



**XIOS HOGESCHOOL LIMBURG  
DEPARTEMENT TOEGEPASTE INGENIEURSWETENSCHAPPEN**

# **Toepassing van anaerobe vergisting in Senegal**

**Inge Verboven**

Afstudeerwerk ingediend tot het behalen van het diploma van  
**master in de industriële wetenschappen: opleiding elektromechanica**

Promotoren: Dr. Ir. Wim Deferme (XIOS Hogeschool Limburg)  
Sophie Camara (Les Cajoutiers)

**Academiejaar 2012 – 2013**



# Inhoudsopgave

Dankwoord .....	I
Samenvatting .....	III
Lijst van afkortingen en symbolen .....	IV
Lijst van figuren .....	V
Lijst van tabellen.....	VII
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Anaerobe vergisting.....</b>	<b>9</b>
1.1 Biomassa .....	9
1.2 Vergistingsproces.....	9
1.3 Biogas.....	9
1.4 Digestaat .....	10
1.5 Factoren die het vergistingsproces beïnvloeden.....	10
1.5.1 De samenstelling van de biomassa .....	10
1.5.2 Het type vergister .....	12
1.5.3 De temperatuur .....	13
1.5.4 De zuurgraad pH .....	13
1.5.5 De verblijftijd .....	13
1.5.6 Verontreiniging .....	13
1.6 Toepassing in Europa.....	14
1.6.1 Constructie biogasinstallatie.....	14
1.7 Toepassing in ontwikkelingslanden .....	16
1.7.1 Werking.....	16
1.7.2 Vergister met vaste koepel (fixed dome digester) .....	17
1.7.3 Vergister met bewegende gashouder (floating drum digester) .....	18
1.7.4 Buisvergister (Tube digester) .....	18
1.8 Voor- en nadelen van anaerobe vergisting.....	19
<b>2 Proefopstelling .....</b>	<b>20</b>
2.1 Inleiding .....	20
2.2 Materialen en methoden.....	20
2.2.1 Ontwerp.....	20
2.2.2 Onderdelen en gebruikte materialen .....	21
2.2.3 Sensoren en verwarmingslint .....	22

2.2.4	Methode .....	23
2.3	Resultaten .....	23
2.3.1	Verloop druk, temperatuur en zuurgraad .....	24
2.3.2	Gasopbrengst.....	25
2.4	Kosten- en batenanalyse .....	25
2.4.1	Kostprijs .....	25
2.4.2	Energieopbrengst versus energieverbruik.....	26
2.5	Besluit .....	26
<b>3</b>	<b>Biogasinstallatie Senegal.....</b>	<b>27</b>
3.1	Situatieschets.....	27
3.2	Biomassa en biogas.....	27
3.2.1	Bruikbaar organisch materiaal.....	27
3.2.2	Berekeningen .....	29
3.3	Technische opbouw installatie .....	30
3.3.1	Plan van aanpak .....	30
3.3.2	Ontwerp en berekeningen.....	31
3.3.3	Plaatsing.....	32
3.3.4	Nieuwe toiletten .....	32
3.3.5	Inlaatreservoir en inlaatbuis .....	32
3.3.6	Vergister.....	33
3.3.7	Gasleidingen en gashouder.....	36
3.3.8	Uitlaat en digestaatopslag .....	37
3.3.9	Biogasinstallatie .....	38
3.4	Kosten- en batenanalyse .....	38
3.4.1	Kostprijs installatie.....	38
3.4.2	Loonkost werking.....	39
3.4.3	Voordeel school .....	40
3.4.4	Theoretische terugverdientermijn.....	40
3.5	Aandachtspunten.....	40
3.5.1	Vergister: luchtdichtheid, temperatuur en problemen .....	40
3.5.2	Biogas: controle, zuivering, opslag en gebruik .....	41
3.5.3	Digestaat: zuivering en opslag .....	43
3.5.4	Veiligheid .....	44
3.5.5	Opstartprocedure .....	44

3.5.6	Opleiding buurtbewoners.....	44
3.5.7	Langetermijnperspectieven .....	44
3.6	Besluit .....	44
<b>4</b>	<b>Conclusie .....</b>	<b>46</b>
	<b>Appendix A: Datasheets sensoren .....</b>	<b>47</b>
	<b>Appendix B: Ontwerp oorspronkelijke biogasinstallatie .....</b>	<b>63</b>
	<b>Referenties .....</b>	<b>64</b>

## Dankwoord

Meer dan een jaar heb ik mij met hart en ziel toegelegd tot het verwezenlijken van het biogasproject voor het schooltje 'Les Cajoutiers' in Warang, Senegal. Deze thesis vormt dan ook de kers op de taart. Een dergelijk project en thesis tot stand brengen is niet mogelijk zonder hulp en steun van vele anderen. Deze mensen zou ik hier dan ook speciaal willen bedanken voor hun bijzonder gewaardeerde bijdragen.

Allereerst zou ik graag mijn promotor Wim Deferme willen bedanken. Hij staat mij al sinds de wieg van het project bij met woord en daad. Zijn inzicht en kennis zijn een grote hulp geweest. Zelfs in Senegal stak hij zijn handen uit zijn mouwen om met schoppen, kruiwagens en emmertjes te zeulen.

Vervolgens zou ik ook graag Guy Pansar bedanken. Hij bracht het biogasproject aan bij de school, volgde het project tot op de voet en sprong waar nodig bij met zijn praktische kennis, zowel in Senegal als in België.

Een woord van dank voor Sophie en haar echtgenoot Mamadou Camara. Sophie is penningmeester van 'Les Cajoutiers' en onze contactpersoon in Senegal. Ze verschaftte telkens de nodige informatie en maakte ons wegwijs in het verre Senegal. Samen met haar echtgenoot Mamadou en hun familie zorgde ze voor een warme thuis in Warang. Mamadou was tevens de aannemer van de werken in het schooltje. Hij verzorgde niet alleen de communicatie in het Wolof met de werkers, maar hij stond mij bij met zijn praktische kennis voor een correcte opbouw van de installatie.

Ik zou ook alle mensen van 'Les Cajoutiers' willen bedanken voor hun interesse en geloof in het project en voor hun steun en hulp ter plaatste in Senegal.

Hans Banning zou ik willen bedanken voor het delen van zijn ruime kennis over anaerobe vergisting van biomassa en alles wat daarbij komt kijken.

Aangezien elektronica niet echt mijn studiedomein is, maar toch nodig was bij het implementeren van de sensoren, heb ik veel hulp gekregen. Bedankt aan doctoraatstudent Stijn Duchateau en mijn collega's van de bachelor industrieel ingenieur elektronica Sebastiaan Bosmans en Senne Vanoppen.

Het digestaat om mijn proefopstelling op te starten en te voeden kreeg ik van de bestaande biogasininstallatie van Aspergehoeve Lavrijse in Herk-de-Stad met speciale dank aan Eduard van de Struijk.

Alle goede werkmannen ter plaatste verdienen uiteraard ook een eervolle vermelding. Bedankt Pap, Moussa, Bouba, Ousmane, Eka en Ibou voor al het goede werk en de vriendschap die het aangenaam werken maakte.

Bedankt aan iedereen die een financiële of andere bijdrage leverden aan het project of mijn thesis.

Tenslotte nog een bijzonder dankwoord voor mijn familie en vrienden. Mijn ouders en grootouders hebben mij niet alleen financieel en emotioneel gesteund, maar hielpen mij ook waar nodig zodat een eenvoudig dankwoord ook nooit voldoende zal zijn.

## Samenvatting

Het primaire schooltje 'Les Cajoutiers' in Warang, Senegal was op zoek naar een alternatieve energiebron voor het dagelijks bereiden van 500 maaltijden. De productie van biogas vormde hierbij een goede oplossing. Biogas wordt verkregen door de anaerobe vergisting van organisch materiaal. Naast biogas wordt er ook digestaat, bestaande uit water en slib, verkregen. Dit vormt een nutriëntenbron perfect voor irrigatie en bemesting. Daarom werd er beslist een biogasinstallatie op te bouwen bij het schooltje.

Daartoe werd in België een proefopstelling opgebouwd teneinde een beter inzicht te verkrijgen in het proces van anaerobe vergisting. Deze proefopstelling is een schaalmodel van de eigenlijke biogasinstallatie die opgebouwd is in Senegal. Hierbij werden de druk, de temperatuur en de zuurgraad (pH) gemeten. Vervolgens werden de procesparameters, de temperatuur, het al dan niet roeren en de voeding gevarieerd om het effect op de gasproductie te bepalen.

Een temperatuur van 37 °C zorgde voor het op gang komen van een stabiel vergistingsproces met een dagelijkse gasproductie van 5 l en een constante pH waarde van 7,5. De druk nam toe wanneer het maximale volume van de gaszakken bereikt werd.

Bij verlaging van de temperatuur naar 24 °C, daalde de gasproductie met de helft bij de ideale temperatuur. Niet voeren tijdens het weekend had geen effect op de gasproductie. Wanneer echter langer dan 2 dagen niet gevoed werd, was een daling waar te nemen in de biogasproductie en zelfs een halvering na 2 weken. Het al dan niet roeren van de biomassa, had geen enkel effect op de gasproductie.

In januari van dit jaar werd gestart met de opbouw van de biogasinstallatie in Senegal gedurende 6 weken. Eind maart werd de installatie afgewerkt in 3 weken. Deze installatie bestaat uit een vergister, een in- en uitlaat, een inlaatreervoir, gasleidingen, een gasreservoir en een digestaatreservoir. Alles werd opgebouwd met plaatselijke materialen zodat, indien nodig, vervangstukken of herstellingen snel konden gebeuren. Er werden tevens nieuwe toiletten gebouwd die de installatie rechtstreeks voeden met menselijke fecaliën, tevens het hoofdbestanddeel van de biomassa.

Algen afkomstig van de Atlantische Oceaan zullen gebruikt worden als bijkomende biomassa. De installatie is opgestart, maar het duurt enkele maanden totdat de anaerobe vergisting goed op gang komt en de biogasinstallatie zijn volledige potentieel zal bereiken. Het biogas kan maximaal 25 % van de dagelijkse behoefte aan energie dekken.

Bij de constructie van de biogasinstallatie werd rekening gehouden met de volgende aandachtspunten: de luchtdichtheid en temperatuur van de vergister, de controle, opslag, zuivering en gebruik van het biogas en het digestaat, de veiligheid, de opstartprocedure, de opleiding van de buurtbewoners en de langetermijnperspectieven.



## Lijst van afkortingen en symbolen

ABR	Anaerobic Baffled Reactor
DS	Droge Stofgehalte
MO	Methaan Opbrengst
ODS	Organisch Droge Stofgehalte
pH	Zuurgraad
RTD	Resistance Temperature Detector
SMD	Surface Mounted Device
TED	Technology for Economic Development

## Lijst van figuren

Figuur 1 Verticale of staande en horizontale of liggende vergister (6).....	12
Figuur 2: Vereenvoudigde voorstelling vergister gebruikt in Europa (7).....	15
Figuur 3: Vergister met vaste koepel 1. Mengtank met inlaatleiding. 2. Vergister. 3. Digestaatopslagtank. 4. Gashouder. 5. Gasleiding. 6. Luik met gasdichte afsluiting en extra gewicht. 7. Niveauverschil = gasdruk in waterkolom. 8. Schuim. 9. Verzameling van dik slib 10. Verzameling van zand, stenen en grind. 11. Nullijn: vulhoogte zonder gasdruk (5) .....	17
Figuur 4: Cilindrische vergister met vaste koepel (7).....	17
Figuur 5: Vergister met bewegende gashouder (7). .....	18
Figuur 6: Buisvergister (7). .....	18
Figuur 7: Schets proefopstelling.....	20
Figuur 8: Proefopstelling .....	21
Figuur 9: Verloop druk, temperatuur en zuurgraad. ....	24
Figuur 10: Primair schooltje 'Les Cajoutiers' .....	27
Figuur 11: Tuin 'Les Cajoutiers' .....	27
Figuur 12: Algen op het strand.....	28
Figuur 13: Verzameling van algen met paard en kar .....	28
Figuur 14: Het hele team .....	30
Figuur 15: Onder leiding van Mamadou .....	30
Figuur 16: Schets vergister (5).....	31
Figuur 17: Het nieuwe toiletgebouw .....	32
Figuur 18: Verbinding toiletten met biogasinstallatie .....	32
Figuur 19: Inlaatreservoir.....	33
Figuur 20: Metalen schuifje inlaat .....	33
Figuur 21: Drukverdeling vergister bij sferische vorm en balkvorm (5).....	34
Figuur 22: Drukverdeling bodem van vergister bij vlakke bodem en bodem met v-vorm (5)....	34
Figuur 23: Put vergister .....	35
Figuur 24: Bodem vergister.....	35
Figuur 25: Kleinste metalen koepel.....	35
Figuur 26: Grootste metalen koepel .....	35
Figuur 27: Houten bekisting ingang vergister .....	36
Figuur 28: Ingang vergister .....	36
Figuur 29: Concentrische cilinders gasreservoir .....	36

Figuur 30: Metalen cilinder gasreservoir .....	36
Figuur 31: Koperen gasleiding en anti-terugkeer ventiel.....	37
Figuur 32: Manometer en gaskraantjes .....	37
Figuur 33: PVC uitlaatbuis en digestaatopslag.....	38
Figuur 34: Digestaatreservoir.....	38
Figuur 35: Biogasinstallatie .....	38
Figuur 36: Schets van gascontrole en waterslot (6).....	41
Figuur 37: Schets van een daling in een gasleiding teneinde waterdamp te verwijderen en de gasdruk te meten in cm waterkolom. (6).....	42
Figuur 38: Brander biogas (6).....	43
Figuur 39: Het TED ARB (14).....	43

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Gemiddelde samenstelling van biogas (4). .....	9
Tabel 2: Gemiddelde biogasopbrengst van dierlijke mest (4). .....	10
Tabel 3: Vergelijking van de hoeveelheid nutriënten in digestaat. Analyse van gasvrij slib na 6 weken vergister. Elementen zijn in % van de hoeveelheid droge stof (6). .....	10
Tabel 4: De eigenschappen van de toevoermaterialen. Droge stofgehalte (DS), organisch droge stofgehalte (ODS) en koolstof-stikstofverhouding van de biomassa (5). .....	11
Tabel 5: Droge stofgehalte (DS), organisch droge stofgehalte (ODS) en methaanopbrengst (MO) van additieven gebruikt in ontwikkelingslanden (7). .....	12
Tabel 6: De schadelijkheid van toxische stoffen op het vergistingsproces (alle waarden in mg/l) (6). .....	14
Tabel 7: Kostprijs proefopstelling .....	25
Tabel 8: Afmetingen van de vergister (5). .....	31
Tabel 9: Kostprijs biogasinstallatie Warang .....	39

## 1 Inleiding

'Les Cajoutiers' is een vereniging in Senegal die de levensomstandigheden van kinderen tracht te verbeteren door scholing en tal van andere activiteiten. De vereniging is genoemd naar het door hun opgerichte primaire schooltje in Warang. In het schooltje worden 500 kinderen onderwezen. De naam verwijst naar een plaatselijke notenboomsoort.

Warang is een dorpje dichtbij de stad Mbour. Het is gelegen vlak bij de kust en een vijftigtal kilometer verwijderd van de hoofdstad Dakar. In Warang schommelt de temperatuur rond 16°C 's nachts en 20-25 °C overdag in de maanden december en januari. Gedurende het regenseizoen, van juli tot half oktober ligt de temperatuur overdag rond 40 °C met een zeer hoge vochtigheidsgraad (meer dan 80%) (1).

In het schooltje wordt dagelijks gekookt met behulp van butaangasflessen. Een jaar geleden echter ging de school op zoek naar een duurzame oplossing. Biogas bleek hierbij soelaas te bieden. Hierbij worden organische afvalstromen aangewend om in eigen energie te voorzien. Er werd beslist om een biogasinstallatie op te bouwen bij het schooltje met menselijke fecaliën afkomstig van de toiletten als hoofdbestanddeel van de biomassa.

Deze thesis bestaat uit een drieluik en een conclusie. Eerst wordt het anaerobe vergistingsproces en de toepassingen uitvoerig besproken. Vervolgens worden de constructie en het testen van een proefopstelling toegelicht. Daarna wordt de eigenlijke installatie die is opgebouwd in Senegal beschreven samen met al de bijhorende aandachtspunten. Tot slot worden de belangrijkste punten nog eens opgesomd in een conclusie.

# 1 Anaerobe vergisting

## 1.1 Biomassa

Biomassa is een verzameling van organisch materiaal en wordt in de 'Europese richtlijn betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt' als volgt omschreven: 'De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.' (2)

## 1.2 Vergistingsproces

Biomassa wordt door anaerobe vergisting omgezet naar biogas en digestaat. Dit is een biologisch-chemisch proces waarbij bacteriën in zuurstofloze omstandigheden organisch materiaal afbreken tot biogas. De volgende fasen kunnen onderscheiden worden in het vergistingsproces: de hydrolyse, de zuurfase, de azijnzuurfase en de methaangas fase (3), (4).

Acidogene bacteriën scheiden enzymen af waardoor hydrolyse kan plaats vinden. Hierbij worden niet-oplosbare polymeren omgezet tot oplosbare organische stoffen of eenvoudige moleculen.

In de daaropvolgende zuurfase zorgen dezelfde bacteriën voor de afbraak van de oplosbare organische stoffen tot vluchtige organische vetzuren en alcoholen.

Vervolgens worden in de azijnzuurfase de organische zuren en alcoholen door acetogene bacteriën tot azijnzuur of koolstofdioxide en waterstof afgebroken.

Tenslotte wordt in de vierde of de methaangas fase, azijnzuur of koolstofdioxide en waterstof door de methanogene bacteriën omgezet in methaan. Dit geeft aanleiding tot 2 verschillende reacties: koolzuurreductie en de azijnzuurgisting



## 1.3 Biogas

Biogas is een gas met als belangrijkste componenten methaan (CH<sub>4</sub>) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). Tabel 1 geeft een overzicht van de gemiddelde samenstelling van biogas. Het gas is lichter dan lucht en heeft een ontstekings temperatuur van 700°C en een vlamtemperatuur van 870 °C (5).

Tabel 1: Gemiddelde samenstelling van biogas (4).

Component	Concentratie
Methaan (CH <sub>4</sub> )	45-75%
Koolstofdioxide(CO <sub>2</sub> )	24-45%
Water(H <sub>2</sub> O)	2-7%
Zwavelwaterstof(H <sub>2</sub> S)	20-20.000 ppm
Stikstof(N <sub>2</sub> )	< 2%
Zuurstof(O <sub>2</sub> )	< 2%
Waterstof(H <sub>2</sub> )	< 1%

In Westerse landen heeft 1 m<sup>3</sup> biomassa een opbrengst van 1 m<sup>3</sup> biogas, in ontwikkelingslanden verkrijgt men echter 0,5 m<sup>3</sup> biogas uit een biomassa van 1 m<sup>3</sup>. Deze opbrengsten zijn uiteraard sterk afhankelijk van de gebruikte toevoerstoffen (6). Tabel 2 hieronder geeft de biogasopbrengst weer van dierlijke mest.

**Tabel 2: Gemiddelde biogasopbrengst van dierlijke mest (4).**

Mestsoort	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg os)
Rundveedrijfmest	0,12-0,21
Rundvee vaste mest	0,12-0,20
Kippenmest *	0,21-0,30
Varkensdrijfmest	0,14-0,30
Varkens vaste mest	0,22-0,30

\*De aard van het product is te divers om een gemiddelde samenstelling te kunnen geven.

De verbrandingswaarde van biogas is afhankelijk van het procent methaan (6). Algemeen kan men stellen dat koolhydraatrijke producten zorgen voor een lager methaangehalte in het biogas dan vetrijke producten (4). Biogas kan direct gebruikt worden voor verbranding. Indirect kan het gebruikt worden als mechanische energie met behulp van een verbrandingsmotor en een generator. De hoeveelheid benodigd biogas is sterk afhankelijk van het rendement van het gebruikte toestel (6).

## 1.4 Digestaat

Na vergisting blijft er een waterige substantie of digestaat over in de vergister. Dit digestaat bestaat uit water en 30-60 % van de droge stof afkomstig van de biomassa. Het heeft een hoge concentratie aan de nutriënten stikstof N, fosfor P en kalium K en is bijgevolg erg vruchtbaar en uiterst geschikt voor irrigatie en bemesting. Het kan onmiddellijk of na droging gebruikt worden en is hygiënischer dan het gebruik van mest op het land. De mestwaarde is erg afhankelijk van de toegevoegde stoffen. Tabel 3 geeft een vergelijking van menselijke fecaliën en mest van vee (6).

