

# Adviesrapport Innovatieve vergisting



Projectgroep: Biogas Uit Studenten (B.U.S)  
Datum: 18-06-2010

**avans**  
hogeschool

# Adviesrapport Innovatieve vergisting

## Opleidingsgegevens



Academie voor technologie van gezondheid en milieu  
chemische technologie  
Lovensdijkstraat 61-63  
4818 AJ, Breda  
telefoon: 0765. 250 500

## Docent

Aart van den Dool

[a.vandendool@avans.nl](mailto:a.vandendool@avans.nl)

## Medewerkers

Rik Dellaert  
Sander Haers  
Jeroen Heijens  
Thomas van Hoeve

[ra.dellaert@student.avans.nl](mailto:ra.dellaert@student.avans.nl)  
[s.haers@student.avans.nl](mailto:s.haers@student.avans.nl)  
[a.heijens@student.avans.nl](mailto:a.heijens@student.avans.nl)  
[tjr.vanhoeve@student.avans.nl](mailto:tjr.vanhoeve@student.avans.nl)

**Versie 3.1**

## Samenvatting

Het BIC (=Bioraffinage Innovatie Centrum) is een project wat zich richt op het winnen van informatie en kennis over methaanvergisting. In het BIC zijn meerdere bedrijven vertegenwoordigd, dit zijn bedrijven die een belang hebben bij het delen van kennis van vergisting. Deze bedrijven hebben of gaan een vergistingsinstallatie bouwen binnen een bepaald termijn.

In dit adviesrapport wordt een vergelijking gemaakt tussen een "conventioneel" bestaand vergistingsproces, namelijk dat van Bewa en de werking van dit bestaande vergistingsproces met integratie van innovatieve technieken. Hier is studie gedaan naar massa- energie- &kostenbalans.

De innovatieve technieken waar onderzoek naar is gedaan, zijn de technieken van de bedrijven Cambi met het THP proces en Sustec met het TurboTec proces.

Het THP proces bestaat uit een voorbereiding op de voeding. Hier wordt stoom toegevoegd en de voeding onder druk gebracht. Waarna het vervolgens in een flashtank snel van druk wordt gelaten. Hierdoor breken de biopolymeren af en worden alle bacteriën gedood. Dit brengt een stabielere en snellere vergistingsproces teweeg.

Het TurboTec proces bestaat ook uit een voorbereiding op de voeding. Hier wordt verzadigde stoom van 5-6 bar en een goedkoop loog toegevoegd. Hierdoor breken de biopolymeren af. Dit brengt een snellere vergistingsproces teweeg.

Nadat de massa- energie- &kostenbalans van de 3 processen vergeleken zijn kan geconcludeerd worden dat het THP proces en het TurboTec proces energiezuiniger zijn dan een "conventioneel" vergistingsproces. Ook is de verblijftijd enkele malen kleiner waardoor de aanschafkosten van de reactors flink dalen. Ook zijn de innovatietechnieken door een lagere viscositeit en verblijftijd energiezuiniger dan het "conventionele" vergistingsproces. Bij het TurboTec en THP proces schijnt er ook een betere en hogere biogasproductie te ontstaan. Dit schijnt vooral zo te zijn bij moeilijk vergistbare stoffen.

Het Cambi proces is voor de BIC bedrijven niet interessant omdat Cambi zich niet op commerciële vergisters richt en hun bedrijfsvisie is gericht op slibverwerking. Ook is het proces momenteel alleen rendabel op een grote schaal vanaf 300.000 ton/jaar.

Verder onderzoek naar het TurboTec proces is van belang om te concluderen dat het proces geschikt is voor de BIC bedrijven. Dit omdat het potentie heeft een rendabeler proces te realiseren, waardoor er meer winst gemaakt kan worden.

# Inhoudsopgave

<b>1. INLEIDING.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ALGEMENE METHAANVERGISTING.....</b>	<b>2</b>
2.1 HYDROLYSE .....	3
2.2 ACIDOGENESE.....	4
2.3 ACETOGENESE .....	4
2.4 METHANOGENESE .....	4
2.5 EFFECTEN OP HET RENDEMENT EN PRODUCTIE VAN BIOGAS.....	5
2.5.1 De temperatuur.....	5
2.5.2 De zuurtegraad.....	6
2.5.3 C/N verhouding .....	6
2.5.4 Procesremmende stoffen .....	6
2.5.5 Reactortechnologie .....	7
2.5.6 Homogenisering .....	7
2.5 BIOGAS BEHANDELING EN OPSLAG .....	7
2.6 DIGESTAAT.....	8
2.7 VERSCHIL TUSSEN “GEWONE” VERGISTING EN CO-VERGISTING.....	8
<b>3. CAMBI .....</b>	<b>10</b>
3.1 ALGEMEEN.....	10
3.2 THP PROCES .....	11
3.3 PROCESTECHNISCHE SELECTIVITEIT VAN HET THP PROCES.....	12
3.4 MASSABALANS CAMBI.....	13
<b>4. TURBOTEC PROCES.....</b>	<b>14</b>
4.1 ALGEMENE INFORMATIE .....	14
4.2 PROCESBESCHRIJVING.....	14
4.3 MOVABLE DEMOPLANT .....	15
4.4 EFFECTEN TURBOTEC SYSTEEM .....	16
<b>5. MASSA- EN ENERGIEBALANS .....</b>	<b>17</b>
5.1 MASSABALANS .....	17
5.1.1 Conventionele vergistingsproces.....	17
5.1.2 Massabalans conventioneel vergistings proces + Cambi THP.....	18
5.1.3 Massabalans conventioneel vergistings proces + Sustec TurboTec .....	19
5.2 ENERGIEBALANSEN .....	20
5.2.1 Energiebalans conventioneel vergistings proces.....	20
5.2.2 Energiebalans conventioneel vergisting proces + Cambi THP.....	22
5.2.3 Energiebalans conventioneel vergisting proces + Sustec TurboTec .....	23
<b>6. INVESTERINGSKOSTEN .....</b>	<b>24</b>
6.1 INVESTERINGSKOSTEN CONVENTIONELE VERGISTINGS PROCES .....	24
6.2 INVESTERINGSKOSTEN CONVENTIONEEL VERGISTINGS PROCES + CAMBI THP .....	25
6.3 INVESTERINGSKOSTEN CONVENTIONEEL VERGISTINGS PROCES + SUSTEC THP .....	26
<b>7. CONCLUSIES &amp; AANBEVELINGEN .....</b>	<b>27</b>
7.1 CONCLUSIES .....	27
7.1.1 Energieverbruik .....	27
7.1.2 Investering.....	27

# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

### Projectgroep BUS

---

7.1.3 Gastoename .....	27
7.2 AANBEVELINGEN .....	28
7.2.1 Kies innovatief .....	28
7.2.2 Verder onderzoek .....	28
7.2.3 Digestaat .....	28
7.2.4 Blijf innovatie onderzoeken .....	28
<b>LITERATUURLIJST .....</b>	<b>29</b>
ALGEMENE VERGISTING .....	29
CAMBI .....	29
SUSTEC .....	29
<b>BIJLAGE 1: BEZOEK AAN BIEVELD TE HEETEN .....</b>	<b>30</b>
<b>BIJLAGE 2: ORIËNTATIEGESPREEK GROENE POORT .....</b>	<b>31</b>
<b>BIJLAGE 3: ORIËNTATIEGESPREEK LAMB WESTON / MEIJER.....</b>	<b>32</b>
<b>BIJLAGE 4: ORIËNTATIEGESPREEK BEWA .....</b>	<b>33</b>
<b>BIJLAGE 5: ORIËNTATIEGESPREEK GREENBROTHERS .....</b>	<b>34</b>
<b>BIJLAGE 6: PROCESSHEMA'S CAMBI .....</b>	<b>35</b>
SLIBVERWERKING .....	35
BIO-AFVALVERWERKING .....	35
<b>BIJLAGE 7: BIOGASOPBRENGST VERSCHILLENDE INPUTSTROMEN .....</b>	<b>36</b>

## 1. Inleiding

Het BIC project is een samenwerking tussen chemische bedrijven, industriële voedselbedrijven, kennisinstellingen, hightech spelers en initiatieven in de regio Zeeland en Noord-Brabant.

Deze bedrijven zien nieuwe kansen in de groene economie en willen deze kansen gebruiken om economisch succes te boeken.

Het project heeft als doel om een centrum te zijn waar ontwikkeling, productie en toepassing van bio-energie plaatsvindt. Het is economisch interessant om producten met een hoge economische waarde te verwerken en te verkopen in plaats van te gebruiken voor energieopwekking. Energieopwekking is hierbij een onderdeel in de verwerkingsketen.

Dit rapport is namens het BIC opgesteld, in bijlage 2 tot en met 5 is te vinden waarom de bedrijven in het BIC zijn gestapt.

Dit adviesrapport heeft als doel het BIC te adviseren met innovatieve vergistingstechnieken. Deze innovatieve technieken zijn gericht op de voorbereiding van de voeding bij vergisting.

In hoofdstuk twee wordt algemene methaanvergisting beschreven. Hoofdstuk drie geeft de innovatieve techniek van Cambi weer. Het SusTec proces wordt besproken in hoofdstuk vier. In hoofdstuk vijf wordt de energiebalans van de processen weergegeven. Hoofdstuk zes raamt de kosten voor het bouwen van een vergistingsplant. De conclusies en aanbevelingen zijn te vinden in hoofdstuk 7.

## 2. Algemene methaanvergisting

Dit hoofdstuk beschrijft methaanvergisting in het algemeen. Dit wil zeggen dat er beschreven wordt hoe een methaanvergistingsproces verloopt.

Om het methaanvergistingsproces te beschrijven zijn er verschillende literatuurbronnen gebruikt. Ook zijn er twee bezoeken gebracht aan twee methaanvergistingsplants. Namelijk één bezoek bij Bieleveld in Heeten en één bezoek bij BEWA in Moerdijk. Hiervan zijn notulen gemaakt die in de bijlagen 1 (Bieleveld) en 4 (Bewa) te vinden zijn.

De grondstoffen voor het methaanvergistingproces bestaan doorgaans uit verschillende soorten verhoudingen aan: suikers, aminozuren, mineralen en vetten.

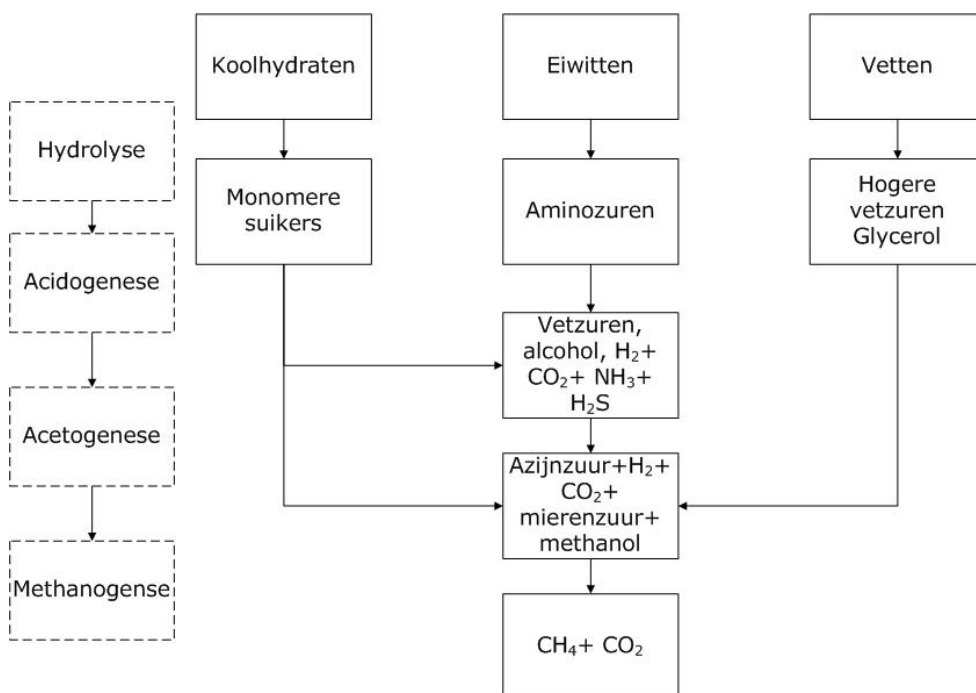
Een probleem is dat de voeding heel erg verschillend kunnen zijn per bedrijf en per seizoen. Hierdoor ontstaan verschillende rendement, verschillende digestaatverhoudingen en verschillende biogassamenstellingen.

