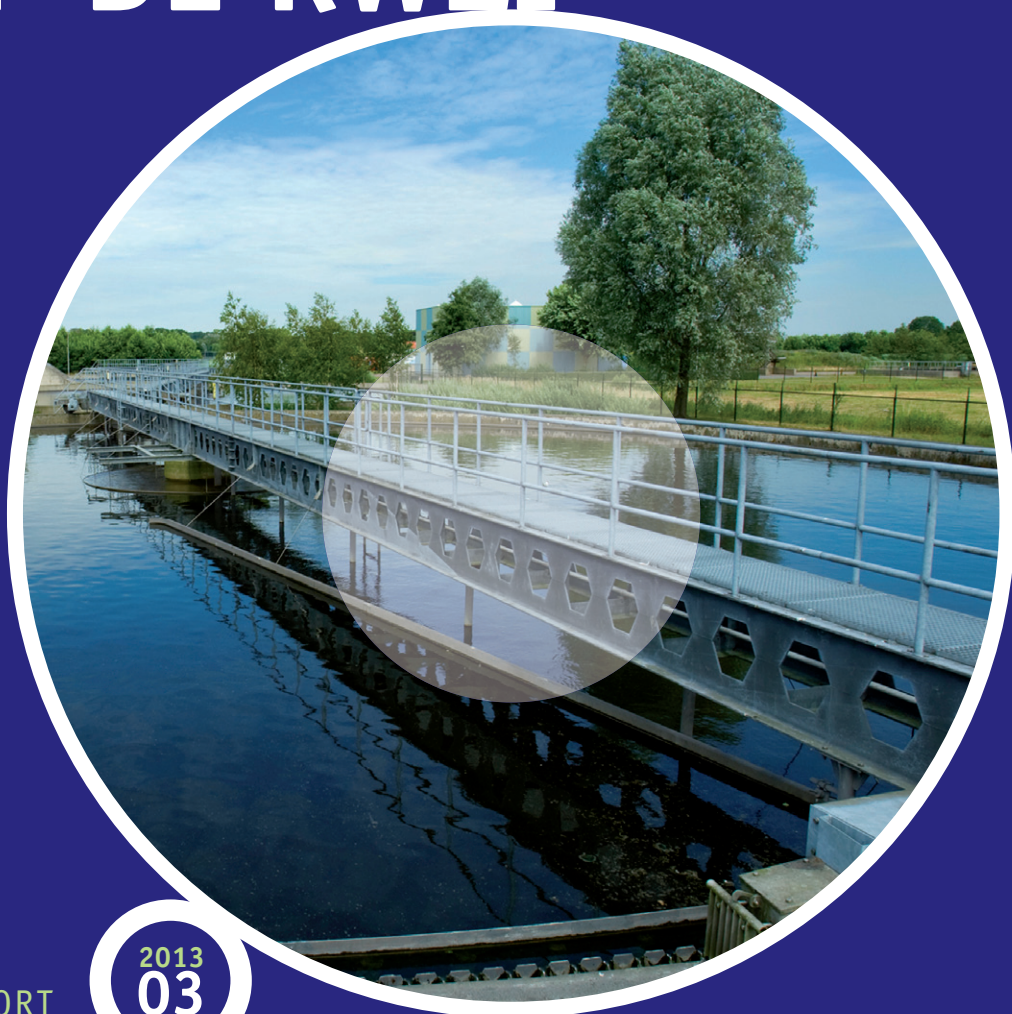


# THERMISCHE ENERGIE OP DE RWZI



RAPPORT

2013  
03

VRAAG EN AANBOD  
THERMISCHE ENERGIE OP DE RWZI

RAPPORT

2013

03

ISBN 978.90.5773.606.3



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## PROJECTUITVOERING

Martin Horstink	Energy Matters
Miriam Bakker-Verdurmen	Tauw
Arjen de Jong	Energy Matters
Johan Blom	Tauw

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Johan Jonker	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Jan-Evert van Veldhoven	Waterschap de Dommel
Henry van Veldhuizen	Waterschap Vallei en Eem
Henri Maas	Waterschap Brabantse Delta
Eelke Buwalda	Waterschap Hunze en Aa's
Olaf Duin	Waterschap Hollandse Delta
Arné Boswinkel	Agentschap NL
Cora Uijterlinde	STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2013-03

ISBN 978.90.5773.606.3

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

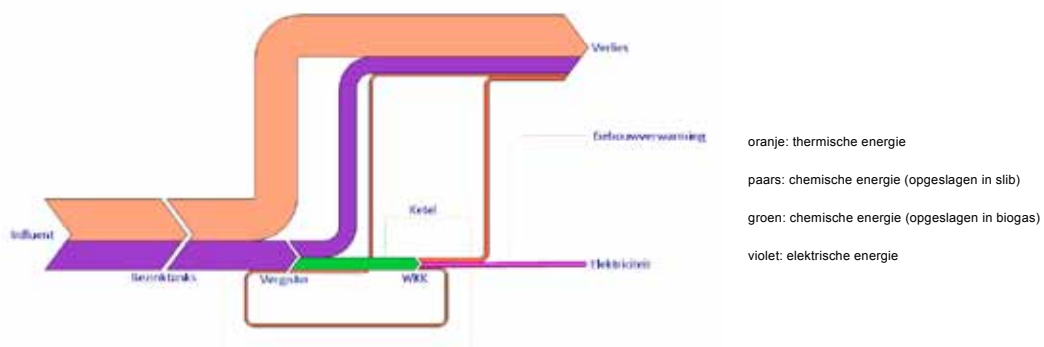
**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# SAMENVATTING

De waterschappen zijn bezig om het energiegebruik van rioolwaterzuiveringen (rwzi's) te verminderen. Op rwzi's wordt hoofdzakelijk elektrische energie gebruikt wordt bij het zuiveren van het afvalwater. Er wordt op rwzi's niet alleen energie gebruikt, maar ook opgewekt. Op rwzi's met een slibgisting komt biogas vrij bij het vergisten van zuiveringsslib. Dit biogas wordt in de meeste gevallen gebruikt voor het opwekken van elektrische energie met WKK (warmte kracht koppeling). Op de WKK's komt meer warmte (thermische energie) dan elektrische energie vrij. Deze thermische energie wordt nu ten dele gebruikt voor de eigen warmtevraag: het verwarmen van de slibgisting en bedrijfsgebouwen. Voor het overige; ongeveer de helft, gaat de thermische energie onbenut verloren naar de omgeving. De aandacht was in het verleden vooral gericht op het verminderen van het gebruik van elektrische energie en het vergroten van de biogasopbrengst. Bij een verdere verbetering van de energiebalans is het nodig om aandacht te besteden aan thermische energie. In dit onderzoek wordt ingegaan op de betekenis van thermische energie voor de energiebalans van bestaande en toekomstige rwzi's. Vragen die hierbij aan de orde komen zijn: Is het overschot aan warmte nuttig in te zetten op of buiten de rwzi? Is er in de toekomst voldoende thermische energie beschikbaar als de ontwikkelingen, zoals TSO (thermische slibontsluiting), doorzetten? Zijn er andere mogelijkheden om de energetische effectiviteit van de rwzi's te verhogen? Is het mogelijk om het overschot aan thermische energie te benutten?

Op conventionele rwzi's met biogasproductie (slibgisting) en gecombineerde warmte- en elektriciteitsproductie (WKK's) bestaat een overschot aan thermische energie. Dit overschot wordt meestal wordt afgevoerd met de rookgassen van de WKK en soms actief weggekoeld. Op dit moment wordt ongeveer 50% van de warmte die bij de WKK vrijkomt niet nuttig gebruikt. Er wordt ook warmte aangevoerd met het ongezuiverde afvalwater. Deze wordt nu ongebruikt geloosd. Het Sankey diagram in figuur 1.1 geeft een indruk van de omvang van de energiestromen. In de figuur is ook het energetische verlies door het afvoeren van het effluent op het oppervlaktewater, lage temperatuur warmte (oranje pijl), en het uitgegiste slib, chemische energie (paarse pijl), opgenomen.

FIGUUR 1.1 ENERGIESTROMEN OP DE RWZI



## MODELZUIVERINGEN

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van modelzuiveringen om de energiestromen in beeld te brengen. Er is gekozen voor zuiveringen met een slibgisting omdat deze energetisch het meest relevant zijn. Getracht is om de modelzuiveringen zo generiek mogelijk te dimensioneren, er

is gekozen voor een grootte van 100.000 i.e. en 350.000 i.e. Naast de bestaande conventionele zuiveringen is een grote rwzi met thermische slibontsluiting beschouwd: een Energiefabriek rwzi (350.000 i.e.).

### ALTERNATIEVE ENERGIECONCEPTEN

De strategie voor het verbeteren van de thermische energiebalans omvat twee routes: (1) restwarmte vermijden en (2) restwarmte nuttig gebruiken. In het onderstaande schema zijn de strategieën, concepten en beschouwde technologie opgenomen.

Strategie → concept			Beschouwde technologie
Restwarmte vermijden	Doorleveren van biogas	Innemen restwarmte derden voor eigen warmtevraag	Situatiespecifiek warmtetransportsysteem
		Warmte winnen uit effluent voor eigen warmtevraag	Warmtewisselaars en warmtepomp
		Gebruik eigen biogas voor warmtevraag	Ketel WKK gedimensioneerd op eigen warmtevraag
Restwarmte nuttig gebruiken	Restwarmte gebruiken om slib op de rwzi te drogen		Banddrogers Slibdroging in kassen
	Restwarmte doorleveren aan derden		Warmtenetwerk
	Restwarmte gebruiken voor electriciteitsproductie		ORC
	Warmte winnen uit afvalwater		Warmtenetwerk

Door de keuze van de modelzuiveringen en de concepten komen veel verschillende warmte-opwekkende technologieën aan bod, zoals ketels, WKK's en warmtepompen, maar ook het gebruik van een lokaal warmtenetwerk is meegenomen in deze studie. Daarnaast worden ook de gevolgen van de toepassing van onder andere biogaslevering, thermische slibontsluiting (TSO) en lage temperatuur slibdroging inzichtelijk gemaakt.

### RESTWARMTE VERMIJDEN: DOORLEVEREN VAN BIOGAS

Het doorleveren van biogas is gunstig voor het energieverbruik van een rwzi als dit vergeleken met wordt met de huidige situatie waarbij (bijna) al het geproduceerde biogas wordt verstoekt in de WKK. In de huidige situatie gaat namelijk veel van de door de WKK geproduceerde warmte verloren. Dit verlies kan worden voorkomen als het biogas buiten de rwzi nuttiger wordt ingezet. In financieel opzicht is het doorleveren van biogas pas gunstig bij een relatief hoge biogasopbrengst (EUR 0,40-0,60/m<sup>3</sup>) omdat er energie nodig is voor de eigen warmtevraag en er meer elektrische energie moet worden ingekocht.

### RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN: SLIBDROGING OP DE RWZI

Slibdroging op de rwzi is voor het beperken van het energieverlies op de rwzi interessant omdat het een nuttige en grootschalige toepassing van restwarmte mogelijk maakt. Een belangrijke randvoorwaarde voor nuttige toepassing is dat de vergrote energieinhoud van het gedroogde slib na deze droogstap wordt benut bij de slibeindverwerker. Als uitgangspunt is gehanteerd dat bij de slibdroging op de rwzi restwarmte van de WKK wordt gebruikt. Met de beschikbare restwarmte kan het slib echter slechts gedeeltelijk worden gedroogd. Ook voor de jaarlijkse operationele energiekosten biedt slibdroging kansen. De financiële uitgangspunten zijn echter voor verschillende slibeindverwerkers en waterschappen verschillend. De slibeindverwerker heeft niet altijd de technische mogelijkheid om te profiteren van een hogere energieinhoud van het zuiveringsslib. De contractuele afspraken met de slibeindverwerker bepaalt de eventuele kostenreductie voor het waterschap.

### **RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN: ORC**

Een andere mogelijkheid om de restwarmte in de WKK-rookgassen te gebruiken is om meer elektrische energie te produceren. Hiervoor kan een installatie waarvan de werking is gebaseerd op een organic rankine cycle (ORC), worden gebruikt. Elektriciteitsopwekking met een ORC werkt hetzelfde als elektriciteitsopwekking met een stoomturbine. Er wordt echter een organisch oplosmiddel gebruikt met een lager kookpunt dan water, waardoor laagwaardiger warmte kan worden gebruikt om de generator aan te drijven. De rookgassen van een WKK fungeren als warmtebron voor de ORC. Afhankelijk van het kookpunt van het gekozen oplosmiddel is sprake van een hoge temperatuur ORC of de nu nog experimentele lage temperatuur ORC. De modelberekeningen voor de modelzuivering van 100.000 i.e. en 350.000 i.e. laten zien dat de elektriciteitsproductie van een WKK toeneemt door een nageschakelde hoge temperatuur ORC met 10%. In dit onderzoek is ook gekeken naar de combinatie WKK, TSO en ORC. In deze combinatie ligt de combinatie van een lage temperatuur ORC het meest voor de hand. De bijdrage van een lage temperatuur ORC in deze configuratie is 5-10% extra elektriciteit. De toepassing van (lage temperatuur) ORC op rwzi's verdient nadere studie.

### **RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN WARMTE WINNEN UIT HET AFVALWATER**

Op de rwzi is naast hoogwaardige warmte in de WKK rookgassen ook een grote hoeveelheid laagwaardige warmte in het influent, effluent en uitgestort slib beschikbaar. Deze warmte kan middels warmtepompen in principe opgewaardeerd worden naar bruikbare warmte voor de rwzi. Eventueel kan deze warmte via een warmtenet beschikbaar worden gesteld aan de omgeving, bijvoorbeeld een nieuwe woonwijk. Hier is in het kader van deze studie niet inhoudelijk naar gekeken.

### **UITWISSELEN VAN WARMTE MET DE OMGEVING**

Het uitwisselen van warmte met de omgeving kan interessante kansen opleveren. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat er een afhankelijkheid ontstaat van een andere partij. Deze is niet altijd gewenst. Daarbij komt dat de beschikbaarheid en behoefte van warmte van de rwzi en mogelijke afnemers seizoensafhankelijk (kunnen) zijn. Aanbevolen om ten eerste te onderzoeken of er mogelijkheden bestaan om de warmte op de rwzi nuttig in te zetten. Daarnaast kan gekeken worden naar (locatiespecifieke) kansen om de thermische energie nuttig in te zetten in de omgeving van de rwzi.

### **THERMISCHE ENERGIE EN DE ENERGIEFABRIEK**

Rwzi's die worden ingericht als energiefabriek zullen naar verwachting gebruik gaan maken van TSO om enerzijds de biogasproductie te vergroten en de ontwaterbaarheid van het slib te verbeteren en daarmee de slibverwerkingskosten te verlagen. In de energiefabriek modelzuivering is TSO daarom uitgangspunt. TSO vindt, afhankelijk van de gekozen uitvoeringsvorm, plaats bij 140 tot 180 °C en vraagt zodoende hoogwaardige thermische energie in voor de productie van stoom. Hoogwaardige warmte is beschikbaar in de rookgassen die vrijkomen bij de WKK's. Bij de modelberekeningen blijkt dat op rwzi's *in principe* voldoende thermische energie uit de rookgassen beschikbaar is voor TSO. Er moet rekening mee worden gehouden dat de thermische energiebalans locatiespecifiek én techniekspecifiek is. De warmtebehoefte voor de slibgisting neemt bij de toepassing van TSO af. Slib uit de TSO is namelijk nog op voldoende hoge temperatuur wanneer aan de slibvergister wordt toegevoerd. In het geval WKK's worden ingezet om de warmte te leveren voor TSO blijft bij de modelzuiveringen zodoende nog steeds sprake van een groot warmteoverschot (50%). Het gaat hierbij echter om de midden en laagwaardige warmte, die resteert na de TSO. In de praktijk zal ook een (biogas) gestookte stoomketel zorgen voor het voorzien in een deel

van de warmtevraag van TSO. Daarmee neemt ook de inzet van een WKK af en kan ook de elektriciteitsproductie op de rwzi afnemen. Dit kan ervoor zorgen dat toepassing van TSO niet een verbetering betekent op basis van primaire energie volgens de MJA-waardering. Dit hangt echter af van de extra biogasopbrengst van TSO en hangt weer af van het aanbod van primair en secundair slib op een specifieke locatie. De optimale energetische inpassing van TSO op de energiefabriek rwzi is complex en de thermische energiebalans verdient nadere aandacht. Nadere identificatie van de kritische factoren voor de inpassing is gewenst.

