

Ref.nr. : 86-357
Dossiernr. : 8722-50088
Datum : januari 1988
NP

Titel
PROCESMATIGE WINNING VAN BIOGAS UIT
ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES

SAMENVATTEND EINDRAPPORT

Auteur(s):
Dr. Ir. W.H. Rulkens
Met medewerking van:
Ir. A.M.M. Ansems
Ing. W.G.J.M. van Tongeren

Trefwoord(en):
- huisvuil
- huishoudelijk afval
- organische fractie
- biogas
- ontsluiting
- voorbehandeling
- nabehandeling
- compostering

Bestemd voor:
Stichting Projectbeheerbureau Energie-
onderzoek (PEO)
van het Ministerie van Economische Zaken
Utrecht

	Pagina
86-357/R.22/IVS	2
INHOUDSOPGAVE	
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	8
2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGSMETHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)	12
2.1 Algemeen	12
2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek	13
2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek	15
2.4 Globale kostencalculatie	21
2.5 Conclusies	23
3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES (EENTRAPSVERGISTING)	25
3.1 Algemeen	25
3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek	27
3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie	32
3.4 Conclusies	34
4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE ANAEROBE VERGISTING VAN NIET-VOORBEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	36
4.1 Algemeen	36
4.2 Uitvoering van het onderzoek	36
4.3 Resultaten en discussie	37
4.4 Kostencalculatie	39
4.5 Conclusies	42

	Pagina
86-357/R.22/IVS	3
5. VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	44
5.1 Algemeen	44
5.2 Procesvoering	44
5.3 Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder	45
5.4 Samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt	45
5.5 Energie-aspecten	47
5.6 Kostenaspect	47
5.7 Samenvatting	48
6. SLOTBESCHOUWING	50

SAMENVATTING

In opdracht en met financiële bijdrage van de Stichting Projectbeheer-bureau Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel is door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties die kunnen worden verkregen uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties of via gescheiden inzameling van huishoudelijk afval.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was om door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek en een aanvullende technisch-economische evaluatie na te gaan wat het effect is op de biogasproductie van een mechanische, chemische of thermische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, en in hoeverre het mogelijk is op basis van een dergelijk procédé, een in technisch-economisch opzicht haalbaar proces te ontwikkelen. Na uitvoering van de eerste twee fasen van dit onderzoek was de belangrijkste conclusie dat een proces, bestaande uit een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De belangrijkste reden is de betrekkelijk geringe extra biogas-productie in relatie tot de relatief hoge kosten die de ontsluiting en tweede vergistingsstap met zich meebrengt.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek daarom gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op de anaerobe vergisting op laboratoriumschaal van vooraf mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces en van de gescheiden inzameling van huisvuil) en de anaerobe vergisting op semi-technische schaal van één van bovengenoemde fracties. Verder werd een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces gemaakt, waarbij tevens een vergelijking werd gemaakt met composteren.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten). Het onderhavige rapport

geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies van het onderzoek, waarbij primair een indeling is gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Voor praktijkdoeleinden is voornamelijk het onderhavige rapport en het derde tussenrapport van belang.

Als belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek kunnen worden genoemd:

- In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opgeleverd die nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingssystemen voor dergelijke fracties.
- De totale hoeveelheid biogas die middels een ééntraps anaeroob vergistingsproces uit de verschillende typen organische huisvuilfracties kan worden verkregen bedraagt ca. 390 tot 440 m³ per ton organische stof die aan de anaerobe reactor wordt toegevoerd.
- Het percentage methaan in het biogas bedraagt ca. 60%.
- Bij de anaerobe vergisting van organische huisvuilfracties wordt zeer globaal 50% van de totale hoeveelheid organische stof die aan de reactor wordt toegevoerd, omgezet.
- Voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie is een totale vaste stofconcentratie in de anaerobe reactor van maximaal ca. 18% mogelijk, vooropgesteld dat de reactor in voldoende mate wordt gemengd.
- Voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie, resulteert de toepassing van een mechanische deeltjesverkleiningsstap, voorafgaande aan de anaerobe vergisting, in een vermindering van de biogasproduktie met 15 à 20%, terwijl voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties een mechanische verkleining resulteert in een geringe toename van de biogasproduktie.

- De totale hoeveelheid biogas, die per ton huishoudelijk afval kan worden verkregen door vergisting van mechanisch afgescheiden organische fractie en door vergisting van gescheiden ingezamelde organische fractie bedraagt respectievelijk 54 m³/ton en 65 tot 93 m³/ton.
- Toepassing van mechanische, chemische of thermische ontsluitingsstappen op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, resulteert in een toename van de totale biogasproduktie met maximaal ca. 18%. De extra kosten van de ontsluitingsstap en de tweede vergisting zijn echter veel hoger dan de baten die kunnen worden verwacht van het extra biogas dat wordt geproduceerd.
- Uit een globale calculatie volgt dat voor de fijne organische huisvuilfractie de kosten van een proces, bestaande uit de hoofdprocesstappen opslurriën, anaeroob vergisten en ontwateren, geschat kunnen worden op ca. f 49 per ton te verwerken fijne organische huisvuilfractie. De baten uit het biogas zijn in deze kosten niet verdisconteerd. Dit geldt ook voor de kosten/baten, verbonden met de afzet van het ontwaterde vergistingsresidue.
- Uit een algemene globale vergelijking van composteren en anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie kan als belangrijkste conclusie worden getrokken dat de gehalten van een aantal zware metalen zowel in compost als vergiste fractie niet voldoen aan alle voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor afzet van compost en zuiveringsslib in de landbouw.

De belangrijkste verschillen tussen beide processen hebben betrekking op biogasproduktie, vochtgehalte, verwerkbaarheid, hygiënische betrouwbaarheid, en afdoding onkruidzaden.

Indien het eindprodukt als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet in de landbouw, zijn de netto-verwerkingskosten van dezelfde grootte-orde. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het bij de anaerobe vergisting verkregen biogas tegen een redelijke prijs nuttig kan worden afgezet.

Indien het eindprodukt niet als bodemstructuur verbeterende stof kan

worden afgezet maar moet worden gestort, heeft, met name bij een lage opbrengst van het biogas, compostering in het algemeen de voorkeur boven anaeroob vergisten vanwege het feit dat bij compostering een groter gewichtsverlies optreedt.

- Bij een eventuele voortzetting van het onderzoek naar de vergisting van fijne huisvuilfractie op demo-plantschaal zal speciale aandacht moeten worden besteed aan het mengen in de reactor en de verblijftijd in de reactor.
- Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre het hier onderzochte anaeroob vergistingssysteem voor een mechanisch afgescheiden fijne organische huisvuilfractie kan worden toegepast voor vergisting van gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval (GFT). Het gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval bevat een relatief hoog vochtgehalte (50-70%) hetgeen betekent dat composteren via geforceerde beluchting energetisch gezien niet direct aantrekkelijk is. Anaerobe vergisting is derhalve een reëel alternatief voor deze fractie mede gezien het feit dat aan de toekomstige normen en richtlijnen, die waarschijnlijk voor zware metalen worden gehanteerd bij de afzet van compost en zuiveringsslib in de landbouw, ruimschoots wordt voldaan.

1. INLEIDING

Inzamel- en verwerkingssystemen voor huishoudelijk afval zullen in de toekomst steeds meer gericht worden op een vermindering van de te storten hoeveelheid. De winning van biogas is daarbij een proces dat steeds meer in de belangstelling komt te staan. Winning van biogas kan plaatsvinden, hetzij uit integraal ingezameld huishoudelijk afval hetzij uit een afgescheiden organische fractie.

Er zijn verschillende mogelijkheden om een dergelijke organische fractie uit huishoudelijk afval te verkrijgen. Eèn van deze mogelijkheden is de mechanische huisvuilscheiding. Bij de mechanische huisvuilscheiding wordt een zogenaamde fijne organische huisvuilfractie afgescheiden die ca. 35% van de oorspronkelijke hoeveelheid huishoudelijk afval bedraagt. Een andere mogelijkheid om organische componenten, welke kunnen worden gebruikt voor de winning van biogas, uit huishoudelijk afval af te scheiden, is de toepassing van een gescheiden inzameling. Het huishoudelijk afval wordt daarbij aan de bron in twee of meer fracties gescheiden ingezameld. Deze gescheiden inzameling kan zodanig plaatsvinden dat één van de fracties in belangrijke mate de organische, micro-biologisch goed afbreekbare, componenten bevat. De fracties die bij een dergelijk systeem van gescheiden inzameling worden verkregen kunnen via bijvoorbeeld mechanische scheidingssystemen eventueel verder worden bewerkt of verwerkt.

In principe is er een groot aantal verschillende mogelijkheden om huishoudelijk afval te verwerken. Om deze verschillende mogelijkheden op technische en economische haalbaarheid te kunnen beoordelen, is kennis nodig met betrekking tot het terugwinnen, het hergebruiken of anderszins nuttig aanwenden van de diverse fracties, die bij de inzameling en de verwerking vrijkomen. Dit geldt zowel voor de fijne organische fractie, die wordt verkregen bij de mechanische scheiding van integraal ingezameld huishoudelijk afval, als voor de organische fractie (restfractie) die wordt verkregen bij een gescheiden inzameling van het huishoudelijk afval.

Ten aanzien van de verwerking van de fijne organische huisvuilfractie die bij de mechanische huisvuilscheiding wordt verkregen is er een aantal mogelijkheden zoals composteren of anaeroob vergisten. De fijne organische fractie is in principe ook toe te passen bij de fabricage van bakstenen. Ook storten van de fijne organische fractie is mogelijk. Analoge verwerkingsmogelijkheden gelden voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.

Door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO, afdeling Milieutechnologie, is met financiële steun van de Stichting Project-beheerbureau Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel, onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was:

- Door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek na te gaan, wat het effect is op de biogasproduktie van een mechanische, chemische of thermische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch scheidingsproces voor integraal ingezameld huishoudelijk afval.
- Vast te stellen in hoeverre het mogelijk is voor de fijne organische huisvuilfractie een in technisch/economisch opzicht haalbaar verwerkingsproces te ontwikkelen dat gebaseerd is op de toepassing van de in technisch/economisch opzicht meest geschikte ontsluitingsmethode in combinatie met een tweetraps anaerobe vergisting.

Het onderzoek was oorspronkelijk opgesplitst in een viertal fasen. Na uitvoering van de eerste fase (laboratoriumonderzoek naar het effect van de ontsluitingsmethoden op de biogasproduktie) en de tweede fase (oriënterende technisch/economische evaluatie van de resultaten van het laboratoriumonderzoek) was de belangrijkste conclusie dat een proces bestaande uit de toepassing van een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De reden hiervan is de betrekkelijk geringe extra biogasproduktie in relatie tot de betrekkelijk hoge kosten, die de ontsluiting en de tweede vergistingsstap met zich meebrengen.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op:

- Anaerobe vergisting (op laboratoriumschaal) van mechanische verkleinde fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch scheidingssysteem voor integraal ingezameld huishoudelijk afval.
- Anaerobe vergisting (op laboratoriumschaal) van twee typen organische huisvuilfracties (restfracties), die worden verkregen bij de gescheiden inzameling van droge componenten.
- Anaerobe vergisting, op semi-technische schaal, van één van bovengenoemde typen organische huisvuilfracties.
- Uitvoering van een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces en vergelijking met een composteringsproces.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten).

Het eerste tussenrapport heeft primair betrekking op het laboratoriumonderzoek naar het effect van mechanische, chemische en thermische ontsluitingsmethoden op de extra biogasproduktie die kan worden verkregen in een tweede aanvullende vergistingsstap. In het kader van het totale onderzoekproject is aan dit onderwerp de meeste aandacht besteed.

Het tweede tussenrapport heeft betrekking op het laboratoriumonderzoek naar de vergisting van mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties waarbij naast fijne organische fractie, (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem), ook twee typen gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties (restfracties, verkregen na gescheiden inzameling van droge componenten) zijn onderzocht.

Het derde tussenrapport heeft betrekking op het semi-technisch vergistingsonderzoek aan fijne organische huisvuilfractie en bevat verder een globale kostencalculatie van het vergistingsproces. Tevens is in dit rapport een globale vergelijking gemaakt tussen enerzijds het anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie en anderzijds het composteren van fijne organische huisvuilfractie.

Het onderhavige rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies uit het onderzoek waarbij primair een indeling is

gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Gestreefd is daarbij naar een behandeling per deelonderwerp waarbij de belangrijkste conclusies per deelonderwerp zoveel mogelijk kwantitatief zijn samengevat.

Het onderhavige rapport wordt afgesloten met enkele algemene, hoofdzakelijk kwalitatieve conclusies die betrekking hebben op het gehele onderzoek.

Detailinformatie betreffende opzet en uitvoering van het onderzoek, de resultaten en de interpretatie van de resultaten alsmede de kostencalculaties is vermeld in de drie tussenrapporten. Voor praktijkdoeleinden is voornamelijk het samenvattend rapport en het derde tussenrapport van belang.

2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGSMETHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)

2.1 Algemeen

Het onderzoek is uitgevoerd met een fijne organische huisvuilfractie welke verkregen is met behulp van een mechanisch huisvuilscheidings-systeem bestaande uit een magneetscheiding, verkleining, luchtscheiding en zeping met een zeefopening van 10 mm. De doorval van deze zeef is de fijne organische fractie.

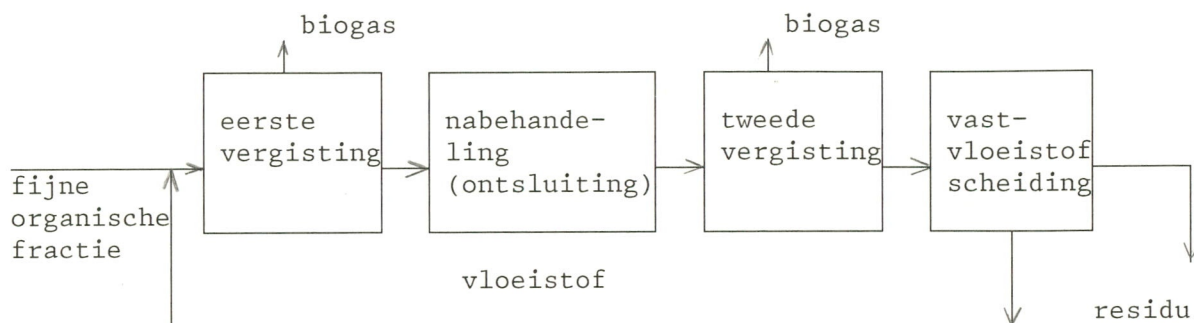
De fijne organische fractie is hoofdzakelijk afkomstig van voedselresten en bestaat voor een deel uit suikers, zetmeel en laagmoleculaire stoffen die anaeroob goed vergistbaar zijn. Ook anaeroob moeilijk vergistbare verbindingen zoals cellulose, hemi-cellulose en lignine zijn in deze fractie aanwezig.

In eerste instantie is een fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilinstallatie op praktijkschaal (Wenen) gebruikt. Later is overgegaan op fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem. In tabel 2.1 is de samenstelling van deze fracties weergegeven.

Tabel 2.1 Samenstelling fijne organische huisvuilfracties

	Wenen	Haarlem
Gemiddelde deeltjesgrootte (mm)	0,6	1,4
Percentage droge stof (%)	66,5	55,6
Percentage organische droge stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof (%)	46,6	59,9
Kg (droge) organische stof per ton fijne organische huisvuilfractie	310	333

Het basis processchema, dat aan dit deel van het onderzoek ten grondslag ligt, is weergegeven in onderstaande figuur.



In het onderzoek is nagegaan wat het effect is van een aantal relevante procesvariabelen op de biogasproductie uit niet voorbehandelde fijne organische huisvuilfractie en hoeveel extra biogas kan worden verkregen indien de vergiste fractie mechanisch, chemisch of thermisch wordt nabehandeld en daarna opnieuw in een tweede processtap wordt vergist. Op grond van de experimentele onderzoekresultaten is een globale kosten-calcuatie gemaakt van dit tweetrapsvergistingssysteem.

2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek

Eerste vergistingsstap

De anaerobe vergistingsproeven met de onbehandelde fijne organische huisvuilfractie zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergistingsreactoren bedroeg ca. 30 °C. Ter verkrijging van een stabiele vergisting met een zo klein mogelijke kans op verzuring, is gewerkt met een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 40 dagen. Er zijn ook een aantal experimenten uitgevoerd waarbij de verblijftijd 20 dagen bedroeg of waarbij de voedingsconcentratie 12% bedroeg. De vergistingsreactoren zijn intermitterend geroerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen.

Om het vergistingsproces te volgen zijn een aantal procesparameters gemeten zoals biogasproductie, gassamenstelling, pH, omzettingsgraad van het organisch materiaal en vetzuurgehalte in de reactor.

Nabehandeling van de vergiste fijne organische fractie

Na de eerste vergistingsstap is de fijne organische huisvuilfractie onderworpen aan een aantal behandelingsprocessen die tot doel hadden nog niet anaeroob vergiste organische stof te ontsluiten teneinde in een tweede vergistingsstap extra biogas te produceren.

Mede op basis van literatuurgegevens over ontsluitingsmethoden voor organische stoffen zijn de in tabel 2.2 vermelde behandelingsmethoden en bijbehorende procescondities gekozen.

Tabel 2.2 Toegepaste behandelingsmethoden en procescondities

Mechanische methoden	: Kogelmolen Snelmenger-homogenisator Korundschijvenmolen
Chemische methoden	: Natronloog (pH 12) Zwavelzuur (pH 2)
Thermische methoden	: Temperatuur: 75 °C, 100 °C, 143 °C
Mechanisch/chemische methoden	: Kogelmolen/natronloog Snelmenger-homogenisator/natronloog
Mechanisch/thermische methoden	: Kogelmolen/100 °C en 143 °C Snelmenger-homogenisator/100 °C en 143 °C
Chemisch/thermische methoden	: Natronloog/75 °C, 100 °C, 143 °C Zwavelzuur/75 °C, 100 °C, 143 °C

De toegepaste behandelingstijden varieerden van enkele minuten tot enkele uren.

De gecombineerde behandelingsmethoden zijn gekozen aan de hand van de resultaten van de afzonderlijke methoden. Bij de keuze is rekening gehouden met het feit dat de methoden in principe ook op grote schaal moeten kunnen worden toegepast.

Tweede vergistingsstap

De vergistingsproeven met de mechanisch, chemisch of thermisch behandelde fijne organische fractie zijn batchgewijze uitgevoerd in reactoren met een inhoud van één liter bij een temperatuur van 30 °C.

Om het netto effect van de nabehandeling op de biogasproduktie te kunnen bepalen zijn ook zogenaamde "blanco" vergistingsexperimenten met niet-nabehandelde vergiste fijne organische fractie uitgevoerd.

Ontwatering

Voor de ontwatering van het restslib na vergisting zijn op laboratoriumschaal een drietal mogelijkheden onderzocht: bezinking, filtratie en centrifugeren.

2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek

Anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (Eerste vergistingsstap)

Anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie uit Wenen levert bij de eerste vergistingsstap een specifieke biogasproduktie van 0,40 tot 0,44 liter per gram organische stof gevoed. Het methaangehalte van het biogas is 60-62%. Per ton fijne huisvuilfractie met ca. 66% droge stof komt dit overeen met een biogasproduktie van ca. 130 m³.

Anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem levert een specifieke biogasproduktie van 0,47 liter per gram organische stof gevoed (55-62% methaan). Dit betekent een biogasproduktie van ca. 157 m³ per ton fijne organische huisvuilfractie (ca. 56% droge stof) afkomstig van een mechanische huisvuilscheiding.

Bij de anaerobe vergisting treedt een reductie van het organische stofgehalte op van circa 55%. Hierbij is de verblijftijd in de vergister 40 dagen en de concentratie van de voeding 6% droge stof.

Bij zowel een halvering van de verblijftijd van 40 naar 20 dagen als een verdubbeling van de voedingsconcentratie van 6% naar 12% droge stof (bij

een verblijftijd van 40 dagen) blijft de specifieke biogasproductie vrijwel gelijk.

Anaerobe vergisting van de nabehandelde vergiste fijne organische fractie (Tweede vergistingsstap)

De resultaten van de vergisting van de nabehandelde fijne organische fracties zijn schematisch weergegeven in tabel 2.3.

Het netto effect van de behandelingsmethoden is de extra biogasproductie, die met de nabehandelde fijne fractie wordt verkregen in de tweede vergistingsstap verminderd met de extra biogasproductie, die in de tweede vergistingsstap wordt verkregen met de niet nabehandelde fijne fractie.

Tabel 2.3 Extra biogasproductie (uitgedrukt als percentage van de biogasproductie in de eerste vergistingsstap) en netto effect in afhankelijkheid van de diverse behandelingsmethoden

Behandelingsmethode	Extra biogasproductie (%)	Netto effect (%)
Onbehandeld (W,H)	7,7 - 8,7	-
Mechanisch (W,H)	5,4 - 11,8	neg. - 4,1
Chemisch (W)	3,2 - 4,7	neg.
Thermisch (W)	4,2 - 10,6	neg. - 2,1
Chemisch-thermisch (W)	3,0 - 12,8	neg. - 4,3
Mechanisch-chemisch (H)	3,5 - 10,3	neg. - 2,3
Mechanisch-thermisch(H)	10,4 - 18,0	2,7 - 10,3

W = huisvuilfractie uit Wenen

H = huisvuilfractie uit Haarlem

In bovenstaande tabel zijn de resultaten van alle experimenten samengevat. De extra biogasproductie varieert per behandelingsmethode tussen een minimum en maximum waarde. De variatie per behandelingsmethode wordt mede veroorzaakt door het feit dat de behandelingscondities (bijvoorbeeld de behandelingsduur of het temperatuurniveau) binnen elke methode varieerden.

Uit tabel 2.3 blijkt dat het netto effect van de mechanische behandeling maximaal ca. 4% bedraagt. Bij een aantal experimenten is zelfs een negatief effect gevonden.

Een chemische behandeling (met zuur of loog) heeft altijd een negatief netto effect op de biogasproductie. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn het ontstaan van chemische verbindingen die remmend werken op de vergisting.

Het netto effect van een thermische behandeling kan zowel positief als negatief zijn. Ditzelfde geldt ook voor een chemisch-thermische en een mechanisch-chemische behandeling. Overigens zijn ook hier de netto effecten betrekkelijk gering.

De behandeling, waarbij het grootste positieve netto effect optreedt, is de mechanisch-thermische behandeling. Het netto effect van deze behandeling is altijd positief en bedraagt maximaal ca. 10%.

Ontwatering van de vergiste fijne organische huisvuilfractie

Na de anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (droge stofgehalte voeding ca. 6%) bedraagt het droge-stofgehalte (gesuspenderde stof) van het restslib ca. 4%. Dit restslib bezinkt slechts zeer langzaam. Pas na ca. 20 uur is het droge-stofgehalte verdubbeld tot ca. 8% droge stof. Nagassing van het restslib levert problemen op bij bezinking doordat het slib gaat floteren.

Na conditionering met poly-elektrolieten laat het restslib zich goed mechanisch ontwateren. Op grond van de resultaten van laboratorium-onderzoek worden daarbij eind droge-stofgehaltes met een zeefbandpers of een centrifuge van respectievelijk 30 à 35% en 20 à 25% haalbaar geacht.

Gebruik van poly-elektrolieten is in ieder geval nodig om een hoog scheidingsrendement te halen.

Samenstelling en afzetbaarheid van het restslib

Het gehalte aan zware metalen in het ontwaterde restslib dat overblijft na de anaerobe vergisting is weergegeven in tabel 2.4. In deze tabel zijn tevens de gehalten aan zware metalen vermeld zoals die worden aangetroffen in zuiveringsslib (gemiddeld over 1980), (gemiddeld) in compost uit mechanisch afgescheiden organische huisvuilfracties en (gemiddeld) in compost uit gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval (GFT-fractie).

Uit de tabel blijkt dat het gehalte aan zware metalen in de vergiste fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem (ontwaterde restslib) lager is dan dat welke gemiddeld in zuiveringsslib wordt aangetroffen en in grote lijnen overeenkomt met het gemiddeld gehalte aan zware metalen in compost uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties. Ten opzichte van het gemiddelde gehalte aan zware metalen in GFT-fracties ligt het gehalte aan zware metalen in de vergiste fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem (restslib) echter aanzienlijk hoger.

Tabel 2.4 Zware metalen gehalte van vergiste fijne organische huisvuilfractie (slibkoek) uit Haarlem (restslib), van zuiveringsslib, van compost uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties en van compost uit GFT-fracties. Gehaltes in mg/kg droge stof (gemiddelde waarden).

Element	Vergiste fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem (ontwaterd restslib)	Zuiverings-slib (1980)	Compost (mechanische huisvuilscheidingsinstallatie)	Compost (uit GFT-fractie)
Cu	160	471	150	45
Pb	300	321	625	60
Cr	53	176	55	40
Ni	62	47	22	12
Cd	< 3	7	2,5	0,8
Zn	770	1359	750	215
Hg	< 3	5	1,5	0,1

* Referentie: Verslag van de Workshop Organische (Afval-)stoffen en de Bodem, PEO/RIVM, februari 1987 (NOH-rapport).

Het zal duidelijk zijn dat de afzetbaarheid van het restslib in belangrijke mate wordt bepaald door de samenstelling van het restslib en de eisen die aan de samenstelling worden gesteld. Met betrekking tot de maximaal toelaatbare gehalten aan zware metalen zoals die in de toekomst kunnen worden verwacht is het in dit kader zinvol om uit te gaan van het "Concept-Ontwerp van een Besluit houdende regelen met betrekking tot de kwaliteit van de voor bemesting bruikbare overige organische meststoffen" van het Ministerie van Landbouw en Visserij (concept d.d. 13 juli

1987) en van de aanbevelingen, zoals die voor compost uit zuiveringsslib vermeld zijn in de "Richtlijnen voor de inhoud van het provinciale plan voor de verwijdering van zuiveringsslib", Ministerie van VROM, 1986.

In tabel 2.5 en 2.6 zijn voor zuiveringsslib en compost deze voorgestelde kwaliteitseisen voor zowel de korte als de lange termijn vermeld. Ook de huidige Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor de afzet van zuiveringsslib in de landbouw is in deze tabel vermeld.

Tabel 2.5 Huidige maximaal toelaatbare gehalten aan zware metalen in zuiveringsslib ten behoeve van de afzet in de landbouw (Richtlijn Unie van Waterschappen, 1985) en voorgestelde toekomstige maximaal toelaatbare gehalten aan zware metalen in zuiveringsslib en compost ten behoeve van de afzet in de landbouw. Gehaltes in mg/kg droge stof.
Concept-Ontwerp van een Besluit houdende regelingen met betrekking tot de kwaliteit van de voor bemesting bruikbare overige organische meststoffen, Ministerie van Landbouw en Visserij, (concept 13 juli 1987).

Element	Richtlijn Unie van Water- schappen (1985)	Zuiveringsslib		Compost	
		Tot 1991	Na 1991 (overgang tot 1994)	Tot 1991	Na 1991 (overgang tot 1994)
Cu	600	600	425	500	300
Pb	500	500	300	500	200
Cr	500	500	350	300	200
Ni	100	100	70	60	50
Cd	5	5	3,5	3	2
Zn	2000	2000	1400	1300	900
Hg	5	5	3,5	3	2

Tabel 2.6 Aanbevelingen voor de samenstelling van compost uit mengsel van zuiveringsslib en ander organisch afval of compost uit louter organische afvalstoffen. Gehaltes aan zware metalen in mg/kg droge stof. Richtlijnen voor de inhoud van het provinciale plan voor de verwijdering van zuiveringsslib, Ministerie van VROM, 1986.

Metaal	Korte termijn indicatieve maximale gehalten	Middellange en lange termijn indicatieve maximale gehalten
Cu	400	50
Pb	300-500	150
Cr	300	100
Ni	60	50
Cd	3	1,5
Zn	1300	250
Hg	3	1,5

Op grond van tabel 2.4, 2.5 en 2.6 kan worden gesteld dat de concentratie aan zware metalen in de vergiste fijne organische fractie uit Haarlem lager zijn dan die welke genoemd zijn in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985). Compost uit GFT-fractie is de enige die in alle opzichten voldoet aan alle voorgestelde toekomstige kwaliteitseisen. Vergiste fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem, zuiveringsslib en compost uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties voldoen in het algemeen niet aan de voorgestelde toekomstige eisen. Overigens moet daarbij nadrukkelijk worden aangetekend dat de voorgestelde normering en voorgestelde richtlijnen op dit moment nog steeds een onderwerp van beleidsvoorbereiding zijn.

2.4 Globale kostencalculatie

Op basis van de experimentele onderzoekresultaten (onderzoek op laboratoriumschaal) is een globale kostenschatting gemaakt van een verwerkingsproces voor de fijne organische fractie dat bestaat uit een zestal achtereenvolgende processtappen (hoofdprocesstappen), namelijk:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie.
- Afscheiding van een belangrijk deel van de anorganische vaste stof (zand en glas).
- Eerste vergisting.
- Tussenindikking en behandeling na eerste vergisting.
- Tweede vergisting.
- Ontwatering van de slurry na tweede vergisting.

Bij de kostenschatting is uitgegaan van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie met een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huishoudelijk afval per jaar welke 35.000 ton fijne organische fractie produceert. Verder is aangenomen dat de droge-stofconcentratie van de voeding naar de anaerobe reactoren 6% bedraagt en de verblijftijd in elk van de beide anaerobe reactoren 20 dagen bedraagt.