De afbraak van organische stoffen die worden omgezet in methaan en koolstofdioxide (ook wel koolzuur genoemd) in een anaerobe (=zuurstofloze) omgeving wordt methaanvergisting genoemd.

De afbraak in een aerobe (=met aanwezigheid van zuurstof) van organische stoffen zal water, koolstofdioxide en warmte produceren. Dit proces levert geen methaan, waardoor deze omstandigheden niet verder zullen worden besproken in dit verslag.[5],[6]

Het methaanvergistingproces bestaat uit 4 belangrijke deelprocessen:

- Hydrolyse
- Acidogenese
- Acetogenese
- Methanogenese



Figuur 1: Algemeen blokschema van een standaard methaanvergistingsproces.[8],[9]

# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

### 2.1 Hydrolyse

Nadat de afzonderlijke grondstoffen zijn samengesteld tot een homogene massa wordt de eerste biochemische bewerking toegepast. Deze eerste biochemische bewerking noemt men hydrolyse.

Hydrolyse is de splitsing van complexe, niet opgeloste biopolymeren tot eenvoudige oplosbare monomeren onder opnemng van water. Een condensatiereactie waarbij water wordt gevormd, is het tegenovergesteld van hydrolyse.[7]

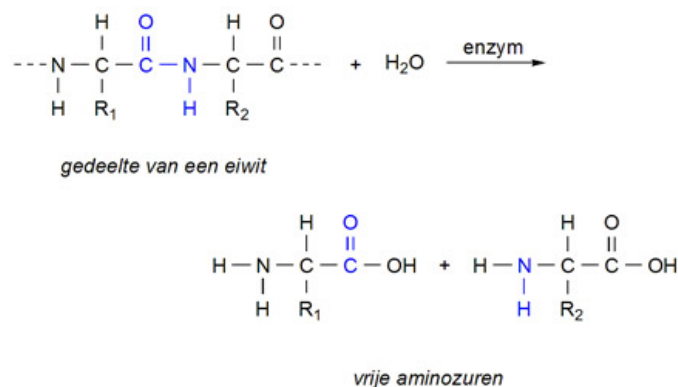
De hydrolysesnelheid hangt af van de temperatuur en de grootte van de deeltjes. De pH heeft grote invloed op de hydrolysesnelheid.

Deze hydrolyse wordt tot stand gebracht door middel van extracellulaire enzymen (extracellulaire= buiten de cel). Deze enzymen worden uitgescheiden door de fermentatieve bacteriën. Deze fermentatieve bacteriën kunnen geen biopolymeren opnemen maar wel de oplosbare monomeren.

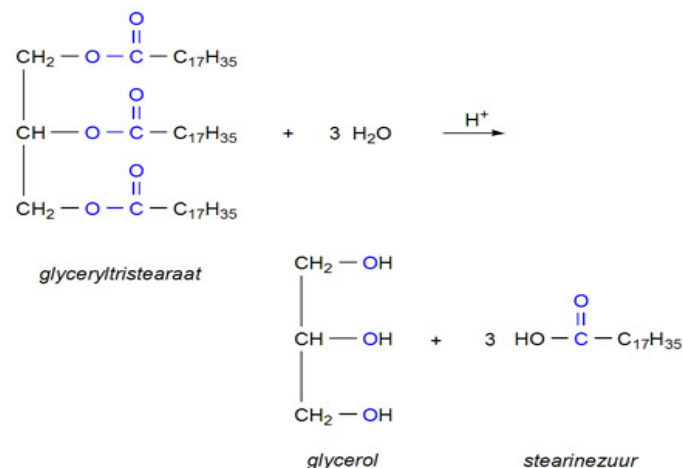
De volgende onoplosbare biopolymeren worden omgezet in oplosbare monomeren:

- Verschillende polysachariden in suikers (bijvoorbeeld: glucose en fructose)
- Eiwitten in aminozuren
- Vetten in glycerol en vetzuren

Hieronder staan twee reactievergelijkingen van de afbraak van een eiwit en een vet:



Figuur 2: Hydrolyse van eiwitten en vetten.[8]



Figuur 3: Hydrolyse van eiwitten en vetten.[8]



# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

### 2.2 Acidogenese

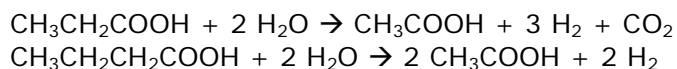
Acidogenese ook wel zuurvorming of fermentatie genoemd, is de tweede biochemische werking in de vergisting. In deze stap zetten fermentatieve bacteriën de opgenomen oplosbare monomeren om in een reeks eenvoudige verbindingen. Zo zullen er een aantal vetzuren ontstaan met ketenlengtes van 2 tot 6 koolstofatomen. De volgende stoffen kunnen na de acidogenese bewerking ontstaan:

- propionzuur
- butaanzuur
- melkzuur
- alcoholen
- waterstof
- ammoniak
- koolstofdioxide

De optimale pH voor acidogenese ligt voor koolhydraten tussen de 5,5 en 6 en voor eiwitten tussen de 7 en 7,5. Als er veel koolhydraten zijn zal de optimale pH meer naar de 6 gaan en zijn er veel eiwitten dan zal de optimale pH meer richting de 7 liggen.

### 2.3 Acetogenese

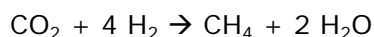
Bij de derde biochemische werking worden de (vluchtige) vetzuren die gevormd zijn bij de acidogenese omgezet in azijnzuur, waterstof en koolstofdioxide. Hieronder staan daar twee reactie voorbeelden van:



### 2.4 Methanogenese

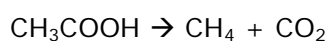
Methanogenese is de vierde en laatste biochemische werking waarbij organische stof door bacteriën wordt afgebroken tot biogas. Deze methanogenese wordt door twee specifieke bacterie groepen uitgevoerd. Dit zijn de hydrogenotrofe methanogenen en de acetotrofe methanogenen. Deze bacterie groepen leven door middel van intramoleculair ademen. Dat wil zeggen dat ze zuurstof die ze nodig hebben van andere moleculen afhalen. [9]

De hydrogenotrofe methanogenen zorgen voor ongeveer 30% van de totale methaanproductie, met de volgende reactievergelijking:



Door deze reactie wordt de hoeveelheid waterstof verlaagd, wat nodig is voor de vorming van acetaat uit vetzuren en alcoholen.

De acetotrofe methanogenen zorgen voor ongeveer 70% van de totale methaanproductie, met de volgende reactievergelijking:



Het verkregen biogas bestaat over het algemeen uit de volgende stoffen:

Samenstelling:	Concentratie:
Methaan (CH <sub>4</sub> )	45-75%
Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> )	25-45%
Waterdamp (H <sub>2</sub> O)	2-7%
Stikstof (N <sub>2</sub> )	<2%
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	<2%
Waterstof (H <sub>2</sub> )	<1%
Waterstofsulfide (H <sub>2</sub> S)	20-20.000 ppm

Tabel 1: biogasconcentraties.[9]

## 2.5 Effecten op het rendement en productie van biogas

Het rendement en de productie van biogas door methanogenese is van een aantal factoren afhankelijk:

- De temperatuur
- De zuurtegraad
- Verbliftijd
- C/N verhouding
- Procesremmende stoffen (zware metalen, medicijnen)
- Menging
- Reactortechnologie
- Homogenisering

Deze factoren zullen hieronder beschreven worden.

### 2.5.1 De temperatuur

De snelheid waarmee de vergistingsreacties verlopen, wordt beïnvloed door de temperatuur. Bij een hoge temperatuur vindt de vergisting sneller plaats echter zal de totale biogasproductie gelijk blijven. Hier kunnen drie verschillende temperatuurzones voor worden ingedeeld, waarbij er telkens een optimum temperatuur is:

- Psychrofiële zone: 0°C – 20°C, optimum 17°C
- Mesofiële zone: 20°C – 45°C, optimum 33°C
- Thermofiële zone: 45°C – 75°C, optimum 55°C

De optimum temperatuur is de temperatuur waarbij de vergistingsreactie het snelste verloopt.

Bij een psychrofiële (of koude) temperatuurzone vindt de vergistingsreacties zeer traag plaats daarom is deze temperatuur ongeschikt om mee te vergisten. Dit komt omdat de bacteriegroei laag is en verblijftijden van meer dan 100 dagen zijn dan nodig om te vergisten.

Deze vergisting vindt spontaan plaats bij de opslag van mest. Bij een psychrofiële temperatuur hoeft er niet geïsoleerd te worden en behoeft er weinig verwarming plaatsvinden, wat lagere investeringskosten en proceskosten met zich mee brengt.

Bij een mesofiële temperatuurzone worden methaanvormende bacteriën gevormd die minder gevoelig zijn voor de zuurtegraad of temperatuurschommeling in de reactor. Hierdoor wordt een stabiel en goed controleerbaar proces gevormd en wordt daarom het meeste toegepast in de vergistingswereld. Ook de verblijftijden zijn niet erg hoog, zo zullen de verblijftijden tussen de 15 en 80 dagen liggen.

# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

Bij een thermofiele temperatuurzone zal het biogas nog sneller geproduceerd worden, waarbij verblijftijden tussen de 10 en 20 dagen liggen. De nadelen van een thermofiele temperatuur zijn dat de methaanvormende bacteriën zeer gevoelig zijn voor schommeling in de zuurtegraad en/of de temperatuur. Ook zijn de energiekosten om de benodigde temperatuur te krijgen in de reactor en de isolatiekosten erg hoog.[9]

### 2.5.2 De zuurtegraad

De optimale zuurtegraad voor de vergisting ligt tussen de 7,5 en de 8,5. Onder een pH van 5 zal het methaan vergistingproces stilvallen. De zuurvormende bacteriën leven beter in een zuur milieu (<7 pH). Aangezien de zuurvorming en de methaanvormende bacteriën een ander optimum pH hebben zal er nooit een optimaal pH milieu kunnen worden gerealiseerd. Dit probleem kan bijvoorbeeld worden opgelost met verschillende reactoren met daarin verschillende pH milieus.[9]

### 2.5.3 C/N verhouding

De C/N verhouding oftewel de koolstof/stikstof verhouding heeft invloed op de methaanvorming. Bij teveel stikstof of koolstof zal de koolstof of stikstof te snel zijn opgegeten door de bacteriën, waardoor de vergisting wordt vertraagd. De optimale C/N verhouding is tussen de 20 tot 30 kg koolstof op 1 kg stikstof, waarbij de vergistingsreactie het snelst verloopt.[7,9]

### 2.5.4 Procesremmende stoffen

Verontreiniging in de grondstoffen kunnen een nadelig effect hebben op de methaanvergistingproducten. Zo kan de grondstof vervuild zijn met:

- Medicijnen (antibiotica)
- Ionen van zware metalen
- Hoge concentraties anorganische ionen
- Synthetische detergentia
- Sulfiden

De medicijnen hebben een negatief effect op het vergistingsproces waardoor deze trager verloopt.

Zware metalen hebben een vervuילend effect op het digestaat en mogen in de vergister slechts in kleine concentraties (minder dan enkele mg/l) voorkomen. Voorbeelden van ionen van zware metalen zijn:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  en  $\text{Pb}^{2+}$ .

De methaanbacteriën hebben een optimale activiteit bij een kleine concentratie aan anorganische ionen. Zoals  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  en  $\text{NH}_4^+$ .