### VERGELIJKING VAN DE ONDERZOCHE CONCEPTEN

In de matrix staan de verschillende concepten die in deze studie zijn onderzocht, met daarbij de beoordeling en aandachtspunten van het concept. De matrix is bedoeld als hulpmiddel bij het identificeren van kansen van een thermisch energieconcept

Beschouwde technologie	Effect op energiebalans rwzi (waardering conform figuur 3.13, paragraaf 3.6)			Effect op de operationele energiekosten (waardering conform figuur 3.14, paragraaf 3.7).			Belangrijkste kantekeningen en aandachtspunten
	Conventioneel 100 000 ie	Conventioneel 350 000 ie	Energiefabriek 350 000 ie	Conventioneel 100 000 ie	Conventioneel 350 000 ie	Energiefabriek 350 000 ie	
Situatiespecifiek warmtetransportsysteem	+	+	++	0/-	--	--	Kansen zijn zeer locatiespecifiek. De opbrengst van het biogas moet relatief hoog zijn (>0,40-0,60/m3) voordat sprake kan zijn van een positief effect op de operationele kosten van de rwzi
Warmtewisselaars en warmtepomp		++	++	0/-	-	-	
Ketel		++	+	0/-	-	-	
WKK gedimensioneerd op eigen warmtevraag		+	+	0/-	0/-	0/-	
Banddrogers	-/+ Energiegebruik op de rwzi neemt toe, maar als ook het toekomstige effect op de slibketen wordt meegenomen is het effect sterk positief			- / ++ De energiekosten op de rwzi nemen toe. Als ook rekening wordt gehouden met de slibverwerkingskosten is sprake van een sterke daling van de operationele kosten.			Er is onvoldoende restwarmte beschikbaar voor het vergaand drogen van al het slib. De bestaande wijze van slibverwerking is nog niet geschikt voor gedroogd slib. Desondanks kansrijke optie.
Slibdroging in kassen	Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			
Restwarmte doorleveren aan derden (warmtenetwerk)	+	+	+	0/+	+	+	Kansen zijn zeer locatiespecifiek
ORC	0	0	+	0	0/+	+	Bij de energiefabriek rwzi is alleen lage temperatuur ORC een optie. Dit is experimentele technologie.
Warmte winnen uit afvalwater (warmtenetwerk)	Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Kansen zijn locatiespecifiek
Opmerkingen			Energiebalans energiefabriek is complex				

De waarderingen zijn gebaseerd op de uitkomsten van de modelberekeningen en kostenramingen zoals vermeld in paragraaf 3.6 en 3.7. Er is de volgende waardering gebruikt ten opzichte van de referentiesituatie:

- sterke verslechtering
- beperkte verslechtering
- 0: neutraal
- + beperkte verbetering
- ++ sterke verbetering

**SLOT**

In deze studie wordt ingegaan op de thermische energiebalans van Nederlandse rwzi's. Er is nu sprake van een overschot aan thermische energie. Dit overschot kan worden verkleind of vermeden, of het kan nuttig worden ingezet. Verbetering van de thermische energiebalans levert bij bijna alle beschouwde concepten een grote verbetering van de totale energiebalans van de beschouwde model rwzi's op. Voor de operationele energiekosten kan zowel sprake zijn van een verbetering als een verslechtering. Van alle beschouwde concepten is biedt het drogen van slib op de rwzi in potentie de grootste kansen voor het verbeteren van de thermische energiebalans én voor het verlagen van de operationele energiekosten. Daar staat tegenover dat het benutten van deze kansen niet eenvoudig is. Energiefabriek rwzi's (met TSO) hebben een complexere (thermische) energiebalans en een grotere behoefte aan kwalitatief hoogwaardige thermische energie dan conventionele zuiveringen. Dit is –naast het verbeteren van de energiebalans- een reden om specifiek aandacht te besteden aan de thermische energiebalans van rwzi's met TSO.



# 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 en de provincies.

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 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# THERMISCHE ENERGIE OP DE RWZI - VRAAG EN AANBOD

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MODELZUIVERINGEN</b>	<b>2</b>
2.1	Afbakening project	2
2.2	Keuze modelzuiveringen	2
2.3	Thermische energie op de rwzi	4
2.4	Thermische balans modelzuiveringen	5
2.5	Seizoensaspecten	7
2.6	Bevindingen energiebalans modelzuiveringen	8
<b>3</b>	<b>ALTERNATIEVE ZUIVERINGS- EN ENERGIECONCEPTEN</b>	<b>9</b>
3.1	Toekomstige modelzuivering: de Energiefabriek	9
3.2	Doorleveren van biogas	13
3.2.1	Warmte van derden innemen en biogas uitleveren	14
3.2.2	Benutten energie uit effluent/uitgegiste slib en biogas uitleveren	15
3.2.3	Warmte leveren uit ketel en biogas uitleveren	17
3.2.4	WKK dimensioneren op warmtevraag en biogas uitleveren	17

<b>3.3</b>	Maximalisatie elektriciteitsproductie en benutting restwarmte	18
3.3.1	Warmte inzetten voor slibdroging op zuivering	19
3.3.2	Het warmteoverschot (seizoensafhankelijk) van de WKK's uitleveren aan derden	24
3.3.3	Uitbreiding WKK's met ORC	24
<b>3.4</b>	Winning en opslag van thermische energie op de rwzi	25
<b>3.5</b>	Vergelijking thermische aspecten energieconcepten	27
<b>3.6</b>	Finaal energieverbruik concepten	28
<b>3.7</b>	Financiële aspecten	30
<b>3.8</b>	Vergelijking energieconcepten volgens MJA-3 beoordeling	31
<b>4</b>	<b>OVERDENKINGEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	Overdenkingen	34
<b>4.2</b>	Conclusies	38
<b>4.3</b>	Aanbevelingen	39
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	MODELZUIVERINGEN	41
2	FACTSHEETS	45
3	ENERGIECONCEPTEN ENERGIEFABRIEK	61
4	UITKOMSTEN ENERGIEBALANSBEREKENINGEN MODELZUIVERINGEN	65
5	ENERGIEKOSTEN	69
6	MJA-3 TABELLEN	75
7	TOELICHTING REKENMODEL	77

# 1

## INLEIDING

De waterschappen hebben de ambitie om de energiehuishouding in de waterketen te verduurzamen, dit mede in het kader van de MJA (meer-jaren afspraken energie). Het streven is om een minimale hoeveelheid fossiele brandstof te gebruiken en zoveel mogelijk duurzame energie op te wekken. De energiehuishouding in de waterketen wordt voornamelijk beïnvloed door de rwzi's. Hier wordt veel energie gebruikt en duurzame energie (biogas en/of elektrische en thermische energie) opgewekt.

Om de energiehuishouding op de rwzi te verbeteren is tot nu toe voornamelijk gekeken naar vermindering van het gebruik van operationele, vooral elektrische, energie en vergroting van de biogasproductie. Warmte, ofwel thermische energie, is een nog onderbelicht aspect van de energiebalans. Het aanbod van warmte op de meeste rwzi's met een WKK-installatie is nu ruim voldoende, waardoor er nog geen noodzaak is geweest om nader naar de thermische energie te kijken.

De huidige ontwikkelingen op de rwzi's in het kader van de energiefabriek en grondstoffenfabriek hebben een relatie met thermische energie en de warmtebalans op de rwzi. Verschillende technieken om de biogasproductie te vergroten vragen warmte. Ook deelstroombehandelingen, zoals stikstofverwijdering via Anammox, hebben een zekere warmtebehoefte. Als deze technieken op de toekomstige rwzi worden ingezet dan zullen de verschillende technieken gaan concurreren om het aanbod van thermische energie. De vraag daarbij is welke kansen en knelpunten op een toekomstige zuivering zullen ontstaan en welke keuzes een waterschap heeft bij het optimaliseren van de energiebalans.

In een aantal gevallen is in de directe nabijheid van de waterzuivering restwarmte aanwezig van bijvoorbeeld industriële herkomst of uit gemeentelijke warmtenetwerken. Aan waterschappen wordt de mogelijkheid geboden deze restwarmte op de rwzi toe te passen. Maar welke impact heeft deze mogelijkheid op de energiebalans van een rwzi en wat zijn de alternatieven? Het zijn vragen die in dit onderzoek aan bod komen.

Het onderzoek is mogelijk gemaakt met financiering van Agentschap NL.

# 2

## MODELZUIVERINGEN

In dit onderzoek is het aanbod van en de vraag naar thermische energie op de huidige en toekomstige communale zuiveringen in Nederland zoveel mogelijk kwantitatief gemaakt voor de bestaande en toekomstige situatie. Er wordt gewerkt met generieke modelzuiveringen massa- en energiebalansen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de gevolgde aanpak en de keuze van de modelzuivering. Vervolgens wordt een beeld geschetst van de relevantie van thermische energie op de rwzi.

### 2.1 AFBAKENING PROJECT

Bij de projectdefinitie is de keuze gemaakt om het onderzoek te beperken tot thermische energie op de rwzi. Dit betekent dat thermische optimalisaties in het aanvoerende rioolstelsel, zoals winning van warmte uit het riool of het opslaan van warmte en koude, alsmede de thermische aspecten van de verschillende slibverwerkingstechnieken niet in de beschouwingen zijn meegenomen. Wel is bij de uitwerkingen rekening gehouden met thermische aspecten in de nabijheid van de rwzi, zoals de mogelijke aanwezigheid van externe restwarmte, levering van warmte aan derden en realisatie van slibdroging bij de zuivering.

Het project dient inzicht te geven in het potentiële aanbod van thermische energie, de potentiële vraag naar thermische energie en de mogelijkheden voor het verbinden van vraag en aanbod op rwzi's. Om een generiek beeld te ontwikkelen is uitgegaan van een aantal modelzuiveringen, waarmee een vertaalslag naar alle huidige (en toekomstige) rwzi's in principe mogelijk moet zijn.

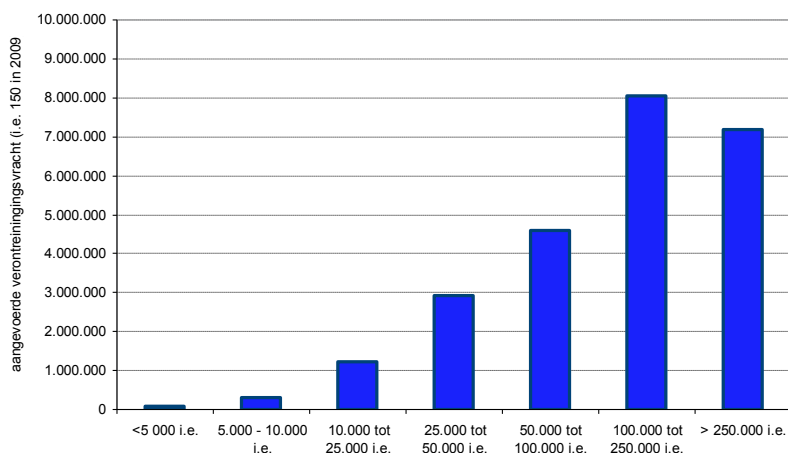
De bestaande situatie op de Nederlandse rwzi is het referentiekader om de thermische mogelijkheden inzichtelijk te maken. Bij het definiëren van de toekomstige modelzuivering zijn de initiatieven in het kader van de energiefabriek en grondstoffenfabriek gebruikt.

### 2.2 KEUZE MODELZUIVERINGEN

De schaalgrootte van Nederlandse rwzi's varieert van 2.000 tot circa 1.270.000 i.e. (150 g TZV) In figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de grootteverdeling van de zuiveringen op basis van de aangevoerde verontreinigingsvracht in 2009.

Op kleine zuiveringen (<25.000 i.e.) is doorgaans alleen een biologisch actief slibstelsel met nabezinktank aanwezig. Iets grotere zuiveringen (ordegrootte 50.000 i.e.) zijn meestal uitgevoerd met een voorbezinktank. Boven een zuiveringsgrootte van 50.000 tot 100.000 i.e. zijn de zuiveringen vaak voorzien van slibontwatering en in een aantal gevallen van mesofiele slibgisting. De grootste zuiveringen hebben soms ook de functie van centrale slibvergisting en slibontwatering. Met name voor deze grote zuiveringen worden nu initiatieven genomen tot ombouw naar toekomstige energie- en/of grondstoffenfabrieken.

FIGUUR 2.1 VERDELING AANGEVOERDE VERONTREINIGINGSVRACHT NAAR RWZI'S IN NEDERLAND IN 2009 (BRON: CBS, STATLINE)



Zuiveringen zonder slibgisting hebben een kleine warmtevraag, voornamelijk voor gebouwenverwarming. Dergelijke kleine zuiveringen zijn zodoende in het kader van deze studie minder relevant en worden niet verder uitgewerkt. Als in de nabijheid van kleine zuiveringen mogelijkheden aanwezig zijn voor inname van restwarmte of initiatieven genomen worden voor alternatieve opwekking van warmte (zoals bijvoorbeeld benutting van effluentwarmte middels warmtepomp of warmtekoudeopslag), kan het overigens wel interessant zijn aan te sluiten bij deze initiatieven.

Voor thermische optimalisatiemogelijkheden zijn met name de zuiveringen met een slibvergistingsinstallatie en WKK-installatie interessant. Op deze zuiveringen is sprake van een relatief grote vraag naar warmte (voor de slibvergisting) en is ook sprake van aanbod van energie (biogas). In Nederland heeft circa 25% van de Nederlandse zuiveringen een slibvergistingsinstallatie. Deze rwzi's tezamen verwerken ongeveer 55% van het zuiveringsslib<sup>1</sup>. Het opgewekte biogas wordt op deze zuiveringen veelal via een warmtekrachtkoppeling (WKK) tot elektrische energie omgezet, waarbij de vrijkomende warmte deels wordt benut voor verwarming van de slibgisting en gebouwenverwarming.

In de studie is gekozen voor het energetisch uitwerken van modelzuiveringen met twee schaalgroottes 100.000 i.e. en 350.000 i.e. (150 g TZV), waarmee aansluiting is gezocht bij de modelzuiveringen uit de studie Energiefabriek 2009 en de meest gangbare schaalgroottes. Voor beide modelzuiveringen wordt uitgegaan van een slibvergistingsinstallatie, waarin op de 350.000 i.e. zuivering ook extern slib vergist wordt. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de aangenomen configuratie van de modelzuiveringen.

TABEL 2.1 MODELZUIVERINGEN 100.000 EN 350.000 I.E. (150 G TZV)

rwzi 100.000 i.e.	rwzi 350.000 i.e.
Voorbezinktank	Voorbezinktank
Aktief slibtank (Bio-P verwijdering)	Aktief slibtank (Bio-P verwijdering)
Nabezinktank	Nabezinktank
Slibindikking	Slibindikking
Mesofiele slibgisting	Mesofiele slibgisting met vergisting extern slib
Slibontwatering	Slibontwatering

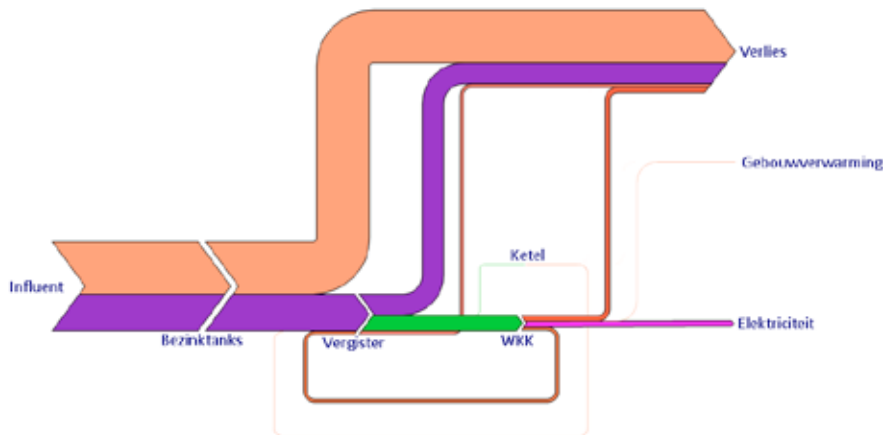
1 Energiefabriek waterschappen binnenstebuiten, 2009

In bijlage 1 worden deze modelzuiveringen nader toegelicht en zijn de massabalansen gegeven waarop de verdere uitwerkingen gebaseerd zijn.

### 2.3 THERMISCHE ENERGIE OP DE RWZI

In figuur 2.2 zijn alle energiestromen op een zuivering die voortvloeien uit het influent schematisch weergegeven in een Sankey diagram. Hiermee wordt inzicht gegeven in de verhouding tussen de verschillende energiestromen binnen de rwzi.

FIGUUR 2.2 SANKEY DIAGRAM ENERGIESTROMEN RWZI



oranje: thermische energie

paars: chemische energie (opgeslagen in koolstof en stikstofverbindingen in water en slib)

groen: chemische energie (opgeslagen in biogas)

violet: elektrische energie

Door te douchen, of de was te doen voegen huishoudens thermische energie (warmte) toe aan het afvalwater. Ook door bedrijven wordt thermische energie geloosd met het afvalwater. In het riool neemt de kwaliteit van deze thermische energie af door vermenging met koude waterstromen zoals afstromend hemelwater en rioolvreemd water (grondwater). Op de rwzi is zodoende sprake van een omvangrijke stroom laagwaardige thermische energie in het influent.

Naast thermische energie bevat het influent chemische energie (paars), in de vorm van rioolslib (paars). Het rioolslib bestaat onder andere uit vetten en menselijke fecaliën. In de bezinktanks wordt het slib gescheiden van het water. In de vergistingstank wordt het slib vervolgens omgezet in biogas. Dit proces wordt op circa 33°C bedreven en zodoende moet thermische energie toegevoerd worden (vanuit de warmtekrachtkoppeling (WKK)). Het uitgedigste slib bevat na de vergister alsnog een behoorlijke hoeveelheid chemische energie, welke wordt afgevoerd naar de slibeindverwerking. Tevens bevat het uitgedigste slib nog warmte, deze warmte gaat grotendeels verloren. Het geproduceerde biogas wordt vervolgens omgezet in warmte en elektriciteit in de WKK (voornaamste toepassing van biogas in Nederland). De warmte wordt deels ingezet voor de slibvergister en gebouwverwarming, maar tevens gaat een relatief groot gedeelte verloren. De geproduceerde elektriciteit kan worden toegepast in het proces, zoals voor de beluchting en de benodigde pompen.

## 2.4 THERMISCHE BALANS MODELZUIVERINGEN

Met behulp van de massabalansen uit bijlage 1 zijn warmtebalansen opgesteld voor de modelzuiveringen. De warmtebehoefte van de verschillende processen is berekend met de gegevens zoals weergegeven in de factsheets in bijlage 2. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de warmtebehoefte op de modelzuiveringen. Naast de warmtebehoefte is ter vergelijking ook de elektriciteitsbehoefte vermeld.

