

stowa

POTENTIEEL VOOR DUURZAME ENERGIE MET BIOGAS UIT RIOOL- WATERZUIVERINGEN



RAPPORT

2005
W03

POTENTIEEL VOOR DUURZAME ENERGIE MET BIOGAS
UIT RIOOLWATERZUIVERINGEN

RAPPORT

2005
W03

ISBN 90.5773.291.2



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 13 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, april 2005

UITGAVE STOWA, Utrecht

AUTEURS

Ir. Joep Coenen (Cogen Projects)
Ir. Margot van Gastel (Cogen Projects)
Ing. Klaas de Jong (Energieprojecten.com)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ing. Wim Brouns (Waterschapsbedrijf Limburg)
Ing. Frank Brandse (Waterschap Reest en Wieden)
Ing. Alex Sengers / drs. ing. Marcel Baars (Hoogheemraadschap van Schieland)
Ir. Hielke van der Spoel / Jan Wever (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Ir. Cora Uijterlinde (STOWA)

OPDRACHTGEVERS

STOWA
SenterNovem (BSE - 2003 duurzame energie)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2005-W-03
ISBN nummer 90.5773.291.2

SAMENVATTING

De mogelijkheid om duurzame energie te genereren via biogasproductie uit slib van waterzuiveringen is al lang bekend. Een belangrijk deel van de RWZI's maakt echter geen gebruik van de mogelijkheid om biogas te winnen door vergisting van slib, maar voert het slib onvergist af naar de eindverwerking. Bij de RWZI's met slibgisting kan het biogas meestal nog beter worden ingezet en is verhoging van de gasproductie nog mogelijk.

Deze studie wordt uitgevoerd in opdracht van de STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) mede met financiële ondersteuning vanuit SenterNovem.

De doelstelling van deze studie is het inzichtelijk maken van het potentieel voor duurzame energie met biogas uit rioolwaterzuiveringen. De inzichten in dit potentieel zijn onmisbaar voor:

1. de communicatie met de overheid over waardering van de duurzame energie opgewekt uit biogas in de MEP (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie).
2. kennisoverdracht naar betrokken partijen over o.a. mogelijkheden tot verhoging van de productie van duurzame energie uit biogas.

De resultaten van dit onderzoek zijn te verdelen in:

- onderbouwde inschatting van het potentieel aan duurzame energie uit biogas
- de economische rentabiliteit van verschillende toe te passen scenario's
- inzicht in de kritische succesfactoren en mogelijke knelpunten

CONCLUSIES

Feiten en trends voor het duurzame energiepotentieel bij RWZI's

Van de 389 RWZI's in Nederland hebben er 104 vergistingfaciliteiten, wat meer is dan 50% is van de totale Nederlandse verwerkingscapaciteit [in i.e.]. Het aantal (vooral kleinere) RWZI's en daarmee de verwerkingscapaciteit is de laatste jaren wel afgenomen.

In totaal produceren de RWZI's jaarlijks nu al ongeveer 84 miljoen m³ biogas¹ en 110 miljoen kWh elektriciteit. Er zijn verschillende mogelijkheden, waardoor de totale duurzame energie bijdrage van RWZI's kan worden vergroten:

- vergroten biogasproductie
- betere benutting biogas door meer duurzame elektriciteitsproductie
- betere benutting door meer nuttig warmtegebruik

Door vergisten van (laagbelast) slib met ander organisch materiaal en desintegratie van slib (hogere omzetting) kan de biogasproductie toenemen tot 148 miljoen m³ biogas. Het potentieel voor uitbreiding bedraagt hierbij 64 miljoen m³. Potentieel is er dus ongeveer 75% meer biogas te produceren dan nu wordt gedaan. Het huidige potentieel dat naar een warmte/kracht gaat is met 63 miljoen m³, dus maar 42% van het maximaal mogelijke biogaspotentieel.

¹ Als gevolg van strengere effluenteisen kan het zijn dat huidige hoogbelaste RWZI's met slibgisting worden omgebouwd tot laagbelaste zuiveringsprocessen. Dit heeft een mogelijk dalend effect op de huidige biogasproductie (84 miljoen m³ biogas)

Door ouderdom en bedrijfsvoering in deellast is het elektrische rendement van de gasmotoren bij de RWZI's momenteel lager dan 30%. Met nieuwe gasmotoren kan dit rendement worden verbeterd tot 39% en in de toekomst met andere technologieën tot zelfs 47%. Door de totale biogasproductie (148 miljoen m³) in nieuwe gasmotoren om te zetten naar elektriciteit *verdrivoudigd* de elektriciteitsproductie tot 389 miljoen kWh_e en wordt de CO₂ emissie met eenzelfde omvang gereduceerd. De extra elektriciteitsopbrengsten door verbeteringen (279 miljoen kWh_e) bedragen ongeveer de helft van de huidige hoeveelheid elektriciteit die wordt ingekocht via het net (547 miljoen kWh_e).

Als laatste kan de duurzame energieproductie toenemen door een betere benutting van de geproduceerde warmte. Omdat op de locatie weinig (hoogtemperatuur) warmte nodig is, is er de mogelijkheid het biogas te exporteren naar een woonwijk of nabijgelegen industrieterrein. Hoewel de elektriciteitsproductie op een andere locatie plaatsvindt, verandert het niets aan het duurzame elektriciteitspotentieel. Door betere warmtebenutting kan meer dan 60 miljoen m³ aardgas bespaard worden.

In totaal kan de CO₂ emissiereductie van een RWZI door innovatie's en verbeteringen toenemen van 0,071 Mton nu tot 0,33 Mton bij benutting van het gehele potentieel.

Economie van investering, verbetering en innovatie bij RWZI's

In dit rapport is onderscheid gemaakt in (her)investering in een volledige vergistinginstallatie en specifieke verbeteringen in een bestaande vergistinginstallatie. De berekeningen zijn zeer gevoelig gebleken voor de aannamen voor grootte, belasting van het zuiveringproces en ander locatiespecifieke aannamen. Waar binnen deze opdracht mogelijk hebben we de gevoeligheden laten zien.

(Her)investeren in een volledige nieuwe vergistinginstallatie met gasmotor blijkt een lastige zaak. Bij de RWZI's met laagbelaste zuiveringsprocessen (de meeste huidige kleinere RWZI's en steeds meer grotere) blijft de terugverdientijd bij zowel 50.000 als 100.000 i.e. meer dan 10 jaar. In geval van hoogbelaste zuiveringsprocessen is de terugverdientijd bij een verwerkingscapaciteit van 100.000 i.e. net onder de 10 jaar.

De terugverdientijd van de vervanging van de huidige goedwerkende gasmotor (RWZI 100.000, hoogbelast) door een nieuwe is net minder dan 10 jaar. Wanneer echter de oude gasmotor nieuwe investeringen vraagt (geplande revisie of onverwacht groot onderhoud), verandert de uitkomst ten gunste van een nieuwe gasmotor en is investeren het overwegen waard.

De investering om te kunnen vergisten van slib en/of ander organisch materiaal (putvet, 100.000 i.e., hoogbelast) is, wanneer de biogaskostprijs op 0 wordt gesteld, niet economisch haalbaar. De jaarlijkse opbrengsten zijn negatief. Op basis van gemaakte berekeningen kan worden geconcludeerd dat voor een hoogbelaste RWZI met een verwerkingscapaciteit groter dan 50.000 i.e. de biogaskostprijs negatief is (en dus elke geproduceerde m³ biogas geld oplevert). Hierdoor verbetert de economische rentabiliteit sterk.

Investeren in extra biogasproductie door desintegratie van slib (100.000 i.e., hoogbelast) heeft alleen al door de reductie op de slibkosten een terugverdientijd van ±1 jaar. Opgemerkt dient te worden dat aannamen alleen gebaseerd zijn op leveranciersgegevens (er is nog geen ervaring in Nederland). Wij adviseren nader onderzoek om een betrouwbaarder beeld te krijgen op de aannames.

Overall kan worden geconcludeerd dat de rentabiliteit van vergisting bij grote, hoogbelaste

RWZI's positief is. De terugverdientijden van de in dit rapport voorgestelde verbeteropties zijn allemaal lager dan 10 jaar en het is dus reëel te verwachten dat dit potentieel bij grote, hoogbelaste RWZI's kan worden ingevuld. De rentabiliteit van laagbelaste RWZI's (zowel groot als klein) staat onder druk. Dit is enerzijds zorgwekkend omdat het grootste potentieel nog niet vergist slib afkomstig is uit deze laagbelaste RWZI's en dit potentieel te groot is om in de beperkte reserve vergistingcapaciteit bij huidige RWZI's te vergisten. Anderzijds is er ook, als gevolg van hogere effluenteisen een trend naar laagbelaste zuiveringsprocessen. De huidige hoogbelaste RWZI's zouden na zo'n proceswijziging kunnen afzien van herinvestering in een vergistinginstallatie.

Invloed van beleid

Belangrijk is te zien dat waterschappen momenteel niet financieel worden geprikkeld duurzame energie te produceren. Zij kunnen geen gebruik maken van EIA (een investeringsondersteuning) en in de MEP (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie) is het tarief voor elektriciteit uit slibgisting op nul gesteld. De onderstaande tabel geeft de resultaten weer van de onrendabele top berekening (voor de MEP) op basis van de uitgangspunten van dit rapport.

	50.000 i.e.; hoog belast	50.000 i.e.; laag belast	100.000 i.e.; hoog belast	100.000 i.e.; laag belast
Onrendabele top i.g.v. biogasprijs = variabel	-3,9 €ct/kW _e	65,9 €ct/kW _e	-10,5 €ct/kW _e	32,3 €ct/kW _e

Duidelijk wordt, in overeenstemming met de resultaten van de scenarioberekeningen, dat er een grote onrendabele top is bij laagbelaste RWZI's. Dit betekent dat het potentieel van 26 miljoen m³ biogas afkomstig van RWZI's die hun slib nu nog niet vergisten, veelal laagbelaste RWZI's, niet zal worden gerealiseerd. Daarnaast zal bij herinvestering ook de huidige 84 miljoen m³ biogasproductie onder druk komen te staan als gevolg van de eerder genoemde effluenteisen.

AANBEVELINGEN

Gasmotoren bij RWZI's zijn vaak te groot gedimensioneerd, waardoor ze veelal in deellast worden bedreven. Bij herinvestering zouden twee kleinere gasmotoren kunnen worden overwogen wat leidt tot hogere betrouwbaarheid, voldoende capaciteit tijdens de piekvraag en een beter elektrisch rendement. Daarnaast zijn er ook gasmotoren die een regelbaar vermogen hebben, zonder noemenswaardig rendementsverlies, wat de flexibiliteit verhoogt.

Voor waterschappen met veel kleinere RWZI's is het goed waterschapbreed, voor zover dit niet al gebeurt, oplossingen te zoeken, zodat het schaaffect van de vergistinginstallatie in het voordeel gaat werken. Wel moeten dan de transportkosten in acht worden genomen.

Gezien de resultaten van de onrendabele top berekening wordt een MEP ondersteuning voor RWZI's aanbevolen, om de huidige biogasproductie op peil te houden én het potentieel aan biogas te benutten. 'Freeriding' van bestaande economisch renderende installaties moet worden onderzocht, maar is naar verwachting (cijfers zijn ons niet bekend) beperkt doordat veel vergistinginstallaties ouder zijn dan 10 jaar (en dus geen aanspraak doen op de MEP).

Slibdesintegratie lijkt een goed concept in de reductie van slib én extra biogasproductie. Nader onderzoek en/of demonstratie op de Nederlandse markt lijkt zeer interessant.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

POTENTIEEL VOOR DUURZAME ENERGIE MET BIOGAS UIT RIOOLWATER- ZUIVERINGEN

INHOUD

	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Opzet rapport	2
2	BESCHRIJVING SITUATIE RWZI'S	3
2.1	Huidige situatie	3
2.2	Trends	4
2.3	RWZI's zonder biogasfaciliteiten	5
2.4	RWZI's met biogasfaciliteiten	6
3	MOGELIJKHEDEN UITBREIDING PRODUCTIE DUURZAME ENERGIE UIT BIOGAS	9
3.1	Verhoogde biogasproductie	9
3.1.1	RWZI's zonder biogasproductie	9
3.1.2	RWZI's met biogasproductie	10
3.2	Meer elektriciteit uit biogas	12
3.2.1	Verlagen biogas naar spui of fakkel	12
3.2.2	Verlagen van biogas naar de ketel	12
3.2.3	Vervangen bestaande door moderne gasmotoren	12
3.2.4	Vervangen van bestaande gasmotoren door brandstofcellen	13
3.2.5	Naschakelen van een Organic Rankine Cycle (ORC)	13
3.3	Verhoogde warmtebenutting uit biogas	14
3.3.1	Reductie en benutting warmte op locatie	14
3.3.2	Warmte- of biogastransport naar derden	15
3.3.3	Biogasproductie op wijkniveau	15
3.4	Technisch biogaspotentieel	16

4	ECONOMISCH BIOGASPOTENTIEEL	18
4.1	Berekeningsmethodiek	18
4.2	Algemene uitgangspunten haalbaarheidsberekeningen	18
4.3	De kostprijs van biogas	19
4.3.1	Prijsberekening	19
4.4	RWZI zonder vergisting faciliteiten	20
4.4.1	Zelf biogas produceren uit nog niet vergist RWZI slib (scenario 1)	21
4.5	RWZI met vergisting faciliteiten	21
4.5.1	Vergisten putvet (scenario 2)	22
4.5.2	Desintegratie slib door cavitatie (scenario 3)	22
4.5.3	Vervangen bestaande gasmotoren door efficiëntere gasmotoren (scenario 4)	22
4.5.4	Verlagen van biogas naar fakkels (scenario 5)	23
4.6	Resultaten	23
4.6.1	RWZI's zonder vergistingfaciliteiten	23
4.6.2	RWZI's met vergistingfaciliteiten	25
5	OVERHEIDSBELEID & KNELPUNTEN	28
5.1	Vrijstelling Energiebelasting	28
5.1.1	Vrijstelling energiebelasting voor RWZI-biogas	28
5.1.2	Vrijstelling energiebelasting aardgas voor warmte/kracht	28
5.1.3	Vrijstelling energiebelasting elektriciteit uit warmte/kracht	29
5.2	MEP regeling voor duurzame elektriciteit	29
5.2.1	Huidige MEP	29
5.2.2	MEP berekeningen o.b.v. dit rapport	30
5.3	Interactie tussen overheidsbeleid	32
6	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	33
6.1	Conclusies	33
6.2	Aanbevelingen	35
7	REFERENTIES	36
BIJLAGE 1	TREND IN AANTALLEN 'KLEINE' EN 'GROTE' RWZI'S	37
BIJLAGE 2	VERDELING SLIBPRODUCTIE (TON D.S. PER JAAR) VOOR RWZI'S ZONDER BIOGASFACILITEITEN EN ZONDER VERGISTING VAN SLIB BIJ ANDERE RWZI'S	38
BIJLAGE 3	PEM EN MCFC BRANDSTOFCELLEN, ORC, WARMTEPOMP EN GASMOTOR	39
BIJLAGE 4	GEMIDDELD RENDEMENT ELEKTRICITEITSCENTRALES IN NEDERLAND	48
BIJLAGE 5	INVESTERING SLIBVOORINDIKKER EN SLIBGISTINGSTANK	49
BIJLAGE 6	INVESTERING GASBEHANDELINGSSYSTEMEN	50
BIJLAGE 7	INVESTERING GASMOTOR	51
BIJLAGE 8	INVESTERING FAKKELINSTALLATIE	52
BIJLAGE 9	EIA, MIA & VAMIL	53

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

De mogelijkheid om duurzame energie te genereren via biogasproductie uit slib van waterzuiveringen is al lang bekend. Een belangrijk deel van de RWZI's maakt echter geen gebruik van de mogelijkheid om biogas te winnen door vergisting van slib, maar voert het slib onvergist af naar de eindverwerking (b.v. verbranden of storten). Bij de RWZI's met slibgisting kan het biogas meestal nog beter worden ingezet en is verhoging van de gasproductie nog mogelijk.

Innovaties op gebied van technologie en samenwerking kunnen verdienstelijk zijn bij zowel de verhoging van de biogasproductie als het efficiënt inzetten van het biogas. De biogasproductie bij rioolwaterzuiveringen kan fors worden verhoogd door o.a. desintegratie van slib en covergisting van slib van andere RWZI's zonder slibgisting op RWZI's waar nog een resterende capaciteit is in de slibvergister. Innovaties in de conversie van biogas naar andere energievormen (elektriciteit, warmte), zoals gasmotoren met een hoog rendement, Organische Rankine Cyclus en de brandstofcel, kunnen gas van een slechte kwaliteit benutten én de opbrengst aan energie per m³ biogas sterk verhogen.

Deze studie wordt uitgevoerd in opdracht van de STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) mede met financiële ondersteuning vanuit SenterNovem.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van het onderzoek is het inzichtelijk maken van het potentieel voor duurzame energie met biogas uit rioolwaterzuiveringen. De inzichten in dit potentieel zijn onmisbaar voor:

1. de communicatie met de overheid over waardering van de duurzame energie opgewekt uit biogas in de MEP (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie).
2. kennisoverdracht naar betrokken partijen over o.a. mogelijkheden tot verhoging van de productie van duurzame energie uit biogas.

De resultaten van dit onderzoek zijn te verdelen in:

- onderbouwde inschatting van het potentieel aan duurzame energie uit biogas
- de economische rentabiliteit van verschillende toe te passen scenario's
- inzicht in de kritische succesfactoren en mogelijke knelpunten

1.3 OPZET RAPPORT

In de hoofdstukken 2 tot en met 5 worden de volgende stappen verder uitgewerkt:

Hoofdstuk 2	Beschrijving van de landelijke situatie bij RWZI's o.a. met betrekking tot biogasproductie en inzet
Hoofdstuk 3	Mogelijkheden tot uitbreiding van de productie van duurzame energie uit biogas
Hoofdstuk 4	Bepaling van het economische potentieel aan duurzame energie
Hoofdstuk 5	Knelpunten in markt en beleid

2

BESCHRIJVING SITUATIE RWZI'S

Om inzicht te krijgen in het potentieel aan duurzame energie bij RWZI's met biogas, wordt in dit hoofdstuk allereerst gekeken naar de huidige situatie bij RWZI's ten aanzien van biogasproductie en de inzet ervan. Hierbij zal kort worden ingegaan op historische trends bij RWZI's.

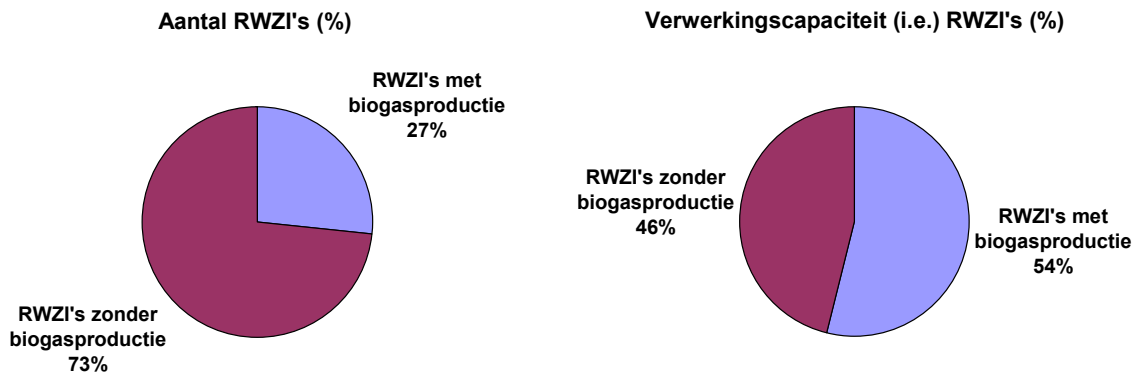
Om in hoofdstuk 3 een indicatie te kunnen geven van het potentieel aan duurzame energie worden in dit hoofdstuk tevens een aantal andere, belangrijke parameters toegelicht, zoals slibproductie en specifieke biogasproductie.

Tenslotte zal ook de nodige informatie voor de economische potentieelramingen ten dele in dit hoofdstuk worden behandeld (b.v. draaiuren). Een groot gedeelte van de informatie in dit hoofdstuk is afkomstig uit enquêtes van het CBS [1].

2.1 HUIDIGE SITUATIE

Van een totaal aantal van 389 RWZI's in Nederland hebben er 104, minder dan 30%, faciliteiten om biogas te produceren (vergister, gasbehandelingsapparatuur, e.d.). Doordat biogasproductie voornamelijk plaatsvindt bij grotere RWZI's vertegenwoordigt deze groep een verwerkingscapaciteit van ongeveer 13.6 miljoen inwoner equivalenten (i.e.). Dit is meer dan 50% van het totaal. Figuur 2.1 geeft een weergave van de huidige verdeling tussen RWZI's met en zonder vergistingcapaciteiten en daarmee een indicatie van de biogasproductie.