**Tabel 3: Vergelijking van de hoeveelheid nutriënten in digestaat. Analyse van gasvrij slib na 6 weken vergister. Elementen zijn in % van de hoeveelheid droge stof (6).**

Element	Vee	Menselijke fecaliën
% Stikstof(N <sub>2</sub> )	2,21 %	7,4 %
% Fosfor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,3 %	2,4 %
% Kalium als K <sub>2</sub> O	1,5 %	2,7 %

## 1.5 Factoren die het vergistingsproces beïnvloeden

Een aantal factoren beïnvloeden het vergistingsproces: de samenstelling van de biomassa, het type vergister, de temperatuur, de zuurgraad, de verblijftijd en verontreiniging.

### 1.5.1 De samenstelling van de biomassa

De volgende factoren beïnvloeden de vergisting: het droge stofgehalte, het koolstofgehalte (C), het stikstofgehalte (N), de koolstof-stikstofverhouding (C/N) en de vochtigheidsgraad (6).

Een organische stof bevat altijd een hoeveelheid water. Het droge stofgehalte is de overblijvende massa na verdamping van dat water bij een temperatuur van 105°C uit 100 g

stof. Dit kan op zijn beurt opgesplitst worden in een organisch gedeelte en een as gedeelte dat niet vergistbaar is. Om de biomassa in de vergister 'roerbaar' te houden is het maximale droge stofgehalte in een staande vergister 15-20 % en in een horizontale (propstroom) vergister 20-25 % (4).

Koolstof is in vele vormen aanwezig die echter niet direct bruikbaar zijn voor de anaerobe bacteriën (6). Anaerobe bacteriën gebruiken stikstof die aanwezig is in ammoniak (NH<sub>3</sub>) en eventueel ook die uit aminozuren. Koolstof en stikstof vormen het voornaamste voedsel van de bacteriën. Een optimale koolstof-stikstofverhouding ligt tussen 20 en 30. Bij een lagere waarde verloopt het vergistingsproces nog goed, maar is de bemestingswaarde van het digestaat iets lager. Voor een ongestoord procesverloop moet de koolstof-stikstofverhouding tussen 10 en 30 liggen (5).

Tabel 4 geeft een overzicht van een reeks toevoermaterialen met hun droge stofgehalte en C/N verhouding (5).

**Tabel 4: De eigenschappen van de toevoermaterialen. Droge stofgehalte (DS), organisch droge stofgehalte (ODS) en koolstof-stikstofverhouding van de biomassa (5).**

Diersoort/toevoermateriaal	% DS	% ODS	C/N
Veemest	16	13	25
Buffelmest	14	12	20
Varkensmest	17	14	13
Schapenmest	30	20	30
Paardenmest	25	15	25
Gevogeltemest	25	16	5
Menselijke fecaliën	20	15	8
Stro	(80)	70	
Bladeren/gras	(80)	35	
Waterhyacint	7	5	25

De hoeveelheid water in de vergister is ook een belangrijk gegeven. Een te lage hoeveelheid water in de vergister kan aanleiding geven tot een schadelijke concentratie ammoniak. Meestal wordt een vaste stofpercentage van 7-12 % aangehouden en een waterpercentage van 88-93% (6).

Om verstoringen of verstoppingen te voorkomen is een voorbehandeling van het organische bioafval aangewezen (4). Verontreinigingen zoals stenen en zand moeten zoveel mogelijk verwijderd worden om het ontstaan van bezinklagen tegen te gaan. Verder moet het toevoermateriaal verkleind en gemengd worden tot een homogene biomassa zodat een geleidelijke en constante voeding van de bacteriën gegarandeerd is (4).

Co-vergisting is vergisting van dierlijke of menselijke meststoffen samen met organisch bioafval, ook wel additieven genoemd (4). De efficiëntie van een biogasinstallatie kan op deze manier verhoogd worden.

In ontwikkelingslanden zijn er resten afkomstig van de oogst aanwezig die als additief gebruikt kunnen worden. Deze resten zijn niet geschikt voor menselijke of dierlijke consumptie en blijven meestal gewoon achter op het veld. Tabel 5 geeft een overzicht van de mogelijke additieven die in ontwikkelingslanden gevonden kunnen worden (7).





### 1.5.3 De temperatuur

Anaerobe vergisting is mogelijk bij temperaturen tussen 10 en 60°C. De activiteit van de enzymen en de snelheid van de chemische reacties zijn afhankelijk van de temperatuur. Algemeen gezien geldt hoe hoger de temperatuur, hoe sneller het procesverloop. Afhankelijk van de temperatuur zijn verschillende bacteriën werkzaam. Bij anaerobe vergisting kunnen drie temperatuurtrajecten onderscheiden worden: Psychrofiele of koude vergisting, mesofiele vergisting en thermofiele vergisting (4), (6).

Psychrofiele of koude vergisting vindt plaats bij een temperatuur van 10-20 °C. Hierbij wordt geen warmte toegevoegd aan het vergistingsproces dat gebeurt onder de omgevingstemperatuur. Dit is een vrij stabiel proces met een hoge verblijftijd en een lage biogasopbrengst.

Een temperatuur van 20-40 °C geeft aanleiding tot mesofiele vergisting. Dit proces heeft een hoge processtabiliteit, een kortere verblijftijd en relatief hoge biogasopbrengsten. Een optimum is te vinden tussen 30 en 35°C.

Thermofiele vergisting vindt plaats bij een temperatuur van 50-60°C. Er wordt een hoge biogasopbrengst verkregen bij een korte verblijftijd. Dit proces wordt in de praktijk weinig toegepast omdat het een hogere warmtetoevoer vereist en sterk gevoelig is aan temperatuurschommelingen.

### 1.5.4 De zuurgraad pH

De zuurgraad verandert gedurende het vergistingsproces afhankelijk van de verschillende fasen die doorlopen worden. De biomassa heeft onder invloed van de hydrolyserende en zuurvormende bacteriën een lage pH van 4,5-6,3 door de zuurvorming. De pH van de biomassa stijgt bij de azijnvormende en de methaanvormende bacteriën tot 6,8-7,5. In de vergister wordt de pH van de laatste fase aangehouden. Dit is dus een pH van 7,5. Door toevoeging van een te zure biomassa, met een te lage pH, kan het vergistingsproces aanzienlijk geremd worden. Het zal niet vaak voorkomen dat de inhoud van de vergister te basisch is (4), (6).

### 1.5.5 De verblijftijd

De verblijftijd geeft de gemiddelde tijd tussen invoer van organisch materiaal tot de afvoer ervan. Deze kan gevonden worden door de netto inhoud van de vergister te delen door de gemiddeld dagelijkse toegevoerde hoeveelheid organisch materiaal (4), (5).

Een te lage verblijftijd zorgt ervoor dat de bacteriën niet genoeg tijd hebben om de biomassa af te breken. Verschillende temperaturen geven aanleiding tot een andere ideale verblijftijd. Voor mesofiele vergisters is de verblijftijd 25-40 dagen, voor thermofiele vergisters 15-25 dagen (4).

### 1.5.6 Verontreiniging

Verontreiniging in de vergister komt voor in de vorm van toxische stoffen (6), maar ook in de vorm van andere verontreinigingen die de werking van de vergister belemmeren (4).

Toxische stoffen zijn stoffen die een nadelige invloed uitoefenen op het vergistingsproces. Ze zijn het gevolg van een onvoldoende verdunning van de toevoerstoffen of van een

onzorgvuldige omgang met het keukenafval gebruikt als toevoerstof. Tabel 6 geeft een aantal toxische stoffen en hun schadelijkheid voor het vergistingsproces weer (6).

**Tabel 6: De schadelijkheid van toxische stoffen op het vergistingsproces (alle waarden in mg/l) (6).**

Ion	Stimulerend	Matig remmend	Sterk remmend
Natrium	100-200 mg/l	3.500-5.500	8000
Kalium	200-400	2.500-4.500	12.000
Calcium	100-200	2.500-4.500	8.000
Magnesium	75-150	1000-1.500	3.000
Ammoniak	50-1000	1500	8.000
Sulfide	0,1-10	100	200
Cobalt	20	Onbekend	Onbekend

Andere verontreinigingen kunnen zijn: stenen, zand, metaal en plastic. Deze dienen uiteraard zoveel mogelijk vermeden te worden. Daarom dienen ze tijdens de invoer zoveel mogelijk verwijderd te worden (4).

## 1.6 Toepassing in Europa

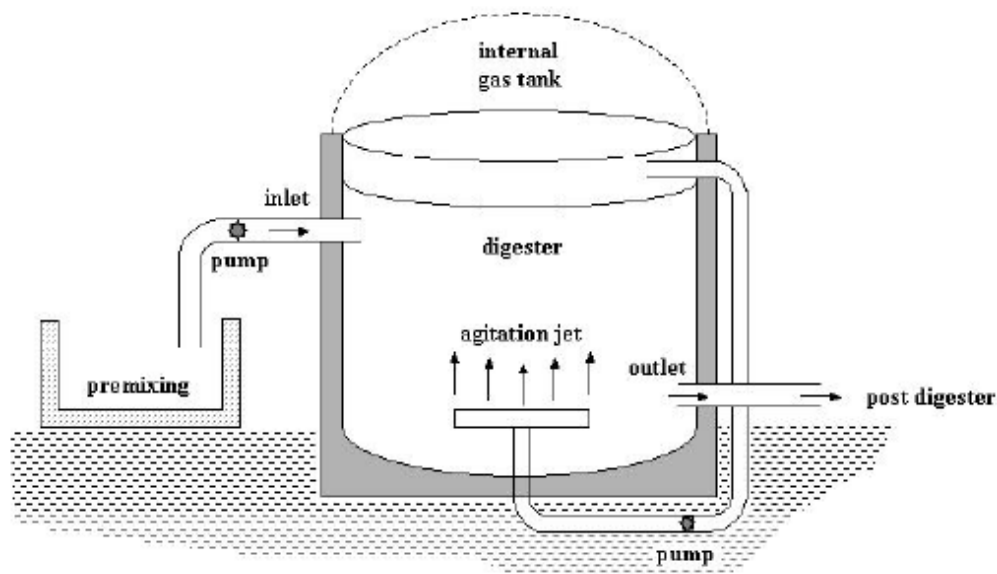
In Europa gebeurt de productie van biogas vooral op het niveau van de landbouw (7). De eerste installaties, werden een dertigtal jaren geleden ontwikkeld om de geur van dierlijke mest te verwijderen, maar tevens om de boerderijen van elektriciteit en warmte te voorzien. Deze installaties hadden een vergister met een omvang van 50-100 m<sup>3</sup> en produceerden 10-20 kW aan elektrische energie geleverd door een warmtekrachtkoppeling.

Al snel werd ontdekt dat de efficiëntie van de biogasinstallaties verhoogd kon worden door andere organische stoffen bij de biomassa te voegen zoals resten van voedselproductie of keukenafval. Het hoofddoel van de biogasinstallaties werd het produceren van elektrische energie. De installaties werden steeds groter.

Vandaag bestaat een biogasinstallatie meestal uit twee of drie vergisters van een omvang van verschillende duizenden m<sup>3</sup> en een elektrische capaciteit van 500-1000 kW. Als toevoermateriaal of biomassa worden vooral dierenmest en organische landbouwafval gebruikt. De verblijftijd is afhankelijk van de inhoud van de biomassa, maar telt gemiddeld 28 dagen.

### 1.6.1 Constructie biogasinstallatie

Een biogasinstallatie in Europa bestaat meestal uit de volgende onderdelen: een mixtank, een vergister met gashouder, een warmtekrachtkoppeling en zuiveringsinstallaties voor het biogas en het digestaat. Figuur 2 geeft een vereenvoudigde schets weer van een biogasinstallatie zonder warmtekrachtkoppeling (7).



Figuur 2: Vereenvoudigde voorstelling vergister gebruikt in Europa (7).

Het toevoermateriaal of de biomassa wordt eerst gemixt, vooraleer de massa naar de vergister gepompt wordt. Hierdoor wordt de biomassa omgevormd tot één grote brei zodat er geen stukken organisch materiaal de anaerobe vergisting belemmeren of gaan drijven (7).

Op verschillende tijdstippen worden de vergisters gevoed met het toevoermateriaal. De vergisters worden meestal gemaakt van beton met een stalen skelet of geheel van staal. Hun omvang ligt meestal tussen 500 en 3000 m<sup>3</sup>, hoewel er nog steeds kleine installaties bestaan voor zelfvoorziening. De vergisters hebben een rechtopstaande cilindrische vorm en worden niet ingegraven, maar op het land geplaatst. Aangezien Europa geen ideaal klimaat heeft voor anaerobe vergisting, worden de vergisters goed geïsoleerd en voorzien van een verwarmingssysteem dat ervoor zorgt dat de vergister constant verwarmd wordt tot ongeveer 37 °C. Een geïntegreerd roersysteem zorgt voor een optimaal gebruik van de biomassa. De biogasproductie wordt er immers door verhoogd (7).

Het geproduceerde biogas wordt verzameld in een ruimte boven de vergister of in een flexibel gasmembraan (4). Dit gasmembraan kan enkelvoudig of dubbel uitgevoerd worden. Bij een dubbel membraan wordt het buitenste membraan op druk gehouden door een compressor die lucht blaast tussen de twee membranen. Deze druk zorgt samen met het gewicht van het binnenste membraan voor een overdruk in de gasopslag waardoor het gas naar de warmtekrachtkoppeling kan stromen. Hierbij heerst een overdruk van 0,05-1 mbar.

Door het plaatsen van netten of een houten dek waaraan zwavel zich hecht wordt het biogas gezuiverd (4). Vervolgens wordt het omgezet in elektrische- en warmte-energie door een warmtekrachtkoppeling, een verbrandingsmotor gekoppeld aan een generator, waardoor een gecombineerde productie plaatsvindt van elektriciteit en warmte. Er zijn twee typen verbrandingsmotoren beschikbaar voor de verbranding van het biogas. Het eerste type werkt volgens het Otto-principe en wordt ook wel gasmotor genoemd. De ontsteking van het gasmengsel gebeurt door bougies. Het tweede type werkt volgens het Dieselmotor-principe en wordt ook wel Zündstrahlmotor genoemd. Samen met gas wordt altijd een kleine hoeveelheid

diesel ingespoten. Het mengsel komt door drukverhoging tot ontbranding. In Nederland is alleen gebruik van de gasmotor relevant omdat de Zündstrahlmotor niet voldoet aan emissie-eisen voor stookinstallaties.

Het digestaat wordt parallel met het toevoeren van biomassa uit de vergister gelaten en geleid naar een zuiveringsinstallatie waar het door verwarming gezuiverd wordt. Vervolgens kan het gebruikt worden voor irrigatie en bemesting van het omringende land (7).

## **1.7 Toepassing in ontwikkelingslanden**

In ontwikkelingslanden worden biogasinstallaties vooral op het niveau van een gezin gebruikt waardoor zij in hun eigen behoeften kunnen voorzien (4), (6), (7). Het geproduceerde biogas wordt dan ook vooral aangewend om te koken en eventueel met behulp van een kleine warmtekrachtkoppeling omgezet naar elektrische energie en warmte-energie.

De lage druk van het gas zorgt voor een lagere efficiëntie. Het gebruik van compressoren kan een oplossing bieden voor dit probleem. Met een compressor wordt het gas samengedrukt- en in flessen bewaard worden. Hierdoor kan de hele buurt van gas voorzien worden. Een ander probleem is het opslaan van het gas. Dit gebeurt meestal bovenaan in de vergister zelf, in afzonderlijke rubberen gaszakken of in externe gashouders.

Om elektriciteit op te wekken met het biogas kunnen kleine generatoren gebruikt worden. Er bestaan reeds enkele opstellingen met een elektrische capaciteit van 0,5-5 kW<sub>el</sub>. Hiervoor zijn één of twee vergisters nodig van 10m<sup>3</sup>.

Het toevoermateriaal bestaat uit dierlijke mest, menselijke fecaliën, plantenafval van velden en keukenafval.

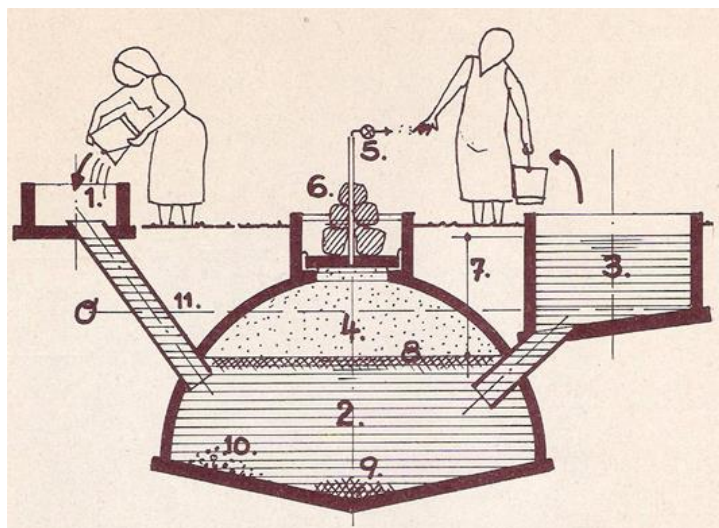
### **1.7.1 Werking**

Figuur 3 toont een schets van een biogasinstallatie in ontwikkelingslanden (5), (6), (7). Het bioafval komt rechtstreeks of na menging via de inlaat de vergister binnen. Ook de toiletten worden rechtstreeks verbonden met de vergister.

De omvang van de vergister wordt afgestemd op de behoefte aan biogas en moet zodanig gekozen worden dat de biomassa van een volledige verblijftijd er in past. Een vergister van 2 m<sup>3</sup> is voldoende om een gezin van 6 personen dagelijks van een warme maaltijd te voorzien. De vergister kan samengesteld worden uit één of twee compartimenten waar de biomassa 10-30 dagen in verblijft. Hierin vindt dan ook de eigenlijke anaerobe vergisting plaats. Bij de constructie is het uitermate belangrijk dat de vergister luchtdicht afgesloten wordt. Wanneer dit niet gebeurt komen andere bacteriën terecht in de biomassa en kan de vergisting niet plaatsvinden.

Het geproduceerde biogas komt bovenaan de vergister of in een afzonderlijk voorziene gashouder terecht en kan bij gebruik de gashouder verlaten via een afsluitbare gasleiding.

Het digestaat verlaat de vergister op regelmatige basis en wordt opgevangen in een aparte opslag, waarna het gebruikt kan worden voor irrigatie en bemesting van het omringende land (7).