De globale verwerkingskosten (in Hfl) per ton fijne organische huisvuilfractie bedragen dan voor de diverse afzonderlijke processtappen:

- Opslurriën, afscheiding van vaste stof en eerste vergisting	55
- Tussenindikking	5
- Behandeling na de eerste vergisting en tussenindikking:	
* Mechanisch	5
* Chemisch	15-25
* Thermisch	20-30
* Chemisch-thermisch	35-55
* Mechanisch-chemisch	20-30
* Mechanisch-thermisch	25-35
- Tweede vergisting	20
- Ontwatering van de slurry na de tweede vergistingsstap	10

De totale biogasproduktie van de eerste vergistingsstap bedraagt 157 m³ per ton fijne organische fractie (Haarlem). De totale kosten van een

proces bestaande uit opslurriën, vergisten (ééntraps) en ontwateren be-
dragen, op basis van de resultaten van het laboratoriumonderzoek, zeer
globaal geschat, 70 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie.
Dit betekent een totale kostprijs per m³ geproduceerd biogas van ca.
0,45 Hfl. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele kosten of ba-
ten van de afzet van het ontwaterde restslib.

Voor de tweede vergistingsstap wordt aangenomen dat de extra biogaspro-
duktie als gevolg van de (eventuele) nabehandeling en deze tweede ver-
gistingsstap, steeds gelijk is aan de maximale waarde zoals die vermeld
is in tabel 2.3 (meest gunstige waarden). Deze maximale extra biogaspro-
duktie is afhankelijk van het type nabehandeling. In tabel 2.7 zijn deze
maximale waarden weergegeven en is tevens vermeld wat de totale kosten
zijn die toegerekend moeten worden aan deze extra biogasproductiestap.

Tabel 2.7 Kosten van nabehandeling en tweede vergisting (Hfl)

Behandelingsmethode	Maximale extra biogasproductie		Globale kos- ten per m ³ extra biogas (Hfl)
	%	per ton fijne organische huisvuilfractie	
Onbehandeld (W)	8,7	11,3	2,--
Mechanisch (H)	11,8	18,5	1,50
Chemisch (W)	4,7	6,1	7,50
Thermisch (W)	10,6	13,8	3,50
Chemisch-thermisch (W)	12,8	16,6	4,--
Mechanisch-chemisch(H)	10,3	16,2	3,--
Mechanisch-thermisch(H)	18,0	28,3	2,--

W = huisvuilfractie uit Wenen

H = huisvuilfractie uit Haarlem

Er is bij de kostencalculatie zoals vermeld in tabel 2.7 geen rekening
gehouden met de eventuele kosten van ontwatering en de eventuele kosten
of baten van de afzet van het ontwaterde restslib. Alleen de kosten wel-
ke kunnen worden toegekend aan de nabehandeling en de tweede vergisting
zijn in beschouwing genomen.

Uit tabel 2.7 blijkt dat voor alle onderzochte procesroutes de kosten van nabehandeling, gevolgd door een tweede vergisting niet opwegen tegen de baten. Deze laatste worden geschat op maximaal 0,25 tot 0,35 Hfl per m³ geproduceerd biogas.

De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn. Uit dat oogpunt bezien zou mechanische behandeling vooraf zinvol kunnen zijn, ervan uitgaande dat minimaal hetzelfde effect als bij de nabehandeling optreedt tegen dezelfde kosten.

Benadrukt moet nog worden dat het voorgestelde totale verwerkingsproces en de bijbehorende aannamen die ten grondslag liggen aan voornoemde kostencalculatie zeker niet optimaal zijn, zowel in technisch als in economisch opzicht. Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk (zie hiervoor hoofdstuk 4). Bovendien is deze eerste kostenschatting voornamelijk gebaseerd op de resultaten van het laboratoriumonderzoek. Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas een factor 3 à 4 lager zou worden dan die welke is vermeld in tabel 2.7, dan nog blijft de kostprijs per extra m³ biogas hoger dan de te verwachten baten.

2.5 Conclusies

Eentrapsvergistingsroute

- . Fijne organische huisvuilfractie is in een eerste vergistingsstap goed anaeroob vergistbaar en levert 130 tot 160 m³ biogas per ton behandelde (natte) fijne organische huisvuilfractie.
- . Bovengenoemde gasproduktie is haalbaar bij een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 20 dagen in de anaerobe reactor.
- . Een goede ontwatering van het restslib tot 20% of 30% droge stof is mogelijk door middel van respectievelijk centrifugeren of filtreren.
- . Het gehalte aan zware metalen in dit restslib voldoet in het algemeen niet aan de toekomstige normen voor zware metalen zoals die voor zuiveringsslib en compost zijn voorgesteld in het "Concept Ontwerp van een Besluit houdende regelen met betrekking tot de kwaliteit van de

- voor bemesting bruikbare overige organische meststoffen" van het Ministerie van Landbouw en Visserij (concept d.d. 13-07-1987) en of de aanbevelingen zoals die voor compost uit zuiveringsslib zijn vermeld in de "Richtlijnen voor de inhoud van het provinciale plan voor de verwijdering van zuiveringsslib", Ministerie van VROM, 1986.
- . De totale kosten van het ééntrapsvergistingsproces (inclusief de ontwatering van het restslib) bij een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huishoudelijk afval per jaar worden op grond van de resultaten van het laboratoriumonderzoek zeer globaal geschat op ca. 70 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie, overeenkomend met ca. 0,45 Hfl per m³ geproduceerd biogas.
 - . Een verdere optimalisatie van het ééntrapsverwerkingsproces, gericht op een verlaging van de kosten, wordt mogelijk geacht.

Tweetrapsvergistingsroute

- . Mechanische, chemische, thermische of gecombineerde behandeling van vergiste fijne organische fractie, gevolgd door een tweede vergisting, is niet zinvol vanwege de geringe hoeveelheid extra biogas die bij vergisting ontstaat en de hoge kosten van dergelijke behandelingsroutes.
- . De maximale hoeveelheid extra biogas varieert van minimaal 3,2% bij de chemische behandelingsroute tot maximaal 18% bij de mechanisch-thermische route.
- . De kosten per m³ extra biogas zijn sterk afhankelijk van de toegepaste nabehandelingsmethode en bedragen, zeer globaal geschat, 1,50 tot 7,50 Hfl.
- . De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn.
- . Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk. Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas daardoor zou kunnen dalen met een factor 3 à 4, wordt de tweetrapsvergistingsroute uit kosten oogpunt niet zinvol geacht.

3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES (EENTRAPVERGISTING)

3.1 Algemeen

Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd met drie typen organische huisvuilfracties:

- Fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem (hetzelfde type materiaal dat ook is gebruikt in het onderzoek beschreven in hoofdstuk 2).
- Organische huisvuilfractie (restfractie), afkomstig van een gescheiden inzameling van huishoudelijk afval in Amersfoort.
- Organische huisvuilfractie (restfractie), afkomstig van een gescheiden inzameling van huishoudelijk afval in Woerden.

Het huishoudelijk afval uit Amersfoort en Woerden is in het zogenaamde "Duobak" project in twee fracties gescheiden aan de bron ingezameld. In Amersfoort zijn kunststoffen, glas en blik gescheiden van de organische fractie (restfractie) ingezameld, terwijl in Woerden papier, glas en blik gescheiden zijn ingezameld. Het huishoudelijk afval is eind augustus 1983 ingezameld. Omdat de gescheiden ingezamelde fracties niet direct met een hamermolen mechanisch verkleind konden worden zijn de fracties vóórverkleind met achtereenvolgens een messenwalsmolen zonder zeef en met een 20 mm zeef. Daarna zijn de fracties gemalen met een hamermolen met een 18 mm zeef en een hamermolen met 6 mm zeef. Vooraf zijn kunststoffen, katoen, glas, steen en blik met de hand uitgesorteerd, omdat de aanwezigheid van deze componenten bij onderzoek op laboratoriumschaal problemen oplevert en toch geen wezenlijke bijdrage aan de biogasopbrengst geeft.

De samenstelling van de organische huisvuilfractie uit Amersfoort en Woerden in gewichtsprocenten is weergegeven in tabel 3.1 (één meting):

Tabel 3.1 Samenstelling organische huisvuilfracties (restfracties), afkomstig van een gescheiden inzameling van huishoudelijk afval

	Amersfoort	Woerden
Groente/fruit/tuin + zand (= doorval zeef)	58,2	64,0
Papier/karton	19,9	9,5
Textiel	1,9	1,7
Glas	0,2	1,3
Ferro	1,1	1,7
Steen	8,3	3,1
Plastic/kunststoffen	2,8	11,0
Non-ferro	0,2	0,9
Brood	0,5	0,7
Tapijten/matten	0,8	0,8
Dierlijk afval (beenderen)	0,3	0,7
Leer/rubber	1,3	1,3
Hout	3,8	2,4
Bijzonder afval	0,2	0,6

Bovenstaande samenstelling heeft betrekking op huisvuilfracties waaraan nog geen handsortering (voor verwijdering van kunststoffen, katoen, glas, steen en blik) heeft plaatsgevonden.

Het onderzoek aan de mechanisch afgescheiden fijne organische huisvuilfractie sluit direct aan bij het in hoofdstuk 2 vermelde onderzoek. In het onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie is nagegaan wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie bij (ééntraps) anaerobe vergisting. Daarnaast is oriënterend nagegaan in hoeverre de organische belasting van de anaerobe reactor kan worden opgevoerd.

In het onderzoek aan de twee overige typen organische huisvuilfracties (restfracties) is nagegaan hoeveel biogas uit deze fracties kan worden geproduceerd en wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie.

Ook is de ontwatering van de anaerobe slibben onderzocht. De slibben zijn ontwaterd door middel van bezinking, filtratie en centrifugeren. Tevens is het rest-organische stofgehalte en het gehalte aan zware metalen bepaald in verband met de mogelijke composteerbaarheid van het rest-slib of het gebruik daarvan als bodemverbeterend middel.

De resultaten van het onderzoek zijn geëvalueerd aan de hand van een globale kostenberekening van de anaerobe vergisting. De evaluatie had tevens tot doel om te bepalen of voortzetting van het onderzoek op semi-technische schaal zinvol was en zo ja met welk type organische huisvuilfractie dit bij voorkeur zou moeten worden uitgevoerd.

3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek

Verkleining van de organische huisvuilfracties

De fijne organische huisvuilfractie afkomstig uit Haarlem is verkleind met een kruisslagmolen met een zeef van 1 mm. Het bleek dat bij dit maalproces mede als gevolg van warmte-ontwikkeling een betrekkelijk grote hoeveelheid water verdampte waardoor het droge-stofgehalte van deze fractie toenam van ca. 56% naar ca. 74%. De gemiddelde deeltjesgrootte nam af van ca. 1,4 mm tot ca. 0,26 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie (restfractie) uit Amersfoort is (na handsortering, waarbij plastic/kunststoffen, textiel, glas, steen en ijzer werden uitgesorteerd) eerst vóórverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van óf 18 mm óf 6 mm. Op deze wijze werden twee typen gemalen huisvuilfracties verkregen. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte. Als gevolg van het verkleiningsproces nam de gemiddelde diameter van de deeltjes af. Bij gebruik van een 18 mm zeef in de hamermolen bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte van de gemalen fractie ca. 1,8 mm. Bij gebruik van een 6 mm zeef bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte ca. 1 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie (restfractie) uit Woerden is eveneens (na handsortering, waarbij plastic/kunststoffen, textiel, glas, steen en ijzer werden uitgesorteerd) voorverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van 18 mm of 6 mm. Hierbij zijn ook weer twee typen fracties geproduceerd met een gemiddelde deeltjesdiameter van respectievelijk ca. 4 mm en ca. 1,6 mm. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte.

Het droge-stofgehalte van de gemalen huisvuilfracties bedroeg voor de fractie uit Haarlem, Amersfoort en Woerden respectievelijk ca. 74%, ca. 53% en ca. 50%. Het percentage organische stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof, bedroeg voor bovengenoemde fracties respectievelijk ca. 60%, ca. 76% en ca. 58 à 63%.

Het droge-stofgehalte van de niet gemalen Haarlemse huisvuilfractie bedroeg ca. 56%.

Anaerobe vergistingsexperimenten

De anaerobe vergistingsproeven zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergisting bedroeg ca. 30 °C. De vergistingsreactoren werden intermitterend geroerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen. De voedingsconcentratie (percentage droge stof van de voeding) bedroeg bij de vergisting van de huisvuilfractie afkomstig uit Amersfoort en Woerden steeds ca. 6%. De voedingsconcentratie bij de vergisting van de Haarlemse huisvuilfractie is geleidelijk opgevoerd van 6% naar 18%. De verblijftijd in de reactor bedroeg bij alle experimenten 20 dagen.

Bij de vergisting werden de gasproductie, de gassamenstelling en de pH in de reactor gemeten. Tevens werd van de vergiste huisvuilfracties het droge-stofgehalte en de asrest bepaald om de omzetting van organische stof te kunnen vaststellen.

Voor de verkleinde Haarlemse huisvuilfractie zijn enkele gegevens van de experimenten weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Gegevens van de experimenten met de verkleinde Haarlemse huisvuilfractie

Percentage droge stof in de voeding (%)	6	12	18
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	3,6	7,2	10,7
Biogasproduktie per ton organische stof gevoed (m ³)	390	410	410
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	58	55	57
Reductie in organische stof (%)	49	51	44

Uit tabel 3.2 blijkt dat het effect van de voedingsconcentratie op de biogasproduktie, op de samenstelling van het biogas en op de reductie in organische stof gering is.

De gemiddelde biogasproduktie bedraagt ca. 410 m³ per ton organische stof gevoed. Deze hoeveelheid komt overeen met ca. 124 m³ biogas per ton nat uitgangsprodukt.

Bij vergisting van niet gemalen organische huisvuilfractie wordt ca. 153 m³ biogas per ton natte organische fractie verkregen. Dit is (globaal) ook reeds gevonden bij het onderzoek aan de fijne organische fractie, beschreven in hoofdstuk 2.

Uit het bovenstaande blijkt dus dat verkleinen van de fijne organische fractie uit Haarlem van een gemiddelde diameter van 1,4 mm naar 0,26 mm een verlaging van de biogasproduktie met ca. 20% tot gevolg heeft. De biogasproduktie per ton huishoudelijk afval bedraagt 45 m³ voor de verkleinde fractie tegenover 54 m³ per ton huishoudelijk afval voor de niet verkleinde fractie. De oorzaak van de lagere biogasproduktie bij verkleinen kon niet worden achterhaald. Een mogelijkheid is verdamping van organische componenten.

Van de experimenten met gemalen huisvuilfractie uit Amersfoort en Woerden zijn in tabel 3.3 de belangrijkste gegevens samengevat.

Tabel 3.3 Samenvatting van de resultaten van de vergisting van Amersfoortse en Woerdense huisvuilfractie
(percentage droge stof in de voeding ca. 6%)

	Amersfoort		Woerden	
	zeef 18 mm	zeef 6 mm	zeef 18 mm	zeef 6 mm
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	5,2	4,7	3,4	3,7
Biogasproduktie per ton organische stof gevoed (m ³)	420	430	440	440
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	57	58	62	59
Reductie in organische stof (%)	50	40	48	50

Uit tabel 3.3 blijkt dat de biogasproduktie per ton organische stof gevoed voor zowel de Amersfoortse als de Woerdense huisvuilfractie ca. 430 m³ bedraagt. Het effect van het type zeef (maaswijdte 18 of 6 mm) dat bij het maalproces met de hamermolen is toegepast, is gering. De reductie in organische stof bedraagt gemiddeld ca. 47%.

Teruggerekend naar 1 ton gescheiden ingezamelde en nog niet bewerkte, dat wil zeggen, nog niet uitgesorteerde en nog niet verkleinde organische fractie (restfractie) uit Amersfoort wordt bij anaerobe vergisting gemiddeld ca. 116 m³ biogas gevormd. Teruggerekend naar 1 ton huishoudelijk afval (nat), ervan uitgaande dat de nog niet bewerkte organische fractie (restfractie) uit Amersfoort 80% hiervan bedraagt, wordt gemiddeld ca. 93 m³ biogas verkregen. Deze hoeveelheid is belangrijk hoger dan die uit de niet verkleinde fijne organische fractie uit Haarlem. Hieruit kan per ton (nat) huishoudelijk afval ca. 54 m³ biogas worden geproduceerd.

Per ton (nat) huishoudelijk afval uit Woerden kan bij anaerobe vergisting van de bewerkte organische fractie gemiddeld ca. 65 m³ biogas wor-

den geproduceerd. Hierbij is ervan uitgegaan dat 75% van het huishoudelijk afval uit Woerden uit nog niet bewerkte, dat wil zeggen, nog niet uitgesorteerde en verkleinde organische fractie (restfractie) bestaat. De hoeveelheid biogas is lager vergeleken met de hoeveelheid die bij vergisting van de Amersfoortse fractie (ca. 93 m³) wordt verkregen maar hoger in vergelijking met de hoeveelheid die bij vergisting van de Haarlemse fractie (ca. 54 m³) wordt geproduceerd.

Ontwatering van de vergiste organische huisvuilfracties

Aan de hand van een oriënterend laboratoriumonderzoek is de ontwaterbaarheid van de verschillende restslibben onderzocht.

Het blijkt dat het slib dat ontstaat bij de vergisting van de huisvuilfractie uit Woerden redelijk goed bezinkbaar is. In ca. één uur is het volume van het slib nagenoeg gehalveerd.

Ook het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Haarlem bezinkt redelijk. Ook hier wordt binnen een tijdsbestek van één uur een volume-afname van ca. 50% waargenomen.

Het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Amersfoort bezinkt in het geheel niet.

Na ca. twintig uur standtijd is bij alle slibmonsters van bezinking geen sprake meer doordat als gevolg van gasontwikkeling het slib gaat flo-teren. Bij het slib van de huisvuilfractie uit Amersfoort treedt dit verschijnsel vrijwel direct op.

Uit de laboratoriumfiltratietest kan worden geconcludeerd dat het restslib, afkomstig van de vergisting van de huisvuilfracties uit Haarlem, Amersfoort en Woerden met behulp van een zeefbandpers kan worden ontwaterd tot eind droge-stofgehaltes van respectievelijk ca. 40%, ca. 32% en ca. 36%. Gebruik van poly-elektrolieten is noodzakelijk voor het verkrijgen van een hoog scheidingsrendement.

Ook door middel van centrifugeren kan het restslib worden ontwaterd. Voor het restslib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfracties uit Haarlem, Amersfoort en Woerden worden eind droge-stofgehaltes haalbaar geacht van respectievelijk ca. 24%, ca. 15% en ca. 18%. Ook hier

zijn weer poly-elektrolieten nodig om een voldoende heldere restvloeistof (centrifugaat) te verkrijgen.

Samenstelling restslibben

De concentraties aan zware metalen in de onderzochte restslibben van de anaerobe vergisting van de drie typen huisvuilfracties zijn met uitzondering van kwik in belangrijke mate lager dan de concentraties die volgens de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) toelaatbaar worden geacht voor de afzet van zuiveringsslib in de landbouw. Het gehalte aan kwik in de restslibben komt ongeveer overeen met de waarde die in bovengenoemde Richtlijn voor dit metaal wordt gehanteerd. Voor alle drie restslibben geldt dat de gehalten aan een of meerdere zware metalen niet voldoen aan alle voorgestelde toekomstige normen en richtlijnen, die worden gehanteerd voor afzet van zuiveringsslib en compost in de landbouw. Overigens moet daarbij nogmaals worden opgemerkt dat de hier bedoelde normen en richtlijnen nog onderwerp van discussie zijn.

3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie

Op basis van de verkregen onderzoekresultaten is een zeer globale kostenschatting gemaakt van de vergisting van de drie typen onderzochte huisvuilfracties. Deze kostenschatting is gemaakt voor de vergisting van 35.000 ton organische huisvuilfractie per jaar. Daarbij is uitgegaan van de organische huisvuilfracties zoals die aan de vergistingsinstallaties worden toegevoerd. Voor de Haarlemse fractie is dit de niet gemalen fractie. Voor de Amersfoortse en Woerdense fractie is dit de bewerkte, dat wil zeggen de uitgesorteerde, verkleinde fractie. De organische belasting van de vergistingsreactor is gesteld op 3,5 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag. In de berekeningen zijn uitsluitend de kosten van vergisting meegenomen. De kosten van een eventuele verkleining zijn buiten beschouwing gelaten. Ook kosten van een eventuele ontwatering van het restslib zijn buiten beschouwing gelaten. In eerste instantie mag worden aangenomen dat de hoeveelheid restslib en de kosten van ontwatering alsmede de kosten of eventuele baten van de afzet van het ontwaterde restslib voor de drie typen restslibben bij benadering

gelijk zijn.

De gegevens van de kostenberekening zijn weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kosten van anaerobe vergisting van de verschillende typen organische huisvuilfracties

Type huisvuilfractie	Hoeveelheid huisvuil per jaar (ton)	Hoeveelheid vergiste huisvuilfractie per jaar (ton)	Bruto vergistingskosten per ton huisvuilfractie (Hfl)	Biogasproductie per ton huisvuilfractie (m³)
Huisvuilfractie Haarlem (niet verkleind)	100.000	35.000 (55,6%)*	46	153
Huisvuilfractie Amersfoort (uitgesorteerd en verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	64.400 (51,8%)*	35.000	51	165
Huisvuilfractie Amersfoort (uitgesorteerd en verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	64.400	35.000 (54,5%)*	53	180
Huisvuilfractie Woerden (uitgesorteerd en verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	72.200	35.000 (46,0%)*	42	121
Huisvuilfractie Woerden (uitgesorteerd en verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	72.200	35.000 (53,5%)*	47	148

* De tussen haakjes vermelde percentages geven het droge-stofgehalte weer van de huisvuilfracties na (eventuele) voorbewerking.

Uit de tabel blijkt dat de verschillen in kosten van anaerobe vergisting van de diverse huisvuilfracties (welke hoofdzakelijk het gevolg zijn van de verschillen in reactor grootte) binnen de marge liggen van ca. 40% welke voor de kostenberekening geldt. Op grond van de vergistingskosten per ton huisvuilfractie kon geen gemotiveerde keuze gemaakt worden wat betreft het onderzoek op semi-technische schaal.

De huisvuilfractie uit Haarlem kan echter vergist worden zoals deze bij de mechanische huisvuilscheiding beschikbaar komt omdat uit het laboratoriumonderzoek gebleken is dat verder verkleinen niet zinvol is. De gescheiden ingezamelde fracties uit Amersfoort en Woerden kunnen niet zonder meer anaeroob worden vergist. De fracties uit Amersfoort en Woerden moeten na gescheiden inzameling mechanisch worden verkleind om deze anaeroob te kunnen vergisten. Deze verkleining tot een gemiddelde deeltjesgrootte kleiner dan 2 mm kan niet in één stap geschieden. Dit betekent dat een verkleining gevolgd door een afscheiding (ziften of zeven) gevolgd moet worden door een naverkleining. Mede op grond van deze overwegingen en het feit dat mechanisch scheiden van integraal ingezameld huishoudelijk afval op het moment van keuze nog een interessante verwerkingsoptie leek, is de voorkeur gegeven aan een voortzetting van het onderzoek met de fijne organische huisvuilfractie afkomstig uit een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie. Het onderzoek op semi-technische schaal was noodzakelijk om de haalbaarheid van anaerobe vergisting van organische huisvuilfractie verantwoord te kunnen vaststellen.

3.4 Conclusies

- . Per ton fijne organische huisvuilfractie, zoals die bij de mechanische scheiding van huishoudelijk afval vrijkomt, wordt bij anaerobe vergisting ca. 153 m³ biogas gevormd. Dit komt overeen met een biogasproductie van ca. 54 m³ biogas per ton huisvuil. Verkleining van de fijne organische huisvuilfractie heeft een negatief effect op de biogasproductie.
- . Per ton gescheiden ingezamelde nog niet voorbewerkte organische huisvuilfractie (restfractie) uit Amersfoort wordt bij anaerobe vergisting ca. 116 m³ biogas gevormd. Dit komt overeen met een gemiddelde biogasproductie per ton huishoudelijk afval van 93 m³.

- . Per ton gescheiden ingezamelde nog niet voorbewerkte organische huisvuilfractie (restfractie) uit Woerden wordt bij anaerobe vergisting ca. 87 m³ biogas geproduceerd, overeenkomend met ca. 65 m³ per ton huishoudelijk afval.
- . Het type zeef dat bij het verkleiningsproces met de hamermolen wordt toegepast (18 mm of 6 mm) heeft een gering effect op de biogasproductie die uit de Amersfoortse en Woerdense huisvuilfractie (restfractie) wordt verkregen.
- . Anaerobe vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie (restfractie) levert per ton huishoudelijk afval meer biogas op dan anaerobe vergisting van mechanisch gescheiden organische huisvuilfractie.
- . De specifieke biogasproductie per ton organische droge stof gevoed is voor de diverse typen huisvuilfracties nagenoeg gelijk en bedraagt ca. 430 m³.
- . De restslibben van de anaeroob vergiste huisvuilfractie zijn met een zeefbandpers goed ontwaterbaar. Eind-droge-stofgehaltes van de filterkoek van ca. 32 tot ca. 40% worden haalbaar geacht. Bij toepassing van centrifuges worden droge-stofgehaltes verwacht van ca. 15 tot ca. 24%. Toepassing van poly-elektrolieten is noodzakelijk om een voldoende hoog scheidingsrendement te verkrijgen.
- . De concentraties van zware metalen in de restslibben liggen, met uitzondering van kwik, lager dan de maximale concentraties welke in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) genoemd zijn voor de afzet van zuiveringsslib in de landbouw. Het kwikgehalte is ongeveer gelijk aan de maximaal toelaatbare waarde. Voor alle drie restslibben geldt, dat de gehalten van één of meerdere zware metalen niet voldoen aan alle voorgestelde (toekomstige) maximaal toelaatbare waarden voor de afzet van zuiveringsslib en compost in de landbouw. De afzetbaarheid naar de landbouw is derhalve twijfelachtig.

4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE ANAEROBE VERGISTING VAN NIET-VOORBEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

4.1 Algemeen

Het semi-technisch onderzoek is uitgevoerd met de fijne organische huisvuilfractie afkomstig van de mechanische huisvuilscheidinginstallatie uit Haarlem. De samenstelling van deze fractie is in grote lijnen analoog aan die van de fijne organische huisvuilfractie welke is gebruikt bij het onderzoek beschreven in hoofdstuk 2.

De gemiddelde deeltjesgrootte van de fijne organische fractie is 1,4 mm, het droge-stofgehalte bedraagt ca. 56%. Het organische droge-stofgehalte is ca. 33%.

Het primaire doel van het onderzoek was de vergisting van de fijne organische huisvuilfractie op een grotere schaal te bestuderen, waarbij met name het effect van het droge-stofgehalte van de voeding nader moest worden vastgesteld. Het onderzoek had daarnaast tot doel de ontwaterbaarheid van het restslib te bepalen en na te gaan in hoeverre recirculatie van het filtraat, dat bij de ontwatering wordt verkregen, invloed heeft op het vergistingsproces.

Op grond van de resultaten van het semi-technische onderzoek en die van het laboratoriumonderzoek (beschreven in de tussenrapporten 1 en 2) is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van het vergistingsproces.

4.2 Uitvoering van het onderzoek

De vergistingsproeven zijn uitgevoerd in een roestvrijstalen reactor met een volume van 300 liter en een vloeistofinhoud (hoeveelheid slurry) van 250 liter. Deze reactor was voorzien van een mengsysteem waarmee de reactorinhoud periodiek of continu kon worden opgemengd. Verschillende mengsystemen zijn bij het onderzoek getest: menging met een propellerroerder, menging met een schroefroerder al of niet voorzien van een geleidebuis, en menging met een buiten de reactor, tussen aftap en voedingspunt geplaatste monopomp waarmee de reactorinhoud via een bypass

kon worden rondgepompt.

Bij het opslurriën van de vaste stof werd als aanmaakvloeistof filtraat van de slibontwatering gebruikt.

Bij het onderzoek werden voedings droge-stofconcentraties aan fijne organische huisvuilfractie van 6, 12 en 18% toegepast. De meeste experimenten werden uitgevoerd met een voeding welke 12% of 18% droge stof bevatte.

De reactortemperatuur bij de vergistingsexperimenten bedroeg ca. 30 °C. Voor het volgen van het verloop van de vergisting zijn een groot aantal metingen en analyses verricht, onder andere pH in de reactor, samenstelling biogas, gehalte aan vluchtige vetzuren, concentratie aan droge stof en de concentratie aan organische stof. Verder is regelmatig het gehalte aan zware metalen in het filtraat en in de vaste koek, verkregen bij de mechanische slibontwatering, gemeten.

4.3 Resultaten en discussie

Bij de aanvang van de experimenten zijn problemen ondervonden met het mengsysteem. Van de toegepaste roersystemen bleek het systeem, waarbij de menging werd gerealiseerd via een buiten de reactor geplaatste pomp, het best te voldoen.

Bij een voedings droge-stofconcentratie van 12% en een voedingsfrequentie van eenmaal per dag was er sprake van een goedlopende vergisting. De resultaten van deze vergisting en de bijbehorende procescondities zijn samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Vergisting fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem
(voedingsconcentratie 12%)

Temperatuur	: 30 °C ± 1 °C
Organische stofbelasting	: 3,6 kg organische stof per m ³ reactorinhoud per dag
Hydraulische verblijftijd	: 20 dagen
Specifieke gasproductie	: 0,42 m ³ biogas per kg organische stof gevoed
Methaanpercentage biogas	: ca. 56%
Afbraakpercentage organische stof	: ca. 40%

Bovengenoemde resultaten zijn iets minder gunstig dan die welke verkregen zijn in het laboratoriumonderzoek.

Bij een voedingsconcentratie van 18% (organische stofbelasting 5,4 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag) werd echter slechts een biogasproductie van 0,31 tot 0,35 m³ per kg organische stof gevoed verkregen. De oorzaak hiervan was zeer waarschijnlijk de aanwezigheid van dode hoeken in de reactor. Het gevolg van deze dode hoeken was een kortere verblijftijd. Uit de cijfers van pH, vetzuurconcentratie en biogasproductie blijkt dat de vergisting bij een voedings droge-stofpercentage van 18% onder de toegepaste omstandigheden nog wel plaatsvond, zij het niet optimaal. Wanneer de menging van de reactorinhoud wordt verbeterd, mogen betere vergistingsresultaten worden verwacht, vergelijkbaar met die welke bij een voedingsconcentratie van 12% zijn behaald.