FIGUUR 2.1 PROCENTUELE WEERGAVE VAN DE AANTALLEN EN CAPACITEIT VAN RWZI'S MET EN ZONDER BIOGASPRODUCTIE FACILITEITEN

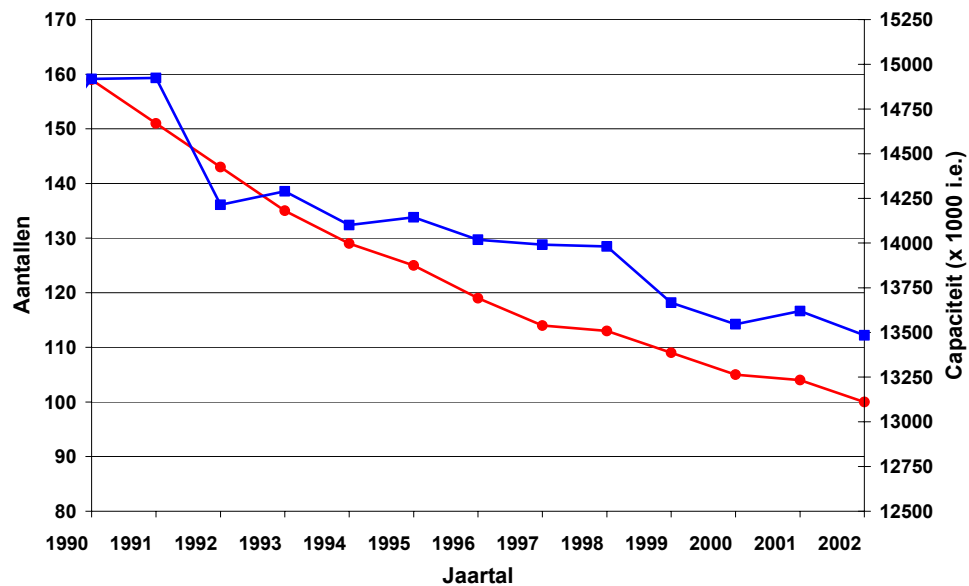


2.2 TRENDS

Om te kunnen inschatten hoe relevant bepaalde verhoudingen zijn voor de toekomst is gekeken naar het verloop van een aantal aspecten van RWZI's. Uit bijlage 1 is te lezen dat het aantal 'kleine' RWZI's (tot 50.000 i.e.) is afgenomen van iets meer als 400 in 1981 tot ongeveer 235 in 2002.

Het aantal 'grote' RWZI's (vanaf 50.000 i.e.) is weliswaar toegenomen van rond de 100 in 1981 tot circa 140 in 2002, maar het huidige aantal 'grote' RWZI's is stabiel sinds de laatste 6 jaar, terwijl het aantal 'kleine' RWZI's nog steeds lijkt af te nemen. Als vervolgens wordt gekeken naar het verloop van het aantal en de capaciteit van RWZI's met vergistingsfaciliteiten^{2,3} wordt duidelijk uit figuur 2.2 dat dit aantal is afgenomen.

FIGUUR 2.2 AANTALLEN EN CAPACITEIT RWZI'S MET VERGISTINGFACILITEITEN PER JAAR



Er kan geconcludeerd worden dat het aantal RWZI's met vergistingfaciliteiten is afgenomen en dat ten gevolge van deze afname ook de jaarlijks beschikbare capaciteit van RWZI's met vergistingfaciliteiten is afgenomen. Een afname in dit aantal betekent dat een aantal RWZI's zijn omgebouwd tot een ander type RWZI, waarbij geen vergistingmogelijkheid meer aanwezig is. Waarschijnlijk is de afname ondermeer het gevolg van de noodzaak om te kunnen blijven voldoen aan scherpere effluenteisen.

Hoewel er geen gegevens gevraagd zijn over de trend in hoeveelheden vergist slib bij RWZI's geeft het trendverloop in de capaciteit aan dat het economisch waarschijnlijk niet aantrekkelijk is om te investeren in slibgisting.

In de volgende paragrafen zullen de twee groepen, RWZI's met en zonder biogasfaciliteiten, nader worden bekeken.

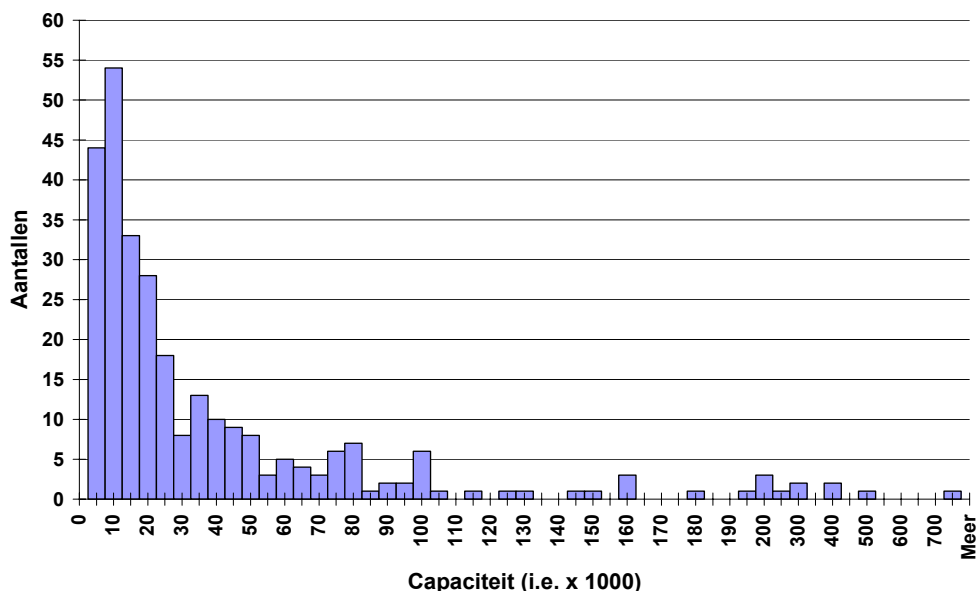
² RWZI's zonder vergistingsfaciliteiten beschikken over een (of meerdere) van onderstaande slibstabilisatiemethoden: (1) Separaat aërobe slibstabilisatie, (2) Simultaan aërobe slibstabilisatie, (3) Slibstabilisatie: geen voorzieningen/n/nb, (4) Thermische slibstabilisatie.

³ RWZI's met vergistingsfaciliteiten beschikken over een (of meerdere) van onderstaande slibstabilisatiemethoden: (1) Stabilisatie in enkeltrapsgisting, koud, (2) Stabilisatie in enkeltrapsgisting, warm, (3) Stabilisatie in tweetrapsgisting, koud, (4) Stabilisatie in tweetrapsgisting, warm, (5) Stabilisatie in Imhofftank/clarigester.

2.3 RWZI'S ZONDER BIOGASFACILITEITEN

De verwerkingscapaciteit van de 285 RWZI's zonder biogasfaciliteiten is verdeeld zoals weergegeven in figuur 2.3. De gemiddelde verwerkingscapaciteit bedraagt 41.000 i.e. per jaar met een mediaan kleiner dan 18.000 i.e. per jaar.

FIGUUR 2.3 VERDELING CAPACITEIT VOOR RWZI'S ZONDER BIOGASFACILITEITEN



Van de RWZI's zonder slibgisting is zeker dat minstens 8,5% van hen slib naar andere RWZI's transporteren om daar alsnog te worden vergist. Een viertal installaties (1,5%) geven aan hun slib te verbranden (geen verdere vergisting) en van de resterende 256 RWZI's (90%) is niet bekend of het slib direct naar een eindverwerking (b.v. verbranding) gaat of alsnog elders wordt vergist.

Onbekend is ook welk gedeelte van het slib kwalitatief in aanmerking komt voor vergisten bij andere RWZI's.

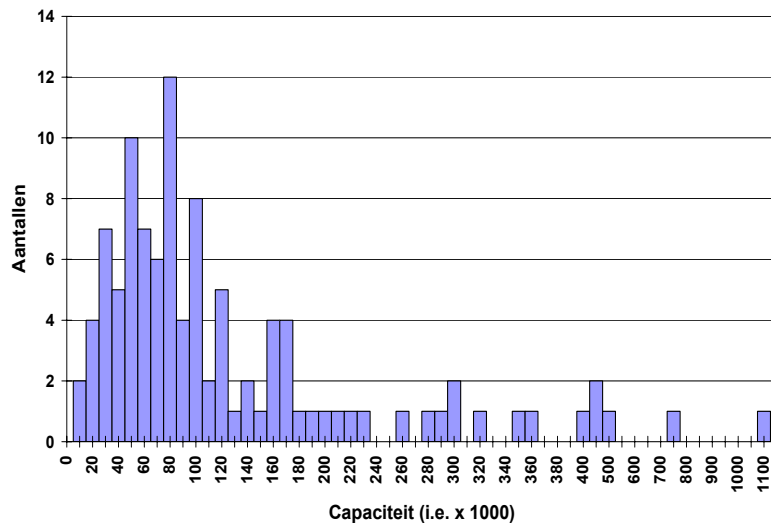
Van de meeste ultralaag belaste installaties zoals carrousels en oxidatiesloten is het vrijkomende surplusslib al sterk gemineraliseerd, vanwege de simultane stabilisatie in de beluchtingstanks. In die gevallen is slibgisting minder aantrekkelijk. Het zuiveringstype kan dus bepalend zijn voor de vraag of slibgisting zinvol is of niet [1].

Ondanks de onzekerheden wordt in deze studie aangenomen dat het theoretisch maximale potentieel aan nog te vergisten slib afkomstig is van 260 RWZI's. De slibproductie bedraagt hiervan ongeveer 165.000 ton droge stof (d.s.) per jaar. Bijlage 2 geeft de verdeling van deze slibproductie over de RWZI's. De gemiddelde slibproductie bedraagt 635 ton d.s. per jaar met een mediaan van 275 ton d.s. per jaar.

2.4 RWZI'S MET BIOGASFACILITEITEN

Van de 104 RWZI's met biogasfaciliteiten is de verwerkingscapaciteit verdeeld zoals weergegeven in figuur 2.4. De gemiddelde verwerkingscapaciteit bedraagt 131.000 i.e. per jaar met een mediaan van 80.000 i.e. per jaar.

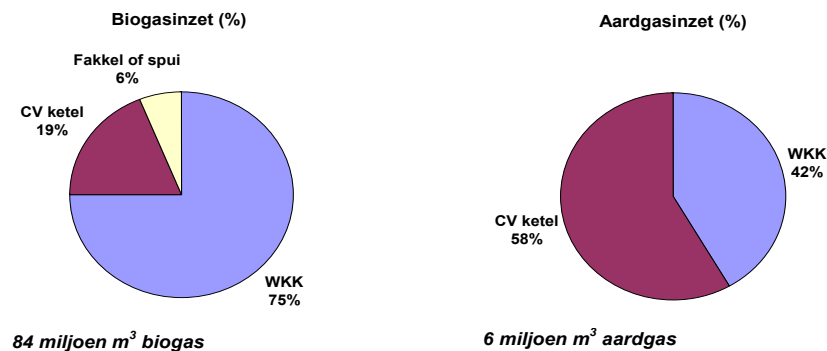
FIGUUR 2.4 VERDELING CAPACITEIT VOOR RWZI'S MET BIOGASFACILITEITEN



Van de 104 RWZI's met biogasfaciliteiten zijn gegevens over 87 RWZI's bekend en gecontroleerd⁴ wat betreft de biogasproductie. Deze bedraagt ongeveer 84 miljoen m³ biogas⁵. Dit gas is deels ingezet in een WKK voor warmte en elektriciteit- en/of krachtopwekking en deels in een CV-ketel voor additionele warmteopwekking gedurende onderhoud van WKK of tijdens koude perioden met een verhoogde warmtevraag. Het resterende biogas is afgefakkeld en/of gespuid naar de atmosfeer. Figuur 2.5 geeft een procentuele weergave van de inzet van het biogas.

Naast biogas wordt ook vaak aardgas ingekocht voor de ketel om de vergister op temperatuur te houden bij lage buitenluchttemperaturen, gebouwverwarming en voor het opstarten van de gasmotoren na een stop. In totaal hebben de 87 RWZI's met biogasfaciliteiten circa 6 miljoen m³ aardgas ingekocht. Dit is circa 7% van de biogasproductie. Figuur 2.5 geeft een weergave.

FIGUUR 2.5 BIOGAS EN AARDGASINZET BIJ RWZI'S MET BIOGASFACILITEITEN IN 2001



⁴ De biogasproductie en inzet is via een balans gecontroleerd. Voor een negental RWZI's blijkt de biogasproductie vele malen groter te zijn dan de inzet in WKK, CV-ketel en fakkelf/spui samen. Gegevens van deze RWZI's zijn daarom niet verder meegenomen in de totale biogasproductie.

⁵ De onderste verbrandingswaarde van het biogas wordt aangenomen op 22,4 MJ/m³.

Ruim driekwart van het geproduceerde biogas wordt dus ingezet in een WKK. Een kleine 20% wordt ingezet in een ketel en de resterende 6% (ong. 5 miljoen m³) wordt afgefakkeld (in de CBS enquête komt spuien ook voor, maar dit blijkt effectief om fakkelen te gaan). Fakkelen of spuien is vaak het gevolg van:

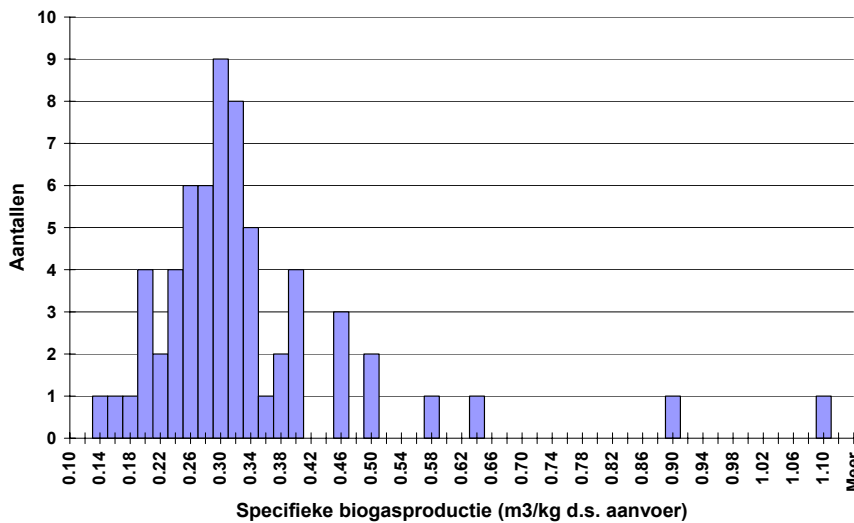
- een biogasproductie die de beschikbare capaciteit overschrijdt. Hierbij valt te denken aan de capaciteit van leidingen, gasmotor, e.d.
- een directe, mechanische koppeling tussen de gasmotor en een lucht blower voor beluchting van het aërobe proces. De gasmotor zal in dit geval de vraag naar lucht volgen. Uit deze vraag volgt een (maximale) hoeveelheid biogas die in de gasmotor wordt ingezet. Als op dit moment het aanbod aan biogas groter is dan de inzet in de gasmotor is fakkelen het enige alternatief. Zo'n 68 van de 104 WKK installaties (circa 65%) drijft een generator aan en produceert elektriciteit. Van een 8-tal WKK's (7,5%) is bekend dat deze nog rechtstreeks een blower of compressor aandrijven en van de resterende 28 WKK's (27%) is niet bekend hoe de WKK gekoppeld is.
- storingen in het systeem (b.v. onderhoud van de WKK)

Redenen om biogas naar de CV-ketel te sturen is het voorzien in een verhoogde warmtevraag tijdens koude perioden.

De specifieke biogasproductie vanuit slib is weergegeven in figuur 2.6

FIGUUR 2.6

SPECIFIEKE BIOGASPRODUCTIE VANUIT EEN MENGSEL VAN PRIMAIR EN SPUISLIB



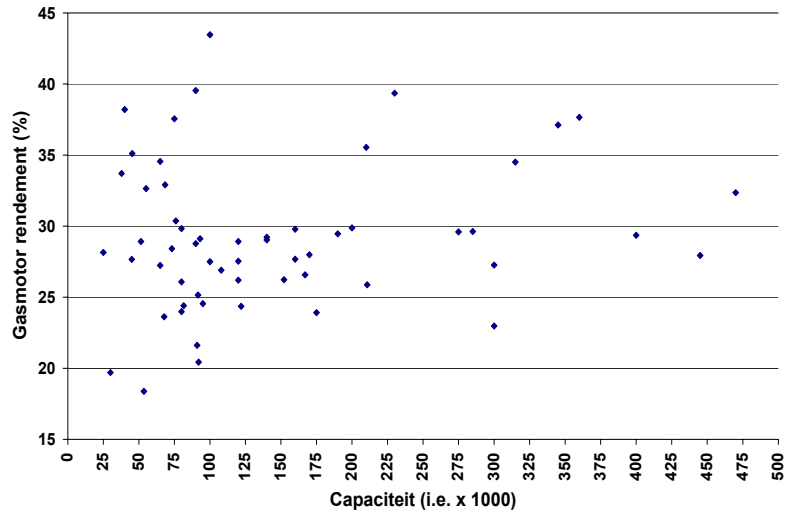
De gemiddelde specifieke biogasproductie bedraagt 0,33 m³ per kg d.s. aangevoerde slib. Omdat het slib een mengsel van primair en spuislib is vertoont figuur 2.6 een normaalverdeling. Omdat het merendeel van de 'kleinere' RWZI's vaak laag tot ultralaagbelaste installaties zijn zal het aërobe slib een aanzienlijk lagere specifieke biogasproductie geven dan het gemiddelde van de RWZI's met vergistingsfaciliteiten. Uit gegevens van installaties die aëroob gestabiliseerd slib vergisten is afgeleid dat de specifieke biogasproductie 0,16 m³ per kg d.s. bedraagt.

Door de totale jaarlijkse elektriciteitsproductie (kWh) om te rekenen naar MJ elektrische energie en deze te delen door de, ook naar MJ omgerekende, totale ingaande biogas- en aardgasstroom [1] volgt een indicatie voor het gemiddeld elektrische rendement van de gasmotoren bij RWZI's. Rendementen groter dan 45% en kleiner dan 10% zijn, voorzover mogelijk, gecorrigeerd met gegevens uit 2002.

Het gemiddelde rendement van de gasmotoren is 28%. Zie figuur 2.7.

Het relatief lage rendement is te verklaren uit het feit dat veel gasmotoren een groot deel van de tijd in deellast draaien. Het rendement van gasmotoren is in deellast aanmerkelijk lager dan bij vollast.

FIGUUR 2.7 BEREKENDE GASMOTORRENDEMENTEN (%) VOOR RWZI'S MET BIOGASFACILITEITEN



Voor de economische berekeningen in hoofdstuk 4 is het gemiddelde aantal vollast draaiuren nodig van de WKK's. Van een zevental RWZI's met bekende gasmotorgrootte (in kWe) is dit gedaan door hun elektriciteitsproductie (in kWh) te delen door de gasmotorgrootte. Gemiddeld komt het aantal vollast draaiuren op 5200 uur per jaar.

Dit relatief lage aantal is mogelijk te verklaren doordat veel gasmotoren:

- in deellast draaien (mogelijk groter gedimensioneerd om de variatie in biogasproductie op te vangen)
- storingen ondervinden die niet snel worden verholpen.

3

MOGELIJKHEDEN UITBREIDING PRODUCTIE DUURZAME ENERGIE UIT BIOGAS

Hoofdstuk 2 geeft het beeld over de huidige productie en het gebruik van biogas op RWZI's. Dit hoofdstuk probeert een antwoord te geven op de vraag welke mogelijkheden er zijn om het aandeel duurzame energie te vergroten. Globaal wordt gekeken naar de volgende mogelijkheden

- het verhogen van de biogasproductie door:
 - meer slib en/of ander organisch materiaal verwerken
 - het te vergisten slib beter om te zetten (meer m³ biogas per ton d.s. slib)
- het biogas beter te benutten op de RWZI
- het biogas beter in te zetten op locaties anders dan de eigen RWZI

Voor concrete informatie zijn o.a. leveranciers geraadpleegd.

3.1 VERHOOGDE BIOGASPRODUCTIE

3.1.1 RWZI'S ZONDER BIOGASPRODUCTIE

RWZI's die momenteel nog geen vergistingfaciliteiten hebben zouden een bijdrage kunnen leveren aan de biogasproductie door hun aëroob surpluslib:

- te verwerken in een nog te bouwen vergistinginstallatie
- te transporten naar een andere RWZI in de omgeving die vergistingfaciliteiten heeft met overcapaciteit (vergisten van slib)

VERGISTEN SPUISLIB

Zoals blijkt uit hoofdstuk 2 wordt slibgisting bij veel grotere RWZI's toegepast. Naast economische redenen, zijn mogelijke oorzaken waarom bij kleinere en enkele grotere RWZI's geen slibgisting wordt toegepast:

- RWZI's passen geen voorbezinking toe, omdat het organisch materiaal nodig is om aan de strenge(r) wordende) effluenteisen voor stikstof te kunnen voldoen. Het spuislib is vergaand gemineraliseerd, waardoor slibgisting minder effectief wordt. Daarnaast bevat het water afkomstig van het ontwateren van uitgestort slib vaak hogere stikstofconcentraties, wat weer een extra belasting is voor de RWZI.
- ruimtegebrek voor plaatsing van vergistingfaciliteiten
- op onbemande locaties wil men het zuiveringsproces eenvoudig houden
- lange termijn contracten met slibverwerkers

Binnen waterschappen probeert men de capaciteit van de slibvergisters optimaal te benutten door (een deel van) de slibstroom van RWZI's zonder vergistingfaciliteiten in te zetten op RWZI's met een overcapaciteit in het vergistingproces. Dat momenteel maar een klein deel wordt getransporteerd is mogelijk te verklaren door de afstanden en bijbehorende transportkosten.