Ion:	Stimuleren:	Matig remmend:	Sterk remmend:
$\text{Na}^+$	100-200 ppm	3.500-5.500 ppm	>8.000 ppm
$\text{K}^+$	200-400 ppm	2.500-4.500 ppm	>12.000 ppm
$\text{Ca}^{2+}$	100-200 ppm	2.500-4.500 ppm	>8.000 ppm
$\text{Mg}^{2+}$	75-150 ppm	1.000-1.500 ppm	>3.000 ppm
$\text{NH}_4^+$	50-200 ppm	1.500-3.000 ppm	>3.000 ppm
$\text{S}^{2-}$		<200 ppm	>200 ppm

Tabel 2: invloed van aantal ionen op het vergistingsproces.[7]

# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

De waardes bij een matig remmend effect zijn alleen van toepassing bij een niet stootsgewijze toepassing, waardoor de methaanbacteriën zich kunnen aanpassen. De remmende werking van verschillende anorganische ionen kan door toevoeging van andere ionen worden opgeheven. Bijvoorbeeld kan er bij een te hoge en dus remmende werking van  $\text{Na}^+$  wat  $\text{K}^+$  worden toegevoegd om de remmende werking op de methaanbacteriën op te heffen.[7,9]

### 2.5.5 Reactortechnologie

Het droge-stof (d.s.) gehalte ook wel total solids (TS) genoemd is de hoeveelheid massa die overblijft na het drogen bij een temperatuur van 103-105°C. Het vochtgehalte is de hoeveelheid massa die verdampt bij het drogen bij een temperatuur van 103-105°C. Het droge stof gehalte mag bij een PFR maximaal 15m% zijn en bij een CISTR maximaal tussen de 8 en 10m% zijn.

De droge stof kan ingedeeld worden in as en organische stoffen. Organische stoffen zijn de stoffen die na een verbranding van 550°C worden verbrand en as is de stof die daarbij overblijft. Organische stoffen kunnen grotendeels vergist worden. Het as kan echter niet vergist worden.

### 2.5.6 Homogenisering

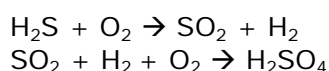
De reactor moet gehomogeniseerd zijn. Dit kan op verschillende wijze plaatsvinden en is afhankelijk van de grondstoffen.

Voor de homogenisering kan bijvoorbeeld gebruikt worden gemaakt van indraaiende vijzels, een PFR (plug flow reactor) of een tank met een roerwerk.

Homogenisering heeft als voordeel dat er geen drijfslaag bovenop het mengsel van de reactor komt. Waardoor het biogas niet meer kan ontsnappen. Ook worden de bacterieconcentraties en hun afvalstoffen zoveel mogelijk verspreid voor een optimale bacteriegroei.

## 2.5 Biogas behandeling en opslag

Na de vorming van biogas bevat dit biogas een aantal ongewenste stoffen zoals  $\text{H}_2\text{S}$  (waterstofsulfide) en water. Deze stoffen brengen bij te hoge concentraties schade in de vorm van corrosie toe aan een toepasbare warmtekrachtkoppeling (WKK), die zorgt voor opwekken van stroom. Dus moet het gas worden gereinigd. Ook kan biogas worden opgewerkt tot groen gas als vervanger voor aardgas. Hierbij is  $\text{H}_2\text{S}$  ongewenst en moet worden verwijderd, dit bijvoorbeeld door toevoeging van zuurstof tot de reactie van zwavelzuur.[2]

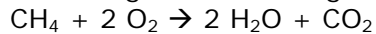


Door de toevoeging van zuurstof kan een explosief mengsel ontstaan, wat zeer ongewenst is.

Het gevormde biogas wordt gebufferd in de gaskap. Hier wordt de buffering van biogas geregeld door een niveauregeling die er voor zorgt dat het biogas met een constante flow wordt toegevoerd naar een WKK of voor eventueel verwerking voor groen gas.

In de WKK wordt methaangas verbrand. De motor draait een constant toerental en drijft een generator aan. Deze generator produceert elektriciteit, doordat het een verbrandingsmotor is komt er ook warmte vrij. Deze warmte kan in het proces worden gebruikt voor het verwarmen van de vergister of andere locaties. Doordat er een verbrandingsproces plaats vindt wordt er CO<sub>2</sub> geproduceerd, dit kan gebruikt worden in bijvoorbeeld groente en fruit kassen voor het stimuleren van de groei.

Methaangas verbrandingsreactie in de WKK:



In bepaalde situaties kan ervoor gekozen worden om het biogas niet om te zetten naar elektriciteit maar om biogas op de locatie een behandeling te geven zodat het geschikt gemaakt wordt voor toepassing als groen gas. Dit wordt vaak opgemengd in het reguliere gasnet. Ballast Nedam is een bedrijf binnen het BIC dat de mogelijkheden wil exploiteren van groen gas.

## 2.6 Digestaat

Na het voltooien van de productie van biogas blijft er een gedeelte aan organische stof (waaronder dode bacteriën) over. Dit overblijfsel noemt men digestaat. Dit digestaat wordt gescheiden door bijvoorbeeld een decanter tot een dunne en een dikke fractie.

De dunne fractie kan worden teruggevoerd naar het begin van het proces, hier kunnen de aanwezige bacteriën worden gebruikt voor een stabiele procesvoering. Ook kan de dunne fractie verder gezuiverd worden waarbij het water dat bij de scheiding vrijkomt, kan worden geloosd. De dunne fractie bestaat namelijk grotendeels uit water.

De dikke fractie kan worden gebruikt als meststofvervanger in de lanbouwindustrie. Het probleem is alleen dat dit wettelijk niet mag en wordt daarom afgevoerd naar Duitsland waar het wel als meststofvervanger mag worden gebruikt.

De samenstelling van de dikke fractie bestaat voor het grootste deel uit NPK's (=stikstof fosfaat en kalium), cellulose vezels en dode bacteriën. De NPK's kunnen worden gebruikt om het mineraal struviet te maken dat de volgende samenstelling heeft: (NH<sub>4</sub>)MgPO<sub>4</sub>·6(H<sub>2</sub>O) (=ammoniummagnesiumfosfaat). Struviet is tevens een meststofvervanger. [2], [10]

## 2.7 Verschil tussen “gewone” vergisting en co-vergisting

Het grootste verschil tussen co-vergisting en “gewone” vergisting is dat co-vergisting bestaat uit minimaal 50% dierlijke mest en voor de rest bestaat uit restproducten. Bij “gewone” vergisting wordt gebruik gemaakt van 100% restproducten. Mest is ook een restproduct maar hierbij worden onder “restproducten” goed vergistbare restproducten bedoeld oftewel organisch afval.

Bij deze twee verschillende technieken komen een aantal voor en nadelen kijken. Zo kan bij standaard vergisting gebruik worden gemaakt van alle producten waar biogas uit kan worden geproduceerd. Dit is bij co-vergisting niet het geval, hier moet altijd een verhouding van minimaal 50% dierlijke mest worden aangehouden. Hierbij komt ook dat niet alle restproducten mogen worden gebruikt. De te gebruiken producten staan beschreven in een positieve lijst, deze gebruikt men voor het verwezenlijken van een digestaat met een samenstelling die voor meststof in de landbouwsector kan worden gebruikt. Dit is bepaald aan de hand van wetgeving.

## Adviesrapport

### Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

Dit is bij het digestaat van standaard vergisting niet het geval, dit digestaat wordt niet gezien als een bruikbaar verantwoord voeding supplement waardoor dit weer een nadeel is.

De energiewaarde van co- vergisting is kleiner dan bij standaard vergisting. Dit komt door de toevoeging van drijfmest, deze heeft een kleinere energiewaarde dan de standaard voedingsstoffen. Hierdoor ontstaat een verschil in rendement en biogasopbrengst. Bijlage 7 geeft verschillende reststromen weer en de hierbij behorende hoeveel  $m^3$  biogas uit een ton restproducenten. [2]

In hoofdstuk 5 is een PFD en een massa-energiebalans te vinden over het algemene vergistingsproces.

### 3. Cambi

In dit hoofdstuk wordt het Cambi THP proces toegelicht.

#### 3.1 Algemeen

Cambi is een Noors bedrijf wat zich hoofdzakelijk concentreert op slibverwerking en GFT-afvalverwerking. Voor het verwerken van deze reststromen heeft Cambi het THP proces (Thermal Hydrolysis Process) ontwikkeld. Dit THP proces wordt voornamelijk toegepast in de slibverwerking. In de slibverwerking zijn er momenteel 17 commerciële slibverwerkingsplants in werking. Cambi heeft op dit moment twee commerciële vergisters die met het THP proces GFT-afval vergisten.

De commerciële processen waar het THP proces is geïntegreerd, worden hoofdzakelijk toegepast bij overheids en gemeentelijke instanties.

De commerciële processen waarin met het THP proces wordt gewerkt, worden hoofdzakelijk toegepast bij overheids en gemeentelijke instanties. Dit komt omdat de overheid en gemeentelijke instanties grote hoeveelheid aanvoer van slib hebben (>300.000 ton/jaar) en het THP proces pas rendabel is bij zulke grote hoeveelheden. Cambi heeft al veel onderzoek gedaan naar het THP proces en heeft ook bewezen dat het THP proces werkt voor de verwerking van slib. Dit geeft de overheid en gemeentelijke instanties een (financiële) zekerheid voor de verwerking van slib met het THP proces.

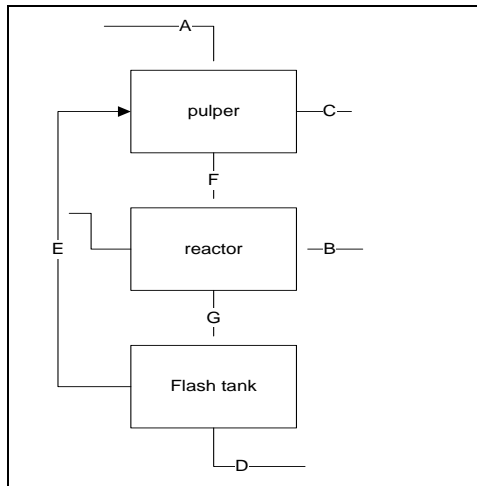
Bij de slibverwerking en GFT-afvalverwerking wordt organisch materiaal verwerkt, uit dit organisch materiaal met een bepaald drogestofgehalte worden meerdere producten gewonnen. Dit zijn onder andere; biogas, elektriciteit, water en warmte. Door toepassing van het THP proces worden de opbrengsten van deze producten verhoogd.

Naast 17 commerciële slibverwerking plants die gevestigd zijn over heel de wereld, heeft Cambi ook 2 commerciële GFT-afvalverwerkings plants. Deze zijn gevestigd in Verdal en Lillehammer te Noorwegen. Hier wordt uitsluitend GFTafval verwerkt. Net als bij de slibverwerking wordt er organische materiaal verwerkt en omgezet tot dezelfde producten als hiervoor genoemd.

In Noorwegen is de energieprijzen relatief laag, dit komt door het hoge aanbod aan energie. Door de lage energieprijzen, is het doel dan ook hoofdzakelijk verwerking van de reststromen. Dit geldt zowel voor slibverwerking als GFT-afval verwerking in Noorwegen.

### 3.2 THP proces

Het THP proces is opgedeeld in 3 gedeeltes, bestaande uit een pulper (voorverwarmer), een reactor en een flash tank. In deze volgorde stroomt het organische restproduct door het proces. Hieronder staat het THP proces visueel getekend, met de stromen genummerd. In bijlage 6 zijn de PFD's (=proces flow diagram) te vinden van het Cambi proces.



**Figuur 4: flowschema THP proces**

Nadat het organische restproduct gehomogeniseerd is door middel van bijvoorbeeld mixen, stroomt het organische restproduct naar het THP proces. Hier komt stroom [A] in de pulper(s) binnen, de samenstelling van stroom [A] bestaat uit een drogestofgehalte die tussen de 10-20m% ligt. In de pulper(s) wordt het organische restproduct voorverwarmd tot een temperatuur van 97°C, dit met de warmte die vrijkomt bij de reactor(s) en flashtank [E] gedurende 90 minuten. In de pulper(s) wordt al het ontstane proces gas [C] uit het THP proces afgevoerd naar het vergistingsproces.

Na de voorverwarming in de pulper(s) stroomt het gehomogeniseerde organische restproduct [F] naar de reactor(s), hier wordt het organische restproduct blootgesteld aan thermische hydrolyse. Dit bij een verzadigde stoom [B] temperatuur van 165°C en druk van 6 bar, bij een contacttijd van 20-30 minuten. Na deze behandeling is de viscositeit en het aantal natuurlijke polymeren van het organische restproduct fors gedaald. Na deze behandeling stroomt het gesteriliseerde en gepasteuriseerde restproduct [G] naar de flashtank(s), hier wordt de cel structuur verder afgebroken door een gecreëerd drukverschil. Door dit drukverschil ontstaat een stoomexplosie, deze stoomexplosie breekt de natuurlijke polymeren verder af. Dit gedurende 90 minuten, bij een temperatuur van 100°C die wordt bereikt door afvoer van warme damp naar de pulper(s).