Uit de vergistingsresultaten blijkt dat hergebruik van het water dat vrijkomt bij de ontwatering van de vergiste fijne organische fractie (het restslib) waarschijnlijk geen negatieve invloed heeft op de vergisting.

Bij het onderzoek naar de ontwatering van het restslib uit de anaerobe reactor, verkregen bij een voedingsconcentratie van 12% of 18%, werden met een zeefbandpers eind droge-stofgehaltes van de filterkoek van

ca. 35 tot 40% verkregen. Gebruik van polyelektrolieten is daarbij wel een vereiste.

Ook deze resultaten stemmen in grote lijnen overeen met die welke in een eerdere fase in het laboratoriumonderzoek zijn verkregen.

Opgemerkt moet nog worden dat de in het onderzoek toegepaste zeefbandpers niet was voorzien van een naperszone. De verwachting is dat met de huidige typen geavanceerde zeefbandpersen filterkoek-droge-stofgehaltes tot 45% haalbaar zijn.

De concentratie van zware metalen in de ontwaterde filterkoek van de zeefbandpers blijft onder die van de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw, maar voldoet voor een aantal zware metalen niet aan alle voorgestelde (toekomstige) maximaal toelaatbare waarden en richtlijnen voor de afzet van zuiveringsslib en compost in de landbouw.

4.4 Kostencalculatie

Op basis van de resultaten van het semi-technische onderzoek is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van een proces dat bestaat uit de navolgende (hoofd)processtappen:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie tot een concentratie van 18%.
- Anaerobe vergisting van de slurry.
- Ontwatering van het restslib en recirculatie van het filtraat.

De uitgangspunten die hierbij zijn gehanteerd zijn in tabel 4.2 gegeven.

Tabel 4.2 Uitgangspunten massabalans/processchema vergisting fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem

- Verwerkingscapaciteit: 100 ton fijne huisvuilfractie/dag.
- Droge-stofpercentage fijne fractie: 56%.
- Organische stofpercentage: 33% (van de totale fractie).
- As-percentage: 23% (van de totale fractie).
- Percentage droge stof na opslurriën: ca. 18%.
- Percentage af te scheiden zand/glas: 65% (betrokken op de as).
- Droge-stofpercentage zand/glas-fractie na hydrocyclonage: 80%.
- Organische stofbelasting van de anaerobe vergister: 5,4 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag.
- Hydraulische verblijftijd van de slurry in de anaerobe reactor: 20 dagen.
- Specifieke gasproductie: 0,4 m³ biogas per kg organische stof gevoed.
- Gassamenstelling: 56% CH₄, 41% CO₂.
- Polyelektrolytdosering ten behoeve van ontwatering: 1 g polyelektrolyt per kg droge stof.
- Droge-stofpercentage slibkoek na ontwatering: ca. 30%.
- Lokatie en opstelling: De installatie wordt aanleunend gebouwd aan een huisvuilscheidingsinstallatie. De gehele installatie wordt buiten opgesteld met uitzondering van het ontwateringsgedeelte.
- Aantal bedrijfsdagen: De installatie wordt volcontinu bedreven gedurende het hele jaar (350 dagen per jaar).
- Personeelsbezetting: Door integratie van de installatie met de scheidingsinstallatie is deelbezetting mogelijk.
- Kosten grondaankoop: 75 Hfl per m².
- Kosten polyelektrolyt ten behoeve van ontwatering: 10 Hfl per kg
- Kosten huur container voor afvoer van glas/zand en slibkoek: 20 Hfl per dag per container.

Op basis van deze uitgangspunten en gegevens zijn de volgende jaarlijkse bruto-kosten voor de verwerking van 10 ton fijne organische huisvuilfractie per dag berekend:

Kapitaalskosten	1.067.000 Hfl
Variabele kosten	501.500 Hfl
Personeelskosten	157.500 Hfl

Totaal	1.726.000 Hfl
--------	---------------

Uit de berekeningen blijkt dat de jaarlijkse exploitatiekosten voor een groot deel worden bepaald door rente, afschrijving en onderhoud.

De brutoverwerkingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie zijn onder bovengenoemde condities berekend op ca. 49 Hfl. Van dit bedrag heeft ca. 10 Hfl betrekking op de ontwateringskosten. Er is van uitgegaan dat het restslib (na ontwateren) zonder kosten of baten kan worden afgezet.

Voor de berekening van de nettokosten moet de opbrengst van het geproduceerde biogas hierop in mindering worden gebracht. Deze opbrengst kan zeer sterk variëren en is derhalve zeer moeilijk in te schatten. Op de eerste plaats is de opbrengst van het biogas sterk afhankelijk van de wijze waarop het gas kan worden benut. Een deel kan bij de huisvuilscheiding en de vergisting worden toegepast. Hierbij zal - evenals als bij directe toepassing bij een nabijgelegen industrie - de opbrengst groter zijn dan wanneer omzetting in elektriciteit en/of teruglevering aan het net de enige mogelijkheid is. Een combinatie van deze toepassingen lijkt het meest waarschijnlijk. Daarnaast speelt de aardgasprijs een belangrijke rol.

Naar schatting zullen de netto-verwerkingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie ongeveer nul zijn bij een grootverbruikersprijs voor aardgas van ca. 0,60 Hfl per m³. Gezien het huidige grootverbruikerstarief van ca. 0,20 Hfl per m³ lijkt deze optie voorlopig niet haalbaar.

4.5 Conclusies

De resultaten van het semi-technisch onderzoek naar de anaerobe vergisting van (niet voorbehandelde), fijne organische huisvuilfractie (Haarlem) komen in het algemeen goed overeen met de resultaten van het laboratoriumonderzoek. De belangrijkste conclusies zijn:

- . De fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem is goed te vergisten bij een voedings droge-stofpercentage van 12% (organische stofbelasting ca. 3,6 kg organische droge stof per m³ reactorinhoud per dag). De specifieke biogasproductie onder deze condities is ca. 0,4 m³ gas/kg organische stof gevoed. Het gas bevat ca. 56% CH₄. Bij het laboratoriumonderzoek is een overeenkomstige gassamenstelling en specifieke gasproductie gemeten.
- . Verhoging van het voedings droge-stofpercentage naar 18% lijkt mogelijk indien voor een goede menging van de reactor kan worden gezorgd. Onder deze condities mag ca. 0,4 m³ biogas per kg organische stof gevoed worden verwacht.
- . Per ton fijne organische huisvuilfractie kan ca. 153 m³ biogas worden geproduceerd.
- . Een goede menging van de reactorinhoud is noodzakelijk, enerzijds om een goed contact te verkrijgen tussen de in de reactor aanwezige bacteriemassa en het niet vergiste materiaal, anderzijds om een ophoping of afzetting van droge stof in de reactor te voorkomen.
- . De ontwatering van de anaerobe vergiste fijne fractie via de zeefbandpers verloopt goed, met name bij de hogere droge-stofpercentages van het vergiste materiaal. Een droge-stofpercentage van de koek van 35% tot 40% lijkt mogelijk.

- . Hergebruik van het filtraat van de ontwatering van het vergiste materiaal voor het opslurriën van de fijne fractie voor de vergisting lijkt geen merkbare invloed op de vergisting te hebben en is dus mogelijk.
- . De concentratie van zware metalen in het ontwaterde restslib ligt onder de waarden genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw, maar voldoet voor een aantal metalen niet aan alle voorgestelde toekomstige maximaal toelaatbare waarden en richtlijnen voor de afzet van zuiveringsslib en compost in de landbouw.
- . De bruto verwerkingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie bedragen ca. 49 Hfl.
- . Naar schatting zullen de bruto verwerkingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie en de opbrengst aan biogas elkaar compenseren bij een aardgasprijs van ca. 0,60 Hfl per m³. Gezien het huidige grootverbruikerstarief van ca. 0,20 Hfl per m³ lijkt deze optie voorlopig niet haalbaar.

5. VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

5.1 Algemeen

De fijne organische huisvuilfractie die wordt verkregen in een mechanisch huisvuilscheidingssysteem kan op verschillende manieren worden verwerkt. De meest voor de hand liggende mogelijkheden zijn anaeroob vergisten, primair bedoeld om biogas te winnen, en composteren, primair gericht op het verkrijgen van een produkt dat als bodemverbeteraar kan worden aangewend. Welk proces het meest aantrekkelijk is hangt af van technische uitvoerbaarheid, kosten en afzetmogelijkheden van de producten.

Voor het verkrijgen van meer inzicht in de voor- en nadelen van beide processen is een oriënterende studie uitgevoerd, waarin beide processen op een aantal relevante aspecten met elkaar zijn vergeleken. Deze relevante aspecten zijn de procesvoering, de milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder, de samenstelling, de verwerkbaarheid, de afzetbaarheid van het eindprodukt, de hygiënische betrouwbaarheid, het gehalte aan onkruidzaden, de energie-aspecten en de kosten.

5.2 Procesvoering

Bij de open composteringssystemen van mechanisch afgescheiden fijne organische huisvuilfractie, zoals deze momenteel worden ontworpen en opgezet, wordt het te composteren materiaal op hopen gezet en gedurende ca. 2 weken geforceerd belucht met relatief grote hoeveelheden lucht. Daarna vindt gedurende 1 à 2 maanden nacompostering plaats.

Bij gesloten composteringssystemen vindt eerst gedurende enkele dagen een geforceerde beluchting plaats in een trommel of tank, waarna een nacompostering op hopen plaatsvindt, min of meer analoog aan de compostering bij open systemen. De duur van deze nacompostering bedraagt eveneens 1 à 2 maanden.

Bij de anaerobe vergisting wordt de fijne organische fractie eerst opgeslurried, voordat vergisting plaats kan vinden. Menging van de inhoud

van de vergistingsreactor vereist speciale voorzieningen, met name als het om grote reactorvolumes gaat. Na de vergisting zal in het algemeen (afhankelijk van de afzetmogelijkheden van het vergiste materiaal) nog een ontwatering plaats moeten vinden. De totale verblijftijd van de fijne organische fractie in het vergistingsproces bedraagt 2 à 3 weken en is derhalve korter dan de verblijftijd bij composteringprocessen.

5.3 Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder

De huidige composteringssystemen zijn minder aantrekkelijk voor ongedierte dan de vroegere open systemen en bieden de mogelijkheid vrijkomende stank middels een luchtbehandelingssysteem zoals biowassing of biofiltratie te elimineren. Ook behandeling van vrijkomend percolatiewater kan zonodig plaatsvinden.

Anaerobe vergisting vindt in een volledig gesloten systeem plaats en zal naar verwachting geen stank of andere hinder voor de omgeving veroorzaken. Soms vindt nog een aerobe nabehandeling plaats om het slib te stabiliseren.

5.4 Samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt

Met betrekking tot de samenstelling van de bij compostering en anaerobe vergisting verkregen produkten, zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de afzetbaarheid:

- Gehalte aan organische stof.
- Structuurverbeterende eigenschappen.
- Bemestende waarde (het gehalte aan nutriënten).
- Verwerkbaarheid (het vochtgehalte is hierbij belangrijk).
- Het vochtgehalte.
- Stabiliteit (rijpheid van het produkt).
- Hygiënische betrouwbaarheid.
- Gehalte aan onkruidzaden.
- Totaal zout- en chloorgehalte.
- Gehalte aan zware metalen.

Bij zowel composteren als anaeroob vergisten worden hoofdzakelijk de micro-biologisch goed afbreekbare componenten omgezet in gasvormige componenten en water. Er zal derhalve wat betreft het gehalte aan organische stof van het eindprodukt waarschijnlijk slechts weinig verschil zijn.

Het gehalte aan plantenvoedende stoffen (N, P, K) is, voor zowel gecomposteerde als anaeroob vergiste fijne organische huisvuilfractie laag en verschilt onderling weinig. Het vergiste c.q. gecomposteerde materiaal zal voornamelijk een structuurverbeterende functie hebben als gevolg van de vertering van het organische materiaal tot slijmstoffen en humus en de bevordering van het bodemleven.

Wat het totaal zout- en chloorgehalte betreft zal er waarschijnlijk weinig verschil bestaan tussen compost en vergiste fractie. Weliswaar komen de meeste zouten bij het anaeroob vergistingsproces uiteindelijk voor een belangrijk deel in het filtraat van de ontwateringsstap terecht, maar dit filtraat wordt in de gekozen procesvoering hergebruikt voor het opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie. Het is in principe mogelijk dit filtraat niet voor dat doel te gebruiken, waardoor de zoutconcentratie in de filterkoek aanzienlijk lager kan zijn.

Het vochtgehalte van compost is aanzienlijk lager dan dat van de mechanisch ontwaterde vergiste fractie. Hierdoor zal de machinale verwerkbaarheid van compost beter zijn dan die van de ontwaterde vergiste fractie. Indien de vergiste fractie echter niet ontwaterd wordt, is de verwerkbaarheid van deze fractie waarschijnlijk beter. De transportkosten per kg droge stof zullen dan echter hoger zijn dan die van de compost.

Wat betreft de stabiliteit (rijpheid) van het verkregen produkt mag worden aangenomen dat deze voor compost en vergiste fractie elkaar niet veel ontlopen.

Met betrekking tot de hygiënische betrouwbaarheid van het verkregen eindprodukt en de afdoding van onkruidzaden kan worden gesteld dat deze waarschijnlijk groter is bij compost dan bij ontwaterde anaeroob (mesofiel) vergiste fijne fractie. Primair is dit een gevolg van de hogere temperatuur waarbij het composteringsproces plaatsvindt.

Wat de zware metalen betreft kan, gezien de aard van de toegepaste processen, in het algemeen verwacht worden dat deze zowel bij de compostering als bij de vergisting in of aan de vaste stof achterblijven. Er zijn in dat opzicht dus geen significante verschillen aan te geven. De concentraties van zware metalen zijn in het algemeen lager dan die welke genoemd worden in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor de afzet van zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouwland.

De concentraties aan zware metalen in zowel compost als vergiste fractie voldoen voor een aantal metalen echter niet aan alle voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor de afzet van zuiveringsslib en compost in de landbouw.

5.5 Energie-aspecten

Bij zowel het composteringsproces als het anaerobe vergistingsproces komt energie vrij. De bij compostering vrijkomende energie in de vorm van afvalwarmte is echter aanzienlijk minder aantrekkelijk dan het biogas dat bij de anaerobe vergisting ontstaat.

5.6 Kostenaspect

Uit een zeer globale kostencomputatie blijkt dat de kosten van het anaerobe vergistingsproces en van het composteringsproces in dezelfde orde van grootte liggen.

5.7 Samenvatting

De belangrijkste vergelijkingsaspecten tussen compostering en anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfractie zijn samengevat in tabel 5.1.

De belangrijkste conclusie uit deze tabel is dat de concentraties van een aantal zware metalen in zowel de compost als de vergiste fractie hoger zijn dan de voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor afzet van compost of zuiveringsslib in de landbouw. De afzetbaarheid naar de landbouw is derhalve voor beide fracties zeer twijfelachtig.

Wat de overige vergelijkingsaspecten betreft moet worden geconcludeerd dat in een aantal gevallen compostering de voorkeur verdient boven vergisting en in een aantal andere gevallen vergisting aantrekkelijker is, afhankelijk van de vraag aan welke aspecten het meeste belang wordt gehecht.

Tabel 5.1 Vergelijking compostering en anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfractie

	Composteren	Vergisten
Procesvoering	Composteren: ca. 2 weken Na-composteren: 1 à 2 maanden	Verblijftijd: 12 – 20 dagen
Omgevings-/milieu-aspecten	Open systeem: mogelijk enige hinder van ongedierte, stank en percolatiewater Gesloten systeem: goed controleerbaar, mogelijk enige hinder tijdens nacompostering	Gesloten systeem, dus goed controleerbaar en geen hinder van stank en ongedierte
Samenstelling eindprodukt en afzetbaarheid eindprodukt in de landbouw		
a) Organische samenstelling	Eenvoudig afbreekbare componenten zijn afgebroken	Idem
b) Structuurverbeterende waarde	Goed	Goed, echter tengevolge van lager droge stof-gehalte lager dan compost
c) Bemestende waarde	Laag	Laag
d) Verwerkbaarheid	Goed	In het algemeen minder goed indien mechanisch ontwaterd wordt
e) Vochtgehalte	Laag, 30 – 35%	Hoog, ca. 65% (niet ontwaterd ca. 85%)
f) Stabiliteit/rijpheid	Goed	Idem
g) Hygiënische betrouwbaarheid en afdoding onkruidzaden	Goed bij juiste procesvoering door relatief hoge temperatuur (50 – 70 °C)	In het algemeen onvoldoende door relatief lage temperatuur bij mesofiele vergisting (35 °C)
h) Oplosbare zouten en chloriden	Kunnen niet eenvoudig verwijderd worden	Kunnen eventueel eenvoudig verwijderd worden
i) Zware metalen	Voldoet niet aan de voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor afzet van compost of zuiveringsslib in landbouw	Idem
Energie-aspect	Geen netto-opbrengst aan energie	Hoogwaardige energie in de vorm van biogas
Verwerkingskosten (exclusief afzet in de landbouw of storten)	Zelfde grootte-orde als vergisten (extra kosten voor compostering bij een mechanische scheidingsinstallatie bedragen ca. 25 Hfl per ton totaal afval)	Zelfde grootte-orde als composteren (kosten van vergisten, inclusief opbrengst biogas, bedragen ca. 36 Hfl per ton te behandelen fijne organische huisvuilfractie)
Kosten van storten	Lager dan van de vergiste fractie (lager watergehalte)	Hoger dan van de gecomposteerde fractie (hoger watergehalte)

6. SLOTBESCHOUWING

Uit onderzoek aan een drietal typen (organische huisvuilfracties) blijkt dat via een ééntraps vergistingsproces bij een verblijftijd van de organische fractie in de reactor van ca. 20 dagen 390 tot 440 m³ biogas kan worden verkregen per ton organische stof die aan de vergister wordt toegevoerd. Deze hoeveelheid is nagenoeg onafhankelijk van het type organische huisvuilfractie dat wordt vergist.

Per ton (nat, niet voorbewerkt) uitgangsmateriaal (organische huisvuilfractie) bedraagt de hoeveelheid biogas; welke uit de drie typen onderzochte (organische) huisvuilfracties kan worden gewonnen:

- Fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie (pilot plant installatie, Haarlem) : ca. 153 m³
- Gescheiden ingezamelde huisvuilfractie (restfractie) uit Amersfoort : ca. 116 m³
- Gescheiden ingezamelde huisvuilfractie (restfractie) uit Woerden : ca. 87 m³

Per ton (nat) huishoudelijk afval bedraagt de hoeveelheid biogas welke uit de verschillende typen organische fracties kan worden gewonnen:

- Fijne organische huisvuilfractie : ca. 54 m³ per ton huishoudelijk afval.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Amersfoort : ca. 93 m³ per ton huishoudelijk afval.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden : ca. 65 m³ per ton huishoudelijk afval.

Voorafgaand verkleinen (malen) van de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie heeft een positief effect op de winning van biogas. Bij de fijne organische huisvuilfractie wordt een negatief effect geconstateerd.

Het percentage CH₄ in het biogas dat bij het eentraps vergistingsproces van de diverse niet-voorbehandelde (organische) huisvuilfracties wordt

verkregen bedraagt 55 tot 65%.

In het algemeen wordt bij het vergistingsproces een reductie in organische stof verkregen van ca. 40 tot 55%.

Uit onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, blijkt dat een mechanische, chemische, thermische of gecombineerd mechanisch-chemische, mechanisch-thermische of chemisch-thermische ontsluiting van de reeds vergiste organische fractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, slechts in een geringe hoeveelheid extra biogas resulteert. De kosten van een ontsluiting gevolgd door een tweede vergistingsstap zijn in het algemeen meer dan een factor drie hoger dan de verwachte baten aan biogas. Dit betekent dat een dergelijke ontsluiting in combinatie met een tweede vergistingsstap niet zinvol is voor de betreffende organische huisvuilfractie. Bij de mechanische ontsluiting zijn de behandelingskosten relatief het laagst.

Uit onderzoek op semi-technische schaal naar de vergisting van fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie blijkt dat een voedingspercentage tot 18 gewichtsprocent haalbaar is, mits een goede menging in de reactor kan worden gerealiseerd. De noodzakelijke verblijftijd in de reactor bedraagt 15 tot 20 dagen.

De vergiste fijne organische huisvuilfractie is goed ontwaterbaar met een zeefbandpers waarbij een droge-stofpercentage van de koek van ruim 35% tot 45% mogelijk is. Hergebruik van het filtraat van de ontwatering voor het opslurriën van de fijne fractie heeft geen merkbare invloed op de vergisting.

De concentraties van zware metalen in het ontwaterde restslib van de vergisting liggen onder de waarden, genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) welke gehanteerd worden voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw, maar voldoen voor een aantal zware metalen duidelijk niet aan alle voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor afzet van compost en zuiveringsslib in de landbouw.

Uit een oriënterende kostencalculatie blijkt dat de kosten van een vergistingsproces, bestaande uit de drie hoofprocesstappen - opslurriën,

vergisten, ontwateren - zeer globaal ca. 49 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie (nat) bedragen. De baten uit het biogas zijn in deze kosten niet verdisconteerd. Dit geldt ook voor de kosten/baten welke verband houden met de afzet van het produkt.

Uit een algemene globale vergelijking van composteren en anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie kan als belangrijkste conclusie worden getrokken dat de gehalten van een aantal zware metalen zowel in compost als vergiste fractie hoger zijn dan de voorgestelde (toekomstige) normen en richtlijnen voor afzet van compost en zuiveringsslib in de landbouw.

De belangrijkste verschillen tussen beide processen hebben betrekking op biogasproduktie, vochtgehalte, verwerkbaarheid, hygiënische betrouwbaarheid en afdoding onkruidzaden.

Indien het eindprodukt als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet in de landbouw, zijn de netto-verwerkingskosten van dezelfde grootte-orde. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het bij de anaerobe vergisting verkregen biogas tegen een redelijke prijs nuttig kan worden afgezet.

Indien het eindprodukt niet als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet maar moet worden gestort, heeft, met name bij een lage opbrengst van het biogas, compostering in het algemeen de voorkeur boven anaeroob vergisten vanwege het feit dat bij compostering een groter gewichtsverlies optreedt.

In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate de kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opleverd welke nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingsprocessen voor dergelijke fracties en voor het kunnen vergelijken met composteringsprocessen.

De gegevens zijn verder bruikbaar voor het maken van een procesontwerp van een vergistingsinstallatie voor toepassing in de praktijk.

Bij een eventuele voortzetting van het onderzoek naar de vergisting van fijne huisvuilfractie op demo-plantschaal zal speciale aandacht moeten worden besteed aan het mengen in de reactor en de verblijftijd in de reactor.

Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre het hier onderzochte anaeroob vergistingssysteem voor een mechanisch afgescheiden fijne organische huisvuilfractie kan worden toegepast voor vergisting van gescheiden ingezamelde groente, fruit- en tuinafval (GFT). Het gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval bevat een relatief hoog vochtgehalte (50-70%) hetgeen betekent dat composteren via geforceerde beluchting energetisch gezien niet direct aantrekkelijk is. Anaerobe vergisting is derhalve een reëel alternatief voor deze fractie mede gezien het feit dat aan de toekomstige normen en richtlijnen die voor de concentratie van zware metalen worden gehanteerd bij de afzet van compost en zuiveringsslib in de landbouw ruimschoots wordt voldaan.

PROCESMATIGE WINNING VAN BIOGAS
UIT ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES
SAMENVATTEND EINDRAPPORT

door

Dr. Ir. W.H. Rulkens

Met medewerking van:

Ing. W.G.J.M. van Tongeren

Bestemd voor:

Stichting Projectbeheerbureau
Energie-onderzoek (PEO)
van het Ministerie van
Economische Zaken
Utrecht

Commissie van de EG
Directoraat-Generaal voor Wetenschap,
Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII)
Wetstraat 200
B-1049 BRUSSEL

EG projectnummer: RUW-021-NL(B)



postbus 342
7300 AH Apeldoorn

bezoekadres
laan van Westenenk 501

postbus 342
7300 AH Apeldoorn
telefoon 055 - 77 33 44

bezoekadres
laan van Westenenk 501

telefoon 055 - 77 33 44
Ref.nr. : 86-357

Dossiernr. : 8722-50088

Datum : juli 1987

NP/P

Trefwoorden:

huisvuil

organische fractie

biogas

ontsluiting

voorbehandeling

nabehandeling

compostering

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto,
copie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.”

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten
en verplichtingen van opdracht
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoek en Ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979”
dan wel de desbetreffende overeen-
komsten tussen partijen gesloten overeen-
komst.

©1987 TNO - s-Gravenhage

1	INLEIDING	1
2	EFFECT VAN RECHT EN DE CHIEF-EN EN TECHNISCHE ONTOEWIJZING- METHODEN VAN DE WINKING VAN LOGAS EN DE ORGANISCHEN RECHTSHANDLING (VERBODEN IN WINKING)	2
3	Algemeen	3.1
4	Uitvoer in de experimentele en theoretische	4.1
5	Uitvoer in de experimentele en theoretische	5.1
6	Uitvoer in de experimentele en theoretische	6.1
7	Uitvoer in de experimentele en theoretische	7.1
8	Uitvoer in de experimentele en theoretische	8.1
9	Uitvoer in de experimentele en theoretische	9.1
10	Uitvoer in de experimentele en theoretische	10.1
11	Uitvoer in de experimentele en theoretische	11.1
12	Uitvoer in de experimentele en theoretische	12.1
13	Uitvoer in de experimentele en theoretische	13.1
14	Uitvoer in de experimentele en theoretische	14.1
15	Uitvoer in de experimentele en theoretische	15.1
16	Uitvoer in de experimentele en theoretische	16.1
17	Uitvoer in de experimentele en theoretische	17.1
18	Uitvoer in de experimentele en theoretische	18.1
19	Uitvoer in de experimentele en theoretische	19.1
20	Uitvoer in de experimentele en theoretische	20.1
21	Uitvoer in de experimentele en theoretische	21.1
22	Uitvoer in de experimentele en theoretische	22.1
23	Uitvoer in de experimentele en theoretische	23.1
24	Uitvoer in de experimentele en theoretische	24.1
25	Uitvoer in de experimentele en theoretische	25.1
26	Uitvoer in de experimentele en theoretische	26.1
27	Uitvoer in de experimentele en theoretische	27.1
28	Uitvoer in de experimentele en theoretische	28.1
29	Uitvoer in de experimentele en theoretische	29.1
30	Uitvoer in de experimentele en theoretische	30.1
31	Uitvoer in de experimentele en theoretische	31.1
32	Uitvoer in de experimentele en theoretische	32.1
33	Uitvoer in de experimentele en theoretische	33.1
34	Uitvoer in de experimentele en theoretische	34.1
35	Uitvoer in de experimentele en theoretische	35.1
36	Uitvoer in de experimentele en theoretische	36.1
37	Uitvoer in de experimentele en theoretische	37.1
38	Uitvoer in de experimentele en theoretische	38.1
39	Uitvoer in de experimentele en theoretische	39.1
40	Uitvoer in de experimentele en theoretische	40.1
41	Uitvoer in de experimentele en theoretische	41.1
42	Uitvoer in de experimentele en theoretische	42.1
43	Uitvoer in de experimentele en theoretische	43.1
44	Uitvoer in de experimentele en theoretische	44.1
45	Uitvoer in de experimentele en theoretische	45.1
46	Uitvoer in de experimentele en theoretische	46.1
47	Uitvoer in de experimentele en theoretische	47.1
48	Uitvoer in de experimentele en theoretische	48.1
49	Uitvoer in de experimentele en theoretische	49.1
50	Uitvoer in de experimentele en theoretische	50.1

INHOUDSOPGAVE	<u>PAGINA</u>
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	8
2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGS- METHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)	12
2.1 Algemeen	12
2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek	13
2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek	15
2.4 Globale kostencalculatie	18
2.5 Conclusies	20
3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (EENTRAPSVERGISTING)	22
3.1 Algemeen	22
3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek	24
3.2.1 Verkleining van de organische huisvuilfracties	24
3.2.2 Anaerobe vergistingsexperimenten	25
3.2.3 Ontwatering van de vergiste organische huisvuilfracties	27
3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie	28
3.4 Conclusies	31
4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE VERGISTING VAN NIET-VOORBEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	33
4.1 Algemeen	33
4.2 Uitvoering van het onderzoek	33
4.3 Resultaten en discussie	34
4.4 Kostencalculatie	35
4.5 Conclusies	38
5. VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	40
5.1 Algemeen	40
5.2 Procesvoering	40
5.3 Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder	41
5.4 Samenstelling en afzetbaarheid van het eindproduct	41

5.5	Energie-aspecten	42
5.6	Kostenaspect	43
5.7	Conclusies	43
6.	SLOTBESCHOUWING	46

SAMENVATTING

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (CEG), Ministerie van Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) is een rapport opgesteld over de mogelijkheden van biologische landbouw voor de productie van voedingsmiddelen. Het rapport is opgesteld door de Landbouwgroep van de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) en de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV).

Het rapport behandelt de mogelijkheden van biologische landbouw voor de productie van voedingsmiddelen. Het rapport is opgesteld door de Landbouwgroep van de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) en de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV). Het rapport behandelt de mogelijkheden van biologische landbouw voor de productie van voedingsmiddelen. Het rapport is opgesteld door de Landbouwgroep van de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) en de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV).

In het rapport wordt de betekenis van biologische landbouw voor de productie van voedingsmiddelen behandeld. Het rapport is opgesteld door de Landbouwgroep van de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) en de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV). Het rapport behandelt de mogelijkheden van biologische landbouw voor de productie van voedingsmiddelen. Het rapport is opgesteld door de Landbouwgroep van de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV) en de Landbouw, Visserij en Natuurlijke Hulpbronnen (LNV).