De totale hoeveelheid aëroob slib dat nog niet vergist wordt, bedroeg in 2001 circa 165.000 ton d.s. per jaar (zie ook hoofdstuk 2). De verwachte specifieke biogasproductie is circa 0,16 m³ per kg d.s. aangevoerd slib voor laagbelaste RWZI's. Dit type RWZI komt het meeste (>90%) voor onder de RWZI's zonder biogasfaciliteiten. Een inschatting van de extra biogasproductie door vergisting van al het slib bedraagt hierdoor ongeveer 26,4 miljoen m³ per jaar.

3.1.2 RWZI'S MET BIOGASPRODUCTIE

RWZI's die al biogas produceren zouden meer biogas kunnen maken door o.a.:

- vergisten van extern spuislib
- vergisten van organische reststoffen zoals industriële vetten en 'Ten Minste Houdbaar Tot' (THT) goederen.
- verbeteren van de afbraak en het omzetten van het slib door desintegratie voordat het vergist wordt. Cavitatie⁶ is een vorm van desintegratie.
- extra indikken van het slib tot 6% d.s.

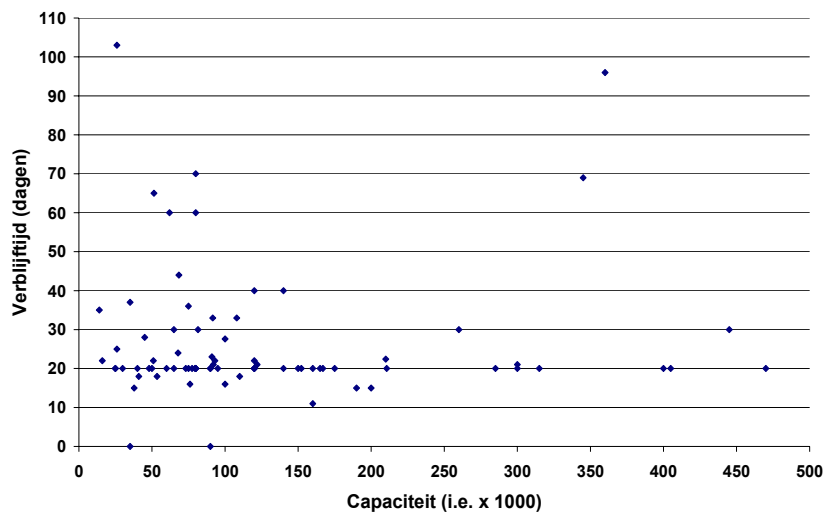
(CO)-VERGISTEN VAN SLIB EN/OF ANDERE ORGANISCHE RESTSTOFFEN

Beschikbare capaciteit in bestaande vergistinginstallaties.

Hoeveel capaciteit is er eigenlijk nog in bestaande vergistinginstallaties van RWZI's om slib en/of organische reststoffen te kunnen (co)vergisten? Uit de CBS-gegevens [1] blijkt dat de gemiddelde hydraulische verblijftijd van het slib in de vergistingstank 27 dagen is. Figuur 3.1 geeft een overzicht als functie van de capaciteit.

FIGUUR 3.1

SLIB VERBLIJFTIJD ALS FUNCTIE VAN DE CAPACITEIT VAN DE RWZI



In de literatuur [4, 16] wordt een verblijftijd aangehouden van 20 dagen. Als de aanvoer van gistingsslib naar de vergistingstank (m³/dag) wordt vermenigvuldigd met een verblijftijd van 20 dagen volgt een effectief volume voor de vergistingstank (in m³). Vergeleken met de werkelijke bestaande grootte blijkt dan dat er in principe nog voor ongeveer 71.000 m³ aan vergistingsvolume is die kan worden gebruikt voor (co)vergisting van slib of andere organische reststoffen.

Mogelijk kan er nog extra capaciteit verkregen worden door het slib verder in te dikken, de grens hiervan wordt bepaald door de verpompbaarheid van het slib.

⁶ Cavitatie is een natuurkundig verschijnsel waarbij door een sterke snelheidstoename lage drukken worden opgewekt die vervolgens weer plotseling worden opgeheven. Dit opheffen gaat gepaard met implosies waarbij slibdeeltjes door de krachten worden verdeeld in kleinere deeltjes.

Vergisten van slib van andere RWZI's

In de vorige paragraaf is een beschikbare hoeveelheid aëroob slib bepaald van 165.000 ton d.s. per jaar, dus 352 ton d.s. per dag. Op basis van de 71.000 m³ nog beschikbaar vergisting-volume kan ongeveer 142 ton d.s. slib per dag extra verwerkt worden. Dit is circa 30% van het totale aanbod aan aëroob slib. Het potentieel aan biogas is ongeveer 8,3 miljoen m³ per jaar.

Vergisten organische reststoffen

De biogasproductie op een RWZI kan fors worden verhoogd door aan het slib organische reststromen toe te voegen zoals putvet en afvalstromen van de voedingsindustrie. Aangenomen wordt dat horeca putvet op dit moment het meest geschikte materiaal [5, 6] is. Het putvet wordt bijna geheel afgebroken en omgezet in biogas. De ontwaterbaarheid van het uitgeste slib kan veranderen, ondermeer afhankelijk van de verblijftijd en het aandeel putvet.

De economische haalbaarheid van covergisting is afhankelijk van de inkomsten door inname van de afvalstroom en de kosten van afvoer van slib. In de huidige situatie zijn de inkomsten laag, omdat organische afvalstromen tegen lage kosten kunnen worden afgezet in vergistinginstallaties in Duitsland⁷. Uit het oogpunt van energiebesparing door beperking van wegtransport is dat niet wenselijk en heeft verwerking in de eigen regio de voorkeur. Echter om organische reststromen te mogen verwerken, moet een RWZI een aangepaste vergunning (WM) hebben, die door de provincie wordt verstrekt.

Met de eerder bepaalde capaciteit van 71.000 m³ kan in theorie ongeveer 14.200 ton d.s. (100% droog) per jaar aan additioneel putvet vergist worden bij een gemiddelde verblijftijd van 20 dagen. Er is nog 100.000 tot 150.000 ton (6 tot 8% droog) aan putvet economisch beschikbaar in de markt [5,6]. Dit komt overeen met 6.000 tot 12.000 ton d.s. (100% droog). Al het putvet kan dus worden verwerkt door het potentieel aan nog beschikbare capaciteit. Met een biogasproductiefactor voor putvet van ongeveer 0,8 m³/kg d.s. putvet toegevoerd [4] betekent 12.000 ton d.s. een biogasproductiepotentieel van 9,6 miljoen m³ per jaar.

SLIB DESINTEGRATIE

Door de behandeling van een deelstroom van het slib bereikt men een betere afbraak van het organische materiaal in de vergister. Tijdens de desintegratie van het slib komt de celinhoud vrij, die het vergistingsproces bevordert. Desintegratie door cavitatie kan plaatsvinden door verschillende opties o.a.:

- ultrasoon geluid
- hydrodynamische opgewekte cavitatie

De praktijkervaringen met een aantal demonstratieprojecten in Duitsland met hydrodynamische opgewekte cavitatie komen op een gemiddelde extra slibreductie van 30% (volgens opgave leverancier [9]) en een verhoging van de biogasproductie met eenzelfde percentage. Het energieverbruik van de pompen is maar een fractie van het energieverbruik van de slib-desintegratie installatie. De plaatsing is betrekkelijk eenvoudig te realiseren ook in bestaande RWZI's. De installatie dient wel specifiek ontworpen te worden op de samenstelling van het slib van de betreffende RWZI om een optimaal resultaat te bereiken.

Indien de RWZI's met vergisting een techniek als hydrodynamische cavitatie of ultrasoon geluid zouden toepassen kan tot 30% meer biogas geproduceerd worden uit de bestaande hoeveelheid toegevoerd slib. Dit komt globaal overeen met ongeveer 22 miljoen werkelijke m³ extra biogas productie per jaar (toegevoerde hoeveelheid slib naar de vergistingtank is 225.000 ton d.s. per jaar).

⁷ Het ontwaterde slib kan in Duitsland goedkoper verwerkt worden door andere regelgeving.

3.2 MEER ELEKTRICITEIT UIT BIOGAS

RWZI's met vergisting kunnen ook meer duurzame energie produceren door het ontstane biogas beter te benutten. Mogelijkheden hiertoe zijn het:

- verlagen van biogas naar spui of fakkel
- verlagen van biogas naar de ketel
- vervangen van bestaande gasmotoren door efficiëntere gasmotoren
- vervangen van bestaande gasmotoren door brandstofcellen
- naschakelen van een Organic Rankine Cycle (ORC) aan bestaande gasmotoren

3.2.1 VERLAGEN BIOGAS NAAR SPUI OF FAKKEL

In hoofdstuk 2 is een toelichting gegeven op de redenen voor RWZI's om biogas te spuien of af te fakkelen. Dit kan worden verminderd door aanpassingen te maken zoals:

- het vergroten van de leidingcapaciteit
- de gasmotor los te koppelen van de blower of compressor en te koppelen aan een generator voor de productie van elektriciteit. De blower of compressor kan elektrisch worden aangedreven.
- het toepassen van biogasopslag

Momenteel gaat 6% van de huidige biogasproductie naar spui en/of fakkel, wat neer komt op ongeveer 5 miljoen m³ per jaar.

3.2.2 VERLAGEN VAN BIOGAS NAAR DE KETEL

Ongeveer 19% van de huidige biogasproductie wordt ingezet in een ketel. Redenen hiervoor zijn:

- biogas wordt ingezet voor ruimteverwarming in een cv-ketel en de gasmotor is niet nabij de gebouwen gelokaliseerd. Het biogas wordt in plaats van warmte getransporteerd naar de cv-ketel.
- op koude dagen stijgt de warmtevraag van de RWZI. Om aan de stijging in warmtevraag te kunnen voldoen wordt, naast inkoop van extra aardgas, het biogas ingezet in een cv-ketel. Immers de energie van elektriciteit wordt nu ook in warmte omgezet. (zie ook 3.3.1)

In principe zou dit biogas energie-efficiënter kunnen worden ingezet in een gasmotor. Het extra biogaspotentieel is bijna 16 miljoen m³ per jaar.

6.2.3 VERVANGEN BESTAANDE DOOR MODERNE GASMOTOREN

Biogas uit RWZI's wordt al geruime tijd benut voor opwekking van groene stroom met behulp van gasmotoren, die een generator aandrijven of direct een luchtblower. Bij een groot deel van de RWZI's zijn de gasmotoren al vrij oud. In sommige gevallen zijn de motoren zelfs al zo'n twintig jaren in gebruik.

In deze afgelopen twintig jaar is de technologie van de gasmotoren sterk verbeterd. Door verhoging van de effectieve, gemiddelde druk in de cilinders, toepassing van turbochargers, introductie van de Millercyclus⁸ en elektronische besturing en bewaking heeft men het rendement van gasmotoren aanzienlijk verbeterd. Bij de huidige stand van de techniek kunnen gasmotoren tot 700 kWe⁹ een gemiddeld elektrisch rendement behalen van 39% voor biogas bedrijf voor motoren [10]. Vanaf 500 kW zijn er motoren met een rendement van meer dan 40% op de markt beschikbaar [10].

⁸ Aanpassing van de gasmotor: de expansieslag wordt langer en de compressieslag korter.

Dit leidt tot een efficiënter proces[2].

⁹ 700 kWe past bij een RWZI grootte van circa 230.000 i.e. en 5200 draaiuren. Het merendeel van de RWZI's is kleiner dan 230.000 i.e.

Naast verbetering van efficiency zijn er nu ook gasmotoren met een variabel toerental in de markt, waardoor in deellast kan worden geopereerd zonder rendementsverlies. Dit geeft mogelijk de gewenste flexibiliteit voor de RWZI gasmotoren.

Het gemiddelde elektrische rendement van gasmotoren bij RWZI's is vastgesteld op 28% (zie hoofdstuk 2). Vergeleken met een gemiddeld rendement van 39% bij nieuwe gasmotoren komt dit neer op een verschil van 11%. Dit laat zich vertalen in een additionele elektriciteitsproductie van 43 miljoen kWh per jaar¹⁰. Bijlage 3 geeft een nadere uitleg over de gasmotor.

3.2.4 VERVANGEN VAN BESTAANDE GASMOTOREN DOOR BRANDSTOFCELLEN

In de automobiel industrie is de aandacht bij de ontwikkelingen van brandstofcellen vooral gericht op de *Proton Exchange Membrane* (PEM) cel. De PEM cel levert geen rendementswinst op ten opzichte van de gasmotoren op biogas.

Voor stationaire toepassingen, zoals warmtekrachtkoppeling, zijn er ook ontwikkelaars die zich richten op de ontwikkeling van andere typen brandstofcellen. De *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC) is een brandstofcel voor stationaire toepassing. Deze brandstofcel heeft in tegenstelling tot de PEM cel geen externe reformer nodig om uit biogas of aardgas waterstofgas te bereiden. De MCFC met een elektrisch vermogen van 250 kW wordt al in een aantal projecten in Duitsland, VS en Japan getest. Het elektrische rendement is bijzonder hoog, 47% met aardgas als brandstof en zelfs iets hoger met biogas (doordat de aanwezige CO₂ in de brandstof gunstig werkt bij de chemische reactie in dit type brandstofcel). Het biogas moet wel zorgvuldig worden gereinigd alvorens het in de brandstofcel gebruikt kan worden. Een van de ontwikkelaars van dit type brandstofcel wil vanaf 2006 met serieproductie starten, nu wordt de brandstofcel nog in kleine aantallen gebouwd.

Vanwege de onzekerheden over levensduur, onderhoudskosten en investeringen van de brandstofcel wordt deze niet verder mee genomen in de economische berekeningen in het volgende hoofdstuk. Met een 8% verbetering van het elektrische rendement (47% t.o.v. de nu beste 39% van de gasmotor) is een extra potentieel van ongeveer 31 miljoen kWh mogelijk. Bijlage 3 geeft een nadere uitleg over de PEM en MCFC brandstofcellen.

3.2.5 NASCHAKELEN VAN EEN ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)

Bij gasmotoren komt bij de opwekking van elektriciteit warmte vrij in de vorm van koelwater van het motorblok, oliekoeler en intercooler en hete rookgassen. Deze warmte kan nuttig worden ingezet als proceswarmte, maar ook weer gebruikt worden om elektriciteit op te wekken. Stoomproductie met de warme rookgassen en het daarmee aandrijven van een stoomturbine (rankineproces) is met een gasmotor niet zo efficiënt doordat de temperatuur van de rookgassen van de gasmotor beperkt is (warmte uit motorblok, oliekoeler en intercooler kan helemaal niet gebruikt worden). Door in plaats van water een organische stof te gebruiken, die bij lagere temperatuur dan water verdampt, kan er voor grotere gasmotoren elektriciteit worden opgewekt uit de restwarmte. Een dergelijke Organische Rankine Cyclus (ORC) wordt al door enkele bedrijven op de markt gebracht voor toepassing in biomassacentrales en geothermiecentrales en voor benutting van afvalwarmte in de industrie.

Bij naschakeling van een ORC achter een gasmotor met een vermogen van 1500 kW_e levert deze ORC nog 120 tot 150 kW_e extra vermogen zonder dat er extra biogas wordt verbruikt. Dat betekent een rendementsverbetering van ca. 8 tot 10%¹¹. Er zijn fabrikanten die een ORC module op basis van standaardcomponenten van koelmachines ontwikkelen, waardoor de verwachte kostprijs (schaalvoordeel) relatief laag is. In de Verenigde Staten heeft men een proefproject gerealiseerd op een afvalstort.

¹⁰ Bij de inzet van 63 miljoen m³ biogas (75% van het totaal) in de WKK.

¹¹ Rendement is hier gedefinieerd als de elektriciteit uit de ORC 'gedeeld door' de ingaande thermische energie in de ORC.

Momenteel is een minimale gasmotor grootte van 1200 kWe nodig om een ORC van 100 kW_e aan te drijven. Dit is mogelijk bij een RWZI vanaf een grootte van ongeveer 425.000 i.e. Nederland heeft 5 RWZI's die hier aan voordoen (5% van het totaal). Als 75% van het geproduceerde biogas van deze RWZI's wordt ingezet in gasmotoren met nageschakelde ORC-modules, dan kan nog eens 3 miljoen kWh aan elektriciteit worden geproduceerd. Bijlage 3 geeft een nadere uitleg over de ORC.

3.3 VERHOOGDE WARMTEBENUTTING UIT BIOGAS

Naast een verhoogde biogasproductie of meer elektriciteit uit de bestaande biogashoeveelheid kan het biogas ook nog beter ingezet worden door de warmte die vrijkomt bij de omzetting ervan beter te benutten.

Het grootste deel van de warmte, geproduceerd met biogas, wordt gebruikt als proceswarmte voor de vergister. Bij vergistinginstallaties is er vaak maar weinig aandacht is voor warmteterugwinning. Zelfs met deze beperkte aandacht voor warmteterugwinning is de warmteproductie met biogas in potentie voldoende om op de locatie aan de warmtevraag (verwarmen vergistingstank, gebouwen, e.d.) te voldoen, met uitzondering van koudeperioden in de wintermaanden.

Het kan lonen om een van de volgende mogelijkheden nader te onderzoeken:

- Reductie & benutting warmte op locatie
- Biogas of warmte transport naar derden
- Biogasproductie op wijkniveau

3.3.1 REDUCTIE EN BENUTTING WARMTE OP LOCATIE

De warmtevraag op een RWZI's met slibgisting wordt ondermeer bepaald door:

- Verwarming van gebouwen en kantoren
- De warmtevraag voor het vergistingproces. Het te vergisten slib moet worden verwarmd naar een temperatuur van tussen de 30 en 35°C.

De huidige biogasproductie voorziet voor $\pm 90\%$ in de warmtevraag van de RWZI.

Momenteel koelt het slib na vergisting af. De warmtevraag van het nog te vergisten slib is te reduceren door het aangevoerde slib op te warmen met het vergiste slib. De motivatie om deze warmte te reduceren is laag, omdat op dagen dat de temperatuur hoger is dan $\pm 10^\circ\text{C}$ er in de huidige situatie een warmteoverschot is.

Gezien het lage temperatuurniveau van de warmtevraag zou ook een (elektrische) warmtepomp kunnen voorzien in de warmtevraag van de RWZI.

De warmtepomp levert een zeer hoog energetisch rendement, wanneer er lage temperaturen nodig zijn zoals bij slibgisting. Een warmtepomp maakt gebruik van omgevingswarmte die kan worden onttrokken uit de bodem, maar ook uit het effluent van de RWZI. Gebruik van effluent als warmtebron voor een warmtepomp wordt al toegepast voor de gebouwverwarming van het hoofdkantoor van Waterschap Veluwe in Apeldoorn. Een dergelijke warmtepomp levert per kWh aandrijfenergie ongeveer 5 kWh aan warmte op. Bijlage 3 geeft een nadere uitleg over de warmtepomp.

De omschakeling naar een elektrische warmtepomp kan ook financieel gunstig zijn door de liberalisatie van de aardgasmarkt. De kosten voor aardgasgebruikers zijn dan zeer sterk afhankelijk van de bedrijfstijd. Doordat RWZI's door hun aardgasverbruik pieken hebben op extreem dure momenten in de winter, zal de prijs voor aardgas aanzienlijk stijgen t.o.v. de oude situatie.

Door het relatief constante elektriciteitsverbruik van een RWZI kan voor de warmtepomp een gunstige elektriciteitsprijs worden gerealiseerd. Het afnamepatroon voor elektriciteit wordt ook gunstiger als er geen stroom op de RWZI zelf wordt opgewekt.

Een resultaat van warmteterugwinning en toepassen van een warmtepomp is dat er een overschot is van biogas op de RWZI-locatie. Dit overschot kan vervolgens op een energie efficiënte manier worden ingezet door:

- Elektriciteitsproductie en transport van warmte naar derden
- Transport naar derden.

6.3.2 WARMTE- OF BIOGASTRANSPORT NAAR DERDEN

Zoals in de vorige paragraaf aangegeven ontstaat er door warmtevraagreductie een warmteoverschot en mogelijk wanneer de resterende warmtevraag wordt ingevuld met warmtepompen een biogasoverproductie.