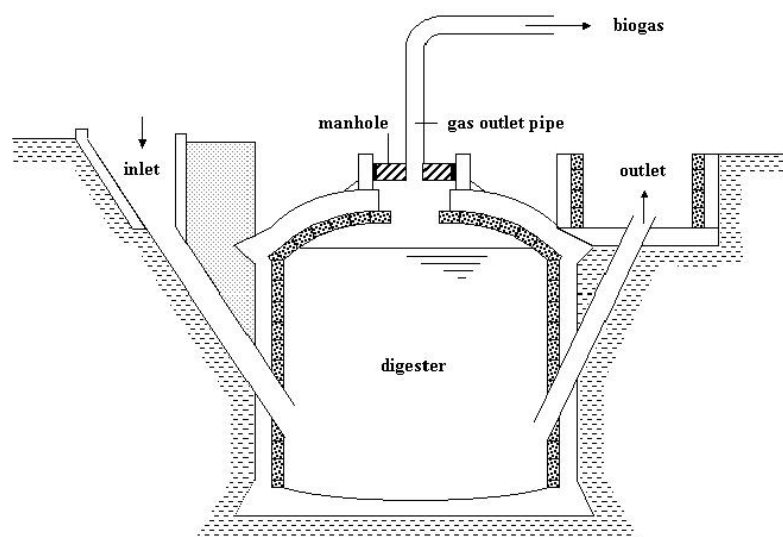


Figuur 3: Vergister met vaste koepel

1. Mengtank met inlaatleiding. 2. Vergister. 3. Digestaatopslagtank. 4. Gashouder. 5. Gasleiding. 6. Luik met gasdichte afsluiting en extra gewicht. 7. Niveaoverschil = gasdruk in waterkolom. 8. Schuim. 9. Verzameling van dik slib. 10. Verzameling van zand, stenen en grind. 11. Nullijn: vulhoogte zonder gasdruk (5)

### 1.7.2 Vergister met vaste koepel (fixed dome digester)

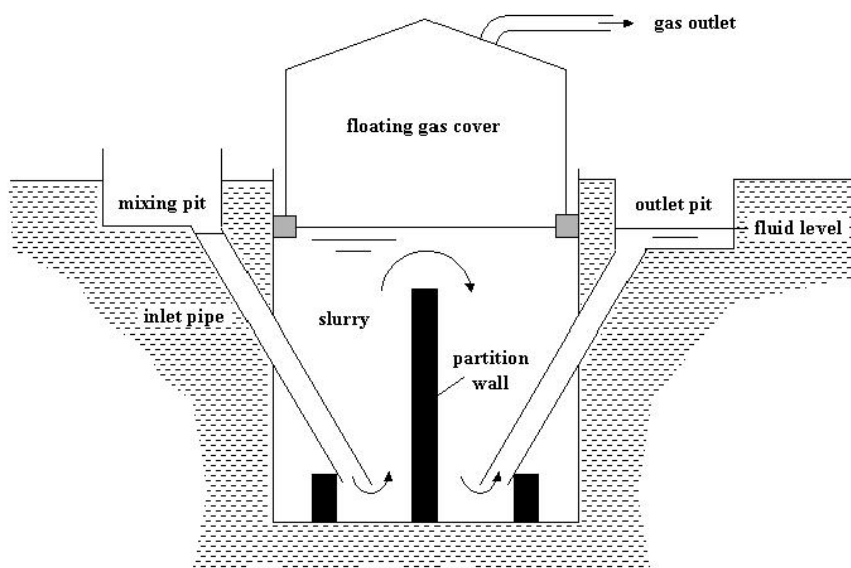
De meest gebruikte vergister heeft een rechtopstaande cilindrische vorm met vaste koepel zoals in figuur 4 (5), (7). In de koepel bovenaan de vergister wordt het gas gevormd en opgeslagen. Een gasleiding met afsluiting bovenaan de koepel wordt meestal rechtstreeks verbonden met de keuken. De vergister wordt geconstrueerd met plaatselijke materialen, zoals beton of bakstenen, cement en klei. Om temperatuurschommelingen tegen te gaan wordt de vergister al dan niet volledig ingegraven. Het voordeel van dit type vergister is dat hij opgebouwd is uit plaatselijke materialen en geen beweegbare delen heeft die kunnen roesten. De constructie moet wel luchtdicht zijn en dit vereist toch een zekere kennis. Het is moeilijk om hier een constante druk te behouden en gaslekken komen vaak voor.



Figuur 4: Cilindrische vergister met vaste koepel (7).

### 1.7.3 Vergister met bewegende gashouder (floating drum digester)

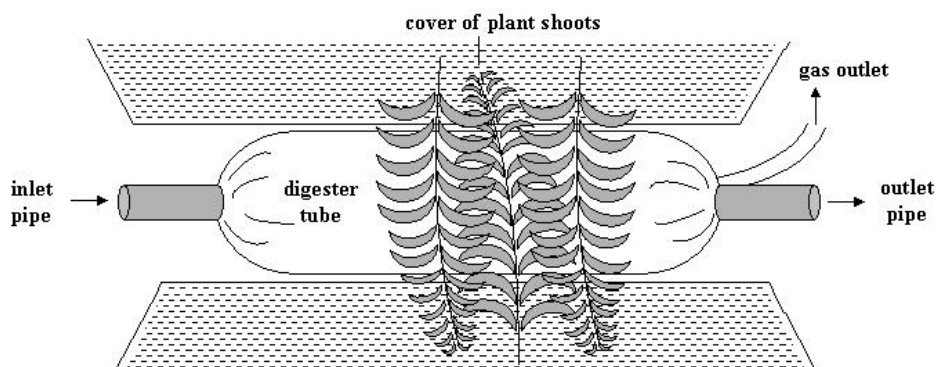
De vergister met bewegende gashouder is gelijkaardig aan deze met koepel zoals te zien is op figuur 5 (5), (7). Alleen kan hierbij de gashouder naargelang de geproduceerde hoeveelheid gas verticaal bewegen t.o.v. de vergister. De vergister wordt geconstrueerd van beton of bakstenen, cement en klei. De gashouder bestaat daarentegen uit staal, waardoor het risico op ongecontroleerde gasontsnapping aanzienlijk verkleind wordt. Ook hier wordt de vergister al dan niet volledig ingegraven, de gashouder bevindt zich daarentegen altijd bovengronds. Deze vergister heeft als voordeel dat hij zorgt voor een constante gasdruk. De bewegende gashouder zal regelmatig nagekeken moeten worden op roest.



Figuur 5: Vergister met bewegende gashouder (7).

### 1.7.4 Buisvergister (Tube digester)

De vergister kan ook gemaakt worden in de vorm van een buis zoals getoond in figuur 6 (5), (7). Deze bestaat uit een geplooide folie van polyethyleen en een porseleinen pijp als in- en uitlaat. De vergisting vindt dan plaats in de buis en het geproduceerde gas kan, via een gasleiding bovenaan, de vergister verlaten. De buis wordt meestal bedekt met palmladeren of bananenbladeren om beschadiging van de folie tegen te gaan. De kost is heel laag bij dit soort vergister en een vervanging van de vergister kan eenvoudig, snel en goedkoop gebeuren. De grootte van de vergister is echter beperkt en de folie raakt snel beschadigd.



Figuur 6: Buisvergister (7).

## 1.8 Voor- en nadelen van anaerobe vergisting.

Anaerobe vergisting heeft verschillende voordelen (4), (5), (6), (7). Het levert duurzame energie in de vorm van biogas. Methaan en koolstofdioxide zijn broeikasgassen die het milieu schade kunnen toebrengen wanneer ze onverbrand in de dampkring terecht komen. De ongecontroleerde uitstoot van deze gassen wordt bij de productie van biogas voorkomen en tevens wordt het gebruik van fossiele brandstoffen verminderd.

Naast het biogas blijft er ook digestaat over na de vergisting. Dit is een schone nutriëntenbron die gebruikt kan worden voor irrigatie en bemesting. Aangezien het hoofdbestanddeel van de biomassa bestaat uit organisch afval biedt een biogasinstallatie een zekere oplossing voor het afvalprobleem.

Een biogasinstallatie is een eenmalige investering waarbij voor de constructie ervan lokale materialen gebruikt kunnen worden. Er zijn geen beweegbare onderdelen aanwezig, uitgezonderd bij de vergister met beweegbare gashouder, die dan ook niet stuk kunnen gaan. De gebruikte technologie is relatief eenvoudig. Door het gebruik van een eigen biogasinstallatie kan men voorzien in eigen behoeften waardoor men minder afhankelijk is van externen. Men levert immers zelf de toevoermaterialen.

Bij het gebruik en de constructie van een biogasinstallatie zijn ook echter enkele nadelen (4), (5), (6), (7). De technologie mag dan wel vrij eenvoudig zijn, toch is een zekere kennis vereist bij zowel de opbouw, zoals het luchtdicht maken van de vergister, alsook voor het onderhoud en de controle van een biogasinstallatie. De constructie van een biogasinstallatie is een aanzienlijke kost. Een biogasinstallatie met een vergister van 18 m<sup>3</sup> heeft een prijskaart van 4700 euro (8).

Verder neemt een biogasinstallatie, afhankelijk van de omvang van de vergister een grote ruimte in beslag. Bovendien zorgt de opslag van gas voor enige problemen. Het is een vrij grote hoeveelheid gas die ergens veilig opgeslagen moet worden. Meestal gebeurt deze opslag bovenaan in de vergister, maar dit kan ook extern gebeuren.

Methanogene bacteriën zijn erg gevoelig voor bepaalde chemische samenstellingen (3). In veel gevallen kunnen de anaerobe organismen zich aanpassen aan deze samenstellingen. Het digestaat kan nog zwavelhoudende samenstellingen bevatten die gepaard gaan met een onaangename geur door de vorming van sulfide.



## 2 Proefopstelling

### 2.1 Inleiding

Teneinde een beter inzicht te verkrijgen in het proces van anaerobe vergisting werd een proefopstelling gebouwd. Deze proefopstelling is een schaalmodel van de biogasinstallatie die in Senegal wordt gebouwd. Met dit schaalmodel werden de volgende grootheden gemeten: druk, temperatuur en zuurgraad (pH). Het effect van verschillende procesparameters, zijnde de voeding, de temperatuur en het al dan niet roeren, werd nagegaan. Aan de hand van deze resultaten kon het ontwerp van de eigenlijke biogasinstallatie verbeterd en geoptimaliseerd worden.

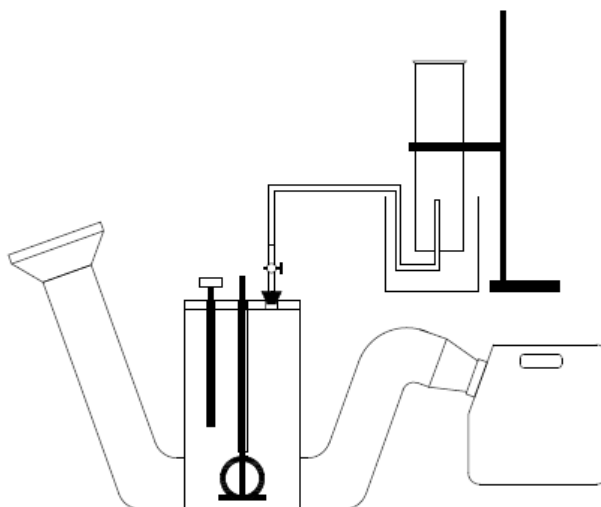
### 2.2 Materialen en methoden

#### 2.2.1 Ontwerp

Bij het ontwerpen van de proefopstelling (figuur 7) werd rekening gehouden met een aantal belangrijke factoren: de representativiteit van de proefopstelling, de kostprijs en de verkrijgbaarheid van bewerkbare onderdelen.

De belangrijkste factor is de representativiteit van de proefopstelling. Het was uitermate belangrijk dat de proefopstelling de realiteit zo goed mogelijk benaderde zodat de resultaten van de ondernomen proeven ook gebruikt konden worden bij het ontwerp van de eigenlijke installatie. Daarom werd er niet alleen een gelijkaardig ontwerp gemaakt, maar werden ook de omgevingsfactoren nagebootst en werd geen voeding toegevoegd tijdens het weekend.

Bij het aankopen van de verschillende onderdelen werd in de eerste plaats gekeken naar bewerkbaar materiaal. Het moest mogelijk zijn om eventueel zelf aanpassingen aan te brengen zoals het maken van openingen in het deksel van de vergister. De onderdelen moesten ook makkelijk verkrijgbaar zijn zodat, indien er zich problemen voordeden, er geen weken gewacht moest worden op een nieuw onderdeel. Tenslotte werd uiteraard ook gekeken naar de kostprijs van elk onderdeel. Deze werd zo laag mogelijk gehouden.



Figuur 7: Schets proefopstelling

### 2.2.2 Onderdelen en gebruikte materialen

De proefopstelling (figuur 8) is opgebouwd uit de volgende onderdelen: een vergister, een in- en uitlaat, een digestaatopslag, gasleidingen, gaszakken, een metalen constructie, een roerder, sensoren en een verwarmingslint.



**Figuur 8: Proefopstelling**

#### **Vergister**

Een aangepast PVC toezichtputje doet dienst als vergister. Dit toezichtputje heeft een inhoud van 25 l, een diameter van 300 mm en een hoogte van 350 mm. Het putje heeft twee openingen van 110 mm voor de in- en uitlaat. De opening van de inlaat ligt een vijftal cm lager dan deze van de uitlaat om directe doorstroming van de biomassa te vermijden. De vergister wordt bovenaan afgesloten met een PVC deksel. In dit deksel is een rubberen band geplakt die samen met een metalen constructie de vergister luchtdicht afsluit. Er werd gekozen voor het gebruik van PVC aangezien dit materiaal makkelijk te bewerken, licht en niet te duur is in aankoop.

In het PVC deksel van de vergister zijn drie openingen voorzien. In deze openingen is telkens een PVC wartel geplaatst die kan geklemd worden. Een opening in het midden van het deksel werd gemaakt voor de roerder. De roerder zelf is geplaatst in een PVC buis die geklemd wordt door de rubber en in de vergister tot in de biomassa reikt. Dit om te voorkomen dat er gas kan ontsnappen. Een tweede en derde opening werden voorzien aan de zijkant van het deksel, voor het plaatsen van de sensoren. De druksensor heeft een aparte kleine opening in het deksel. De temperatuursensor en de pH sensor zijn samen in een PVC buis geplaatst die eveneens tot in de biomassa reikt om ontsnapping van het gas te voorkomen.

## **In- en uitlaat**

De in- en uitlaat werden eveneens opgebouwd uit PVC onderdelen.

De inlaat bestaat uit een PVC bocht, buis, trechter en draaideksel. Een bocht van 45° zorgt ervoor dat er zeker geen biomassa vast kan komen te zitten in de inlaat. Om makkelijker biomassa toe te voegen is de inlaat voorzien van een trechter die afgesloten wordt met een PVC draaideksel. Dit deksel dient vooral voor het tegenhouden van de onaangename geuren afkomstig van de biomassa.

De uitlaat werd eveneens gemaakt van een PVC bocht, buis, splitsing en draaidekseltjes. Ook hier werd een bocht van 45° gebruikt om dezelfde reden. De PVC buizen hebben een diameter van 110 mm. Deze diameter is voldoende om een goede doorloop van de biomassa in de in- of uitlaat te garanderen. Belangrijk hierbij is dat de inlaat een stuk hoger ligt dan de uitlaat. Dit om terugloop van de biomassa langs de inlaat omhoog te voorkomen.

## **Digestaatopslag**

Als digestaatopslag werd eerst gebruik gemaakt van een jerrycan van 20 liter, die is nadien vervangen door een doos onder de uitlaat omwille van het gebruiksgemak.

## **Gasleidingen en gasopslag**

Plastieken slangetjes worden gebruikt als gasleidingen. Deze plastieken slangetjes worden gebruikt omdat ze soepel en dus makkelijk hanteerbaar zijn. Plastieken verbindingstukjes zorgen voor de gasdichte aaneensluiting van de verschillende slangetjes.

Het geproduceerde biogas wordt opgevangen in speciaal voorziene gaszakken van 5 liter geschikt voor de opslag van biogas. Eerst werd getracht het biogas op te vangen in een omgekeerde cilinder gevuld met water. Dit was geen succes, daarom werd overgeschakeld naar het gebruik van gaszakken.

### **2.2.3 Sensoren en verwarmingslint**

Er zijn drie sensoren geïntegreerd in de proefopstelling: een druksensor, een temperatuursensor en een pH sensor (9). De datasheets bevinden zich in appendix A.

De gebruikte druksensor is de Honeywell 24PCAFA6G. Het is een niet-compenserende druksensor die door middel van een weerstandsverandering over- of onderdruk meet. De druksensor is, zoals eerder besproken, bovenaan in het deksel van de vergister geplaatst. Bij normale omstandigheden, mag er geen of slechts een heel lichte overdruk heersen in de vergister vermits het gas wordt afgedreven naar de gaszakken (10). Wanneer echter het maximale volume van de gaszakken bereikt wordt, vindt er een drukopbouw plaats in de vergister of is er een blokkade ergens in de gasleidingen.

De temperatuursensor meet de temperatuur van de biomassa. Het bereik van deze sensor kan beperkt worden tussen 20° en 60 °, gezien de temperatuur die anaerobe vergisting mogelijk maakt. Voor de temperatuurmeting wordt een PT100 temperatuursensor gebruikt. Deze sensor is een RTD (resistance temperature detector) in een SMD-uitvoering. De PT100 kent

een lineair verband tussen de spanning en de weerstand en wordt veel gebruikt in de industrie.

De pH sensor meet de pH van de biomassa op dezelfde plaats als de temperatuursensor. Tijdens anaerobe vergisting zal deze moeten schommelen tussen een pH van 6,9 en 7,9. De pH geeft aan of de biomassa niet te zuur of te basisch is. Een pH buiten de opgegeven mogelijke waarden van de pH geeft immers aan dat de biomassa te zuur of te basisch is om vergist te kunnen worden. De pH sensor is een elektrode die opgebouwd is uit een referentie- en een glaselektrode. Het potentiaal verschil tussen de meetelektrode en de referentie-elektrode is een maat voor de pH waarde.

Het temperatuurlint is rond de vergister gewikkeld. Dit om de biomassa te verwarmen tot een temperatuur die het mogelijk maakt om het proces van anaerobe vergisting op te starten en de temperatuur te kunnen aanpassen. Het meetlint kent tien verschillende verwarmingsstanden.

#### **2.2.4 Methode**

De proefopstelling is een continue vergister (4), (6). Hij wordt dagelijks op weekdays gevoed met een hoeveelheid biomassa. Dit om de vulling van de vergister van een school na te bootsen. Dagelijks geeft hij dezelfde hoeveelheid digestaat weer af via de uitlaat. Het voeden van de vergister gebeurt telkens rond hetzelfde tijdstip. De gebruikte voeding is biomassa afkomstig van een bestaande vergister in Herk-de-Stad. De inhoud van deze biomassa bestaat uit varkensmest, koffiedik, maïsresten en aardappelresten. Het is een vloeibare brei met kleine stukjes.

Tijdens weekdays wordt eveneens de pH sensor, minstens één keer gekalibreerd met kalibratievloeistoffen met een pH van 4 en een pH van 7. Telkens wordt nagegaan of de temperatuur de juiste waarde heeft en of er geen overdruk ontstaan is in de vergister. Dit laatste zou dan kunnen wijzen op een blokkade ergens in de gasleidingen of op het bereiken van het maximaal volume van de gaszakken.

De bachelor studenten industrieel ingenieur elektronica Sebastiaan Bosmans en Senne Vanoppen hebben de elektronische schakeling van de sensoren onder handen genomen tijdens hun bachelor proef. Deze sensorschakeling werkt als volgt (9). Het analoog signaal van de sensoren wordt omgezet naar een verwerkbaar digitaal signaal door een microcontroller board, de Arduino Uno. Het weergeven van de meetwaarden gebeurt door een grafische interface die bestaat uit twee tabbladen. Het eerste tabblad geeft de gemeten waarden weer van druk (in kPa), temperatuur (in °C) en pH. Het tweede tabblad staat toe de sensoren te kalibreren.

### **2.3 Resultaten**

Gedurende drie weken werden de meetwaarden van elke sensor bijgehouden en in grafieken gegoten. De resulterende meetwaarden komen overeen met de theorie en tonen zo het correct werken van de proefopstelling aan.