SAMENVATTING

In opdracht en met financiële bijdrage van de Stichting Projectbeheerbureau Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel is door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties die kunnen worden verkregen uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties of via gescheiden inzameling van huisvuil.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was om door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek en een aanvullende technisch-economische evaluatie na te gaan wat het effect is op de biogasproductie van een mechanische, chemische of thermische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, en in hoeverre het mogelijk is op basis van een dergelijk procédé, een in technisch-economisch opzicht haalbaar proces te ontwikkelen. Na uitvoering van de eerste twee fasen van dit onderzoek was de belangrijkste conclusie dat een proces, bestaande uit een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De belangrijkste reden is de betrekkelijk geringe extra biogas-productie in relatie tot de relatief hoge kosten die de ontsluiting en tweede vergistingsstap met zich meebrengt.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek daarom gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op de anaerobe vergisting op laboratoriumschaal van vooraf mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces en van de gescheiden inzameling van huisvuil) en de anaerobe vergisting op semi-technische schaal van één van bovengenoemde fracties. Verder werd een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces gemaakt, waarbij tevens een vergelijking werd gemaakt met composteren.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten). Het onderhavige rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies van het onderzoek, waarbij primair een indeling is gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Voor detailinformatie wordt verwezen naar deze tussenrapporten.

Als belangrijkste conclusies uit het onderzoek kunnen worden genoemd:

- De totale hoeveelheid biogas die middels een ééntraps anaeroob vergistingsproces uit de verschillende typen organische huisvuilfracties kan worden verkregen bedraagt ca. 390 tot 440 m³ per ton organische stof die aan de anaerobe reactor wordt toegevoerd.
- Het percentage methaan in het biogas bedraagt ca. 60%.
- Bij de anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfracties wordt zeer globaal 50% van de totale hoeveelheid organische stof die aan de reactor wordt toegevoerd, omgezet.
- Uit een eerste evaluatie volgt dat anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsstelsel in technisch/economisch opzicht aantrekkelijker is dan vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie.
- Voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie is een totale vaste stofconcentratie in de anaerobe reactor van maximaal ca. 18% mogelijk, vooropgesteld dat de reactor in voldoende mate wordt gemengd.
- Opmerkelijk is dat voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie, de toepassing van een mechanische deeltjesverkleiningsstap, voorafgaande aan de anaerobe vergisting, in een vermindering van de biogasproductie resulteert met 15 à 20%, terwijl voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties een mechanische verkleining resulteert in een geringe toename van de biogasproductie.
- Toepassing van mechanische, chemische of thermische ontsluitingsstappen op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, resulteert in een toename van de totale biogasproductie met maximaal ca. 18%. De extra kosten van deze behandelingsstap en de tweede vergisting zijn echter veel hoger dan de baten die kunnen worden verwacht van het extra biogas dat wordt geproduceerd.
- Uit een globale calculatie volgt dat voor de fijne organische huisvuilfractie de kosten van een proces, bestaande uit de hoofdprocesstappen

opslurriën, anaeroob vergisten en ontwateren, geschat kunnen worden op ca. f 49 per ton te verwerken fijne organische huisvuilfractie. De baten uit het biogas zijn in deze kosten niet verdisconteerd. Dit geldt ook voor de kosten/baten, verbonden met de afzet van het produkt.

- In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opgeleverd die nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingssystemen voor dergelijke fracties.
- Uit een algemene globale vergelijking van composteren en anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie blijkt dat de belangrijkste verschillen tussen beide processen betrekking op biogasproduktie, vochtgehalte en afzetbaarheid eindprodukt en hygiënische betrouwbaarheid. Het watergehalte van het produkt dat bij anaerobe vergisting wordt verkregen is hoger, terwijl de hygiënische betrouwbaarheid en de afdoding van eventueel aanwezige onkruidzaden waarschijnlijk geringer is.

Zowel compost als anaeroob vergiste fijne organische huisvuilfractie voldoen wat de zware metalen concentraties betreft niet aan de daarvoor geldende richtlijnen na 1992. Compost is waarschijnlijk hygiënisch betrouwbaarder dan vergiste huisvuilfractie.

Indien het eindprodukt als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet in de landbouw, zijn de netto-verwerkingskosten van dezelfde grootte-orde. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het bij de anaerobe vergisting verkregen biogas tegen een redelijke prijs nuttig kan worden afgezet.

Indien het eindprodukt niet als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet maar moet worden gestort, heeft, met name bij een lage opbrengst van het biogas, compostering in het algemeen de voorkeur boven anaeroob vergisten vanwege het feit dat bij compostering een aanzienlijk gewichtsverlies optreedt.

Bij een eventueel onderzoek naar de vergisting van fijne huisvuilfractie op demo-plantschaal zal speciale aandacht moeten worden besteed aan het mengen in de reactor en de verblijftijd in de reactor.

Bij een onderzoek naar de toepassing van vergisting bij huisvuilverwerking is een marktstudie naar de afzetmogelijkheden van eventuele produkten (zoals bijvoorbeeld de ontwaterde slibkoek) noodzakelijk.

Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre het hier onderzochte anaeroob vergistingssysteem voor fijne huisvuilfractie kan worden toegepast voor vergisting van gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval (GFT).

1. INLEIDING

Verwerkingssystemen voor huisvuil welke gericht zijn op een scheiding van de diverse componenten die in het huisvuil aanwezig zijn, zullen in de nabije toekomst naar verwachting steeds meer worden toegepast. De belangrijkste reden is het terugwinnen voor hergebruik van waardevolle componenten zoals papier, glas, metalen of kunststoffen. Ook vermindering van de te storten hoeveelheid kan een reden zijn. Daarnaast is de winning van biogas een proces dat steeds meer in de belangstelling komt te staan. Winning van biogas kan plaatsvinden, hetzij uit (niet behandeld) huisvuil hetzij uit een apart afgescheiden organische fractie.

Er zijn verschillende mogelijkheden om een dergelijke organische fractie uit huisvuil af te scheiden. Een van deze mogelijkheden is de mechanische huisvuilscheiding. Bij deze mechanische huisvuilscheiding wordt, naast de eerder genoemde componenten, ook een zogenaamde fijne organische huisvuilfractie afgescheiden. Deze bedraagt ca. 35% van de oorspronkelijke hoeveelheid huisvuil.

Een andere mogelijkheid om organische componenten, welke kunnen worden gebruikt voor de winning van biogas, uit huisvuil af te scheiden, is de toepassing van een gescheiden inzameling. Het huisvuil wordt daarbij aan de bron in twee of meer fracties gescheiden ingezameld. Deze gescheiden inzameling kan zodanig plaatsvinden dat één van de fracties in belangrijke mate de organische, micro-biologisch goed afbreekbare, componenten bevat. De fracties die bij een dergelijk systeem van gescheiden inzameling worden verkregen kunnen via bijvoorbeeld mechanische scheidingssystemen, eventueel verder worden verwerkt.

In principe is er een groot aantal verschillende mogelijkheden om huisvuil te verwerken. Om deze verschillende mogelijkheden op technische en economische haalbaarheid te kunnen beoordelen, is kennis nodig met betrekking tot het terugwinnen, het hergebruiken of anderszins nuttig aanwenden van de diverse fracties, die bij de verwerking vrijkomen. Dit geldt zowel voor de fijne organische fractie, die wordt verkregen bij de mechanische huisvuilscheiding, als voor de organische fractie die wordt verkregen bij een gescheiden inzameling van het huisvuil bij de bron.

Ten aanzien van de verwerking van de fijne organische huisvuilfractie is er een aantal mogelijkheden zoals composteren, verbranden of anaeroob vergisten. De fijne organische fractie is in principe ook toe te passen bij de fabricage van bakstenen. Ook storten van de fijne organische fractie is mogelijk. Analoge verwerkingsmogelijkheden gelden voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.

Door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO, afdeling Milieutechnologie, is met financiële steun van de Stichting Projectbeheer Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel, onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was:

- Door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek na te gaan, wat het effect is op de biogasproductie van een mechanische, chemische of thermische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces.
- Vast te stellen in hoeverre het mogelijk is voor de fijne organische huisvuilfractie een in technisch/economisch opzicht haalbaar verwerkingsproces te ontwikkelen dat gebaseerd is op de toepassing van de beste ontsluiting in combinatie met een tweetraps anaerobe vergisting.

Het onderzoek was oorspronkelijk opgesplitst in een viertal fasen. Na uitvoering van de eerste fase (laboratoriumonderzoek naar het effect van de ontsluitingsmethoden op de biogasproductie) en de tweede fase (oriënterende technisch/economische evaluatie van de resultaten van het laboratoriumonderzoek) was de belangrijkste conclusie dat een proces bestaande uit de toepassing van een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De reden hiervan is de betrekkelijk geringe extra biogasproductie in relatie tot de betrekkelijk hoge kosten, die de ontsluiting en de tweede vergistingsstap met zich meebrengen.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op:

- Anaerobe vergisting, op laboratoriumschaal, van mechanische verkleinde fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem.
- Anaerobe vergisting (op laboratoriumschaal) van twee typen huisvuilfracties.
- Anaerobe vergisting, op semi-technische schaal, van één van de drie eerder genoemde typen organische huisvuilfracties.
- Uitvoering van een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces en vergelijking met een composteringsproces.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten).

Het eerste tussenrapport heeft primair betrekking op het effect van mechanische, chemische en thermische ontsluitingsmethoden op de extra biogasproductie die kan worden verkregen in een tweede aanvullende vergistingsstap. In het kader van het totale onderzoekproject is aan dit onderwerp de meeste aandacht besteed.

Het tweede tussenrapport heeft betrekking op de vergisting van mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties waarbij naast fijne organische fractie, (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem, ook twee typen gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties zijn onderzocht.

Het derde tussenrapport heeft betrekking op het semi-technisch vergistingsonderzoek aan fijne organische huisvuilfractie en bevat verder een globale kostencalculatie van het vergistingsproces. Tevens is in dit rapport een globale vergelijking gemaakt tussen enerzijds het anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie en anderzijds het composteren van fijne organische huisvuilfractie.

Het onderhavige rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies uit het onderzoek waarbij primair een indeling is gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Gestreefd is daarbij naar een behandeling per deelonderwerp waarbij de belangrijkste conclusies per deelonderwerp zoveel mogelijk kwantitatief zijn samengevat.

Het onderhavige rapport wordt afgesloten met enkele algemene, hoofdzakelijk kwalitatieve conclusies die betrekking hebben op het gehele onderzoek.

Voor detailinformatie betreffende opzet en uitvoering van het onderzoek, de resultaten en de interpretatie van de resultaten alsmede de kostencalculaties wordt verwezen naar de drie tussenrapporten.

2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGSMETHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)

2.1 Algemeen

Het onderzoek is uitgevoerd met een fijne organische huisvuilfractie welke verkregen is met behulp van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem bestaande uit een magneetscheiding, verkleining, luchtscheiding en zeping met een zeefopening van 10 mm. De doorval van deze zeef is de gebruikte fijne organische fractie.

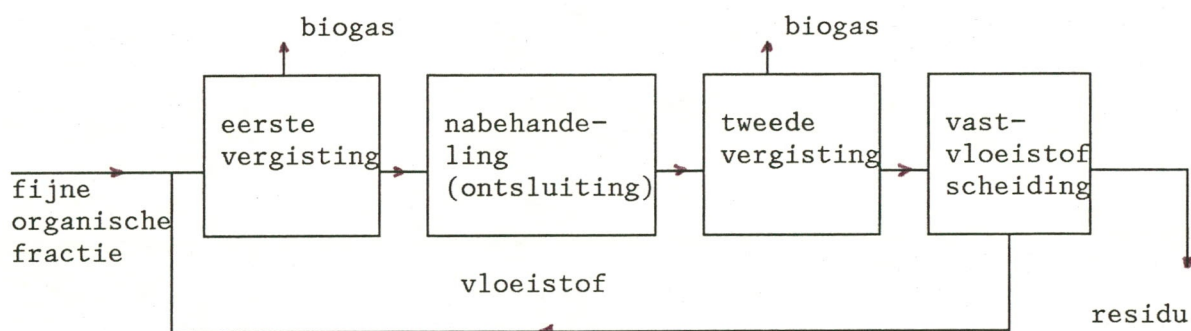
De fijne organische fractie is hoofdzakelijk afkomstig van voedselresten en bestaat voor een deel uit suikers, zetmeel en laagmoleculaire stoffen die anaeroob goed vergistbaar zijn. Ook anaeroob moeilijk vergistbare verbindingen zoals cellulose, hemi-cellulose en lignine zijn in deze fractie aanwezig.

In eerste instantie is een fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilinstallatie op praktijkschaal (Wenen) gebruikt. later is overgegaan op fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem. In tabel 2.1 is de samenstelling van deze fracties weergegeven.

Tabel 2.1 Samenstelling fijne organische huisvuilfracties

	Wenen	Haarlem
Gemiddelde deeltjesgroot (mm)	0,6	1,4
Percentage droge stof (%)	66,5	55,6
Percentage organische droge stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof (%)	46,6	59,9
Kg (droge) organische stof per ton fijne fractie	310	333

Het basis processchema dat aan dit deel van het onderzoek ten grondslag ligt is weergegeven in onderstaande figuur.



In het onderzoek is nagegaan wat het effect is van een aantal relevante procesvariabelen op de biogasproductie uit niet voorbehandelde fijne organische huisvuilfractie en hoeveel extra biogas kan worden verkregen indien de vergiste fractie mechanisch, chemisch of thermisch wordt nabehandeld en daarna opnieuw in een tweede processtap wordt vergist. Op grond van de experimentele onderzoekresultaten is een globale kostencalculatie gemaakt van dit tweetrapsvergistingssysteem.

2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek

Eerste vergistingsstap

De anaerobe vergistingsproeven met de niet behandelde fijne organische huisvuilfractie zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergistingsreactoren bedroeg ca. 30 °C. Ter verkrijging van een stabiele vergisting met een zo klein mogelijke kans op verzuring, is gewerkt met een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 40 dagen. Er zijn ook een aantal experimenten uitgevoerd waarbij de verblijftijd 20 dagen bedroeg of waarbij de voedingsconcentratie 12% bedroeg. De vergistingsreactoren zijn intermitterend geróerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen.

Om het vergistingsproces te volgen zijn een aantal procesparameters gemeten zoals biogasproductie, gassamenstelling, pH, omzettingsgraad van het organisch materiaal en vetzuurgehalte in de reactor.

Nabehandeling van de vergiste fijne organische fractie

Na de eerste vergistingsstap is de fijne organische huisvuilfractie onderworpen aan een aantal behandelingsprocessen die tot doel hadden nog niet

anaeroob vergiste organische stof te ontsluiten teneinde in een tweede vergistingsstap extra biogas te produceren.

Mede op basis van literatuurgegevens over ontsluitingsmethoden voor organische stoffen zijn de in tabel 2.2 vermelde behandelingsmethoden en bijbehorende procescondities gekozen.

Tabel 2.2 Toegepaste behandelingsmethoden en procescondities

Mechanische methoden	: Kogelmolen Snelmenger-homogenisator Korundschijvenmolen
Chemische methoden	: Natronloog (pH 12) Zwavelzuur (pH 2)
Thermische methoden	: Temperatuur: 75 °C, 100 °C, 143 °C
Mechanisch/chemische methoden	: Kogelmolen/natronloog Snelmenger-homogenisator/natronloog
Mechanisch/thermische methoden	: Kogelmolen/100 °C en 143 °C Snelmenger-homogenisator/100 °C en 143 °C
Chemisch/thermische methoden	: Natronloog/75 °C, 100 °C, 143 °C Zwavelzuur/75 °C, 100 °C, 143 °C

De toegepaste behandelingstijden varieerden van enkele minuten tot enkele uren.

De gecombineerde behandelingsmethoden zijn gekozen aan de hand van de resultaten van de afzonderlijke methoden. Bij de keuze is rekening gehouden met het feit dat de methoden ook op grote schaal in principe moeten kunnen worden toegepast.

Tweede vergistingsstap

De vergistingsproeven met de mechanisch, chemisch of thermisch behandelde fijne organische fractie zijn batchgewijze uitgevoerd in reactoren met een inhoud van één liter bij een temperatuur van 30 °C.

Om het netto effect van de nabehandeling op de biogasproductie te kunnen bepalen zijn ook zogenaamde "blanco" vergistingsexperimenten met niet-nabehandelde vergiste fijne organische fractie uitgevoerd.

Ontwatering

Voor de ontwatering van het restslib na vergisting zijn op laboratorium-schaal een drietal mogelijkheden onderzocht: bezinking, filtratie en centrifugeren.

2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek

Anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (Eerste vergistingsstap)

Anaerobe vergisting van de fijne organische fractie uit Wenen levert bij de eerste vergistingsstap een specifieke biogasproduktie van 0,40 tot 0,44 liter per gram organische stof gevoed. Het methaangehalte van het biogas is 60-62%. Per ton fijne huisvuilfractie met 66% droge stof komt dit overeen met een biogasproduktie van ca. 130 m³.

Anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem levert een specifieke biogasproduktie van 0,47 liter per gram organische stof gevoed (55-62% methaan). Dit betekent een biogasproduktie van ca. 157 m³ per ton natte fijne organische huisvuilfractie (56% droge stof) afkomstig van mechanische huisvuilscheiding.

Bij de anaerobe vergisting treedt een reductie van het organische stofgehalte op van circa 55%. Hierbij is de verblijftijd in de vergister 40 dagen en de concentratie van de voeding 6% droge stof.

Bij zowel een halvering van de verblijftijd van 40 naar 20 dagen als een verdubbeling van de voedingsconcentratie van 6% naar 12% droge stof (bij een verblijftijd van 40 dagen) blijft de specifieke biogasproduktie vrijwel gelijk.

Anaerobe vergisting van de nabehandelde vergiste fijne organische fractie (Tweede vergistingsstap)

De resultaten van de vergisting van de nabehandelde fijne organische fracties zijn weergegeven in tabel 2.3.

Het netto effect van de behandelingsmethoden is de extra biogasproduktie verminderd met de extra biogasproduktie (verkregen in de tweede vergistingsstap) van de niet nabehandelde fijne fractie.

Tabel 2.3 Extra biogasproduktie en effect van behandelingsmethoden
(Fijne organische fracties van Wenen en Haarlem)

Behandelingsmethode	Extra biogasproduktie (%)	Netto effect (%)
Onbehandeld	7,7 - 8,7	-
Mechanisch	5,4 - 11,8	neg. - 4,1
Chemisch	3,2 - 4,7	neg.
Thermisch	4,2 - 10,6	neg. - 2,1
Chemisch-thermisch	3,0 - 12,8	neg. - 4,3
Mechanisch-chemisch	3,5 - 10,3	neg. - 2,3
Mechanisch-thermisch	10,4 - 18,0	2,7 - 10,3

In bovenstaande tabel zijn de resultaten van alle experimenten samengevat. De extra biogasproduktie varieert per behandelingsmethode tussen een minimum en maximum waarde. De variatie per behandelingsmethode wordt mede veroorzaakt door het feit dat de behandelingscondities (bijvoorbeeld de behandelingsduur of het temperatuurniveau) binnen elke methode varieerden.

Uit tabel 2.3 blijkt dat het netto effect van de mechanische behandeling maximaal 4% bedraagt. Bij een aantal experimenten is zelfs een negatief effect gevonden.

Een chemische behandeling (met zuur of loog) heeft altijd een netto negatief effect op de biogasproduktie. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn het ontstaan van chemische verbindingen, die remmend werken op de vergisting.

Het netto effect van een thermische behandeling kan zowel positief als negatief zijn. Ditzelfde geldt ook voor een chemisch-thermische en een mechanisch-chemische behandeling. Overigens zijn ook hier de netto effecten betrekkelijk gering.

De behandeling, waarbij het grootste positieve effect optreedt, is de mechanisch-thermische behandeling. Het netto effect van deze behandeling is altijd positief en bedraagt maximaal ca. 10%.

Ontwatering van de vergiste fijne organische huisvuilfractie

Na de anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (drogestofgehalte voeding ca. 6%) bedraagt het droge-stofgehalte (gesuspendeerde stof) van het restslib ca. 4%. Dit restslib bezinkt slechts zeer langzaam. Pas na ca 20 uur is het droge-stofgehalte verdubbeld tot ca. 8% droge stof.

Nagassing van het restslib levert problemen op bij bezinking doordat het slib gaat floteren.

Na conditionering met poly-elektrolieten is het restslib goed te ontwateren. Op grond van de resultaten van laboratoriumonderzoek worden daarbij eind droge-stofgehaltes met een zeefbandpers of een centrifuge van respectievelijk 30 à 35% en 20 à 25% haalbaar geacht.

Gebruik van poly-elektrolieten is in ieder geval nodig om een hoog scheidingsrendement te halen.

Samenstelling restslib

Uit de bepaling van het gehalte aan zware metalen in het restslib na de anaerobe vergisting blijkt dat dit slib in het algemeen een lager gehalte aan zware metalen bevat dan zuiveringsslib. Dit blijkt uit de gegevens welke in tabel 2.4 zijn vermeld. Wel moet bij deze tabel worden opgemerkt dat de cijfers over de fijne organische fractie afkomstig zijn van één monster uit Haarlem en daarom als richtwaarden moeten worden gezien. Er wordt, wat het gehalte van zware metalen betreft, voldaan aan de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor afzet van zuiveringsslib ten behoeve van de landbouw.

Tabel 2.4 Zware metalen gehalte van fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem en van zuiveringsslib en compost uit huisvuil (in mg/kg droge stof, Nederlandse situatie)

Element	Vergiste fijne organische huisvuilfractie	Zuiverings- slib (1980)*	Compost uit huisvuil	Richtlijn Unie van Waterschap- pen (1985)
Cu	160	471	600	600
Pb	300	321	850	500
Cr	53	176	200	500
Ni	62	47	100	100
Cd	< 3	7	5	5
Zn	770	1359	1500	2000
Hg	< 3	5		5

* gemiddeld

2.4 Globale kostencalculatie

Op basis van de experimentele onderzoekresultaten (onderzoek op laboratoriumschaal) is een globale kostenschatting gemaakt van een verwerkingsproces voor de fijne organische fractie dat bestaat uit een zestal achter-eenvolgende processtappen (hoofdprocesstappen), namelijk:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie.
- Afscheding van een belangrijk deel van de anorganische vast stof (zand en glas).
- Eerste vergisting.
- Tussenindikking en behandeling na eerste vergisting.
- Tweede vergisting.
- Ontwatering van de slurry na de tweede vergisting.

Bij de kostenschatting is uitgegaan van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie met een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huisvuil per jaar welke 35.000 ton fijne organische fractie produceert. Verder is aangenomen dat de droge-stofconcentratie van de voeding naar de anaerobe reactoren 6% bedraagt en de verblijftijd in elk van de beide anaerobe reactoren 20 dagen bedraagt.

De globale verwerkingskosten (in Hfl) per ton fijne organische fractie bedragen dan voor de diverse afzonderlijke processtappen:

- Opslurriën, afscheiding van vaste stof en eerste vergisting	72
- Behandeling na de eerste vergisting:	
* Mechanisch	4
* Chemisch	15-26
* Thermisch	21-29
* Chemisch-thermisch	36-55
* Mechanisch-chemisch	19-30
* Mechanisch-thermisch	25-33
- Tussenindikking	4
- Tweede vergisting	28
- Ontwatering van de slurry na de tweede vergistingsstap	13

De totale biogasproductie van de eerste vergistingsstap bedraagt 157 m³ per ton fijne organische fractie (Haarlem). De totale kosten van een proces bestaande uit opslurriën, vergisten (ééntraps) en ontwateren bedragen,

op basis van de resultaten van het laboratoriumonderzoek, zeer globaal geschat, 89 Hfl per ton fijne organische fractie.

Dit betekent een totale kostprijs per m³ geproduceerd biogas van ca. 0,57 Hfl. Hierbij is geen rekening gehouden met kosten of eventuele baten van het ontwaterde restslib.

Voor de tweede vergisting wordt aangenomen dat de extra biogasproductie als gevolg van de nabehandeling en de tweede vergistingsstap, steeds gelijk is aan de maximale waarde zoals die vermeld is in tabel 2.3 (meest gunstige waarden). Deze maximale extra biogasproductie is afhankelijk van het type nabehandeling. In tabel 2.5 zijn deze maximale waarden weergegeven en is tevens vermeld wat de totale kosten zijn die toegerekend moeten worden aan deze extra biogasproductie.

Tabel 2.5 Kosten van nabehandeling en tweede vergisting (Hfl)

Behandelingsmethode	Maximale extra biogasproductie		Kosten per m ³ extra biogas
	%	per ton fijne organische huisvuilfractie	
Onbehandeld	8,7	12,8	1,50
Mechanisch	11,8	18,4	1,25
Chemisch	4,7	7,2	4,75 - 6,25
Thermisch	10,6	16,8	2,50 - 3,00
Chemisch-thermisch	12,8	20,0	2,75 - 3,75
Mechanisch-chemisch	10,3	16,0	2,50 - 3,00
Mechanisch-thermisch	18,0	28,4	1,50 - 1,75

Er is bij de kostencalculatie zoals vermeld in tabel 2.5 geen rekening gehouden met de eventuele kosten van ontwatering en kosten of eventuele baten van de afzet van het ontwaterde restslib. Alleen de kosten welke kunnen worden toegekend aan de nabehandeling en de tweede vergisting zijn in beschouwing genomen.

Uit tabel 2.5 blijkt dat voor alle onderzochte procesroutes de kosten van nabehandeling, gevolgd door een tweede vergisting niet opwegen tegen de baten. Deze laatste worden geschat op 0,25 tot 0,35 Hfl per m³ geproduceerd biogas.

De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn. Uit dat oogpunt bezien zou mechanische behandeling vooraf zinvol kunnen zijn, ervan uitgaande dat minimaal hetzelfde effect als bij de nabehandeling optreedt tegen dezelfde kosten.

Benadrukt moet nog worden dat het totale verwerkingsproces en de bijbehorende aannamen die ten grondslag liggen aan voornoemde kostencalculatie zeker niet optimaal zijn, zowel in technisch als economisch opzicht. Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk (zie hiervoor hoofdstuk 4). Bovendien is deze eerste kostenschatting voornamelijk gebaseerd op de resultaten van het laboratoriumonderzoek. Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas een factor 2 à 3 lager zou worden dan die welke is vermeld in tabel 2.5, dan nog blijft de kostprijs per m³ biogas hoger dan de te verwachten baten.

2.5 Conclusies

Eentrapsvergistingsroute

- . Fijne organische huisvuilfractie is in een eerste vergistingsstap goed anaeroob vergistbaar en levert 130 tot 160 m³ biogas per ton behandelde (natte) fijne organische fractie.
- . Bovengenoemde gasproductie is haalbaar bij een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 20 dagen in de anaerobe reactor.
- . Een goede ontwatering van het restslib tot 20% à 30% droge stof is mogelijk door middel van respectievelijk centrifugeren of filtreren.
- . Het gehalte aan zware metalen in dit restslib is in het algemeen lager dan dat in zuiveringsslib en voldoet aan de Richtlijn van de Unie van Waterschappen.
- . De totale kosten van het éentrapsvergistingsproces bij een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huisvuil per jaar bedragen (inclusief de ontwatering van het restslib), zeer globaal geschat, ca. 89 Hfl per ton fijne organische fractie, overeenkomend met 0,57 Hfl per m³ geproduceerd biogas.
- . Een verdere optimalisatie van het éentrapsverwerkingsproces, gericht op een verlaging van de kosten, wordt mogelijk geacht.

Tweetrapsvergistingsroute

- . Mechanische, chemische, thermische of gecombineerde behandeling van vergiste fijne organische fractie, gevolgd door een tweede vergisting, is weinig zinvol vanwege de geringe hoeveelheid extra biogas die bij vergisting ontstaat en de hoge kosten van dergelijke behandelingsroutes.
- . De maximale hoeveelheid extra biogas varieert van minimaal 3,2% bij de chemische behandelingsroute tot maximaal 18% bij de mechanisch-thermische route.
- . De kosten per m³ extra biogas zijn sterk afhankelijk van de toegepaste nabehandelingsmethode en bedragen, zeer globaal geschat, f 1,25 tot f 6,25.
- . De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn.
- . Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk. Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas daardoor zou kunnen dalen met een factor 2 à 3, wordt de tweetrapsvergistingsroute niet haalbaar geacht.

3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES (EENTRAPSVERGISTING)

3.1 Algemeen

Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd met drie typen organische huisvuilfracties:

- Fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem (hetzelfde type materiaal dat ook is gebruikt in het onderzoek dat beschreven is in hoofdstuk 2).
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie, afkomstig uit Amersfoort.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie, afkomstig uit Woerden.

Het huisvuil uit Amersfoort en Woerden is in het zogenaamde "Duobak" project in twee fracties gescheiden aan de bron ingezameld. In Amersfoort is plastic, glas en blik gescheiden van de natte organische fractie ingezameld, terwijl in Woerden papier, glas en blik gescheiden is ingezameld. Het huisvuil is ingezameld eind augustus 1983. Omdat de gescheiden ingezamelde fracties niet direct met een hamermolen mechanisch verkleind konden worden zijn de fracties vóórverkleind met achtereenvolgens een messenwalsmolen zonder zeef en met een 20 mm zeef. Daarna zijn de fracties gemalen met een hamermolen met een 18 mm zeef en een hamermolen met 6 mm zeef. Vooraf is plastic, katoen, glas, steen en blik met de hand uitgesorteerd, omdat de aanwezigheid van deze componenten bij onderzoek op laboratoriumschaal problemen oplevevert en toch geen wezenlijke bijdrage aan de biogasopbrengst geeft.