Een mogelijke oplossing is de warmte te transporteren naar derden. Een praktijkvoorbeeld is de RWZI van Wetterskip Fryslân in Leeuwarden [17]. Echter het aanleggen van dubbele (heen en retour) geïsoleerde warmteleidingen naar de dichtstbijzijnde warmtegebruikers is zelden economisch rendabel. Beter haalbaar is de aanleg van een enkele ongeïsoleerde gasleiding naar een locatie, waar de warmte van de wkk optimaal kan worden benut. De gasmotoren worden dan bij de afnemer(s) van warmte gesitueerd en het gas wordt via de leiding naar de wkk getransporteerd. Voor transport door een terreinleiding moet het biogas enigszins ontvochtigd worden om te voorkomen dat er water in de leiding wordt gevormd.

In totaal is de huidige warmtevraag van RWZI's 1250 miljoen MJ (totale warmte productie met WKK & ketel uit aardgas en biogas). Onderzocht moet worden hoeveel warmte er exact bespaard kan worden.

Stel dat er een 10% warmtevraag reductie wordt gerealiseerd en alle biogas naar een locatie wordt getransporteerd waar de warmte optimaal kan worden ingezet. De warmtevraag op de RWZI wordt ingevuld door een warmtepomp.

- Reductie aardgasinkoop RWZI's met 6 miljoen m³ aardgasinkoop
- Toename elektriciteitsvraag ten gevolge van warmtepomp en vervangen elektriciteitsproductie RWZI: ongeveer 62 miljoen kWh
- Energiebesparing door efficiëntere inzet warmte uit biogas: 57 miljoen m³ aardgasbesparing

3.3.3 BIOGASPRODUCTIE OP WIJKNIVEAU

Zoals is besproken in hoofdstuk 2 is het specifieke biogasproductiepotentieel niet altijd aantrekkelijk. In Schoonebeek gaat men een experiment uitvoeren om de productie van biogas te maximaliseren. Hier wordt een aparte miniwaterzuivering aangelegd voor een woonwijk. De riolering wordt opgesplitst in twee systemen: een toiletwatersysteem en een overig systeem. Het toiletwater wordt rechtstreeks aan een vergister toegevoerd. Deze stroom wordt verrijkt met organisch materiaal, doordat men groente- en fruitafval ook afvoert via dit systeem. Het groente- en fruitafval levert extra biogas op. Bij de conventionele compostering van gft is dat niet het geval, maar wordt het organische materiaal in het composteringsproces geoxideerd.

Als het experiment in de wijk Stroomdal in Schoonebeek goed verloopt, dan is dit concept naar verwachting toepasbaar voor nieuwe woonwijken met enkele duizenden woningen.

3.4 TECHNISCH BIOGASPOTENTIEEL

Tabel 3.1 toont de maximum biogasproductie bij RWZI's op basis van de huidige biogasproductie en de in paragraaf 3.1 tot en met 3.3 genoemde verbeteropties.

TABEL 3.1 MAXIMUM POTENTIEEL AAN BIOGASPRODUCTIE BIJ RWZI'S

	Volume	biogas
Huidig biogas naar wkk (75% van totale productie)	63	miljoen m ³
Huidig biogas naar CV (19% van totale biogasproductie)	16	miljoen m ³
Huidig biogas naar fakkels/spui (6% van totale biogasproductie)	5	miljoen m ³
Benutting huidige vergistingcapaciteit (zie ook paragraaf 3.1.2) ¹²	10	miljoen m ³
Investeren in extra vergistingcapaciteit voor vergisten slib	26	miljoen m ³
Desintegratie slib	28	miljoen m ³
Totaal	148	miljoen m³

Het potentieel voor uitbreiding bedraagt dus 64 miljoen m³ waarmee de totale potentiële productie op 148 miljoen m³ uitkomt. Potentieel is er dus ongeveer 75% meer biogas te produceren dan nu wordt gedaan. Het huidige potentieel dat naar een warmte/kracht gaat is met 63 miljoen m³, dus maar 42% van het maximaal mogelijke biogaspotentieel.

Tabel 3.2 toont het potentieel aan elektriciteitsproductie met dit biogas en de bijbehorende CO₂ emissiereductie. De CO₂ emissiereductie is berekend ten opzichte van een centraal (huidig) rendement van 42% op basis van brandstofmix én een centraal (toekomstig) rendement van 55% op basis van aardgas.

TABEL 3.2 MAXIMUM POTENTIEEL AAN DUURZAME ELEKTRICITEITSPRODUCTIE UIT BIOGAS BIJ RWZI'S

	Elektriciteitsproductie [miljoen kWh _e]	CO ₂ [in emissiereductie Mton]	
		η_e^{13} 42%	η_e^{13} 55%
Huidige biogas naar wkk (η_e^{13} gasmotor = 28%)	110	0,071	0,041
Extra door verbetering gasmotor ¹⁴	43	0,028	0,016
Extra door vervanging gasmotor door brandstofcel ¹⁵	31	0,020	0,012
Extra door naschakelen ORC	3	0,002	0,001
Extra door biogas CV en fakkels naar nieuwe gasmotor	51	0,033	0,019
Extra door benutting huidige vergistingcapaciteit	23	0,015	0,009
Extra door bouwen additionele vergistingcapaciteit	64	0,042	0,024
Extra door desintegratie slib	64	0,042	0,024
Totaal	389	0,253	0,146

Door verbeteringen in o.a. biogasbenutting, elektrisch rendement en biogasproductie kan de totale duurzame elektriciteitsproductie drie keer zo groot worden als de huidige productie. De extra elektriciteitsopbrengsten door verbeteringen (279 miljoen kWh_e) bedragen ongeveer de helft van de huidige hoeveelheid elektriciteit die wordt ingekocht via het net (547 miljoen kWh_e).

¹² Uitgangspunt is dat de resterende vergistingcapaciteit volledig wordt ingevuld met covergisting van andere organische reststoffen (bijvoorbeeld horeca putvet). Wanneer de resterende vergistingcapaciteit zou worden ingevuld met slib covergisting zou de extra biogasproductie 8 miljoen m³ zijn. Deze 8 miljoen zit nu in de 26 miljoen m³ aan extra vergistingcapaciteit voor covergisten slib.

¹³ Elektrisch rendement

¹⁴ Voor 63 miljoen m³ biogas verbeterd het elektrische rendement van de gasmotor van 28% naar 39%

¹⁵ Voor 63 miljoen m³ biogas verbeterd het elektrische rendement van de gasmotor met 39% naar 47% van een brandstofcel

Daarnaast kan de warmte van de warmte/kracht-installatie beter benut worden. Tabel 3.3 schetst de situatie uit paragraaf 3.3 met een warmtevraagreductie van 10% op de RWZI en biogastransport naar een derde partij voor de optimale warmtebenutting (de energiebesparing door elektriciteitsproductie is weergegeven in tabel 3.2 en daar verandert niets aan).

TABEL 3.3

ENERGIEBESPARING DOOR WARMTEBENUTTING

	Aardgas Miljoen m ³ a.e. ¹⁶	Elektriciteit [miljoen kWhe]	CO ₂ [in emissiereductie Mton]	
			ηe 42%	ηe 55%
Benutting warmte uit biogas	57,6		0,103	0,103
Reductie warmtevraag RWZI, vermindering aardgasinkoop	6,0		0,011	0,011
Extra inkoop elektriciteit voor warmtepomp		-62,5	-0,041	-0,023
Totaal			0,073	0,090

In het ideale geval is dus technisch een jaarlijkse CO₂ emissiereductie van 0,33 Mton door biogasproductie bij RWZI's mogelijk. Een beschrijving van de economische haalbaarheid wordt gegeven in hoofdstuk 4.

¹⁶ a.e. = aardgas equivalent. Hier is het biogaspotentieel met een thermisch rendement van 55% en een verbrandingswaarde van 22,4 MJ/m³ van het biogas omgerekend naar MJ warmtevraag. De hoeveelheid aardgas nodig om aan deze warmtevraag te voldoen is berekend met 100% thermisch rendement en een verbrandingswaarde van 31,65 MJ/m³ aardgas.

4

ECONOMISCH BIOGASPOTENTIEEL

In dit hoofdstuk worden een aantal mogelijkheden uit hoofdstuk 3 nader onderzocht op hun economische potentieel.

4.1 BEREKENINGSMETHODIEK

Een groot aantal van de in het vorige hoofdstuk aangegeven mogelijkheden tot vergroten van het potentieel aan duurzame energie worden in dit hoofdstuk geanalyseerd op hun economische haalbaarheid. De methode om dit te doen bestaat uit het opzetten en uitvoeren van een reeks rentabiliteitsberekeningen om te zien of de vereiste investeringen rendabel blijken als ze worden afgezet tegen de meeropbrengsten door b.v. meer elektriciteit, een verminderde gas inkoop of een meer inkomen uit meer biogas.

Deze studie gaat uit van twee referentiesituaties, met en zonder vergistingsfaciliteiten. De rentabiliteit van verbetermogelijkheden ten opzichte van de referentiesituatie worden beschreven en berekend in de scenario's. De rentabiliteit wordt uitgedrukt in een terugverdientijd, netto contante waarde en interne rentevoet.

4.2 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN HAALBAARHEIDSBEREKENINGEN

Een aantal algemene uitgangspunten zijn weergegeven in tabel 4.1.

TABEL 4.1 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN HAALBAARHEIDSBEREKENINGEN

Item	Waarde	Eenheid	Referentie
Afschrijvingstermijn civiele constructies	30	jaar	
Afschrijvingstermijn werktuigbouwkundige en elektrische constructies	10	jaar	
Verdisconteringsvoet	8	%	
Verbrandingswaarde biogas / aardgas	22,4 / 31,65	MJ/m ³	[16] / [11]
Leveringsprijs aardgas	12,5	€ct/m ³	
MEP subsidie biogas uit RWZI's	0,0	€ct/kWh	[12]
Inkoopsprijs elektriciteit in piek ¹⁷	5,2	€ct/kWh	
Inkoopsprijs elektriciteit in daluren ¹⁴	2,5	€ct/kWh	
Verkoopsprijs elektriciteit in piek ⁹	4,68	€ct/kWh	
Verkoopsprijs elektriciteit in daluren ⁹	2,13	€ct/kWh	
Percentage piek/dal levering elektriciteit	50 / 50	%	
Verwerkingskosten uitgegist slib (ontwateren, transport en afzet)	547	/ton	[18]
Bedrijfstijd WKK	5200	uur	[1]
BTW op de investering	19	%	
Personeelskosten	-18	€/FTE	

Investeringen worden, in tegenstelling tot de voor waterschappen gebruikelijke lineaire afschrijving, met een annuïteit afgeschreven. Investeringen zijn zo veel mogelijk 'turn-key'

¹⁷ Dit is exclusief transport en BTW.

¹⁸ Er is verondersteld dat er geen significante wijzigingen zijn in de personeelsbezetting ten gevolge van de scenario's.

bepaald. Dit wil zeggen dat voor de genoemde investering alle apparatuur geleverd, geplaatst en in bedrijf genomen wordt. Eventuele kosten voor projectmanagement (aankoop van grond, vergunningen, e.d.) zijn geraamd op 10% van de investeringen.

4.3 DE KOSTPRIJS VAN BIOGAS

Om bij de scenario's te kunnen inzoomen op het effect van de beschreven verandering, en deze los te koppelen van de investering in de biogasfaciliteiten, wordt in deze paragraaf de biogaskostprijs berekend. Deze biogaskostprijs is een weergave van de kosten voor de productie van biogas, die zowel de investeringen (afschrijving van civiele constructies) als de variabele kosten/baten omvat.

4.3.1 PRIJSBEREKENING

De biogaskostprijs berekening gaat uit van een RWZI die nog geen biogas produceert (of een RWZI die moet herinvesteren in een vergistinginstallatie). Om het aërobe slib om te zetten in biogas met een kwaliteit geschikt voor gebruik in een gasmotor zijn de volgende investeringen noodzakelijk:

- voorbezinktank (alleen in geval van primair slib vergisting bij hoogbelaste installaties)
- slibvoorindikker
- vergistingstank
- gasbehandelingsapparatuur
- fakkelinstallatie

De WKK, ketel en uitgestit slibindikker zijn hier expliciet niet meegenomen, omdat alleen wordt gekeken naar de kosten om biogas van de gegeven kwaliteit te kunnen produceren en te vernietigen als dat operationeel vereist is (b.v. bij storingen). De gebruikskosten voor de benodigde warmte¹⁹ en elektriciteit voor de vergistingstank zijn wel meegenomen. Voor de H₂S verwijdering is, vanwege de capaciteit van de gasbehandelingsinstallatie, uitgegaan van een maximum van 1000 ppm in de ingaande biogasstroom [5]. Met een 90% verwijdering [8] bevat de uitgaande gasstroom minder dan 100 ppm H₂S. Dit is voldoende voor gasmotoren waar de maximale concentratie is bepaald op 500 ppm [3]. In tabel 4.2 wordt een overzicht gegeven van de benodigde investeringskosten voor de verschillende apparatuur voor een RWZI met een verwerkingscapaciteit van 100.000 i.e. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen hoog- en laagbelaste RWZI installaties.

TABEL 4.2 BENODIGDE INVESTERINGEN VOOR HET PRODUCEREN VAN BIOGAS

Apparatuur	Toelichting	Laagbelast - Investing (€)	Hoogbelast - investering (€)	Referentie
Voorbezinktank ²⁰		0	1.500.000 (circa)	[13]
Slibvoorindikker ²¹	Dikt slib in tot 4%	300.000 (circa)	300.000 (circa)	[13]
Vergistingstank	incl. roerwerk, slibverwarming, regelapparatuur	1.900.000 (circa)	1.900.000 (circa)	[13]
Gasbehandeling ²²	H ₂ S, water en stof verwijdering	27.000 (circa)	27.000 (circa)	[8]
Fakkelinstallatie	Transport, plaatsing en ingebruikname	17.750 (circa)	17.750 (circa)	[14]

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de kosten en baten voor het produceren van biogas.

¹⁹ De warmte voor de vergistingstank wordt verondersteld te worden geleverd door een al bestaande cv-ketel gestookt op biogas uit de vergister. Voor de berekening van de warmtevraag is uitgegaan van een geheel betonnen vergistingstank met wanden van 200 mm en een vloer en dak van 300 mm. Het geheel is niet geïsoleerd [13].

²⁰ Bij het ontwerp van de voorbezinktank is uitgegaan van een belasting van 1 m³/m²/uur [13]

²¹ Bij het ontwerp van de slibvoorindikker is uitgegaan van een oppervlaktebelasting van 50 kg d.s./m²/dag [13].

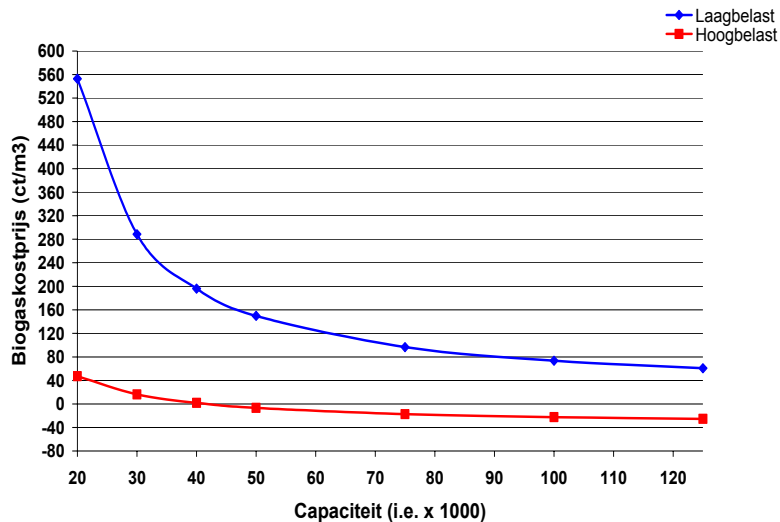
²² Er is gekozen voor een biogas droger met H₂S verwijdering op basis van een direct contact condensator [8].

TABEL 4.3 KOSTEN EN BATEN VOOR HET PRODUCEREN VAN BIOGAS VOOR HOOG- EN LAAGBELASTE INSTALLATIES

Apparatuur	Item	Laagbelast – Kosten (€/jaar)	Hoogbelast - Kosten (€/jaar)	Laagbelast - Baten (€/jaar)	Hoogbelast - Baten (€/jaar)	Referentie
Vergistingstank	Rondpompsysteem ²³	2.660	2.660			[13]
Gasbehandeling	Natronloog dosering	400	870			[8]
Slibverwerking				168.000	440.000	[18]

Door de geannuïeerde investeringen te corrigeren voor de jaarlijkse kosten en baten volgt een jaarlijks bedrag. Als deze wordt gedeeld door de biogasproductie volgt de kostprijs van het biogas zoals weergegeven in figuur 4.1.

FIGUUR 4.1 BIOGASKOSTPRIJS ALS FUNCTIE VAN CAPACITEIT RWZI



Uit figuur 4.1 blijkt dat voor laagbelaste RWZI's de kostprijs van biogas voor zowel grote als kleine RWZI's ruim boven die van aardgas ligt (~ 12,5 €/m³). Bij een hoogbelaste RWZI wordt de biogaskostprijs concurrerend met aardgas vanaf circa 35.000 i.e. Vanaf 40.000 i.e. is de verwachting dat de baten van een vergistinginstallatie de kosten voor de bouw en operatie ervan overstijgen (bij hoogbelaste installaties). De kostprijs van het biogas wordt daarmee kleiner of gelijk aan 0,0 €/m³ biogas, wat betekent dat alleen al de productie van biogas geld oplevert.

Voor de komende scenario's wordt gerekend met een biogasprijs 'om niet' (0,0 €/m³) om alleen het effect van de verandering in het betreffende scenario te laten zien. Afhankelijk van de aannamen (grootte en belasting) in het betreffende scenario kan met behulp van bovenstaande grafiek worden aangegeven of het resultaat positiever dan wel negatiever zal uitpakken.

4.4 RWZI ZONDER VERGISTING FACILITEITEN

In deze paragraaf onderzoeken we de mogelijkheid voor RWZI's om zelf te investeren in biogasfaciliteiten. Deze situatie vertegenwoordigt ruim 45% van de huidige verwerkingscapaciteit (in i.e.'s) in Nederland. De RWZI zonder vergistingfaciliteiten heeft geen WKK, ketel, gasbehandelings-faciliteiten of fakkels.

²³ De elektriciteitsbehoefte voor het rondpompsysteem is gebaseerd op pompen olopend van 2 kWe voor een 100 m³ vergistingstank tot 4,5 kWe voor een 1976 m³ vergistingstank [13]. Hiertussen is, met instemming van [13], lineair geïnterpoleerd.

Op basis van de berekende gemiddelde capaciteit in hoofdstuk 2 zou 40.000 i.e. een goede basis zijn voor een referentie RWZI waar nu nog geen vergistingsfaciliteiten zijn en waar men dat wel zou kunnen gaan toepassen. Op aangeven van de waterschappen is er gekozen voor een verwerkingscapaciteit groter dan 50.000 i.e. omdat, volgens de waterschappen, vele kleine RWZI's (40.000 i.e. en kleiner) vaak onbemand en/of om andere praktische redenen niet zouden investeren in vergisting.

Typische elektriciteitsverbruiken van RWZI's zonder vergisting zijn 1470 (bij 50.000 i.e.) en 2840 (bij 100.000 i.e.) MWh per jaar en wordt verondersteld te worden ingekocht via het openbare net. Er wordt aardgas ingekocht voor gebouwverwarming ter grootte van resp. gemiddeld 6.400 en 10.600 m³.

De hoeveelheid te verwachten uitgegiste slib die uit het zuiveringsproces wordt geproduceerd is bepaald op resp. 370 en 730 ton d.s. per jaar. Deze wordt verondersteld te worden ontwaterd op de RWZI locatie alvorens het ontwaterde en uitgegiste slib wordt afgevoerd naar een andere locatie voor verdere verwerking (b.v. verbranding).

4.4.1 ZELF BIOGAS PRODUCEREN UIT NOG NIET VERGIST RWZI SLIB (SCENARIO 1)

In dit scenario wordt gekeken naar de mogelijkheid biogas te produceren uit nog niet vergist RWZI slib. Hiervoor zijn nodig een vergistingstank, gasbehandelingsapparatuur, fakkels en WKK. Alle investeringen, behalve de gasmotor, zijn weergegeven in tabel 4.2. De kosten van de gasmotor staat in Tabel 4.4.

TABEL 4.4 INVESTERINGEN EN KOSTEN VOOR BIOGASPRODUCTIE

Apparatuur	Inclusief	Kosten (bij 50.000 i.e.)	Kosten (bij 100.000 i.e.)	Eenheid	Referentie
Gasmotor	Investering	128.000	222.000	€	[7]
	Onderhoud	1,96	1,79	€/kWh	[7]

4.5 RWZI MET VERGISTING FACILITEITEN

55% van de huidige RWZI's (in i.e.'s) in Nederland zijn voorzien van vergistingsfaciliteiten. Deze RWZI hebben een vergistingstank, gasbehandelingsfaciliteiten, fakkels, WKK (gasmotor) en ketel.