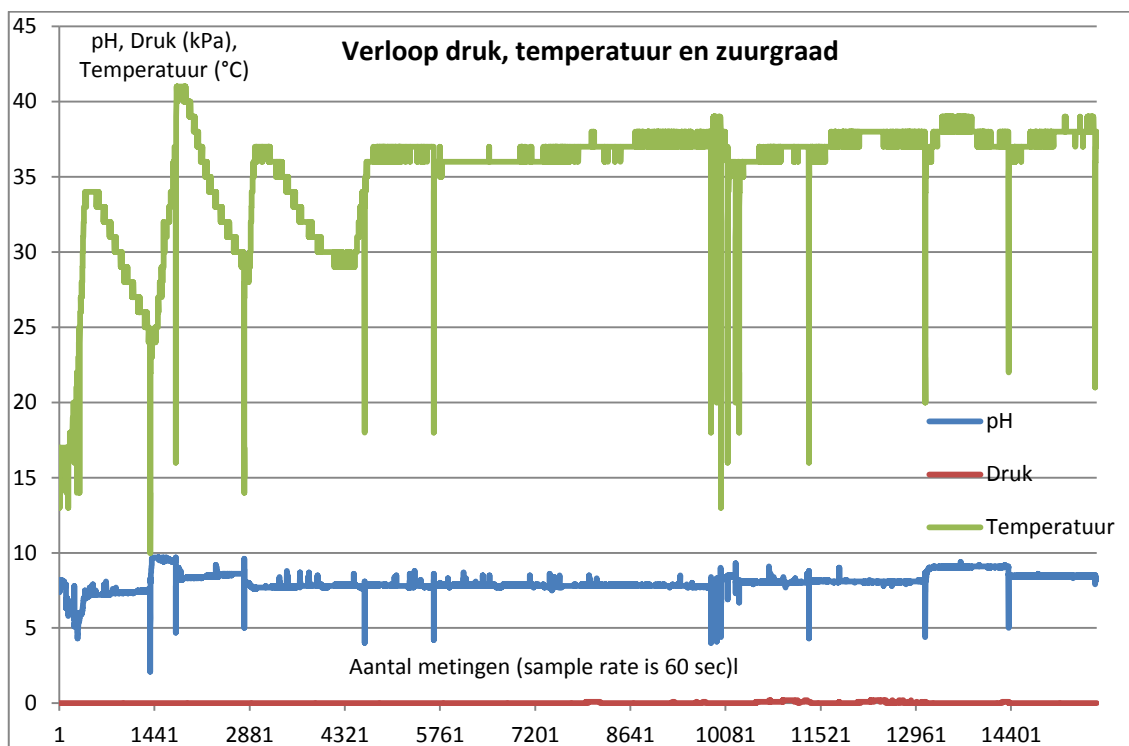
### 2.3.1 Verloop druk, temperatuur en zuurgraad

Zoals eerder aangegeven is de ideale temperatuur voor anaerobe vergisting 37 °C (4), (6). Bij deze temperatuur is het proces stabiel en de gasopbrengst het hoogst. Bij de opstart van de proefopstelling werd gekozen voor deze temperatuur om zo het vergistingsproces alvast goed op gang te brengen. Gezien het verwarmingselement enkel de standen 1 tot 10 heeft is het bereiken van de temperatuur een *trial and error* geweest met als resultaat een stabilisering na één week. De niet stabiele omgevingstemperatuur waar de proefopstelling opgesteld stond, was een bijkomende moeilijkheid bij het regelen van de temperatuur. In de eerste week werd er dan ook geen gasproductie en dus ook geen overdruk gemeten.

Daarenboven was de pH waarde erg instabiel in deze week. Vanaf de tweede week bleef de temperatuur constant en werd er een pH waarde verkregen van 7,5. Deze waarde komt overeen met de voorop voorgestelde theoretische waarden van de pH tijdens vergisting (6,9-7,9) (10). Een stabiel vergistingsproces werd bereikt, waardoor ook de gasproductie op gang kwam met een dagelijkse gasproductie van 5 l of 1 gaszak. Wanneer de gaszakken hun maximaal volume bereikten begon de druk toe te nemen in de vergister. Enkele uren hierna werd reeds een overdruk gemeten tussen 100 en 200 Pa.

Tijdens de derde week werd gestart met het dagelijks toevoegen van 150 g biomassa. Hierdoor steeg de pH waarde naar 8 omdat de pH waarde van de toegevoegde biomassa licht basisch was (pH waarde 8,5).

De pieken in de grafiek (figuur 9) werden veroorzaakt door het verwijderen van de sensoren uit de vergister.



Figuur 9: Verloop druk, temperatuur en zuurgraad.

### 2.3.2 Gasopbrengst

Zoals hierboven vermeld, werd een dagelijkse gasopbrengst van 5 l waargenomen. Deze hoeveelheid biogas werd verkregen met een temperatuur van 37 °C, een dagelijkse voeding van 150 g biomassa op weekdays en zonder roeren.

Het wijzigen van de procesparameters gaf de volgende resultaten.

#### Temperatuur

Door de temperatuur te verlagen naar 24 °C daalde de gasproductie naar, bij schatting, 50 % van de normale gasproductie. Wanneer de temperatuur vervolgens terug verhoogd werd, steeg ook de gasproductie terug tot het normale niveau.

#### Voeding

Bij het volgen van het voedingsritme van een normale werkweek, d.w.z. wanneer er geen biomassa werd toegevoegd tijdens het weekend was er geen merkbaar verschil in de gasproductie tijdens de week of tijdens het weekend. Zoals hierboven aangegeven was er een dagelijkse gasproductie van 5 liter per dag, dus één gaszak. Dit was niet anders tijdens het weekend. Werd er echter langer geen biomassa toegevoegd aan de vergister, verminderde ook de gasproductie geleidelijk aan. Na twee weken zonder voeding wordt de gasproductie ongeveer gehalveerd.

#### Roeren

Het al dan niet roeren gaf geen duidelijk zichtbaar verschil in de gasproductie. Wanneer regelmatig rustig geroerd werd, werd er niet meer gas geproduceerd.

## 2.4 Kosten- en batenanalyse

### 2.4.1 Kostprijs

Hieronder een overzicht van de gemaakte kosten bij aankoop van de verschillende onderdelen van de proefopstelling. De totale kostprijs was ongeveer 1000 euro (tabel 7)

Tabel 7: Kostprijs proefopstelling

Stuk	Kostprijs (euro)
Toezicht putje met deksel	65,00
Metalen constructie	50,00
Rubber	6,00
Verfmenger	15,00
PVC wartels	5,00
PVC buizen, bochten en afsluitdoppen	50,00
PVC lijm	5,00
Plastieken gasleidingen	10,00
Plastieken verbindingsstukjes gasleidingen	10,00
Gaszakken (10 stuks)	158,00
Druk sensor	20,00
Temperatuur sensor	20,00
pH sensor	65,00
Verwarmingslint	500,00
<b>Totaal</b>	<b>979,00</b>

### **2.4.2 Energieopbrengst versus energieverbruik**

De proefopstelling heeft een dagelijkse gasopbrengst van 5 l biogas. Het biogas bevat ongeveer 67 % aan methaan, dus een dagelijkse methaanopbrengst van 3,35 l. Methaan heeft een verbrandingswaarde van 36 MJ / m<sup>3</sup> (5). De totale dagelijkse energieopbrengst van het gas is dus 120,5 kJ of 0,033 kWh.

Het verwarmingslint dat gebruikt wordt, wordt op stand 2 gezet om de gewenste temperatuur aan te houden. Op stand 10 is het totale vermogen 400 W. Het vermogen van het verwarmingslint kende een lineair verloop dus op stand 2 is het vermogen 80 W wat omgerekend 4,8 kWh is.

Het energieverbruik van de proefopstelling ligt veel hoger dan de energieopbrengst ervan. De proefopstelling werd dan ook niet ontworpen om een zo hoog mogelijk energievoordeel te behalen. (opbrengst versus verbruik).

## **2.5 Besluit**

De proefopstelling, een schaalmodel van de eigenlijke installatie, werd opgebouwd om meer inzicht te verkrijgen in het anaerobe vergistingsproces. Hierbij werden de druk, de temperatuur en de zuurgraad (pH) gemeten. Vervolgens werden de procesparameters, de temperatuur, het al dan niet roeren en de voeding, gevarieerd om het effect op de gasproductie te bepalen.

Een temperatuur van 37 °C zorgt voor het op gang komen van een stabiel vergistingsproces met een dagelijkse gasproductie van 5 l en een constante pH waarde van 7,5. De overdruk neemt toe wanneer het maximale volume van de gaszakken bereikt wordt.

Bij verlaging van de temperatuur naar 24 °C, daalt de gasproductie met de helft bij ideale temperatuur. Niet voeden tijdens het weekend heeft geen effect op de gasproductie. Wanneer echter langer dan twee dagen niet gevoed wordt, is een daling waar te nemen in de biogasproductie. Het al dan niet roeren van de biomassa heeft geen enkel effect op de gasproductie.

### 3 Biogasinstallatie Senegal

#### 3.1 Situatieschets

De primaire school 'Les Cajoutiers' (figuur 10) onderwijst momenteel 500 kinderen, maar dat aantal groeit snel. De kinderen krijgen 4 keer per week een warme maaltijd bereid met butaangas. Dit kopen ze aan in 'bonbons' van 12 kg. Met een gebruik van zes gasflessen per week komt dit op een totaal van 80 euro (1).

In de school hebben ze drie toiletten, elk verbonden via een inspectieputje met een eigen sterfput. Deze put is op zijn beurt verbonden met een zinkput waarbij de overloop gewoon in de natuur terecht komt.

De toiletten van de kleutertjes bevinden zich in het gelijknamige gebouw. De bijhorende sterfput is onder het gebouw gemaakt. Vanaf hier is het ongeveer 40 m tot aan de andere toiletten en 60 m tot aan de keuken.

De toiletten van de andere kinderen zijn geplaatst in eenzelfde gebouw op 20 m van de keuken. Ze zijn opgesplitst in een deel voor de meisjes en een deel voor de jongens, elk met hun eigen sterf- en zinkput. De toiletten het kortst bij de keuken zijn rechtstreeks verbonden (dus zonder inspectieputje) met de sterfput.

Achter de school bevindt zich een tuintje waarin de school eigen groenten kweekt (figuur 11). Er zijn ook 300 kippen aanwezig in de school. Hun hok ligt achteraan in de tuin.



Figuur 10: Primair schooltje 'Les Cajoutiers'



Figuur 11: Tuin 'Les Cajoutiers'

#### 3.2 Biomassa en biogas

##### 3.2.1 Bruikbaar organisch materiaal

Het hoofdbestanddeel van de geleverde biomassa zal bestaan uit menselijke fecaliën afkomstig van de toiletten van de school. Bioafval afkomstig van de keuken en het moestuintje aan de massa kan toegevoegd worden maar de leerlingen eten echter zo goed als alles op en wanneer er enige plantenresten over zijn, worden deze gevoederd aan de dieren van het personeel.

Volgens berekeningen zou de opbrengst van fecaliën als biomassa slechts 10% biogas van de benodigde hoeveelheid gas bedragen. Dit percent wordt veel te laag bevonden door de



directie van de school. Om de biogasopbrengst te verhogen, zouden er andere voedingsstoffen moeten toegevoegd worden.

Het toevoegen van tuin- en keukenafval zou de productie sterk verhogen, maar is niet voor handen. Er kunnen echter andere organische stoffen aan toegevoegd worden zoals algen, omhulsels van apennootjes en kippenmest (5).

Warang, het dorpje waar de school gelegen is, bevindt zich op een boogscheut van de kust. Van de visvangst blijven telkens niet verkochte vissen op het strand achter. Mogelijk kan dit dierlijk afval gebruikt worden als toevoermateriaal voor de biogasinstallatie. Verder zou het bioafval afkomstig van plaatselijke hotels als additief kunnen dienen (1).

In plaats van houtschilfers zouden ook omhulsels van apennootjes gebruikt worden om kippenmest op te vangen. Samen met de kippenmest kunnen zij als bijkomende voeding voor de biogasinstallatie dienen. De omhulsels van apennootjes kosten echter geld.

Een aantal maanden per jaar, is het strand bezaaid met algen (figuur 12 en 13). Algen kunnen uitstekend vergist worden en hebben een goede gasopbrengst. Tijdens de maanden dat ze er zijn, kunnen ze verzameld, gedroogd en opgeslagen worden, en het hele jaar door gebruikt worden als voeding voor de biogasinstallatie. Algen zijn vrij verkrijgbaar in tegenstelling tot andere mogelijke oplossingen. Daarom wordt gekozen voor algen als bijkomende biomassa. Nieuwe berekeningen met deze bijkomende biomassa geven aan dat de biogasinstallatie maximum 25 % van de benodigde hoeveelheid gas kan leveren. Met deze opbrengst ging de directie van de school akkoord.



**Figuur 12: Algen op het strand**



**Figuur 13: Verzameling van algen met paard en kar**

### 3.2.2 Berekeningen

#### Benodigde hoeveelheid biogas

Momenteel worden in de school zes butaangasflessen van 12 kg gebruikt om wekelijks te koken. De dichtheid van vloeibaar butaan bij 15 °C is 0,575 kg/l. Het aantal liter per gasfles is bijgevolg 20,87 l of 125,22 l voor zes gasflessen. De verbrandingswaarde van vloeibaar butaan is 29,475 MJ/l (11). Voor zes gasflessen wordt een verbrandingswaarde van 3614,82 MJ gevonden. Het biogas aangemaakt uit varkensmest (gelijkt het meest op de waarden van menselijke fecaliën) bevat 67 % methaan (5). De verbrandingswaarde van methaan is 36 MJ/m<sup>3</sup>. De verbrandingswaarde van het biogas is dus 24,12 MJ/m<sup>3</sup> of 0,0241 MJ/l. Er is bijgevolg

153 144,4 l gas nodig per week (6). Per dag zou de biogasinstallatie dus 21 877 l of 21,877 m<sup>3</sup> gas moeten produceren.

#### Beschikbare hoeveelheid biomassa

##### *Biomassa fecaliën*

De volgende waarden zijn grotendeels gebaseerd op een schatting. Per dag levert een kind schoolgaande in 'Les Cajoutiers' gemiddeld 100 g fecaliën per dag. Voor alle 500 kinderen is dit dus 50 kg fecaliën per dag. Een gemiddeld persoon produceert 500 ml urine per dag. Dit geeft 250 l urine per dag. De totale biomassa komt bijgevolg neer op 0,300 m<sup>3</sup> per dag. Wanneer rekening wordt gehouden met een verblijftijd van 40 dagen, in de vergister, uitgezonderd de dagen dat de school niet open is, geeft dit een totale hoeveelheid biomassa van 8,6 m<sup>3</sup> gedurende deze verblijftijd.

##### *Biomassa algen (12)*

De gasopbrengst van enkel fecaliën is niet erg hoog, daarom werd op zoek gegaan naar bijkomend organisch materiaal. Algen afkomstig uit de zee bleken ideaal als aanvulling. Ze zijn vrij verkrijgbaar op het strand en in grote aantallen aanwezig gedurende enkele maanden van het jaar. Ze hebben een goede gasopbrengst. Elke dag kan met paard en kar 3 m<sup>3</sup> algen verzameld worden op het strand. De massa van 1 m<sup>3</sup> algen is ongeveer 21 kg. Voor 3 m<sup>3</sup> algen is dit een massa van 63 kg per dag. Door toevoeging van dezelfde hoeveelheid water wordt een consistente brij verkregen. Dit geeft dagelijks een biomassa van 0,126 m<sup>3</sup>. Voor een volledige verblijftijd van 40 dagen geeft dit een biomassa van 3,6 m<sup>3</sup>.

#### Gasproductie

##### *Gasproductie fecaliën (10)*

Het zijn de bacteriën in de menselijke fecaliën die het biogas produceren. Het droge stof gehalte van fecaliën is 25 %. Voor 50 kg fecaliën per dag is dit 12,5 kg droge stof. Van deze droge stof is 85 % of 10,6 kg organische stof. Dit geeft 200 l biogas per kg organische stof, wat neerkomt op 2125 l of 2,125 m<sup>3</sup>. Per m<sup>3</sup> heeft het biogas een energetische waarde van 20 MJ. Dagelijks wordt er 42,5 MJ verkregen uit het biogas.

### *Gasproductie algen (12)*

Het droge stof gehalte van de algen is 20 %. Een dagelijkse massa van 63 kg algen bevat dus 12,5 kg droge stof. Per kg droge stof wordt 200 l methaan verkregen. Dit is 2,52 m<sup>3</sup> methaan per dag. De verbrandingswaarde van methaan is 36 MJ per m<sup>3</sup> en verkrijgt men dagelijks 90,7 MJ.

## **3.3 Technische opbouw installatie**

### **3.3.1 Plan van aanpak**

De uitgevoerde taken zijn die van een projectingenieur. Zij kunnen opgedeeld worden in het uitvoeren van de berekeningen, het maken van het ontwerp, het plannen van de werkzaamheden, het overzien van de werken, het bijeenzoeken van de biomassa, het opstarten en het opvolgen van de biogasinstallatie.

Voorafgegaan aan de buitenlandse stage in Senegal, werden de berekeningen uitgevoerd met de verkregen informatie van de mensen ter plekke. Vervolgens werd aan de hand van deze berekeningen het ontwerp opgemaakt.

Ter plaatste werd nagegaan of de verkregen informatie correct was en werd het ontwerp aangepast aan de hand van deze informatie en de bijkomende wensen van de mensen in de school. Eerst en vooral werd er gezocht naar een geschikte locatie voor de biogasinstallatie. Rekening houdend met de veiligheid werd een plaats gekozen die achteraf ommuurd kan worden zodat de kinderen er niet bij kunnen.

Vervolgens werden de plannen voorgelegd aan plaatselijke aannemer Mamadou Camara. Samen werden vervolgens de materialen gekozen en de volgorde bepaald van opbouw van de installatie. Mamadou was toezichhouder en legde de werkwijze uit aan de metselaars en de andere werkers in hun moedertaal het Wolof (figuur 15). In het totaal werkten zes arbeiders aan de biogasinstallatie: drie metselaars en drie werkers.

Elke dag werd overlegd in het Frans met Mamadou over de uit te voeren taken van die dag, die dan op zijn beurt deze taken toelichtte aan de arbeiders (figuur 14). Tijdens de werken zelf werd naast het toezien op de juiste uitvoering, ook waar mogelijk, een hand toegestoken.



**Figuur 14: Het hele team**



**Figuur 15: Onder leiding van Mamadou**

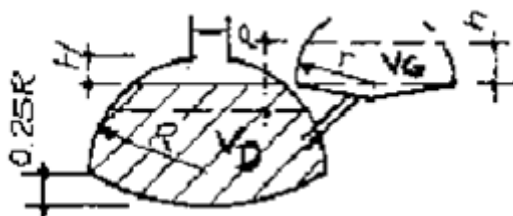
### 3.3.2 Ontwerp en berekeningen

Het oorspronkelijk ontwerp voor de biogasinstallatie was dat van een vergister met vaste koepel die dienst doet als gasopslag (5). De druk van het gas zou verzekerd worden door een compensatietank. Tijdens de vergisting zou het gas geproduceerd en verzameld worden bovenaan de vergister. De gasdruk zou de biomassa geleidelijk aan in de compensatietank duwen. Bij gebruik van het gas zou het gas de vergister verlaten en de biomassa terugstromen van de compensatietank naar de vergister en zo zorgen voor de gewenste druk.

Een basisonwerp werd gemaakt alvorens naar Senegal te vertrekken. Dat ontwerp is terug vinden in appendix B. In de literatuur werd een figuur gevonden met bijhorende formules waarmee de afmetingen bepaald konden worden (figuur 16) (5). Deze formules werden gebruikt om een Excel bestand aan te maken waarin deze afmetingen automatisch aangepast worden wanneer de hoeveelheid biomassa aangepast wordt.

Het volume van de vergister  $V_d$  wordt bepaald aan de hand van de hoeveelheid beschikbare biomassa en bedraagt  $12,2 \text{ m}^3$ . Vervolgens wordt deze waarde ingevuld en kan de rest van de afmetingen bepaald worden zoals te zien is in de tabel.

Door het gebruik van de algen als bijkomende biomassa wordt het ontwerp aangepast waar nodig. De compensatietank wordt geschrapt en vervangen door een externe gasopslag (5). De gewenste druk van het biogas wordt nu bekomen door de massa van een omgekeerde metalen cilinder die geplaatst wordt tussen twee concentrische betonnen cilinders. Om de afmetingen van de vergister te bepalen is toch gebruik gemaakt van de eerder vernoemde figuur, omdat de vergister immers dezelfde vorm heeft.



Figuur 16: Schets vergister (5).

Tabel 8: Afmetingen van de vergister (5).

<b>R (m)</b>	$(0,42 V_d)^{1/3}$	2,00
<b>r (m)</b>	0,66 R	1,32
<b>H (m)</b>	0,15 R	0,30
<b>h (m)</b>	0,31 R	0,62
<b>P (m)</b>	0,60 R	1,20
<b>0,25 R</b>	0,25 R	0,50

Het geproduceerde gas verlaat de vergister langs de gasleiding bovenaan de vergister en stroomt naar de gasopslag. Het gas verzamelt zich onder de beweegbare cilinder die onder

druk van het gas zal omhoog geduwd worden. Wanneer vervolgens het gas in de keuken gebruikt wordt zal het beweegbare onderdeel zorgen voor de benodigde druk.

### 3.3.3 Plaatsing

Bij het schooltje werd eerst op zoek gegaan naar de geschikte plaats om de biogasinstallatie op te bouwen. Deze plaats mocht niet te ver van de keuken en niet te ver van de toiletten gelegen zijn. Gezien de situering van de toiletten was dit echter een onmogelijke opgave zonder al te veel breekwerk.