TABEL 2.2 JAARGEMIDDELTE ENERGIEBEHOEFTE MODELZUIVERINGEN

Energiebehoefte	Temperatuur niveau <sup>1</sup>	Huidige rwzi	Huidige rwzi
		100.000 ie (GJ/jaar)	350.000 ie (GJ/jaar)
Warmtebehoefte bedrijfsgebouwen (RV)	MT	230 <sup>2</sup>	1.170 <sup>2</sup>
Warmtebehoefte slibgisting	LT	2.470	13.390
<b>Totale warmtebehoefte rwzi</b>		<b>2.700</b>	<b>14.560</b>
<b>Totale elektriciteitsbehoefte rwzi <sup>3</sup></b>		<b>7.790</b>	<b>28.320</b>

1 HT (hoge temperatuur) > 100 °C, MT (midden temperatuur) = 50-100 °C, LT (lage temperatuur) < 50 °C en ZLT (zeer lage temperatuur) < 20 °C

2 Voor het bedrijfsgebouw wordt is uitgegaan van een gebouw met een vloeroppervlak van 200 m<sup>2</sup> (100.000 ie) en 1000 m<sup>2</sup> (350.000 ie) en warmtebehoefte van 37 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar. Dit verbruik is gebaseerd op het verbruik van kantoorgebouwen (200-500 m<sup>2</sup>) volgens SenterNovem (bron: Cijfers en tabellen, 2007).

3 Elektriciteitsbehoefte berekend met ontwerpprogramma Tauw OWT,

De elektriciteitsvraag op de rwzi is groter dan de warmtevraag (circa drie keer zo groot op zuiveringen die alleen het slib van de eigen zuivering vergisten) en wordt voor een groot gedeelte ingenomen door de beluchting. Als op de zuivering ook extern slib vergist wordt, neemt de warmtebehoefte van de vergisting toe door de grotere gistingstanks die verwarmd moeten worden. De elektriciteitsbehoefte neemt op de rwzi's met externe slibaanvoer bij behandeling van extern slib eveneens (lokaal) beperkt toe door extra ontwatering, deelstroombehandeling en verhoogde stikstof terugvoer naar de waterlijn. In de modelzuivering 350.000 ie, waarbij is uitgegaan van extern slib aanvoer van 50% ten opzichte van de eigen slibproductie, bedraagt de elektriciteitsvraag nog maar twee keer de warmtevraag. Naarmate nog meer slib op deze zuivering vergist dient te worden zal de warmtevraag verhoudingsgewijs nog toenemen.

Om in de warmtevraag op de zuivering te kunnen voorzien kan de in het afvalwater aanwezige chemische en thermische energie gebruikt worden. Tabel 2.3 geeft een overzicht van de op de modelzuiveringen aanwezige bronnen van energie.



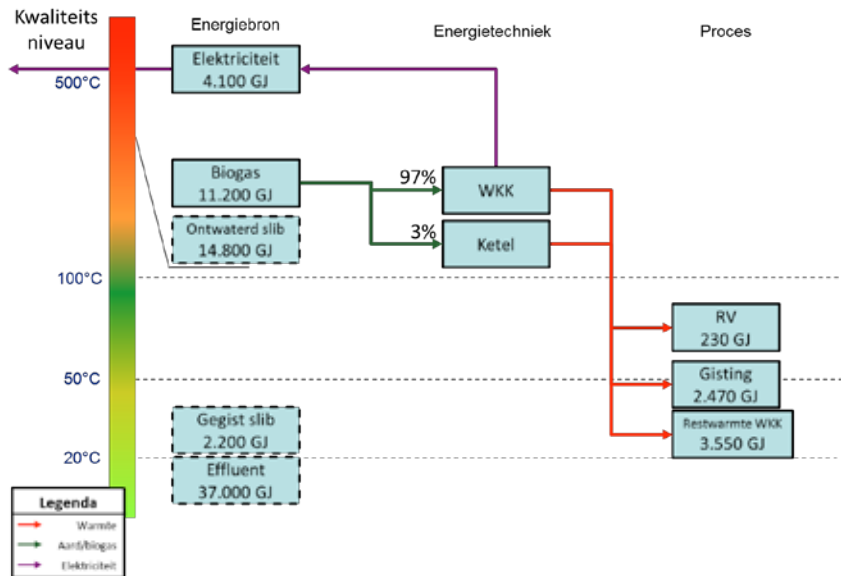
TABEL 2.3 POTENTIEEL AANBOD VAN ENERGIE OP DE RWZI

Procesonderdeel	Temperatuur niveau <sup>1</sup>	Huidige rwzi 100.000 ie (GJ/jaar)	Huidige rwzi 350.000 ie (GJ/jaar)
Biogas <sup>2</sup>	-	11.200	59.100
Maximale warmte uit WKK <sup>3</sup>	HT-MT-LT	6.250	33.100
Effluent <sup>4</sup>	ZLT	37.000	130.000
Uitgegist slib <sup>5</sup>	LT	2.200	12.100
Ontwaterd slib chemisch <sup>6</sup>	HT	14.800	78.300

- 1 HT (hoge temperatuur) > 100 °C, MT (midden temperatuur) = 50-100 °C, LT (lage temperatuur) <50 °C en ZLT (zeer lage temperatuur) < 20 °C.
- 2 Het in de mesofiele vergisters geproduceerde biogas wordt op de huidige Nederlandse zuiveringen veelal naar WKK's geleid waarin het in elektriciteit en warmte omgezet wordt. Een klein gedeelte van het biogas wordt doorgaans naar een cv ketel geleid voor gebouwenverwarming en verwarming slibgisting.
- 3 Maximale warmte uit WKK bij thermisch rendement van de WKK van 56%.
- 4 Warmte uit effluent kan via een warmtepomp opgewaarderd worden tot bruikbare warmte (zie Factsheet Warmteopwekking bijlage 2).
- 5 Het slib na mesofiele slibgisting bedraagt 33 graden. De warmte uit het uitgegiste slib kan in principe teruggewonnen worden. Op Nederlandse zuiveringen (mesofiele vergisting) gebeurt dit tot nu toe vrijwel niet.
- 6 Het ontwaterde slib bevat organische stof. Deze chemische energie komt nu vrij bij de externe slibverbranding.

In figuur 2.3 is grafisch weergegeven hoe de warmtevraag van de rwzi wordt ingevuld door de beschikbare energiebronnen. De energiebronnen, energietechnieken en processen zijn in het schema geplaatst op basis van de kwaliteit van de energiestroom, hoogwaardige energie staat bovenaan en laagwaardige onderaan.

FIGUUR 2.1 JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING 100.000 IE<sup>2</sup>



	in (GJ/jaar)	uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	Elektriciteit	4.100
		RV	230
		Gisting	2.470
		Restwarmte wkk	3.550
		Verliezen	850
	<u>11.200</u>		<u>11.200</u>

2 RV staat voor ruimteverwarming van de gebouwen

De figuur laat het volgende zien:

- vrijwel al het biogas (energie-inhoud van 11.200 GJ) wordt in de WKK omgezet in hoogwaardige elektrische energie (4.100 GJ) en warmte.
- een klein deel van het biogas wordt in een ketel gebruikt voor ruimteverwarming (RV)
- de warmte van de WKK wordt voor een deel gebruikt voor het verwarmen van de slibgisting (2.470 GJ) op een laagwaardig temperatuurniveau (40-60°C)
- het grootste deel van de warmte van de WKK (3.550 GJ) wordt niet nuttig gebruikt
- de grote hoeveelheid hoogwaardige chemische energie in het ontwaterde slib wordt niet benut (14.800 GJ). Het ontwaterde slib wordt afgevoerd naar de slibeindverwerking. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat het niet eenvoudig is om deze energie te ontsluiten. Het ontwaterde slib bestaat naast energierijke koolstof- en stikstofverbindingen ook uit een grote hoeveelheid water. Bijvoorbeeld bij verbranding vraagt dit water veel thermische energie voor verwarmen en verdampen. In paragraaf 3.3 wordt nader ingegaan op de energie-inhoud van zuiveringsslib.
- de (zeer) laagwaardige thermische energie in het uitgegiste slib (2.200 GJ) en het effluent (37.000 GJ) wordt niet benut

Bij het gebruik van een WKK (gasmotor met generator) komt een groot deel van de warmte vrij in de uitlaatgassen. Daarnaast komt er warmte vrij bij de koeling van het motorblok, de smeerolie en de gecombineerde verbrandingslucht na de turbocharger (de interkoeler). De warmte van een WKK komt op verschillende niveaus vrij en kan beschikbaar worden gemaakt in de vorm van warm water tot stoom. De restwarmte WKK zoals aangegeven in bovenstaande figuur is dus een minimaal temperatuurniveau, maar zal gedeeltelijk ook boven de 100°C beschikbaar gesteld kunnen worden.

## 2.5 SEIZOENSASPECTEN

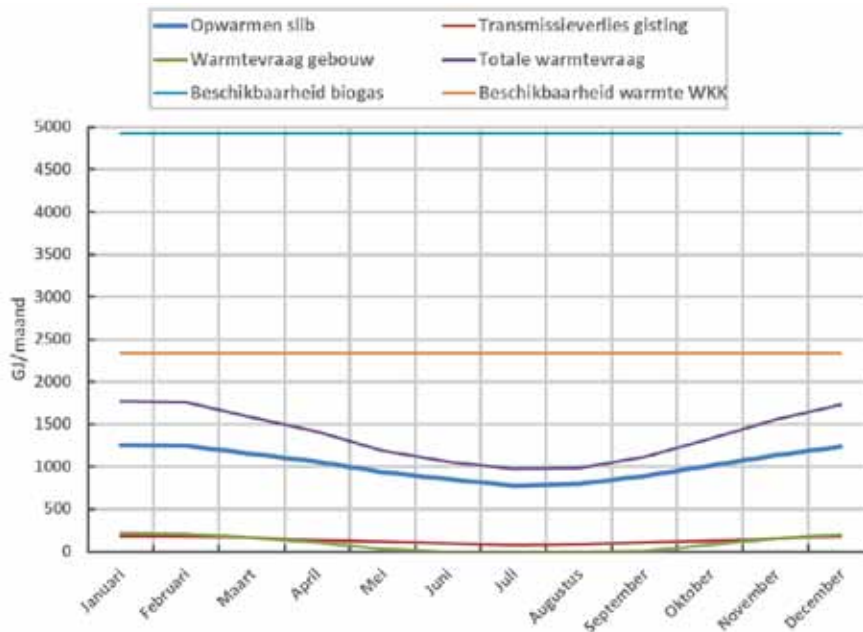
In tabel 2.4 is vraag en aanbod van thermisch vermogen geordend op temperatuurniveau voor beide modelzuiveringen in de winterperiode, dus op het moment dat de vraag het grootst is. In deze tabel zijn alleen de bestaande stromen opgenomen die daadwerkelijk voorhanden komen. Een stroom thermische energie die slechts in potentie benutbaar is zoals effluentwarmte is hier niet opgenomen. Het overzicht is gemaakt voor de winterperiode, wanneer de vraag het grootst is.

TABEL 2.4

VERMOGENSVRAAG EN AANBOD OP DE RWZI IN DE WINTERPERIODE

Temperatuur niveau	Vraag rwzi	Aanbod rwzi	Vraag rwzi	Aanbod huidige rwzi
	100.000 ie (kW <sub>th</sub> )	100.000 ie (kW <sub>th</sub> )	350.000 ie (kW <sub>th</sub> )	350.000 ie (kW <sub>th</sub> )
Hoge temperatuur > 100 °C	0	100	0	680
Midden temperatuur 50-100 °C	20	130	100	620
Lage temperatuur < 50 °C	110	20	590	117
<b>Totaal</b>	<b>130</b>	<b>250</b>	<b>690</b>	<b>1.420</b>

Deze tabel laat zien dat in de huidige situatie het totaal beschikbaar thermisch vermogen de vraag overstijgt. Hoewel voor zowel de 100.000 i.e. als de 350.000 i.e. waterzuivering op een lage temperatuur de vermogensvraag groter is dan het aanbod op hetzelfde temperatuurniveau kan hierin toch voorzien worden door gebruikt te maken van het beschikbare aanbod op een hogere temperatuur.

FIGUUR 2.2 PATROON ENERGIEVRAAG EN AANBOD OP DE RWZI VAN 350.000 IE<sup>3</sup>

In de winterperiode neemt de vraag naar warmte toe. De bedrijfsruimtes vragen (meer) warmte en de slibgisting kampt met een koudere aanvoer en meer afkoeling. Slibgisting vraagt meer warmte dan ruimteverwarming. Bij een goed geïsoleerde slibgistingstank vormt de opwarming van de voeding verder de belangrijkste post in de warmtebehoefte. Afhankelijk van de verblijftijd vormt deze 80 – 90% van de totale warmte behoefte.

Voor de modelzuiveringen is berekend dat ook in deze situatie het aanbod van opwekking (omzetting van biogas) de vraag naar warmte niet overstijgt, zie onderstaande figuur. Hierbij wordt de kanttekening geplaatst dat in de praktijk situaties bekend zijn waarop de warmtevraag van de gisting het aanbod benaderd of overschrijdt.

Geconcludeerd kan worden dat er ruimschoots voldoende thermische energie en vermogen op de modelzuiveringen beschikbaar is en dat deze ook nog eens van voldoende kwaliteit is.

## 2.6 BEVINDINGEN ENERGIEBALANS MODELZUIVERINGEN

Op de energiebalansen van de modelzuiveringen in de bestaande situatie kan een aantal eerste constatering worden gebaseerd. De belangrijkste bevinding is dat er in de huidige situatie sprake is van een overschot aan thermische energie. Om de verschillende processen op de zuivering alleen met biogas van warmte te voorzien (ruimteverwarming en gisting) is slechts 25 % van de energie-inhoud van het geproduceerde biogas benodigd. Zodoende is het gebruik van een WKK een logische oplossing. Met het beschikbare biogas wordt zowel warmte als elektriciteit opgewekt. De elektriciteit kan benut worden voor eigen processen en de warmte wordt deels gebruikt voor de slibgisting en gebouwverwarming. Echter blijft er alsnog restwarmte over: 50 - 55 % van de geproduceerde warmte wordt weggekoeld en/of verdwijnt via de schoorsteen naar de omgeving. In de huidige situatie bestaat zodoende geen noodzaak tot thermische optimalisatie.

# 3

## ALTERNATIEVE ZUIVERINGS- EN ENERGIECONCEPTEN

In het voorgaande hoofdstuk is de energiebalans geschetst van de Nederlandse zuivering met slibgisting indien uitgegaan wordt van de gangbare situatie van elektriciteitsopwekking met een gasmotor (WKK). Gebleken is dat de warmtevraag op de rwzi's met WKK kleiner is dan het aanbod. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden voor het verbeteren van de energiebalans.

Allereerst is het van belang om een onderscheid te maken tussen de conventionele rwzi's en rwzi's op basis van het energiefabriek-concept. Het energiefabriek-concept betekent een grote wijziging in de wijze waarop deze rwzi's energetisch worden ingericht. In paragraaf 3.1 wordt hierop ingegaan. De verschillende energieconcepten die in dit hoofdstuk beschreven worden, zullen verderop in het rapport ook voor de Energiefabriek worden beschouwd.

Vervolgens wordt ingegaan op drie routes om de thermische energiehuishouding van de rwzi's te verbeteren:

- 1 doorleveren van biogas
- 2 het optimaal benutten van restwarmte
- 3 het maximaliseren van de elektriciteitsproductie.

Bij de eerste route; het doorleveren van biogas, wordt afgestapt van het gangbare conventionele energieconcept waarbij biogas naar WKK wordt geleverd. In de op de rwzi benodigde warmte moet dan op een andere wijze worden voorzien. In paragraaf 3.2 worden verschillende mogelijkheden hiervoor besproken.

De tweede route wordt beschreven in paragraaf 3.3, waar een aantal mogelijkheden worden toegelicht om de restwarmte die in de huidige situatie onbenut is, toch een nuttige bestemming te geven.

Bij de derde route wordt getracht zoveel mogelijk elektrische energie te produceren. Dit heeft veel overeenkomsten met het energiefabriek-concept uit paragraaf 3.1, maar gaat een paar stappen verder. Hier wordt in subparagraaf 3.3.3 op ingegaan.

### 3.1 TOEKOMSTIGE MODELZUIVERING: DE ENERGIEFABRIEK

Op de grote Nederlandse zuiveringen worden thans diverse initiatieven genomen om te komen tot een energie-neutrale of zelfs energie-producerende waterzuivering, beter bekend als "een rwzi als Energiefabriek".

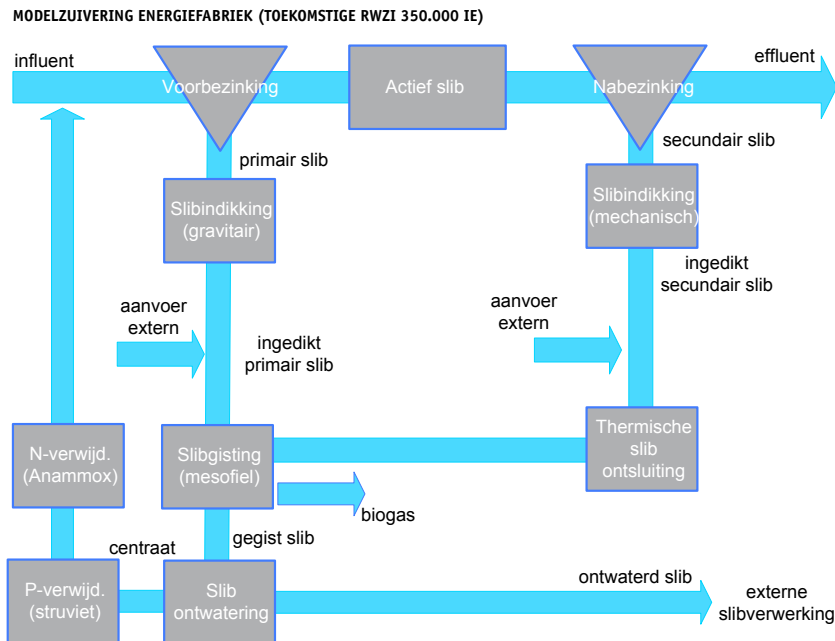
Het energiefabriek concept gaat ten eerste uit van het reduceren van het elektriciteitsverbruik op de zuivering.