De samenstelling van de organische fractie uit Amersfoort en Woerden in gewichtsprocenten is als volgt (één meting):

	Amersfoort	Woerden
Groente/fruit/tuin + zand (= doorval zeef)	58,2	64,0
Papier/karton	19,9	9,5
Textiel	1,9	1,7
Glas	0,2	1,3
Ferro	1,1	1,7
Steen	8,3	3,1
Plastic/kunststoffen	2,8	11,0
Non-ferro	0,2	0,9
Brood	0,5	0,7
Tapijten/matten	0,8	0,8
Dierlijk afval (beenderen)	0,3	0,7
Leer/rubber	1,3	1,3
Hout	3,8	2,4
Bijzonder afval	0,2	0,6

Bovenstaande samenstelling heeft betrekking op huisvuilfracties waaraan nog geen handsortering (voor verwijdering van plastic, katoen, glas, steen en blik) heeft plaatsgevonden.

Het onderzoek aan de mechanisch afgescheiden fijne organische huisvuilfractie sluit direct aan bij het in hoofdstuk 2 vermeld onderzoek. In het onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie is nagegaan wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie bij (één-traps) anaerobe vergisting. Daarnaast is oriënterend nagegaan is hoeverre de organische belasting van de anaerobe reactor kan worden opgevoerd.

In het onderzoek aan de twee overige typen organische huisvuilfracties is nagegaan hoeveel biogas uit deze fracties kan worden geproduceerd en wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie.

Ook is de ontwatering van de anaerobe slibben onderzocht. De slibben zijn ontwaterd door middel van bezinking, filtratie en centrifugeren. Tevens is het rest-organische stofgehalte en het gehalte aan zware metalen bepaald in verband met de mogelijke composteerbaarheid van het restslib of het gebruik daarvan als bodemverbeterend middel.

De resultaten van het onderzoek zijn geëvalueerd aan de hand van een globale kostenberekening van de anaerobe vergisting. De evaluatie had tevens tot doel om te bepalen of voortzetting van het onderzoek op semi-technische schaal zinvol is en zo ja met welke organische huisvuilfractie dit bij voorkeur zou moeten worden uitgevoerd.

3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek

3.2.1 Verkleining van de organische huisvuilfracties

De fijne organische huisvuilfractie afkomstig uit Haarlem is verkleind met een kruisslagmolen met een zeef van 1 mm. Het bleek dat bij dit maalproces mede als gevolg van warmte-ontwikkeling een betrekkelijk grote hoeveelheid water verdampte waardoor het droge-stofgehalte van deze fractie toenam van ca. 56% naar ca. 74%. De gemiddelde deeltjesgrootte nam af van ca. 1,4 mm tot ca. 0,26 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Amersfoort is (na handsortering) eerst vóórverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van óf 18 mm óf 6 mm. Op deze wijze werden twee typen gemalen huisvuilfracties verkregen. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte. Als gevolg van het verkleiningsproces nam de gemiddelde diameter van de deeltjes af. Bij gebruik van een 18 mm zeef in de hamermolen bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte van de gemalen fractie ca. 1,8 mm. Bij gebruik van een 6 mm zeef bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte ca. 1 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden is eveneens (na handsortering) voorverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van 18 mm of 6 mm. Hierbij zijn ook weer twee typen fracties geproduceerd met een gemiddelde deeltjesdiameter van respectievelijk ca. 4 mm en ca. 1,6 mm. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte.

Het droge-stofgehalte van de gemalen huisvuilfracties bedroeg voor de fractie uit Haarlem, Amersfoort en Woerden respectievelijk ca. 74%, ca. 53% en ca. 50%. Het percentage organische stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof bedroeg voor bovengenoemde fracties (globaal) respectievelijk ca. 60%, ca. 76% en ca. 60%.

Het droge-stofgehalte van de niet gemalen Haarlemse huisvuilfractie bedroeg ca. 56%.

3.2.2 Anaerobe vergistingsexperimenten

De anaerobe vergistingsproeven zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergisting bedroeg ca. 30 °C. De vergistingsreactoren werden intermitterend geroerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen. De voedingsconcentratie (percentage droge stof van de voeding) bedroeg bij de vergisting van de huisvuilfractie afkomstig uit Amersfoort en Woerden steeds ca. 6%. De voedingsconcentratie bij de vergisting van de Haarlemse huisvuilfractie is geleidelijk opgevoerd van 6% naar 18%. De verblijftijd in de reactor bedroeg bij alle experimenten 20 dagen.

Bij de vergisting werden de gasproductie, de gassamenstelling en de pH in de reactor gemeten. Tevens werd van het vergiste huisvuil het droge-stofgehalte en de asrest bepaald om de omzetting van organische stof te kunnen vaststellen.

Voor de gemalen Haarlemse huisvuilfractie zijn enkele gegevens van de experimenten weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gegevens van de experimenten met Haarlemse huisvuilfractie

Percentage droge stof in de voeding (%)	6	12	18
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	3,6	7,2	10,7
Biogasproductie per ton organische stof gevoed (m ³)	390	410	410
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	58	55	57
Reductie in organische stof (%)	49	51	44

Uit deze tabel blijkt dat het effect van de voedingsconcentratie op de biogasproductie, op de samenstelling van het biogas en op de reductie in organische stof gering is.

De gemiddelde biogasproductie bedraagt ca. 410 m³ per ton organische stof gevoed. Deze hoeveelheid komt overeen met ca. 124 m³ biogas per ton nat uitgangsprodukt.

Bij vergisting van niet gemalen organische huisvuilfractie wordt ca. 153 m³ biogas per ton natte organische fractie verkregen. Dit is (globaal) ook reeds gevonden bij het onderzoek aan de fijne organische fractie, beschreven in hoofdstuk 2.

Uit het bovenstaande blijkt dus dat verkleinen van de fijne organische fractie uit Haarlem van een gemiddelde diameter van 1,4 mm naar 0,26 mm een

verlaging van de biogasproduktie met ca. 20% tot gevolg heeft. De biogasproduktie per ton huisvuil is 45 m³ voor de verkleinde fractie tegenover 54 m³ biogas/ton huisvuil voor de niet verkleinde fractie. De oorzaak van de lagere biogasproduktie bij verkleinen kon niet worden achterhaald. Een mogelijkheid is verdamping van organische componenten.

Van de experimenten met gemalen huisvuilfractie uit Amersfoort en Woerden zijn in tabel 3.2 de belangrijkste gegevens samengevat.

Tabel 3.2 Samenvatting van de resultaten van de vergisting van Amersfoortse en Woerdense huisvuilfractie (percentage droge stof in de voeding ca. 6%)

	Amersfoort		Woerden	
	zeef 18 mm	zeef 6 mm	zeef 18 mm	zeef 6 mm
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	5,2	4,7	3,4	3,7
Biogasproduktie per ton organische stof gevoed (m ³)	420	430	440	440
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	57	58	62	59
Reductie in organische stof (%)	50	40	48	50

Uit tabel 3.2 blijkt dat de biogasproduktie per ton organische stof gevoed voor zowel de Amersfoortse als de Woerdense huisvuilfractie ca. 430 m³ bedraagt. Het effect van het type zeef (maaswijdte 18 of 6 mm) dat bij het maalproces met de hamermolen is toegepast, is gering. De reductie in organische stof bedraagt gemiddeld ca. 47%.

Per ton gescheiden ingezamelde (nog niet bewerkte) natte organische fractie uit Amersfoort wordt bij anaerobe vergisting gemiddeld ca. 116 m³ biogas gevormd. Teruggerekend naar 1 ton huisvuil (nat), ervan uitgaande dat de natte organische fractie uit Amersfoort 80% hiervan bedraagt, wordt gemiddeld ca. 92 m³ biogas gevormd. Deze hoeveelheid is belangrijk hoger dan die uit de niet verkleinde fijne organische fractie uit Haarlem. Hieruit kan per ton (nat) huisvuil, ca. 54 m³ biogas worden geproduceerd.

Per ton nat huisvuil uit Woerden wordt bij anaerobe vergisting van de organische fractie gemiddeld ca. 65 m³ biogas geproduceerd. Hierbij is ervan uitgegaan dat 75% van het huisvuil uit Woerden uit natte organische fractie bestaat. Deze hoeveelheid is lager vergeleken met de Amersfoortse fractie (ca. 93 m³) maar hoger in vergelijking met de Haarlemse fractie (ca. 54 m³).

3.2.3 Ontwatering van de vergiste organische huisvuilfracties

Aan de hand van een oriënterend laboratoriumonderzoek is de ontwaterbaarheid van de verschillende restslibben onderzocht.

Het blijkt dat het slib dat ontstaat bij de vergisting van de huisvuilfractie uit Woerden redelijk goed bezinkbaar is. In ca. één uur is het volume van het slib nagenoeg gehalveerd.

Ook het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Haarlem bezinkt redelijk. Ook hier wordt binnen een tijdsbestek van één uur een volume-afname van ca. 50% waargenomen.

Het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Amersfoort bezinkt in het geheel niet.

Na ca. twintig uur is bij alle slibmonsters van bezinking geen sprake meer doordat als gevolg van gasontwikkeling het slib gaat floteren. Bij het slib van de huisvuilfractie uit Amersfoort treedt dit verschijnsel vrijwel direct op.

Uit de laboratoriumfiltratietest kan worden geconcludeerd dat het restslib, afkomstig van de vergisting van de huisvuilfracties uit Haarlem, Amersfoort en Woerden met behulp van een zeefbandpers kan worden ontwaterd tot eind droge-stofgehaltes van respectievelijk ca. 40%, ca. 32% en ca. 36%. Gebruik van poly-elektrolieten is noodzakelijk voor het verkrijgen van een hoog scheidingsrendement.

Ook door middel van centrifugeren kan het restslib worden ontwaterd. Voor het restslib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Haarlem, Amersfoort en Woerden worden eind droge-stofgehaltes haalbaar geacht van respectievelijk ca. 24%, ca. 15% en ca. 18%. Ook hier zijn weer poly-elektrolieten nodig om een voldoende heldere restvloeistof (filtraat of centrifugaat) te verkrijgen.

Samenstelling restslibben

De concentraties aan zware metalen in de drie onderzochte restslibben van de anaerobe vergisting van de drie andere typen huisvuilfracties zijn met uitzondering van kwik in belangrijke mate lager dan de concentraties die volgens de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) toelaatbaar worden geacht voor zuiveringsslib. Het gehalte aan kwik in de restslibben komt ongeveer overeen met de waarde die in bovengenoemde Richtlijn voor dit metaal wordt gehanteerd.

3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie

Op basis van de verkregen onderzoekresultaten is een zeer globale kostenschatting gemaakt van de vergisting van de drie typen onderzochte organische huisvuilfracties. Bij de kostenschatting is uitgegaan van de vergisting van 35.000 ton huisvuilfractie per jaar. In de berekeningen zijn uitsluitend de kosten van vergisting meegenomen. De kosten van een eventuele verkleining zijn voorlopig buiten beschouwing gelaten. Ook kosten van een eventuele ontwatering van het restslib zijn buiten beschouwing gelaten. In eerste instantie mag worden aangenomen dat de hoeveelheid restslib en de kosten van ontwatering alsmede de kosten of eventuele baten van de afzet van het ontwaterde restslib voor de drie typen restslib bij benadering gelijk zijn.

De gegevens van de kostenberekening zijn weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kosten van anaerobe vergisting van de organische huisvuilfracties

Type huisvuilfractie	Hoeveelheid huisvuil per jaar (ton)	Hoeveelheid vergiste fractie per jaar (ton)**	Bruto vergistingskosten per ton huisvuilfractie (Hfl)	Biogasproductie per ton huisvuilfractie (m ³)*
Huisvuilfractie Haarlem (niet verkleind)	100.000	35.000 (55,6%)*	46	153
Huisvuilfractie Amersfoort (verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	64.400	35.000 (51,8%)*	51	165
Huisvuilfractie Amersfoort (verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	64.400	35.000 (54,5%)*	53	180
Huisvuilfractie Woerden (verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	72.200	35.000 (47,0%)*	42	121
Huisvuilfractie Woerden (verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	72.200	35.000 (53,5%)*	47	148

* De tussen haakjes vermelde percentages geven het droge-stofgehalte weer van de huisvuilfracties na eventuele verkleining.

** Uitgangsprодукt is de verkleinde huisvuilfractie.

Uit de tabel blijkt dat de verschillen in kosten van anaerobe vergisting van de diverse organische huisvuilfractie liggen binnen de marge van ca. 40% welke voor de kostenberekening geldt. Op grond van de vergistingskosten per ton organische huisvuilfractie kan geen gemotiveerde keuze gemaakt worden wat betreft het onderzoek op semi-technische schaal.

De organische fractie uit Haarlem kan echter vergist worden zoals deze bij de mechanische huisvuilscheiding beschikbaar komt omdat uit het laboratoriumonderzoek gebleken is dat verder verkleinen niet zinvol is. De gescheiden ingezamelde organische fracties uit Amersfoort en Woerden kunnen niet zonder meer anaeroob worden vergist. De fracties uit Amersfoort en Woerden moeten na gescheiden inzameling mechanisch worden verkleind om deze anaeroob te kunnen vergisten. Deze verkleining tot een gemiddelde deeltjesgrootte kleiner dan 2 mm kan niet in één stap geschieden.

Dit betekent dat een verkleining gevolgd door een afscheiding (ziften of zeven) gevolgd moet worden door een naverkleining. Hierbij kunnen problemen optreden met de non-ferro metalen, welke niet magnetisch afgescheiden worden. Deze reeks van processtappen (verkleinen, ziften, verkleinen) lijkt vrij veel op de processtappen bij mechanische huisvuilscheiding. Bij gescheiden inzameling is de scheiding nooit 100% zodat altijd met een nascheiding rekening dient te worden gehouden.

De kosten van deze nascheiding zullen naar verwachting iets lager liggen dan de kosten van mechanische huisvuilscheiding. Uit het voorgaande blijkt dat voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties uit Amersfoort en Woerden wel verwerkingskosten gemaakt worden terwijl dit voor de mechanisch afgescheiden Haarlemse huisvuilfractie niet het geval is.

Een andere kostenfactor bij de verwerking van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie is de hoeveelheid afval die bij de genoemde nascheiding separaat vrijkomt en die verder gestort of anderszins moet worden verwerkt. Ten aanzien van de mechanisch gescheiden organische fractie uit Haarlem is dit niet het geval.

Tot slot moet nog worden opgemerkt dat anaerobe vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie (Amersfoort) weliswaar meer biogas oplevert per ton huisvuil maar dat de kosten van verwerking hoger zijn dan wanneer mechanisch gescheiden organische huisvuilfractie (Haarlem) anaerob wordt vergist. Hierdoor moet de kans, dat in de praktijk de mechanisch gescheiden organische fractie anaerob vergist gaat worden, hoger worden ingeschat dan dat gescheiden ingezamelde organische fractie vergist gaat worden. De kans op toepassing hangt overigens ook af van alternatieve verwerkingsmogelijkheden zoals bijvoorbeeld compostering.

Bovenstaande argumenten houden in dat voor het onderzoek naar de anaerobe vergistingsproeven op semi-technische schaal de voorkeur uitgaat naar fijne organische fractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem. Het onderzoek op semi-technische schaal is nodig om de haalbaarheid van anaerobe vergisting van organische huisvuilfractie verantwoord te kunnen vaststellen.

3.4 Conclusies

- . Verkleining van de fijne organische huisvuilfractie met behulp van een kruisslagmolen met een zeef van 1 mm geeft bij anaerobe vergisting een verlaging van de biogasproduktie van ca. 153 naar ca. 124 m³ biogas per ton nat uitgangsprодукt (prодукt voor de verkleining). Dit komt overeen met een verlaging van de biogasproduktie van ca. 54 naar ca. 45 m³ biogas per ton huisvuil. Verkleining is derhalve niet zinvol.
- . Per ton gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie in Amersfoort wordt bij anaerobe vergisting ca. 116 m³ biogas gevormd. Dit komt overeen met een gemiddelde biogasproduktie per ton huisvuil van 93 m³.
- . Per ton gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden wordt bij anaerobe vergisting ca. 94 m³ biogas geproduceerd, overeenkomend met ca. 65 m³ per ton huisvuil.
- . Het type zeef dat bij het verkleiningsproces met de hamermolen wordt toegepast (18 mm of 6 mm) heeft een gering effect op de biogasproduktie die uit de Amersfoortse en Woerdense huisvuilfractie wordt verkregen.
- . De specifieke biogasproduktie per ton organische droge stof gevoed is voor de diverse typen huisvuilfracties nagenoeg gelijk en bedraagt ca. 430 m³.
- . De restslibben van de anaeroob vergiste huisvuilfractie zijn met een zeefbandpers goed ontwaterbaar. Eind-droge-stofgehaltes van de filterkoek van ca. 32 tot ca. 40% worden haalbaar geacht. Bij toepassing van centrifuges worden droge-stofgehaltes verwacht van ca. 15 tot ca. 24%. Toepassing van poly-elektrolieten is noodzakelijk om een voldoende hoog scheidingsrendement te verkrijgen.
- . De concentraties van zware metalen in de restslibben liggen, met uitzondering van kwik, aanzienlijk lager dan de maximale concentraties welke genoemd zijn in Richtlijnen van de Unie van Waterschappen (1985). Het kwikgehalte is ongeveer gelijk aan de maximaal toelaatbare waarde.
- . Anaerobe vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie levert per ton huisvuil meer biogas op dan anaerobe vergisting van mechanisch gescheiden organische huisvuilfractie. Echter de kosten van verwer-

king van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie zijn hoger. De kans op toepassing van een vergistingsproces voor de mechanisch gescheiden fractie wordt groter geacht dan die voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.

4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE VERGISTING VAN NIET-VOOR-BEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

4.1 Algemeen

Het semi-technisch onderzoek is uitgevoerd met de fijne organische huisvuilfractie afkomstig van de mechanische huisvuilscheidinginstallatie uit Haarlem. De samenstelling van deze fractie is in grote lijnen analoog aan die van de fijne organische huisvuilfractie welke is gebruikt bij het onderzoek beschreven in hoofdstuk 2.

De gemiddelde deeltjesgrootte van de fijne organische fractie is 1,4 mm, het droge-stofgehalte bedraagt ca. 50%. Het organische droge-stofgehalte is ca. 33%.

Het primaire doel van het onderzoek was de vergisting van de fijne organische huisvuilfractie op een grotere schaal te bestuderen, waarbij met name het effect van het droge-stofgehalte van de voeding nader moest worden vastgesteld. Het onderzoek had daarnaast tot doel de ontwaterbaarheid van het restslib te bepalen en na te gaan in hoeverre recirculatie van het filtraat, dat bij de ontwatering wordt verkregen, invloed heeft op het vergistingsproces.

Op grond van de resultaten van het semi-technische onderzoek en die van het laboratoriumonderzoek (beschreven in de tussenrapporten 1 en 2) is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van het vergistingsproces.

4.2 Uitvoering van het onderzoek

De vergistingsproeven zijn uitgevoerd in een roestvrijstalen reactor met een volume van 300 liter en een vloeistofinhoud (hoeveelheid slurry) van 250 liter. Deze reactor was voorzien van een mengsysteem waarmee de reactorinhoud periodiek of continu kon worden opgemengd. Verschillende mengsystemen zijn bij het onderzoek getest: menging met een propellerroerder, menging met een schroefroerder al of niet voorzien van een geleidebuis, en menging met een buiten de reactor, tussen aftap en voedingspunt geplaatste monopomp waarmee de reactorinhoud via een bypass kon worden rondgepompt. Deze laatste methode bleek de meest geschikte te zijn.

Bij het opslurriën van de vaste stof werd als aanmaakvloeistof filtraat van de slibontwatering gebruikt.

Bij het onderzoek werden voedings droge-stofconcentraties aan fijne organische huisvuilfractie van 6, 12 en 18% toegepast. De meeste experimenten werden uitgevoerd met een voeding welke 12% of 18% droge stof bevatte.

De reactortemperatuur bij de vergistingsexperimenten bedroeg ca. 30 °C. Voor het volgen van het verloop van de vergisting zijn een groot aantal metingen en analyses verricht, onder andere pH in de reactor, samenstelling biogas, gehalte aan vluchtige vetzuren, concentratie aan droge stof en de concentratie aan organische stof. Verder is regelmatig het gehalte aan zware metalen in het filtraat en de vaste koek, verkregen bij de slibontwatering, gemeten.

4.3 Resultaten en discussie

Bij de aanvang van de experimenten zijn problemen ondervonden met het mengsysteem. Van de toegepaste roersystemen bleek het systeem waarbij de menging werd gerealiseerd via een buiten de reactor geplaatste pomp het best te voldoen.

Bij een voedings droge-stofconcentratie van 12% en een voedingsfrequentie van eenmaal per dag was er sprake van een goedlopende vergisting. De resultaten van deze vergisting en de bijbehorende procescondities zijn samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Vergisting fijne organische huisvuilfractie Haarlem (voedingsconcentratie 12%)

Temperatuur	: 30 °C ± 1 °C
Organische stofbelasting	: 3,6 kg organische stof per m ³ reactorinhoud per dag
Hydraulische verblijftijd	: 20 dagen
Specifieke gasproductie	: 0,42 m ³ biogas per kg organische droge stof gevoed
Methaanpercentage biogas	: ca. 56%
Afbraakpercentage organische stof	: 40%

Bovengenoemde resultaten zijn iets minder gunstig dan die welke verkregen zijn in het laboratoriumonderzoek.

Bij een voedingsconcentratie van 18% (organische stofbelasting 5,4 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag) werd echter slechts een biogasproduktie van 0,31 m³ tot 0,35 per kg organische stof gevoed verkregen. De oorzaak hiervan was zeer waarschijnlijk de aanwezigheid van dode hoeken in de reactor. Het gevolg van deze dode hoeken is een kortere verblijftijd. Uit de cijfers van pH, vetzuurconcentratie en biogasproduktie blijkt dat de vergisting bij een voedings droge-stofpercentage van 18% onder de toegepaste omstandigheden nog wel verloopt, zij het niet optimaal. Wanneer de menging van de reactorinhoud wordt verbeterd, mogen betere vergistingsresultaten worden verwacht, vergelijkbaar met die welke bij een voedingsconcentratie van 12% zijn behaald.

Uit de vergistingsresultaten blijkt dat hergebruik van het water dat vrijkomt bij de ontwatering van de vergiste fijne organische fractie (het restslib) waarschijnlijk geen negatieve invloed heeft op de vergisting.

Bij het onderzoek naar de ontwatering van het restslib uit de anarobe reactor, verkregen bij een voedingsconcentratie van 12% of 18%, worden met een zeefbandpers eind droge-stofgehaltes van de filterkoek van ca. 35 tot 40% verkregen. Gebruik van polyelektrolieten is daarbij wel een vereiste.

Ook deze resultaten stemmen in grote lijnen overeen met die welke in een eerdere fase in het laboratoriumonderzoek zijn verkregen.

Opgemerkt moet nog worden dat de in het onderzoek toegepaste zeefbandpers niet was voorzien van een naperszone. De verwachting is dat met de huidige typen geavanceerde zeefbandpersen filterkoek-droge-stofgehaltes tot 45% haalbaar zijn.

De concentratie van zware metalen in de ontwaterde filterkoek van de zeefbandpers blijft onder de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw.

4.4 Kostencalculatie

Op basis van de resultaten van het semi-technische onderzoek is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van een proces dat bestaat uit de navolgende (hoofd)processtappen:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie tot een concentratie van 18%.
- Anaerobe vergisting van de slurry.
- Ontwatering van het restslib en recirculatie van het filtraat.

De uitgangspunten die hierbij zijn gehanteerd zijn in de navolgende tabel gegeven.

Tabel 4.2 Uitgangspunten massabalans/processchema vergisting fijne organische huisvuilfractie (Haarlem)

- Verwerkingscapaciteit: 100 ton fijne organische fractie/dag.
- Droge-stofpercentage fijne fractie: 56%.
- Organische stofpercentage: 33% (van de totale fractie).
- As-percentage: 23% (van de totale fractie).
- Percentage droge stof na opslurriën: 18,4%.
- Percentage af te scheiden zand/glas: 65% (betrokken op de as).
- Droge-stofpercentage zand/glas-fractie na hydrocyclonage: 80%.
- Organische stofbelasting van de anaerobe vergisting: 5,4 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag.
- Hydraulische verblijftijd van de slurry in de anaerobe reactor: 20 dagen.
- Specifieke gasproductie: 0,4 m³ biogas per kg organische stof gevoed.
- Gassamenstelling: 56% CH₄, 41% CO₂.
- Polyelektrolytdosering ten behoeve van ontwatering: 1 g polyelektrolyt per kg droge stof.
- Droge-stofpercentage slibkoek na ontwatering: 28%.
- Lokatie en opstelling: De installatie wordt aanleunend gebouwd aan een huisvuilscheidingsinstallatie. De gehele installatie wordt buiten opgesteld met uitzondering van het ontwateringsgedeelte.
- Aantal bedrijfsdagen: De installatie wordt volcontinu bedreven gedurende het hele jaar (350 dagen per jaar).
- Personeelsbezetting: Door integratie van de installatie met de scheidingsinstallatie is deelbezetting mogelijk.
- Kosten grondaankoop: f 75,- per m².
- Kosten polyelektrolyt ten behoeve van ontwatering: f 10,- per kg.
- Kosten huur container voor afvoer van glas/zand en slibkoek: f 20,-/dag per container.

Op basis van deze uitgangspunten en gegevens zijn de volgende jaarlijkse bruto-kosten voor de verwerking van 10 ton fijne organische huisvuilfractie per dag berekend:

Kapitaalslasten	f 1.067.000
Variabele lasten	f 501.500
Personeelskosten	f 157.500

Totaal	f 1.686.000
--------	-------------

Uit de berekeningen blijkt dat de jaarlijkse exploitatiekosten voor een groot deel worden bepaald door rente, afschrijving en onderhoud.

De brutoverwerkingskosten per ton fijne organische fractie zijn onder de bovengenoemde condities berekend op ca. f 49,-. Van dit bedrag is ca. f 10,- ontwateringskosten. Er is van uitgegaan dat het restslib (na ontwateren) zonder kosten kan worden afgezet.

Voor de berekening van de nettokosten moet de opbrengst van het geproduceerde biogas hierop in mindering worden gebracht. Deze opbrengst kan zeer sterk variëren en is derhalve zeer moeilijk in te schatten. Op de eerste plaats is de opbrengst van het biogas sterk afhankelijk van de wijze waarop het gas kan worden benut. Een deel kan bij de huisvuilscheiding en de vergisting worden toegepast. Hierbij zal - net als bij directe toepassing bij een nabijgelegen industrie - de opbrengst groter zijn dan wanneer omzetting in elektriciteit en/of teruglevering aan het net de enige mogelijk is. Een combinatie van deze toepassingen lijkt het meest waarschijnlijk. Daarnaast speelt de aardgasprijs een belangrijke rol.

Naar schatting zullen de netto-verwerkingskosten per ton nul zijn bij een grootverbruikersprijs voor aardgas van ca. f 0,60. Gezien het huidige grootverbruikerstarief van ca. f 0,20 lijkt deze optie voorlopig niet haalbaar.

Opgemerkt moet worden dat het voor een rendabel verwerkingsproces niet noodzakelijk hoeft te zijn dat de op bovenstaande wijze berekende nettoverwerkingskosten nul zijn. Bij het niet verwerken van de fijne organische fractie zal deze gestort moeten worden. Hiervoor zal een storttarief betaald moeten worden.

4.5 Conclusies

De resultaten van het semi-technisch onderzoek naar de anaerobe vergisting van (niet voorbehandelde), fijne organische huisvuilfractie (Haarlem) komen in het algemeen goed overeen met de resultaten van het laboratoriumonderzoek. De belangrijkste conclusies zijn:

- . De fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem is goed te vergisten bij een voedings droge-stofpercentage van 12% (organische stofbelasting 3,6 kg organische droge stof per m³ reactorinhoud per dag). De specifieke biogasproductie onder deze condities is $\pm 0,42$ m³ gas/kg organische stof gevoed. Het gas bevat ca. 56% CH₄. Bij het laboratoriumonderzoek is een overeenkomstige gassamenstelling en specifieke gasproductie gemeten. Hierbij is echter mechanisch voorbehandelde fijne organische huisvuilfractie gebruikt.
- . Verhoging van het voedings droge-stofpercentage naar 18% lijkt mogelijk indien voor een goede menging van de reactor kan worden gezorgd. Onder deze condities mag ca. 0,40 m³ biogas per kg organische stof gevoed, worden verwacht.
- . Een goede menging van de reactorinhoud is noodzakelijk, enerzijds om een goed contact te verkrijgen tussen de in de reactor aanwezige bacteriemassa en het niet vergiste materiaal, anderzijds om een ophoping of afzetting van droge stof in de reactor te voorkomen.
- . De ontwatering van de anaerobe vergiste fijne fractie via de zeefbandpers verloopt goed, met name bij de hogere droge-stofpercentages van het vergiste materiaal. Een droge-stofpercentage van de koek van 35% tot 45% lijkt mogelijk.
- . Hergebruik van het filtraat van de ontwatering van het vergiste materiaal voor het opslurriën van de fijne fractie voor de vergisting lijkt geen merkbare invloed op de vergisting te hebben en is dus mogelijk.
- . De concentratie van zware metalen in het ontwaterde restslib ligt onder de waarden genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw.
- . Per ton fijne organische huisvuilfractie kan ca. 130 m³ biogas worden geproduceerd.

- . De bruto verwerkingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie bedragen ca. 49 Hfl.
- . Naar schatting zullen de bruto verwerkingskosten per ton fijne fractie en de opbrengst aan biogas elkaar compenseren bij een aardgasprijs van f 0,60/m³. Gezien het huidige grootverbruikerstarief van ca. f 0,20/m³ lijkt deze optie voorlopig niet haalbaar.

5. VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

5.1 Algemeen

De fijne organische huisvuilfractie die wordt verkregen in een mechanisch huisvuilscheidingssysteem kan op verschillende manieren worden verwerkt. De meest voor de hand liggende mogelijkheden zijn anaeroob vergisten, primair bedoeld om biogas te winnen, en composteren, primair gericht op het verkrijgen van een produkt dat als bodemverbeteraar kan worden aangewend. Welk proces het meest aantrekkelijk is hangt af van technische uitvoerbaarheid, kosten en afzetmogelijkheden van de produkten.