Daarom werd beslist nieuwe toiletten te bouwen. De ideale plaats voor de biogasinstallatie werd gevonden, naast de infirmerie en op 25 m van de keuken. Niet alleen was er hier ruimte genoeg voor de biogasinstallatie, maar de toiletten konden hier vlakbij de installatie gebouwd worden.

### 3.3.4 Nieuwe toiletten

De nieuwe toiletten werden gebouwd naast de biogasinstallatie zodat al het organisch afval afkomstig van de toiletten rechtstreeks op één punt verzameld wordt (figuur 17 en 18). Het gebouw van de toiletten is opgesplitst in twee gangen, een gang met toiletten voor de meisjes en één voor de jongens. Aan de buitenzijde van het toiletgebouw bevinden zich drie betonnen toezichtputjes. Elk van deze toezichtputjes is verbonden met een reeks toiletten (toiletten vooraan, in het midden en achteraan). De buitenste twee toezichtputjes zijn aangesloten op het middelste toezichtputje. Dat toezichtputje is op zijn beurt verbonden met de vergister.

De gebruikte toiletten zijn Franse toiletten zonder 'chasse'. De kinderen gebruiken weinig water om zichzelf schoon te maken. De onderlinge verbindingen zijn gemaakt van PVC buizen.



Figuur 17: Het nieuwe toiletgebouw



Figuur 18: Verbinding toiletten met biogasinstallatie

### 3.3.5 Inlaatreservoir en inlaatbuis

Biomassa die niet afkomstig is van de toiletten treedt de vergister binnen via een inlaatreservoir (figuur 19). Dit inlaatreservoir is een betonnen cilinder met hoogte van 1 m, een binnenste diameter van 1,20 m en een buitenste diameter van 1,40 m. Een PVC buis van 200 mm verbindt dit reservoir met de vergister. Een metalen schuifje, geplaatst in het reservoir en voor de inlaatbuis, kan het reservoir afsluiten en er voor zorgen dat er geen biomassa in de vergister kan stromen (figuur 20).



Organisch materiaal kan in het inlaatreservoir gelaten worden als gelijkvormige massa. Door het schuifje te sluiten kan de biomassa tijdens de dag opwarmen door de zon. 's Avonds kan het schuifje geopend en stroomt de biomassa in de vergister. De buitenopening van de inlaatbuis bevindt zich hoger dan elke andere opening naar de atmosfeer, zodat geen terugslag optreedt in de inlaatleidingen. Het andere uiteinde van de inlaatleiding bevindt zich iets boven de bodem om verstoppingen te vermijden (5). Hierdoor kan het grind en het zand dat zich verzameld op de bodem en niet de vergister, binnentreden, makkelijk verwijderd worden.

Het inlaatreservoir is 1 m boven de grond gebouwd omdat de inlaat altijd hoger moet liggen dan de uitlaat (5). Eerst werd met behulp van een houten bekisting een holle betonnen cilinder gegoten. Nadien werd deze opgevuld met zand. De betonnen bodem werd gegoten en dezelfde bekisting gebruikt om opnieuw een holle betonnen cilinder bovenop de eerste te gieten. Er werd een opening voorzien waar later de inlaatbuis komt.



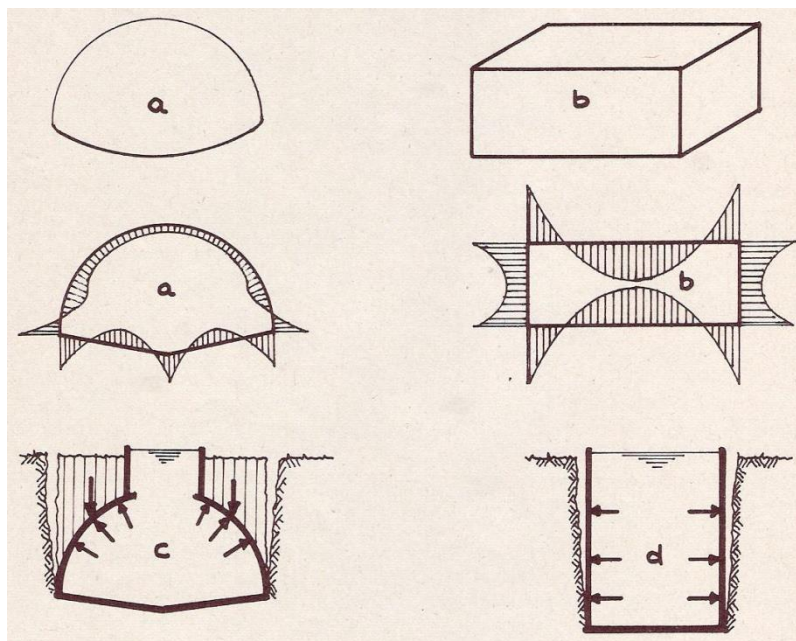
Figuur 19: Inlaatreservoir



Figuur 20: Metalen schuifje inlaat

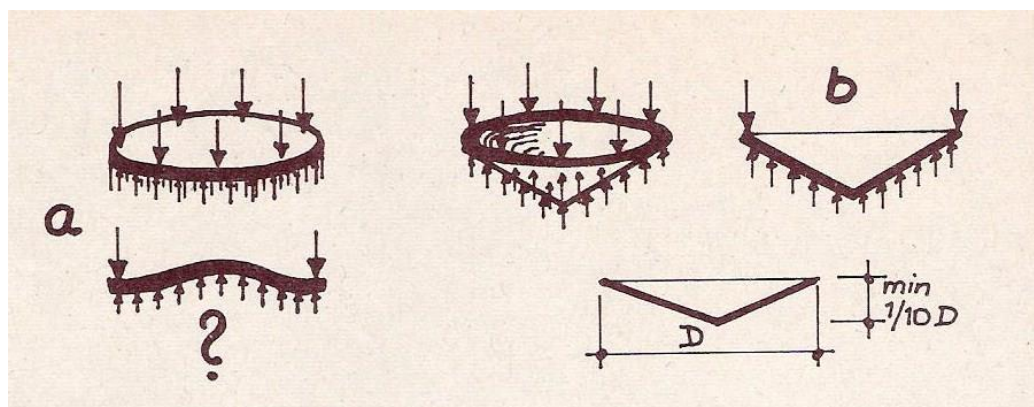
### 3.3.6 Vergister

Gezien de omvang van de vergister is het erg belangrijk dat de spanningen en de druk gelijk over het oppervlak van de vergister verdeeld worden om geconcentreerde spanningen op bepaalde punten, die scheuren kunnen veroorzaken, te vermijden (5). De optimale vorm voor een dergelijk vergister is een halve bol (5). Wanneer deze ingegraven wordt zal de grond een constante druk uitoefenen op de vergister. Een halve bol vangt deze druk het best op en verdeelt de druk gelijk over het volledige oppervlak, dit in tegenstelling tot een balkvormige vergister. Deze heeft hoge drukpieken aan de randen zoals te zien is op figuur 21.



Figuur 21: Drukverdeling vergister bij sferische vorm en balkvorm (5)

Om de druk van de randen van de vergister gelijk over de bodem te verdelen kan de bodem best een v-vorm hebben (5). Zo wordt de druk van de wanden van de vergister gelijk verdeeld over de bodem zoals weergegeven op figuur 22.



Figuur 22: Drukverdeling bodem van vergister bij vlakke bodem en bodem met v-vorm (5)

Eerst werd een cirkelvormige put met een diameter van 4,40 m en een diepte van 1 m gegraven (figuur 23). Vervolgens werd het middelpunt van de cirkel bepaald. Deze plaats zou het diepste punt worden. Hier werd dan ook nog 70 cm dieper gegraven. Om de bodem een omgekeerde kegelvorm te geven, werd een houten plank gebruikt met de vorm van de kegel van de buitenzijde van de cirkel naar het middelpunt toe. In het middelpunt werd een stok geplaatst waaraan de plank met een scharnier bevestigd werd. Geleidelijk aan kon op deze manier de juiste vorm uitgegraven worden.

Vervolgens werd een metalen raster gemaakt om de bodem te verstevigen. Geleidelijk aan, emmertje per emmertje, werd de betonnen bodem met een dikte van 20 cm gegoten (figuur 24).



Figuur 23: Put vergister



Figuur 24: Bodem vergister

Om de vergister een koepelvormige vorm te geven werden twee metalen koepels gebruikt. Deze koepels hadden een halve bolvorm, waren onderaan open en hadden een opening van 40 cm bovenaan. De kleinste metalen koepel met een hoogte van 2 m en een diameter van 4,10 m dienden enkel om de koepel de juiste vorm te geven en werden later verwijderd (figuur 25). Hij werd overtrokken met kippengaas en een plasticen zeil en vervolgens op de bodem geplaatst. De onderste metalen staven van de koepel werden verbonden met deze van de bodem. Vervolgens werd een laagje van 5 cm beton gesmeerd over de koepel tot deze volledig bedekt was met beton. Wanneer het beton gedroogd was, werd de volgende metalen koepel met een hoogte van 2 m en een diameter van 4,20 m over de eerste geplaatst (figuur 26). Deze koepel zou dienen als versterking in het beton. Daarna werd er een laag van 15 cm over de metalen koepel aangebracht.



Figuur 25: Kleinste metalen koepel



Figuur 26: Grootste metalen koepel

Wanneer alles droog was werd het kippengaas en de plastic langs de binnenkant van de vergister verwijderd en de binnenkant afgewerkt met een laagje cement.

Voor de ingang van de vergister werd eveneens een houten bekisting gebruikt (figuur 27). Eerst werd de vorm met metalen staven gevormd ter versterking. Nadien werd de houten bekisting op de vergister geplaatst en het beton gegoten (figuur 28). Ook het betonnen deksel met metalen handvaten werd met behulp van een houten bekisting gegoten.





Figuur 27: Houten bekisting ingang vergister



Figuur 28: Ingang vergister

### 3.3.7 Gasleidingen en gashouder

Het gebruikte gas wordt niet meteen gebruikt, maar wordt opgeslagen. Dit kan in een gashouder direct boven de vergister of elders. Deze laatste methode genoot de voorkeur aangezien de hoeveelheid gas te groot is om bovenaan in de vergister opgeslagen te worden. Gezien de benodigde hoeveelheid gas aanzienlijk is, werd een externe gashouder gemaakt (5).

Deze gashouder bestaat uit twee concentrische betonnen cilinders (figuur 29) en een omgekeerde metalen cilinder (figuur 30) geplaatst tussen beide betonnen cilinders in. De ruimte tussen de twee betonnen cilinders werd opgevuld met water, waardoor de metalen cilinder als het ware drijft. Wanneer er gas geproduceerd wordt, wordt dit verzameld onder de metalen cilinder. Onder druk van het gas zal deze stijgen. Wanneer het gas gebruikt wordt in de keuken zal het gewicht van de metalen cilinder zorgen voor de benodigde druk.



Figuur 29: Concentrische cilinders gasreservoir



Figuur 30: Metalen cilinder gasreservoir

Er werd een gat gegraven met een diameter van 2,5 m en een diepte van 1 m. Vervolgens werd de bodem van de cilinder gegoten met beton, zo'n 20 cm dik. Met behulp van een houten bekisting werd de buitenste holle cilinder gegoten met een binnenste diameter van 2,3 m, een buitenste diameter van 2,5 m en een hoogte van 1 m. De binnenste cilinder werd op dezelfde manier gegoten op een afstand van 10 cm binnen de buitenste cilinder. Idy, de plaatselijke metaalbewerker maakte de metalen cilinder van gegalvaniseerd staal van 2 mm en werkte af met een roestwerende coating. Met een dichtheid van gegalvaniseerd staal gelijk aan  $7930 \text{ kg / m}^3$  is de totale massa van de metalen cilinder 185,49 kg (13). Daarin is de massa

van de gasonderdelen bovenop de cilinder meegerekend. Dit geeft een druk van 438 Pa of 4,38 mBar. De druk van het gas moet iets hoger liggen om te koken waardoor de cilinder moet verzaard worden. Er is namelijk nog een afstand van 25 m die overbrugd moet worden tot aan de keuken. Er kan 7 m<sup>3</sup> biogas opgeslagen worden in het gasreservoir.

De gasleidingen kunnen gemaakt worden van bijvoorbeeld ijzer, lood, plastic, bamboe, binnenband (6). Er werd gekozen voor koperen gasleidingen (figuur 31) van 16 mm aangezien deze het duurzaamst zijn bij het gebruik in open lucht en bij dergelijke temperaturen. De gasleiding die uit de vergister komt, wordt verbonden met een anti-terugkeer ventiel, waardoor het gas uit de vergister kan stromen, maar niet kan terugkeren naar de vergister. Deze gasleiding werd vervolgens verbonden met de externe gashouder en op zijn beurt verbonden met de fornuizen in de keuken. Er werden een manometer en twee gaskraantjes op het metalen beweegbare onderdeel geplaatst (figuur 32). Een gaskraantje sluit de gasleiding af en maakt onderhoud aan de gashouder mogelijk. Een ander gaskraantje verbindt de gasleiding met de buitenlucht. Wanneer de manometer een te hoge gasdruk aangeeft kan het kraantje geopend worden om zo een deel van het gas te laten ontsnappen naar de buitenlucht. De gasleidingen werden geplaatst door een gasinstallateur en in de buitenmuur van de school ingebouwd voor de stevigheid.



Figuur 31: Koperen gasleiding en anti-terugkeer ventiel



Figuur 32: Manometer en gaskraantjes

### 3.3.8 Uitlaat en digestaatopslag

De uitlaatbuis is net zoals de inlaatbuis een PVC buis met diameter 200 mm (5) (figuur 33). Deze wordt gebruikt voor de afvoer van het digestaat, de reststroom. De leiding reikt tot op de bodem van de installatie en mondt uit in een balkvormig reservoir, de digestaatopslag (figuur 34). Afhankelijk van het mengsel dat men wil verkrijgen kan de uitlaat hoger (meer water) of lager (water en slib) geplaatst worden in de vergister. Er zal ook een aanzienlijke hoeveelheid digestaat geproduceerd worden, waardoor een grote opslagruimte ervoor geen luxe is. Het digestaat verlaat de vergister wanneer de uitlaatleiding eenvoudigweg overloopt tot in het digestaatreservoir.

De digestaatopslag is 0,5 m diep ingegraven en heeft een breedte van 1 m, een lengte van 4 m en een diepte van 0,75 m. De opslag is gemetst met holle bakstenen van 20\*40\*25 cm. De rechthoekige langwerpige vorm zorgt ervoor dat het digestaat zich verspreidt over de opslag en door de zon gedroogd kan worden zodat alle mogelijk parasieten uit het digestaat verdwenen zijn.



Figuur 33: PVC uitlaatbuis en digestaatopslag



Figuur 34: Digestaatreservoir

### 3.3.9 Biogasininstallatie

Figuur 35 geeft een overzicht van de gehele installatie.



Figuur 35: Biogasininstallatie

## 3.4 Kosten- en batenanalyse

### 3.4.1 Kostprijs installatie

De constructie van de biogasininstallatie is een aanzienlijke kost. Er dienen voorbereidende werken uitgevoerd zoals het nodige graafwerk. Vervolgens moet de biogasininstallatie bestaande uit de inlaat- en uitlaatleidingen, de vergister, de externe gashouder en de opslag voor het digestaat geconstrueerd worden zoals eerder omschreven.

De totale kost van de installatie is zo'n 4000 euro materiaalkost, vervoer en arbeid inbegrepen (zie tabel 9). Dankzij de gulle giften van talloze verenigingen waaronder *Biogas Warang* en familie werd het nodige geld ingezameld.

Tabel 9: Kostprijs biogasinstallatie Warang

<b>Materiaal</b>		
<b>Stuk</b>	<b>Kostprijs (CFA)</b>	<b>Kostprijs (euro)</b>
Metalen koepels	372.000,00	572,31
Houten mallen	267.348,00	411,30
Grind	110.000,00	169,23
Cement en ijzer	461.100,00	709,38
PVC buizen (φ 200 mm)	48.300,00	74,31
Vervoer PVC buizen	4.000,00	6,15
Reparatie band kar	800,00	1,23
Reparatie kruitwagen	1.000,00	1,54
Plastieken zeil en kippengaas	30.000,00	46,15
Triplex	33.000,00	50,77
Houten balken	8.500,00	13,08
Nagels	1.600,00	2,46
Hamers	5.000,00	7,69
Aangepaste schop	2.000,00	3,08
Metalen cilinder	200.000,00	307,69
Vervoer cement	2.500,00	3,85
Gasonderdelen	342.050,00	526,23
Plastieken tonnen	48.000,00	73,85
Vervoer plastieken tonnen	7.000,00	10,77
Metalen schuifje	15.000,00	23,08
Metalen trap	60.000,00	572,31
<b>Totaal materiaal</b>	<b>2.019.198,00</b>	<b>3106,46</b>
<b>Arbeid</b>		
Metselaars en hulp metselaars	518.500,00	797,69
Installatie gasonderdelen	55.000,00	84,62
<b>Totaal arbeid</b>	<b>573.500,00</b>	<b>882,31</b>
<b>Totaal</b>	<b>2.532.698</b>	<b>3958,32</b>

De totale materiaalkost is maar liefst 3,5 keer groter dan de arbeidskost. In België zou de loonkost veel hoger liggen. In Senegal liggen de lonen echter veel lager.

### 3.4.2 Loonkost werking

Om de biogasinstallatie draaiende te houden, is een arbeiderkracht nodig of dient de taak van de tuinmannen en/of de wachter van de school uitgebreid te worden. Deze werkkraft kan dan elke dag algen verzamelen op het strand en in kleine stukjes scheuren en mengen om zo een eenvormige massa te bekomen en deze vervolgens toevoegen aan de biogasinstallatie. De digestaatopslag moet ook op regelmatige basis leeggehaald en naar de tuin gebracht worden.

De totale maandelijkse loonkost zou ongeveer 50 000 CFA bedragen ofwel 77 euro indien de school hiervoor een nieuwe arbeider aanneemt.



Maar het kan ook anders indien de taken van de tuinmannen of wachter worden uitgebreid en zij een extra financiële vergoeding hiervoor ontvangen. Deze kost zou dan betrekkelijk lager liggen dan de boven vernoemde som.

### **3.4.3 Voordeel school**

Dagelijks zou er 6,7 m<sup>3</sup> biogas geproduceerd worden met een energetische waarde van 133,2 MJ. De benodigde hoeveelheid biogas is 21,877 m<sup>3</sup> met een energetische waarde van 527,26 MJ. Er kan dus maximum 25 % van de behoefte aan energie uit het biogas gehaald worden. De aankoop van zes gasflessen per week kost de school 80 euro. Per week zou dus 20 euro uitgespaard kunnen worden, een jaarlijkse besparing van 1040 euro. Als er iemand aangenomen wordt om de biogasinstallatie te voeden is er jaarlijks 116 euro uitgespaard. Daar komt nog eens bij dat in Senegal de meeste gasflessen niet volledig worden opgevuld met gas (1).

### **3.4.4 Theoretische terugverdientermijn**

De totale kost van de biogasinstallatie is 3958,32 euro. Met een jaarlijkse besparing van 1040 euro is de biogasinstallatie terugbetaald op iets minder dan 4 jaar. Met een extra werkkraft en een besparing van 116 euro per jaar betaalt de installatie zich terug op iets meer dan 34 jaar.

Dit is slechts hypothetisch aangezien de biogasinstallatie volledig betaald is door gulle schenkers.

## **3.5 Aandachtspunten**

### **3.5.1 Vergister: luchtdichtheid, temperatuur en problemen**

Het aanbrengen van een speciale luchtdichte verf in de vergister kan een oplossing bieden voor het luchtdicht maken van de vergister. Deze luchtdichte verf moet elastische eigenschappen hebben om scheuren tegen te gaan zoals latex, synthetische verf (PVC of polyester) of epoxyhars (5).

Het is best de vergister op constante temperatuur te houden, zelfs al ligt deze onder het optimum. Door de vergister in te graven (en voldoende te isoleren) vermindert de temperatuurschommeling (5), (6), (7). Het oppervlak van de vergister dient zwart geverfd zodat gedurende de dag maximaal kan geprofiteerd worden van de warmte. Wanneer de buitentemperatuur gedurende de dag te fel stijgt moet de vergister afgedekt worden om al te felle temperatuurschommelingen tegen te gaan.

Wanneer de gasopbrengst lager wordt, kan dit verschillende redenen hebben: een wijziging in de zuurgraad \$, de aanwezigheid van giftige stoffen en schuimvorming (6) .