Na de flashtank(s) wordt het organische restproduct [D] met een drogestofgehalte van 10-12m% gekoeld naar de temperatuur die nodig is in het vergistingsproces, waarna het kan worden vergist.



### 3.3 Procestechnische selectiviteit van het THP proces

Door gebruik te maken van het THP proces wordt er een hoog percentage aan organisch materiaal afgebroken. Hierdoor wordt het contactoppervlak van de micro-organismen in het organische materiaal vergroot. Door de vergroting van het contactoppervlak kunnen de micro-organismen meer organische materiaal omzetten in biogas. Dit is één van de belangrijke voordelen van het THP proces, maar er zijn meerdere factoren die worden beïnvloed door deze methode. Deze verschillende factoren worden hieronder benoemd.

Biogas productie:

- Hoge kwaliteit aan biogas want er ontstaat een hoge concentratie aan methaan (CH<sub>4</sub>).
- Ideaal voor groene stroom, autobrandstof en vervanger van huishoudelijk gas.

Ontwaterbaarheid digestaat:

- Een goede ontwaterbaarheid tot ongeveer 40% aan droge stof.
- Minder digestaat waardoor minder verwerkingskosten.
- Afname aan verdampingswarmte voor drogen van digestaat.
- Betere compostering digestaat.

Pasteurisatie:

- Door de warmte behandeling bij 165°C voor 20-30 minuten, worden bacteriën, schimmels en virussen gedood.
- Geen hergroei of reactivering van bacteriën na ontwatering.
- Hoge conversie organische stof geeft weinig reuk.

Energie efficiënt:

- Maximaal hergebruik van stoom in het THP proces.
- Verhoging invoer drogestofgehalte.
- Energieverbruik voor pasteuriseren is dus minder dan conventionele technieken.
- Door het gebruik van directe stoom injectie is er geen kans op verstoppingen bij de warmtewisselaars.

Vergisting:

- Verlaging van de viscositeit.
- Voeding vergister heeft een drogestofgehalte van 8 tot 12m% droge stof.
- Verhoging vergister capaciteit met 2-3 keer.
- Geen schuimvorming door het elimineren van de filamentous bacterie.
- Een stabiele en hoge pH rond de 7.5-8.

Soorten materialen:

- GFT-afval.
- Organische reststoffen van de levensmiddelen industrie.
- Slachtafval categorie 2,3.
- Ander biologische afval van bijvoorbeeld de agrarische sector.

Ruimte:

- Het THP proces neemt relatief weinig ruimte in beslag.
- Hierdoor is het makkelijk te integreren in een bestaand proces (zie bijlage 6).

## Adviesrapport

Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

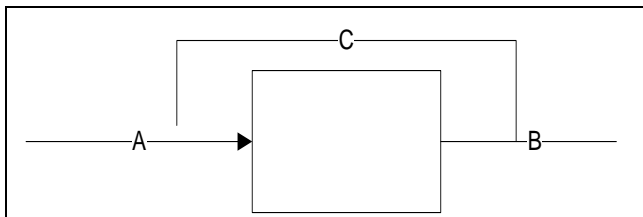
### 3.4 Massabalans Cambi

In onderstaande massabalans is een weergave van de Cambi plant gevestigd in Lillehammer te Noorwegen.

Ingaand restproduct:

- Gescheiden huishoudelijk afval.
- Voedsel resten industrie.

Capaciteit: 14.000 ton/jaar



**Figuur 5: flowsheet Lillehammer plant**

Massabalans per 1.000 Kg [A] toevoer:

- 380 Kg terugvoer [C]
- 150 Kg digestaat [B]
- 300 kWh elektriciteit
- CZV (chemische zuurstof verbruik) 68%
- Fermenteerbare organische stof 70%

## 4. Turbotec proces

In dit hoofdstuk wordt toelichting gegeven op het TurboTec systeem van Sustec.

### 4.1 Algemene informatie

Sustec gevestigd te Wageningen, is een bedrijf wat zich richt op duurzame verwerking van bioafval. Hier moet gedacht worden aan terugwinnen van energie en grondstoffen uit afvalstromen.

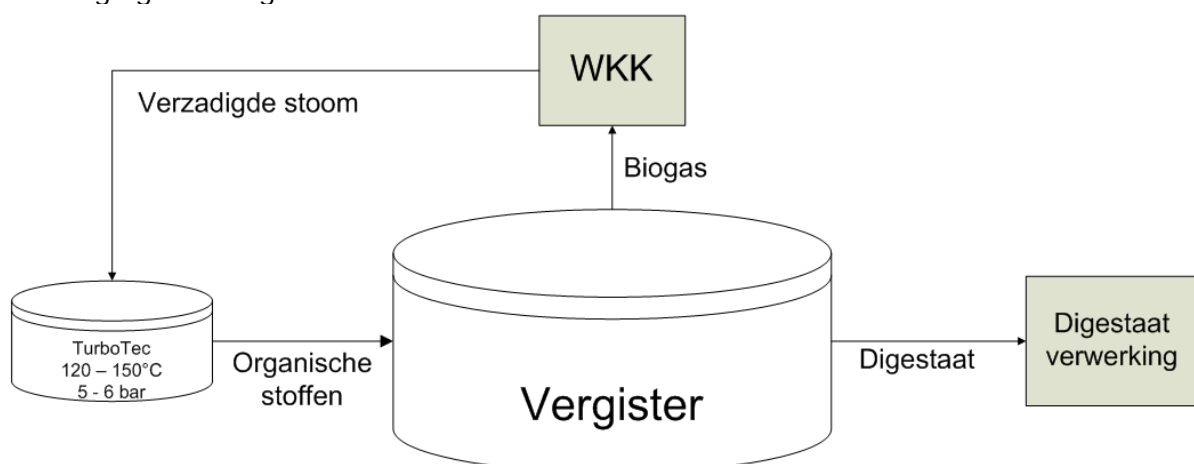
Voor de verwerking van afvalstromen heeft Sustec meerdere processen ontwikkeld. Waarbij ieder proces een andere werking op afvalstromen of afvalwater. Hieronder staan de verschillende verwerkingsprocessen van afvalstromen opgesomd met daarachter de door Sustec ontwikkelde processen.

- Biomassa ontsluiting (TurboTec)
- Anaerobe technologie (FarmaTec)
- Scheiding technologie (SepaTech)
- Nutriënten terugwinning (NutriTec)
- Membraanfiltratie (MembraTec)

Het eerst genoemde systeem wat voor biomassa ontsluiting wordt toegepast is het TurboTec systeem. Dit wordt toegepast in verwerkings en vergistingstechnieken. Door het onderzoek naar innovatieve vergistingstechnieken is er nader onderzoek gedaan naar dit systeem. Hier wordt aangetoond hoe het systeem werkt en of het rendabel is om te gebruiken in een vergistingsproces met een agro voedingsstrom. In bijlage 7 is een PFD te zien van het TurboTec proces.[14]

### 4.2 Procesbeschrijving

Het TurboTec systeem is een voorbehandelingsproces. In dit voorbehandelingsproces wordt organische stof afgebroken door middel van hydrolyse. De organische stof wordt afgebroken door het in contact te brengen met verzadigde stoom van 5 tot 6 bar en een toevoeging van loog.



Figuur 6: Processchema van het TurboTec systeem.

Door direct contact met de reststroom, wordt de organische stof beter afgebroken. Dit door de hoge temperatuur, druk en de toevoeging van loog. Het in contact brengen van verzadigde stoom en additieven met de afvalstromen, wordt uitgevoerd in een reactorvat. Het verzadigde stoom heeft als doel een hoge temperatuur teweeg te brengen. Dit wordt niet gedaan met een warmtewisselaar omdat deze erg snel vervuild zal raken.

De organische stof bevat lignine, deze lignine houdt de cellulose bij elkaar. Door toevoeging van verzadigde stoom en een goedkoop loog wordt de lignine opengeboken. Wanneer de lignine is opengeboken, ontstaat er een groter contactoppervlak voor vergisting. Dit houdt in dat de micro-organismen die in de vergister aanwezig zijn makkelijker, sneller en meer organische stof kunnen omzetten in biogas. In het vervolg van dit adviesrapport zijn deze resultaten getoond.

Het gevormde biogas wordt gebruikt voor een WKK (warmte-krachtkoppeling), in deze WKK wordt het biogas verbrandt waarbij energie ontstaat in de vorm van warmte en elektriciteit. Deze vrijgekomen warmte zit in de rookgassen en wordt vervolgens gebruikt voor de vorming van verzadigde stoom van 5-6 bar. Deze stoom wordt gebruikt in het TurboTec systeem, de warmte van rookgassen wordt ook toegepast als voorverwarming voor de voeding. In bijlage 7 is het blokschema opgesteld. [17],[18],[19],[21]

### 4.3 Movable demoplant

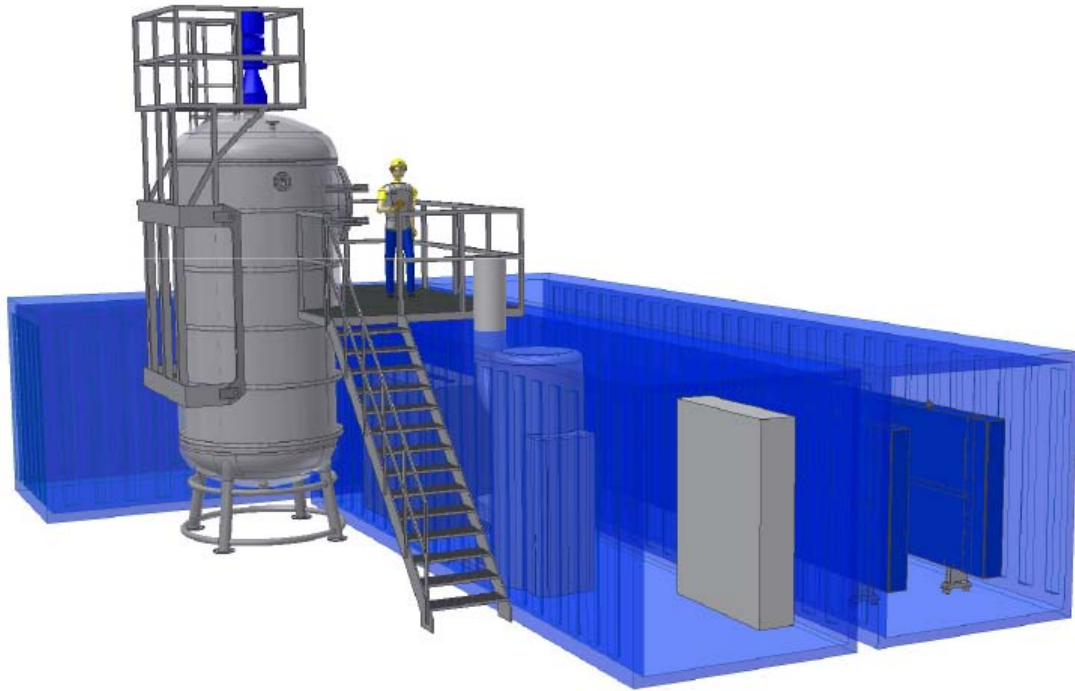
Het TurboTec systeem wordt nog niet toegepast in conventionele vergisters, bijvoorbeeld voor GFT-afval verwerking of co-vergisting. Wel worden er op pilot niveau testen uitgevoerd, deze testen vinden plaats bij Waterschapsbedrijf Limburg. Hier is het TurboTec systeem toegepast in een RWZI (=rioolwaterzuiveringsinstallatie), dit voor de verwerking van slib.