Voor het verkrijgen van meer inzicht in de voor- en nadelen van beide processen is een oriënterende studie uitgevoerd, waarin beide processen op een aantal relevante aspecten met elkaar zijn vergeleken. Deze relevante aspecten zijn de procesvoering, de milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder, de samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt, de hygiënische betrouwbaarheid, de energie-aspecten en de kosten.

5.2 Procesvoering

De procesvoering bij open composteringssystemen van fijne organische huisvuilfractie bestaat uit een aantal relatief eenvoudige processtappen: op hopen zetten, besproeien, omkeren, zeven. De totale duur van dit proces bedraagt 2 tot 6 maanden. Bij gesloten composteringssystemen vindt eerst gedurende enkele dagen een geforceerde beluchting plaats in een trommel of tank, waarna een nacompostering op hopen plaatsvindt, min of meer analoog aan de compostering bij open systemen. De duur van deze nacompostering bedraagt echter slechts 1 à 2 maanden.

De anaerobe vergisting vereist in het algemeen een meer gecompliceerde procesvoering dan de compostering. De fijne organische fractie moet eerst opgeslurried worden, voordat vergisting plaats kan vinden. Menging van de inhoud van de vergistingsreactor vereist speciale voorzieningen, met name als het om grote reactorvolumes gaat. Na de vergisting zal in het algemeen (afhankelijk van de afzetmogelijkheden van het vergiste materiaal) nog een ontwatering plaats moeten vinden. De totale verblijftijd van de fijne orga-

nische fractie in het vergistingsproces bedraagt 2 à 3 weken en is derhalve korter dan de verblijftijd bij composteringsprocessen.

5.3 Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder

Open composteringssystemen kunnen hinder voor de omgeving veroorzaken, onder andere door stank, ontstaan van percolatiewater en het aantrekken van ongedierte en vogels. Gesloten composteringssystemen zijn minder aantrekkelijk voor ongedierte en bieden de mogelijkheid vrijkomende stank middels een luchtbehandelingssysteem zoals biowassing of biofiltratie te elimineren.

Anaerobe vergisting vindt in een volledig gesloten systeem plaats en zal naar verwachting geen stank of andere hinder voor de omgeving veroorzaken.

5.4 Samenstelling en afzetbaarheid van het eindproduct

Met betrekking tot de samenstelling van de bij compostering en anaerobe zuivering verkregen produkten, zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de afzetbaarheid:

- Concentratie aan zware metalen.
- Organische samenstelling.
- Oplosbare zouten.
- Vochtgehalte.
- Hygiënische betrouwbaarheid.
- Bemestende en structuurverbeterende waarden.

Wat de zware metalen betreft kan, gezien de aard van de toegepaste processen, in het algemeen verwacht worden dat deze zowel bij de compostering als bij de vergisting in of aan de vaste stof achterblijven. Er zijn in dat opzicht dus geen significante verschillen aan te geven. Er wordt momenteel in het algemeen voldaan aan de normen volgens de huidige richtlijnen van de Unie van Waterschappen (1985) voor de afzet van zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouw- en grasland.

Zowel compost als vergiste fractie voldoen wat de concentraties aan zware metalen betreft niet aan de richtlijn voor na 1992.

Bij zowel composteren als anaeroob vergisten worden hoofdzakelijk de micro-biologisch goed afbreekbare componenten omgezet in gasvormige componenten en water. Er zal derhalve wat betreft de organische samenstelling van het eindprodukt waarschijnlijk slechts weinig verschil ontstaan.

Ditzelfde geldt in feite ook voor de in water oplosbare zouten. Weliswaar komen deze zouten bij het anaeroob vergistingsproces uiteindelijk voor een belangrijk deel in het filtraat van de ontwateringsstap terecht, maar dit filtraat wordt in de gekozen procesvoering hergebruikt voor het opslurriën van de fijne organische fractie. Het is in principe mogelijk dit filtraat niet voor dat doel te gebruiken, waardoor de zoutconcentratie in de filterkoek aanzienlijk lager zal zijn.

Het vochtgehalte van compost is aanzienlijk lager dan dat van de vergiste fractie. Hierdoor zal de machinale verwerkbaarheid van compost (verspreiding op bouw- of grasland) beter zijn dan die van de ontwaterde vergiste fractie. Indien de vergiste fractie echter niet ontwaterd wordt, is deze verwerkbaarheid waarschijnlijk beter. De transportkosten per kg droge stof zullen dan echter hoger zijn dan die van de compost.

Met betrekking tot de hygiënische betrouwbaarheid van het verkregen eindprodukt en de afdoding van onkruidzaden kan worden gesteld dat deze waarschijnlijk groter is bij compost dan bij ontwaterde anaeroob vergiste fijne fractie. Primair is dit een gevolg van de hogere temperatuur waarbij het composteringsproces plaatsvindt.

Het gehalte aan plantenvoedende stoffen (N, P, K) is voor zowel gecomposteerde als anaeroob vergiste fijne organische fractie laag en verschilt onderling weinig. Het vergiste c.q. gecomposteerde materiaal zal voornamelijk een structuurverbeterende functie hebben als gevolg van de vertering van het organische materiaal tot slijmstoffen en humus en de bevordering van het bodemleven.

5.5 Energie-aspecten

Bij zowel het composteringsproces als het anaerobe vergistingsproces komt energie vrij. De bij compostering vrijkomende energie in de vorm van afvalwarmte is echter minder aantrekkelijk dan het biogas dat bij de anaerobe vergisting ontstaat.

5.6 Kostenaspect

Uit een zeer globale kostencalculatie blijkt dat de kosten van het anaeroob vergistingsproces en het composteringsproces ongeveer in dezelfde orde van grootte liggen.

5.7 Samenvatting en conclusies

De belangrijkste vergelijkingsaspecten tussen compostering en anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfractie zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	Composteren	Vergisten
Procesvoering	Verblijftijd: 2 - 6 maanden Na-composteren: 1 à 2 maanden	Verblijftijd: 12 - 20 dagen
Omgevings-/milieu-aspecten	Open systeem: hinder van ongedierte en percolatie-waterproblematiek Gesloten systeem: goed controleerbaar	Gesloten systeem, dus goed controleerbaar
Samenstelling eindprodukt en afzetbaarheid eindprodukt in de landbouw		
a) Zware metalen	Voldoet niet aan de toekomstige norm (niet afzetbaar in landbouw)	Idem
b) Organische samenstelling	Eenvoudig afbreekbare componenten zijn afgebroken	Idem
c) Oplosbare zouten	Zijn aanwezig in de waterfase	Zijn aanwezig maar kunnen eventueel eenvoudig verwijderd worden
d) Vochtgehalte	Laag, 30 - 35%	Hoog, ca. 65% (niet ontwaterd ca. 90%)
e) Hygiënische betrouwbaarheid	Goed bij juiste procesvoering door relatief hoge temperatuur (50 - 70 °C)	In het algemeen onvoldoende door relatief lage temperatuur (35 °C)
f) Bemestende waarde Structuurverbeterende waarde	Laag Goed	Laag Goed, echter tengevolge van lager droge stof-percentages lager
Energie-aspect	Geen netto-opbrengst aan energie	Hoogwaardige energie in de vorm van biogas
Verwerkingskosten (exclusief afzet in de landbouw of storten)	Zelfde grootte-orde als vergisten (extra kosten voor compostering bij een mechanische scheidingsinstallatie bedragen f 25,- per ton totaal afval)	Zelfde grootte-orde als composteren (kosten van composteren, inclusief opbrengst biogas, bedragen ca. f 36,- per ton te behandelen fijne huisvuilfractie)
Kosten van storten	Lager dan van de vergiste fractie (compost is lichter)	Hoger dan van de gecomposteerde fractie (slibkoek is zwaarder)

Uit de tabel blijkt dat een belangrijk deel van de verschillen direct of indirect betrekking hebben op de afzetbaarheid van de produkten uit de processen.

Hoewel de concentraties zware metalen en met name de verscherping van de norm een grote invloed hebben op de afzetbaarheid van de compost of het ontwaterde vergiste materiaal zal de keus tussen beide systemen hierdoor nauwelijks worden beïnvloed, omdat de concentraties in beide produkten ongeveer gelijk zijn.

De invloed van de hygiënische betrouwbaarheid op de afzet van de produkten is afhankelijk van de markt waar het produkt wordt afgezet. Op dit moment wordt ca. 30% van de compost afgezet in de land- en tuinbouw en de rest niet-agrarisch, zoals groenvoorzieningen. De eisen die aan de hygiënische betrouwbaarheid worden gesteld voor afzet in de agrarische sector zijn aanzienlijk hoger, waardoor compost in het algemeen eerder in aanmerking komt. De structuurverbeterende waarde van beide produkten is goed, echter door het lagere droge-stofgehalte van het vergiste materiaal wordt bij dezelfde organische stofdosering een aanzienlijke hoeveelheid water opgebracht.

Door het hogere droge-stofgehalte van compost zullen de transportkosten per kg droge stof hiervan lager zijn. Het lage droge-stofgehalte van de slurry maakt verspreiding met een giertank mogelijk.

Naast de afzetbaarheid van de verschillende produkten is een belangrijk verschil de produktie van biogas bij de anaerobe vergisting. Om de kosten van de verwerking van fijne organische fractie via de vergistingsroute op eenzelfde niveau als composteren te brengen, is het nodig dit gas voor een belangrijk deel direct toe te passen bij het huisvuilscheidingsproces en/of bij een nabij gelegen industrie.

De kosten van beide verwerkingsroutes verschillen weinig. Indien ontwatering van het vergiste materiaal niet nodig is, kan de route via vergisting goedkoper zijn, mits de afzet van biogas geen probleem is.

6. SLOTBESCHOUWING

Uit onderzoek aan een drietal typen organische huisvuilfracties blijkt dat via een ééntraps vergistingsproces bij een verblijftijd van de organische fractie in de reactor van ca. 20 dagen 390 tot 440 m³ biogas kan worden verkregen per ton organische stof die aan de vergister wordt toegevoerd. Deze hoeveelheid is nagenoeg onafhankelijk van het type organische huisvuilfractie dat wordt vergist.

Voor de drie typen onderzochte organische huisvuilfracties bedraagt de hoeveelheid biogas per ton (nat) uitgangsmateriaal (organische huisvuilfractie):

- Fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie (pilot plant installatie, Haarlem) : 130 - 160 m³
- Gescheiden ingezamelde huisvuilfractie (Amersfoort) : circa 116 m³
- Gescheiden ingezamelde huisvuilfractie (Woerden) : circa 94 m³

Bovengenoemde verschillen in biogasproductie zijn primair het gevolg van het verschil in vochtgehalte van de verschillende fracties.

Per ton (nat) huisvuil bedraagt de hoeveelheid biogas welke uit de verschillende typen organische fracties kan worden gewonnen:

- Fijne organische huisvuilfractie : circa 54 m³ per ton huisvuil.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Amersfoort : circa 93 m³ per ton huisvuil.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden : circa 65 m³ per ton huisvuil.

Voorafgaand verkleinen (malen) van de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie heeft een positief effect op de winning van biogas uit het organische huisvuil. Bij de fijne organische huisvuilfractie wordt van het verkleinen een negatief effect geconstateerd.

Het percentage CH₄ in het biogas dat bij het ééntraps vergistingsproces van de diverse niet-voorbehandelde organische huisvuilfracties wordt verkregen bedraagt 55 tot 65%.

In het algemeen wordt bij het vergistingsproces een reductie in organische stof verkregen van ca. 50%.

Uit onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, blijkt dat een mechanische, chemische, thermische of gecombineerd mechanisch-chemische, mechanisch-thermische of chemisch-thermische ontsluiting van de reeds vergiste organische fractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, slechts in een geringe hoeveelheid extra biogas resulteert. De kosten van een ontsluiting gevolgd door een tweede vergistingsstap zijn in het algemeen meer dan een factor drie hoger dan de verwachte baten aan biogas. Dit betekent dat een dergelijke ontsluiting in combinatie met een tweede vergistingsstap niet zinvol is voor de betreffende organische huisvuilfractie. Bij de mechanische ontsluiting zijn de behandelingskosten relatief het geringst.

Uit onderzoek op semi-technische schaal naar de vergisting van fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie blijkt dat een voedingspercentage tot 18 gewichtsprocent haalbaar is, mits een goede menging in de reactor kan worden gerealiseerd. De noodzakelijke verblijftijd in de reactor bedraagt 15 tot 20 dagen.

De vergiste fijne organische huisvuilfractie is goed ontwaterbaar met een zeefbandpers waarbij een droge-stofpercentage van de koek van ruim 35% tot 45% mogelijk is. Hergebruik van het filtraat van de ontwatering voor het opslurriën van de fijne fractie heeft geen merkbare invloed op de vergisting. De concentratie van zware metalen in het ontwaterde restslib van de vergisting liggen onder de waarden genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1985) welke gehanteerd worden voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw.

Uit een oriënterende kostencalculatie blijkt dat de kosten van een vergistingsproces, bestaande uit de drie hoofprocesstappen - opslurriën, vergisten, ontwateren - zeer globaal ca. 49 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie (nat) bedragen. De baten uit het biogas zijn in deze kosten niet verdisconteerd. Dit geldt ook voor de kosten/baten welke verband houden met de afzet van het produkt.

Vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties is in kostentechnisch opzicht minder aantrekkelijk dan vergisten van de fijne organische huisvuilfractie welke afkomstig is van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem.

Uit een algemene globale vergelijking van composteren en anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie kan worden geconcludeerd dat de

[illegible]

рејанхѣткѣа аелѣсѣтѣа: сѣаеау рејѣсѣ: вѣосѣаеау рејѣлѣкѣаѣз рејѣсѣау обѣ

belangrijkste verschillen tussen beide processen betrekking hebben op biogasproduktie, vochtgehalte en afzetbaarheid eindprodukt en hygiënische betrouwbaarheid.

Zowel compost als anaeroob vergiste fijne organische huisvuilfractie voldoen wat de zware metalen concentraties betreft niet aan de daarvoor geldende richtlijnen na 1992. Compost is waarschijnlijk hygiënisch betrouwbaarder dan vergiste huisvuilfractie.

Indien het eindprodukt als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet in de landbouw, zijn de netto-verwerkingskosten van dezelfde grootteorde. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het bij de anaerobe vergisting verkregen biogas tegen een redelijke prijs nuttig kan worden afgezet.

Indien het eindprodukt niet als bodemstructuur verbeterende stof kan worden afgezet maar moet worden gestort, heeft, met name bij een lage opbrengst van het biogas, compostering in het algemeen de voorkeur boven anaeroob vergisten vanwege het feit dat bij compostering een aanzienlijk gewichtsverlies optreedt.

In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate de kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opleverd welke nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingsprocessen voor dergelijke fracties en voor het kunnen vergelijken met composteringsprocessen.

De gegevens zijn verder bruikbaar voor het maken van een procesontwerp van een vergistingsinstallatie voor toepassing in de praktijk.

Bij een eventueel onderzoek naar de vergisting van fijne huisvuilfractie op demo-plantschaal zal speciale aandacht moeten worden besteed aan het mengen in de reactor, en de verblijftijd in de reactor.

Bij een onderzoek naar de toepassing van vergisting bij huisvuilverwerking is een marktstudie naar de afzetmogelijkheden van eventuele produkten (zoals bijvoorbeeld de ontwaterde slibkoek) noodzakelijk.

Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre het hier onderzochte anaeroob vergistingssysteem voor fijne huisvuilfractie kan worden toegepast voor vergisting van gescheiden ingezamelde groente, fruit- en tuinafval (GFT).

PROCESMATIGE WINNING VAN BIOGAS
UIT ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES
SAMENVATTEND EINDRAPPORT

door
Dr. Ir. W.H. Rulkens



postbus 342
7300 AH apeldoorn

bezoekadres
laan van westenenk 501

telex 36395 tnoap
telefoon 055 -77 33 44

Met medewerking van:

Ing. W.G.J.M. van Tongeren

Bestemd voor:

Stichting Projectbeheerbureau
Energie-onderzoek (PEO)
van het Ministerie van
Economische Zaken
Utrecht

Commissie van de EG
Directoraat-Generaal voor Wetenschap,
Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII)
Wetstraat 200
B-1049 BRUSSEL

EG projectnummer: RUW-021-NL(B)

Ref.nr. : 86-357
Dossiernr. : 8722-50088
Datum : november 1986
NP

Trefwoorden :
huisvuil
organische fractie
biogas
ontsluiting
voorbehandeling
nabehandeling
compostering

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
copie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO."

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten
en verplichtingen van opdracht-
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoeks- en Ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979"
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeen-
komst.

Priguel
Sanewathee
Kappan

INHOUDSOPGAVEPag.

SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	7
2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGSMETHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)	11
2.1 Algemeen	11
2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek	12
2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek	14
2.4 Globale kostencalculatie	17
2.5 Conclusies	19
3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (EENTRAPSVERGISTING)	22
3.1 Algemeen	22
3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek	24
3.2.1 Verkleining van de organische huisvuilfracties	24
3.2.2 Anaërobe vergistingsexperimenten	25
3.2.3 Ontwatering van de vergiste organische huisvuil- fracties	28
3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie	29
3.4 Conclusies	31
4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE VERGISTING VAN NIET-VOORBEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	33
4.1 Algemeen	33
4.2 Uitvoering van het onderzoek	33
4.3 Resultaten en discussie	34
4.4 Globale kostencalculatie	36
4.5 Conclusies	37

INHOUDSOPGAVE (VERVOLG)Pag.

5.	VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE	39
5.1	Algemeen	39
5.2	Procesvoering	39
5.3	Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder	40
5.4	Samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt	40
5.5	Energie-aspecten	42
5.6	Kostenaspect	42
5.7	Conclusies	42
6.	SLOTBESCHOUWING	43

SAMENVATTING

In opdracht en met financiële bijdrage van de Stichting Projectbeheerbureau Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel is door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties die kunnen worden verkregen uit mechanische huisvuilscheidingsinstallaties of via gescheiden inzameling van huisvuil.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was om door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek en een aanvullende technisch-economische evaluatie na te gaan wat het effect is op de biogasproductie van een mechanische, chemische of termische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, en in hoeverre het mogelijk is op basis van een dergelijk procédé, een in technisch-economisch opzicht haalbaar proces te ontwikkelen. Na uitvoering van de eerste twee fasen van dit onderzoek was de belangrijkste conclusie dat een proces, bestaande uit een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De belangrijkste reden is de betrekkelijk geringe extra biogas-productie in relatie tot de relatief hoge kosten die de ontsluiting en tweede vergistingsstap met zich meebrengt.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek daarop gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op de anaerobe vergisting op laboratoriumschaal van vooraf mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces en van de gescheiden inzameling van huisvuil) en de anaerobe vergisting op semi-technische schaal van één van bovengenoemde fracties. Verder werd een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces gemaakt, waarbij tevens een vergelijking werd gemaakt met composteren.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten). Het onderhavige rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies van het onderzoek, waarbij primair een indeling is gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Voor detailinformatie wordt verwezen naar deze tussenrapporten.

Als belangrijkste hoofdconclusies uit het onderzoek kunnen worden genoemd:

- De totale hoeveelheid biogas die middels een ééntraps anaeroob vergistingsproces uit de verschillende typen organische huisvuilfracties kan worden verkregen bedraagt ca. 390 tot 440 m³ per ton organische stof die aan de anaerobe reactor wordt toegevoerd.
- Het percentage methaan in het biogas bedraagt ca. 60%.
- Bij het anaerobe vergistingsproces wordt zeer globaal 50% van de totale hoeveelheid organische stof die aan de reactor wordt toegevoerd, omgezet.
- Uit een eerste evaluatie volgt dat anaerobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem in technisch/economisch opzicht aantrekkelijker is dan vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.
- Voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie is een totale vaste stofconcentratie in de anaerobe reactor van maximaal ca. 18% mogelijk, vooropgesteld dat de reactor in voldoende mate wordt gemengd.
- Opmerkelijk is dat voor de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie, de toepassing van een mechanische deeltjesverkleiningsstap, voorafgaande aan de anaerobe vergisting, in een vermindering van de biogasproductie resulteert met 15 en 20%, terwijl voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties een mechanische verkleining resulteert in een geringe toename van de biogasproductie.
- Toepassing van mechanische, chemische of thermische ontsluitingsstappen op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, resulteert in een toename van de totale biogasproductie met maximaal ca. 18%. De extra kosten van deze behandelingsstap en de tweede vergisting zijn echter veel hoger dan de baten die kunnen worden verwacht van het extra biogas dat wordt geproduceerd.

- Uit een globale calculatie volgt dat voor de fijne organische huisvuilfractie de kosten van een proces, bestaande uit de hoofdprocesstappen vergisten en ontwateren, geschat kunnen worden op ca. f 45 per ton te verwerken fijne organische huisvuilfractie. De baten uit het biogas zijn in deze kosten niet verdisconteerd. Dit geldt ook voor de kosten/baten, verbonden met de afzet van het produkt.
- Uit een vergelijking van anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfractie en compostering van deze fractie, blijkt dat qua samenstelling de eindprodukten van beide verwerkingsprocessen niet veel verschillen. Alleen het watergehalte van het produkt dat bij anaerobe vergisting wordt verkregen is hoger, terwijl de hygiënische betrouwbaarheid en de afdoding van eventueel aanwezige onkruidzaden waarschijnlijk geringer is. De netto verwerkingskosten van beide systemen zijn ongeveer gelijk.
- In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opgeleverd die nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingssystemen voor dergelijke fracties.

1. INLEIDING

Verwerkingssystemen voor huisvuil welke gericht zijn op een scheiding van de diverse componenten die in het huisvuil aanwezig zijn, zullen in de nabije toekomst naar verwachting steeds meer worden toegepast. De belangrijkste reden is het terugwinnen voor hergebruik van waardevolle componenten zoals papier, glas, metalen of kunststoffen. Ook vermindering van de te storten hoeveelheid kan een reden zijn. Daarnaast is de winning van biogas een proces dat steeds meer in de belangstelling komt te staan. Winning van biogas kan plaatsvinden, hetzij uit (niet behandeld) huisvuil hetzij uit een apart afgescheiden organische fractie.

Er zijn verschillende mogelijkheden om een dergelijke organische fractie uit huisvuil af te scheiden. Een van deze mogelijkheden is de mechanische huisvuilscheiding. Bij deze mechanische huisvuilscheiding wordt, naast de eerder genoemde componenten, ook een zogenaamde fijne organische huisvuilfractie afgescheiden. Deze bedraagt ca. 35% van de oorspronkelijke hoeveelheid huisvuil.

Een andere mogelijkheid om organische componenten, welke kunnen worden gebruikt voor de winning van biogas, uit huisvuil af te scheiden, is de toepassing van een gescheiden inzameling. Het huisvuil wordt daarbij aan de bron in twee fracties gescheiden ingezameld. Deze gescheiden inzameling kan zodanig plaatsvinden dat één van de fracties in belangrijke mate de organische, micro-biologisch goed afbreekbare, componenten bevat. De fracties die bij een dergelijk systeem van gescheiden inzameling worden verkregen kunnen via bijvoorbeeld mechanische scheidingssystemen, eventueel verder worden verwerkt.

In principe is er een groot aantal verschillende mogelijkheden om huisvuil te verwerken. Om deze verschillende mogelijkheden op technische en economische haalbaarheid te kunnen beoordelen, is kennis nodig met betrekking tot het terugwinnen, het hergebruiken of anderzins nuttig aanwenden van de diverse fracties, die bij de verwerking vrijkomen. Dit geldt zowel voor de fijne organische fractie, die wordt

geringe extra biogasproduktie in relatie tot de betrekkelijk hoge kosten, die de ontsluiting en de tweede vergistingsstap met zich meebrengt.

In nauw overleg met de Stichting PEO en de EG is de verdere afronding van het onderzoek gewijzigd. Deze wijziging hield in dat het resterende deel van het onderzoek gericht werd op:

- Anaërobe vergisting, op laboratoriumschaal, van mechanische verkleinde fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem.
- Anaërobe vergisting (op laboratoriumschaal) van twee typen mechanisch verkleinde, gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.
- Anaërobe vergisting, op semi-technische schaal, van één van de drie eerder genoemde typen organische huisvuilfracties.
- Uitvoering van een oriënterende kostencalculatie van het vergistingsproces en vergelijking met een composteringsproces.

De verschillende aspecten van het onderzoek zijn uitvoerig gerapporteerd in een drietal deelrapporten (tussenrapporten).

Het eerste tussenrapport heeft primair betrekking op het effect van mechanische, chemische en thermische ontsluitingsmethoden op de extra biogasproduktie die kan worden verkregen in een tweede aanvullende vergistingsstap. In het kader van het totale onderzoekproject is aan dit onderwerp de meeste aandacht besteed.

Het tweede tussenrapport heeft betrekking op de vergisting van mechanisch verkleinde organische huisvuilfracties waarbij naast fijne organische fractie, (afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem, ook twee typen gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties zijn onderzocht.

Het derde tussenrapport heeft betrekking op het semi-technisch vergistingsonderzoek aan fijne organische huisvuilfractie en bevat verder een globale kostencalculatie van het vergistingsproces. Tevens is in dit rapport een globale vergelijking gemaakt tussen enerzijds het anaeroob vergisten van fijne organische huisvuilfractie en anderzijds het composteren van fijne organische huisvuilfractie.

verkregen bij de mechanische huisvuilscheiding, als voor de organische fractie die wordt verkregen bij een gescheiden inzameling van het huisvuil bij de bron.

Ten aanzien van de verwerking van de fijne organische huisvuilfractie is er een aantal mogelijkheden zoals composteren, verbranden of anaëroob vergisten. De fijne organische fractie is in principe ook toe te passen bij de fabricage van bakstenen. Ook storten van de fijne organische fractie is mogelijk. Analoge verwerkingsmogelijkheden gelden voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.

Door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO, afdeling Milieutechnologie, is met financiële steun van de Stichting Projectbeheerbureau Energie-onderzoek (PEO) van het Ministerie van Economische Zaken en de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EG), Directoraat-Generaal voor Wetenschap, Onderzoek en Ontwikkeling (DG XII) te Brussel, onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biogaswinning uit organische huisvuilfracties.

Het oorspronkelijke doel van het onderzoek was:

- Door middel van een uitgebreid laboratoriumonderzoek na te gaan, wat het effect is op de biogasproduktie van een mechanische, chemische of thermische ontsluiting, toegepast op reeds vergiste fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces
- Vast te stellen in hoeverre het mogelijk is voor de fijne organische huisvuilfractie een in technisch/economisch opzicht haalbaar verwerkingsproces te ontwikkelen dat gebaseerd is op de toepassing van de beste ontsluiting in combinatie met een twee-traps anaërobe vergisting.

Het onderzoek was oorspronkelijk opgesplitst in een viertal fasen. Na uitvoering van de eerste fase (laboratoriumonderzoek naar het effect van de ontsluitingsmethoden op de biogasproduktie) en de tweede fase (oriënterende technisch/economische evaluatie van de resultaten van het laboratoriumonderzoek) was de belangrijkste conclusie dat een proces bestaande uit de toepassing van een eerste vergistingsstap, gevolgd door een ontsluitingsproces waarna een tweede vergisting plaatsvindt, niet zinvol is. De reden hiervan is de betrekkelijk

Het onderhavige rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens en conclusies uit het onderzoek waarbij primair een indeling is gekozen die aansluit bij de drie genoemde tussenrapporten. Gestreefd is daarbij naar een behandeling per deelonderwerp waarbij de belangrijkste conclusies per deelonderwerp zoveel mogelijk kwantitatief zijn samengevat.

Het onderhavige rapport wordt afgesloten met enkele algemene, hoofdzakelijk kwalitatieve conclusies die betrekking hebben op het gehele onderzoek.

Voor detailinformatie betreffende opzet en uitvoering van het onderzoek, de resultaten en de interpretatie van de resultaten alsmede de kostencalculaties wordt verwezen naar de drie tussenrapporten.

2. EFFECT VAN MECHANISCHE, CHEMISCHE EN THERMISCHE ONTSLUITINGSMETHODEN OP DE WINNING VAN BIOGAS UIT FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE (VERGISTING IN TWEE STAPPEN)

2.1 Algemeen

Het onderzoek is uitgevoerd met een fijne organische huisvuilfractie welke verkregen is met behulp van een mechanisch huisvuilscheidings-systeem bestaande uit een magneetscheiding, verkleining, luchtscheiding en zeping met een zeefopening van 10 mm. De doorval van deze zeef is de gebruikte fijne organische fractie. In bijlage I is een volledig schema van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie opgenomen.

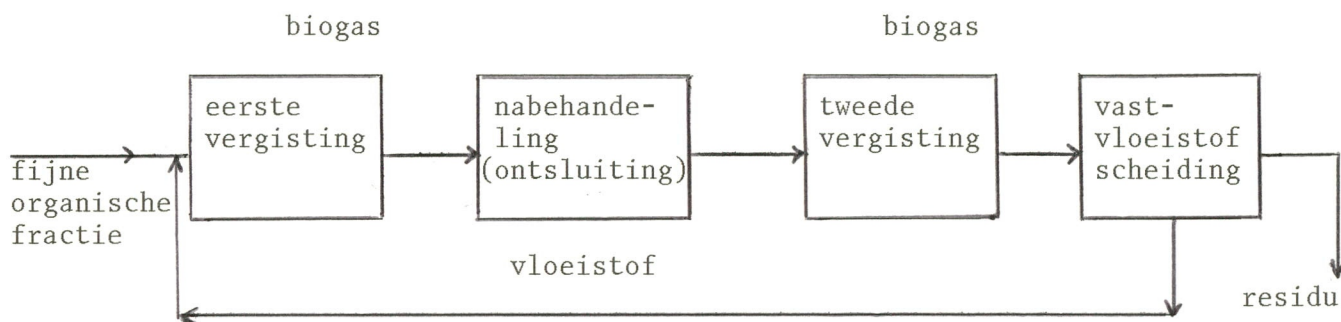
De fijne organische fractie is hoofdzakelijk afkomstig van voedselresten en bestaat voor een deel uit suikers, zetmeel en laagmoleculaire stoffen die anaëroob goed vergistbaar zijn. Ook anaëroob moeilijk vergistbare verbindingen zoals cellulose, hemi-cellulose en lignine zijn in deze fractie aanwezig.