Op basis van de statistieken uit hoofdstuk 2 is voor de referentiesituatie voor RWZI's met vergistingsfaciliteiten een vergistingscapaciteit van 100.000 i.e. geselecteerd. Vanuit de hoeveelheid te verwachten slib die uit het (hoogbelaste) zuiveringsproces wordt geproduceerd wordt in de vergister gemiddeld 680.000 m³ biogas per jaar geproduceerd. Dit biogas wordt behandeld en voor 75% gebruikt in de WKK en 19% in de ketel (ter verwarming van de vergistingstank). De resterende 5% wordt afgefakkeld ten gevolge van opstart en operationele storingen. Om ook warmte te kunnen leveren als de WKK buiten bedrijf is en in geval van koude perioden wordt verondersteld dat de aardgasinkoop gemiddeld 10% [1] van de biogasproductie bedraagt (68.000 m³ aardgas). Het aardgas wordt voor 42% ingezet in de WKK en voor 58% in de ketel.

Met een gemiddeld elektrisch rendement van 28% produceert de WKK gemiddeld 1075 MWh per jaar. Het totale elektriciteitsverbruik van de RWZI blijkt gemiddeld 2633 MWh per jaar te bedragen. De resterende 1558 MWh per jaar wordt verondersteld via het openbare net te worden ingekocht.

De uitgeste slib hoeveelheid bedraagt 981 ton d.s. per jaar. Deze wordt op de RWZI ontwaterd en afgevoerd voor verdere verwerking (b.v. verbranding).

4.5.1 VERGISTEN PUTVET (SCENARIO 2)

De benodigde investeringskosten voor de het desintegreren van slib door cavitatie staat weergegeven in Tabel 4.5.

TABEL 4.5 INVESTERINGEN EN KOSTEN VOOR SCENARIO 2

Item	Toelichting	Baten	Kosten	Eenheid	Referentie
Putvet	Tot 20% ingedikt	10		€/ton nat	[5]
	slibverwerking		547	€/ton d.s.	[1]
Bufferbak			129.000	€	[5]

Er wordt in dit scenario verondersteld dat de extra geproduceerde hoeveelheid biogas volledig toekomt aan de WKK voor elektriciteitsproductie. De extra geproduceerde elektriciteit wordt bespaard op de elektriciteitsinkoop. De extra geproduceerde hoeveelheid warmte wordt verondersteld niet te leiden tot een verminderde aardgasinkoop.

Voor een RWZI grootte van 100.000 i.e. is een vergister berekend ter grootte van 4235 m³. Uit [1] blijkt dat er gemiddeld 10% extra slibgistcapaciteit is. In dit scenario komt dit neer op 423 m³. De hoeveelheid putvet die dan jaarlijks kan worden vergist bedraagt 1030 ton d.s.

De productie van uitgeste slib vanuit putvet na de vergister wordt aangenomen op 20% van de ingaande hoeveelheid putvet [4]. Dit komt neer op 206 ton d.s. per jaar.

4.5.2 DESINTEGRATIE SLIB DOOR CAVITATIE (SCENARIO 3)

De benodigde investeringskosten voor het desintegreren van slib door cavitatie staat weergegeven in Tabel 4.6.

TABEL 4.6 INVESTERINGEN EN KOSTEN VOOR DESINTEGRATIE SLIB DOOR CAVITATIE

Apparaat	Inclusief	Kosten (bij 100.000 i.e.)	Eenheid	Referentie
Cavitatie	slibverwerking	547	€/ton d.s.	[1]
	Investering	125.000	€	[9]
	Onderhoud	4.800	€/jaar	[9]

Er wordt in dit scenario verondersteld dat de extra geproduceerde hoeveelheid (30%) biogas volledig toekomt aan de WKK voor elektriciteitsproductie. De extra geproduceerde elektriciteit wordt bespaard op de elektriciteitsinkoop. De extra geproduceerde hoeveelheid warmte wordt verondersteld niet te leiden tot een verminderde aardgasinkoop.

4.5.3 VERVANGEN BESTAANDE GASMOTOREN DOOR EFFICIËNTERE GASMOTOREN (SCENARIO 4)

In dit scenario wordt de oude gasmotor (elektrisch rendement 28%) vervangen door een moderne gasmotor met een elektrisch rendement van 39%. De investeringskosten in zo'n nieuwe gasmotor staan weergegeven in Tabel 4.7.

²⁴ De gasmotor heeft de volgende onderdelen:

Warmtekrachtmodule (gasmotorgeneratorset (400 V) + opgebouwde water waterwarmtewisselaars), besturing (incl. synchronisatie en netbewaking), ventilatie, rookgaskoeler (-180 °C), olie-installatie, schoorsteen circa 12 meter, generatorkabels 10 meter, 2e trap mengsel (tafel) koeler (indien noodzakelijk), uitlaatgeluiddemper(s). Bovenstaande is compleet geïnstalleerd in een gebouw, inclusief inbedrijfstelling met diverse losse componenten binnen een afstand van 10 meter van de module. De geluidafstraling van de tafelkoeler, ventilatie en rookgas is ca. 70 dB(A) op 1 meter van de bron [7].

TABEL 4.7 INVESTERINGEN EN KOSTEN VOOR SCENARIO 4

Apparatuur	Onderdeel	Kosten (bij 100.000 i.e.)	Eenheid	Referentie
Gasmotor ²⁴	Investering	222.000	€	[7]
	Onderhoud	1,79	€ct/kWh	[7]

De extra geproduceerde hoeveelheid elektriciteit wordt bespaard op de elektriciteitsinkoop.

4.5.4 VERLAGEN VAN BIOGAS NAAR FAKKEL (SCENARIO 5)

Er zijn verschillende oorzaken bekend waarom biogas gefakkeld wordt. Echter, in de verzamelde data van hoeveelheden gefakkeld biogas wordt geen verdeling gemaakt naar oorzaak. Hoe en wat te investeren is daarom moeilijk in te schatten en naar alle waarschijnlijkheid sterk locatie afhankelijk en niet verder als optie meegenomen. Zo zou in sommige gevallen kunnen worden volstaan met het loskoppelen van de gasmotor van de luchtblower en de aanschaf van een generator en elektromotor. In andere gevallen verdient het om additioneel hieraan de gehele WKK en luchtblower te vervangen. In weer andere gevallen kunnen de investeringen minimaal zijn b.v. door een andere regeling van de installatie.

4.6 RESULTATEN

4.6.1 RWZI'S ZONDER VERGISTINGFACILITEITEN

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de berekeningen zoals die in paragraaf 4.4. en 4.5. zijn opgesteld.

SCENARIO 1A: ZELF BIOGAS PRODUCEREN UIT NOG NIET VERGIST RWZI SLIB (50.000 I.E., LAAG BELAST)

TABEL 4.8 RESULTATEN ZELF BIOGAS PRODUCEREN UIT NOG NIET VERGIST RWZI SLIB

Kosten & Baten	50.000 i.e. laagbelast		
	Referentie	Scenario 1a	Verschil
Uitgegist slib verwerking en afzet	420.725	336.580	84.145
Aardgas – Inkoop	1.538	1.538	
Aardgas – Service	1.898	1.898	
Aardgas – Distributie	1.986	1.986	
Aardgas – Energiebelasting	870	870	
Elektriciteit – Net	30.138	27.027	3.111
Elektriciteit – Inkoop	64.680	54.155	10.525
Elektriciteit – Energiebelasting	10.551	8.996	1.555
Onderhoudskosten gasmotor, gasbehandelingsysteem	0	5.793	-5.793
Totaal opbrengsten (ex. BTW)			93.543
Totaal opbrengsten (incl. BTW)			111.316
Investeringen			
Vergister		1.131.101	
Slibvoorindikker		185.470	
Gasbehandelingsysteem		26.667	
Fakkelinstallatie		17.750	
Gasmotor		50.934	
Totaal investeringen (ex. BTW)			1.411.922
Totaal investeringen (incl. BTW en 10% projectmanagement)			1.848.206
Terugverdientijd		16,6	jaar
Netto contante waarde		-699.343	€
Interne rentevoet		1,84	%

Uit Tabel 4.8 blijkt dat het zelf investeren in vergisting & WKK door een 'kleinere' RWZI's, een terugverdientijd op te leveren van meer dan 10 jaar. Hoewel de besparingen op slibverwerking aanzienlijk zijn wegen deze toch niet op tegen de te maken investeringen.

Hoewel, volgens de waterschappen, veel RWZI's van deze grootte laagbelast zijn en hierdoor een lage specifieke biogasproductie hebben (0,16 m³ per kg d.s. slib aangevoerd), zijn er ook RWZI van deze grootte met een hogere specifieke biogasproductie. Deze productie is afhankelijk van de samenstelling van het beschikbare slib. Dit zal naar verwachting de terugverdientijd verkorten. Tabel 4.9 toont het effect voor een RWZI van 100.000 i.e.

SCENARIO 1B: ZELF BIOGAS PRODUCEREN UIT NOG NIET VERGIST RWZI SLIB (100.000 I.E.)

TABEL 4.9 RESULTATEN ZELF BIOGAS PRODUCEREN UIT NOG NIET VERGIST RWZI SLIB

Kosten & Baten	100.000 i.e. laagbelast slib			100.000i.e. hoogbelast slib		
	Referentie	Scenario 1b	Vershil	Referentie	Scenario1c	verschil
Uitgegiste slib verwerking en afzet	841.450	673.160	168.290	1.127.367	536.514	590.853
Aardgas – Inkoop	3.077	3.077	0	8.500	8.500	0
Aardgas – Service	3.796	3.796	0	10.500	10.500	0
Aardgas – Distributie	2.246	2.246	0	3.200	3.200	0
Aardgas – Energiebelasting	1.389	1.389	0	3.200	3.200	0
Elektriciteit – Net	57.788	51.245	6.543	57.788	38.748	19.040
Elektriciteit – Inkoop	124.960	102.661	22.299	124.960	59.685	65.275
Elektriciteit – Energiebelasting	19.456	16.162	3.294	19.456	9.813	9.643
Onderhoudskosten gasmotor, gasbehandelingsysteem	0	11.324	-11.324	0	28.284	-28.284
<i>Totaal opbrengsten (ex. BTW)</i>			<i>189.102</i>			<i>656.528</i>
<i>Totaal opbrengsten (incl. BTW)</i>			225.031			781.286
Investeringsen						
Vergister			1.896.082			2.416.000
Voorbezinktank						1.911.500
Slibvoorindikker			300.574			378.800
Gasbehandelingsysteem			27.602			30.900
Fakkelinstallatie			17.798			17.750
Gasmotor			97.693			228.500
Totaal investeringen (ex. BTW)			2.339.749			4.983.450
Totaal investeringen (incl. BTW en 10% projectmanagement)			3.062.732			6.523.282
Terugverdientijd		13,61	jaar		8,35	jaar
Netto contante waarde		-790.000	€		1.062.333	€
Interne rentevoet		3,98	%		10,29	%

Uit Tabel 4.9 blijkt dat zelf investeren in vergisting & WKK door de RWZI (100.000 i.e.) met een laag belast zuiveringsproces (0,16 m³ per kg d.s. slib aangevoerd) een terugverdientijd oplevert van meer dan 10 jaar. Hoewel de besparingen op slibverwerking aanzienlijk zijn wegen deze toch niet op tegen de te maken investeringen.

De extra biogas opbrengst bij RWZI's met een hoogbelast zuiveringsproces (en dezelfde verwerkingscapaciteit) levert een duidelijke economische verbetering op, de terugverdientijd wordt minder dan 10 jaar. Echter het aantal RWZI's met een hoogbelast zuiveringsproces zal de komende jaren als gevolg van effluenteisen afnemen.

4.6.2 RWZI'S MET VERGISTINGFACILITEITEN

Scenario 2: vergisten van putvet

TABEL 4.10 RESULTATEN SCENARIO 2

Onderdeel	Referentiesituatie (€)	Scenario 2 (€)	Vershil (€)
Uitgepaste slib verwerking en afzet	536.514	649.305	-112.791
Aardgas – Inkoop	8.145	8.145	0
Aardgas – Service	10.051	10.051	0
Aardgas – Distributie	3.102	3.102	0
Aardgas – Energiebelasting	5.088	5.088	0
Elektriciteit – Net	30.077	21.891	8.185
Elektriciteit – Inkoop	68.530	36.062	32.469
Elektriciteit – Energiebelasting	11.120	6.323	4.797
Putvet aankoop opbrengst	0	- 51.550	51.550
Totaal opbrengsten (ex. BTW)			- 15.790
Totaal opbrengsten (incl. BTW)			- 18.791
Investerings - buffertank (incl. BTW en 10% projectmanagement)		141.900	
Terugverdientijd		n.v.t.	jaar
Netto contante waarde		- 205.397	€
Interne rentevoet		n.v.t.	%

Uit Tabel 4.10 volgt dat het jaarlijks resultaat bij vergisten van putvet op 'grotere' RWZI's door de hoge slibverwerkingskosten negatief is. Dit betekent dat de investering met de huidige aanname niet kan worden terugverdiend. De situatie kan mogelijk nog verbeterd worden door niet uit te gaan van de bestaande gasmotor (circa 200 kWe), maar deze te vervangen door een nieuwe, grotere gasmotor die de extra hoeveelheid biogas kan omzetten in elektriciteit en warmte (zie ook scenario 4). In dit geval blijkt de terugverdientijd 11,7 jaar te zijn.

Daarnaast zal de terugverdientijd sterk verbeteren door de biogasprijs niet op 0 €/m³ te stellen maar uit te gaan van de in paragraaf 4.3 berekende biogaskostprijs. Bij de gegeven referentie, 100.000 i.e. en een hoog belaste installatie, levert dit door een toename van de jaarlijkse biogasproductie als gevolg van vergisting bijna € 150.000 op (825.000 m³ x 0.18 €/m³). Hierdoor wordt vergisten economisch zeer aantrekkelijk!

SCENARIO 3: DESINTEGRATIE VAN SLIB

TABEL 4.11

RESULTATEN SCENARIO 3

Onderdeel	Referentiesituatie (€)	Scenario 3 (€)	Vershil (€)
Uitgegjste slib verwerking en afzet	536.514	429.211	107.303
Aardgas – Inkoop	8.145	8.145	0
Aardgas – Service	10.051	10.051	0
Aardgas – Distributie	3.102	3.102	0
Aardgas – Energiebelasting	5.088	5.088	0
Elektriciteit – Net	30.077	27.123	2.954
Elektriciteit – Inkoop	68.530	56.817	11.713
Elektriciteit – Energiebelasting	11.120	9.389	1.730
Onderhoudskosten desintegratie	0	4.804	-4.804
Totaal opbrengsten (ex. BTW)			118.896
Totaal opbrengsten (incl. BTW)			141.487
Investeringsen - cavitatieapparatuur (incl. BTW en 10% projectmanagement)		137.486	
Terugverdientijd		0,97 jaar	
Netto contante waarde		497.915 €	
Interne rentevoet		102,82 %	

Uit Tabel 4.11 blijkt dat desintegreren van slib op 'grotere' RWZI's, economisch zeer aantrekkelijk is. Dit komt voornamelijk door de grote besparingen op het verwerken en afzetten van slib. Volgens opgave van de leverancier reduceert desintegratie de slibhoeveelheid met minstens 20% [9].

Het dient uitdrukkelijk te worden vermeld dat de genoemde investeringen zijn gebaseerd op een enkele leverancier en dat daarmee een aanzienlijke onzekerheid wordt geïntroduceerd. Het is niet de verwachting dat de optie van slib desintegratie hiermee economisch niet aantrekkelijk wordt, maar nader onderzoek is nodig om een betrouwbaarder beeld te verkrijgen over de vereiste investeringen en de terugverdientijd.

Ook hier, gelijk aan scenario 2, is de biogaskostprijs op 0 €/m³ gesteld. Wanneer wordt uitgegaan van de eerder berekende biogaskostprijs voor dit type RWZI, verbetert de economie.

SCENARIO 4: VERVANGEN BESTAANDE GASMOTOR DOOR EFFICIËNTERE GASMOTOR

TABEL 4.12

RESULTATEN SCENARIO 4

Onderdeel	Referentiesituatie (€)	Scenario 4 (€)	Vershil (€)
Uitgegiste slib verwerking en afzet	536.514	536.514	0
Aardgas – Inkoop	8.145	8.145	0
Aardgas – Service	10.051	10.051	0
Aardgas – Distributie	3.102	3.102	0
Aardgas – Energiebelasting	5.088	3.99	0
Elektriciteit – Net	30.077	25.027	5.049
Elektriciteit – Inkoop	68.530	51.158	17.372
Elektriciteit – Energiebelasting	11.120	8.553	2.566
Onderhoudskosten gasmotor	20.261	26.360 ²⁵	-6099
Totaal opbrengsten (ex. BTW)			18.888
Totaal opbrengsten (incl. BTW)			22.478
Investerings – gasmotor (incl. BTW en 10% projectmanagement)		245.091	
Terugverdientijd		10,90 jaar	
Netto contante waarde		-22.594 €	
Interne rentevoet		6,63 %	

Uit Tabel 4.12 lijkt scenario 4, het vervangen van de bestaande, goed werkende, gasmotor door een efficiëntere gasmotor op RWZI's, een terugverdientijd te hebben van circa 10 jaar. Dit is nog aanzienlijk. Wanneer echter de oude gasmotor nieuwe investeringen vraagt (geplande revisie of onverwacht groot onderhoud), verbeterd de terugverdientijd ten gunste van de nieuwe gasmotor en is investeren het overwegen waard.

²⁵ De onderhoudskosten zijn in deze situatie hoger dan in de referentiesituatie doordat het elektrisch vermogen van de gasmotor, door toename van het elektrisch rendement, is toegenomen. Bij dezelfde hoeveelheid biogas worden meer kWh-en geproduceerd. Hierdoor worden de onderhoudskosten, gedefinieerd in €/kWh, hoger.

5

OVERHEIDSBELEID & KNELPUNTEN

Dit hoofdstuk geeft een toelichting op het voor RWZI's met vergistingsinstallaties relevante (overheids)beleid.

5.1 VRIJSTELLING ENERGIEBELASTING

In de Wet Belasting op Milieugrondslag (WBM) wordt bepaald dat degene die energie levert aan de verbruiker belasting verschuldigd is. De energiebelastingtarieven zijn weergegeven in tabel 5.1 en 5.2.

TABEL 5.1 ENERGIEBELASTING OP AARDGAS VOOR 2004

Energiebelasting op aardgas voor 2004		
Ondergrens (m ³)	Bovengrens (m ³)	tarief in eurct/m ³
0	- 5.000	14,290
5.001	- 170.000	7,270
170.001	- 1.000.000	2,270
1.000.001	- 10.000.000	1,130
10.000.001	-	0,750

TABEL 5.2 ENERGIEBELASTING OP ELEKTRICITEIT VOOR 2004

Energiebelasting op elektriciteit voor 2004		
Ondergrens (kWh)	Bovengrens (kWh)	tarief in eurct/kWh
0	- 10.000	6,54
10.001	- 50.000	2,12
50.001	- 10.000.000	0,65
10.000.001	-	0,00

Het is in sommige gevallen mogelijk een vrijstelling te krijgen op de energiebelasting. Hieronder wordt dit nader toegelicht voor RWZI's. Vrijstelling loopt altijd óf via de energieleverancier óf via een teruggave van de Belastingdienst.

5.1.1 VRIJSTELLING ENERGIEBELASTING VOOR RWZI-BIOGAS

Wanneer het biogas uit de vergister op het RWZI terrein wordt toegepast, is hierover geen energiebelasting verschuldigd (WBM artikel 36c lid 5.c). Dus onafhankelijk van de toepassing van het biogas hoeft geen energiebelasting betaald te worden. Bij levering van biogas aan een naburig bedrijf geldt deze vrijstelling echter niet en dient de leverancier van het biogas belasting te heffen aan de eindgebruiker en deze af te dragen aan de belastingdienst.

5.1.2 VRIJSTELLING ENERGIEBELASTING AARDGAS VOOR WARMTE/KRACHT

Aardgas dat wordt ingezet voor de productie van elektriciteit, met een rendement hoger dan 30% en een vermogen groter dan 60kWe, is vrijgesteld van energiebelasting (WBM artikel 36k lid 1 + aanvullende ministeriële regelingen). Knelpunt voor huidige gasmotoren kan zijn

dat het gemiddelde elektrisch rendement te laag is. Wanneer een RWZI relatief veel aardgas in de warmte/kracht verstoekt kan dit een economisch motief zijn tot verbetering van het gasmotor rendement.

Wanneer een RWZI voldoet aan de genoemde eisen is het, in het huidige stimuleringsregime, economisch gunstig zoveel mogelijk van het ingekochte aardgas in de warmte/kracht om te zetten (zie ook paragraaf 5.3). Overigens wordt warmte niet verder genoemd in de WBM en zal hier dus ook geen belasting over verschuldigd zijn.

5.1.3 VRIJSTELLING ENERGIEBELASTING ELEKTRICITEIT UIT WARMTE/KRACHT

Het eigengebruik van elektriciteit opgewekt met hernieuwbare energiebronnen en/of door middel van een installatie voor warmtekrachtkoppeling is vrijgesteld van energiebelasting (WBM artikel 36c lid 5 a&d).