Verder wordt in de slibgisting een zo groot mogelijke biogasproductie nagestreefd door maximale organische stofafbraak. Een mogelijkheid om meer biogas te produceren is het bewerken van het biologische slib door bijvoorbeeld TSO (thermische slibontsluiting) voorafgaand aan de vergisting. Deze techniek is momenteel volop in onderzoek<sup>4</sup>. Op de rwzi Venlo is deze voorbehandelingstechniek reeds gebouwd. Op rwzi Tilburg is een CAMBI installatie in aanbouw. Ook op andere zuiveringen (bijvoorbeeld Apeldoorn en Amersfoort) wordt deze wijze van slibvoorbehandeling voorbereid. TSO is een proces dat op hoge druk en temperatuur wordt uitgevoerd. In dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat het slib na de TSO behandeling nog voldoende temperatuur bezit en direct kan worden toegevoerd aan de slibgisting, zodat de warmtevraag van de slibgisting wordt geminimaliseerd. Deze gecascadeerde integratie van TSO met de slibgisting is een belangrijke aanname in dit onderzoek. De TSO zelf zal ook nog thermisch geoptimaliseerd kunnen worden door een betere warmte uitwisseling tussen het uitgaande en ingaande slib. Op het moment dat dit gebeurt zal echter de warmtevraag van de slibgisting weer toenemen, zodoende is de thermische integratie van TSO op de rwzi een belangrijk aandachtspunt voor verdere ontwikkeling van de techniek.

Voor de verwijdering van stikstof is op een aantal zuiveringen naast de conventionele nitrificatie-denitrificatie ook een deelstroombehandeling via Anammox-bacteriën en nitrietroute gerealiseerd. Door deze deelstroombehandelingen vindt de stikstofverwijdering op een energetisch efficiëntere wijze plaats.

Beide bovengenoemde technieken zijn warmte vragende processen en nemen een steeds belangrijkere plaats in op de grote Nederlandse zuiveringen. In het kader van dit project is ook de warmtebalans voor een rwzi met de nieuwe processen TSO en stikstofverwijdering via deelstroombehandeling opgesteld.

FIGUUR 3.1



4 STOWA, Verkenning thermische slibontsluiting, rapport 2011-03

De modelzuivering die gebaseerd is op het Energiefabriek-concept is schematisch weergegeven in figuur 3.1. Bij deze modelzuivering wordt naast het op de eigen zuivering geproduceerde slib ook slib van andere zuiveringen verwerkt. In verband met de terugvoer van veel fosfaat naar de waterlijn is ook een deelstroombehandeling voor het terugwinnen van fosfaat in het zuiveringsconcept opgenomen.

De warmtebalans van deze Energiefabriek is weergegeven in tabel 3.1.

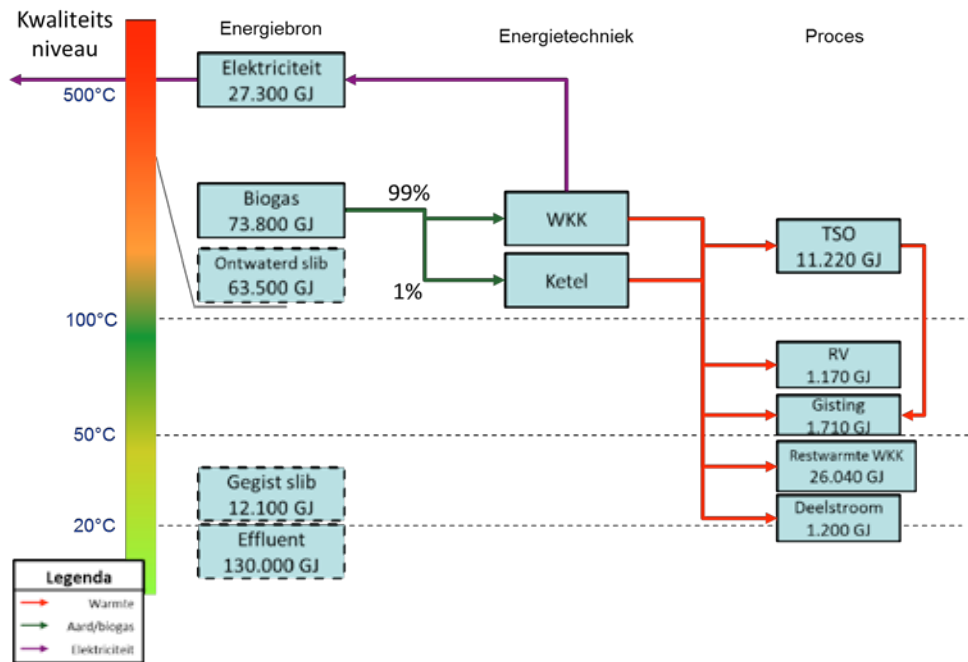
TABEL 3.1 WARMTEVRAAG EN WARMTEAANBOD MODELZUIVERING ENERGIEFABRIEK (TOEKOMSTIGE RWZI 350.000 IE)

Warmtevraag/aanbod	Temperatuur niveau <sup>1</sup>	Energiefabriek 350.000 ie (GJ/jaar)
<b>Warmtevraag</b>		
Bedrijfsgebouwen	MT	1.170
Slibgisting	LT	1.710 (cascade met TSO) <sup>2</sup>
TSO	HT	11.220
Deelstroombehandeling <sup>3</sup>	LT	1.200
Totale warmtevraag	HT-MT-LT	15.300
<b>Energie/warmteaanbod</b>		
Biogas	-	73.800
Warmteaanbod bij toepassing WKK's <sup>4</sup>	HT-MT-LT	41.300

1. HT (hoge temperatuur) > 100 °C, MT (middel temperatuur) = 50-100 °C, LT (lage temperatuur) < 50 °C en ZLT (zeer lage temperatuur) < 20 °C.
2. Bij voorbehandeling van de secundaire slibstroom via thermische slibontsluiting bevat de behandelde secundaire slibstroom doorgaans voldoende warmte voor de navolgende vergisting. Bij grote volumestromen primair slib is nog enige bijverwarming nodig. Hier is het TSO-proces van Cambi doorgerekend met ontwatering sec. slib tot 16,5% ds voorafgaand aan TSO.
3. De stikstofverwijdering in de deelstroom heeft alleen in de winter en bij opstart/herstart een warmtebehoefte (zie Factsheet bijlage 2).
4. Maximale warmte uit WKK bij totaal warmterendement WKK van 56%.

De koppeling van warmtevragers aan de potentiële energiebronnen is schematisch weergegeven in figuur 3.2.

FIGUUR 3.2 JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING ENERGIEFABRIEK (TOEKOMSTIGE RWZI 350.000 IE)



In (GJ/jaar)		Uit (GJ/jaar)	
Biogas	73.800	Elektriciteit	27.300
		Ruimteverwarming (RV)	1.170
		Verwarming slibgistig	1.710
		Restwarmte WKK	26.040
		Deelstroombehandeling	1.200
		Verliezen	16.380
	<u>73.800</u>		<u>73.800</u>

Tevens is ook voor de Energiefabriek gekeken naar de vermogensbalans (Tabel 3.2).

TABEL 3.2 MAXIMALE VERMOGENSVRAAG EN AANBOD OP DE RWZI

Temperatuur niveau	Vraag Energiefabriek (kW thermisch)	Aanbod Energiefabriek (kW thermisch)
HT	360	640
MT	100	850
LT	750	150
Totaal	1.210	1.640

Door toepassing van TSO stijgt de biogasproductie. De elektriciteitsproductie en de warmteproductie in de WKK's nemen zodoende ook toe. Daar tegenover staat een grotere warmtevraag van met name de TSO. In recent STOWA onderzoek<sup>5</sup> wordt geconstateerd dat de rookgassen van de WKK geschikt zijn (voldoende hoge temperatuur) voor toepassing van TSO. In het uiterste geval kan overgestapt op de biogasketel. Bij aanvoer van extern slib waardoor de warmtebehoefte voor de TSO toeneemt kan aanvullend verwarmd worden met stoom, opgewekt uit geproduceerd biogas. Deze stoomketels hebben een hoger thermisch rendement dan een WKK, zodat de inname van aardgas wordt voorkomen.

5 STOWA, Thermische slibontsluiting, juni 2012

Indien de warmtebalans over de gehele zuivering beschouwd wordt blijkt dat ook bij TSO nog een groot deel van de warmte die vrijkomt bij de WKK's uiteindelijk onbenut blijft. Dit komt doordat voornamelijk de hoge temperatuur warmte van de WKK benut wordt voor de TSO. Er resteert vervolgens een aanbod van laagwaardige warmte.

### 3.2 DOORLEVEREN VAN BIOGAS

Omdat bij de huidige elektriciteitsproductie in WKK's veel restwarmte onbenut blijft, kan de vraag gesteld worden of de route waarbij biogas in een WKK wordt omgezet energetisch wel het efficiëntste is. Het alternatief voor deze route is het doorleveren van biogas. De warmtevraag op de zuivering moet dan op andere manieren ingevuld worden, zoals warmte innemen van derden, warmtebenutting uit effluent of uitgegist slib of warmteproductie in een ketel. In het kader van deze studie zijn vier energieconcepten uitgewerkt waarbij het biogas zoveel mogelijk wordt doorgeleverd en op alternatieve wijze in de warmtevraag wordt voorzien.

De uitgewerkte energieconcepten zijn:

Par. 3.2.1 Restwarmte van derden innemen en biogas (of groengas) uitleveren.

Voorbeeld: Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier produceert groen gas op de rwzi Beverwijk en levert dit aan het Eneco gasnetwerk. Via de vulstations op verschillende rwzi's kunnen dienstauto's van het Hoogheemraadschap het eigen opgewekte gas tanken.

Het Waterschap Hollandse Delta overweegt inname van warmte uit het warmtenet Rotterdam voor de slibverwerking Sluisjesdijk.

Par. 3.2.2 Energie uit effluent of uitgegist slib benutten en biogas uitleveren.

Voorbeeld: Benutting van effluentwarmte wordt overwogen voor verschillende zuiveringen van het Waterschap Zuiderzeeland. Op de zuivering Nieuwveer zal de warmte in het uitgegist slib in de nabije toekomst gebruikt worden voor voorverwarming van te vergisten slibstromen doormiddel van een leidingensysteem in een uitgegist slibbuffer.

Par. 3.2.3 Warmte leveren met een ketel (biogasgestookt) en resterend biogas uitleveren. Dit energieconcept wordt nog niet op Nederlandse rwzi's toegepast.

Par. 3.2.4 WKK dimensioneren op warmtevraag en resterend biogas uitleveren. Deze wijze van ontwerpen is in Nederlandse niet gangbaar. De warmtevraag is nu ondergeschikt aan de elektriciteitsvraag. Als er warmte nodig is zal deze met een biogas gestookte stoomketel worden opgewekt.



FIGUUR 3.3

HET HOOGHEEMRAADSCHAP HOLLANDS NOORDERKWARTIER TANKT SINDS 2011 HAAR EIGEN GROEN GAS, DAT IS OPGEWEKT OP DE RWZI BEVERWIJK, OP DE ZUIVERINGEN WERVERSHOOF EN GEESTMERAMBACHT



### 3.2.1 WARMTE VAN DERDEN INNEMEN EN BIOGAS UITLEVEREN

In deze variant wordt ervan uitgegaan dat de benodigde warmte om de processen op gang te houden uit een warmtenetwerk wordt onttrokken. Het geproduceerde biogas is zodoende beschikbaar voor directe uitlevering naar de omgeving, opwerking naar groen gas, invoeding in het gasnetwerk en/of benutting als transportbrandstof.

#### PRODUCTIE VAN GROEN GAS

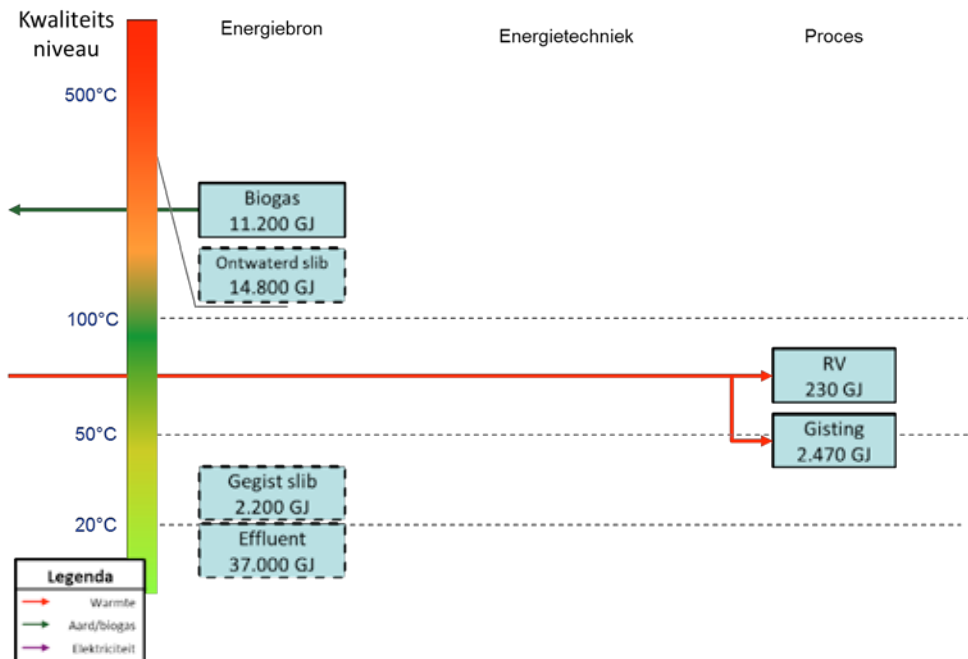
Biogas bestaat voornamelijk uit methaan en kooldioxide. Het methaangehalte varieert van 50% tot 65%. De opwerking tot groen gas is er op gericht om zoveel CO<sub>2</sub> te verwijderen dat de verbrandingswaarde van het gas daarna identiek is aan de verbrandingswaarde van aardgas. De bewezen technieken voor opwerking zijn onderscheidend in de manier waarop CO<sub>2</sub> uit het biogas wordt verwijderd, namelijk:

- membraanscheiding;
- CO<sub>2</sub> absorptie (gaswassing);
- CO<sub>2</sub> adsorptie met behulp van VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption);
- cryogeen.

Vanuit oogpunt van duurzaamheid kan opwerking een interessant proces zijn. Nadeel is dat de productie van groen gas niet per definitie financieel interessant is. De productie van groen gas wordt rendabel bij een voldoende schaalgrootte (terugverdientijd investering is 10 jaar bij 1.000.000 Nm<sup>3</sup>/jaar en 4 jaar bij 2.500.000 Nm<sup>3</sup>/jaar) en een opbrengst ter hoogte van € 0,287/Nm<sup>3</sup> (SDE+ basisprijs) (Bron: studie optimalisatie WKK en biogasbenutting, STOWA-rapport 2011-33). Volgens een andere STOWA studie kan de productie van groen gas pas concurreren met WKK als de opbrengst van groen gas hoog is (ordegrootte € 0,60 per Nm<sup>3</sup> volgens Slibketenstudie II, STOWA rapport 2010-33).

In figuur 3.4 is de inname van warmte en uitlevering van biogas naar de omgeving schematisch weergegeven voor de modelzuivering 100.000 ie.

FIGUUR 3.4 ENERGIECONCEPT: INZET VAN EXTERNE WARMTE MET UITLEVERING VAN BIOGAS.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE



De energie-inhoud van het biogas wat in de slibgisting geproduceerd wordt, komt overeen met circa 350.000 liter benzine. Bij een verbruik van 1 op 15 is deze productie voldoende voor het jaarlijks aantal afgelegde kilometers van ongeveer 400 Nederlandse personenauto's.

### 3.2.2 BENUTTEN ENERGIE UIT EFFLUENT/UITGEGISTE SLIB EN BIOGAS UITLEVEREN

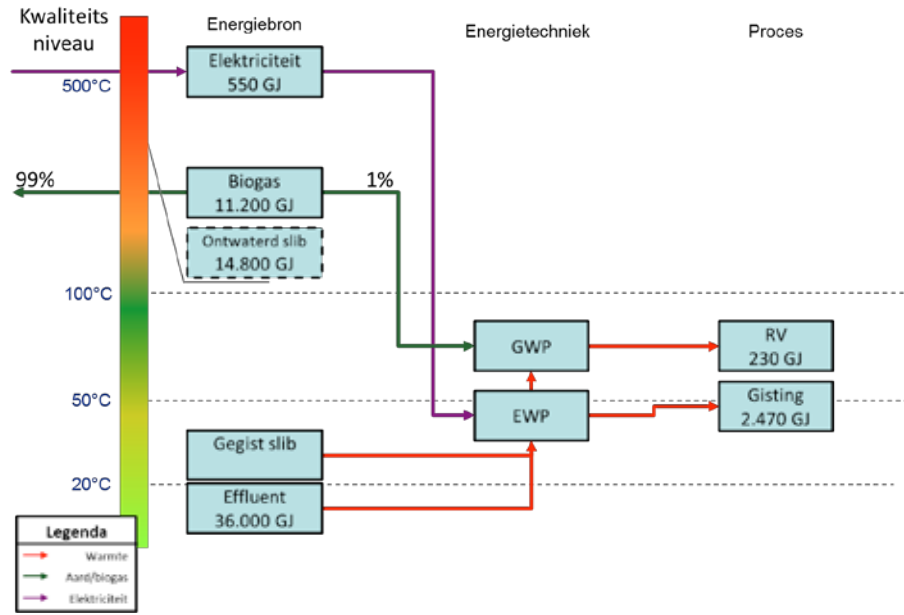
Het effluent en het uitgegiste slib van de zuivering bevat in potentie een grote hoeveelheid warmte, ruim voldoende voor de totale warmtebehoefte van de rwzi (zie tabel 3.2). Door de thermische energie uit effluent en het uitgegiste slib te gebruiken, blijft een groot deel van het biogas beschikbaar voor andere doeleinden.