Doordat het Waterschapsbedrijf Limburg momenteel de enige referentie is voor het TurboTec systeem is er een movable demoplant ontwikkeld. Deze movable demoplant met een capaciteit van 6 tot 10 m<sup>3</sup>/h, bestaat uit drie containers waar het turbotec systeem in is geïnstalleerd. De movable plant bevat de volgende proceselementen:

- Warmtewisselaars
- Pompen
- Leidingwerk
- Reactor van 10 m<sup>3</sup>
- Bedieningsapparatuur

Doordat het een verplaatsbare(=movable) plant is kan het bij iedere conventionele vergister of RWZI worden geïntegreerd voor het uitvoeren van testen.

Hierdoor kunnen geïnteresseerde bedrijven de werking van het TurboTec systeem ondervinden en beoordelen. Dit zonder meteen in het TurboTec systeem te moeten investeren. [17],[18],[20]



Figuur 7: 3D tekening movable plant systeem

### 4.4 Effecten TurboTec systeem

Het Turbotec systeem zal de volgende effecten op het vergistingsproces:

- Hogere biogasproductie (20%-50% meer)
- Kortere verblijftijden (dus kleinere reactoren)
- Verbeterde ontwaterbaarheid (bij zuiveringsslib >30m% ds)
- Efficiëntere terugwinning van Stikstof en Fosfor uit het digestaat.

[17],[18]

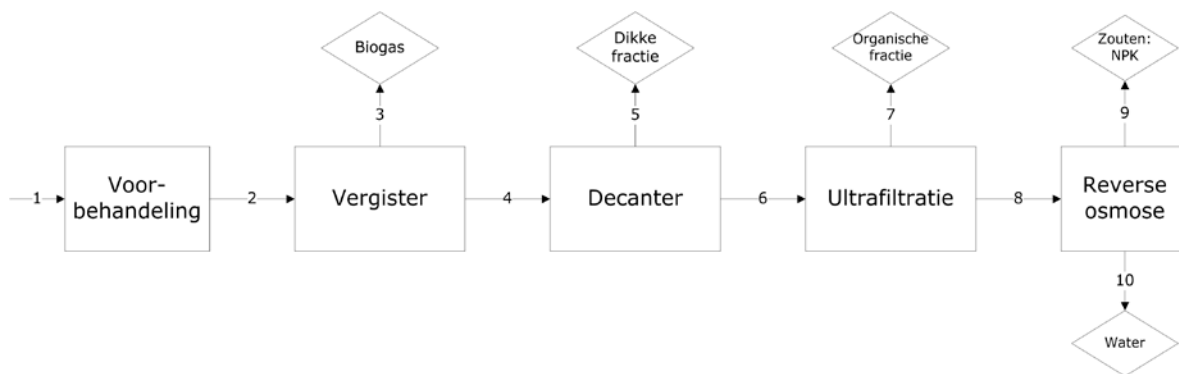
## 5. Massa- en Energiebalans

In dit hoofdstuk worden de massa- energiebalans nader toegelicht voor een conventionele vergistingsproces, conventionele vergistingsproces met Cambi THP voorbehandeling en conventionele vergistingsproces met Sustec TurboTec voorbehandeling.

### 5.1 Massabalans

In deze paragraaf worden de massabalansen toegelicht.

#### 5.1.1 Conventionele vergistingsproces



**Figuur 8: PFD conventioneel vergistingsproces.**

Alle massastromen voor de conventionele vergister zijn bepaald aan de hand metingen verricht bij Bewa Moerdijk. In de Excel bijlage zijn alle stromen voor het conventioneel vergistings proces berekend in een Excel-sheet.

Stroom 1 is de voeding van de vergistingsplant en bevat 15%ds. Er wordt 300.000 ton/jaar verwerkt. Uitgaande dat de installatie 8.000 uur per jaar in bedrijf is, wordt er 37,5 ton/u verwerkt. Deze stroom wordt eerst verhamert en daarna gehomogeniseerd in de "voorbehandeling".

De slugde (stroom 2) wordt continue naar de vergisters gevoerd en heeft dezelfde massadebiet als stroom 1.

Stroom 3 is het gevormde gas uit de vergisters, deze bestaat uit methaan en koolstofdioxide. Voor deze massastroom geldt dat 64m% van de ingaande droge stof wordt omzet in biogas.

Het digistaat (stroom 4) uit de vergisters wordt naar de decanter verpompt en het massadebiet is het verschil tussen stroom 2 en 3.

In de decanter wordt op verschil van dichtheid een dikke fractie afgescheiden. Van de invoer gaat 13m% naar de "dikke fractie". De rest gaat naar de dunne fractie.

Deze "dikke fractie" (stroom 5) bedraagt 4,4 ton/u en kan naar een afvalverwerking wordt gebracht voor verbranding of geëxporteerd worden naar het buitenland (bijvoorbeeld Duitsland) als meststofvervanger.

# Adviesrapport

## Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

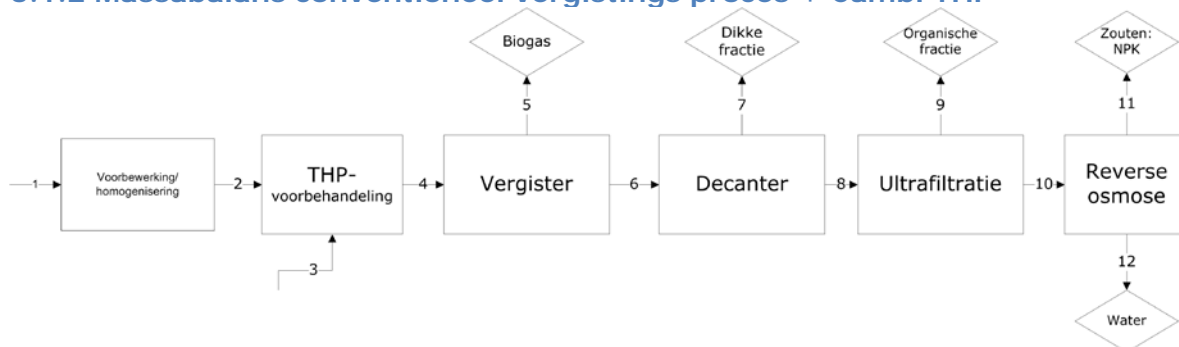
Stroom 6 bevat water met opgeloste organische stoffen en opgeloste zouten (NPK's: stikstof fosfaat en kalium).

De organische stoffen wordt in de ultrafiltratie verwijderd (stroom 7). Deze bedraagt 55m% van de invoer van de ultrafiltratie; 16,2 ton/u.

Hierna bevat stroom 8 nog opgeloste zouten, deze worden verwijderd in de reverse osmose (stroom 9). Stroom 9 is 45m% van de totale invoer en komt neer op 6 ton/u.

Hierna blijft nog water over dat onder andere nog ammoniak kan bevatten. De massastroom is 7,4 ton/u.

### 5.1.2 Massabalans conventioneel vergistings proces + Cambi THP



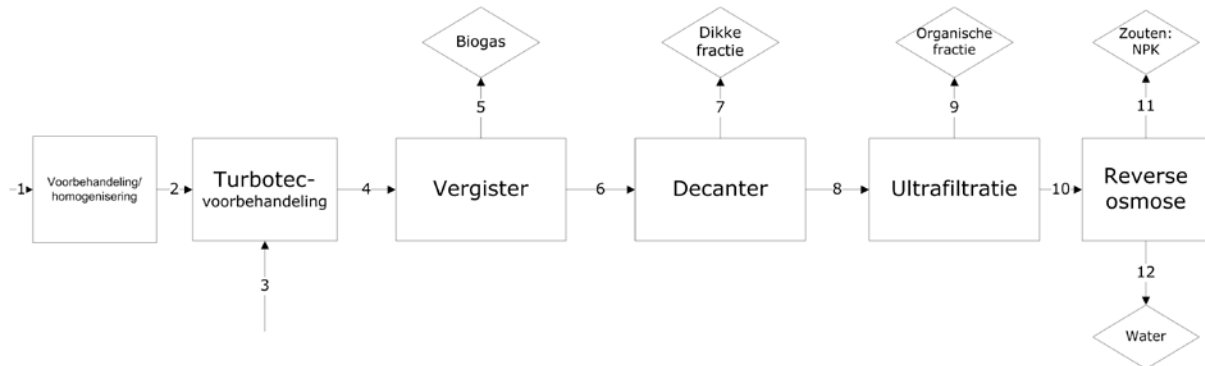
Figuur 9: PFD conventioneel vergistings proces + Cambi THP.

Alle massastromen zijn gelijk aan de massastromen in 5.1.1. Als extra voorbehandeling is Cambi THP proces opgenomen in de voorbehandeling. In de Excel bijlage zijn alle stromen van het conventioneel vergistings proces + Cambi THP berekend in een Excel-sheet.

In de THP-voorbehandeling wordt stoom direct in het proces toegevoegd. De benodigde stoom is 5,6 ton/u. Dit zorgt ervoor dat de DS omlaag gaat van 15,0% naar 13,0%. Ook zal er water ontsluiten, maar dit wordt in deze balans niet meegenomen.

Doordat er water (stoom) wordt toegevoegd zal dit voor extra digestaat zorgen. De hoeveelheden van stroom 7, 8, 9, 10, 11, 12 zijn percentages gemeten bij BEWA (13% dikke fractie 87% dunne fractie enz.). Deze percentages zullen in de praktijk hoogstwaarschijnlijk veranderen als de ds verlaagd word. Deze verandering is niet mee genomen in deze balans.

### 5.1.3 Massabalans conventioneel vergistings proces + Sustec TurboTec



**Figuur 10: PFD conventioneel vergistings proces + TurboTec.**

Alle massastromen zijn gelijk aan de massastromen in 5.1.1. Als extra voorbehandeling is het Sustec TurboTec proces opgenomen in de voorbehandeling. In de TurboTec voorbehandeling wordt verzadigde stoom direct in het proces toegevoegd. De benodigde stoom is 5,6 ton/u. Dit zorgt ervoor dat de ds. omlaag gaat van 15m% naar 13,6m%. Ook zal er water ontsluiten, maar dit wordt in deze balans niet meegenomen.

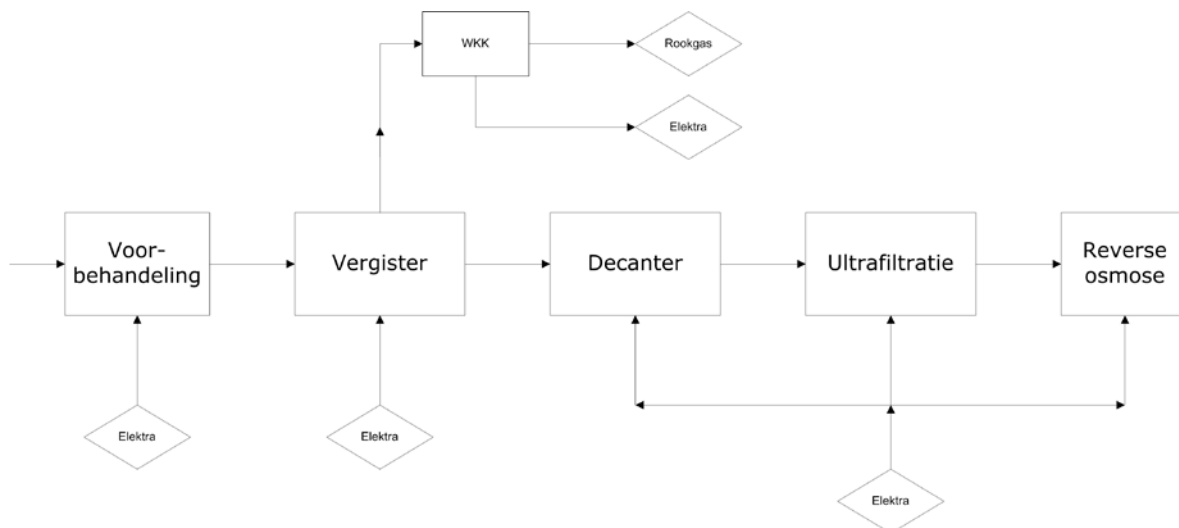
Doordat er water (stoom) wordt toegevoegd zal dit voor extra digestaat zorgen. De hoeveelheden van stroom 7, 8, 9, 10, 11, 12 zijn percentages gemeten bij Bewa (13m% dikke fractie 87m% dunne fractie enzovoort). Deze percentages zullen in de praktijk hoogstwaarschijnlijk veranderden als de ds verlaagd. Deze verandering is niet mee genomen in deze balans.