5.2 MEP REGELING VOOR DUURZAME ELEKTRICITEIT

5.2.1 HUIDIGE MEP

De productie van duurzame elektriciteit wordt in Nederland door het Ministerie van EZ gestimuleerd met de MEP-regeling (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie) [12]. Afhankelijk van de manier van elektriciteitsproductie ontvangt de producent gedurende 10 jaar²⁶ per geproduceerde kWh een bepaald bedrag. De MEP subsidie is ingesteld om de onrendabele top²⁷ voor duurzame elektriciteitsproductie weg te nemen. ECN heeft, in opdracht van EZ, een model opgesteld waarmee de onrendabele top kan worden berekend. Jaarlijks presenteren zij de uitgangspunten en resultaten van de berekening in een rapport. In het rapport *Technische en economische parameters van duurzame elektriciteitsopties 2006-2007* (juli 2004) worden de resultaten voor de tweede helft van 2006 en 2007 gepresenteerd [15].

Voor groene elektriciteit geproduceerd met biogas uit slibgisting op RWZI's en AWZI's, is het MEP-tarief op 0 €/kWh gesteld. Tabel 5.3 geeft de uitgangspunten op basis waarvan dit tarief voor RWZI's bepaald is [15].

TABEL 5.3 VERGELIJK UITGANGSPUNTEN MEP BEREKENING EN AANNAMEN IN DIT RAPPORT

Onderdeel	Eenheid	Advies MEP 2006-2007 [15]
Investeringskosten (energieopwekking & gasreiniging)	€/kWe	1675
Bedrijfstijd	uren/jaar	7000
Vaste O&M kosten	€/kWe	175
Variabele O&M kosten	€/kWe	n.v.t.
Energie-inhoud	MJ/m ³	22.0
Brandstofkosten	€/ton	0
Vermeden stroomkosten	€/kWe	8,0 (In bijlage 3,7)
Elektrisch rendement	%	35
Economische levensduur	jaar	10
Debt/equity ratio	-	80/20
Rente lening	%	5 ²⁸
Termijn lening	jaar	10
Return on equity	%	15
Energie Investeringsaftrek (EIA)	%	100 (van de investering)

²⁶ 10 jaar voor nieuwe installaties. Oudere installaties moeten een bewijs van ingebruikname tonen, de MEP subsidie wordt dan verstrekt over de nog resterende jaren. Een installatie die bijvoorbeeld per 1-1-1997 in gebruik genomen is, is in 2004 al 7 jaar in bedrijf. Deze installatie kan nog maar voor 3 jaar aanspraak maken op MEP.

²⁷ De onrendabele top is het verschil tussen de kostprijs en de marktprijs van elektriciteit.

²⁸ Na aftrek 1% in verband met voordeel groen beleggen [15].

De duurzame elektriciteit uit RWZI's en AWZI's ontvangen op basis van de huidige uitgangspunten dus geen MEP subsidie. Echter doordat de elektriciteit wel als erkende duurzame bron is opgenomen in de Elektriciteitswet, kan een RWZI bij Certiq wel de zogenoemde garanties van oorsprong (GVO) aanvragen. De waarde van de GVO wordt door de markt bepaald en wordt pas interessant wanneer de RWZI de elektriciteit wil verkopen aan derden. Zolang het MEP-tarief voor RWZI's op nul staat en de RWZI de elektriciteit zelf gebruikt, is het voor RWZI's niet zinvol veel verdere aandacht te besteden aan groencertificering. Het is mogelijk dat energiebedrijven geïnteresseerd zijn in de groene energie en gebruik willen maken van de groencertificaten van de RWZI's. De verwachting is dat door het wegvallen van de vraagsubsiëring van de afgelopen jaren, de prijs van groene stroom zal toenemen, waardoor de vraag van consumenten zal afnemen. Hoe een en ander precies zal uitwerken op de vraag naar groencertificaten van energiebedrijven zal moeten blijken.

5.2.2 MEP BEREKENINGEN O.B.V. DIT RAPPORT

Uit de eerdere scenarioberekeningen blijkt dat de economische rentabiliteit van slibgisting bij RWZI's sterk afhangt van:

- de grootte (verwerkingscapaciteit) van de RWZI, uitgedrukt in aantal i.e.
- biogasproductie per slibhoeveelheid, deze wordt sterk beïnvloed door het waterzuiveringsproces van de RWZI. Veel kleine RWZI's zijn laagbelast waardoor per hoeveelheid slib weinig biogas wordt geproduceerd. Ook bij grotere RWZI's is een trend waar te nemen naar lagere belasting als gevolg van strengere effluent-eisen.

Met deze achtergrond zijn 4 verschillende situaties in het onrendabele-top-model van ECN ingevoerd²⁹, namelijk:

- grote RWZI (100.000 i.e), hoog belast (0,16 m³ biogasproductie per kg d.s.)
- grote RWZI (100.000 i.e.), laag belast (0,33 m³ biogasproductie per kg d.s.)
- kleine RWZI (50.000 i.e.), hoog belast (0,16 m³ biogasproductie per kg d.s.)
- kleine RWZI (50.000 i.e.), laag belast (0,33 m³ biogasproductie per kg d.s.)

Afwijkende en/of aanvullende inputvariabelen, ten opzichte van de huidige uitgangspunten in tabel 5.3 zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 5.4 BIJZONDERE INPUT VARIABLEN MODEL

		50.000 i.e.; hoog belast	50.000 i.e.; laag belast	100.000 i.e.; hoog belast	100.000 i.e.; laag belast
Biogasprijs	[€/m ³]	-0,07	1,50	- 0,22	0,74
Gasmotor vermogen	[kWe]	145	50	290	100
Elektriciteitsproductie als vermeden inkoop	[%]	0	30	0	30
Investeringskosten	[€/kWe]	1.000	1.000	1.000	1.000
Vollast bedrijfstijd [uur]		5.200	5.200	5.200	5.200
EIA		Nee	Nee	Nee	nee
Onderhoudskosten	[€/kWh]	0,02	0,02	0,02	0,02
Marktprijs elektriciteit	[€/kWh]	0,07	0,07	0,07	0,07

Toelichting:

- Een belangrijke conclusie van dit rapport is dat de biogasprijs (zie paragraaf 4.3) sterk afhankelijk is van de grootte van de RWZI en de belasting van de waterzuivering. In de uitgangspunten van de huidige MEP is een biogasprijs van 0 €/m³ aangenomen. Grafiek

²⁹ Met dit model wordt de onrendabele top voor de MEP-subsidie bepaald

4.1 laat zien dat dit zeker niet geldt voor het potentieel dat nog ingevuld moet worden, de laagbelaste kleinere RWZI's.

- Het vermogen van de gasmotor is lager dan aangenomen in de MEP (en varieert per case). De invloed hiervan op het eindresultaat is echter gering door de aannamen dat in de onderzochte vermogensrange de investeringskosten per kW_e en de onderhoudskosten in euro/kW_e gelijk blijven.
- De investerings- en onderhoudskosten zijn lager dan in de uitgangspunten van de huidige MEP doordat de kosten van gasreiniging zijn verwerkt in de biogasprijs.
- Marktprijs vermeden inkoop is gesteld op 7 €/kWh. Op basis van gemiddelden klopt dit. Echter in werkelijkheid zal de prijs voor vermeden inkoop lager zijn doordat de elektriciteit in de hoge staffel zit van energiebelasting en een groot deel van de net/transportkosten niet variabel zijn (aansluiting blijft gelijk omdat in geval van storing van gasmotor wel de capaciteit nodig is).
- Waterschappen zijn niet vennootschapsbelastingplichtig en kunnen met die achtergrond geen gebruik maken van de EIA regeling.
- Niet alle met het biogas geproduceerde elektriciteit kan worden toegeschreven aan vermeden elektriciteitsinkoop doordat het gistingproces zelf ook elektriciteit verbruikt.
- De aardgasinkoop bij de RWZI's met vergisting neemt niet af, omdat door het gistingproces extra warmtevraag gecreëerd wordt. De inkomsten uit vermeden aardgasinkoop worden op nul gezet.

De berekeningsresultaten staan in onderstaande tabel.

TABEL 5.5

RESULTATEN BEREKENING MET MEP MODEL

	50.000 i.e.; hoog belast	50.000 i.e.; laag belast	100.000 i.e.; hoog belast	100.000 i.e.; laag belast
Onrendabele top i.g.v. biogasprijs = variabel	-3,9 €/kW _e	65,9 €/kW _e	-10,5 €/kW _e	32,3 €/kW _e
Onrendabele top i.g.v. biogasprijs = 0,00 €/m ³	-0,8 €/kW _e	-0,5 €/kW _e	-0,8 €/kW _e	-0,5 €/kW _e

Duidelijk wordt dat het nul tarief in de huidige MEP niet de situatie in de praktijk weerspiegelt. Hoewel de huidige grote hoogbelaste RWZI's inderdaad geen onrendabele top hebben, wordt door de biogasprijs op 0 te zetten het hele effect van grootte en belasting gemist. De resultaten bij een variabele biogasprijs laten zien dat:

- a. de verwerkingscapaciteit van de RWZI een grote invloed heeft op het economisch resultaat. Voor de hoogbelaste RWZI's ligt het omslagpunt van de onrendabele top (wel/niet rendabel) onder de 50.000 i.e. Dit wordt ook ondersteund door praktijkcijfers waaruit blijkt dat de laatste jaren voornamelijk het aantal kleinere (veelal hoogbelaste) RWZI's met slibgisting afneemt (ruim 1 miljoen i.e., ± 9% van het aantal verwerkte i.e.'s). Momenteel wordt nog ongeveer een zelfde hoeveelheid i.e.'s 'bedreigd' doordat ze een verwerkingscapaciteit kleiner of gelijk aan 50.000 i.e. hebben. Dit komt overeen met ongeveer 1 miljoen m³ biogas.
- b. slibgisting bij laagbelaste RWZI's, zowel groot als klein, is niet rendabel. Dit betekent dat het lastig wordt om het potentieel aan biogasproductie door het vergisten van nog niet vergist slib te realiseren. Hiermee vervalt een potentieel van 26 miljoen m³ biogas (± 30% van de huidige biogasproductie).

Als gevolg van een trend naar strengere effluenteisen voor stikstof zal, naar verwachting, het percentage laagbelaste RWZI's toenemen. Wanneer deze RWZI's door veroudering en/of andere oorzaken herinvestering in de vergistinginstallatie moeten overwegen, zullen zij momenteel waarschijnlijk niet (her)investeren.

Gezien de resultaten van de onrendabele top berekening wordt een MEP ondersteuning voor RWZI's aanbevolen, om de huidige biogasproductie op peil te houden én het potentieel aan biogas te benutten. 'Freeriding' van bestaande economisch renderende installaties moet worden onderzocht, maar is naar verwachting beperkt doordat veel vergistinginstallaties ouder zijn dan 10 jaar (en dus geen aanspraak meer kunnen doen op de MEP).

5.3 INTERACTIE TUSSEN OVERHEIDSBELEID

Zolang het MEP-tarief voor elektriciteit uit RWZI's nul is, is het economisch het meest rendabel al het aardgas in de warmte/kracht om te zetten. Het aardgas dat in de warmte/kracht wordt toegepast is namelijk, wanneer de warmte/kracht voldoet aan de in paragraaf 5.1.2 genoemde voorwaarden, vrijgesteld van energiebelasting op het aardgas.

Zodra er een positief MEP-tarief komt voor elektriciteit uit RWZI's, zal het al snel gunstiger zijn het biogas om te zetten tot elektriciteit in een warmte/kracht-installatie.

6

CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

Feiten en trends voor het duurzame energiepotentieel bij RWZI's

Van de 389 RWZI's in Nederland hebben er 104 vergistingfaciliteiten, wat meer is dan 50% is van de totale Nederlandse verwerkingscapaciteit [in i.e.]. Het aantal (vooral kleinere) RWZI's en daarmee de verwerkingscapaciteit is de laatste jaren wel afgenomen.

In totaal produceren de RWZI's jaarlijks nu al ongeveer 84 miljoen m³ biogas³⁰ en 110 miljoen kWh elektriciteit. Er zijn verschillende mogelijkheden, waardoor de totale duurzame energie bijdrage van RWZI's kan worden vergroten:

- vergroten biogasproductie
- betere benutting biogas door meer duurzame elektriciteitsproductie
- betere benutting door meer nuttig warmtegebruik

Door vergisten van (laagbelast) slib met ander organisch materiaal en desintegratie van slib (hogere omzetting) kan de biogasproductie toenemen tot 148 miljoen m³ biogas. Het potentieel voor uitbreiding bedraagt hierbij 64 miljoen m³. Potentieel is er dus ongeveer 75% meer biogas te produceren dan nu wordt gedaan. Het huidige potentieel dat naar een warmte/kracht gaat is met 63 miljoen m³, dus maar 42% van het maximaal mogelijke biogaspotentieel.

Door ouderdom en bedrijfsvoering in deellast is het elektrische rendement van de gasmotoren bij de RWZI's momenteel lager dan 30%. Met nieuwe gasmotoren kan dit rendement worden verbeterd tot 39% en in de toekomst met andere technologieën tot zelfs 47%. Door de totale biogasproductie (148 miljoen m³) in nieuwe gasmotoren om te zetten naar elektriciteit *verdrivoudigd* de elektriciteitsproductie tot 389 miljoen kWh_e en wordt de CO₂ emissie met eenzelfde omvang gereduceerd. De extra elektriciteitsopbrengsten door verbeteringen (279 miljoen kWh_e) bedragen ongeveer de helft van de huidige hoeveelheid elektriciteit die wordt ingekocht via het net (547 miljoen kWh_e).

Als laatste kan de duurzame energieproductie toenemen door een betere benutting van de geproduceerde warmte. Omdat op de locatie weinig (hoogtemperatuur) warmte nodig is, is er de mogelijkheid het biogas te exporteren naar een woonwijk of nabijgelegen industrieterrein. Hoewel de elektriciteitsproductie op een andere locatie plaatsvindt, verandert het niets aan het duurzame elektriciteitspotentieel. Door betere warmtebenutting kan meer dan 60 miljoen m³ aardgas bespaard worden.

In totaal kan de CO₂ emissiereductie van een RWZI door innovatie's en verbeteringen toenemen van 0,071 Mton nu tot 0,33 Mton bij benutting van het gehele potentieel.

³⁰ Als gevolg van strengere effluenteisen kan het zijn dat huidige hoogbelaste RWZI's met slibgisting worden omgebouwd tot laagbelaste zuiveringsprocessen. Dit heeft een mogelijk dalend effect op de huidige biogasproductie (84 miljoen m³ biogas)

ECONOMIE VAN INVESTERING, VERBETERING EN INNOVATIE BIJ RWZI'S

In het rapport is onderscheid gemaakt in (her)investering in een volledige vergistinginstallatie en specifieke verbeteringen in een bestaande vergistinginstallatie. De berekeningen zijn zeer gevoelig gebleken voor de aannamen voor grootte, belasting van het zuiveringproces en ander locatiespecifieke aannamen. Waar binnen deze opdracht mogelijk hebben we de gevoeligheden laten zien.

(Her)investeren in een volledige nieuwe vergistinginstallatie met gasmotor blijkt een lastige zaak. Bij de RZWT's met laagbelaste zuiveringsprocessen (de meeste huidige kleinere RWZI's en steeds meer grotere) blijft de terugverdientijd bij zowel 50.000 als 100.000 i.e. meer dan 10 jaar. In geval van hoogbelaste zuiveringsprocessen is de terugverdientijd bij een verwerkingscapaciteit van 100.000 i.e. net onder de 10 jaar.

De terugverdientijd van de vervanging van de huidige goedwerkende gasmotor (RWZI 100.000, hoogbelast) door een nieuwe is net minder dan 10 jaar. Wanneer echter de oude gasmotor nieuwe investeringen vraagt (geplande revisie of onverwacht groot onderhoud), verandert de uitkomst ten gunste van een nieuwe gasmotor en is investeren het overwegen waard.

De investering om te kunnen vergisten van slib en/of ander organisch materiaal (putvet, 100.000 i.e., hoogbelast) is, wanneer de biogaskostprijs op 0 wordt gesteld, niet economisch haalbaar. De jaarlijkse opbrengsten zijn negatief. Op basis van de berekeningen in paragraaf 4.3 kan worden geconcludeerd dat voor een hoogbelaste RWZI met een verwerkingscapaciteit groter dan 50.000 i.e. de biogaskostprijs negatief is (en dus elke geproduceerde m³ biogas geld oplevert). Hierdoor verbetert de economische rentabiliteit sterk.

Investeren in extra biogasproductie door desintegratie van slib (100.000 i.e., hoogbelast) heeft alleen al door de reductie op de slibkosten een terugverdientijd van ± 1 jaar. Opgemerkt dient te worden dat aannamen alleen gebaseerd zijn op leveranciersgegevens (er is nog geen ervaring in Nederland). Wij adviseren nader onderzoek om een betrouwbaarder beeld te krijgen op de aannames.

Overall kan worden geconcludeerd dat de rentabiliteit van vergisting bij grote, hoogbelaste RWZI's positief is. De terugverdientijden van de in dit rapport voorgestelde verbeteropties zijn allemaal lager dan 10 jaar en het is dus reëel te verwachten dat dit potentieel bij grote, hoogbelaste RWZI's kan worden ingevuld. De rentabiliteit van laagbelaste RWZI's (zowel groot als klein) staat onder druk. Dit is enerzijds zorgwekkend omdat het grootste potentieel nog niet vergist slib afkomstig is uit deze laagbelaste RWZI's en dit potentieel te groot is om in de beperkte reserve vergistingcapaciteit bij huidige RWZI's te vergisten. Anderzijds is er ook, als gevolg van hogere effluenteisen een trend naar laagbelaste zuiveringsprocessen. De huidige hoogbelaste RWZI's zouden na zo'n proceswijziging kunnen afzien van herinvestering in een vergistinginstallatie.

INVLOED VAN BELEID

Belangrijk is te zien dat waterschappen momenteel niet financieel worden geprikkeld duurzame energie te produceren. Zij kunnen geen gebruik maken van EIA (een investeringsondersteuning) en in de MEP (Milieukwaliteit Elektriciteit Productie) is het tarief voor elektriciteit uit slibgisting op nul gesteld. De onderstaande tabel geeft de resultaten weer van de onrendabele top berekening (voor de MEP) op basis van de uitgangspunten van dit rapport.

	50.000 i.e.; hoog belast	50.000 i.e.; laag belast	100.000 i.e.; hoog belast	100.000 i.e.; laag belast
Onrendabele top i.g.v. biogasprijs = variabel	-3,9 €/kW _e	65,9 €/kW _e	-10,5 €/kW _e	32,3 €/kW _e

Duidelijk wordt, in overeenstemming met de resultaten van de scenarioberekeningen, dat er een grote onrendabele top is bij laagbelaste RWZI's. Dit betekent dat het potentieel van 26 miljoen m³ biogas afkomstig van RWZI's die hun slib nu nog niet vergisten, veelal laagbelaste RWZI's, niet zal worden gerealiseerd. Daarnaast zal bij herinvestering ook de huidige 84 miljoen m³ biogasproductie onder druk komen te staan als gevolg van de eerder genoemde effluenteisen.

6.2 AANBEVELINGEN

Gasmotoren bij RWZI's zijn vaak te groot gedimensioneerd, waardoor ze veelal in deellast worden bedreven. Bij herinvestering zouden twee kleinere gasmotoren kunnen worden overwogen wat leidt tot hogere betrouwbaarheid, voldoende capaciteit tijdens de piekvraag en een beter elektrisch rendement. Daarnaast zijn er ook gasmotoren die een regelbaar vermogen hebben, zonder noemenswaardig rendementsverlies, wat de flexibiliteit verhoogt.

Voor waterschappen met veel kleinere RWZI's is het goed waterschapbreed, voor zover dit niet al gebeurt, oplossingen te zoeken, zodat het schaafeffect van de vergistinginstallatie in het voordeel gaat werken. Wel moeten dan de transportkosten in acht worden genomen.

Gezien de resultaten van de onrendabele top berekening wordt een MEP ondersteuning voor RWZI's aanbevolen, om de huidige biogasproductie op peil te houden én het potentieel aan biogas te benutten. 'Freeriding' van bestaande economisch renderende installaties moet worden onderzocht, maar is naar verwachting (cijfers zijn ons niet bekend) beperkt doordat veel vergistinginstallaties ouder zijn dan 10 jaar (en dus geen aanspraak doen op de MEP).

Slibdesintegratie lijkt een goed concept in de reductie van slib én extra biogasproductie. Nader onderzoek en/of demonstratie op de Nederlandse markt lijkt zeer interessant.