Om de thermische energie uit het effluent of het uitgegiste slib te kunnen benutten, zal deze opgewaardeerd moeten worden naar de benodigde temperatuur voor het proces/eindgebruik. Dit kan met behulp van warmtepompen. Voor het bereiken van hogere temperaturen (tot 90°C) kan een gaswarmtepomp ingezet worden, bij lagere temperaturen (tot 50°C) volstaat een elektrische warmtepomp. Voor ruimteverwarming, indien gebruik gemaakt wordt van hoge temperatuur verwarming, kan zodoende het beste een gaswarmtepomp gebruikt worden. Hiermee wordt bovendien geen aanspraak gemaakt op elektrische aansluitcapaciteit van de zuivering. Voor de slibgisting kan een elektrische warmtepomp de warmte leveren, mits goed ingeregeld (zie Bijlage 2, Factsheet Warmteopwekking).

De inzet van elektrische en gaswarmtepompen voor verwarming van de slibgisting en gebouwen is in figuren 3.5 en 3.6 geïllustreerd.

FIGUUR 3.5

ENERGIECONCEPT: BENUTTING ENERGIE UIT EFFLUENT EN UITGEGIST SLIB VIA EWP EN GWP EN BIOGAS UITLEVEREN.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE

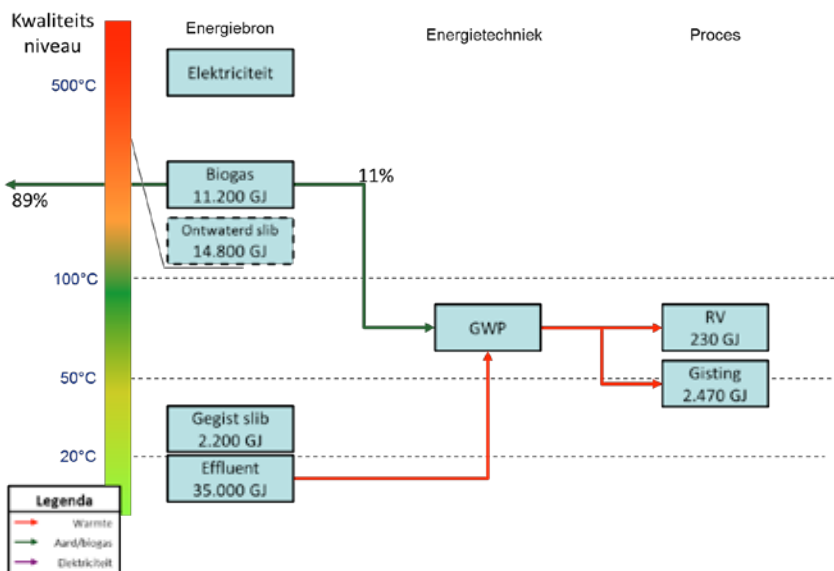


**GWP: gas aangedreven warmtepomp**  
**EWP: elektrisch aangedreven warmtepomp**

in (GJ/jaar)		uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	RV	230
Effluent	2.588	Gisting	2.470
Elektriciteit	550	Levering Biogas	11.088
	13.788		13.788

FIGUUR 3.6

ENERGIECONCEPT: BENUTTING ENERGIE UIT EFFLUENT EN UITGEGIST SLIB VIA GWP EN BIOGAS UITLEVEREN.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE

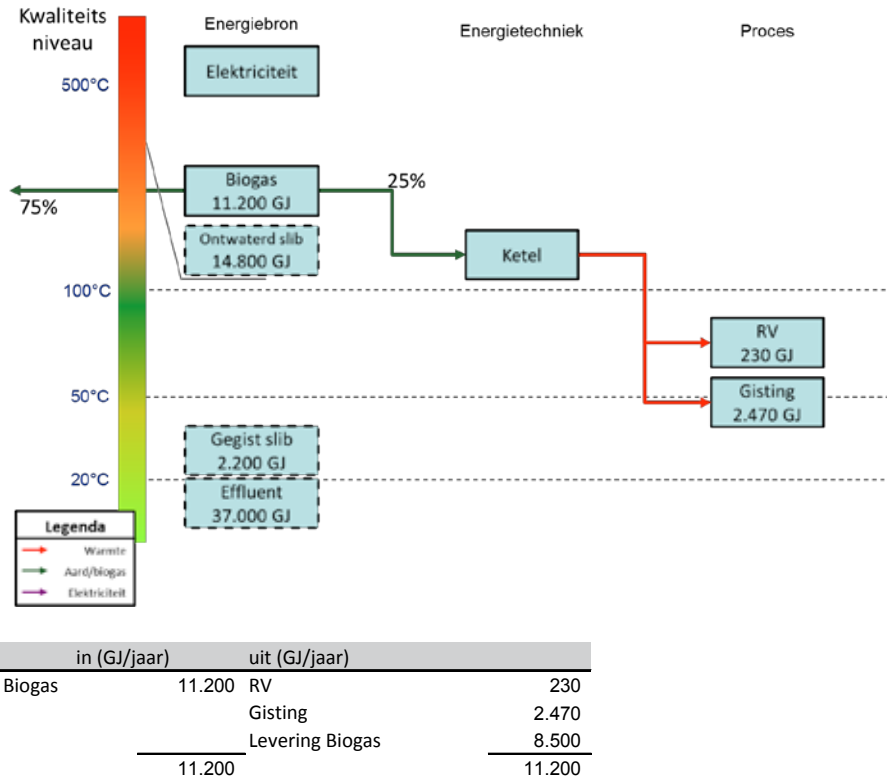


in (GJ/jaar)		uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	RV	230
Effluent	1.468	Gisting	2.470
		Levering Biogas	9.968
	12.668		12.668

### 3.2.3 WARMTE LEVEREN UIT KETEL EN BIOGAS UITLEVEREN

Op veel zuiveringen met slibgisting is naast de WKK's een ketel aanwezig voor ruimteverwarming. De warmtelevering voor slibgisting en gebouwenverwarming kan ook volledig door ketels ingevuld worden. Ketels hebben een hoger thermisch rendement dan WKK's en zodoende is minder biogas benodigd om in de warmtevraag te voorzien (echter zonder bijkomende elektriciteitsproductie). De energiestromen voor dit energieconcept zijn in figuur 3.7 schematisch weergegeven voor de modelzuivering 100.000 ie.

FIGUUR 3.7 ENERGIECONCEPT: WARMTE LEVEREN UIT KETEL EN BIOGAS UITLEVEREN.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE



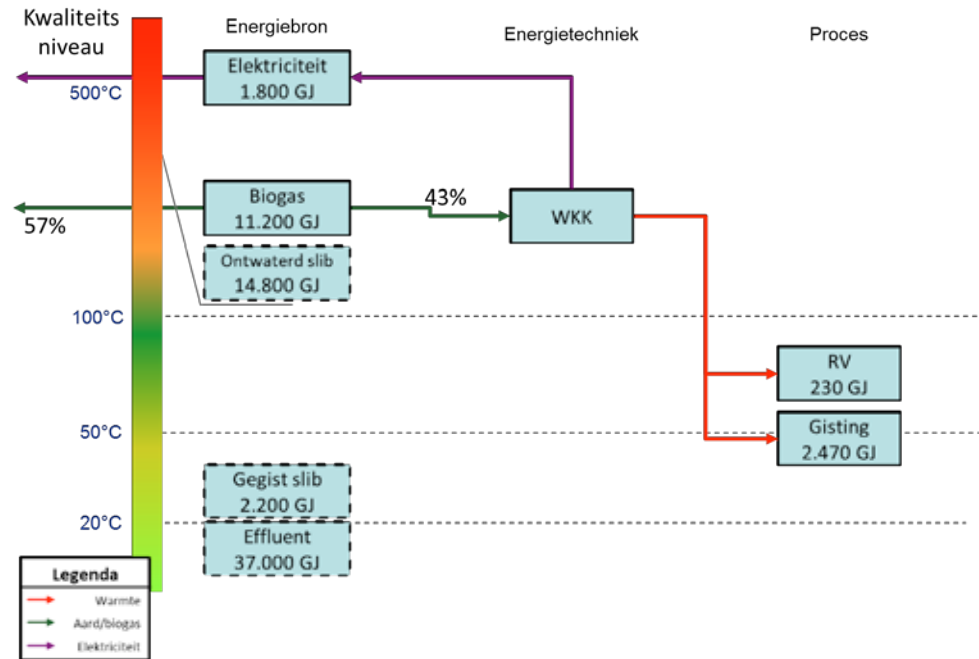
Bij deze optie wordt het gebruik van biogas op de rwzi geminimaliseerd, echter moet alle benodigde elektrische energie worden ingekocht.

### 3.2.4 WKK DIMENSIONEREN OP WARMTEVRAAG EN BIOGAS UITLEVEREN

Door de WKK's te dimensioneren op de warmtevraag van de zuivering zal biogas overblijven, waardoor dit beschikbaar blijft voor doorlevering of ander gebruik. De elektriciteitsproductie in de WKK's is bij deze optie kleiner dan op het moment dat ook het 'overschot' aan biogas wordt ingezet in WKK's, wat nu gebeurt op de conventionele zuiveringen. Bij toepassing van dit energieconcept zal zodoende meer elektriciteit moeten worden ingekocht.

FIGUUR 3.8

ENERGIECONCEPT: WKK DIMENSIONEREN OP WARMTEVRAAG EN BIOGAS UITLEVEREN.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE



in (GJ/jaar)		uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	Elektriciteit	1.800
		RV	230
		Gisting	2.470
		Levering Biogas	6.400
		Verliezen	300
	<u>11.200</u>		<u>11.200</u>

Bij deze optie moet aandacht besteedt worden aan de zomer en wintersituatie. De WKK levert idealiter het grootste gedeelte van de warmte, om het energierendement en voordelen in schaalgrootte te maximaliseren. In deze studie zijn we uitgegaan van 100% dekking van de warmte, ook in de winter, waarbij de WKK in de zomer in deellast draait.

Een alternatief is om de dimensionering zo te kiezen dat de WKK 80% van het gevraagde warmtevermogen levert. Dat betekent dat er in de zomer een (kleiner) warmteoverschot blijft maar beperkt deellastbedrijf van de WKK.

### 3.3 MAXIMALISATIE ELEKTRICITEITSPRODUCTIE EN BENUTTING RESTWARMTE

De meest gangbare benutting van het op de rwzi geproduceerde biogas is thans volledige omzetting in gasmotoren (WKK) voor de productie van elektriciteit en warmte. De zelf geproduceerde elektriciteit levert een grote bijdrage in de elektriciteitsbehoefte van de zuivering. De warmtevraag op de zuivering is echter relatief gering. Deze beperkt zich tot de slibgisting en gebouwverwarming.

Geconstateerd is dat 50 – 55% van de in de WKK's geproduceerde warmte onbenut blijft. In de paragrafen 3.3.1 t/m 3.3.3 worden routes uitgewerkt waarin deze onbenutte warmte uit de WKK's een nuttige bestemming krijgt. In bijlage 3 zijn de schema's van de energieconcepten voor de Energiefabriek van deze opties opgenomen.

De volgende energieconcepten worden besproken:

Par. 3.3.1 Restwarmte WKK's inzetten voor slibdroging op/nabij de zuivering.

Er wordt hierbij van uitgegaan dat de lage temperatuur restwarmte (tot 80°C) wordt aangevuld met aardgas op het moment dat er niet voldoende warmte beschikbaar is om het slib te drogen naar een bepaald vochtgehalte. Slibdroging nabij de zuivering (met aardgas) wordt al sinds 1995 toegepast bij de zuivering Beverwijk, dit is echter een systeem dat bedreven wordt met stoom en is zodoende een ander concept dat hier voor ogen is.

Par. 3.3.2 Het warmteoverschot (seizoensafhankelijk) van de WKK uitleveren aan derden. De restwarmte van de rwzi Apeldoorn wordt doorgeleverd aan het warmtenet van de woonwijk Zuidbroek.

Par. 3.3.3 WKK's uitbreiden met een ORC (Organic Rankine Cycle), waardoor meer elektriciteit en minder warmte geproduceerd wordt in de combinatie WKK-ORC. Op Nederlandse rwzi's worden nog geen ORC's toegepast.

### 3.3.1 WARMTE INZETTEN VOOR SLIBDROGING OP ZUIVERING

De WKK-restwarmte kan in principe benut worden voor slibdroging. Hierdoor wordt het droge stofgehalte van het slib op de rwzi verlaagd waardoor er minder energie nodig is bij de slibverbranding. Het verbranden van voorgedroogd zuiveringsslib kan dan bij verbranding in principe energie op leveren. Of dit in de praktijk ook wordt gerealiseerd hangt wel af van de slibverbrander: deze moet in staat zijn om de hogere verbrandingswaarde nuttig te gebruiken. De energetische winst voor deze optie is bovendien dat restwarmte op locatie nuttig wordt gebruikt, waardoor het warmteoverschot daalt. Daarnaast wordt het volume van het uitgeste slib verder verlaagd, hetgeen de verwerkingskosten van het uitgeste slib aanmerkelijk verlaagt.

#### VERANDERINGEN IN SLIBEINDVERWERKING

Bijna 50% van het zuiveringsslib wordt verbrand in twee grote wervelbedovens (Dordrecht en Moerdijk). De warmte die hierbij vrijkomt wordt gebruikt voor het gedeeltelijk voordrogen van het slib. Op basis van de jaarverslagen van deze twee wervelbedovens is berekend dat deze wijze van slibeindverwerking 0,3 PJ/jaar vergt (situatie 2010). Op dit moment is zijn de twee genoemde wervelbedovens niet in staat om veel slib met een hoog (80-90%) droge stof percentage te verwerken. Bij te hoge droge stofgehalten zou een te groot warmteoverschot ontstaan, waarop de installaties niet zijn uitgelegd en er operationele problemen zullen optreden.

SNB in Moerdijk bereidt nu echter de vervanging voor van twee stoomketels door hoge druk stoomketels. De hoge druk stoomketels worden gebruikt om elektriciteit op te wekken door middel van een nieuw te plaatsen turbine. De doelstelling van SNB is om de huidige productie van groene stroom met ongeveer een factor 9 te vergroten, waarmee de slibverbrandingsinstallatie bijna geheel in haar eigen elektriciteitsverbruik kan voorzien<sup>6</sup>. SNB is sinds kort in staat om slib tot een droge stofgehalte van 65% te verbranden. Investeringskosten in het drogen van slib zal enkel tot een grotere productie van elektrische energie gaan leiden wanneer ook de nieuw te plaatsen turbine nog ruimte heeft om de extra stoom die vrijkomt te verwerken (uitgaande van volledig benutting van de installatie van SNB). In de huidige plannen wordt er vanuit gegaan dat een bepaalde hoeveelheid stoom nodig is voor het drogen van het slib. Indien deze hoeveelheid stoom kleiner wordt kan deze stoom worden ingezet in de te plaatsen turbine indien deze nog capaciteit over heeft. Rest of reserve capaciteit in turbine verhoogt echter de huidige investeringskosten en zal daardoor gering zijn. Capaciteit van een geplaatste turbine is niet eenvoudig te vergroten.

In een eerdere STOWA rapportage (Slibketenstudie II, STOWA 2010-33) is ingegaan op droging van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib met laagwaardige warmte. In deze studie werd geconstateerd dat deze vorm van droging zich onder voorwaarden aftekent als een zeer interessante slibverwerkingstechniek met een lage investering en een hoge bijdrage aan de verlaging van langcyclische CO<sub>2</sub>-emissie. De voorwaarden zijn dat:

- de slibdroging bij een laagwaardige warmtebron moet worden uitgevoerd;
- er afzet moet zijn voor het gedroogde slib bij een kolencentrale en/of een cementoven.

Er moet rekening mee worden gehouden dat de verbrandingswaarde van gedroogd zuiveringsslib (20% vocht) lager is dan bruinkool en steenkool en dat er bij het meeverbranden in huisvuil-, kolen- en bruinkoolcentrales of cementovens sprake is van grotere emissies dan bij reguliere fossiele brandstoffen en een verslechtering van kwaliteit van de resterende slakken. Verder is het anders dan bij monoverbranding, veel moeilijker om fosfaat terug te winnen. Dit bemoeilijkt de verbranding van het gedroogde slib.

De calorische waarde, ofwel stookwaarde van slib, is als volgt te berekenen (conform STOWA rapport 2011-16 handboek slibgisting):

$$H_{\text{slib}} = (\text{ODS} * H_{\text{organisch}}) * \text{DS} - H_{\text{verdamping water}} * (1 - \text{DS})$$

Met:

$H_{\text{slib}}$  = stookwaarde in MJ per kg slibmateriaal

$H_{\text{organisch}}$  = 21,318 MJ/kg ODS (organisch drogestof)

ODS = organisch gehalte in de droge stof

DS = droge stof gehalte van het slibmateriaal

$H_{\text{verdamping water}}$  = 2,258 MJ/kg (verdampingswarmte van water)

Volgens deze formule bedraagt de calorische waarde van ontwaterd slib met een ds gehalte van 25% en ODS gehalte van 67% (CBS, gemiddelde Nederland 2008-2009) 1,9 MJ/kg ontwaterd slib.

Door droging tot 70% - 80% ds zal de calorische waarde van het slib toenemen tot 9-11 MJ/kg gedroogd slib.

Ter vergelijking: stookwaarde bruinkool = 20 MJ/kg en stookwaarde steenkoolcokes = 29 MJ/kg. Voor de stookwaarde van het slib is ook de slibgisting relevant. Onvergist slib heeft een hogere stookwaarde dan vergist slib.