In eerste instantie is een fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilinstallatie op praktijkschaal (Wenen) gebruikt. Later is overgegaan op fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem. In tabel 2.1 is de samenstelling van deze fracties weergegeven.

Tabel 2.1 Samenstelling fijne organische huisvuilfracties

	Wenen	Haarlem
Gemiddelde deeltjesgrootte (mm)	0,6	1,4
Percentage droge stof (%)	66,5	55,6
Percentage organische droge stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof (%)	46,6	59,9
Kg (droge) organische stof per ton fijne fractie	310	333

Het basis processchema dat aan dit deel van het onderzoek ten grondslag ligt is weergegeven in onderstaande figuur.



In het onderzoek is nagegaan wat het effect is van een aantal relevante procesvariabelen op de biogasproductie uit niet voorbehandelde fijne organische huisvuilfractie en hoeveel extra biogas kan worden verkregen indien de vergiste fractie mechanisch, chemisch of thermisch wordt nabehandeld en daarna opnieuw in een tweede processtap wordt vergist. Op grond van de experimentele onderzoekresultaten is een globale kostencalculatie gemaakt van dit tweetrapsvergistingssysteem.

2.2 Uitvoering van het experimentele onderzoek

Eerste vergistingsstap

De anaërobe vergistingsproeven met de niet behandelde fijne organische huisvuilfractie zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergistingsreactoren bedroeg ca. 30 °C. Ter verkrijging van een stabiele vergisting met een zo klein mogelijke kans op verzuring, is gewerkt met een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 40 dagen. Er zijn ook een aantal experimenten uitgevoerd waarbij de verblijftijd 20 dagen bedroeg of waarbij de voedingsconcentratie 12% bedroeg. De vergistingsreactoren zijn intermitterend geroerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen.

Om het vergistingsproces te volgen zijn een aantal procesparameters gemeten zoals biogasproductie, gassamenstelling, pH, omzettingsgraad van het organisch materiaal en vetzuurgehalte in de reactor.

Nabehandeling van de vergiste fijne organische fractie

Na de eerste vergistingsstap is de fijne organische huisvuilfractie onderworpen aan een aantal behandelingsprocessen die tot doel hadden nog niet anaëroob vergiste organische stof te ontsluiten teneinde in een tweede vergistingsstap extra biogas te produceren.

Mede op basis van literatuurgegevens over ontsluitingsmethoden voor organische stoffen zijn de in tabel 2.2 vermelde behandelingsmethoden en bijbehorende procescondities gekozen.

Tabel 2.2 Toegepaste behandelingsmethoden en procescondities

Mechanische methoden	: Kogelmolen Snelmenger-homogenisator Korundschijvenmolen
Chemische methoden	: Natronloog (pH 12) Zwavelzuur (pH 2)
Thermische methoden	: Temperatuur: 75 °C, 100 °C, 143 °C
Mechanisch/chemische methoden	: Kogelmolen/natronloog Snelmenger-homogenisator/natronloog
Mechanisch/thermische methoden	: Kogelmolen/100 °C en 143 °C Snelmenger-homogenisator/100 °C en 143 °C
Chemisch/thermische methoden	: Natronloog/75 °C, 100 °C, 143 °C Zwavelzuur/75 °C, 100 °C, 143 °C

De toegepaste behandelingstijden varieerden van enkele minuten tot enkele uren.

De gecombineerde behandelingsmethoden zijn gekozen aan de hand van de resultaten van de afzonderlijke methoden. Bij de keuze is rekening gehouden met het feit dat de methoden ook op grote schaal in principe moeten kunnen worden toegepast.

Tweede vergistingsstap

De vergistingsproeven met de mechanisch, chemisch of thermisch behandelde fijne organische fractie zijn batchgewijze uitgevoerd in reactoren met een inhoud van één liter bij een temperatuur van 30 °C.

Om het netto effect van de nabehandeling op de biogasproductie te kunnen bepalen zijn ook zogenaamde "blanco" vergistingsexperimenten met niet-nabehandelde vergiste fijne organische fractie uitgevoerd.

Ontwatering

Voor de ontwatering van het restslib na vergisting zijn op laboratoriumschaal een drietal mogelijkheden onderzocht: bezinking, filtratie en centrifugeren.

2.3 Belangrijkste resultaten van het experimentele onderzoek

Anaërobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (Eerste vergistingsstap)

Anaërobe vergisting van de fijne organische fractie uit Wenen levert bij de eerste vergistingsstap een specifieke biogasproductie van 0,40 tot 0,44 liter per gram organische stof gevoed. Het methaangehalte van het biogas is 60 - 62%. Per ton fijne huisvuilfractie met 66% droge stof komt dit overeen met een biogasproductie van ca. 130 m³.

Anaërobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem levert een specifieke biogasproductie van 0,47 liter per gram organische stof gevoed (55-62% methaan). Dit betekent een biogasproductie van ca. 157 m³ per ton natte fijne organische huisvuilfractie (56% droge stof) afkomstig van mechanische huisvuilscheiding.

Bij de anaërobe vergisting treedt een reductie van het organische stofgehalte op van circa 55%. Hierbij is de verblijftijd in de vergister 40 dagen en de concentratie van de voeding 6% droge stof.

Bij zowel een halvering van de verblijftijd van 40 naar 20 dagen als een verdubbeling van de voedingsconcentratie van 6% naar 12% droge stof (bij een verblijftijd van 40 dagen) blijft de specifieke biogasproductie vrijwel gelijk.

Anaërobe vergisting van de nabehandelde vergiste fijne organische fractie (Tweede vergistingsstap)

De resultaten van de vergisting van de nabehandelde fijne organische fracties zijn weergegeven in tabel 2.3.

Het netto effect van de behandelingsmethoden is de extra biogasproduktie verminderd met de extra biogasproduktie (verkregen in de tweede vergistingsstap) van de niet nabehandelde fijne fractie.

Tabel 2.3 Extra biogasproduktie en effect van behandelingsmethoden
(Fijne organische fracties van Wenen en Haarlem)

Behandelingsmethode	Extra biogasproduktie (%)	Netto effect (%)
Onbehandeld	7,7 - 8,7	-
Mechanisch	5,4 - 11,8	neg. - 4,1
Chemisch	3,2 - 4,7	neg.
Thermisch	4,2 - 10,6	neg. - 2,1
Chemisch-thermisch	3,0 - 12,8	neg. - 4,3
Mechanisch-chemisch	3,5 - 10,3	neg. - 2,3
Mechanisch-thermisch	10,4 - 18,0	2,7 - 10,3

In bovenstaande tabel zijn de resultaten van alle experimenten samengevat. De extra biogasproduktie varieert per behandelingsmethode tussen een minimum en maximum waarde. De variatie per behandelingsmethode wordt mede veroorzaakt door het feit dat de behandelingscondities (bijvoorbeeld de behandelingsduur of het temperatuurniveau) binnen elke methode varieerden.

Uit tabel 2.3 blijkt dat het netto effect van de mechanische behandeling maximaal 4% bedraagt. Bij een aantal experimenten is zelfs een negatief effect gevonden.

Een chemische behandeling (met zuur of loog) heeft altijd een netto negatief effect op de biogasproduktie. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn het ontstaan van chemische verbindingen, die remmend werken op de vergisting.

Het netto effect van een thermische behandeling kan zowel positief als negatief zijn. Ditzelfde geldt ook voor een chemisch-thermische en een mechanisch-chemische behandeling. Overigens zijn ook hier de netto effecten betrekkelijk gering.

De behandeling, waarbij het grootste positieve effect optreedt, is de mechanisch-thermische behandeling. Het netto effect van deze behandeling is altijd positief en bedraagt maximaal ca. 10%.

Ontwatering van de vergiste fijne organische huisvuilfractie

Na de anaërobe vergisting van de fijne organische huisvuilfractie (droge-stofgehalte voeding ca. 6%) bedraagt het droge-stofgehalte (gesuspendeerde stof) van het restslib ca. 4%. Dit restslib bezinkt slechts zeer langzaam. Pas na circa 20 uur is het droge-stofgehalte verdubbeld tot ca. 6% droge stof. Nagassing van het restslib levert problemen op bij bezinking doordat het slib gaat floteren.

Na conditionering met poly-elektrolieten is het restslib goed te ontwateren. Op grond van de resultaten van laboratoriumonderzoek worden daarbij eind droge-stofgehaltes met een zeefbandpers of een centrifuge van respectievelijk 30 à 35% en 20 à 25% haalbaar geacht.

Gebruik van poly-elektrolieten is in ieder geval nodig om een hoog scheidingsrendement te halen.

Samenstelling restslib

Uit de bepaling van het gehalte aan zware metalen in het restslib na de anaërobe vergisting blijkt dat dit slib in het algemeen een lager gehalte aan zware metalen bevat dan zuiveringsslib. Dit blijkt uit de gegevens welke in tabel 2.4 zijn vermeld. Wel moet bij deze tabel worden opgemerkt dat de cijfers over de fijne organische fractie afkomstig zijn van één monster uit Haarlem en daarom als richtwaarden moeten worden gezien. Er wordt, wat het gehalte van zware metalen betreft, voldaan aan de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1980) voor afzet van zuiveringsslib ten behoeve van de landbouw.

De verwachting is dan ook dat het restslib als grondverbeterend middel kan worden afgezet in de landbouw.

Tabel 2.4 Zware metalen gehalte van fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem en van zuiveringsslib en compost uit huisvuil (in mg/kg droge stof, Nederlandse situatie)

Element	Vergiste fijne organische huisvuilfractie	Zuiverings- slib* (1980)	Compost uit huisvuil	Richtlijn Unie van Waterschap- pen (1980)
Cu	160	471	600	600
Pb	300	321	850	500
Cr	53	176	200	500
Ni	62	47	100	100
Cd	< 3	7	5	10
Zn	770	1359	1500	2000
Hg	< 3	5		10

* gemiddeld.

2.4 Globale kostencalculatie

Op basis van de experimentele onderzoekresultaten (onderzoek op laboratoriumschaal) is een globale kostenschatting gemaakt van een verwerkingsproces voor de fijne organische fractie dat bestaat uit een zes-tal achtereenvolgende processtappen (hoofdprocesstappen), namelijk:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie.
- Afscheiding van een belangrijk deel van de anorganische vaste stof (zand en glas).
- Eerste vergisting.
- Tussenindikking en behandeling na eerste vergisting.
- Tweede vergisting.
- Ontwatering van de slurry na de tweede vergisting.

Bij de kostenschatting is uitgegaan van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie met een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huisvuil per jaar welke 35.000 ton fijne organische fractie produceert. Verder is aangenomen dat de droge-stofconcentratie van de voeding naar de anaërobe reactoren 6% bedraagt en de verblijftijd in elk van de beide anaërobe reactoren 20 dagen bedraagt.

De globale verwerkingskosten (in Hfl) per ton fijne organische fractie bedragen dan voor de diverse afzonderlijke processtappen:

- | | |
|---|-------|
| - Opslurriën, afscheiding van vaste stof en eerste vergisting | 72 |
| - Behandeling na de eerste vergisting: | |
| * Mechanisch | 4 |
| * Chemisch | 15-26 |
| * Thermisch | 21-29 |
| * Chemisch-thermisch | 36-55 |
| * Mechanisch-chemisch | 19-30 |
| * Mechanisch-thermisch | 25-33 |
| - Tussenindikking | 4 |
| - Tweede vergisting | 28 |
| - Ontwatering van de slurry na de tweede vergistingsstap | 13 |

De totale biogasproductie van de eerste vergistingsstap bedraagt 157 m³ per ton fijne organische fractie (Haarlem). De totale kosten van een proces bestaande uit opslurriën, vergisten (ééntraps) en ontwateren bedragen, op basis van de resultaten van het laboratoriumonderzoek, zeer globaal geschat, 89 Hfl per ton fijne organische fractie.

Dit betekent een totale kostprijs per m³ geproduceerd biogas van ca. 0,57 Hfl.

Hierbij is geen rekening gehouden met kosten of eventuele baten van het ontwaterde restslib.

Benadrukt moet nog worden dat het verwerkingsproces en de bijbehorende aannamen, die ten grondslag liggen aan voornoemde kostencalculatie, zeker niet optimaal zijn, zowel in technisch als economisch opzicht. Procesverbeteringen, gepaard gaande met lagere kosten, zijn zeer wel mogelijk (zie hoofdstuk 4). Bovendien is deze eerste kosten-schatting voornamelijk gebaseerd op de resultaten van het laboratoriumonderzoek.

Voor de tweede vergisting wordt aangenomen dat de extra biogasproductie als gevolg van de nabehandeling en de tweede vergistingsstap, steeds gelijk is aan de maximale waarde zoals die vermeld is in tabel 2.3 (meest gunstige waarden). Deze maximale extra biogasproductie is afhankelijk van het type nabehandeling. In tabel 2.5 zijn deze maximale waarden weergegeven en is tevens vermeld wat de totale kosten zijn die toegerekend moeten worden aan deze extra biogasproductie.

Tabel 2.5 Kosten van nabehandeling en tweede vergisting (Hfl)

Behandelingsmethode	Maximale extra biogasproductie		Kosten per m ³ extra biogas
	(%)	per ton fijne organische huisvuilfractie	
Onbehandeld	8,7	12,8	1,50
Mechanisch	11,8	18,4	1,25
Chemisch	4,7	7,2	4,75 - 6,25
Thermisch	10,6	16,8	2,50 - 3,00
Chemisch-thermisch	12,8	20,0	2,75 - 3,75
Mechanisch-chemisch	10,3	16,0	2,50 - 3,00
Mechanisch-thermisch	18,0	28,4	1,50 - 1,75

Er is bij de kostencalculatie zoals vermeld in tabel 2.5 geen rekening gehouden met de eventuele kosten van ontwatering en kosten of eventuele baten van de afzet van het ontwaterde restslib. Alleen de kosten welke kunnen worden toegekend aan de nabehandeling en de tweede vergisting zijn in beschouwing genomen.

Uit tabel 2.5 blijkt dat voor alle onderzochte procesroutes de kosten van nabehandeling, gevolgd door een tweede vergisting niet opwegen tegen de baten. Deze laatste worden geschat op 0,25 tot 0,35 Hfl per m³ geproduceerd biogas.

De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn. Uit dat oogpunt bezien zou mechanische behandeling vooraf zinvol kunnen zijn, ervan uitgaande dat minimaal hetzelfde effect als bij de nabehandeling optreedt tegen dezelfde kosten.

Benadrukt moet nog worden dat het totale verwerkingsproces en de bijbehorende aannamen die ten grondslag liggen aan voornoemde kostencalculatie zeker niet optimaal zijn, zowel in technisch als economisch opzicht. Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk (zie hiervoor hoofdstuk 4). Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas een factor 2 à 3 lager zou worden dan die welke is vermeld in tabel 2.5, dan nog blijft de kostprijs per m³ biogas hoger dan de te verwachten baten.

2.5 Conclusies

Eentrapsvergistingsroute

- . Fijne organische huisvuilfractie is in een eerste vergistingsstap goed anaëroob vergistbaar en levert 130 tot 160 m³ biogas per ton behandelde (natte) fijne organische fractie.

- . Bovengenoemde gasproductie is haalbaar bij een voedingsconcentratie van 6% en een verblijftijd van 20 dagen in de anaërobe reactor.
- . Een goede ontwatering van het restslib tot 20% à 30% droge stof is mogelijk door middel van respectievelijk centrifugeren of filteren.
- . Het gehalte aan zware metalen in dit restslib is in het algemeen lager dan dat in zuiveringsslib en voldoet aan de Richtlijn van de Unie van Waterschappen.
- . De totale kosten van het ééntrapsvergistingsproces bij een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huisvuil per jaar (inclusief de ontwatering van het restslib) bedragen, zeer globaal geschat, ca. 89 Hfl per ton fijne organische fractie, overeenkomend met 0,57 tot 0,68 Hfl per m³ geproduceerd biogas.
- . Een verdere optimalisatie van het ééntrapsverwerkingsproces, gericht op een verlaging van de kosten, wordt mogelijk geacht.

Tweetrapsvergistingsroute

- . Mechanische, chemische, thermische of gecombineerde behandeling van vergiste fijne organische fractie, gevolgd door een tweede vergisting, is weinig zinvol vanwege de geringe hoeveelheid extra biogas die bij vergisting ontstaat en de hoge kosten van dergelijke behandelingsroutes.
- . De maximale hoeveelheid extra biogas varieert van minimaal 3,2% bij de chemische behandelingsroute tot maximaal 18% bij de mechanisch-thermische route.
- . De kosten per m³ extra biogas zijn sterk afhankelijk van de toegepaste nabehandelingmethode en bedragen, zeer globaal geschat, f 1,25 tot f 6,25.
- . De kosten per m³ extra biogas blijken bij een mechanische behandeling het laagst te zijn.

- . Procesverbeteringen gepaard gaande met lagere kosten zijn zeer wel mogelijk. Echter ook als de totale kostprijs per extra m³ geproduceerd biogas daardoor zou kunnen dalen met een factor 2 à 3, wordt de tweetrapsvergistingsroute niet haalbaar geacht.

3. WINNING VAN BIOGAS UIT DIVERSE TYPEN ORGANISCHE HUISVUILFRACTIES (EENTRAPSVERGISTING)

3.1 Algemeen

Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd met drie typen organische huisvuilfracties:

- Fijne organische huisvuilfractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie op pilot-plantschaal in Haarlem (hetzelfde type materiaal dat ook is gebruikt in het onderzoek dat beschreven is in hoofdstuk 2).
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie, afkomstig uit Amersfoort.
- Gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie, afkomstig uit Woerden.

Het huisvuil uit Amersfoort en Woerden is in het zogenaamde "Duobak" project in twee fracties gescheiden aan de bron ingezameld. In Amersfoort is plastic, glas en blik gescheiden van de natte organische fractie ingezameld, terwijl in Woerden papier, glas en blik gescheiden is ingezameld. Het huisvuil is ingezameld eind augustus 1983. Omdat de gescheiden ingezamelde fracties niet direct met een hamermolen mechanisch verkleind konden worden zijn de fracties vóórverkleind met achtereenvolgens een messenwalsmolen zonder zeef en met een 20 mm zeef. Daarna zijn de fracties gemalen met een hamermolen met een 18 mm zeef en een hamermolen met 6 mm zeef. Vooraf is plastic, katoen, glas, steen en blik met de hand uitgesorteerd, omdat de aanwezigheid van deze componenten bij onderzoek op laboratoriumschaal problemen oplevert en toch geen wezenlijke bijdrage aan de biogasopbrengst geeft.

De samenstelling van de organische fractie uit Amersfoort en Woerden in gewichtsprocenten is als volgt (één meting):

	<u>Amersfoort</u>	<u>Woerden</u>
groente/fruit/tuin	58,2	64,0
papier/karton	19,9	9,5
textiel	1,9	1,7
glas	0,2	1,3
ferro	1,1	1,7
steen	8,3	3,1
plastic/kunststoffen	2,8	11,0
non-ferro	0,2	0,9
brood	0,5	0,7
tapijten/matten	0,8	0,8
dierlijk afval (beenderen)	0,3	0,7
leer/rubber	1,3	1,3
hout	3,8	2,4
bijzonder afval	0,2	0,6

Bovenstaande samenstelling heeft betrekking op huisvuilfracties waaraan nog geen handsortering (voor verwijdering van plastic, katoen, glas, steen en blik) heeft plaatsgevonden.

Het onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie sluit direct aan bij het in hoofdstuk 2 vermelde onderzoek. In het onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie is nagegaan wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie bij (ééntraps) anaërobe vergisting. Daarnaast is oriënterend nagegaan in hoeverre de organische belasting van de anaërobe reactor kan worden opgevoerd.

In het onderzoek aan de twee overige typen organische huisvuilfracties is nagegaan hoeveel biogas uit deze fracties kan worden geproduceerd en wat het effect is van een mechanische voorbehandeling op de biogasproductie.

Ook is de ontwatering van de anaërobe slibben onderzocht. De slibben zijn ontwaterd door middel van bezinking, filtratie en centrifugeren. Tevens is het gehalte aan zware metalen en het rest-organische stofgehalte bepaald in verband met de mogelijke composteerbaarheid van het restslib of het gebruik daarvan als bodemverbeterend middel.

De resultaten van het onderzoek zijn geëvalueerd aan de hand van een globale kostenberekening van de anaërobe vergisting. De evaluatie had tevens tot doel om te bepalen of voortzetting van het onderzoek op semi-technische schaal zinvol is en zo ja met welke organische huisvuilfractie dit bij voorkeur moest worden uitgevoerd.

3.2 Uitvoering en resultaten van het experimentele onderzoek

3.2.1 Verkleining van de organische huisvuilfracties

De fijne organische huisvuilfractie afkomstig uit Haarlem is verkleind met een kruisslagmolen met een zeef van 1 mm. Het bleek dat bij dit maalproces mede als gevolg van warmte-ontwikkeling een betrekkelijk grote hoeveelheid water verdampte waardoor het droge-stofgehalte van deze fractie toenam van ca. 56% naar ca. 74%. De gemiddelde deeltjesgrootte nam af van ca. 1,4 mm tot ca. 0,26 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Amersfoort is (na handsortering) eerst vóórverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van óf 18 mm óf 6 mm. Op deze wijze werden twee typen gemalen huisvuilfracties verkregen. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte. Als gevolg van het verkleiningsproces nam de gemiddelde diameter van de deeltjes af. Bij gebruik van een 18 mm zeef

in de hamermolen bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte van de gemalen fractie ca. 1,8 mm. Bij gebruik van een 6 mm zeef bedroeg de gemiddelde deeltjesgrootte ca. 1 mm.

De gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden is eveneens (na handsortering) voorverkleind met een messenwalsmolen en vervolgens verder verkleind met een hamermolen met een zeef van 18 mm of 6 mm. Hierbij zijn ook weer twee typen fracties geproduceerd met een gemiddelde deeltjesdiameter van respectievelijk ca. 4 mm en ca. 1,6 mm. Ook hier werd weer geconstateerd dat een deel van het aanwezige water tijdens het maalproces verdampte.

Het droge-stofgehalte van de gemalen huisvuilfracties bedroeg voor de fractie uit Haarlem, Amersfoort en Woerden respectievelijk ca. 74%, ca. 53% en ca. 50%. Het percentage organische stof, betrokken op de totale hoeveelheid droge stof bedroeg voor bovengenoemde fracties (globaal) respectievelijk ca. 60%, ca. 76% en ca. 60%.

Het droge-stofgehalte van de niet gemalen Haarlemse huisvuilfractie bedroeg ca. 56%.

3.2.2 Anaërobe vergistingsexperimenten

De anaërobe vergistingsproeven zijn semi-continu uitgevoerd in reactoren met een inhoud van ca. 20 liter. De temperatuur van de vergisting bedroeg ca. 30 °C. De vergistingsreactoren werden intermitterend geroerd om een goede menging te verkrijgen en de vorming van drijfslagen te voorkomen. De voedingsconcentratie (percentage droge stof van de voeding) bedroeg bij de vergisting van de huisvuilfracties afkomstig uit Amersfoort en Woerden steeds ca. 6%. De voedingsconcentratie bij de vergisting van de Haarlemse huisvuilfractie werd geleidelijk opgevoerd van ca. 6% naar 18%. De verblijftijd in de reactor bedroeg bij alle experimenten 20 dagen.

Bij de vergisting werden de gasproductie, de gassamenstelling en de pH in de reactor gemeten. Tevens werd van het vergiste huisvuil het droge-stofgehalte en de asrest bepaald om de omzetting aan organische stof te kunnen vaststellen.

Voor de gemalen Haarlemse huisvuilfractie is de gemeten biogasproduktie weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Biogasproduktie Haarlemse huisvuilfractie

Percentage droge stof in de voeding (%)	6	12	18
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	3,6	7,2	10,7
Biogasproduktie per ton organische stof gevoed (m ³)	390	410	410
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	58	55	57
Reductie in organische stof (%)	49	51	44

Uit deze tabel blijkt dat het effect van de voedingsconcentratie op de biogasproduktie, op de samenstelling van het biogas en op de reductie in organische stof gering is.

De gemiddelde biogasproduktie bedraagt ca. 410 m³ per ton organische stof gevoed. Deze hoeveelheid komt overeen met ca. 124 m³ biogas per ton nat uitgangsprодукт.

Bij vergisting van niet gemalen organische huisvuilfractie wordt ca. 153 m³ biogas per ton natte organische fractie verkregen. Dit is (globaal) ook reeds gevonden bij het onderzoek aan de fijne organische fractie, beschreven in hoofdstuk 2.

Uit het bovenstaande blijkt dus dat verkleinen van de fijne organische fractie uit Haarlem van een gemiddelde diameter van 1,4 mm naar 0,26 mm een verlaging van de biogasproduktie met circa 20% tot gevolg heeft. De biogasproduktie per ton huisvuil is 45 m³ voor de verkleinde fractie tegenover 54 m³ biogas/ton huisvuil voor de niet verkleinde fractie. De oorzaak van de lagere biogasproduktie bij verkleinen kon niet worden achterhaald. Gedacht kan eventueel worden aan verdamping van organische componenten.

Voor de gemalen huisvuilfracties uit Amersfoort en Woerden is de gemeten biogasproduktie weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Biogasproduktie Amersfoortse en Woerdense huisvuilfractie (percentage droge stof in de voeding ca. 6%)

	Amersfoort		Woerden	
	zeef 18 mm	zeef 6 mm	zeef 18 mm	zeef 6 mm
Percentage organische droge stof in de voeding (%)	5,2	4,7	3,4	3,7
Biogasproduktie per ton organische stof gevoed (m ³)	420	430	440	440
Percentage CH ₄ in het biogas (%)	57	58	62	59
Reductie in organische stof (%)	50	40	48	50

Uit tabel 3.2 blijkt dat de biogasproduktie per ton organische stof gevoed voor zowel de Amersfoortse als de Woerdense huisvuilfractie ca. 430 m³ bedraagt. Het effect van het type zeef (maaswijdte 18 of 6 mm) dat bij het maalproces met de hamermolen is toegepast, is gering. De reductie in organische stof bedraagt gemiddeld ca. 47%.

Per ton gescheiden ingezamelde (nog niet bewerkte) natte organische fractie uit Amersfoort wordt bij anaërobe vergisting gemiddeld ca. 116 m³ biogas gevormd. Teruggerekend naar 1 ton huisvuil (nat), ervan uitgaande dat de natte organische fractie uit Amersfoort 80% hiervan bedraagt, wordt gemiddeld ca. 93 m³ biogas gevormd. Deze hoeveelheid is belangrijk hoger dan die welke uit de niet verkleinde fijne organische fractie uit Haarlem. Hieruit kan per ton (nat) huisvuil, ca. 54 m³ biogas worden geproduceerd.

Per ton nat huisvuil uit Woerden wordt bij anaërobe vergisting van de organische fractie gemiddeld ca. 65 m³ biogas geproduceerd. Hierbij is er van uitgegaan dat 75% van het huisvuil uit Woerden uit natte organische fractie bestaat. Deze hoeveelheid is lager vergeleken met de Amersfoortse fractie (ca. 93 m³) maar hoger in vergelijking met de Haarlemse fractie (ca. 54 m³).

3.2.3 Ontwatering van de vergiste organische huisvuilfracties

Aan de hand van een oriënterend laboratoriumonderzoek is de ontwaterbaarheid van de verschillende restslibben onderzocht.

Het blijkt dat het slib dat ontstaat bij de vergisting van de huisvuilfracties uit Woerden redelijk goed bezinkbaar is. In ca. één uur is het volume van het slib nagenoeg gehalveerd.

Ook het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Haarlem bezinkt redelijk. Ook hier wordt binnen een tijdsbestek van één uur een volume-afname van ca. 50% waargenomen.

Het slib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfractie uit Amersfoort bezinkt in het geheel niet.

Na ca. twintig uur is bij alle slibmonsters van bezinking geen sprake meer doordat als gevolg van gasontwikkeling het slib gaat floteren. Bij het slib van de huisvuilfractie uit Amersfoort treedt dit verschijnsel vrijwel direct op.

Uit de laboratoriumfiltratietest kan worden geconcludeerd dat het restslib, afkomstig van de vergisting van de huisvuilfracties uit Haarlem, Amersfoort en Woerden met behulp van een zeefbandpers kan worden ontwaterd tot eind droge-stofgehaltes van respectievelijk ca. 40%, ca 32% en ca. 36%. Gebruik van poly-elektrolieten is noodzakelijk voor het verkrijgen van een hoog scheidingsrendement.

Ook door middel van centrifugeren kan het restslib worden ontwaterd. Voor het restslib afkomstig van de vergisting van de huisvuilfracties uit Haarlem, Amersfoort en Woerden worden eind droge-stofgehaltes haalbaar geacht van respectievelijk ca. 24%, ca. 15% en ca. 18%. Ook hier zijn weer poly-elektrolieten nodig om een voldoende heldere restvloeistof (filtraat of centrifugaat) te verkrijgen.

Samenstelling restslibben

De concentraties aan zware metalen in de drie onderzochte restslibben van de anaërobe vergisting van de drie andere typen huisvuilfracties zijn met uitzondering van kwik in belangrijke mate

lager dan de concentraties die volgens de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1980) toelaatbaar worden geacht voor zuiveringsslib. Het gehalte aan kwik in de restslibben komt ongeveer overeen met de waarde die in bovengenoemde Richtlijn voor dit metaal wordt gehanteerd.