## 5.2 Energiebalansen

In deze paragraaf worden de energiebalansen toegelicht.

### 5.2.1 Energiebalans conventioneel vergistings proces



Figuur 11: Energiebalans conventionele vergistings proces.

De voorbehandeling verbruikt energie voor het verhameren en mengen van de voeding.

Om dit op te schalen wordt uitgegaan van extra hamermachines en mengtanks i.p.v. grotere units. BEWA Moerdijk verbruikt 16,7 kW om 2,5 ton/u te verwerken. Dit verbruik wordt lineair opgeschaald naar massadebiet van 37,5 ton/u:

$$\frac{16,6 \text{ kW}}{2,5 \frac{\text{ton}}{\text{u}}} \cdot 37,5 \frac{\text{ton}}{\text{u}} = 250 \text{ kW}$$

De vergisters hebben een verblijftijd van 80 dagen, hiervoor is een totaal volume van 80000 m<sup>3</sup> nodig:

$$\frac{30000 \frac{\text{ton}}{\text{jaar}}}{8000 \frac{\text{productie uren}}{\text{jaar}}} \cdot 24 \cdot 80 \text{ uren verblijftijd} \cdot 1,2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 86400 \text{ m}^3$$

Bewa Moerdijk verbruikt 13,3 kW voor één vergister van 1800 m<sup>3</sup> te mengen. Dit wordt lineair opgeschaald naar 86.400 m<sup>3</sup>:

$$\frac{13,3 \text{ kW}}{1800 \text{ m}^3} \cdot 86400 \text{ m}^3 = 640 \text{ kW}$$

## Adviesrapport

### Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

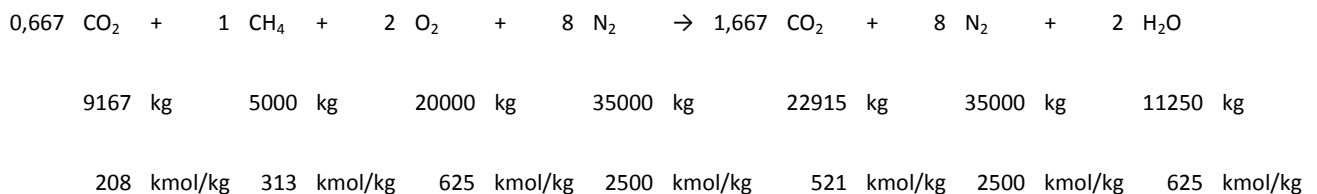
---

Uit meting bij Bewa is gebleken dat 64m% van de ds wordt omgezet naar biogas. Dit komt bij neer op 3,6 ton/u bij een voeding van 37,5 ton/u.

Uitgaand van 3 kW/m<sup>3</sup> biogas, met biogas productie van 3,6 ton/u en een dichtheid van 0,72 kg/m<sup>3</sup> wordt er 15 MW geproduceerd:

$$\frac{3600 \frac{kg}{u}}{0,72 \frac{kg}{m^3}} \cdot 3 \frac{kW}{m^3 \text{ biogas}} = 15 \text{ MW}$$

Ook ontstaat er warmte bij de WKK installatie. Deze warmte kan toegepast worden om andere (externe) processen om te warmen (bijvoorbeeld stoomketel, tank opslag, CV, enzovoort). Voor elke kg methaan dat verbrand wordt ontstaat 14 kg rookgas:



$$\frac{22915 \text{ kg} + 35000 \text{ kg} + 11250 \text{ kg}}{5000 \text{ kg}} = 14 \frac{\text{kg rookgas}}{\text{kg methaan}}$$

$$14 \frac{\text{kg rookgas}}{\text{kg methaan}} \cdot 3,6 \frac{\text{ton}}{\text{u}} \text{ biogas} \cdot 60\% \text{ methaan in biogas} = 30 \frac{\text{ton}}{\text{u}} \text{ rookgas}$$

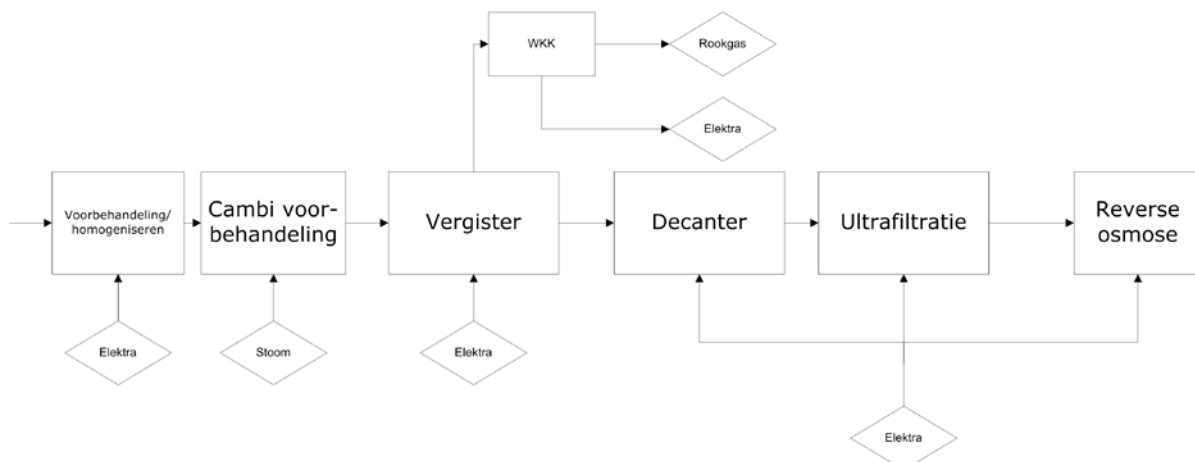
Uitgaand dat de rookgassen van 470°C naar 200°C worden afgekoeld en een warmte capaciteit heeft van 1,15 kJ/(kg·K) geeft dit 9,4 MW warmte:

$$30240 \frac{kg}{u} \cdot 1,15 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 270K = 9389520 \frac{kJ}{u} = 9390 \frac{MW}{u}$$

De decanter, ultra filtratie en reverse omose verbruiken bij BEWA 150 kW. Dit verbruikt wordt lineair opgeschaald. BEWA verwerkt 2,5 ton/u en in deze balans wordt 37,5 ton/u verwerkt, wat neer komt op een factor 15 verschil.

$$15 \cdot 150 \text{ kW} = 2250 \text{ kW}$$

### 5.2.2 Energiebalans conventioneel vergisting proces + Cambi THP



**Figuur 12: Energiebalans conventionele vergistings proces + Cambi THP.**

Bij het conventioneel vergistings proces met Cambi THP voorbehandeling wordt aangenomen dat het energieverbruik van de voorbehandeling gelijk is aan het proces zonder THP (zie 5.2.1).

Het THP proces heeft stoom nodig. De benodigde stoom is bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$m_{sludge} * C_{p,sludge} * \Delta T = m_{stoom} * C_{p,vapor}$$

$$37500 \frac{kg}{u} * 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (180 - 20) = m_{stoom} * \frac{2085 kJ}{kg}$$

$$m_{stoom} = 12781 kg \frac{stoom}{u}$$

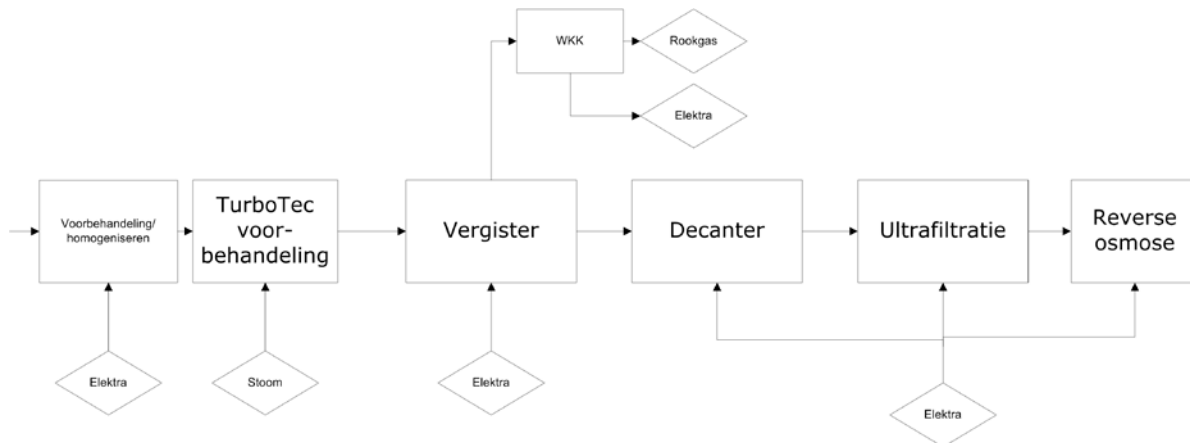
Het THP proces zorgt er mede voor dat er een kortere verblijftijd nodig is; 35 dagen in plaats van 80 dagen. Hierdoor zijn er minder fermentors nodig, een factor 0,4375 minder. Dit wordt vermenigvuldigd met het berekende verbruik voor het conventionele vergistingsproces:

$$0,4375 * 593 kW = 260 kW$$

Bij het toepassen van het THP proces wordt uitgegaan van een biogas toename van 15m% ten opzichte van het conventioneel vergistings proces. Hierdoor verhoogd de energieproductie en de warmteproductie; 17,25 MW stroom en 10.787 MW warmte.

De digestaatverwerking (decanter, ultrafiltratie en reverse omose) blijft gelijk aan dat van het conventioneel vergistings proces berekend in 5.2.1.

### 5.2.3 Energiebalans conventioneel vergisting proces + Sustec TurboTec



**Figuur 13: Energiebalans conventionele vergistings proces + Sustec TurboTec.**

Bij het conventioneel vergistings proces met het Sustec TurboTec voorbehandeling wordt aangenomen dat het energie verbruik van de voorhandeling gelijk is aan het proces zonder TurboTec (zie 5.2.1).

Het TurboTec proces heeft stoom nodig. De benodigde stoom is bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$m_{sludge} * C_{p,sludge} * \Delta T = m_{stoom} * C_{p,vapor}$$

$$37500 \frac{kg}{u} * 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (150 - 20) = m_{stoom} * \frac{2085 kJ}{kg}$$

$$m_{stoom} = 9773 kg \frac{stoom}{u}$$

Het THP proces zorgt er mede voor dat er een kortere verblijftijd nodig is; 25 dagen in plaats van 80 dagen. Hierdoor zijn er minder fermentors nodig, een factor 0,3125 minder. Dit wordt vermenigvuldigd met het verbruik berekend voor het conventioneel vergistings proces:

$$0,3125 * 593 kW = 185 kW$$

Bij het toepassen van het TurboTec proces wordt uitgegaan van een biogas toename van 20% ten opzichte van het conventionele vergistingsproces. Hierdoor verhoogd de energieproductie en de warmteproductie; 18 MW stroom en 11.256 MW warmte.

De digestaatverwerking (decanter, ultrafiltratie en reverse osmose) blijft gelijk aan dat van het conventioneel vergistings proces berekend in 5.2.1.

## 6. Investeringskosten

In dit hoofdstuk worden de investeringskosten nader toegelicht voor een conventionele vergistingsproces, conventionele vergistingsproces met Cambi THP voorbehandeling en conventionele vergistingsproces met Sustec TurboTec voorbehandeling.

### 6.1 Investeringskosten Conventionele vergistings proces

Bewa Moerdijk heeft een voorbehandelingsinstallatie van 50 m<sup>3</sup>. Deze kan lineair worden opgeschaald omdat grotere units niet mogelijk zijn, dus een parallel schakeling van meerdere installatie. Uitgaand dat één 50 m<sup>3</sup> installatie € 30.000,- kost.

Deze balans verwerkt 15 keer zoveel als Bewa Moerdijk, hierdoor komen de kosten op € 450 000,- voor de voorbewerking.