TABEL 3.2 SLIBDROGING OP OF NABIJ DE WATERZUIVERING

	Eenheid	Huidige rwzi 100.000 ie	Huidige rwzi 350.000 ie	Energiefabriek 350.000 ie (met TSO)
Warmteoverschot uit WKK	GJ/jr (HT-MT-LT)	3.550	18.540	26.000
Potentiële warmte in effluent <sup>1</sup>	GJ/jr (ZLT)	37.000	130.000	130.000
Warmtevraag slibdroging banddroging tot 80% ds	GJ/jr (MT)	9.880	52.910	33.380 <sup>2</sup>
Maximale slibdroging (banddroging) met restwarmte WKK	% van slibproductie	34	35	86
Warmtevraag slibdroging kasdroging tot 75% ds	GJ/jr (LT)	18.750	101.820	64.220 <sup>2</sup>
Maximale slibdroging (kasdroging) met restwarmte WKK	% van slibproductie	18	18	45

- 1 De in het effluent aanwezige warmte heeft een te laag temperatuurniveau om direct voor de in deze studie beschouwde vormen van slibdroging te kunnen worden toegepast.
- 2 Door toepassing van thermische slibontsluiting zal het ontwaterd slibvolume afnemen. Door de thermische ontsluiting neemt de organische stofreductie in de vergisting toe. Daarnaast verbetert de ontwaterbaarheid van het uitgediste slib. Beide aspecten zorgen ervoor het ontwaterd slibvolume afneemt, waardoor de warmtevraag benodigd voor slibdroging vermindert.

Bij droging via een banddroger kan 35 – 85% van het slib gedroogd worden met de warmte van de WKK. Bij droging in kassen ligt dat anders. Naar schatting slechts 18 – 45% van het slib kan gedroogd worden met de restwarmte van de WKK. De rest van de benodigde warmte kan door de zon worden geleverd. Hiervoor is een aanzienlijk kasoppervlak noodzakelijk (zie factsheet Slibdroging in kassen in Bijlage 2).

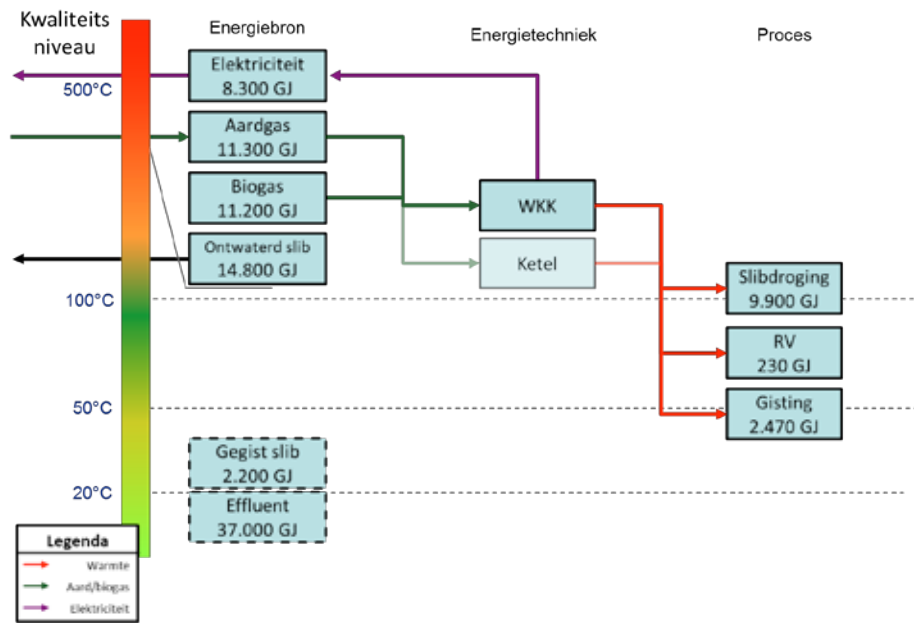
Een duurzaam alternatief om de droogcapaciteit te verbeteren is het gebruik van restwarmte van derden. In Nederland is deze situatie op verschillende locaties actueel, zoals bijvoorbeeld op de rwzi Veendam, waar restwarmte van nabij gelegen industrie beschikbaar is. Een ander alternatief is om een bandbreedte toe te passen op het te beschikbaar te stellen gedroogde slib, bijvoorbeeld een kwaliteitseis van tussen de 50-80%ds.

In figuur 3.9 is de slibdroging via banddrogers uitgewerkt voor de modelzuivering 100.000 ie. Er is uitgegaan van droging van alle ontwaterd slib. Het tekort aan warmte wordt in deze balans geleverd door inkoop van aardgas, dat vervolgens omgezet wordt in de WKK's. In de WKK's wordt uit het ingekochte aardgas ook elektriciteit opgewekt. Dit is een energetisch geoptimaliseerde situatie, die voor zover bekend in Nederland niet wordt toegepast.



FIGUUR 3.9

**ENERGIECONCEPT: WKK'S MET BENUTTING RESTWARMTE VOOR SLIBDROGING.**  
**JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING HUIDIGE RWZI 100.000 IE**



In (GJ/jaar)		Uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	Slibdroging	9.900
Aardgas	11.300	Ruimteverwarming (RV)	230
		Verwarming slibgisting	2.470
		Elektriciteit	8.300
		Verliezen	1.600
22.500		22.500	

In bijlage 3 is de jaarbalans voor slibdroging op de Energiefabriek (toekomstige rwzi 350.000 ie) uitgewerkt.

### CASUS: ENERGIEFABRIEK AMERSFOORT

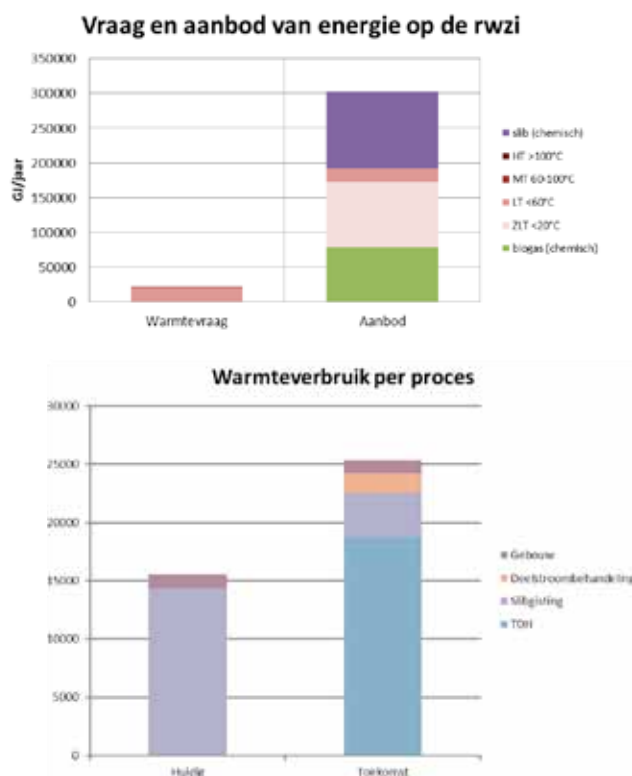
Het energiefabriek-concept kan worden geïllustreerd aan de hand van de casus Omzet Amersfoort. Rwwi Amersfoort zuivert 300.000 i.e. en is daarmee iets kleiner dan de modelzuivering. Waterschap Vallei en Veluwe heeft het voornemen om van de rwwi Amersfoort een Energiefabriek te maken. Dit is het project Omzet Amersfoort.

In 2006 wekte de rwwi 30% van de eigen energie zelf op. In 2011 was dat al 55%. De belangrijkste elementen in het realiseren van deze energiefabriek zijn nieuwe moderne WKK's, de-ammonificatie van het rejectiewater van de slibgisting en voorbehandeling van slib door thermische druk hydrolyse (TDH).

De rechter kolom in de eerste figuur laat het huidige aanbod van energie op de rwwi Amersfoort zien. Uit de figuur blijkt dat het aanbod van (thermische) energie de warmtevraag veruit overtreft (linker kolom). De tweede figuur laat zien hoe de warmtevraag verandert door rwwi Amersfoort om te bouwen tot energiefabriek (rechter kolom). De TDH neemt in de energiefabriek een zeer prominente rol in als gebruiker van relatief veel (hoogwaardige) warmte.

Het waterschap heeft besloten in te zetten op centrale gisting, TDH en P-terugwinning op locatie. Bij het terugwinnen van fosfaat wordt biologische fosfaatverwijdering geoptimaliseerd in de bestaande installatie. Slibdroging wordt verder onderzocht. Het waterschap concludeert dat een energie neutrale zuiveringsinstallatie mogelijk is met bestaande technieken en lagere operationele kosten. De focus op duurzaamheid leidt tot nieuwe kansen, maar ook naar een verbeterde bestaande operatie. De warmte balans wordt belangrijk door de introductie van nieuwe technieken op deze rwwi, zoals TDH, ORC en slibdroging.

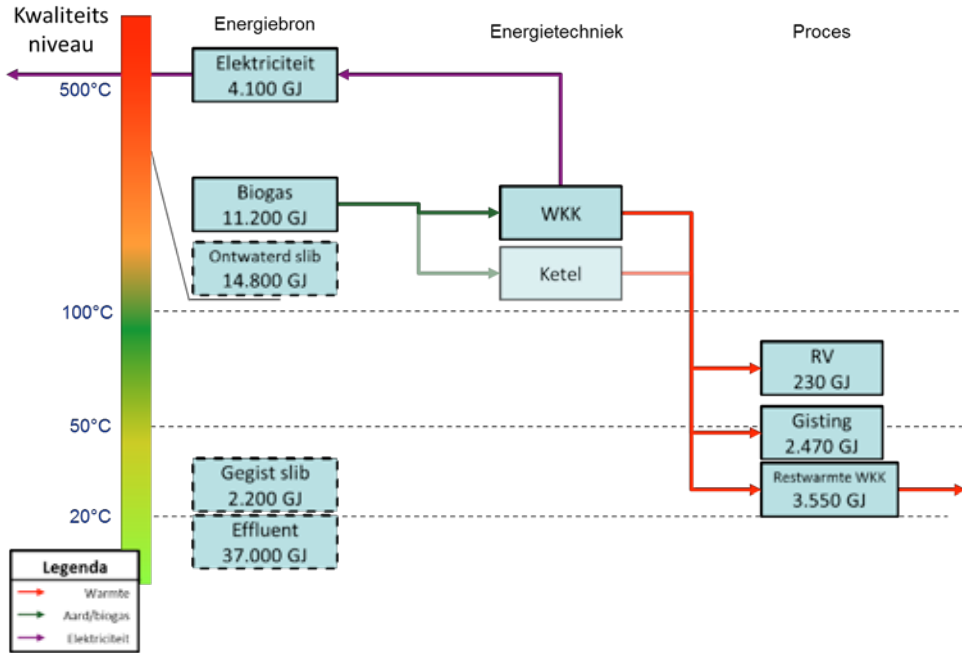
Omzet Amersfoort laat zien dat door inzet van de juiste combinaties te maken van technieken die voorhanden zijn al een stap te maken is naar verduurzaming van de waterketen.



### 3.3.2 HET WARMTEOVERSCHOT (SEIZOENSAFHANKELIJK) VAN DE WKK'S UITLEVEREN AAN DERDEN

Zoals aangegeven in de hoofdstukken 2 en 3.1 wordt 50 – 60% van de warmte die vrijkomt bij de WKK's onbenut gelaten. De resterende warmte, voornamelijk koelwater van de gasmotoren is laagwaardig. Figuur 3.10 geeft een schematisch weergave van de uitlevering van restwarmte van de WKK's voor de modelzuivering 100.000 ie.

FIGUUR 3.10 ENERGIECONCEPT: RESTWARMTE WKK'S UITLEVEREN AAN DERDEN. JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING 100.000 IE



In (GJ/jaar)		Uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	Restwarmte WKK	3.550
		Ruimteverwarming (RV)	230
		Verwarming slibgisting	2.470
		Elektriciteit	4.100
		Verliezen	850
11.200		11.200	

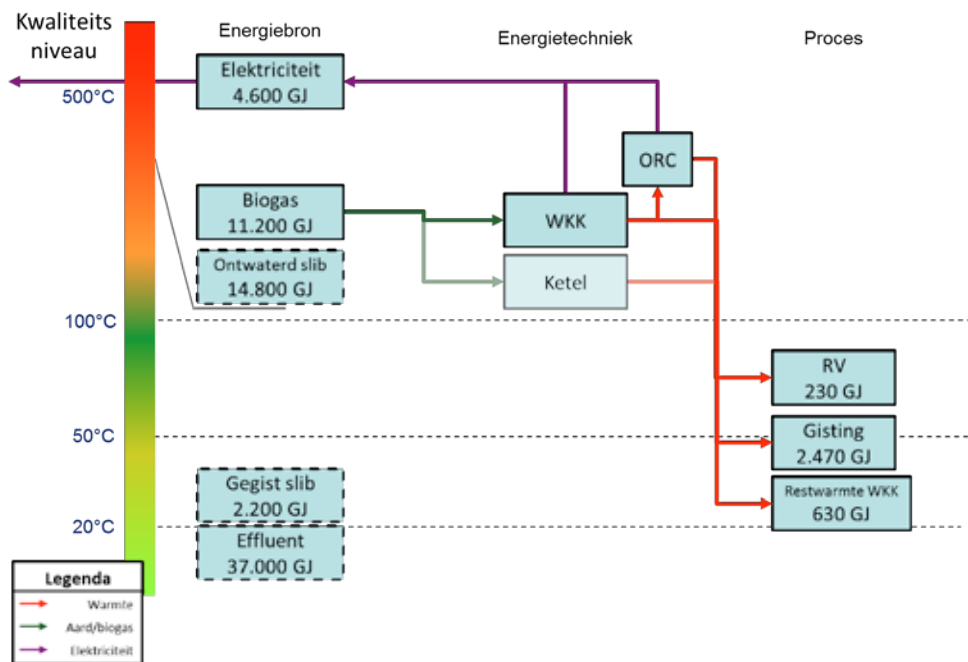
### 3.3.3 UITBREIDING WKK'S MET ORC

De warmte die vrijkomt bij de WKK kan benut worden om extra elektriciteit te produceren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een Organic Rankine Cycle (ORC), zie Factsheet bijlage 2. Bij inzet van een ORC na WKK neemt de totale elektriciteitsproductie ten opzichte van de referentie situatie (enkel WKK zonder ORC) toe met ongeveer 10% (≈5% van het overall benuttingsrendement voor biogas).

De energiestromen voor dit energieconcept zijn in figuur 3.11 schematisch weergegeven voor de modelzuivering 100.000 ie. In bijlage 3 is dit energieconcept voor de modelzuivering Energiefabriek weergegeven. Bij de ORC wordt meer warmte omgezet in elektrische energie. De hoeveelheid onbenutte restwarmte van de WKK's neemt daardoor af van 3.550 GJ/jaar zonder toepassing van ORC naar 630 GJ/jaar met toepassing van ORC. Dit is laagwaardige warmte op een temperatuurniveau beneden de 50°C.

FIGUUR 3.11

ENERGIECONCEPT: MAXIMALE EXERGIEBENUTTING WKK MET ORC.  
JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING 100.000 IE



In (GJ/jaar)		Uit (GJ/jaar)	
Biogas	11.200	Restwarmte WKK	630
		Ruimteverwarming (RV)	230
		Verwarming slihgisting	2.470
		Elektriciteit	4.600
		Verliezen	3.270
	11.200		11.200

Dit beeld sluit aan bij eerdere STOWA onderzoeken:

- er is een (beperkte) toename van de elektriciteitsopwekking (+5% overall rendement)
- hoogwaardige restwarmte uit de rookgassen van de WKK wordt beter benut<sup>7</sup>

In theorie zou ook de energiefabriek (TSO) gecombineerd kunnen worden met ORC. Er blijft echter maar weinig capaciteit over omdat vanwege grote vraag naar hoogwaardige thermische energie door de TSO. Er zou dan gekozen kunnen worden voor lage temperatuur ORC om het grote aanbod van minder hoogwaardige restwarmte te benutten. Deze techniek bevindt zich momenteel in een demonstratiefase, maar ziet er veelbelovend uit.

### 3.4 WINNING EN OPSLAG VAN THERMISCHE ENERGIE OP DE RWZI

Het uitleveren van het warmte-overschot uit de WKK (zoals Apeldoorn) of het leveren van lage temperatuur warmte uit het effluent kunnen interessante kansen opleveren. Het winnen van warmte uit effluent, ontsluit het grootste warmteverlies van de zuivering. Winning van koude is een alternatief. Warmte en/of koude uit afvalwater kan worden gewonnen door middel van warmtewisselaars. Daarna kan het nuttig hergebruikt worden. De gemiddelde gemeten temperatuur van het effluent op de rwzi is circa 10°C in de winter en 20°C in

<sup>7</sup> Optimalisatie WKK en biogasbenutting, STOWA rapport 2011-33

de zomer. De buitenluchttemperatuur is in de winter vaak lager dan 10°C en in de zomer vaak hoger dan 20°C. Hierdoor is het mogelijk om warmte of koude te onttrekken uit het effluent. Deze warmte of koude kan direct gebruikt worden of eerst in de bodem worden opgeslagen door middel van Warmte en Koude Opslag (WKO) om later in een ander seizoen te worden gebruikt. Dat biedt goede mogelijkheden voor energiebesparingen en energieoptimalisaties. Het aanbod van warmte of koude kan hergebruikt worden op plaatsen waar vraag naar thermische energie aanwezig is, bijvoorbeeld in zwembaden, ziekenhuizen, industrie, kantoren, scholen, gemeentelijke gebouwen, flatgebouwen, nieuwbouwprojecten, etc. Een andere optie is het benutten van de warmte om de capaciteit van de rwzi te vergroten. Deze optie is echter zéér afhankelijk van nabije gebiedsontwikkelingen bij een rwzi en in beginsel niet zozeer een thermische optimalisatie van het interne proces op de rwzi. Zodoende is deze optie niet verder uitgewerkt in deze studie.

### STUDIE ALMERE

De gemeente Almere verwacht een forse uitbreiding van het aantal woningen tussen nu en 2030. De capaciteit van de awzi zal afgestemd moeten worden op deze bevolkingsgroei. De awzi Almere levert nu een goede zuiveringsprestatie (N-tot < 8 mg/l). Het is de vraag of deze awzi te zijner tijd moet worden uitgebreid.

