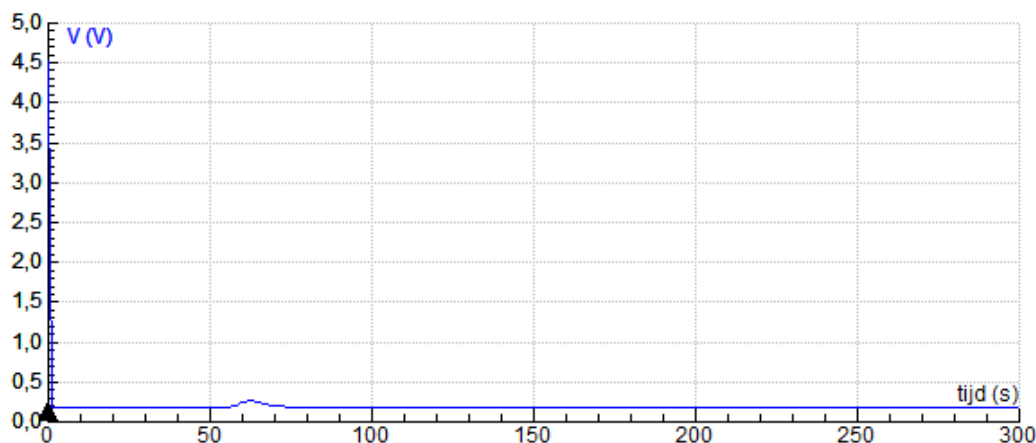


Figuur 17: Chromatogram apolaire kolom maaisel



Figuur 18: Chromatogram polaire kolom maaisel

De piek bij 67 seconden in figuur 17 staat voor methaan. De piek bij 13 seconden in de grafiek van de polaire kolom staat voor waterstofsulfide.



Figuur 19: Chromatogram apolaire kolom groente



Figuur 20: Chromatogram polaire kolom groente

De piek bij 72 seconden uit figuur 19 staat voor methaan. De piek bij 11 seconden in de grafiek van de polaire kolom staat voor waterstofsulfide.

4.2 Kalkwater

Als kalkwater (een oplossing van calciumdihydroxide in water) in aanraking komt met CO_2 , wordt het troebel en daalt de pH. In het beginstadium van vergisten, als er nog zuurstof in de erlenmeyer aanwezig is, ontstaat CO_2 . Dit gas is niet aan te tonen met de gaschromatograaf. Een extra manier om aan te tonen dat er vergisting plaatsvindt, is door op de erlenmeyer een waterslot te bevestigen die gevuld is met kalkwater. Door na het vergistingsproces de pH van het kalkwater te meten, kan vergisting worden aangetoond. Wanneer de pH daalt, is er CO_2 aanwezig in het kalkwater en heeft er dus vergisting plaats gevonden. De volgende resultaten kwamen uit de metingen die zijn uitgevoerd:

	Voor vergisting	Na vergisting gras	Na vergisting groente	Na vergisten voederwei
pH	11,97	7,05	6,70	6,75

Tabel 2: pH kalkwater

Bij de drie afvalstoffen treedt dus allemaal vergisting op. Dit bevestigt dat er vergisting is opgetreden, zoals aangetoond bij de gaschromatografie.

5. Resultatenverwerking

Bij het verwerken van de resultaten wordt er uitgegaan van een aantal uitgangspunten:

- Biogas heeft dezelfde samenstelling als aardgas, de verbrandingswarmte is dus gelijk.
- De kosten van aanpassingen aan de installatie door gebruik van afvalstoffen worden geschat op €5000.
- De productie van biogas is lineair in de tijd

Dit zijn uitgangspunten en dus niet gebaseerd op waarheid. Op deze uitgangspunten wordt teruggekomen in de discussie en het advies aan waterschap Reest en Wieden.

5.1 Berekening biogas

Uit de experimenten blijkt dat er bij de vergisting zonder initiator geen biogas ontstaat. Bij de vergisting met initiator is er wel biogas ontstaan. Er is dus een initiator nodig om de vergistingsreactie op gang te brengen. Bij alle drie de afvalstoffen die zijn vergist met gist is er biogas ontstaan. Deze afvalstoffen zouden dus allemaal een alternatief kunnen zijn.