De pH van het digestaat kan eenvoudig getest worden. Wanneer deze te hoog blijkt, kan er best rustig afgewacht worden tot dit verandert. Bij een te lage pH moet de toevoer verminderd worden, slibwater toegevoegd worden en eventueel kalkmelk vermengd met toevoermateriaal of een soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) toegevoegd worden.

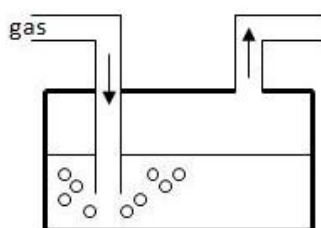
Wanneer er giftige stoffen in de vergister gevonden worden, moet de volledige toevoer stoppen en mag er enkel nog water worden toegevoegd. Indien dit geen oplossing biedt, zit er niets anders op dan de vergister volledig leeg te maken.

In de vergister kan bovenaan op de biomassa schuim ontstaan. Er bestaan drie soorten schuimvorming. Wanneer het schuim voorkomt in de vorm van grote grijze bellen, moet even geen nieuwe toevoermateriaal aan de vergister toegevoegd worden. Een tweede vorm van schuimvorming komt in de vorm van uitgedroogde mest die geen water meer opneemt en blijft drijven. Deze moet handmatig verwijderd worden. Een laatste vorm is een mengsel van haren, huid, stro, stukjes hout, veren en andere stoffen die blijven drijven. Deze moeten eveneens uit de vergister verwijderd.

Bovenaan in de vergister kan best een luik voorzien worden dat de vergister luchtdicht afsluit. Zodat wanneer er zich problemen voordoen en de vergister leeggemaakt moet worden. Dit kan gebeuren zonder de vergister open te breken (5), (6).

### 3.5.2 Biogas: controle, zuivering, opslag en gebruik

Om te controleren of er gas geproduceerd wordt, dient de gasleiding door een bak met water geleid zoals weergegeven op figuur 36 (6). Als er gas is, verschijnen er bellen in het water die via een andere leiding weer verdwijnen. Het water filtert ook CO<sub>2</sub> uit het gas, maar dan moet het water wel regelmatig ververs worden. Deze controle doet tevens dienst als waterslot. Het verhindert immers het gas om terug te stromen naar de vergister.



Figuur 36: Schets van gascontrole en waterslot (6).

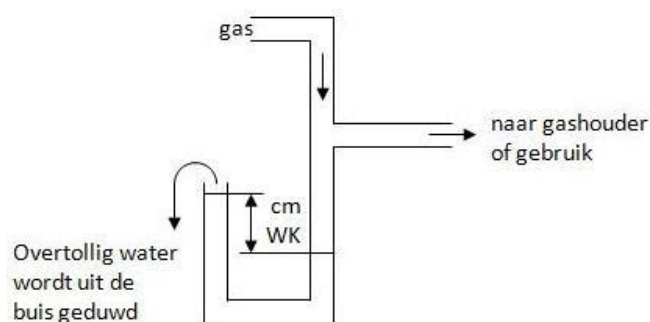
Het gas dat de vergister verlaat kan schuim bevatten, dit schuim kan de leidingen verstopen. Een eenvoudige schuimvanger wordt gemaakt van een gasdicht blik met een aan- en afvoerleiding aan de bovenkant. Het schuim zal op de bodem blijven liggen. Bij het verwijderen van het schuim via een gat aan de onderkant, moet men voorzichtig te werk gaan omdat er geen lucht bij het gas mag komen.)

Voordat het biogas verbrand kan worden moeten een aantal schadelijke componenten uit het biogas verwijderd worden. De belangrijkste componenten zijn waterdamp, ammoniak (NH<sub>3</sub>) en waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S) (4), (6).

Waterstofsulfide dat corrosie veroorzaakt in apparaten wordt omgezet door bacteriën. Een goede ontzwaveling wordt bereikt door een houten dek bovenin de vergister in te bouwen

waar de zwavelbacteriën zich kunnen hechten. Een andere methode is het gas langs ijzervijzel te leiden, maar dit vereist een regelmatig vervanging van het ijzervijzel, wat erg kostelijk is. Het biogas afkomstig van het gebruikte organisch materiaal of biomassa bevat niet veel waterstofsulfide, waardoor het gebruik van een houten dek of ijzervijzel niet nodig is.

Ammoniak is goed oplosbaar in water zodat door de condensatie van water de ammoniak grotendeels uit het gas verwijderd wordt. Waterdamp wordt uit het gas gehaald door een kleine daling of stijging van de gasleiding zoals weergegeven op figuur 37. De gecondenseerde waterdamp stroomt weg naar het laagste punt en kan daar afgetapt worden. Met deze opvangmethode meet men eveneens de gasdruk. Het verschil in hoogte van het waterniveau in de twee buizen geeft de gasdruk aan, weergegeven in cm waterkolom.



**Figuur 37: Schets van een daling in een gasleiding teneinde waterdamp te verwijderen en de gasdruk te meten in cm waterkolom. (6)**

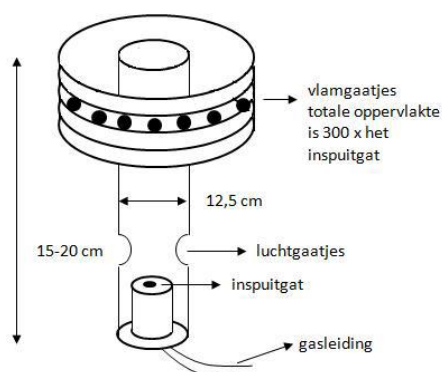
Wanneer de school echter gesloten is gedurende de vakantiemaanden zal de biogasinstallatie blijven gas produceren dat verbruikt zal moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld door dagelijks te koken met de geproduceerde hoeveelheid gas of het gas gebruiken om enkele gaslampen brandende te houden. Een gaslamp heeft een drukvereiste van 10 cm waterkolom of 980 Pa, maar heeft een lage efficiëntie en kan dus heel warm worden (5).

Of het kan door gebruik te maken van een compressor in gasflessen opgeslagen worden en kunnen verdeeld worden over de buurt (6).

Wanneer de school na de vakantie terug open gaat, doet zich het omgekeerde probleem voor. Na een tijd zal de anaerobe vergisting gestopt zijn door een gebrek aan constante toevoer. Wanneer de biogasinstallatie dan opnieuw in gebruik genomen wordt kan het even duren voor deze dezelfde hoeveelheid biogas produceert.

Het geproduceerde biogas kan aangewend worden om de maaltijden te bereiden. Hiervoor moeten de branders die gebruikt worden om te koken aangepast zoals te zien op figuur 14. Deze aanpassingen zijn nodig door de vrij beperkte druk van het gas. De beste druk om op te koken is 5-8 cm waterkolom (490-784 Pa) (5), (6).

Figuur 38 toont het principe van een brander die voldoet.



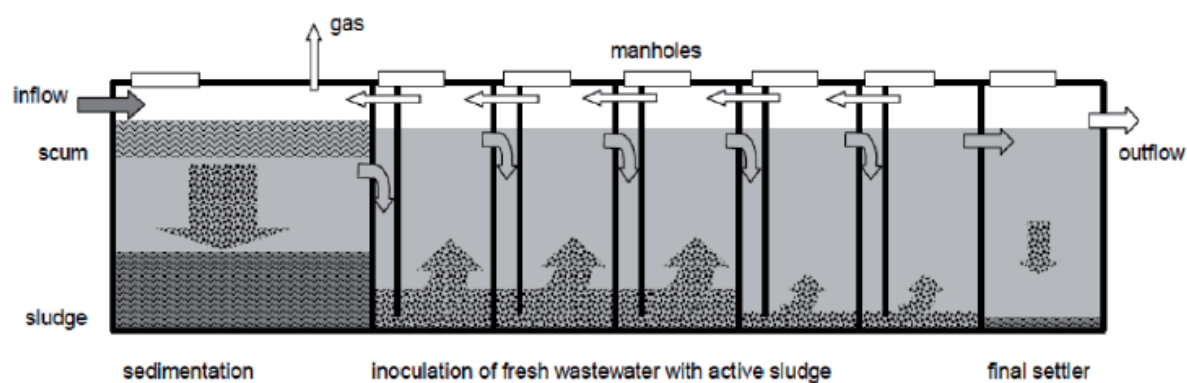
Figuur 38: Brander biogas (6)

### 3.5.3 Digestaat: zuivering en opslag

Het vergistingsproces doodt de meeste parasieten die zich in de biomassa bevinden. In het digestaat kunnen echter enkele parasieten zoals de lintworm overleven. Door het drogen in de zon van het (vaste gedeelte van het) digestaat worden ook deze laatste parasieten gedood (5).

Als men enkel het waterige gedeelte van het digestaat wil gebruiken voor irrigatie moet het gefilterd worden door een zandfilter. Een dergelijke filter laat geen stoffen door groter dan een zandkorrel. Hierdoor is dit gedeelte gezuiverd van parasieten.

De organisatie TED (Technologies for Economic Development) ontwikkelde een systeem voor zuivering van het digestaat: de Anaerobic Baffled Reactor (ABR) zoals te zien is op figuur 39 (14). Dit is een biologisch behandelingsstelsel waarbij het digestaat door een reeks van kamers stroomt waardoor een stabiel bezinksel op de bodem van de eerste kamers gevormd wordt. De vergister vervangt meestal de eerste kamer. De andere kamers worden gevuld met filtermateriaal zoals stenen, grind of gerecycleerde versneden plastic flessen. Deze materialen vormen een leefplaats voor bepaalde bacteriën of kunnen organische deeltjes absorberen.



Figuur 39: Het TED ARB (14)

Het digestaat afkomstig van de biogasinstallatie moet ergens opgeslagen worden. Want dit kan niet allemaal gebruikt worden om het moestuintje te bemesten. Als opslagplaats voor het digestaat kunnen een aantal putten worden gegraven in de tuin.



### **3.5.4 Veiligheid**

Bij gasproductie moeten er een aantal veiligheidsvoorschriften in acht genomen worden (6). De druk van biogas is vrij laag, dus de kans op ontploffing is minder dan bij een ander gas, maar enige voorzichtigheid is toch geboden. Er mag geen lucht bij het gas komen, want methaan vermengd met een bepaalde hoeveelheid lucht is explosief. Een regelmatige controle op lekken is geboden. De heersende druk in de installatie moet positief zijn, bij negatieve druk kan er lucht ingezogen worden of kan de installatie door de atmosferische druk in elkaar gedrukt worden. Bij de installatie mag niet gerookt worden of een open vuur gemaakt worden. Bij ontsnapping van het gas moet al het naburige licht of vuur zo snel mogelijk gedoofd worden. Composthopen en kadavers dienen zich op een behoorlijke afstand van de gasopslag te bevinden. Het fosfine gas dat erin geproduceerd wordt zou spontaan kunnen ontvlammen. Als veiligheidsafstand voor biogasinstallaties in Europa wordt wettelijk 10 m voorgeschreven. Dit is de afstand van de installatie tot omringende gebouwen, wegen, enz... (15).

### **3.5.5 Opstartprocedure**

Bij de eerste ingebruikneming van een biogasinstallatie wordt meestal een startmengsel samengesteld (6), (10). Dit bestaat uit slib van een naburige installatie of rioolzuivering of er kan zelf een startmengsel samengesteld bestaande uit organisch materiaal dat enkele weken tot maanden zuurstofvrij bewaard is. Aangezien er in de buurt geen biogasinstallatie is, wordt het opstartmengsel samengesteld uit algen en water. Deze massa zal een aantal weken zuurstofvrij bewaard worden en later toegevoegd aan de vergister.

### **3.5.6 Opleiding buurtbewoners**

Om het verloop van het vergistingsproces vlot te laten verlopen is een zekere kennis vereist. Daarom moeten enkele buurtbewoners een opleiding krijgen zodat zij de werking van de installatie kunnen nagaan en indien nodig bijsturen.

### **3.5.7 Langetermijnperspectieven**

Na verloop van tijd kunnen er zand, stenen en ander inert materiaal in de vergister terecht komen (7). De concentratie van niet afbreekbare stoffen zal vergroten waardoor deze zich zullen afzetten op de bodem of in de koepel van de vergister. Dit alles zorgt ervoor dat het volume van de vergister met de tijd zal verkleinen en bijgevolg ook de efficiëntie afnemen. Daarom zal het vergistingsproces af en toe gestopt moeten worden om indien mogelijk al deze resten te verwijderen.

## **3.6 Besluit**

De biogasinstallatie is afgewerkt op negen weken en bestaat uit een vergister, een in- en uitlaat, een inlareservoir, gasleidingen, een gasreservoir en een digestaatreservoir. Alleen plaatselijke materialen zijn gebruikt zodat, indien nodig, vervangstukken of herstellingen snel kunnen gebeuren. Binnen deze periode zijn tevens nieuwe toiletten gebouwd die de installatie rechtstreeks voeden.

Als bijkomende biomassa worden algen afkomstig van de zee gebruikt. De installatie wordt opgestart, maar het zal enkele maanden duren totdat de anaerobe vergisting goed op gang

komt en de biogasinstallatie zijn volledige potentieel bereikt van maximum 25 % van de behoefte aan energie.

Bij de constructie van de biogasinstallatie is rekening gehouden met de volgende aandachtspunten: de luchtdichtheid en temperatuur van de vergister, de controle, opslag, zuivering en gebruik van het biogas en het digestaat, de veiligheid, de opstartprocedure, de opleiding van de buurtbewoners, en de langetermijnperspectieven.

## 4 Conclusie

Biogas wordt verkregen uit de anaerobe vergisting van organisch bioafval. Bij het primaire schooltje 'Les Cajoutiers' bestaat deze biomassa vooral uit menselijke fecaliën en bijkomende algen. Het geproduceerde biogas zal aangewend worden om dagelijks warme maaltijden te bereiden voor 500 leerlingen. Het digestaat of de reststroom vormt een nutriëntenbron perfect voor bemesting en irrigatie. Om de kosten van gas te drukken werd beslist om een biogasinstallatie op te bouwen bij het schooltje.

Om meer inzicht te verkrijgen in het anaerobe vergistingsproces werd een proefopstelling opgebouwd in België. Deze proefopstelling is een schaalmodel van de eigenlijke biogasinstallatie in Senegal waarbij constant de druk, de temperatuur en de zuurgraad pH wordt gemeten. Dit laat toe om de optimale gasproductie te bepalen. Bij een temperatuur van 37 °C bedraagt de opbrengst 5 l biogas. Bij een verlaging van de temperatuur wordt de gasproductie ongeveer gehalveerd. Roeren in de biomassa heeft geen effect op de gasproductie. Wanneer men stopt met voeden, daalt de gasproductie geleidelijk aan en is gehalveerd na twee weken.

De vergister werd in Senegal opgebouwd en bestaat uit een inlaatreservoir, een in- en uitlaat een koepelvormige vergister, een digestaatreservoir, gasleidingen en een gasreservoir. Bij de constructie is er enkel gebruik gemaakt van lokale materialen, zodat eventuele vervanging ervan snel en eenvoudig kan gebeuren. De installatie is opgestart, maar het kan enkele weken duren alvorens er biogas geproduceerd wordt.

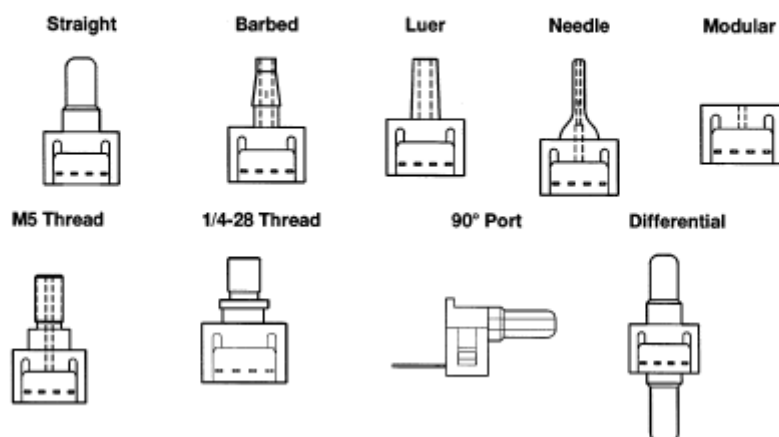
Met een aantal belangrijke aandachtspunten moet rekening gehouden worden bij de constructie van een biogasinstallatie: de luchtdichtheid en temperatuur van de vergister, de controle, opslag, zuivering en gebruik van het biogas en het digestaat, de veiligheid, de opstartprocedure, de opleiding van de buurtbewoners, en de langetermijnperspectieven.

## Appendix A: Datasheets sensoren

### Pressure Sensors

20PC Product Family

#### Port Selections



#### 20PC Series Catalog Number System

2 Product Family	4 Circuit Type	PC Pressure Transducer	A Pressure Range	F Type of Seal	A Type of Port	2 Termination Style	G Pressure Measurement
2 20PC Family	2 Noncom- pensated low cost 4 Noncom- pensated 6 Compensated		A 1 psi B 5 psi C 15 psi D 30 psi E 0.5 psi F 100 psi G 250 psi	F Fluorosilicon	A Straight B Barbed C Luer D Modular E M5 Thread F 90° Port J Needle M 1/4-28 UNF G Small Flow- Through P Large Flow- Through	1 1 x 4 (.400") 2 2 x 2 5 Wire harness (Flow- through) 6 1 x 4 (.500")	G Gage D Differential

#### ACCESSORIES SELECTION GUIDE

Catalog Listing	Description
PC10182	Steel bolddring (Included with Port Style A, 1 x 4 terminals only), 24, 26PC only
PC-15015	Mounting bracket
PC-10949	Single hole plastic bracket
20PCWHRC	Flowthrough wire harness end retaining clip.
PC-15111	Cable retaining clip for large port Flow-Through sensor only
26PCBK7	Mounting bracket for large port Flow-Through sensor only

NOTE: Not all catalog listings are established. Please refer to the Order Guides, or contact the MICRO SWITCH Application Center at the 800 number.

## Pressure Sensors

### Gage/Unamplified-Noncompensated

22PC Series

## Basic Sensors



## FEATURES

- Lowest priced pressure sensor
- Miniature package
- Can be used to measure with vacuum or positive pressure



#### 22PC SERIES PERFORMANCE CHARACTERISTICS at 10.0 ±0.01 VDC Excitation, 25°C

	Min.	Typ.	Max.	Units
Excitation	--	10	12	VDC
Null Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	--	±2.0	--	mV
Null Offset	-30	0	+30	mV
Linearity, P2 > P1, B/FSL	--	±0.25	±1.0	% Span
Sensitivity Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	--	±6.0	--	% Span
Repeatability & Hysteresis	--	±0.15	--	% Span
Response Time	--	--	1.0	msec
Input Resistance	--	5.0 K	--	ohm s
Output Resistance	--	5.0 K	--	ohm s
Weight	--	2	--	grams

## ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	-40° to +85°C (-40° to +185°F)
Storage Temperature	-55° to +100°C (-67° to +212°F)
Shock	Qualification tested to 150 g
Vibration	Qualification tested to 0 to 2 kHz, 20 g sine
Media (P1 & P2)	Limited only to those media which will not attack polyetherimide, silicon and fluorosilicone seal

## 22PC SERIES ORDER GUIDE

Catalog Listing	Pressure Range psi	Span, mV			Sensitivity mV/psi Typ.	Overpressure psi, Max.
		Min.	Typ.	Max.		
22PCA Type	1.0	25	42	59	42	20
22PCB Type	15	156	225	294	15	45
22PCF Type	100	147	225	303	2.3	200

## SENSOR SELECTION GUIDE

2 Product Family	2 Circuit Type	PC Pressure Transducer	A Pressure Range	F Type of Seal	A Type of Port	E Termination Style	G Pressure Measurement
220PC Family	2 Noncompensated low cost		A 1 psi C 15 psi F 100 psi	F Fluorosilicone	A Straight B Barbed D Modular	6 1 x 4 (.600")	G Gage

Example: 22PCAFA6G

Non-compensated low cost 1 psi sensor with fluorosilicone seal, straight port, 1 x 4 termination and gage pressure measurement.

Note: Not all catalog listings are established. Please refer to the Order Guides, or contact the MICRO SWITCH Application Center at the 800 number.