7

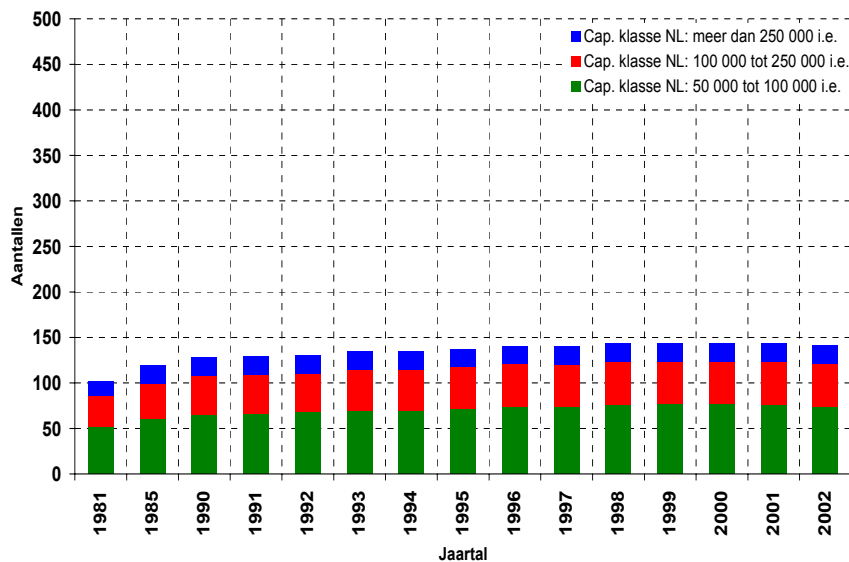
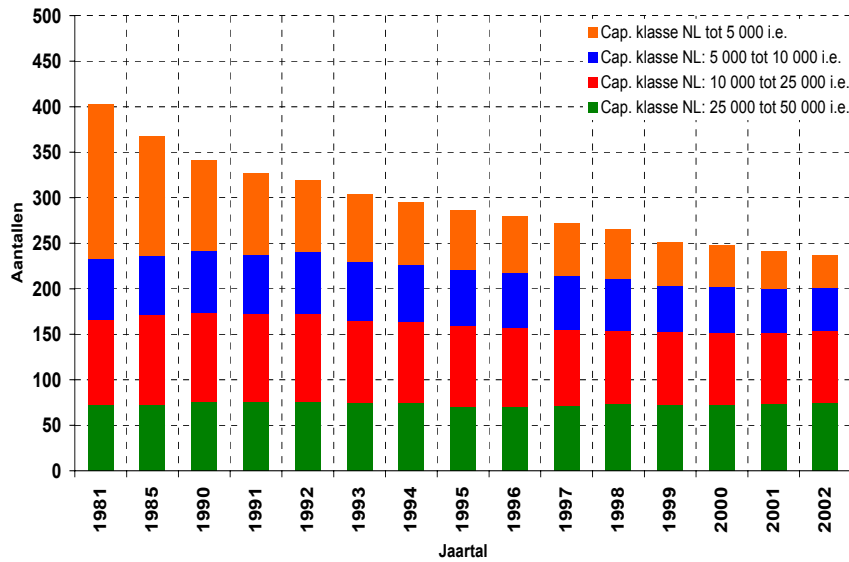
REFERENTIES

- [1] CBS, 2001 & 2002, www.cbs.nl
- [2] Uitenbroek, P.C., High efficiency natural gas engine with throttle-free load control and miller cycle valve timing
- [3] Dijkstra, Maarten, Wartsila, standards, www.wartsila.nl, 2004
- [4] Mulder, A., Covergisting van zuiverings-slib en vet op RWZI Amersfoort, Resultaten van een negenmaands praktijkproef, Novem 355500/5530, 2003
- [5] Welink, J.H., Haalbaarheidsstudie naar co-vergisting van putvet in een RWZI ten behoeve van biogas voor de glastuinbouw, Agrimaco, Moerkapelle, 2004
- [6] van Dun, S.T.P., Optimalisatie Vergistingcapaciteit op AWZI terreinen van Hoogheemraadschap van Rijnland, Ecofys, www.ecofys.nl, 2004
- [7] Sichterman, F., GE Jenbacher, www.gejenbacher.com, telefonisch gesprek en e-mail, 2004
- [8] van Beek, J., Cirmac, www.cirmac.com, telefonisch gesprek en e-mail, 2004
- [9] Brandon, S., AQA HydraSep, Alkmaar, telefonisch gesprek en e-mail, 2004
- [10] Coenen, J.P.W.M., Cogen Projects, Gestandaardiseerde elektrische en thermische rendementen gasmotoren in Nederland, 2004
- [11] Nederlandse Gasunie, Physical properties of natural gasses, 1980
- [12] Subsidieregeling MEP 2004
- [13] Colsen, J., Colsen Engineering, www.colsen.nl, telefonisch gesprek en e-mail, Hulst, 2004
- [14] Kramer, S., Petrogas, www.petrogas.nl, telefonisch gesprek en e-mail, Gouda, 2004
- [15] ECN, Uitkomsten Marktconsultatie, 2004
- [16] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 2003
- [17] www.neerslag-magazine.nl
- [18] van Dijk, J.W., Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2002, Deloitte, Vertis, 2003
- [19] Kiehne, H., Adoratec, www.adoratec.com, telefonisch gesprek en e-mail, 2004
- [20] Müller, J. et al., Braunschweig, `Verfahrensvergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlamm-Integration`, 2000

BIJLAGE 1

TREND IN AANTALLEN 'KLEINE' EN 'GROTE' RWZI'S

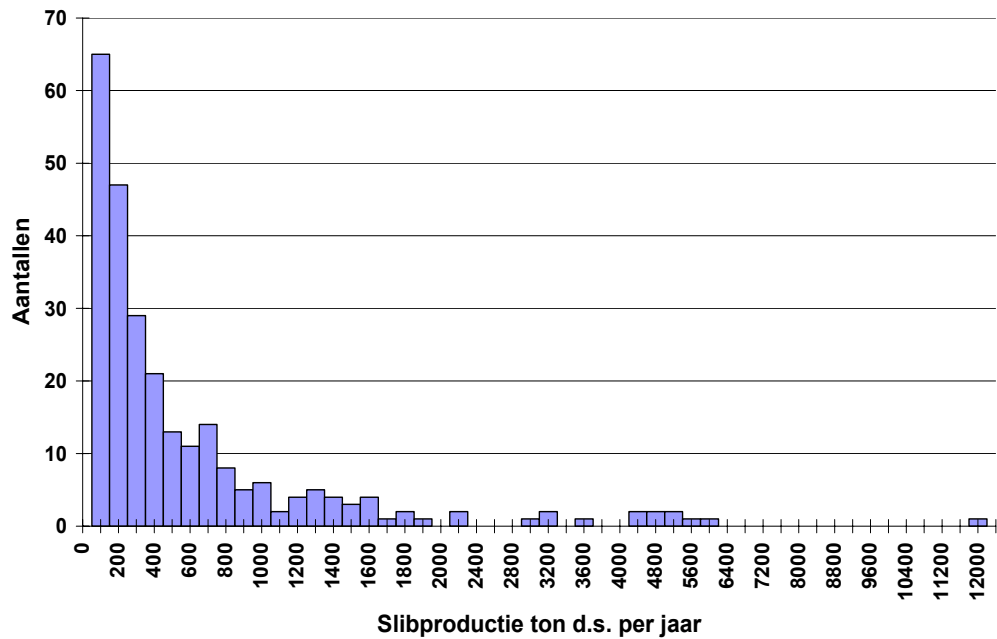
FIGUUR 1 TREND IN AANTALLEN 'KLEINE' EN 'GROTE' RWZI'S



BIJLAGE 2

VERDELING SLIBPRODUCTIE (TON D.S. PER JAAR) VOOR RWZI'S ZONDER BIOGASFACILITEITEN EN ZONDER VERGISTING VAN SLIB BIJ ANDERE RWZI'S

FIGUUR 2 VERDELING SLIBPRODUCTIE (TON D.S. PER JAAR) VOOR RWZI'S ZONDER BIOGASFACILITEITEN



BIJLAGE 3

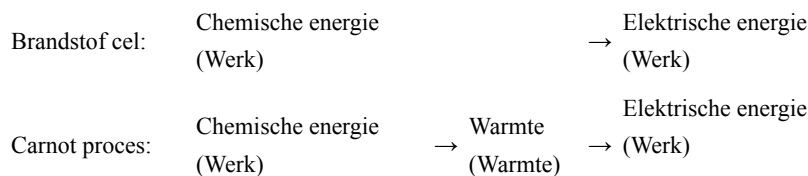
PEM EN MCFC BRANDSTOFCELLEN, ORC, WARMTEPOMP EN GASMOTOR

BRANDSTOFCELLEN

Onderstaande tekst en figuren zijn afkomstig van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Brandstofcel>. **Brandstofcellen** zijn elektrochemische toestellen die chemische energie van een doorgaande reactie direct omzetten in elektrische energie, waarbij anders dan bij een batterij of accu voortdurend nieuwe reagentia van buiten kunnen worden aangevoerd.

Er zijn betere rendementen mogelijk dan in gewone verbrandingsmotoren of stoommachines omdat de omzetting niet verloopt volgens een Carnot-cyclus. In een kringproces van Carnot (ook Carnot-cyclus genoemd) wordt de chemische energie namelijk eerst in warmte omgezet, en pas daarna in bijvoorbeeld elektrische energie:

Vergelijking processen



Bij de laatste stap treden als gevolg van de Tweede Hoofdwet noodzakelijkerwijs grote verliezen op, omdat altijd maar een deel van de warmte in werk kan worden omgezet. Brandstofcellen hebben dit probleem niet, maar zij hebben wel hun eigen omzettingsverliezen.

Ook hebben veel brandstofcellen schone afvalproducten die het milieu niet belasten, bijvoorbeeld puur water. Dit voordeel wordt veelal echter teniet gedaan als de gebruikte brandstoffen uit of met gebruik van bestaande niet-schone energiedragers (aardgas, kolen) moeten worden gewonnen waarbij wel milieubelasting optreedt. Het zou daarom wenselijk zijn om de brandstof uit schone bron te betrekken, bijvoorbeeld door met zonne-energie of waterkracht water te splitsen in waterstof en zuurstof. Er is al veel onderzoeks- en ontwikkelingswerk gedaan om op deze manier een schone, zogeheten waterstofeconomie te verwezenlijken, maar de mensheid is nog ver van de wereldwijde invoering van een dergelijk stelsel af. Problemen met brandstofcellen zijn momenteel verder nog dat ze meestal niet op hun kop werken en dat de temperatuur waarbij ze het best werken nogal hoog is, zodat er bijvoorbeeld bij gebruik in auto's een zekere opwarmtijd nodig kan zijn.

De principiële opzet van een brandstofcel bestaat uit een poreuze anode en kathode met daartussen een elektrolytlaag. Een schematische opzet is getekend in onderstaande figuur.

In een typische brandstofcel wordt de anode gevoed met een constante, gasvormige brandstofstroom. En het oxidatiemiddel wordt met een constante gasvormige stroom aan de kathode gevoed.

Het oxidatiemiddel en de reductiereacties worden dus gescheiden door de elektrolyt. De scheiding van deze reacties heeft tot gevolg dat een negatieve lading wordt opgebouwd in de anode en een positieve lading bij de kathode. Door een stroomkring aan te brengen kan de elektrische energie onttrokken worden aan de reacties.

Vaak worden brandstofcellen vergeleken met batterijen. Tot op zekere hoogte is dit juist. Er zijn echter significante verschillen. Een batterij is primair een opslagmedium voor elektrische energie. De maximale hoeveelheid beschikbare energie is derhalve begrensd door de hoeveelheid chemische reagentia die opgeslagen zijn in de batterij. Een brandstofcel gebruikt extern toegevoegde chemische verbindingen, en kan daardoor voortdurend energie blijven leveren als de aanvoer maar blijft doorgaan.

Soorten brandstofcellen

Brandstofcellen worden vaak genoemd naar de aard van de gebruikte elektrolyet:

AFC: Alkaline Fuel Cell

PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell

MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell

SOFC: Solid Oxide Fuel Cell

PEM FC: Proton Exchange Membrane Fuel Cell (of Polymer Electrolyte Fuel Cell)

DMFC: Direct Methanol Fuel Cell (Dit is een uitzondering in de naamgeving)

De PEM FC is ook bekend als:

SPFC: Solid Polymer Fuel Cell,

SPEFC: Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell,

IEMFC: Ion Exchange Membrane Fuel Cell

TYPES BRANDSTOFCELLEN EN ENKELE KARAKTERISTIEKE EIGENSCHAPPEN

	AFC	PEM FC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Bedrijfstemp.(°C)	80	40-80	60-130	200	650	1000
Brandstof*	H ₂	H ₂ (/CO ₂)	methanol	H ₂ (/CO ₂)	H ₂ , CO	H ₂ , CO
Elektrolyet	KOH	polymeer	polymeer	fosforzuur	gesmolten carbonaat	Vast Oxide
Toepassing	ruimtevaart, (transport)	transport, grootschalige energieopwekking, WKK, draagbare energie	draagbare energie, transport.	grootschalige energieopwekking, WKK	grootschalige energieopwekking, WKK	grootschalige energieopwekking, WKK

GESCHIEDENIS

De eerste brandstofcel is ontwikkeld in de 19e eeuw door de Engelsman William Grove. Hoewel een schets van deze techniek al in 1843 gepubliceerd werd, duurde het nog tot de zestiger jaren van de 20e eeuw voordat de brandstofceltechnologie kon worden ingezet. Ze werden vooral door de Verenigde Staten gebruikt in de ruimtevaart om water en elektriciteit uit de beschikbare waterstof te maken. Hier werden echter zeer exotische en dus dure materialen gebruikt, en de brandstofcellen werken uitsluitend op zeer zuivere waterstof. Verdere technologische ontwikkeling in de tachtiger en negentiger jaren, zoals het gebruik van nafion als elektrolyet, en reductie van de hoeveelheid benodigde platina, heeft het toepassingsgebied vergroot.

ORC

Wat is een ORC (Organic Rankine Cycle)?

De Rankine-cyclus is een thermodynamisch proces, dat in veel elektriciteitscentrales gebruikt wordt voor het opwekken van elektriciteit. In een stoomketel wordt oververhitte stoom onder hoge druk geproduceerd. Deze stoom expandeert in een stoomturbine, die een generator aandrijft. De stoom wordt vervolgens gecondenseerd in een watergekoelde of luchtgekoelde condensor en het condensaat wordt teruggepompt naar de stoomketel. Bij deze water-stoomcyclus is het belangrijk om de stoom te oververhitten om de vorming van condensaatdruppels in de stoomturbine te vermijden.

Door in plaats van met water en stoom de cyclus uit te voeren met een organische stof, die verdampt en condenseert, zijn er belangrijke voordelen te behalen. Zo kan het proces werken op lagere temperaturen. Afhankelijk van de keuze van de organische stof is al bij lagere temperatuur een hoge druk te bereiken en door hun fysische eigenschappen is bij verschillende organische stoffen oververhitting niet nodig. Dat fenomeen is te danken aan het feit, dat deze stoffen bij het expanderen in het superkritische gebied blijven. In dit gebied kan een stof niet in vloeistofvorm bestaan. Ten slotte is bij organische stoffen de verdampingswarmte minder hoog dan bij water en is een groot aandeel van de warmte nodig voor opwarming van de vloeistof. Dat is een prettige eigenschap als het om benutting van restwarmte gaat.



Deze eigenschappen maken het mogelijk om een Organic Rankine Cycle te gebruiken om met laagwaardige warmte nog elektriciteit op te wekken. De minimum temperatuur waarbij dit proces nog praktisch mogelijk is, bedraagt ca. 80 °C (afhankelijk van het medium). Uiteraard neemt het rendement toe naarmate de temperatuur van de beschikbare warmte hoger is. Dan is immers ook de exergiewaarde van de warmte hoger. Bij lagere temperatuur kan ongeveer 10% van de warmte omgezet worden in elektriciteit. Bij hogere temperaturen neemt dit toe tot ruim 20%. Dan is het ook mogelijk om de condensor op een hogere temperatuur te houden, zodat de condensatiewarmte nog weer eens benut kan worden voor verwarming van gebouwen. Deze vorm van wkk wordt bijvoorbeeld toegepast in biomassacentrales, waar het ORC-proces technische voordelen biedt bij het ontwerp van de ketel. Bij de ORC kan de

vuurhaard op lagere temperatuur bedreven worden dan bij een stoomketel. De vuurhaard wordt gekoeld met thermische olie. Een voorbeeld van een dergelijke toepassing is het project Biostrom in het Oostenrijkse Hard.

Een belangrijke toepassing is ook geothermie. Op verschillende plaatsen in de wereld wekken ORC's groene stroom op met heet water uit de bodem.

De keuze van de organische stof hangt samen met de temperatuur van de restwarmte. Toegepast worden o.a. isopentaan, butaan en ammoniak. Een nieuwe Fins-Nederlandse ontwikkeling is een compacte ORC met een elektrisch vermogen van 160 kW, die toluen gebruikt als werkmiddel. De hermetisch gesloten unit is bedoeld voor hogere temperaturen en kan dardoor een rendement van ongeveer 22% bereiken. Deze ORC kan bijvoorbeeld toegepast worden als "bottoming cycle" op een gasmotor van 1400 kWe. De hete rookgassen van de gasmotor met een temperatuur in de buurt van 500 °C worden dan gebruikt om het elektrische rendement van de combinatie gasmotor en ORC te verhogen.

Ook hete gassen uit andere bronnen kunnen worden benut. Door deze ORC uit te rusten met een brander kan het apparaat ook dienst doen als een elektriciteit producerende fakkel. Een eerste toepassing is gepland in Groningen, waar stortgas van sterk wisselende kwaliteit met deze technologie nog kan worden benut.

Een andere belangrijke recente ontwikkeling is de compacte en bedrijfsklaar geleverde ORC-module, voor het draaien op warm of heet water. Deze ontwikkeling zorgt evenals bij de unit van Tri-O-Gen voor een forse verlaging van aanschaf- en installatiekosten van kleinere ORC-projecten. Daarmee wordt deze techniek veel kosteneffectiever.

Het gebruik van een ORC voor benutting van restwarmte levert schone elektriciteit op, omdat er geen extra fossiele brandstoffen worden verstoekt om deze elektriciteit te produceren. Daarmee levert deze techniek in de toekomst baten op in de vorm van reductie van CO₂ en NO_x.

Voorbeeldprojecten:

Biostrom Hard

Cementfabriek Heidelberg

Geothermie Bad Blumau

WARMTEPOMP

Wat is een warmtepomp?

Een warmtepomp is in wezen hetzelfde als een koelmachine. Maar waar bij de koelmachine het doel is om te koelen, is bij de warmtepomp verwarmen het hoofddoel. Een koelmachine en een warmtepomp onttrekken warmte op een lage temperatuur en geven die warmte weer af op een hogere temperatuur. Dat kan op verschillende manieren. De meest toegepaste techniek is de compressiekoelmachine of compressiewarmtepomp.

Kringloop in een compressiewarmtepomp

Koelmiddel wordt in de vorm van vloeistof aan een verdamper toegevoerd. Daar verdampt het koelmiddel. De verdamper is een warmtewisselaar, die warmte onttrekt aan lucht of water. Om lucht te koelen, is de verdamper meestal uitgevoerd in de vorm van koperen pijpen met aluminium lamellen. Het verdampende koelmiddel zit in de pijpen en de lucht stroomt langs de lamellen van de pijp. Bij gebruik van water of een andere vloeistof als warmtebron wordt via een pijpwand warmte uitgewisseld met het koelmiddel.

De warmte, die nodig is voor het verdampen van het koelmiddel, wordt onttrokken aan de lucht of het te koelen water, dat daardoor in temperatuur daalt. De koelmiddeldamp wordt aangezogen door een compressor, die de druk van het gasvormige koelmiddel sterk verhoogt. Daarbij stijgt ook de temperatuur. Door de hogere druk is het mogelijk om het koelmiddelgas weer vloeibaar te maken bij een hogere temperatuur in een condensor. Bij het condenseren komt de in de verdamper opgenomen warmte weer vrij plus de energie, die door de compressor is geleverd. De condensor is ook een warmtewisselaar, die de vrijkomende warmte afgeeft aan lucht of water. Het vloeibare koelmiddel stroomt vanuit de condensor via een expansieventiel weer terug naar de verdamper.

Op deze manier wordt warmte op een lage temperatuur onttrokken en op een hogere temperatuur weer afgegeven.

Voor dit proces moet de compressor arbeid verrichten. De verhouding tussen in de condensor afgegeven warmte en de energie, die opgenomen wordt door de compressormotor, noemen we de "coëfficiënt of performance" ofwel de COP (bij koelmachines kennen we ook een COP, maar daar is de COP de verhouding tussen in de verdamper onttrokken warmte, de koude, en de energie voor de compressormotor).

De COP is sterk afhankelijk van het verschil in temperatuur tussen verdamping en condensatie van het koelmiddel. Hoe groter de temperatuursprong is, des te meer energie heeft de compressor nodig. Door gebruik te maken van verdampers en condensoren met een relatief groot oppervlak voor uitwisseling van warmte kan de COP gunstig worden beïnvloed.

De COP is ook afhankelijk van de weerstand in zuig- en persleiding van het koelmiddelgas en van het type compressor en het rendement van de aandrijfmotor. Meestal gebruikt men elektromotoren, maar er zijn ook warmtepompen met gasmotor, waarbij de warmte van koelwater en uitlaatgassen ook weer gebruikt worden.

De meeste elektrisch aangedreven compressiewarmtepompen halen een COP van 3 tot 6. Dat geldt het jaar door voor warmtepompen, die koelwater of de bodem als bron hebben. Warmtepompen, die hun warmte uit de buitenlucht halen, hebben bij vorst een beduidend lagere COP.