De gemeente Almere heeft een vergaand gescheiden rioolwaterstelsel. Dit wil zeggen dat het hemelwater niet via de riolering naar de awzi afgevoerd wordt, maar grotendeels lokaal op oppervlaktewater wordt geloosd. Door de vergaande afkoppeling van hemelwater heeft awzi Almere ruim voldoende hydraulische capaciteit over gehouden in de huidige situatie, de biologische capaciteit is op termijn onvoldoende voor de verwerking van het toekomstige aanbod van afvalwater.

Afdekken van de actief slib tanks is één van de manieren waarop de minimale temperatuur in de awzi kan worden verhoogd. Hierdoor kan de biologische capaciteit worden verhoogd en kan de uitbreiding van de awzi een aantal jaren worden uitgesteld. Afdekken in combinatie met een hogere slibbelasting geeft zowel in 2012 als in 2030 1,5 °C temperatuurverhoging (in de koudste periode). Hierdoor wordt (volgens het modelberekeningen (HSA-model) een betere zuiveringsprestatie geleverd (1-2 mg/l verlaging van de N-totaal emissie).

Daarmee ontstaat bovenstrooms in de waterketen ruimte voor het toepassen van Riothermie. Bij warmtelevering aan krap 2.000 huishoudens in 2030, kan de onttrokken warmte van circa 3,0 °C gecompenseerd worden door afdekking in combinatie met de hogere slibbelasting.

Een aanpak die is doorgerekend is het opslaan van warmte in grondwater. Hierbij wordt het grondwater gedurende de zomermaanden opgewarmd met warmte uit de effluent/actief slib tank. Dit opgewarmde grondwater wordt vervolgens in de bodem gebracht om in de wintermaanden weer gebruikt te worden voor het verwarmen van de actief-slib tank. Door de verhoging van de actief-slibtemperatuur in de wintermaanden neemt de biologische capaciteit van de rwzi toe.

Bij de opwarming van het afvalwater in de winter zijn twee alternatieven onderzocht, namelijk een passieve opstelling van een warmtenet zonder warmtepomp en een actieve opstelling van een warmtenet met een warmtepomp. Het grote verschil betreft het aantal benodigde ondergrondse bronnen en de daarbij behorende installatie. De case Almere laat zien dat afdekken en WKO een mogelijke oplossing kan zijn voor het vergroten van de biologische capaciteit. De unieke omstandigheden in Almere, namelijk het gescheiden rioolstelsel en een bestaande hydraulische overcapaciteit (nabezinktank) dragen bij aan deze oplossing.

Bron: Riothermie voor duurzame warmte en koude, conceptrapportage april 2012

### 3.5 VERGELIJKING THERMISCHE ASPECTEN ENERGIECONCEPTEN

De energiestromen voor de besproken opties zijn berekend voor de modelzuiveringen. De resultaten zijn verwerkt in een drietal tabellen (een tabel per modelzuivering). Deze tabellen zijn opgenomen in bijlage 4. Bij het interpreteren van de getallen moet er rekening mee worden gehouden dat er vanuit gegaan is dat de afzet van elektriciteit, biogas en restwarmte steeds 100% is. Dat is voor elektriciteit en biogas realistisch. Voor de afzet van restwarmte geeft dit een relatief positief beeld. Het zal in de praktijk immers lastig zijn om de, soms laagwaardige, restwarmte voor 100% door te leveren, gezien er in de zomer de meeste restwarmte over is en over het algemeen in deze periode de vraag naar warmte van derden dan ook minder is.

Op basis van de energiestromen zoals deze voor de modelzuiveringen zijn berekend kan een aantal zaken worden geconstateerd met betrekking tot de thermische energie-aspecten:

#### ENERGIEFABRIEK

De Energiefabriek is geoptimaliseerd voor de opbrengst aan elektrische energie. De TSO vraagt hoogwaardige thermische energie. Dit zorgt ervoor dat de extra opbrengst aan biogas grotendeels nodig is voor de eigen vraag naar hoogwaardige warmte.

Dit betekent bijvoorbeeld dat het doorleveren van biogas daarom niet voor de hand ligt. Doorlevering van biogas is in deze situatie alleen een optie als een alternatieve hoogwaardige warmtebron beschikbaar is.

Door de grote vraag naar hoogwaardige thermische energie luistert de thermische balans van TSO nauw. Er bestaan verschillen in de energiebalans van de technieken die in de markt beschikbaar zijn. Daarnaast bestaan per rwzi verschillen die de thermische energiebalans van TSO beïnvloeden. Zo is de massastroom van het met TSO te verwerken slib van belang voor de warmtebehoefte van de TSO. Dit hangt weer samen met het droge stofgehalte van het aangevoerde slib, maar ook van het aanbod van bijvoorbeeld primair slib. De technieken verschillen in werktemperatuur, temperatuurverschil tussen ingaand en uitgaand slib en de wijze waarop energie wordt teruggewonnen en de mate waarin restwarmte kan worden gebruikt om de energiebalans te verbeteren. Dit is complex en vraagt een gedetailleerdere uitwerking dan in het kader van deze studie is uitgevoerd.

#### BIOGAS

De afzet van biogas is te maximaliseren als restwarmte of effluent wordt gebruikt voor het verwarmen van bedrijfsgebouwen en de slibvergistingsinstallatie. Op deze manier wordt het eigen verbruik van biogas geminimaliseerd.

Voor de conventionele modelzuiveringen is het doorleveren van biogas energetisch een interessante optie. Hierbij kan als vuistregel aangehouden worden dat 1 GJ doorgeleverd biogas ten koste gaat van 0,37 GJ elektrische energie en een deel warmte, welke nu grotendeels verloren gaat. Het energieverlies neemt af als er vanuitgegaan wordt dat de afnemer het biogas met een hoog rendement gebruikt.

Vaak is de inkoopprijs van elektriciteit op locatie een factor 2-4 duurder (per GJ)<sup>8</sup> dan de verkoopprijs van (bio)gas, waardoor de netto impact van het doorleveren van biogas op de energierekening veelal negatief zal zijn. Hier wordt in paragraaf 3.7 (financiële aspecten) op ingegaan.

8  $1 \text{ GJ biogas doorleveren} : 45 \text{ Nm}^3 \text{ biogas} \dot{\times} 0,30 = 13,50/\text{GJ}$   
 $1 \text{ GJ elektriciteit inkopen is } 278 \text{ kWh} \dot{\times} 0,11 = 30,50/\text{GJ}$

### MAXIMALISATIE ELEKTRICITEITSPRODUCTIE EN BENUTTING RESTWARMTE

Door benutting van restwarmte voor slibdroging ontstaat er voor de rwzi in principe een nieuwe nuttige toepassing van restwarmte op de rwzi. Door slibdroging krijgt het ontwaterde slib een hogere energetische waarde (bij een gelijkblijvend organische stofgehalte) en wordt het volume van het slib verminderd. Deze punten zorgen ervoor dat de transport- en verwerkingskosten van ontwaterd slib in principe verlaagd kunnen worden. Of dit voordeel in de praktijk gerealiseerd kan worden hangt nauw samen met de mogelijkheden (installaties) die de slibeindverwerker heeft om de hogere energetische waarde te benutten (stoom- en elektriciteitsproductie).

Een andere manier om gebruik te maken van de aanwezige restwarmte is het gebruik van ORC's. Hierdoor wordt de inkoop van elektriciteit (verder) geminimaliseerd. De hoeveelheid extra geproduceerde elektrische energie is 10%. Opvallend is dat de elektrische energiewinst door de ORC relatief gezien prominenter is bij de Energiefabriek-rwzi. De (reeds beperkte) hoeveelheid elektrische energie die moet worden ingekocht wordt gehalveerd. De inzet van een ORC is zodoende een interessante mogelijkheid voor rwzi's waar geen verdere slibeindverwerking, zoals mogelijk slibdroging, gepland is, maar wel slibgisting plaatsvindt en geen warmte aan derden wordt doorgeleverd. Door het inzetten van ORC in combinatie met TSO wordt de thermische energiebalans nog complexer. Daardoor lijkt dit een optie die niet op korte termijn succesvol gerealiseerd zal worden.

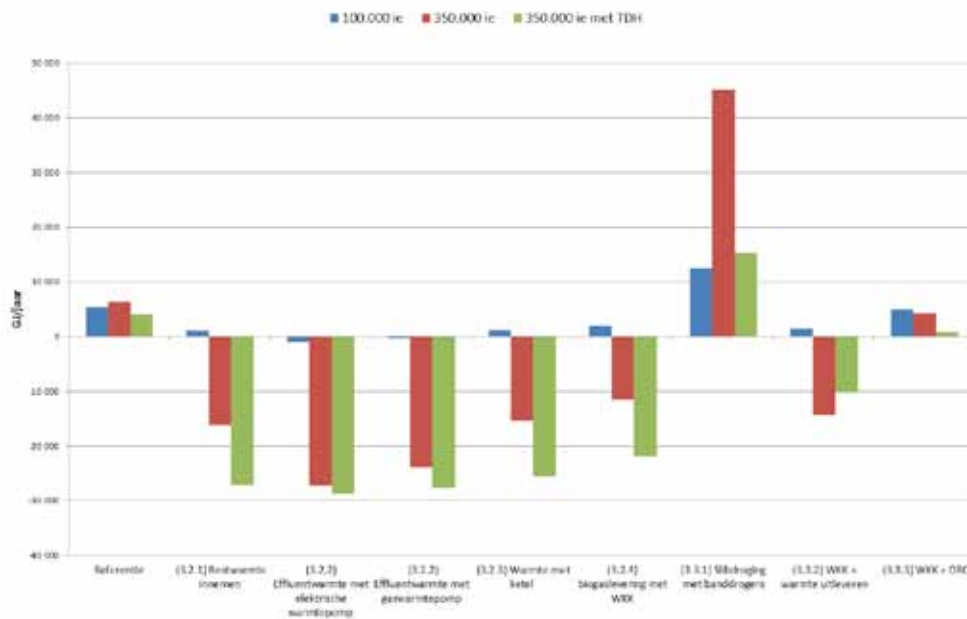
### 3.6 FINAAL ENERGIEVERBRUIK CONCEPTEN

Om een vergelijking te maken tussen de concepten worden de concepten beoordeeld op het finaal energieverbruik. Er wordt simpelweg gekeken naar het netto elektriciteits-, gas en warmteverbruik. Hoe lager het verbruik des te beter het concept uit het oogpunt van finaal energieverbruik. Een negatieve score houdt in dat er netto energie wordt uitgeleverd naar de omgeving. In figuur 3.12 staan de scores van het finaal energieverbruik absoluut en genormeerd naar de referentie (= 100). Hierdoor worden routes voor verschillende schaalgroottes en zuiverings-concepten onderling vergelijkbaar. Er moet rekening mee worden gehouden dat dit een aanzienlijke versimpeling is van de energetische werkelijkheid: het gaat om een optelling van energiestromen waarvan de kwaliteit verschillend is.

Het valt op dat het finaal energieverbruik van de kleinste modelzuivering in de referentiesituatie maar weinig afwijkt van de grotere installaties. Dit heeft voor een deel te maken met efficiencyvoordelen. Het belangrijkste is echter de veel grotere biogasproductie die op de grote zuiveringen ontstaat doordat slib van andere (kleinere) rwzi's wordt vergist.

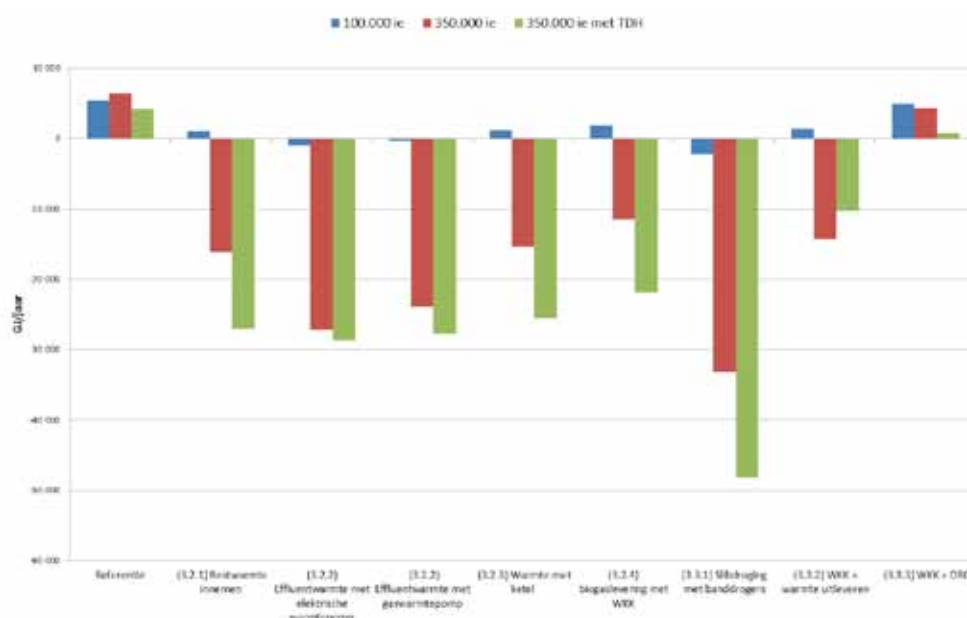
Uit beide figuren komt verder naar voren dat het doorleveren van biogas (3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4) goed scoort als het gaat om het totaal energieverbruik. Het maakt hierbij niet veel uit hoe in de ontbrekende warmte wordt voorzien. Ook het uitleveren van WKK-warmte heeft een positieve invloed op het finaal energieverbruik. Het produceren van meer elektriciteit, middels ORC, heeft in alle gevallen enige positieve invloed op het finaal energieverbruik.

FIGUUR 3.12 FINAAL ENERGIEVERBRUIK VAN DE VERSCHILLENDE ENERGIECONCEPTEN EN MODELZUIVERINGEN



Slibdroging met restwarmte en aardgas vraagt veel energie. Hier staat echter tegenover dat het gedroogde slib een zekere energiewaarde heeft. Het effect hiervan op het energiegebruik blijkt uit figuur 3.13. Deze figuur verschilt alleen voor variant slibdroging (3.3.1) van figuur 3.12. De energiewaarde van het slib is zo groot dat de energetische investering voor het drogen (restwarmte en aardgas) ruimschoots wordt terugverdiend met de extra energie die vrijkomt door energetisch waarde toe te kennen aan het gedroogde slib.

FIGUUR 3.13 FINAAL ENERGIEVERBRUIK VAN DE VERSCHILLENDE ENERGIECONCEPTEN EN MODELZUIVERINGEN, GEDROOGD SLIB WORDT ALS BRANDSTOF WORDT AANGEMERKT





### 3.7 FINANCIËLE ASPECTEN

De investerings- en operationele kosten van de verschillende varianten lopen sterk uiteen. In deze paragraaf wordt in zijn algemeenheid ingegaan op de energiekosten. De investeringen en onderhoudskosten worden in deze fase grotendeel buiten beschouwing gelaten omdat:

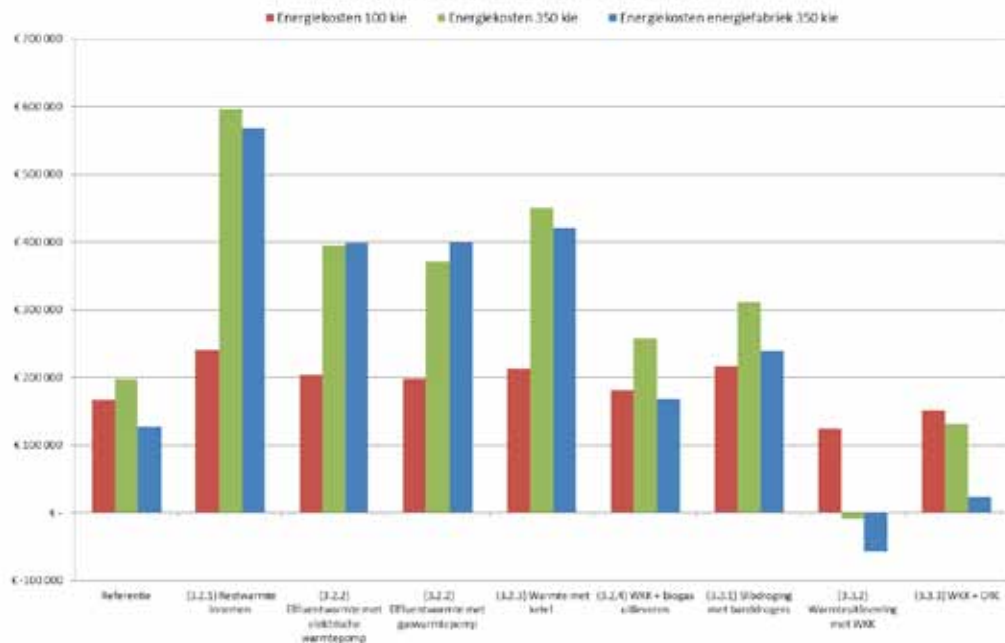
- deze kosten zeer locatie specifiek zijn
- voor veel van de genoemde technieken door het nieuweheidsaspect geen eenduidige investeringskosten beschikbaar zijn.

TABEL 3.3 UITGANGSPUNTEN ENERGIEKOSTEN

Financiële uitgangspunten	Waarde	Bron
Elektriciteitsverbruik	€0,11 €/kWh	Slibketenstudie II (STOWA 2012-33)
Terugleververgoeding elektriciteit	€0,06 €/kWh	Slibketenstudie II (STOWA 2012-33)
Kosten gas (variabele en vaste kosten)	€0,50 €/m <sup>3</sup>	Studie optimalisatie WKK en biogasbenutting (STOWA 2011-33)
Opbrengsten biogas	€0,30 €/Nm <sup>3</sup>	Aanname (zie ook bijlage 4)
Kosten warmte	€20 €/GJ	Aanname
Opbrengsten warmte rwzi	€12 €/GJ	SDE 2012 1ste fase
Baten gedroogd slib	€ - €/GJ	
Slibverwerkingskosten nat slib (20-25% ds)	€60 €/ton	Aanname
Slibverwerkingskosten droog slib granulaat (70-90% ds)	€30 €/ton ds	Aanname

Voor kostendetails per modelzuivering wordt verwezen naar bijlage 5. In figuur 3.14 worden de energiekosten weergegeven. Er is geen rekening gehouden met extra energiebatens voordoor het vergroten van de energieinhoud van het gedroogde slib.