3.3 Globale kostencalculatie en evaluatie

Op basis van de verkregen onderzoekresultaten is een zeer globale kostenschatting gemaakt van de vergisting van de drie typen onderzochte organische huisvuilfracties. Bij de kostenschatting is uitgegaan van de vergisting van 35.000 ton huisvuilfractie per jaar. In de berekeningen zijn uitsluitend de kosten van vergisting meegenomen. De kosten van een eventuele verkleining zijn voorlopig buiten beschouwing gelaten. Ook kosten van een eventuele ontwatering van het restslib zijn buiten beschouwing gelaten. In eerste instantie mag worden aangenomen dat de hoeveelheid restslib en de kosten van ontwatering alsmede de kosten of eventuele baten van de afzet van het ontwaterde restslib voor de drie typen restslib bij benadering gelijk zijn.

De gegevens van de kostenberekening zijn weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kosten van anaërobe vergisting van de organische huisvuilfracties

Type huisvuilfractie	Hoeveelheid huisvuil per jaar (ton)	Hoeveelheid vergiste fractie per jaar (ton)**	Bruto vergistingskosten per ton huisvuilfractie (Hfl)	Biogasproductie per ton huisvuilfractie (m ³)**
Huisvuilfractie Haarlem (niet verkleind)	100.000	35.000* (55,6%)	46	153
Huisvuilfractie Amersfoort (verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	64.400	35.000* (51,8%)	51	165
Huisvuilfractie Amersfoort (verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	64.400	35.000* (54,5%)	53	180
Huisvuilfractie Woerden (verkleind, toegepaste zeef: 18 mm)	72.200	35.000* (47,0%)	42	121
Huisvuilfractie Woerden (verkleind, toegepaste zeef: 6 mm)	72.200	35.000* (53,5%)	47	148

* De tussen haakjes vermelde percentages geven het droge-stofgehalte weer van de huisvuilfracties na eventuele verkleining.

** Uitgangsprodukt is de verkleinde huisvuilfractie.

Uit de tabel blijkt dat de verschillen in kosten van anaërobe vergisting van de diverse organische huisvuilfracties liggen binnen de marge van ca. 40% welke voor de kostenberekening geldt. Op grond van de vergistingskosten per ton organische huisvuilfractie kan geen gemotiveerde keuze gemaakt worden wat betreft het onderzoek op semi-technische schaal.

De organische fractie uit Haarlem kan echter vergist worden zoals deze bij de mechanische huisvuilscheiding beschikbaar komt omdat uit het laboratoriumonderzoek gebleken is dat verder verkleinen niet zinvol is. De gescheiden ingezamelde organische fracties uit Amersfoort en Woerden kunnen niet zonder meer anaeroob worden vergist. De fracties uit Amersfoort en Woerden moeten na gescheiden inzameling mechanisch worden verkleind om deze anaeroob te kunnen vergisten. Deze verkleining tot een gemiddelde deeltjesgrootte kleiner dan 2 mm kan niet in één stap geschieden.

Dit betekent dat een verkleining gevolgd door een afscheiding (ziften of zeven) gevolgd moet worden door een naverkleining. Hierbij kunnen problemen optreden met de non-ferro metalen, welke niet magnetisch afgescheiden worden. Deze reeks van processtappen (verkleinen, ziften, verkleinen) lijkt vrij veel op de processtappen bij mechanische huisvuilscheiding. Bij gescheiden inzameling is de scheiding nooit 100% zodat altijd met een nascheiding rekening dient te worden gehouden.

De kosten van deze nascheiding zullen naar verwachting iets lager liggen dan de kosten van mechanische huisvuilscheiding. Uit het voorgaande blijkt dus dat voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties uit Amersfoort en Woerden wel verwerkingskosten gemaakt worden terwijl dit voor de mechanisch afgescheiden Haarlemse huisvuilfractie niet het geval is.

Een andere kostenfactor bij de verwerking van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie is de hoeveelheid afval die bij de genoemde nascheiding separaat vrijkomt en die verder gestort of anderszins moet worden verwerkt. Ten aanzien van de mechanisch gescheiden organische fractie uit Haarlem is dit niet het geval.

Tot slot moet nog worden opgemerkt dat anaerobe vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie (Amersfoort)

weliswaar meer biogas oplevert per ton huisvuil maar dat de kosten van verwerking hoger zijn dan wanneer mechanisch gescheiden organische huisvuilfractie (Haarlem) anaeroob wordt vergist. Hierdoor moet de kans, dat in de praktijk de mechanisch gescheiden organische fractie anaeroob vergist gaat worden, hoger worden ingeschat dan de dat gescheiden ingezamelde organische fractie vergist gaat worden. De kans op toepassing hangt overigens ook af van alternatieve verwerkingsmogelijkheden zoals bijvoorbeeld compostering.

Bovenstaande argumenten houden in dat voor het onderzoek naar de anaërobe vergistingsproeven op semi-technische schaal de voorkeur uitgaat naar fijne organische fractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingssysteem.

Het onderzoek op semi-technische schaal is nodig om de haalbaarheid van anaërobe vergisting van organische huisvuilfracties verantwoord te kunnen vaststellen.

3.4 Conclusies

- . Verkleining van de fijne organische huisvuilfractie met behulp van een kruisslagmolen met een zeef van 1 mm geeft bij anaërobe vergisting een verlaging van de biogasproduktie van ca. 153 naar ca. 124 m³ biogas per ton nat uitgangsprодукt (produkt voor de verkleining). Dit komt overeen met een verlaging van de biogasproduktie van ca. 54 naar ca. 45 m³ biogas per ton huisvuil. Verkleining is derhalve niet zinvol.
- . Per ton gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie in Amersfoort wordt bij anaërobe vergisting ca. 116 m³ biogas gevormd. Dit komt overeen met een gemiddelde biogasproduktie per ton huisvuil van 93 m³.
- . Per ton gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie uit Woerden wordt bij anaërobe vergisting ca. 94 m³ biogas geproduceerd, overeenkomend met ca. 65 m³ per ton huisvuil.
- . Het type zeef dat bij het verkleiningsproces met de hamermolen wordt toegepast (18 mm of 6 mm) heeft een gering positief effect op de biogasproduktie die uit de Amersfoortse en Woerdense huisvuilfracties wordt verkregen.

- . De specifieke biogasproductie per ton organische droge stof gevoed is voor de diverse typen huisvuilfracties nagenoeg gelijk en bedraagt circa 430 m³.
- . De restslibben van de anaëroob vergiste huisvuilfracties zijn met een zeefbandpers goed ontwaterbaar. Eind-droge-stofgehaltes van de filterkoek van ca. 32 tot ca. 40% worden haalbaar geacht. Bij toepassing van centrifuges worden droge-stofgehaltes verwacht van ca. 15 tot ca. 24%. Toepassing van poly-elektrolieten is noodzakelijk om een voldoende hoog scheidingsrendement te verkrijgen.
- . De concentraties van zware metalen in de restslibben liggen, met uitzondering van kwik, aanzienlijk lager dan de maximale concentraties welke genoemd zijn in Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1980). Het kwikgehalte is ongeveer gelijk aan de maximaal toelaatbare waarde.
- . Anaërobe vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie levert per ton huisvuil meer biogas op dan anaërobe vergisting van mechanisch gescheiden organische huisvuilfractie. Echter de kosten van verwerking van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie zijn hoger. De kans op toepassing van een vergistingsproces voor de mechanisch gescheiden fractie wordt groter geacht dan die voor de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties.

4. ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL NAAR DE VERGISTING VAN NIET-VOOR-BEHANDELDE FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

4.1 Algemeen

Het semi-technisch onderzoek is uitgevoerd met de fijne organische huisvuilfractie afkomstig van de mechanische huisvuilscheidingsinstallatie uit Haarlem. De samenstelling van deze fractie is in grote lijnen analoog aan die van de fijne organische huisvuilfractie welke is gebruikt bij het onderzoek beschreven in hoofdstuk 2.

De gemiddelde deeltjesgrootte van de fijne organische fractie is 1,4 mm, het droge-stofgehalte bedraagt ca. 50%. Het organische droge-stofgehalte is ca. 33%.

Het primaire doel van het onderzoek was de vergisting van de fijne organische huisvuilfractie op een grotere schaal te bestuderen, waarbij met name het effect van het droge-stofgehalte van de voeding nader moest worden vastgesteld. Het onderzoek had daarnaast tot doel de ontwaterbaarheid van het restslib te bepalen en na te gaan in hoeverre recirculatie van het filtraat, dat bij de ontwatering wordt verkregen, invloed heeft op het vergistingsproces.

Op grond van de resultaten van het semi-technische onderzoek en die van het laboratoriumonderzoek (beschreven in de tussenrapporten 1 en 2) is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van het vergistingsproces.

4.2 Uitvoering van het onderzoek

De vergistingsproeven zijn uitgevoerd in een roestvrijstalen reactor met een volume van 300 liter en een vloeistofinhoud (hoeveelheid slurry) van 250 liter. Deze reactor was voorzien van een mengsysteem waarmee de reactorinhoud periodiek of continu kon worden opgemengd. Verschillende mengsystemen zijn bij het onderzoek getest: menging met een propellerroerder, menging met een schroefroerder al of niet voorzien van een geleidebuis, en menging met een buiten de reactor, tussen

aftap en voedingspunt geplaatste monopomp waarmee de reactorinhoud via een bypass kon worden rondgepompt. Deze laatste methode bleek de meest geschikte te zijn.

Bij het opslurriën van de vaste stof werd als aanmaakvloeistof filtraat van de slibontwatering gebruikt.

Bij het onderzoek werden voedings droge stof concentraties aan fijne organische huisvuilfractie van 6, 12 en 18% toegepast. De meeste experimenten werden uitgevoerd met een voeding welke 12% of 18% droge stof bevatte.

De reactortemperatuur bij de vergistingsexperimenten bedroeg ca. 30 °C. Voor het volgen van het verloop van de vergisting zijn een groot aantal metingen en analyses verricht, onder andere pH in de reactor, samenstelling biogas, gehalte aan vluchtige vetzuren, concentratie aan droge stof en de concentratie aan organische stof. Verder is regelmatig het gehalte aan zware metalen in het filtraat en de vaste koek, verkregen bij de slibontwatering, gemeten.

4.3 Resultaten en discussie

Bij de aanvang van de experimenten zijn problemen ondervonden met het mengsysteem. Van de toegepaste roersystemen bleek het systeem waarbij de menging werd gerealiseerd via een buiten de reactor geplaatste pomp het best te voldoen.

Bij een voedings droge stof concentratie van 12% en een voedingsfrequentie van éénmaal per dag was er sprake van een goedlopende vergisting. De resultaten van deze vergisting en de bijbehorende procescondities zijn samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Vergisting fijne organische huisvuilfractie Haarlem
(voedingsconcentratie 12%)

Temperatuur	: 30 °C ± 1 °C
Organische stofbelasting	: 3,6 kg organische stof per m ³ reactorinhoud per dag
Hydraulische verblijftijd	: 20 dagen
Specifieke gasproductie	: 0,42 m ³ biogas per kg organische droge stof gevoed
Methaanpercentage biogas	: ca. 56%
Afbraakpercentage organische stof	: 40%

Bovengenoemde resultaten zijn iets minder gunstig dan die welke verkregen zijn in het laboratoriumonderzoek.

Bij een voedingsconcentratie van 18% (organische stofbelasting 5,4 kg organische stof per m³ reactorinhoud per dag) werd echter slechts een biogasproductie van 0,31 m³ tot 0,35 per kg organische stof gevoed verkregen. De oorzaak hiervan was zeer waarschijnlijk de aanwezigheid van dode hoeken in de reactor. Het gevolg van deze dode hoeken is een kortere verblijftijd. Uit de cijfers van pH, vetzuurconcentratie en biogasproductie blijkt dat de vergisting bij een voedingsdroge-stofpercentage van 18% onder de toegepaste omstandigheden nog wel verloopt, zij het niet optimaal. Wanneer de menging van de reactorinhoud wordt verbeterd, mogen betere vergistingsresultaten worden verwacht, vergelijkbaar met die welke bij een voedingsconcentratie van 12% worden behaald.

Uit de vergistingsresultaten blijkt dat hergebruik van het water dat vrijkomt bij de ontwatering van de vergiste fijne organische (het restslib) waarschijnlijk geen negatieve invloed heeft op de vergisting.

Bij het onderzoek naar de ontwatering van het restslib uit de anaërobe reactor, verkregen bij een voedingsconcentratie van 12% of 18%, worden met een zeefbandpers eind droge-stofgehaltes van de filterkoek van ca. 35 tot 40% verkregen. Gebruik van poly-elektrolieten is daarbij wel een vereiste.

Ook deze resultaten stemmen in grote lijnen overeen met die welke in een eerdere fase in het laboratoriumonderzoek zijn verkregen.

Opgemerkt moet nog worden dat de in het onderzoek toegepaste zeefbandpers niet was voorzien van een naperszone. De verwachting is dat met de huidige typen geavanceerde zeefbandpersen filterkoek-drogestofgehaltes tot 45% haalbaar zijn.

De concentratie van zware metalen in de ontwaterde filterkoek van de zeefbandpers blijft onder de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1980) voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw.

4.4 Globale kostencalculatie

Op basis van de resultaten van het semi-technische onderzoek én die van het laboratoriumonderzoek is een oriënterende kostencalculatie gemaakt van een proces dat bestaat uit de navolgende (hoofd)processtappen:

- Opslurriën van de fijne organische huisvuilfractie tot een concentratie van 18%.
- Anaërobe vergisting van de slurry.
- Ontwatering van het restslib en recirculatie van het filtraat.

Bij de kostenschatting is uitgegaan van een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton huisvuil per jaar waarbij 35.000 ton fijne organische fractie vrijkomt. De verblijftijd in de reactor bedraagt 20 dagen. De vergisting vindt plaats bij een temperatuur van ca. 30 °C.

De kosten (in Hfl) per ton fijne organische fractie bedragen dan voor de afzonderlijke processtappen:

- | | |
|---------------------------------------|-----|
| - Opslag in combinatie met opslurriën | 10. |
| - Anaëroob vergisten | 25. |
| - Ontwateren restslib | 10. |

De totale behandelingskosten bedragen ca. 45 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie.

In dit bedrag zijn de kosten of eventuele baten van het restslib niet inbegrepen. Ook de kosten van aanvoer van de fijne organische huisvuilfractie zijn hierin niet opgenomen.

De totale biogasproduktie per ton fijne organische fractie bedraagt ca. 130 m³. Dit betekent een kostprijs per m³ biogas van ca. 0,35 Hfl.

In hoeverre deze kostprijs acceptabel is, hangt sterk af van de bestemmingsmogelijkheden van het restslib.

4.5 Conclusies

De resultaten van het semi-technisch onderzoek naar de anaërobe vergisting van (niet voorbehandelde,) fijne organische huisvuilfractie (Haarlem) komen in het algemeen goed overeen met de resultaten van het laboratoriumonderzoek. De belangrijkste conclusies zijn:

- . De fijne organische huisvuilfractie uit Haarlem is goed te vergisten bij een voedingsdroge-stofpercentage van 12% (organische stofbelasting 3,6 kg organische droge stof per m³ reactorinhoud per dag). De specifieke biogasproduktie onder deze condities is $\pm 0,42$ m³ gas/kg organische stof gevoed. Het gas bevat ca. 56% CH₄. Bij het laboratoriumonderzoek is een overeenkomstige gas-samenstelling en specifieke gasproduktie gemeten. Hierbij is echter mechanisch voorbehandelde fijne organische huisvuilfractie gebruikt.
- . Verhoging van het voedingsdroge-stofpercentage naar 18% lijkt mogelijk indien voor een goede menging van de reactor kan worden gezorgd. Onder deze condities mag ca. 0,40 m³ biogas per kg organische stof gevoed, worden verwacht.
- . Een goede menging van de reactorinhoud is noodzakelijk, enerzijds om een goed contact te verkrijgen tussen de in de reactor aanwezige bacteriemassa en het niet vergiste materiaal, anderzijds om een ophoping of afzetting van droge stof in de reactor te voorkomen.
- . De ontwatering van de anaëroob vergiste fijne fractie via de zeefbandpers verloopt goed, met name bij de hogere droge-stofpercentages van het vergiste materiaal. Een droge-stofpercentage van de koek van 35% tot 45% lijkt mogelijk.

- . Hergebruik van het filtraat van de ontwatering van het vergiste materiaal voor het opslurriën van de fijne fractie voor de vergisting lijkt geen merkbare invloed op de vergisting te hebben en is dus mogelijk.
- . De concentratie van zware metalen in het ontwaterde restslib ligt onder de waarden genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen (1980) voor afzet van het zuiveringsslib in de landbouw.
- . Per ton fijne organische huisvuilfractie kan ca. 130 m³ biogas worden geproduceerd.
- . De behandelingskosten per ton fijne organische huisvuilfractie bedragen ca. 45 Hfl.
- . In hoeverre deze kostprijs acceptabel is hangt af van de afzetmogelijkheden van het restslib en de kosten of baten die hiermee gemoeid zijn.

5. VERGELIJKING TUSSEN ANAEROBE VERGISTING EN COMPOSTERING VAN FIJNE ORGANISCHE HUISVUILFRACTIE

5.1 Algemeen

De fijne organische huisvuilfractie die wordt verkregen in een mechanisch huisvuilscheidingssysteem kan op verschillende manieren worden verwerkt. De meest voor de hand liggende mogelijkheden zijn anaeroob vergisten, primair bedoeld om biogas te winnen, en composteren, primair gericht op het verkrijgen van een produkt dat als bodemverbeteraar kan worden aangewend. Welk proces het meest aantrekkelijk is hangt af van technische uitvoerbaarheid, kosten en afzetmogelijkheden van de produkten.

Voor het verkrijgen van meer inzicht in de voor- en nadelen van beide processen is een oriënterende studie uitgevoerd, waarin beide processen op een aantal relevante aspecten met elkaar zijn vergeleken. Het anaeroob vergistingsproces waarvan bij deze vergelijking is uitgegaan, is de natte vergisting van fijne organische huisvuilfractie. De composteringsprocessen waarmee dit anaeroob vergistingsproces wordt vergeleken zijn het van Maanen-systeem (open systeem) en het DANO-systeem (gesloten systeem). De relevante aspecten waarop beide systemen met elkaar zijn vergeleken, zijn de procesvoering, de milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder, de samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt, de hygiënische betrouwbaarheid, de energie-aspecten en de kosten.

5.2 Procesvoering

De procesvoering bij open composteringssystemen van fijne organische huisvuilfractie bestaat uit een aantal relatief eenvoudige processtappen: op hopen zetten, besproeien, omkeren, zeven. De totale duur van dit proces bedraagt 2 tot 6 maanden. Bij gesloten composteringssystemen vindt eerst gedurende enkele dagen een geforceerde beluchting plaats in een trommel of tank, waarna een nacompostering op hopen plaatsvindt, min of meer analoog aan de compostering bij open systemen. De duur van deze nacompostering bedraagt in totaal echter slechts ongeveer een maand.

De anaerobe vergisting vereist in het algemeen een meer gecompliceerde procesvoering dan de compostering. De fijne organische fractie moet eerst opgeslurried worden, voordat vergisting plaats kan vinden. Menging van de inhoud van de vergistingsreactor vereist speciale voorzieningen, met name als het om grote reactorinhouden gaat. Na de vergisting zal in het algemeen (afhankelijk van de afzetmogelijkheden van het vergiste materiaal) nog een ontwatering plaats moeten vinden. De totale verblijftijd van de fijne organische fractie in het vergistingsproces bedraagt 2 à 3 weken en is derhalve korter dan de verblijftijd bij composteringsprocessen.

5.3 Milieuhygiënische aspecten met betrekking tot hinder

Open composteringssystemen kunnen hinder voor de omgeving veroorzaken, onder andere door stank, ontstaan van percolatiewater en het aantrekken van ongedierte en vogels. Gesloten composteringssystemen zijn minder aantrekkelijk voor ongedierte en bieden de mogelijkheid vrijkomende stank middels een luchtbehandelingssysteem zoals bio-wassing of biofiltratie te elimineren.

Anaerobe vergisting vindt in een volledig gesloten systeem plaats en zal naar verwachting geen stank of andere hinder voor de omgeving veroorzaken.

5.4 Samenstelling en afzetbaarheid van het eindprodukt

Met betrekking tot de samenstelling van de bij compostering en anaerobe zuivering verkregen produkten, zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de afzetbaarheid:

- Concentratie aan zware metalen,
- Organische samenstelling,
- Oplosbare zouten,
- Vochtgehalte,
- Hygiënische betrouwbaarheid,
- Bemestende en structuurverbeterende waarden.

Wat de zware metalen betreft kan, gezien de aard van de toegepaste processen, in het algemeen verwacht worden dat deze zowel bij de compostering als bij de vergisting in of aan de vaste stof achterblijven. Er zijn in dat opzicht dus geen significante verschillen aan te geven. Er wordt momenteel in het algemeen voldaan aan de normen volgens de richtlijnen van de Unie van Waterschappen voor de afzet van zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouw en grasland. De verwachting is wel dat deze normen in de toekomst strenger zullen worden.

Bij zowel composteren als anaeroob vergisten worden hoofdzakelijk de micro-biologisch goed afbreekbare componenten omgezet in gasvormige componenten en water. Er zal derhalve wat betreft de organische samenstelling van het eindprodukt waarschijnlijk slechts weinig verschil ontstaan.

Ditzelfde geldt in feite ook voor de in water oplosbare zouten. Weliswaar komen deze zouten bij het anaerobe vergistingsproces uiteindelijk voor een belangrijk deel in het filtraat van de ontwateringsstap terecht, maar dit filtraat wordt in de gekozen procesvoering hergebruikt voor het opslurriën van de fijne organische fractie. Het is in principe mogelijk dit filtraat niet voor dat doel te gebruiken, waardoor de zoutconcentratie in de filterkoek aanzienlijk lager zal zijn.

Het vochtgehalte van compost is aanzienlijk lager dan dat van de vergiste fractie. Hierdoor zal de machinale verwerkbaarheid van compost (verspreiding op bouw- of grasland) beter zijn dan die van de ontwaterde vergiste fractie. Indien de vergiste fractie echter niet ontwaterd wordt, is deze verwerkbaarheid waarschijnlijk beter. De transportkosten zullen dan echter hoger zijn dan die van de compost:

Met betrekking tot de hygiënische betrouwbaarheid van het verkregen eindprodukt en de afdoding van onkruidzaden kan worden gesteld dat deze waarschijnlijk groter is bij compost dan bij ontwaterde anaeroob vergiste fijne fractie. Primair is dit een gevolg van de hogere temperatuur waarbij het composteringsproces plaatsvindt.

Het gehalte aan plantenvoedende stoffen (N, P, K) is voor zowel gecomposteerde als anaeroob vergiste fijne organische fractie laag en verschilt onderling weinig. Het vergiste c.q. gecomposteerde materiaal zal voornamelijk een structuurverbeterende functie hebben als gevolg van de vertering van het organische materiaal tot slijmstoffen en humus en de bevordering van het bodemleven.

5.5 Energie-aspecten

Bij zowel het composteringsproces als het anaerobe vergistingsproces komt energie vrij. De bij compostering vrijkomende energie in de vorm van afvalwarmte is echter minder aantrekkelijk dan het biogas dat bij de anaerobe vergisting ontstaat.

5.6 Kostenaspect

Uit een zeer globale kostencalculatie blijkt dat de netto-kosten van het anaeroob vergistingsproces en het composteringsproces ongeveer gelijk zijn en f 10 tot f 15 per ton oorspronkelijke huisvuilfractie bedragen. Hierbij is rekening gehouden met een opbrengst van f 0,25 per m³ gevormd biogas. De opbrengst van de produkten is hierin niet verdisconteerd. Ook de eventuele transportkosten zijn buiten beschouwing gelaten.

5.7 Conclusies

In het algemeen kan worden gesteld dat qua samenstelling de eindprodukten die worden verkregen bij compostering of anaeroob vergisten van fijne organische fractie onderling niet veel verschillen. Ditzelfde geldt ook voor de proceskosten.

De afzetbaarheid en daardoor ook de mogelijke opbrengst van de eindprodukten is voor compost wat groter als gevolg van een grotere hygiënische betrouwbaarheid, een betere afdoding van onkruidzaden en een lager droge stofgehalte. Mogelijk dat de afzetbaarheid van niet ontwaterde vergiste fijne organische fractie in bepaalde gevallen aantrekkelijker kan zijn.

6. SLOTBESCHOUWING

Uit onderzoek aan een drietal typen organische huisvuilfracties blijkt dat via een ééntraps vergistingsproces bij een verblijftijd van de organische fractie in de reactor van circa 20 dagen 390 tot 440 m³ biogas kan worden verkregen per ton organische stof die aan de vergister wordt toegevoerd. Deze hoeveelheid is nagenoeg onafhankelijk van het type organische huisvuilfractie dat wordt vergist.

Voor de drie typen onderzochte organische huisvuilfracties bedraagt de hoeveelheid biogas per ton (nat) uitgangsmateriaal (organische huisvuilfractie):

- Fijne organische huisvuilfractie,
afkomstig van een mechanische huisvuil-
scheidingsinstallatie
(pilot plant installatie, Haarlem): 130 - 160 m³
- Gescheiden ingezamelde
huisvuilfractie
(Amersfoort): circa 116 m³
- Gescheiden ingezamelde
huisvuilfractie
(Woerden): circa 94 m³

Bovengenoemde verschillen in biogasproduktie zijn primair het gevolg van het verschil in vochtgehalte van de verschillende fracties.

Per ton (nat) huisvuil bedraagt de hoeveelheid biogas welke uit de verschillende typen organische fracties kan worden gewonnen:

- Fijne organische huisvuilfractie : circa 54 m³ per ton huisvuil.
- Gescheiden ingezamelde organische
huisvuilfractie uit Amersfoort : circa 93 m³ per ton huisvuil.
- Gescheiden ingezamelde organische
huisvuilfractie uit Woerden : circa 65 m³ per ton huisvuil.

Voorafgaand verkleinen (malen) van de gescheiden ingezamelde organische huisvuilfractie heeft een positief effect op de winning van biogas uit het organische huisvuil. Bij de fijne organische huisvuilfractie wordt een negatief effect geconstateerd.

Het percentage CH_4 in het biogas dat bij het eentraps vergistingsproces van de diverse niet-voorbehandelde organische huisvuilfracties wordt verkregen bedraagt 55 tot 65%.

In het algemeen wordt bij het vergistingsproces een reductie in organische stof verkregen van circa 50%.

Uit onderzoek aan de fijne organische huisvuilfractie, afkomstig van een mechanisch huisvuilscheidingsproces, blijkt dat een mechanische, chemische, thermische of gecombineerd mechanisch-chemische, mechanisch-thermische of chemische-thermische ontsluiting van de reeds vergiste organische fractie, gevolgd door een tweede vergistingsstap, slechts in een geringe hoeveelheid extra biogasproduktie resulteert. De kosten van een ontsluiting gevolgd door een tweede vergistingsstap zijn in het algemeen meer dan een factor drie hoger dan de verwachte baten aan biogas. Dit betekent dat een dergelijke ontsluiting in combinatie met een tweede vergistingsstap niet zinvol is voor de betreffende organische huisvuilfractie. Bij de mechanische ontsluiting zijn de behandelingskosten relatief het geringst.

Uit onderzoek op semi-technische schaal naar de vergisting van fijne organische fractie afkomstig van een mechanische huisvuilscheidingsinstallatie blijkt dat een voedingspercentage tot 18 gewichtsprocent haalbaar is, mits een goede menging in de reactor kan worden gerealiseerd. De noodzakelijke verblijftijd in de reactor bedraagt 15 tot 20 dagen.

De vergiste fijne organische huisvuilfractie is goed ontwaterbaar met een zeefbandpers waarbij een droge stofpercentage van de koek van ruim 35% tot 45% mogelijk is. Hergebruik van het filtraat van de ontwatering voor het opslurriën van de fijne fractie heeft geen merkbare invloed op de vergisting. De concentratie van zware metalen in het ontwaterde restslib van de vergisting liggen onder de waarden genoemd in de Richtlijn van de Unie van Waterschappen welke gehanteerd worden voor afzet van zuiveringsslib in de landbouw.

Uit een oriënterende kostencalculatie blijkt dat de kosten van een vergistingsproces, bestaande uit de drie hoofdprocesstappen -

opslurriën, vergisten, ontwateren - zeer globaal circa 45 Hfl per ton fijne organische huisvuilfractie (nat) bedragen. Of deze kostprijs aantrekkelijk is hangt af van de bestemmingsmogelijkheden van het restslib en de kosten of baten die hiermee gemoeid zijn. Vergisting van gescheiden ingezamelde organische huisvuilfracties is in kosten-technisch opzicht minder aantrekkelijk dan vergisten van de fijne organische huisvuilfractie welke afkomstig is van een mechanische huisvuilscheidingssysteem.

Uit een vergelijking van anaerobe vergisting van fijne organische huisvuilfractie en composteren van fijne organische huisvuilfractie blijkt dat qua samenstelling de eindprodukten van beide verwerkingsprocessen onderling niet veel verschillen. Alleen het watergehalte van het produkt dat bij anaerobe vergisting wordt verkregen, is hoger. De netto-verwerkingskosten voor beide systemen zijn ongeveer gelijk. De afzetbaarheid en daardoor ook de mogelijke opbrengst van de eindprodukten is voor compost wat groter als gevolg van de grotere hygienische betrouwbaarheid, een betere afdoding van onkruidzaden en een hoger droge stofgehalte. Mogelijk dat de afzetbaarheid van niet ontwaterde vergiste fijne fractie in bepaalde gevallen aantrekkelijker kan zijn.

In het algemeen kan worden gesteld dat het onderzoek naar de vergisting en ontsluiting van organische huisvuilfracties in voldoende mate de kwantitatieve en kwalitatieve gegevens heeft opgeleverd welke nodig zijn voor het kunnen evalueren van natte vergistingsprocessen voor dergelijke fracties en voor het kunnen vergelijken met composteringsprocessen.

De gegevens zijn verder bruikbaar voor het maken van een procesontwerp van een vergistingsinstallatie voor toepassing in de praktijk.