Er zijn verschillende compressortypes beschikbaar. Kleine warmtepompen gebruiken vaak een scrollcompressor, grotere schroefcompressoren of zuigercompressoren en in heel grote machines worden ook wel turbocompressoren toegepast. Warmtepompen zijn er vanaf vermogens van enkele kilowatten voor gebruik in woningen of als boiler tot vermogens van meer dan tien Megawatt voor grote complexen of wijkverwarming.

Kringloop in een absorptiewarmtepomp

Bij een absorptiewarmtepomp is er geen compressor voor het dampvormige koelmiddel. De damp, die in de verdamper ontstaat, wordt door chemische kracht naar de absorber verplaatst. In de absorptievloeistof condenseert de damp weer en komt er warmte vrij op een hogere temperatuur. Door de opname van vloeistof vermindert de aantrekkingskracht van de absorber. Daarom wordt vloeistof vanuit de absorber gepompt naar de (re)generator. Daar wordt door warmte het koelmiddel weer uitgedampt. Deze damp wordt weer vloeibaar gemaakt in de condensor. Het vloeibare koelmiddel gaat weer terug naar de verdamper. De geconcentreerde absorptievloeistof gaat vanuit de generator weer terug naar de absorber.

Bij de absorptiewarmtepomp komt zowel in de condensor als in de absorber warmte vrij. Ook hier kunnen we spreken van een “coëfficiënt of performance” ofwel COP. Maar het grote verschil is, dat bij een compressiewarmtepomp energie in de vorm van kracht nodig is, terwijl bij de absorptiewarmtepomp de aandrijving van het proces met warmte gaat. De COP van beide mag dan ook niet direct met elkaar worden vergeleken. Immers bij de opwekking van elektriciteit in een centrale gaat veel energie verloren. Voor een elektrisch aangedreven compressiewarmtepomp moet de primaire energie, die nodig is om de elektriciteit op te wekken en te transporteren, worden meegenomen in de vergelijking.

Er zijn zowel gasgestookte absorptiewarmtepompen als modellen op heet water of stoom. Het vermogensbereik varieert van tientallen kW's tot meerdere MW's. Er is slechts een beperkt aantal fabrikanten van specifieke absorptiewarmtepompen. Maar als men gebruik kan maken van verwarmingssystemen op echt lage temperatuur, dan kan ook een conventionele absorptiekoelmachine bruikbaar zijn als warmtepomp zoals in het stadhuis in Apeldoorn.

Tegelijk koelen én verwarmen

De grootste kostenbesparingen en milieuvoordelen zijn te bereiken als er zowel koeling als verwarming nodig is. In de industrie is vaak tegelijk proceskoeling en warm tapwater nodig of warmte voor drogers. De koelmachine kan dan tegelijk als warmtepomp functioneren. In situaties waar de gelijktijdigheid niet aanwezig is, maakt men wel gebruik van seizoenopslag van koude en warmte in de bodem.

GASMOTOR

Wat is een gasmotor?

De naam gasmotor wordt algemeen gebruikt in de energiewereld, maar is misschien wat een ongelukkige benaming. Het geeft aan, dat de motor een gasvormige brandstof gebruikt, maar zegt niet alles over de techniek van de motor. Bijna alle gasmotoren werken volgens het principe van de Ottomotor. De Duitse uitvinder Otto begon in 1861 met de ontwikkeling van "Gaskraftmaschinen". De door viertaktmotor van Otto is als benzinemotor in enorme aantallen geproduceerd. De keus voor een vloeibare brandstof had natuurlijk vooral te maken met het gebruik in auto's. Voor de historische eerste ritten per auto gebruikte Otto spiritus. Die brandstof was bij elke apotheker gemakkelijk te krijgen. De spiritus werd evenals naderhand de benzine verdampt in de aangezogen verbrandingslucht, zodat het eigenlijk toch een gasmotor is. De bouw van Ottomotoren startte in 1867 bij de Gasmotorenfabrik Deutz in Keulen.

De normale gasmotor, zoals die met name in wkk wordt toegepast, werkt evenals de benzine-motor volgens het viertaktprincipe, waarbij een zuiger in een cilinder vier werkslagen kent. Bij de aanzuigslag wordt een mengsel van brandstofgas en lucht aangezogen. De inlaatklep staat dan open. In de compressieslag zijn de kleppen gesloten en wordt het mengsel samengeperst. Vlak voor het eind van deze slag wordt het mengsel met de bougie ontstoken. Het mengsel verbrandt, waarbij druk en temperatuur snel stijgen. In de expansieslag wordt de arbeid geleverd. Daarna wordt het mengsel in de vierde slag van de zuiger bij geopende uitlaatklep afgevoerd naar het uitlaatsysteem. Moderne gasmotoren hebben vaak een turbocharger. De hete uitlaatgassen drijven dan via een expansieturbine een luchtcompressor aan. Daardoor kan de motor aanzienlijk meer vermogen leveren en neemt ook het rendement toe. Bij veel turbogasmotoren worden verbrandingslucht en brandstof gemengd, voordat de lucht door de turbo in druk wordt verhoogd. Daardoor behoudt men een belangrijk voordeel van de gasmotor. Dat is de geringe gasdruk, die nodig is om de motor te laten werken. Gasturbines en turbomotoren zonder mengseloplading hebben een hogere gasdruk nodig, wat vaak her gebruik van een gascompressor nodig maakt.

Het vermogen van de gasmotor wordt geregeld met een smoorklep in de inlaat van de verbrandingslucht.

Door optimalisatie van het ontwerp heeft men het asrendement van een gasmotor steeds verder kunnen opvoeren. De modernste motoren halen bij een aandrijving van een generator een elektrisch rendement van meer dan 40% tot zelfs 45%. Dat geldt voor motoren met een vermogen van 1000 kW tot meerdere MW. Kleinere motoren halen rendementen van ca. 35%. De kleinste in Europa toegepaste gasmotor voor wkk heeft een elektrisch vermogen van 5,5 kW en een rendement van 26%. De genoemde rendementen gelden voor bedrijf bij maximaal vermogen. Bij deellast daalt het asrendement en wordt er naar verhouding meer warmte geproduceerd.

De warmte van het motorkoelwater, de oliekoeler, de uitlaatgassen en de eventuele intercooler bij een turbo kunnen weer benut worden voor verwarming, zodat het totaal energetisch rendement 85 tot bijna 100% kan zijn afhankelijk van de toepassing.

Het rendement aan de as van de motor is wel afhankelijk van de brandstof.

Brandstofkwaliteit en methaangetal

Moderne gasmotoren zijn ontwikkeld voor aardgas. De hoofdcomponent van aardgas is methaan (CH₄). De klopvastheid van de brandstof wordt uitgedrukt in een methaangetal, waarbij voor pure methaan het getal 100 geldt. Hoe hoger het methaangetal is, des te klopvaster is de brandstof en mag de motor een hogere compressieverhouding hebben. Een hoge compressie is gunstig voor het asrendement van de motor.

Omdat aardgas ook wat hogere koolwaterstoffen bevat, die makkelijker branden, haalt aardgas een methaangetal van ca. 78. Biogas uit waterzuiveringen afvalstortplaatsen is een mengsel van pure methaan en CO₂. De CO₂ werkt vertragend op de verbranding, waardoor het methaangetal van biogas zelfs ruim boven 100 ligt.

Gassen met waterstof, zoals houtgas, ontsteken erg makkelijk en hebben een laag methaangetal. Motoren voor dergelijke gassen moeten een aanzienlijk lagere compressieverhouding hebben dan motoren voor aardgas en leveren daarmee ook minder kracht per toegevoerde eenheid energie. Ook op LPG of propaan levert de gasmotor op deze punten in t.o.v. een gasmotor op aardgas.

Uiteraard moet de brandstof vrij van waterdruppels en stof zijn. Stoffen, die met name in biogas en stortgas voorkomen zoals H₂S en Cl zijn afhankelijk van de motorfabrikant slechts in geringe concentraties toegestaan. Voor de slijtage veroorzakende siloxanen in deze gassen zijn wassers ontwikkeld.

Emissies

Aardgas en biogas zijn mooie brandstoffen. Ze leveren relatief weinig CO₂ en geen stofdeeltjes. Ook de emissie van NO_x is veel lager dan bij een dieselmotor. Maar omdat gasmotoren gewoonlijk veel uren draaien, heeft de overheid hoge eisen gesteld aan de emissie van NO_x. De gasmotorenfabrikanten hebben twee wegen gevolgd om de emissies te verlagen. De eerste oplossing is toepassing van een driewegkatalysator evenals in de benzinemotor van een auto. De tweede en meest populaire oplossing is het draaien op een arm mengsel. Door een forse overmaat aan verbrandingslucht te gebruiken, daalt de temperatuur bij de verbranding en daarmee wordt de vorming van NO_x ook sterk verlaagd. De reactie tussen stikstof en zuurstof in de lucht komt allen bij hoge temperatuur voor. Zogenaamde armmengselmotoren (lean burn) leveren meer kracht per eenheid brandstofenergie dan motoren met driewegkatalysator, die geen overmaat aan verbrandingslucht kunnen gebruiken vanwege de werking van de katalysator. Voordeel van de motor met driewegkatalysator is, dat ook koolmonoxide en onverbrand gas worden omgezet in de katalysator.

In de glastuinbouw worden de rookgassen van gasmotoren gebruikt om de lucht in de kas te verrijken met CO₂. Dat bevordert tot op zekere hoogte de groei van de planten. Bij deze CO₂-bemesting moeten de rookgassen extreem schoon zijn. Daarvoor gebruikt men een katalysator met selectieve reductie en een oxidatiekatalysator. Ureum wordt ingespoten in de hete rookgassen. Het ureum wordt omgezet in ammoniak, die de NO_x reduceert. Daarmee is een extreem lage emissiewaarde van NO_x haalbaar. CO en koolwaterstofverbindingen worden door de oxidatiekatalysator omgezet, zodat de uitlaatgassen bijzonder schoon zijn.

Bijzondere uitvoeringen

Niet alle gasmotoren werken volgens het principe van de Ottomotor. Er zijn ook grote gasmotoren, die werken als een dieselmotor. Het gas wordt dan onder een hoge druk van meer dan 200 bar evenals dieselolie geïnjecteerd op het moment, dat de verbranding is gewenst. Een dergelijke motor haalt door een hogere compressie en het ontbreken van de weerstand van een smookklep een hoger rendement dan een Ottogasmotor. Een deel van dit voordeel gaat verloren door de energie, die de gascompressor verbruikt.

Sommige dieselgasmotoren werken wel met een normaal aangezogen mengsel van gas en lucht, maar ontsteken het mengsel door een beetje dieselolie te injecteren. Zogenaamde "dual fuel" motoren kunnen vanaf een minimum aandeel olie voor ontsteking tot maximaal vermogen met dieselolie werken. Dat is aantrekkelijk als men op momenten, dat aardgas duur is of niet beschikbaar, toch over het volle vermogen wil beschikken.

De ontwikkelingen bij het rijden op aardgas in Duitsland hebben tot hernieuwde aandacht

geleid voor de gasmotor. Een interessant ontwikkelingstraject op dit terrein is de DING-motor. Dit is een gasmotor voor vrachtauto's met directe injectie van aardgas volgens het diesel-principe. Ruhrgas en de technische hogeschool van Dortmund werken aan de bouw van een demonstratievoertuig van Mercedes Atego met een DING-motor, die aanzienlijke milieuvordelen zal hebben voor vrachtvervoer en bussen in binnensteden. Deze ontwikkeling kan ook voordeel bieden bij toepassing in wkk.

BIJLAGE 4

GEMIDDELD RENDEMENT ELEKTRICITEITS-CENTRALES IN NEDERLAND

Bij de waardering van vermeden inkoop van elektrische energie door b.v. zelf opwekking van elektriciteit uit biogas met een WKK is in dit rapport als volgt gerekend.

De elektriciteit afkomstig van het elektriciteitsnet is veelal opgewekt met behulp van grote elektriciteitscentrales. Het gemiddelde rendement van deze centrales om de energie uit primaire brandstoffen als kolen en gas om te zetten in elektriciteit bedraagt circa 42% (inclusief transportverliezen) (bron: VROM, EPN, EPR, NEN).

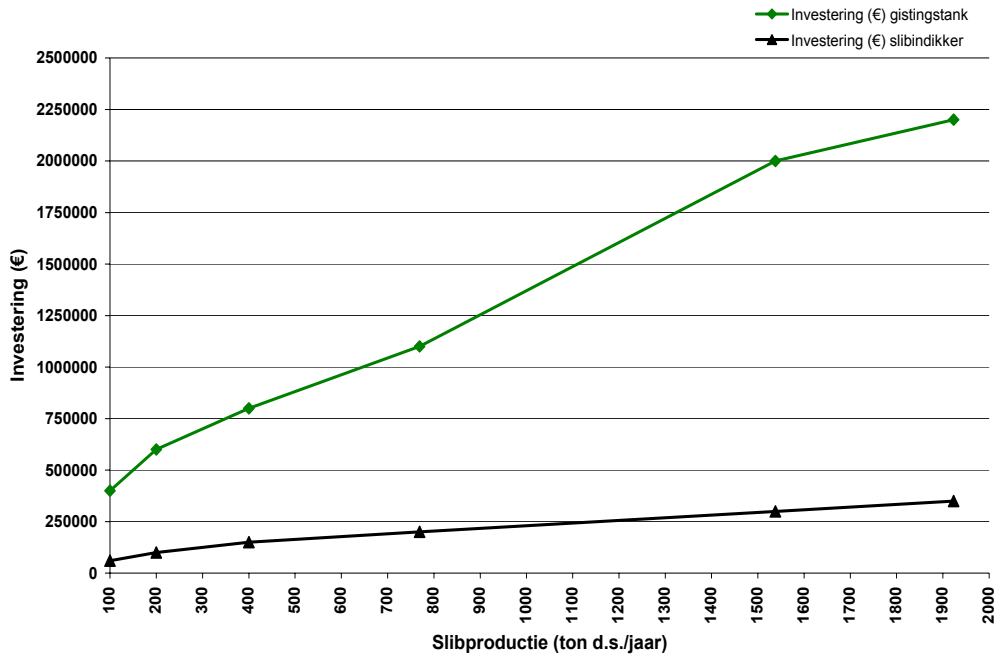
Rekenvoorbeeld:

Stel een RWZI kan door veranderingen op de locatie 1 kWh aan elektriciteit besparen op de jaarlijkse inkoop van het elektriciteitsnet. Deze 1 kWh is omgerekend 3.6 MJ aan energie. Om 3.6 MJ aan elektrische energie op te wekken is, met een gemiddeld rendement van 42%, circa 8.57 MJ aan primaire energie nodig. Deze primaire energie is voor Nederland vaak aardgas of kolen.

BIJLAGE 5

INVESTERING SLIBVOORINDIKKER EN SLIBGISTINGSTANK

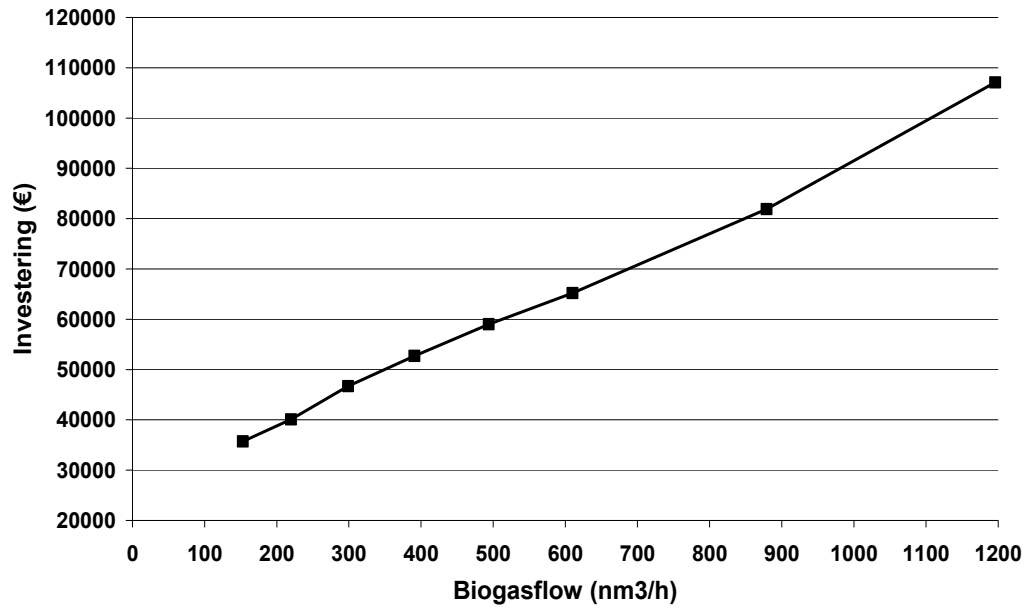
FIGUUR 3 INVESTERINGSKOSTEN GISTINGSFACILITEITEN



BIJLAGE 6

INVESTERING GASBEHANDELINGSSYSTEMEN

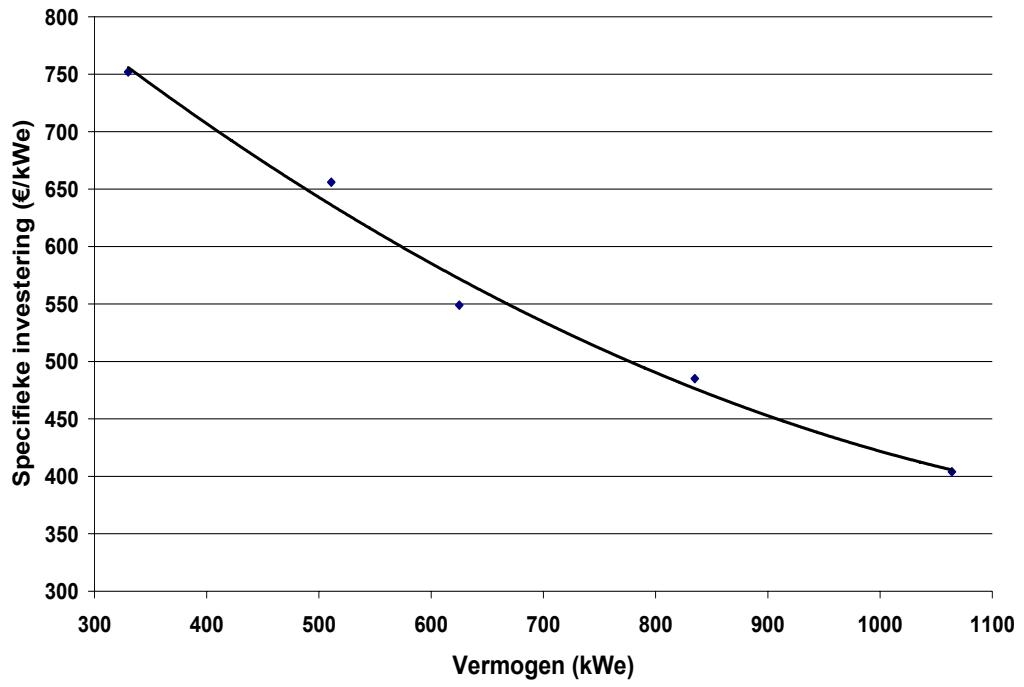
FIGUUR 4 INVESTERINGSKOSTEN GASBEHANDELINGSSYSTEEM



BIJLAGE 7

INVESTERING GASMOTOR

FIGUUR 5 SPECIFIEKE INVESTERINGSKOSTEN GASMOTORSYSTEEM



BIJLAGE 8

INVESTERING FAKKELINSTALLATIE

Onderstaande tabel geeft richtwaarden voor open fakkelininstallaties. Het gebruik van deze fakkels is slechts sporadisch toegestaan (b.v. in het geval van storingen). De investeringen zijn inclusief plaatsing en ingebruikname en exclusief BTW.

Biogasflow (m³/h)	Investering (€) ex. BTW
Van 6 tot 29	17.750
van 30 tot 72	19.650

BIJLAGE 9

EIA, MIA & VAMIL

Ondernemers die in Nederland belastingplichtig zijn voor inkomsten- of vennootschapsbelasting en voor eigen rekening feitelijk een onderneming drijven, kunnen in principe profiteren van de EIA, MIA en VAMIL regelingen. De bedrijfsmiddelen die voldoen aan bepaalde energieprestatie- en milieueisen zijn opgenomen in de energie- en/of milieulijsten. Deze worden jaarlijks bijgewerkt.

Waterschappen zijn volgens artikel 2 van de wet op de vennootschapsbelasting geen vennootschapbelasting verschuldigd. Als gevolg hiervan kunnen ze geen gebruik maken van de regelingen EIA, MIA en VAMIL. Vroeger was er nog de EINP regeling, een variant van de EIA voor Non Profit organisaties, maar deze is afgeschaft en er is geen andere regeling voor in de plaats gekomen.

Verdere informatie over regelingen sec is te vinden op de volgende websites:

- EIA brochure 2004, www.senter.nl/eia, 2004
- MIA en VAMIL brochure 2004, www.senter.nl/mia, 2004