## Pressure Sensors

### Gage and Differential/Unamplified-Noncompensated

## 24PC Series

#### Basic Sensors



#### FEATURES

- Lowest priced pressure sensor
- Miniature package
- Variety of gage pressure port configurations - easily and quickly modified for your special needs
- Choice of temperature for gage sensors
- 2 mA constant current excitation significantly reduces sensitivity shift over temperature\*
- Can be used to measure with vacuum or positive pressure

#### 24 PC SERIES PERFORMANCE CHARACTERISTICS at 10.0 ±0.01 VDC Excitation, 25°C

	Min.	Typ.	Max.	Units
Excitation	...	10	12	VDC
Null Offset	-30	0	+30	mV
Null Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	...	±2.0	...	mV
Linearity, P2 vs P1, BPSL	...	±0.25	±1.0	% Span
Sensitivity Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	...	±5.0*	...	% Span
Repeatability & Hysteresis	...	±0.15	...	% Span
Response Time	...	...	1.0	msec
Input Resistance	...	5.0 K	...	ohms
Output Resistance	...	5.0 K	...	ohms
Stability over One Year	...	±0.5	...	% Span
Weight	...	2	...	grams

#### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	-40° to +85°C (-40° to +185°F)
Storage Temperature	-55° to +100°C (-67° to +212°F)
Shock	Qualification tested to 150 g
Vibration	Qualification tested to 0 to 2 kHz, 20 g sine
Media (P1 & P2)	Limited only to those media which will not attack polyetherimide, silicon and fluorocarbon seal

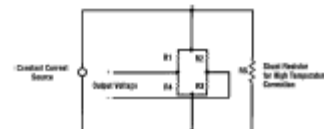
#### 24 PC SERIES ORDER GUIDE

Catalog Listing	Pressure Range psi	Span, mV			Sensitivity mV/psi Typ.	Overpressure psi Max.
		Min.	Typ.	Max.		
24PCE Type	0.5	24	35	46	70	20
24PCA Type	1.0	30	45	60	45	20
24PCB Type	5.0	35	115	145	23	20
24PCD Type	15	155	225	285	15	45
24PCD Type	30	240	330	420	11	60
24PCF Type	100	155	225	294	2.25	200
24PCG Type	250	145	212	280	0.85	500

\* Non-compensated pressure sensors, excited by constant current instead of voltage, exhibit temperature compensation of Span. Application Note #1 briefly discusses current excitation.

Constant current excitation has an additional benefit of temperature measurement. When driven by a constant current source, a silicon pressure sensor's terminal voltage will rise with increased temperature. The rise in voltage not only compensates the Span, but is also an indication of die temperature.

#### Constant Current Excitation Schematic



## Pressure Sensors

## 24PC Series

### Gage and Differential/Unamplified-Noncompensated

#### SENSOR SELECTION GUIDE

2 Product Family	4 Circuit Type	PC Pressure Transducer	A Pressure Range	F <sup>*</sup> Type of Seal	A Type of Port	2 Termination Style	G Pressure Measurement
2 20PC family	4 Noncom- pensated		A 1psi B 5 psi C 15 psi D 30psi E 65 psi F 100psi G 250psi	F Fluorosilicone	A Straight B Barbed C Luer D Modular H 1/8" Thread I 20° Port J Needle M 1/4"-28UNF Thread	11 x4 22 x2	G Gage D Differential

Example: 24PCFA2G

Standard, non-compensated 1psi sensor with fluorosilicone seal, straight port, 2 x 2 terminals, and Gage pressure measurement.

\*Other media seal materials may be available.

#### ACCESSORIES SELECTION GUIDE

Catalog Listing	Description
PC10182	Steel locking (included with Port Style J, 1 x 4 terminals only)
PC10919	Single hole plastic bracket (Must be separately ordered)

Not all combinations are established.  
Contact 800 number before final design.  
The following listings are typically  
stocked in small quantities.

## Pressure Sensors

### Gage and Differential/Unamplified-Compensated

## 26PC Series

#### Temperature Compensated Sensors



#### FEATURES

- Lowest priced sensor with temperature compensation and calibration
- Variety of gage pressure port configurations - easily and quickly modified for your special needs
- Choice of termination for gage sensors
- Calibrated Null and Span
- Temperature compensated for Span over 0 to 50°C
- Provides interchangeability
- Can be used to measure with vacuum or positive pressure

#### 26 PC SERIES PERFORMANCE CHARACTERISTICS at 10.0 ±0.01 VDC Excitation, 25°C

	Min.	Typ.	Max.	Units
Excitation	...	10	16	VDC
Null Offset	-1.5	0	+1.5	mV
Null Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	...	±2.0	...	mV
Linearity, P2 > P1, BFLS	...	±0.25	±1.0	%Span
Sensitivity Shift, 25° to 0°, 25° to 50°C	...	...	±1.0	%Span
1 psi Sensitivity Shift	...	...	±2.0	%Span
100psi Sensitivity Shift	...	...	±15%	%Span
Repeatability & Hysteresis	...	±0.20	...	%Span
Response Time	...	...	1.0	msec
Input Resistance	...	7.5 K	...	ohms
Output Resistance	...	2.5 K	...	ohms
Stability over One Year	...	±0.5	...	%Span
Weight	...	2	...	grams

Total error calculation, see page 78

#### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	-40° to 85°C (-40° to +195°F)
Storage Temperature	-55° to +100°C (-67° to +212°F)
Compensated Temperature	0° to +50°C (32° to +122°F)
Shock	Qualification tested to 150 g
Vibration	MIL-STD-202, Method 213 (150g half sine, 11 msec)
Media (P 1 & P2)	Limited only to those media which will not attack polyetherimide, silicon and fluorocarbon seal

#### 26 PC SERIES ORDER GUIDE

Catalog Listing	Pressure range psi	Span, mV			Sensitivity mV/psi Typ.	Overpressure psi Max.
		Min.	Typ.	Max.		
26PCA Type	1	14.7	16.7	18.7	16.7	20
26PCB Type	5.0	47	80	53	10	20
26PCD Type	15	97	100	103	6.67	45
26PCD Type	30	97	100	103	3.33	60
26PCF Type	100	96	100	106	1.00	200



## Pressure Sensors

### Gage and Differential/Unamplified-Compensated

26PC Series

## SENSOR SELECTION GUIDE

2 Product Family	6 Circuit Type	PC Pressure Transducer	B Pressure Range	F Type of Seal	A Type of Port	2 Termination Style	G Pressure Measurement
2 26PC family	6 Compensated Calibrated		A 1psi B 5 psi C 15 psi D 30psi	F Fluorosilicone	A Straight B Barbed C Luer D Modular H MS Thread I 1/2" Port J Needle M 1/4 - 28 UNF Thread	1 1 x 4 2 2 x 2	G Gage D Differential

Example: 26PCBF2G

Compensated and calibrated 5 psi sensor with fluorosilicone seal, straight port, 2 x 2 terminals, and Gage pressure measurement.

\*Other media seal materials may be available.

## ACCESSORIES SELECTION GUIDE

Catalog Number	Description
PC10182	Steel locking (Included with Port Style A, 1 x 4 terminals only)
PC10249	Single hole plastic bracket (Must be separately ordered)

Not all combinations are established.  
Contact 800 number before final design.  
The following listings are typically  
stocked in small quantities.

## Pressure Sensors Gage and Differential/Unamplified

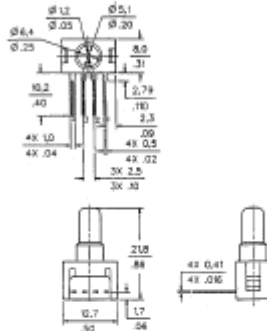
2/24/26PC Series

MOUNTING DIMENSIONS (for reference only)

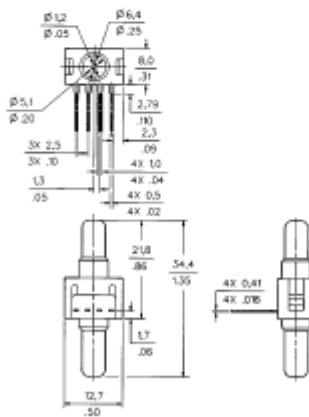
**GAGE SENSOR**

Pressure is applied to port P2.  
Port P1 vents to ambient pressure.

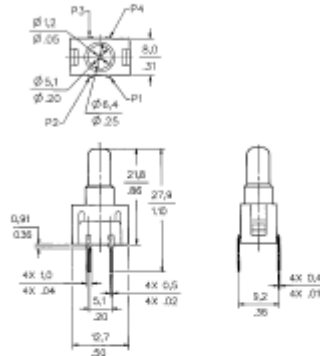
"1 x4" Termination (Style 1), Port Style A, Straight  
Pin 1 is notched, and is shown at the right of the package.  
Pin 2 is next to pin 1, etc.



**DIFFERENTIAL SENSOR**  
Straight Port, 1x4 termination (Style 2) ONLY  
Port P1 is near terminals.



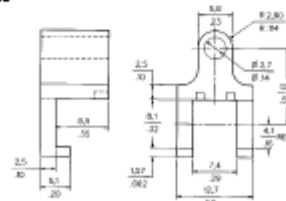
"2 x2" Termination (Style 2), Port Style A, Straight  
Pin 1 is notched, and is shown at lower right corner.  
Pins 2, 3 and 4 are clockwise.

**ACCESSORIES**

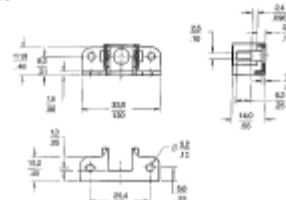
Lockring (Included with A port)  
PC10182



Single hole Plastic Bracket (purchase separately)  
PC10949



Dual Port Plastic Bracket (purchase separately)  
PC15015

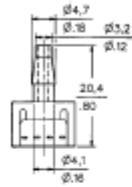


**Pressure Sensors**  
Gage and Differential/Unamplified

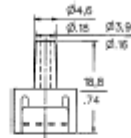
22/24/26PC Series

**OTHER GAGE SENSOR PORT STYLES**  
(2x2 or 1x4 Termination)

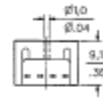
**B Barbed**



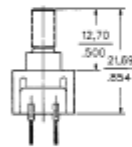
**C Luer**



**D Modular**

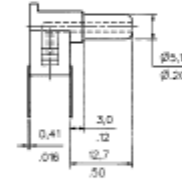


**HMS Thread**

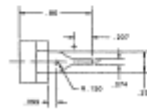


**O-Ring**  
Size 007  
O-Ring Counterbore  
.040" deep ± .005 x .30 ± .003"

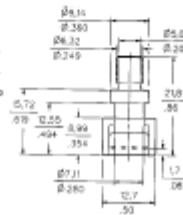
**1 90°**



**J Needle**



**M 1/8-28 UNF Thread**



**O-Ring**  
Size 009  
O-Ring Counterbore  
.040" deep ± .002 x .360 ± .003"

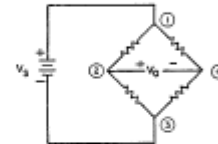
**20PC SERIES CIRCUIT - NOTES**

1. Circled numbers refer to Sensor Terminals (Interface pins).
2.  $V_O$  increases with pressure change.
3.  $V_O = V_2 - V_4$
4. Pin 1 designated with a notch.

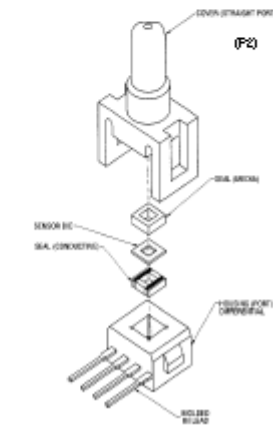
**Pin Designation**

- Pin 1  $V_S (+)$
- Pin 2 Output (+)
- Pin 3 Ground (-)
- Pin 4 Output (-)

**EXCITATION**



**20PC Construction**



JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Medonnerstraße 14,  
 36039 Fulda, Germany  
 Postal address: 36039 Fulda, Germany  
 Phone: +49 661 8003-0  
 Fax: +49 661 8003-607  
 E-mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Investment Co. Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Roseway  
 Harlow - Essex CM20 2DY, UK  
 Phone: +44 1279 65 6222  
 Fax: +44 1279 65 6222  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Canastota, NY 13045, USA  
 Phone: 315-467-4JUMO  
 Phone: 1-800-664-JUMO  
 Fax: 315-467-6667  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 201005

Page 1/8

## JUMO ecoLine / JUMO BlackLine pH and redox combination electrodes

in glass or plastic shaft versions

201005 series - pH electrodes

201010 series - redox electrodes

### Brief description

The electrodes of the JUMO ecoLine and JUMO BlackLine series are high-quality measurement sensors with a good price-performance ratio.

**Active pH component:** The JUMO ecoLine and JUMO BlackLine electrodes are equipped with low-resistance JUMO UM glass. This guarantees fast and stable measurement results.

**Active redox component:** A sturdy platinum tip provides safe measurements and makes the sensor easy to clean.

**Reference system:** A potassium-free JUMO gel is used in the glass and PEI plastic shaft versions. This highly viscous KCl solution is ideal for measurement in general, aqueous media. The electrolyte can be equipped with an optional "salt reservoir" to increase the service life when measurement takes place in media with low ionic strength or at high flow rates. A polymerized solid KCl electrolyte is used in the JUMO BlackLine version. The JUMO cartridge-style conduction system has proved its worth over the years and is the reference system used here. This keeps the electrolyte free of silver ions throughout the life of the sensor, making it less susceptible to electrode poisoning.

In the "glass shaft" (1) version, JUMO ecoLine electrodes have a ceramic diaphragm. A glass fiber diaphragm is provided for the plastic shaft version in addition. In the transparent PEI (2), a push-on protection basket guards the sensor when it is used with hand-held meters. The JUMO BlackLine (3) has a high-quality ceramic diaphragm. The shaft is made from black PPO and has an integrated protection basket.

The option is available to have the electrode delivered in a storage container (holder). This is recommended if sensors are only used sporadically, to refresh them after lengthy periods of intensive use, or if they are stored for extended periods of time.

OEM versions of all sensors can be supplied to order.

Special versions are available on request.

### Areas of application

- Drinking water monitoring and treatment
- Swimming pools
- Aquariums (also marine aquariums)
- Greenhouse systems
- Lightly polluted service water, process water and wastewater
- Rainwater, pond water and surface water
- Hand-held meters
- Not recommended for:
  - Electroplating water treatment
  - Industrial process water and wastewater
  - Ultra-pure water
  - Therapy pools
  - Biotechnology, sterilization processes

For other applications, refer to the data sheets for JUMO ecoLine or JUMO labLine pH and redox electrodes!



- (1) Glass shaft version
- (2) Version with plastic shaft and push-on protection basket
- (3) JUMO BlackLine version with plastic shaft and fixed protection basket

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Meddenstraße 14,  
 36039 Fulda, Germany  
 Postal address: 36039 Fulda, Germany  
 Phone: +49 01 603-60  
 Fax: +49 01 603-60 7  
 E-mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Investment Co. Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Roseway  
 Harlow - Essex CM20 2DY, UK  
 Phone: +44 1279 65 6222  
 Fax: +44 1279 65 6222  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Canastota, NY 13020, USA  
 Phone: 315-697-6100  
 Fax: 315-697-6997  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us





Data Sheet 201005

Page 2/8

## Technical data

	Glass shaft version (Figure 1, page 1/8)	Version with plastic shaft and push-on protection basket (Figure 2, page 1/8)	JUMO BlackLine Version with plastic shaft and fixed protection basket (Figure 3, page 1/8)
Shaft material	glass	PEF	PPG <sup>2</sup>
Diaphragm	ceramic	glass filament	ceramic
Conduction system	plastic cartridge		
Temperature range	0 to 60°C		
Pressure range <sup>2</sup>	0 to 0 bar		
Fitting length	120 mm		
Electrode head	plug cap plug cap with fixed cable Pg 13 screw cap Pg 13.5 screw cap with fixed cable The connecting cable of versions with a fixed cable has anti-kink protection. Versions with a fixed cable have IP68 enclosure protection.		
Active pH component	LW glass (pH 0 - 12, briefly pH 14)		
Active redox component	platinum tip (±2000 mV)		
Electrolyte	gel (highly viscous KCl solution)		solid electrolyte

## Extra codes

KCl reservoir (holder), extra code 052	Salt reserve, extra code 837
 <p>The foot of the KCl reservoir can also be used as a mounting wrench for pH and redox electrode with a Pg 13.5 thread. The indentations in the (detachable) foot of the reservoir fit the hexagon flats of the electrode head.            When storing the electrode, the reservoir must be filled with KCl (not with buffer solution or similar).</p>	 <p>Salt reserve</p> <p>The option is available to equip the electrode with a salt reserve, in the form of four salt rings (see illustration).            This is recommended when using the electrode in media with fewer ions or at high flow rates.            The salt reserve helps to increase the service life of the electrode.            The rings are not a manufacturing defect (crystallization).</p>

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Meddomestraße 14,  
 36079 Padde, Germany  
 Postal address: 36079 Padde, Germany  
 Phone: +49 051 6005-0  
 Fax: +49 051 6005-407  
 Email: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Ramsey  
 Huntingdon, Cambridgeshire, UK  
 Phone: +44 1223 85 85 85  
 Fax: +44 1223 85 85 82  
 Email: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 C-Technology Solutions  
 Oneida, NY 13020, USA  
 Phone: 315-697-JUMO  
 Fax: 315-697-6997  
 Email: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us

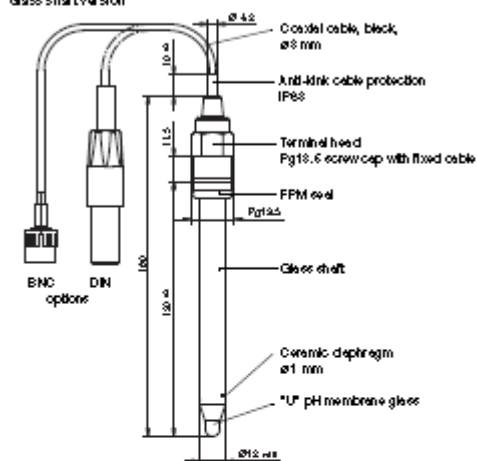


Data Sheet 201005

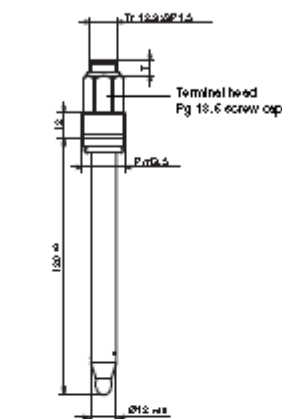
Page 3/8

## Dimensions

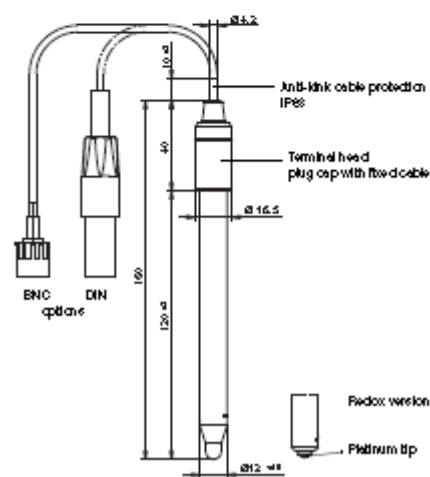
Glass shaft version



Type 201002/61-13-80-xxxx-xx-120/000

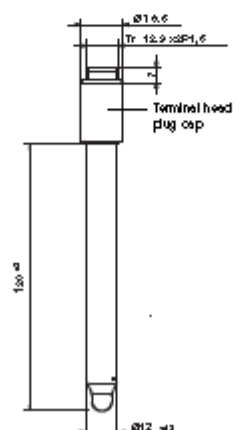


Type 201002/61-13-22-0000-00-120/000



Type 201002/61-13-40-xxxx-xx-120/000

2012-02-10.00488884



Type 201002/61-13-61-0000-00-120/000

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Medionstraße 14,  
 36089 Fulda, Germany  
 Postal address: 36089 Fulda, Germany  
 Phone: +49 661 6005-0  
 Fax: +49 661 6005-407  
 E-mail: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Runcorn  
 Merseyside - Essex CH60 2DW, UK  
 Phone: +44 15 24 65 65 33  
 Fax: +44 15 24 65 62 62  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Oneida, NY 13526, USA  
 Phone: 315-697-JUMO  
 Fax: 315-697-6967  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 201005 Page 4/6

**Order details:** JUMOCecLine / JUMOBlaCkLine - pH / redox combination electrodes with glass shaft

(1) Basic type	
	201 005 pH electrode
	201 010 redox electrode
X X	(2) Basic type extension Glass window, ceramic diaphragm, gel-sealed, K cartridge
X X	(3) Active component 18 UW glass (for pH version) 22 platinum tip (for redox version)
O O	(4) Electrical connection 21 plug cap 22 PG 13.6 screw cap 40 plug cap with fixed cable 60 PG 13.6 screw cap with fixed cable
X X	(5) Cable length <sup>1</sup> 0000 no cable xxxx length in mm (whole meters only, max. 10m) standard length 1000mm (1m)
X X	(6) Instrument connector 00 none 78 BNC connector 73 DIN connector
X X	(7) Flange length 120 120mm
X X	(8) Extra codes 000 none 052 KCl reservoir (holder) 887 salt reserve

x = as standard  
 o = option  
 - = not available

Order code: (1) / (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) / (8) ...<sup>2</sup>  
 Order example: 201005 / 61 - 18 - 21 - 2000 - 78 - 120 / 000

Note:  
 The type code denotes modular system.  
 If possible, choose items listed under "stock versions" or "production versions" for your orders.  
 We will have to technically inspect and approve a free combination of individual key features.