De vergisters hebben een verblijftijd van 80 dagen, hiervoor is een totaal volume van 80000 m<sup>3</sup> nodig:

$$\frac{300000 \frac{\text{ton}}{\text{jaar}}}{8000 \frac{\text{productie uren}}{\text{jaar}}} \cdot 24 \text{ u} \cdot 80 \text{ dagen verblijftijd} \cdot 1,2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 86400 \text{ m}^3$$

Een fermentor van 1.800 m<sup>3</sup> wordt geschat op € 450.000,-. Om 86.400 m<sup>3</sup> te realiseren zijn 48 fermentors nodig, want neer komt op een totale investering van:

€ 21.600.000,-

De kosten voor de decanter worden geraamd op € 900 000,-.

De kosten van UF en RO van BEWA moerdijk zijn € 661 000,-. Deze worden met de volgende formule opgeschaald:

$$\left( \frac{\text{prijs proces 1}}{\text{prijs proces 2}} \right)^{0,9} = \left( \frac{\text{capaciteit proces 1}}{\text{capaciteit proces 2}} \right)$$

Dit geeft een investering van:

€ 7 800 000,-.

Het totale bedrag wordt vermenigvuldigd met 1,2 om de kosten voor leidingwerk en appendages mee te ramen. Dit geeft een totale investering van:

**€ 37 mln**

## Adviesrapport

Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

### 6.2 Investeringskosten conventioneel vergistings proces + Cambi THP

De investering voor de voorbehandeling bedraagt hetzelfde als bij het conventioneel vergistings proces; € 450 000,-.

De kosten van het Cambi THP proces zijn als volgt geraamd:

kosten Cambi THP	
3	reactoren
€ 28.000	per reactor
€ 84.000	voor 3 reactoren
€ 51.000	pulper
€ 21.000	flash-vat
€ 670.000	stoomketel
€ 826.000	totaal

**Tabel 3: Kosten Cambi THP**

De totale kosten voor het Cambi THP proces zijn:

€ 826.000,-

Door de kortere verblijftijd zijn er minder vergisters nodig:

$$\frac{35 \text{ dagen}}{80 \text{ dagen}} \cdot € 21,6 \text{ mln} = € 9 500 000,-$$

De kosten voor de decanter zijn gelijk aan de investering bij het conventioneel vergistings proces;

€ 900 000,-.

De kosten van de ultra filtratie en reverse omose zijn gelijk aan de investering bij het conventioneel vergistings proces;

€ 7 800 000,-

Het totale bedrag wordt vermenigvuldigd met 1,2 om de kosten voor leidingwerk en appendages te ramen. Dit geeft een totale investering van:

**€ 23 mln**

## Adviesrapport

Innovatieve vergisting

Projectgroep BUS

---

### 6.3 Investeringskosten conventioneel vergistings proces + Sustec THP

De investering voor de voorbehandeling bedraagt hetzelfde als bij het conventioneel vergistings proces; € 450.000,-.

De kosten van het Sustec TurboTec proces zijn als volgt geraamd:

Kosten Sustec TurboTec	
€ 300.000	/1000 m <sup>3</sup>
€ 21.000	
€ 670.000	stoomketel
€ 691.000	totaal

Tabel 4: Kosten Sustec TurboTec.

De totale kosten voor het Sustec TurboTec proces zijn:

€ 691.000,-

Door de kortere verblijftijd zijn er minder vergisters nodig:

$\frac{25 \text{ dagen}}{80 \text{ dagen}} \cdot € 21,6 \text{ mln} = € 6 750 000,-$

De kosten voor de decanter zijn gelijk aan de investering bij het conventioneel vergistings proces;  
€ 900.000,-.

De kosten van de ultra filtratie en reverse omose zijn gelijk aan de investering bij het conventioneel vergistings proces;

€ 7.800.000,-

Het totale bedrag wordt vermenigvuldigd met 1,2 om de kosten voor leidingwerk en appendages te ramen. Dit geeft een totale investering van:

**€ 20 mln**

## 7. Conclusies & aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn alle conclusies & aanbevelingen van het BUS-project beschreven.

### 7.1 Conclusies

De conclusies worden uit de massa- en energiebalansen op gemaakt. In tabel 5 zijn de belangrijkste gegevens van de verschillende processen tegen over elkaar gezet.

300.000 ton/jaar	Verblijftijd [dagen]	Energieverbruik [kW]	Gasopbrengst [m <sup>3</sup> /h]	Energieopbrengst [kW]	Digestaat [ton/h]	Investering [€]
Conventioneel	80	2140	5000	15000	34	€37 mln
Conventioneel + Cambi THP	35	1780	5750	17250	37	€23 mln
Conventioneel + TurboTec	25	1700	6000	18000	43	€20 mln

Tabel 5: Overzicht rendement van alle processen.

#### 7.1.1 Energieverbruik

Door de grote verschillen in verblijftijden is er een verschil in energie verbruik. Er zijn namelijk minder fermentoren nodig, dus minder mengenergie.

Het conventioneel proces heeft het hoogste energieverbruik. Het proces waar Cambi THP en Sustec TurboTec wordt toegepast heeft beduidend een lager verbruik. Hierbij moet wel vermeld worden dat de benodigde energie (stoom) wordt opgewekt uit de rookgassen van de WKK. Heeft men voor de warmte van de WKK andere doeleinden dan zal het verbruik veranderen. Dit is weergegeven in tabel 6.

300.000 ton/jaar	Verblijftijd [dagen]	Energieverbruik [kW]	Gasopbrengst [m <sup>3</sup> /h]	Energieopbrengst [kW]	Digestaat [ton/h]	Investering [€]
Conventioneel	80	2140	5000	15000	34	37mln
Conventioneel + Cambi THP	35	8930	5750	17250	37	23mln
Conventioneel + TurboTec	25	7360	6000	18000	43	20mln

Tabel 6: Overzicht rendement van alle processen (zonder stoom uit WKK).

Hierdoor verandert het energieverbruik enorm. Er moet dus gekeken worden of er al een bestemming is voor de warmte van de WKK. Let wel dat de stoomproductie voor THP en TurboTec niet alle warmte opeist.

#### 7.1.2 Investering

Ook bij de investering heeft de lagere verblijftijd een positief effect. Doordat er veel minder fermentoren nodig zijn is de investering veel lager. Kosten voor een productie plant met TurboTec is bijna de helft minder dan de kosten voor een conventionele vergistingsinstallatie.

#### 7.1.3 Gastoename

De gastoenames zijn schattingen, hier kunnen geen conclusie uit opgemaakt worden.



## 7.2 Aanbevelingen

De aanbevelingen worden gegeven aan de hand van eigen ervaring en kennis van het BUS-projectteam.

### 7.2.1 Kies innovatief

De massa- en energiebalans geven aan dat een keuze voor een innovatieve voorbewerking loont. Aangezien er veel minder fermentoren nodig zijn om dezelfde (of meer) hoeveelheid biogas te produceren.

### 7.2.2 Verder onderzoek

Om de biogastoename te bepalen per voedingsstroom is verder onderzoek nodig. Er moet op LAB- en/of pilotschaal gekeken worden welke toenames kunnen worden bereikt. In de Excel-sheet zijn de gastoenames te veranderen. Deze zijn dus te gebruiken om zo een nieuwe vergelijking te maken tussen de 3 processen wanneer men de specifieke gastoename weet.

### 7.2.3 Digestaat

Ook moet worden onderzocht welke effect de voorbehandelingsprocessen (Cambi THP en Sustec TurboTec) hebben op het digestaat. Pilotplants die slib vergisten met THP en TurboTec hebben aangetoond dat het digestaat een veel lagere viscositeit heeft. Dit zal een positief effect kunnen hebben op de digestaatverwerking.

### 7.2.4 Blijf innovatie onderzoeken

In de ogen van de BUS-project leden is het vergisten in één soort reactor niet efficiënt. In het vergistingsproces zijn er 4 stappen die elk andere ideale procescondities hebben (bijvoorbeeld de pH). De BUS-project leden raden het BIC aan om Avans-studenten onderzoek te laten doen naar de mogelijkheid om het vergistingsproces in meerdere verschillen reactoren uit te voeren. De hypothese is dat hierdoor het rendement ophoog zal gaan.

Om meerdere innovatieve technieken te kunnen onderzoeken is het aanschaffen van een pilotplant noodzakelijk. De BUS-projectgroep adviseert het BIC gezamenlijk een pilotplant aan te schaffen, zodat men hier mee onderzoek kan uitvoeren en zo de doelstelling bereikt om Europees koploper te worden in methaanvergisting.

## Literatuurlijst

### Algemene vergisting

- [1] Wikipedia. Hydrolyse. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Hydrolyse>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [2] OGIN Biogas. Vergistingstechnieken. <http://www.ogin.nl/techniek.php?taalid=1>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [3] 4 green energy 2. Mestvergisting. <http://www.biogas.nl/mestvergisting/>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [4] Verslag van Jan Bathoorn. BIOGAS. <http://www.pastanks.nl/Bioverslag.htm>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [5] Wikipedia. Aeroob. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Aeroob>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [6] Wikipedia. Anaeroob. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Anaeroob>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [7] Craens, J. (1981). Methaangisting: Energie uit mest en afval. 5e dr. Boxtel: DKA.
- [8] Witlox, K. (2007). Anaërobe vergisting van bietenpulp. Breda: Suiker Unie Centraal Laboratorium
- [9] De biogassector in kaart: kansen en bedreigingen voor Hedimix als co-product leverancier. <http://edepot.wur.nl/3786>. Geraadpleegd op 29 juni 2010.
- [10] Wikipedia. Struviet. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Struviet>. Geraadpleegd op 29 juni 2010.

### Cambi

- [11] The green loop: Bio-waste in-energy and fertiliser out. Cambi.
- [12] Turbochaerge your digester: Technology for enhanced anaerobic digestion of municipal and industrial sludge. Cambi.
- [13] Cambi. <http://www.cambi.no/wip4/>. Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [14] The CAMBI Process: CAMBI Anaerobic Digestion Process. [http://www.anaerobic-digestion.com/html/cambi\\_anaerobic\\_digestion\\_proc.php](http://www.anaerobic-digestion.com/html/cambi_anaerobic_digestion_proc.php). Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [15] Ringoot D. interview gesprek
- [16] Wikipedia. Chemisch zuurstofverbruik. [http://nl.wikipedia.org/wiki/Chemisch\\_zuurstofverbruik](http://nl.wikipedia.org/wiki/Chemisch_zuurstofverbruik). Geraadpleegd op 1 juli 2010.

### SusTec

- [17] Sustec. TurboTec. [http://www.sustec.nl/NL/processen\\_TurboTec.html](http://www.sustec.nl/NL/processen_TurboTec.html). Geraadpleegd op 18 juni 2010.
- [18] van Dijk, L. (2010). Interviewgesprek en presentatie verkregen.
- [19] Wikipedia. Lignine. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Lignine>. Geraadpleegd op 1 juli 2010.
- [20] Welkom bij Waterschapsbedrijf Limburg. <http://www.wbl.nl/>. Geraadpleegd op 1 juli 2010.
- [21] Wikipedia. Warmtekrachtkoppeling. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Warmtekrachtkoppeling>. Geraadpleegd op 1 juli 2010.

### Bijlage 1: Bezoek aan Bieleveld te Heeten

Bieleveld is een bedrijf dat vergistingsinstallaties bouwt en exploiteert. Deze vergistingsinstallaties produceren biogas dat verbrandt wordt in een warmtekrachtkoppeling die hiervan elektra opwekt. Bieleveld heeft zes plants die ze zelf exploiteren. Gezamenlijk produceren deze plants meer dan 12 MW.

Ons bezoek was bij de plant in Heeten. Deze plant produceert 1,2 MW aan elektriciteit doormiddel van verbranding van biogas in een WKK.

Het proces in Heeten.

In Heeten wordt biogas geproduceerd uit mest, mais en glycerol. Glycerol wordt gebruikt omdat hieruit veel biogas ontstaat en een stabiel proces teweeg brengt. Maar het gebruik van glycerol is niet rendabel vanwege de huidige prijs van glycerol.

De voorbereiding

De mest en mais worden in een loods verzameld waarna het doormiddel van een schroef in een propstroomreactor gebracht wordt samen met de glycerol. In deze propstroomreactor wordt gehydrolyseerd en gehomonigiseerd. Dit hydrolyseren dient voor een verlaging van de viscositeit en is de eerste stap richting vergisting.