Uit de gaschromatogrammen blijkt dat er bij de vergisting van voederwei het meeste biogas ontstaat. Er geldt immers, des te hoger de piek, des te hoger is de concentratie van de aanwezige gassen. De piek van methaan is bij voederwei veel hoger dan bij de andere afvalstromen. Ook ontstaan er bij voederwei meer verschillende biogassen.

Het is ook belangrijk dat de afvalstromen in de installatie verwerkt kunnen worden. Voor gras en groente geldt dat het zeer fijn gehakseld moet worden en er water toegevoegd moet worden, omdat er anders verstoppingen optreden in de vergistingsinstallatie. Voederwei is een vloeistof met een zeer lage viscositeit, waardoor het in de vergistingsinstallatie kan zonder dat het eerst intensief bewerkt moet worden. Het moet enkel gezeefd worden om de resten van aanwezige kruiden uit de voederwei te halen.

Uit het oppervlak van de grafiek bij de gaschromatogrammen kan bepaald worden hoeveel er van de gassen in de erlenmeyer aanwezig zijn. Er wordt alleen aan de apolaire gassen gerekend want alleen deze gassen zijn gewenst. Veel polaire gassen zijn schadelijk voor het milieu en dus niet gewenst. De oppervlakte onder de grafiek van alle pieken bij aardgas is $77,9 \text{ V}^*s$. De oppervlakte onder de grafiek van alle pieken bij voederwei is $15,3 \text{ V}^*s$. Dit betekent dat in de erlenmeyer van de voederwei $19,6\%$ apolaire gassen aanwezig waren ten opzichte van aardgas ($15,3 / 77,9 * 100\%$).

Bij de verbranding van $1,0 \text{ mL}$ aardgas komt 32 J energie vrij [17]. Omdat er vanuit gegaan is dat deze waarde hetzelfde is voor biogas, geldt dat er bij de verbranding van $1,0 \text{ mL}$ biogas uit de erlenmeyer $32 * 0,196 = 6,3 \text{ J}$ energie vrij komt.

Het gas is gehomogeniseerd over 150 mL . Bij de verbranding van al het ontstane gas komt dus $150 * 6,3 = 945 \text{ J}$ energie vrij. Dit gas is ontstaan bij 50 mL voederwei. Bij de vergisting van 1 L voederwei komt dus $945 * \frac{1000}{50} = 18900 \text{ J}$ energie vrij.

De experimenten zijn bij gebrek aan tijd slechts 4 dagen uitgevoerd. Bij de aangenomen lineaire productie van biogas zal de hoeveelheid biogas na 24 dagen dus zes keer zo hoog zijn. Bij de 24 daagse vergisting van 1 L voederwei komt dus $6 * 18900 = 113400 \text{ J}$ energie vrij.

Momenteel wordt er per jaar 400 m^3 glycerol gebruikt. De dichtheid van glycerol is $1,25 \text{ kg/dm}^3$. Per jaar wordt er dus $400 \cdot 1000 \cdot 1,25 = 500000 \text{ kg}$ glycerol gebruikt in de vergistingsinstallatie van waterschap Reest en Wieden.

1 ton glycerol levert 550 m^3 biogas op [18]. In totaal levert glycerol dus $500 \cdot 550 = 275000 \text{ m}^3$ biogas per jaar op. 275000 m^3 is $2,75 \cdot 10^{11} \text{ cm}^3$ en dus $2,75 \cdot 10^{11} \text{ mL}$. De biogasproductie uit glycerol is per jaar dus equivalent aan $2,75 \cdot 10^{11} \cdot 6,3 = 1,7325 \cdot 10^{12} \text{ J}$ energie.

Dit betekent dat er op jaarbasis $(1,73245 \cdot 10^{12}) / (113400) \approx 15300000 \text{ L} = 15300 \text{ m}^3$ voederwei nodig is om glycerol compleet te vervangen.

5.2 Uitwerking staat van baten en lasten

Per jaar is er dus 15300 m^3 voederwei nodig. De voederwei is beschikbaar bij Rouveen Kaasspecialiteiten. Wekelijks heeft Rouveen Kaasspecialiteiten 400 m^3 voederwei, wat neerkomt op ca. 57 m^3 per dag [19]. Dagelijks heeft Reest en Wieden gemiddeld $\frac{15300}{365} = 42 \text{ m}^3$ voederwei nodig. Rouveen Kaasspecialiteiten kan deze hoeveelheid dus leveren.