**Stock versions** (delivery 8 working days after receipt of order)

Type	Description	Order No.
2010051-18-22-000-00-120/000	pH, glass shaft, PG 13.6 screw cap	20.00496592
2010101-22-22-000-00-120/000	Redox, glass window, PG 13.6 screw cap	20.00418406

**Production version** (delivery 10 working days after receipt of order)

Type	Description	Order No.
2010051-18-60-1000-78-120/000	pH, glass shaft, 1 m fixed cable with PG 13.6, BNC connector	20.00469671

<sup>1</sup> Possible only for 40 or 60 electrical connection.  
<sup>2</sup> List extra codes in sequence, separated by comma.  
 2012-02-10.0048884

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Mediapark Straße 14,  
 36085 Fulda, Germany  
 Postal address: 36085 Fulda, Germany  
 Phone: +49 661 6005-0  
 Fax: +49 661 6005-607  
 E-mail: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Riverside  
 Marlow - Bucks MK40 3DQ, UK  
 Phone: +44 12 95 65 66 33  
 Fax: +44 12 95 62 62 62  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

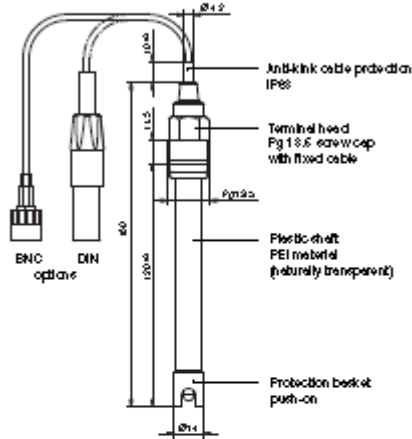
JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technikgrabenweg  
 Osnabrück, 49105, USA  
 Phone: 315-697-JUMO  
 1-800-654-JUMO  
 Fax: 315-697-6967  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



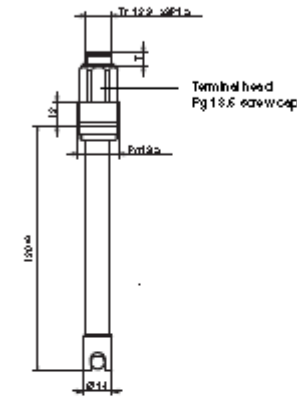
Data Sheet 201005 Page 5/6

## Dimensions

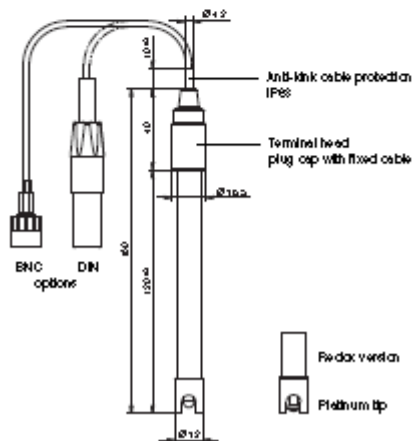
Version with (PEI) plastic shaft and push-on protection basket



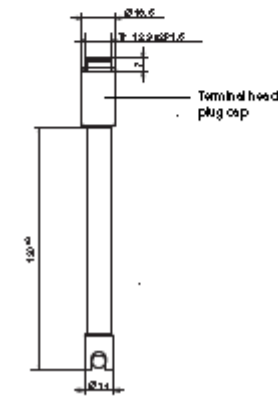
Type 201005K3-18-40-xxxx-xx-120.000 (pH)  
 Type 201010K3-22-40-xxxx-xx-120.000 (redox)



Type 201005K3-18-22-0000-00-120.000 (pH)  
 Type 201010K3-22-22-0000-00-120.000 (redox)



Type 201005K3-18-40-xxxx-xx-120.000 (pH)  
 Type 201010K3-22-40-xxxx-xx-120.000 (redox)



Type 201005K3-18-0000-00-120.000 (pH)  
 Type 201010K3-22-21-0000-00-120.000 (redox)

9043\_03\_10.000.000204



JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Medionstraße 14,  
 36089 Fulda, Germany  
 Postal address: 36089 Fulda, Germany  
 Phone: +49 661 6005-0  
 Fax: +49 661 6005-407  
 E-mail: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Rye Water  
 Harlow - Essex SS16 3DU, UK  
 Phone: +44 12 76 65 65 33  
 Fax: +44 12 76 65 62 62  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Oneida, NY 13622, USA  
 Phone: 315-697-JUMO  
 Fax: 315-697-6967  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 201005 Page 6/6

**Order details:** JUMO ecoLine / JUMOBacLine - pH / redox combination electrodes  
 with plastic shaft and push-on protection basket

(1) Basic type	
201 005	pH electrode
201 010	redox electrode
X X	(2) Basic type extension PEI plastic shaft <sup>1</sup> , gel-sealed, glass filament diaphragm, K cartridge
X X	(3) Active component
X	18 UW glass (for pH version)
X	22 platinum tip (for redox version)
X	(4) Electrical connection
O O	21 plug cap
X X	22 Pg 13.6 screw cap
O O	40 plug cap with fixed cable
O O	60 Pg 13.6 screw cap with fixed cable
X X	(5) Cable length <sup>2</sup>
O O	0000 no cable
X X X	length in mm (whole meters only, max. 10m) standard length 1000mm (1m)
X X	(6) Instrument connector
O O	00 none
O O	78 BNC connector
O O	78 DIN connector
X X	(7) PB length
O O	120 120mm
X X	(8) Extra codes
O O	000 none
O O	062 KCl reservoir (holder)
O O	887 salt reserve

X = as standard  
 O = option  
 - = not available

Order code: (1) / (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) / (8) ...<sup>2</sup>  
 Order example: 201 005 / 63 - 18 - 21 - 1000 - 78 - 120 / 000 ...<sup>2</sup>

Note:  
 The type code denotes modular system.  
 If possible, choose items listed under "stock versions" or "production versions" for your order.  
 We will have to technically inspect and approve a free combination of individual key features.

#### Stock versions (delivery 8 working days after receipt of order)

Type	Description	Sales No.
201005.63-18-22-000-00-120/000	pH, PEI shaft, Pg 13.6 screw cap	20.000.67022
201010.63-22-22-000-00-120/000	Redox, PEI shaft, Pg 13.6 screw cap	20.000.67020

#### Production versions (delivery 10 working days after receipt of order)

Type	Description	Sales No.
201005.63-18-40-1000-78-120/000	pH, PEI shaft, 1 m fixed cable, no threaded DIN connector	20.000.00140
201005.63-18-21-000-00-120/000	pH, PEI shaft, plug cap	20.000.00192
201005.63-22-40-1000-78-120/000	Redox, PEI shaft, 1 m fixed cable, no threaded BNC connector	20.000.48626

<sup>1</sup> PEI = polyetherimide.

<sup>2</sup> Possible only for 40 or 60 electrical connection.

<sup>3</sup> List extra codes in sequence, separated by commas.

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Medionstraße 14,  
 38029 Pulda, Germany  
 Postal address: 38029 Pulda, Germany  
 Phone: +49 091 6005-0  
 Fax: +49 091 6005-40 7  
 E-mail: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Bank, Ramsey  
 Harlow - Essex CM20 2DW, UK  
 Phone: +4412 26 65 65 65  
 Fax: +4412 26 65 62 62  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

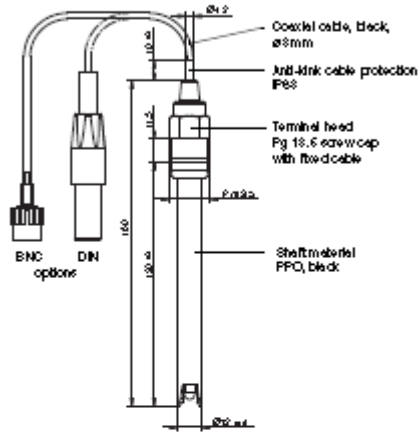
JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Oneida, NY 13622, USA  
 Phone: 315-697-JUMO  
 1-800-554-JUMO  
 Fax: 315-697-6997  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



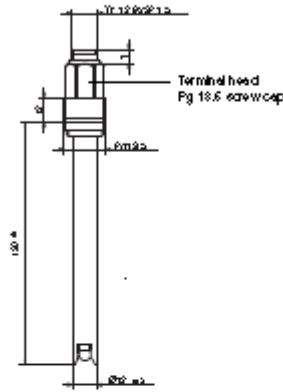
Data Sheet 201005 Page 7/8

## Dimensions

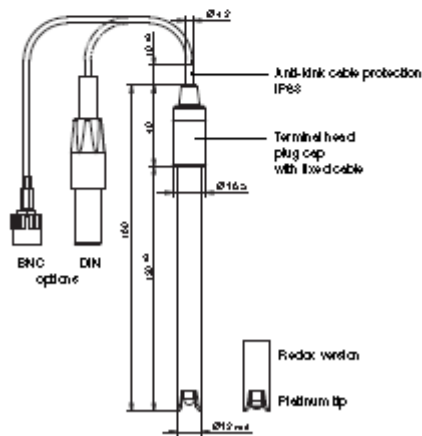
JUMOBacLine version with (PPO) plastic shaft and fixed protection basket



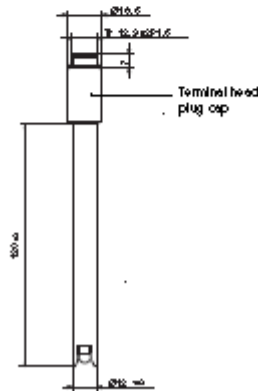
Type 201005/BC-18-86-xxxx-xx-120/000 (pH)  
 Type 201010/BC-22-86-xxxx-xx-120/000 (redox)



Type 201005/BC-18-23-0000-00-120/000 (pH)  
 Type 201010/BC-22-23-0000-00-120/000 (redox)



Type 201005/BC-18-46-xxxx-xx-120/000 (pH)  
 Type 201010/BC-22-46-xxxx-xx-120/000 (redox)



Type 201005/BC-18-21-0000-00-120/000 (pH)  
 Type 201010/BC-22-21-0000-00-120/000 (redox)

2012-02-10.00488884

JUMO GmbH & Co. KG  
 Delivery address: Medionsstraße 14,  
 36039 Fulda, Germany  
 Postal address: 36039 Fulda, Germany  
 Phone: +49 691 6005-0  
 Fax: +49 691 6005-67  
 E-mail: info@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

JUMO Instrument Co., Ltd.  
 JUMO House  
 Temple Park, Rozenburg  
 Hatfield - Beds SG8 5DZ, UK  
 Phone: +44 1462 2940 66 33  
 Fax: +44 1462 2940 66 62  
 E-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

JUMO Process Control, Inc.  
 6 Technology Boulevard  
 Orem, UT 84058, USA  
 Phone: 1-801-221-1100  
 Fax: 1-801-221-1100  
 E-mail: info@jumo.us  
 Internet: www.jumo.us



Data Sheet 201005 Page 3/6

**Order details:** JUMO ecoLine / JUMOBacLine - pH / redox combination electrodes  
 with plastic shaft and push-on protection basket

(1) Basic type	
201005	pH electrode
201010	redox electrode
X X	(2) Basic type extension BacLine version, PPO plastic shaft <sup>1</sup> , black, gel-sealed, ceramic diaphragm, acid electrolyte, cartridge-style conduction system
X X	(3) Active component 13 UW glass (for pH version) 22 platinum tip (for redox version)
O O	(4) Electrical connection 21 plug cap 22 Pg 13.5 screw cap 46 plug cap with fixed cable 66 Pg 13.5 screw cap with fixed cable
X X	(5) Cable length <sup>2</sup> 0000 no cable XXXX length in mm (whole meters only, max. 10m) standard length 2000mm (2m)
X X	(6) Instrument connector 00 none 76 BNC connector 78 DIN connector
X X	(7) Ring length 120 120 mm
O O	(8) Extra codes 062 KCl reservoir (holder) 887 salt reserve (standard)

x = as standard  
 o = option  
 - = not available

Order code: (1) / (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) / (8) ...<sup>2</sup>  
 Order example: 201005 / 66 - 13 - 22 - 2000 - 00 - 120 / 000

**Note**  
 The type code denotes modular system.  
 If possible, choose items listed under "stock versions" or "production versions" for your order.  
 We will have to technically inspect and approve every combination of individual key features.

#### Stock versions (delivery 3 working days after receipt of order)

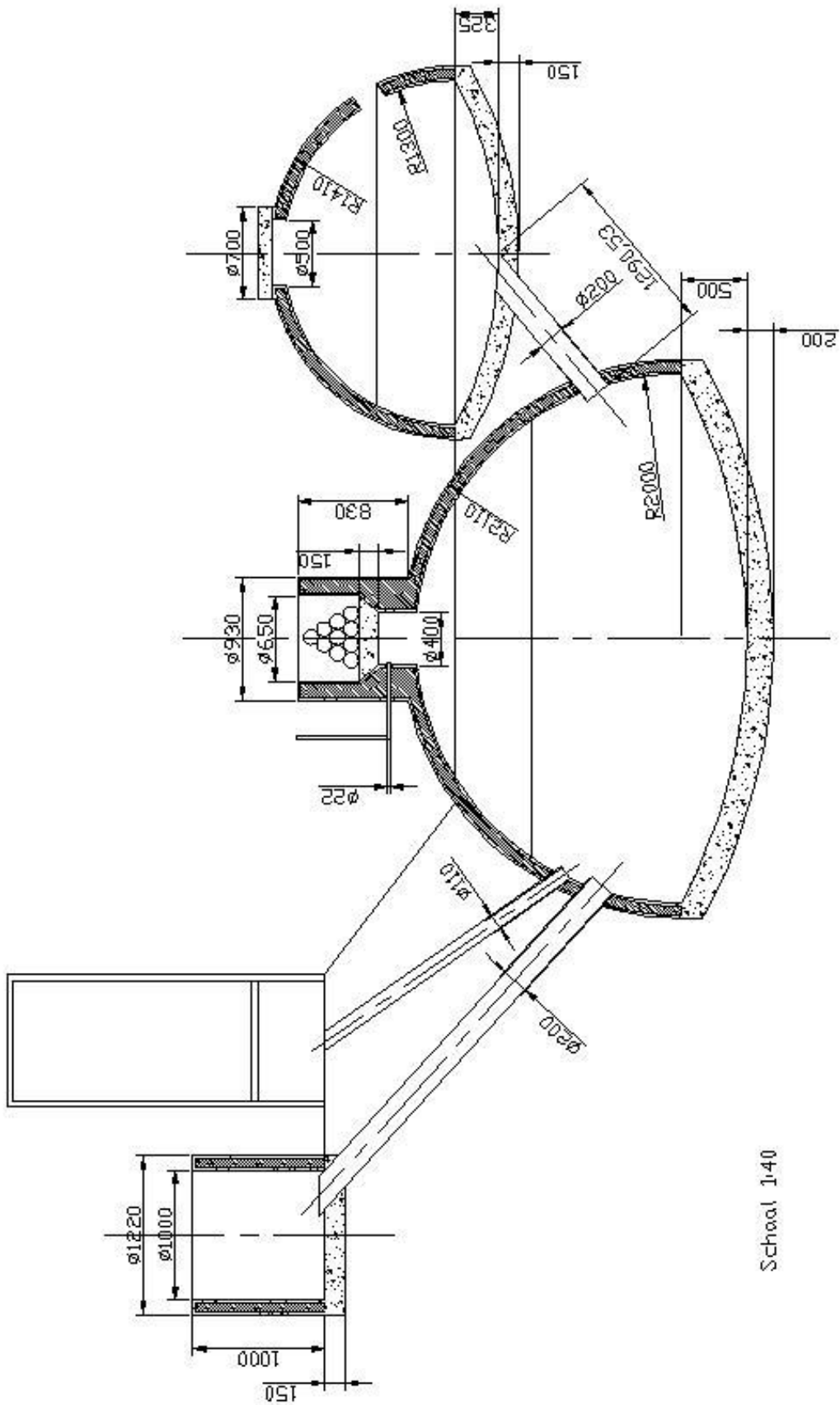
Type	Description	Order No.
201005.66-13-22-0000-00-120/887	pH, Pg 13.5 screw cap, no cable	20.00419112
201005.66-13-46-2000-78-120/887	pH, no thread, 2m fixed cable, BNC connector	20.00417300
201005.66-13-66-2000-78-120/887	pH, with Pg 13.5 thread, 2m fixed cable, BNC connector	20.00424323
201010.66-22-46-2000-78-120/887	Redox, no thread, 2m fixed cable, BNC connector	20.00417301
201010.66-22-66-2000-78-120/887	Redox, with Pg 13.5 thread, 2m fixed cable, BNC connector	20.00424460

<sup>1</sup>PPO = polyphenylene oxide.

<sup>2</sup>Possible only for 46 or 66 electrical connection.

<sup>3</sup>List extra codes in sequence, separated by commas.

## Appendix B: Ontwerp oorspronkelijke biogasinstallatie



## Referenties

1. **Camara, Sophie.** *Veld expert (Senegal)*. 2012.
2. **Europees Parlement.** “Europese richtlijn betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt. *Richtlijn 2011/EG*. 2001.
3. *Bio-methane and biohydrogen*. **Reith, J., et al., et al.** sl : Dutch Biological Hydrogen Foundation, 2003.
4. **Kool, A, et al., et al.** *Kennisbundeling covergisting*. Nederland : tech .rep., CLM Onderzoek en Advies BV, P-ASG en Ecofys, Culemborg, 2005.
5. **Sasse, Ludwig.** *Biogas Plants*. sl : Frieder. Vieweg & Sohn, 1984.
6. **Ham, M, et al., et al.** *Methaanbereiding uit chemisch afval*. sl : tech. rep., CICA, bureau ontwikkelingssamenwerking, Technische Hogeschool Eindhoven, 1979.
7. *Biogas farming in central and northern europe: A strategy for developing countries*. **Heiermann, M en Plöchl, M.** vol. 8,, sl : Agricultural Engineering International: The CIGR e-journal, 2006.
8. *Life cycle approach for evaluating sanitation projects. case study: Biogas latrine*. **Oewieja, S en Mihelcic, J R.** Addis Abada, Ethiopia : sn. International Conference.
9. *Sensor interfacing biogasinstallatie*. **Bosmans, Sebastiaan en Vanoppen, Senne.** Xios Hogeschool Limburg : sn, 2013.
10. **Banning, Hans.** *Expert in biogas*. 2012.
11. **De energieconsultant.** De energieconsultant. [Online] <http://www.energieconsultant.nl/>.
12. **Per, Olssen.** *Seaweed and Algae as a Natural Resource and a Renewable Energy Source*. Landskrona : sn, 2007.
13. *GWW materialen*. [Online] <http://www.gwwmaterialen.nl/soortelijk-gewicht-materialen/>.
14. *Biogas systems in Lesotho: An effective way to generate energy while sanitizing waste water*. **Huba, M M en Lebofa, E M.** vol. 9, 2011, Sustainable Sanitation Practice, pp. 10–17.
15. **Csuba, B.** Besluit .../2008 (...) van het ministerie van Lokaal Bestuur inzake technische brandveiligheidsnormen voor faciliteiten die hernieuwbare energiebronnen - biogas, bio-ethanol en biodiesel - gebruiken. sl : Ministerie van Lokaal Bestuur, 2008.