Vergisting

Nadat de sludge uit de propstroomreactor komt, wordt het in een van de drie vergisters verpompt waar biogas geproduceerd wordt. Na een verblijftijd 80 dagen wordt de sludge in een navergister verpompt waar de sludge verder wordt vergist voor meer biogas.

Digestaat behandeling

Het digestaat wat overblijft na de vergisting wordt eerst door een decanter gestuurd, waar een dikke en een dunne fractie ontstaat. De dikke fractie wordt gedroogd doormiddel van de warmte uit de WKK. De gedroogde dikke fractie wordt vervolgens naar Duitsland gereden. In de praktijk is echter te zien dat de droger niet goed zijn werkt doet, waardoor de dikke fractie nog in vochtige toestand wordt afgevoerd.

De dunne fractie wordt na de decanter door de ultrafiltratie gepompt. Waarna het door de reversed osmose wordt gehaald, waar gezuiverd water wordt geproduceerd.

## Bijlage 2: Oriëntatiegesprek Groene Poort

Datum: 4 maart 2010

### BIC

Waarom doet u mee met het BIC?

Deelname in het BIC-project is van belang voor de samenwerking en het delen van kennis.

### Grondstoffen

Welke grondstoffen zijn beschikbaar?

De grondstoffen die gebruikt gaan worden voor het vergisten zijn: Gft afval, afval van restaurants, agrarisch afval.

Houtafval en kadavers zullen niet worden gebruikt.

Men wil flexibel kunnen produceren (diverse grondstoffen).

Wat gebeurt momenteel met deze grondstoffen?

Deze worden gecomposteerd.

### Proces

Hoever zijn de vorderingen van het project "Groene poort"?

Momenteel worden vergunningen aangevraagd en liggen er vacatures van diverse aannemers om het fabrieksvoorontwerp te bouwen.

Welke capaciteit?

De capaciteit van de vergisting zal per jaar 330.000 ton zijn.

Onder welke procescondities wordt er gewerkt?

Thermofiele procescondities.

### Producten

Welke producten moeten worden geproduceerd?

Het doel is om biogas (methaan) te produceren met later nog de optie om bio-ethanol te produceren.

Worden de geproduceerde intern gebruikt of verkocht?

De producten zullen zowel intern als extern gebruikt worden. Intern wordt het gas gebruikt voor de wkk, om elektriciteit op te wekken en warmte te produceren. Het CO<sub>2</sub> wat in de wkk vrijkomt zal gebruikt worden in de kassen.

### Financieel

Hoe is het geregeld met subsidie?

De subsidie aanvraag voor de bouw van de centrale is verkregen.

De aanvraag voor Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE) is ingediend bij de overheid.

Projectgroep binnen Avans

Zou Avans iets kunnen betekenen?

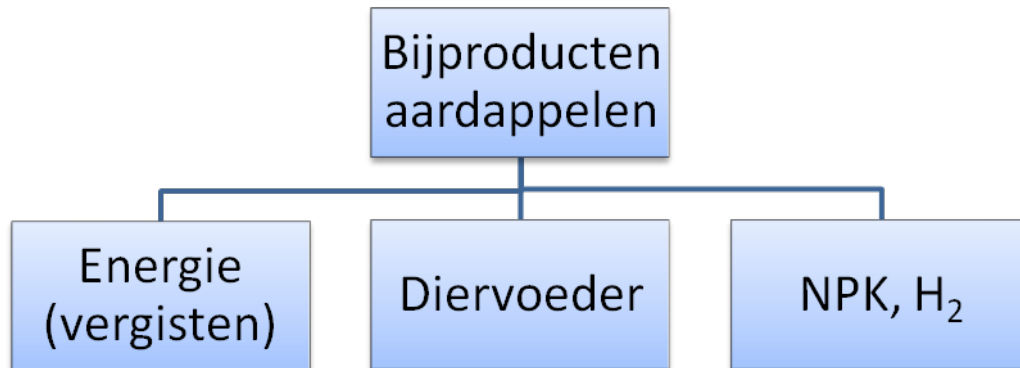
Kijken naar het vergistingsproces zou er nog gekeken kunnen worden naar het gebruik van katalysatoren en eventueel verbetering van de procescondities.

Het thermofiele proces duurt lang om te starten, kan dit met bacteriën worden versneld?

### Bijlage 3: Oriëntatiegesprek Lamb Weston / Meijer

Datum: 9 maart 2010

Uit het gesprek met Kees van Rij, blijkt dat de bijproducten die bij het verwerken van aardappelen tot friet diverse doeleinden kunnen hebben. Zie hieronder het schema:



Lamb/weston wil uit de bijproducten van de aardappelproductie, methaan produceren doormiddel van een vergistingsproces. Daarom zijn ze ook in het BIC-project gekomen, om kennis te delen en samen sterker te staan.

Uit het gesprek van Kees van Rij blijkt dan lamb/weston al een pilotplant in friesland heeft staan. Uit berekeningen blijkt de vergister zelf binnen 5 jaar terugverdiend is. Alle toepassingen die rond het vergistingsproces zitten zijn veel duurder.

Als vergistingsproduct willen ze onderandere aardappelschillen gebruiken voor de vergisting. Het zou dan gaan over een grondstof van 100.000 ton waarvan 20% droge stof heeft. En het digestaat bevat 5% drogestof.

Vragen die vooral spelen bij lamb/weston.

Wat speelt met innovatieve vergisting?

Hoog rendement, zowel financieel als procestechnisch

Welke nutriënten kunnen gebruikt worden?

Welke toepassingen in het proces zijn er?

Een overzicht van vergisten (belangrijk voor 9 april).

Overzicht met wat vergisten met zich meebrengt, identificeer dit en breng het in een overzicht.

Wat zijn de knelpunten in het vergistingsproces en wat zijn de oplossingen.

Wat zijn de procescondities?

Thermofiel

Mesofiel

Wat te doen met het ammoniak?

Strippen

Pluspunten hiervan:

Niet in het digestaat

Betere vergisting

Hoe moet het digestaat verwerkt worden?

Via een MBR, of afvoeren als slib.

### Bijlage 4: Oriëntatiegesprek BeWa

Oriëntatiegesprek BeWa Moerdijk

Datum: 18 maart 2010

Uit het gesprek met Henry, blijkt dat we beter ons doel moeten afbakenen. Door goed ons doel af te bakenen nemen we spreekwoordelijk minder hooi op onze vork nemen.

Henry stelde diverse dingen voor om te bekijken.

Processen:

Cambi proces;

Industriële vergister;

Boerenvergister.

En ook diverse procescondities te bekijken:

Mengen;

Thermofiel;

Mesofiel.

Wat wil men met het gas doen?

Gas verkopen;

Verbranden;

Elektriciteit opwekken;

Warmte verkopen;

CO<sub>2</sub> verkopen.

Wat voor gas wil men maken?

Wat zijn de ingaande producten.

Waar mag en kan een vergister gebouwd worden?

### **Bijlage 5: Oriëntatiegesprek GreenBrothers**

Dinsdag 20-4-2010

Green Brothers werkt samen met Bieleveld die al vijf werkende plants.

De installatie zal met 95% externe grondstoffen gevoed worden.

De grondstoffen kunnen uit het omliggende gebied gehaald worden.

Er zal gewerkt worden met co-vergisting.

Er zal onderzoek gedaan worden voor het gebruik van meststoffen.

Het geproduceerde biogas zal verbrand worden in de WKK.

De CO<sub>2</sub> zal worden afgevangen en worden gebruikt in de kassen.

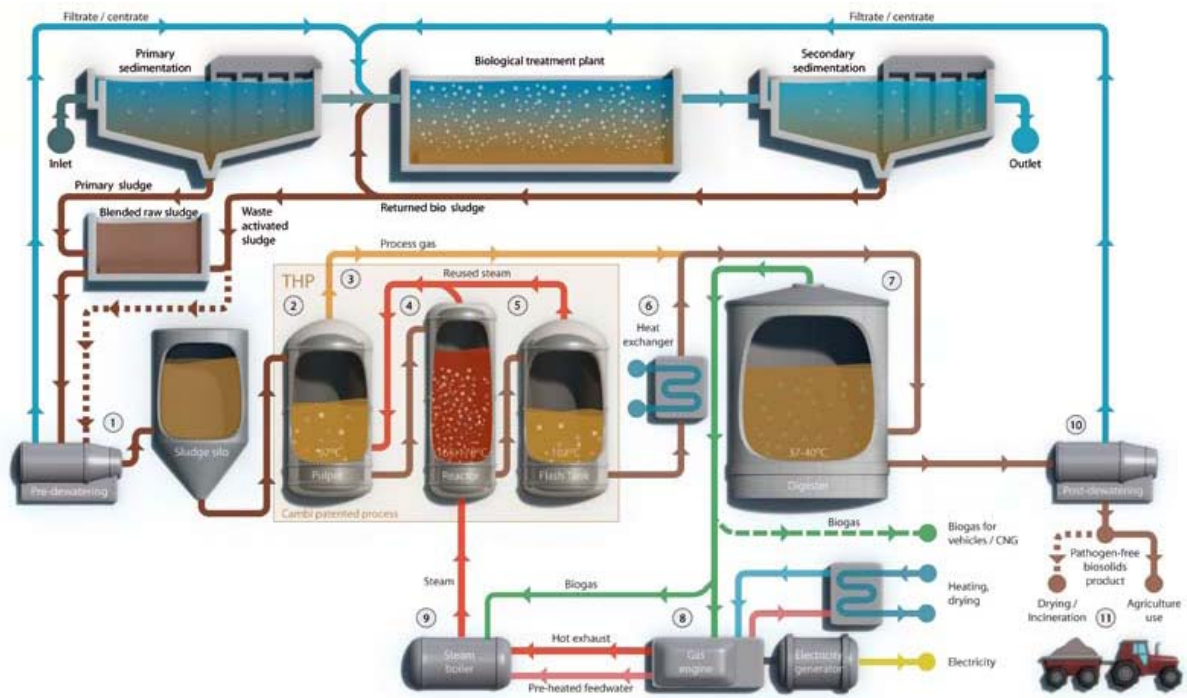
# Adviesrapport

Innovatieve vergisting

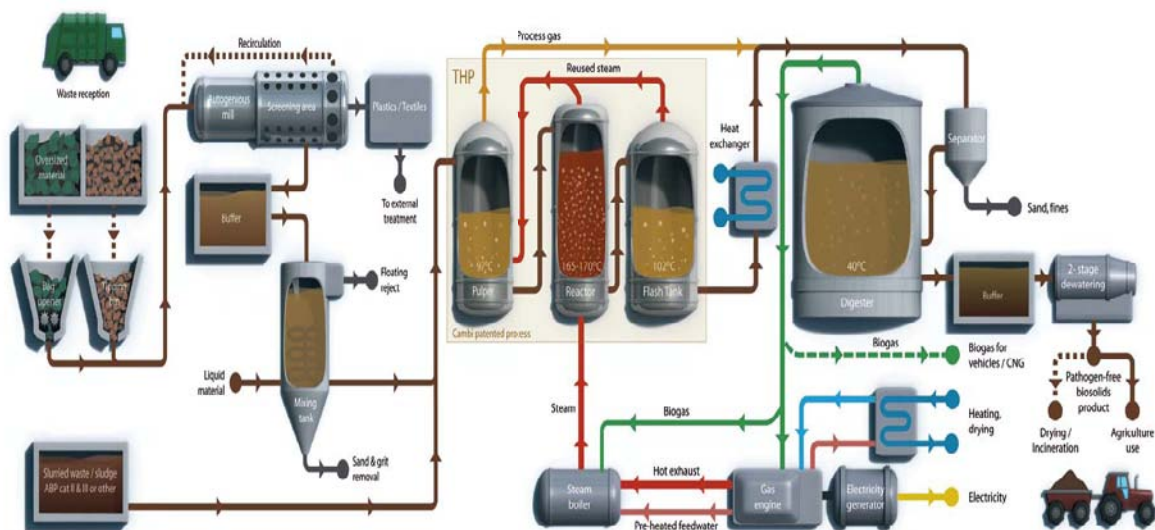
Projectgroep BUS

## Bijlage 6: Processchema's Cambi

### Slibverwerking



### Bio-afvalverwerking





### Bijlage 7: Biogasopbrengst verschillende inputstromen