De kaasfabriek is op 25 km afstand van de vergistingsinstallatie in Echten. De transportkosten zijn $\text{€}0,13$ per km per m^3 inclusief BTW [18]. In een vrachtwagen gaat 35 m^3 . Dit komt neer op ca. 438 ritten per jaar ($\frac{15300}{35} \approx 438$). De transportkosten bedragen op jaarbasis dan gemiddeld $438 \cdot 35 \cdot 0,13 \cdot 25 = \text{€}49822,50$.

Voor glycerol zijn er op jaarbasis slechts 12 vrachtwagens nodig, iedere maand 1 . Glycerol komt uit Doetinchem, wat 136 km van Echten aflight. Dit betekent dat de transportkosten van glycerol per jaar $12 \cdot 35 \cdot 0,13 \cdot 136 = \text{€}7425,60$ zijn.

Glycerol kost per ton $\text{€}250$. Dat betekent dat de kosten op jaarbasis $\text{€}250 \cdot 500 = \text{€}125000$ [18]. Voederwei heeft een droge stof gehalte van 2% . Momenteel ontvangt Rouveen Kaasspecialiteiten voor de voederwei met een droge stof gehalte van 2% en lager geen vergoeding [19]. Daarom wordt er van uit gegaan dat bij een eventueel samenwerkingsverband de voederwei zonder kosten aangeboden kan worden aan waterschap Reest en Wieden. Dit betekent dat waterschap Reest en Wieden geen kosten heeft om voederwei aan te schaffen.

In voederwei zitten soms nog resten van kruiden. Hierdoor zal de installatie moeten worden aangepast met bijvoorbeeld een zeef. Zo kunnen de kruiden uit de voederwei gezeefd worden. Zoals eerder vermeld worden deze kosten geschat op $\text{€}5000$.

De kruiden die achterblijven moeten, samen met het slib, worden afgevoerd naar het composteerbedrijf. De kosten van het restproduct dat naar het composteerbedrijf gaat is $\text{€}60$ per ton. Het aantal gram kruiden dat per liter in voederwei zit is ongeveer 5 gram . Dit komt op jaarbasis neer op een gewicht van $5 \cdot 15300000 = 76500000 \text{ gram} = 76500 \text{ kg} = 76,5 \text{ ton}$ kruiden. Dit komt dus neer op $\text{€}60 \cdot 76,5 = \text{€}4590$.

6. Conclusie

6.1 Antwoorden deelvragen

6.1.1 Vergistingsinstallatie

De vergistingsinstallatie van waterschap Reest en Wieden bestaat uit een thermofiele (55°C) en een mesofiele (35°C) gisttank. Hierin wordt slib gedurende 24 dagen vergist (10 dagen in de thermofiele gisttank en 14 dagen in de mesofiele gisttank). Met het biogas wat ontstaat wordt elektriciteit en warmte opgewekt. Dit gaat met behulp van een WKK. Wanneer er te weinig slib is, ontstaat er te weinig biogas en ontstaat er te weinig warmte om de thermofiele en mesofiele gisttank op temperatuur te houden. Daarnaast wordt er te weinig elektriciteit opgewekt om de gehele zuivering te voorzien. Daarom heeft het waterschap glycerol als cosubstraat. Glycerol vergist gemakkelijk en levert veel biogas op.

6.1.2 Kansrijke afvalstromen

Om te kijken welke afvalstoffen in de buurt van waterschap Reest en Wieden bruikbaar zijn, is er eerst gekeken naar de positieve lijst. Daarnaast zijn de eisen waaraan een afvalstof moet voldoen van belang. De belangrijkste eisen zijn dat de afvalstoffen evenveel biogas opleveren als 400 m³ glycerol, regelmatig aangeleverd kunnen worden en vervoerd moeten kunnen worden met een vrachtwagen. Na een omgevingsanalyse werden Rouveen Kaasspecialiteiten, BFG en Probroed en Sloot benaderd voor hun afvalstoffen. Het gaat hier om de afvalstoffen voederwei, groente en schouweieren. Daarnaast is er maaisel als afvalstof gebruikt, omdat waterschap Reest en Wieden dit zelf al heeft.

6.1.3 Biogas

De afvalstof die het meest geschikt is als cosubstraat voor de vergistingsinstallatie van waterschap Reest en Wieden is voederwei. Na het analyseren van de gaschromatogrammen blijkt dat hierbij het meeste biogas is ontstaan. Na het berekenen van de hoeveelheid voederwei die nodig is, blijkt dat Rouveen Kaasspecialiteiten deze hoeveelheid ook kan leveren. Voederwei is dus een geschikt cosubstraat.

6.1.4 Staat van baten en lasten

Na de analyse van alle kosten volgt de volgende staat van baten en lasten:

Staat van baten en lasten			
Baten		Lasten	
Inkoop glycerol	€ 125.000,00	Transport voederwei	€49.822,50
Transport glycerol	€ 7.425,60	Verandering installatie	€ 5000,00
		Afvoer kruiden	€ 4.590,00
Totaal	€ 132.425,60	Totaal	€ 59.412,50

Tabel 3: Staat van baten en lasten

6.2 Antwoord hoofdvraag

De hoofdvraag die in dit onderzoek beantwoord moest worden is: 'Welke afvalstromen van industrieën zijn voor het waterschap een goedkoper alternatief voor glycerol bij co-vergisting?'. Na laboratoriumvergisting blijkt dat zowel gras, groente als voederwei vergisten met gist als initiator. Na analyse van de hoeveelheid gas wat ontstaan is, blijkt dat voederwei de beste oplossing is. Vervolgens komt uit de staat van baten en lasten dat het op jaarbasis €73013,10 voordeliger is om voederwei te gebruiken in plaats van glycerol.

6.3 Terugblik hypothese

Als hypothese werd verwacht dat de mogelijke afvalstoffen uit de voedselindustrie zouden komen. Er werden drie producten vergist, waarvan twee afvalstoffen uit de voedselindustrie kwamen. De achterliggende gedachte van de hypothese was het hygroskopische karakter van glycerol. Voederwei komt wel uit de voedselindustrie, maar heeft geen hygroskopisch karakter. De hypothese klopt dus deels, want de gevonden afvalstof komt uit de voedselindustrie, maar dit is niet te verklaren door het hygroskopische karakter.

7. Discussie

7.1 Resultatendiscussie

7.1.1 Betrouwbaarheid gaschromatograaf

Er bestaan verschillende typen gaschromatografen, welke in prijs verschillen. Logischerwijs worden er bij gebruik van duurdere gaschromatografen betrouwbaardere resultaten verkregen dan bij het gebruik van een goedkope gaschromatograaf. De experimenten in dit onderzoek zijn gedaan met een nano2 gaschromatograaf van Frans Killian. Dit is een relatief goedkope gaschromatograaf. Dit betekent dat de betrouwbaarheid van de resultaten niet zeer hoog is. Bij het interpreteren van de eindresultaten moet hier rekening mee gehouden worden. In het onderzoek is er echter vanuit gegaan dat de gaschromatograaf volledig te vertrouwen is.

7.1.2 Beperkt aantal afvalstoffen

De eerste ronde experimenten is met zes afvalstoffen uitgevoerd en de tweede ronde met drie. Natuurlijk zijn er veel meer afvalstoffen te vinden in de omgeving van Echten en waarschijnlijk zijn er ook wel meerdere, betere alternatieven voor glycerol. Het is echter niet te doen om met iedere afvalstof in de omgeving te experimenteren, daar is simpelweg de tijd niet voor.

7.1.3 Beperkte tijd

Het onderzoek met initiator is door gebrek aan tijd slechts 4 dagen uitgevoerd. Er is vanuit gegaan dat de hoeveelheid ontstane biogas een lineair verband heeft met de tijd. Dit is echter niet waarschijnlijk.

7.1.4 Verwarmingswaarden voederwei

De toegevoegde voederwei moet natuurlijk op een temperatuur van 55°C komen voor het de gaschromatograaf in kan. Aangezien voederwei voor 98% uit water bestaat heeft het ongeveer dezelfde soortelijke warmte als water. Dit is een relatief hoge soortelijke warmte. Het kost dus veel energie om de voederwei 1°C te verwarmen. De energie om te verwarmen moet uit de verbranding van biogas uit extra voederwei komen. Deze voederwei moet echter ook weer opgewarmd worden. Er is dus sprake van een vicieuze cirkel. Conclusie is wel dat er meer voederwei moet worden toegevoegd dan berekend in het rapport. Hier is nog geen rekening mee gehouden.

7.2 Onvolkomenheden in werkplan

In eerste instantie was het plan om alleen experimenten zonder initiator in te zetten. Na onderzoek op Windesheim met de gaschromatograaf bleek daar geen biogas bij te zijn ontstaan. Daarom is er later besloten om het experiment te herhalen met gist. Dit is een onvolkomenheid in het werkplan, omdat er eerder over het gebruik van een initiator nagedacht had moeten worden. Een andere onvolmaaktheid in het werkplan is dat alle proefopstellingen met kalkwater gevuld hadden moeten worden. Bij de zes experimenten zonder gist en kalkwater waren de resultaten met de gaschromatograaf negatief, maar er was ook geen tweede manier om de bevindingen te bevestigen of te ontcrachten.

7.3 Voorgedane problemen

Tijdens het onderzoek zijn er een aantal problemen ondervonden. Zo was het lastig om aan afvalstoffen te komen, omdat er veel verschillende bedrijven werden benaderd, maar er erg weinig respons was op de vraag om afvalstoffen. Daarnaast was het onderzoeken met de gaschromatograaf een probleem, omdat deze erg temperatuurafhankelijk is. Zo werd er eerst een experiment gedaan met aardgas waarbij de retentietijd van methaan 156 seconden was. Vervolgens werd in het laboratorium de verwarming aangedaan en was de retentietijd 60 seconden. Alle andere experimenten zijn gedaan op de tweede temperatuur, met de verwarming aan. Gedurende het uitwerken ontstond het probleem dat de sommige gegevens onbekend waren. Zo is onbekend wat de exacte samenstelling van biogas is en is het onbekend wat de verbrandingswarmte van biogas is.

8. Advies aan waterschap Reest en Wieden

Het onderzoek is nog niet afgerond. Daarom wordt hieronder een advies gegeven aan waterschap Reest en Wieden. Dit advies zal gaan over een vervolgonderzoek en welke vragen in dit onderzoek beantwoord zullen moeten worden. Zolang deze vragen niet beantwoord zijn, is niet gegarandeerd dat voederwei een volwaardige vervangen kan zijn voor glycerol.

In het al uitgevoerde onderzoek zijn er louter experimenten op kleine schaal uitgevoerd en enkel in combinatie met gist. Het onderzoek zal op grote schaal moeten worden uitgevoerd en ook moet worden onderzocht of slib daadwerkelijk de rol van het gist op kleine schaal overneemt.

Het is belangrijk dat de experimenten op grote schaal ook kwantitatief uitgevoerd worden. De experimenten zijn slechts vier dagen uitgevoerd en er is als uitgangspunt genomen dat de biogasproductie lineair is. Dit is waarschijnlijk niet waar. Daarnaast is er als uitgangspunt genomen dat de verbrandingswarmte van biogas en aardgas gelijk zijn. Dit zal ook niet correct zijn, waardoor dit ook onderzocht moet worden.

In de voederwei zitten soms ook kruiden uit de kruidenkaas. Er moet onderzocht worden of deze mee kunnen in de vergistingsinstallatie of dat er eventueel een zeef gebouwd moet worden. In het rapport is er rekening gehouden met een zeef die ongeveer €5000 zal kosten, dit is echter een grove schatting. De werkelijke kosten zullen onderzocht moeten worden in een vervolgonderzoek.

Rouveen Kaasspecialiteiten was voor de experimenten bereid om monsters voederwei aan te leveren. Een verder samenwerkingsverband tussen waterschap Reest en Wieden en Rouveen Kaasspecialiteiten is nog niet in gang gezet. Hierover zullen zij samen om de tafel moeten gaan. Ook zullen ze dan een prijs voor de voederwei moeten overleggen. In het rapport zijn deze kosten weggelaten.

De voederwei moet natuurlijk van Rouveen naar Echten gereden worden. Het is berekend dat er 1,2 ritten voederwei nodig is als er vanuit wordt gegaan dat er gereden wordt met vrachtwagens met een inhoud van 35 m³. 1,2 ritten per dag komt neer op 17 ritten in twee weken. Hoe dit verdeeld wordt over de dagen moet Reest en Wieden onderzoeken. Daarbij zullen zij rekening moeten houden met het feit dat de opslagtank voor de voederwei slechts 60 m³ is.

Misschien is het voordeliger als het vervoer geregeld wordt met een vrachtwagen van groter formaat. Ook hier zal het waterschap naar moeten kijken.

Het is ook aan te raden om de samenstelling van voederwei te bepalen en te bekijken of dit geen problemen in de vergistingsinstallatie oplevert. Bij de vergisting van voederwei is aangetoond dat er ook waterstofsulfide ontstaat. Er moet onderzocht worden of dat niet schadelijk uitwerkingen heeft op de vergistingsinstallatie en het milieu.

Zoals besproken in de resultatendiscussie moet de voederwei nog op temperatuur gebracht worden. Hiervoor zal Reest en Wieden moeten gaan onderzoeken hoeveel extra voederwei nodig is. Een andere optie is om de voederwei ter plekke in te dikken zodat het volume van de voederwei kleiner wordt. Er is dan minder energie nodig om het op te warmen.

9. Literatuurlijst

Bibliografie

- [1] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Reest en Wieden*,
"http://nl.wikipedia.org/wiki/Reest_en_Wieden" [20-02-2014]
- [2] Bio-energie Noord, *Co-vergisting*,
"http://www.energiezuinigebedrijventerreinen.nl/downloadablefiles/Publicaties/Folder%20co-vergisting%20BioEnergieNoord.pdf" [30-12-2013]
- [3] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Lijst van Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallatie*,
"http://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_Nederlandse_rioolwaterzuiveringsinstallaties#Waterschap_Reest_en_Wieden," [28-11-2013]
- [4] Compendium, *Afvalstoffen van de industrie*,
"http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0118-Gescheiden-aangeboden-industrieel-afval.html?i=1-4," [28-11-2013]
- [5] Rijksoverheid, *MJA*, " http://www.e-mjv.nl/onderwerpen/mja/" [20-02-2014]
- [6] Rijksoverheid, *Rapportage VROM inspectie over afvalstoffen bij co-vergisting*,
"http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/05/25/rapportage-vrom-inspectie-over-afvalstoffen-bij-co-vergisting-bijlage/2011045216-bijlage-1.pdf," [30-12-2013]
- [7] Productschap akkerbouw, *marktprijzen granen*,
"http://www.productschapakkerbouw.nl/teelt/marktprijzen/9," [30-12-2013]
- [8] Overheid, *Uitvoeringsregeling meststoffenwet*
"http://wetten.overheid.nl/zoeken_op/BWBR0018989/bijlageAa/tekst_bevat_bijlage%2BAa/geldigheidsdatum_30-12-2013," [30-12-2013]
- [9] Bio-energie Noord, *Kookboek voor co-vergisting*, "http://groengas.nl/wp-content/uploads/2012/03/2012-03-02-Kookboek-co-vergisting-Hfd-1--2.pdf," [30-12-2013]
- [10] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Glycerol*, "http://www.nl.wikipedia.org/wiki/Glycerol," [30-12-2013]
- [11] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Warmtekrachtkoppeling*,
"http://nl.wikipedia.org/wiki/Warmte-krachtkoppeling," [28-11-2013]
- [12] 4GreenEnergy2, *Positieve lijst co-vergisting* "http://www.biogas.nl/achtergrond-informatie/positieve-lijst-co-vergisting/index.html," [13-11-2013]
- [13] Nederlandse voedsel- en warenautoriteit, *Dierlijke bijproducten*,
"http://www.vwa.nl/onderwerpen/meest-bezocht-a-z/dossier/dierlijke-bijproducten/de-3-categorieen-dierlijke-bijproducten," [13-11-2013]
- [14] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Gronings gas*,
"http://nl.wikipedia.org/wiki/Gronings_gas," [23-12-2013]
- [15] Wikipedia “de vrije encyclopedie”, *Aardgas*, "http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardgas," [23-12-2013]
- [16] *Verklaring luchtpiek*, Henk Tigelaar, Hogeschool Windesheim [05-12-2013]

- [17] dr. G. Verkerk, 2008, *Binas*, Noordhoff Uitgevers (5e druk)
- [18] *Gegevens vergistingsinstallatie Echten*, Rutger Dijsselhof, Reest en Wieden [02-10-2013]
- [19] *Gegevens voederwei Rouveen Kaasspecialiteiten*, Jaco Blankespoor, Rouveen Kaasspecialiteiten [04-10-2013]