FIGUUR 3.14 OPERATIONELE ENERGIEKOSTEN VAN DE VERSCHILLENDE ENERGIECONCEPTEN EN MODELZUIVERINGEN



De variabele energiekosten blijken voor de meeste energieconcepten hoger uit te vallen dan de referentiesituatie. Voor de concepten met het doorleveren van biogas heeft dit heeft voornamelijk te maken dat in er geen elektriciteit wordt geproduceerd en deze zodoende ingekocht moet worden. Daarnaast moet een aanzienlijk deel van het biogas worden gebruikt voor de eigen warmtevraag van de rwzi; de gebouwen en slibgisting. Bij de gebruikte uitgangspunten (biogasopbrengst van € 0,30/Nm<sup>3</sup>) compenseren de opbrengsten van het resterende biogas de gestegen elektriciteitsinkoop onvoldoende. De waarde van biogas, met name de waarde van de duurzaamheid ervan, zijn op dit moment nog geen vast gegeven. Om de gevoeligheid van de uitkomsten van de financiële vergelijking voor de biogasprijs te beoordelen is de biogasprijs gevarieerd van € 0,10 tot € 1,00 per m<sup>3</sup> voor de modelzuivering van 350 000 i.e. In bijlage 5 zijn de resultaten hiervan weergegeven. De belangrijkste uitkomst is dat de opties met doorleveren van biogas financieel met de referentiesituatie kunnen concurreren bij een biogasopbrengst van € 0,40/m<sup>3</sup> (WKK met biogas doorleveren) tot € 0,60/m<sup>3</sup> (restwarmte innemen, elektriciteit inkopen en biogas doorleveren).

Voor de optie met slibdroging is het kostenplaatje niet compleet. Als er vanuit gegaan mag worden dat het afzetten van gedroogd slib goedkoper is dan het afzetten van nat slib dan is er sprake van een kostenvoordeel. Als de uitgangspunten uit tabel 3.3 worden gebruikt dan bedraagt dit kostenvoordeel € 200 000 per jaar voor de 100 000 ie zuivering tot € 1 000 000 per jaar voor de 350 000 ie modelzuivering. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat dit kostenvoordeel in de huidige praktijk nog niet kan worden gerealiseerd omdat de slibverbranders (nog) niet beschikken over de benodigde installaties. Er zullen aanzienlijke op de rwzi en bij de slibverbranders aanzienlijk investeringen nodig zijn om de installaties te realiseren. Toch kan nu al worden gesteld dat de besparingen kunnen opwegen tegen de variabele energiekosten. In het meest optimale geval (Energiefabriek modelzuivering) is zelfs sprake van een kostenvoordeel in de orde grootte van € 500 000/jaar. Het is daarmee in potentie ook financieel een interessante optie.

Uitzonderingen zijn de concepten met WKK in combinatie met het uitleveren van de restwarmte (3.3.2) en de WKK in combinatie met de ORC (3.3.3). In het eerste geval is een voorwaarde dat een afnemer van restwarmte gevonden kan worden die bereid is te betalen voor de geleverde warmte.

De ORC biedt ook een gunstig perspectief. Hoewel de techniek nog niet massa geproduceerd wordt, kunnen de hoge temperatuur ORC's (o.b.v. rookgassen) nu al kansen opleveren zijn. In eerder STOWA onderzoek is voor een biogasopbrengst van 2.500.000 Nm<sup>3</sup>/jaar ( dit komt ongeveer overeen met de modelzuivering van 350.000 i.e.) een terugverdientijd van 2,64 jaar<sup>9</sup> berekend. Ook de in ontwikkeling zijnde lage temperatuur ORC's kunnen potentieel leiden tot een positieve business case, mits ze goed worden ingepast op de rwzi.

### 3.8 VERGELIJKING ENERGIECONCEPTEN VOLGENS MJA-3 BEOORDELING

In het kader van deze studie zijn primaire energiebalansen opgesteld voor de drie modelzuiveringen. Deze balansen zijn opgenomen in bijlage 5. Er is rekening gehouden met de beoordeling zoals deze voor de MJA-3 afspraken uitgevoerd dient te worden.

In de MJA-3 beoordeling worden de energiestromen teruggerekend naar primaire energie. Tabel 3.4 geeft een overzicht van de toegepaste omrekeningsfactoren.

9 Optimalisatie WKK en biogasbenutting.

TABEL 3.4 OMREKENING ENERGIESTROMEN NAAR PRIMAIRE ENERGIE (GJ → GJ) OVEREENKOMSTIG MJA-3 BEOORDELING

Energievorm	Omrekeningsfactor
Elektriciteit inkopen (rendement opwekking 40%)	2,5
Warmte inkopen of uitleveren (rendement opwekking 90%)	1,11
Restwarmte inkopen	1,11
Biogasuitlevering (beoordeling op basis van energie-inhoud 65% methaan) <sup>2)</sup>	1
Slibdroging	0,8 <sup>1)</sup>

1 Aanname dat slib als brandstof beschikbaar komt met een droge stof gehalte van 80%. Beoordelingsmethodiek MJA-3 is nog niet vastgesteld. Voor de beoordeling is in deze studie uitgegaan van GER-waarden.

2 Bij MJA-monitoring moet de bruto biogas productie worden opgegeven, vervolgens moeten verliezen zoals afblazen/affakkelen worden afgetrokken en moet de netto-biogasproductie worden opgegeven, aan de netto biogasproductie wordt vervolgens een energiewaarde toegekend (van m<sup>3</sup> naar GJ).

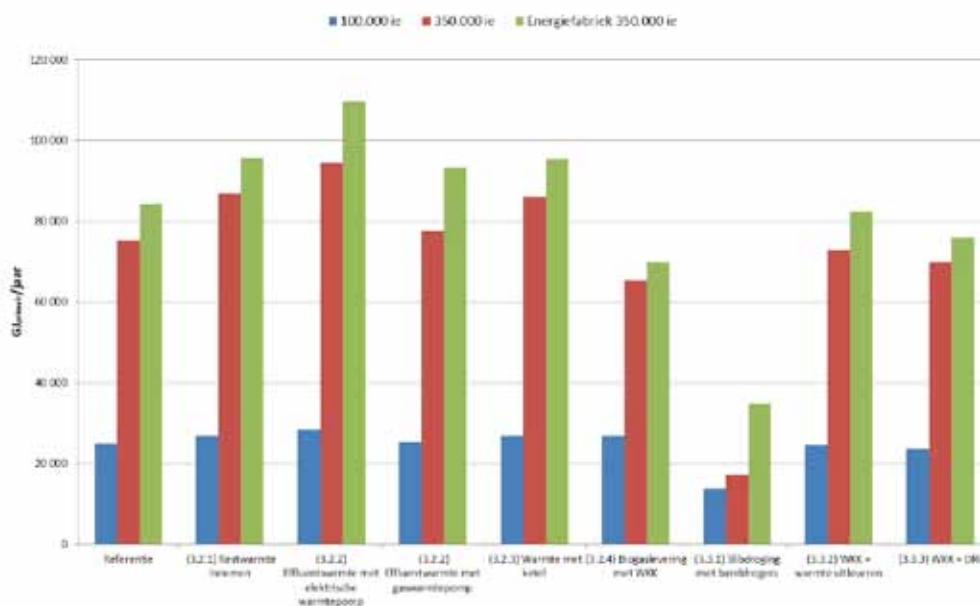
### ROL VAN THERMISCHE ENERGIE IN DE MJA-3 BEOORDELING

Als warmte binnen de zuivering nuttig wordt toegepast kan dit op twee manieren tot uiting komen:

- 1 minder inkoop gas/elektra als dit daarvoor werd gebruikt om bijvoorbeeld een gebouw te verwarmen
- 2 als de warmte terugkomt in de keten. Bijvoorbeeld: slibdrogen met restwarmte op de zuivering kan als ketenmaatregel worden opgevoerd bij de MJA doordat bij de slibeindverwerking er veel meer energie wordt teruggewonnen c.q. dit minder/geen energie meer kost. Indien de warmte buiten de zuivering wordt toegepast (bijvoorbeeld levering aan woonwijk) kan het als ketenmaatregel worden opgevoerd en telt dus mee bij MJA.

Op basis van deze omrekeningsfactoren en de huidige methodiek is de MJA-balans vastgesteld voor de drie zuiveringen. Deze zijn opgenomen in bijlage 6. In figuur 3.15 is de MJA score per warmteconcept weergegeven

FIGUUR 3.15 MJA WAARDERING ENERGIECONCEPTEN



De verschillen tussen de resultaten van de MJA3 waardering ten opzichte van het finaal energieverbruik zijn groot. Dit wordt met name veroorzaakt doordat elektriciteitsproductie een grote primaire energiebesparing veroorzaakt. Uit de grafiek kan verder worden opgemaakt dat het verhogen van de elektriciteitsproductie (ORC), WKK met biogas doorleveren en slibdroging beter scoren op de MJA3 waardering ten opzichte van de referentie. Met name slibdroging blijkt vanuit MJA3 perspectief een interessant alternatief te zijn om de zuivering te optimaliseren. De reden voor de positieve waardering is dat de warmte die in de referentiesituatie nog grotendeels verloren gaat nu nuttig gebruikt wordt. Echter de energetische waarde die wordt toegekend aan het slib is de belangrijkste reden voor de positieve waardering.

Uit de grafiek is verder op te maken dat in het geval dat de biogasopbrengst relatief groot is ten opzichte van de warmtevraag, dat het inzetten van een WKK voor de warmtevraag en vervolgens het uitleveren van het biogas een positief effect heeft op de MJA-balans (concept 3.2.4 voor 350.000 ie ).

# 4

## OVERDENKINGEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 4.1 OVERDENKINGEN

In dit onderzoek is gekeken naar rwzi's met slibgisting. Op dergelijke rwzi's wordt de warmtevraag momenteel voornamelijk bepaald voor het verwarmen van de slibgisting (>90%). Nu wordt warmtebehoefte ingevuld met behulp van restwarmte van de biogas aangedreven WKK's. De geproduceerde warmte uit de WKK's blijft echter bij de huidige rwzi's grotendeels (50-55%) onbenut. Op dit moment is het warmteoverschot in technische zin geen probleem. Er is immers toch warmte over. In de huidige situatie maakt het niet uit dat de warmte onbenut blijft, omdat de vraag naar thermische energie klein is. In de toekomst gaat dit op een aantal rwzi's veranderen. De waterschappen streven naar een energetisch zo efficiënt mogelijke afvalwaterverwerking. Het inzetten van biogas voor transport of afzet bij derden is een alternatief voor de huidige configuratie met WKK's. Daarnaast zijn op energiefabriek rwzi's technische ontwikkelingen gaande waardoor mogelijk de warmtebehoefte op de rwzi toeneemt.

In deze studie zijn een aantal energieconcepten losgelaten op een drietal modelzuiveringen, allen met slibgisting, te weten een rwzi met een verwerkingscapaciteit van 100.000 ie en 350.000 ie en de zuivering omschreven als de Energiefabriek. De gekozen energieconcepten laten een verscheidenheid aan mogelijkheden voor rwzi's zien door in de opzet van de concepten verschillende warmte-opwektechnologieën, verschillende toepassingen van (rest) warmte en biogaslevering op te nemen. De concepten zijn onderling vergeleken op finaal energiegebruik, de waardering in de MJA en op jaarlijkse operationele energiekosten.

Strategie → concept		Beschouwde technologie	
Restwarmte vermijden	Doorleveren van biogas	Innemen restwarmte derden voor eigen warmtevraag	Situatiespecifiek warmtetransportsysteem
		Warmte winnen uit effluent voor eigen warmtevraag	Warmtewisselaars en warmtepomp
		Gebruik eigen biogas voor warmtevraag	Ketel WKK gedimensioneerd op eigen warmtevraag
Restwarmte nuttig gebruiken	Restwarmte gebruiken om slib op de rwzi te drogen	Banddrogers	
		Slibdroging in kassen	
	Restwarmte doorleveren aan derden	Warmtenetwerk	
	Restwarmte gebruiken voor electriciteitsproductie	ORC	
	Warmte winnen uit afvalwater	Warmtenetwerk	

### **THERMISCHE ENERGIE EN SLIBDROGING**

Slibdroging op de rwzi is voor de voor het beperken van het energieverlies op de rwzi interessant omdat het een nuttige en grootschalige toepassing van restwarmte mogelijk maakt. Een belangrijke randvoorwaarde voor dit positieve effect is dat de energieinhoud van het gedroogde slib na deze droogstap wordt benut. Het gedroogde slib moet als brandstof aangemerkt worden. Uitgangspunt is dat bij de slibdroging op de rwzi restwarmte van de WKK wordt gebruikt. Hiermee kan slechts een gedeelte van het slib worden gedroogd.

Ook voor de jaarlijkse operationele energiekosten lijkt slibdroging interessant. Bij de gehanteerde uitgangspunten blijkt met name bij de Energiefabriek modelzuivering sprake van veel lagere slibverwerkingskosten. De financiële uitgangspunten zijn per waterschap verschillend. Dit betekent dat sommige waterschappen door contractuele afspraken met de slibeindverwerker en de technische verwerkingsmogelijkheden bij de slibeindverwerker niet of slechts beperkt kunnen profiteren van de potentiële kostenreductie. Daarnaast moet de slibeindverwerker in staat zijn om de toegenomen verbrandingswaarde van het gedroogde slib te benutten.

Openstaande vragen bij deze variant zijn de mate waarin het ontwaterde slib gedroogd dient te worden in verband met afzetmogelijkheden naar slibeindverwerkers of elektriciteitscentrales. Daarnaast is geuremissie een belangrijk aspect dat aandacht verdient bij slibdroging op de zuivering.

### **THERMISCHE ASPECTEN VAN BIOGAS/GROEN GAS**

Het doorleveren van biogas is gunstig vanuit energieperspectief omdat er veel minder verliezen zijn, waaronder restwarmte. Doordat er meer elektrische energie moet worden ingekocht zal dit alleen bij een hoge biogasprijs interessant zijn.

### **ORC**

ORC maakt het mogelijk om restwarmte om te zetten naar meer elektriciteitsopwekking. De combinatie WKK en ORC is mogelijk. De thermische energie in de rookgassen is ruim voldoende van kwaliteit voor de hoge temperatuur ORC. De toepassing van TSO vraagt echter om veel hoogwaardige warmte waardoor de ruimte voor een hoge temperatuur ORC waarschijnlijk beperkt is. Op dit moment is echter te weinig praktijkervaring met TSO om dit eenduidig vast te kunnen stellen. Hoge temperatuur ORC zijn dus met name interessant voor zuiveringen zonder TSO.

De toepassing van een lage temperatuur ORC, op basis van heet water, biedt ook perspectief. Deze ORC's zijn op kleine en middelgrote vermogensgrootte beschikbaar. De techniek bevindt zich momenteel in een demonstratiefase, maar ziet er veelbelovend uit. Hoewel het conversierendement lager is, levert het toch een nuttige bijdrage aan de energiebalans door extra elektriciteitsproductie van 5-10%. Echter voor de berekende modelzuivering zorgt dit ervoor dat de elektriciteitsinkoop verlaagd kan worden tot wel 75%.

### **UITWISSELING WARMTE MET DE OMGEVING**

Het uitleveren van het warmte-overschot uit de WKK of het leveren van lage temperatuur warmte uit het effluent kunnen interessante kansen opleveren. Het winnen van warmte uit effluent, ontsluit een grote warmtebron op de zuivering en is daarmee een thermisch relevante optie. De mogelijkheden van toepassing van deze warmte op de eigen rwzi zijn echter minimaal. De mogelijkheden zijn zodoende afhankelijk van lokale mogelijkheden

in het gebied, bijvoorbeeld nieuwbouw van woningen of koppeling met glastuinders. De business case hiervan is afhankelijk van de afstand, omvang, kwaliteit en bedrijfstijd van de warmtevraag of -aanbod.

### **THERMISCHE ENERGIE EN TSO**

Bij de energiefabriek modelzuivering was thermische slibontsluiting (TSO) uitgangspunt. Voor TSO wordt meer en hoogwaardigere warmte gevraagd. Bij TSO ontstaat er meer biogas. Door de toegenomen biogasproductie neemt het aanbod aan energie en potentieel aan warmte ook navenant toe. In het geval de warmte uit de WKK's wordt geleverd zal nog steeds een groot gedeelte van de warmte, zij het op lage temperatuur, onbenut blijven.

In het algemeen kan gesteld worden dat TSO (Energiefabriek) voor nagenoeg alle concepten een verbetering laat zien op het finale energieverbruik. Op de MJA-balans komt TSO echter niet altijd positief naar voren. Dit komt doordat de TSO hoge temperatuur warmte vraagt en zodoende op een relatieve inefficiënte manier gas ingezet moet worden. In bijvoorbeeld het geval van WKK kan bij TSO bijna alleen de hoge temperatuur warmte benut worden en bestaat er dus een groot overschot aan midden tot lage temperatuur warmte. Hierbij moet worden opgemerkt dat het verbeteren van de energiebalans op de rwzi niet de belangrijkste reden hoeft te zijn voor het inzetten van TSO. Het verlagen van de slibafzetkosten (minder en beter ontwaterbaar slib) wordt genoemd als belangrijk(st)e reden. Afhankelijk van de indikkingsgraad is de verhoogde biogasproductie (groten)deels nodig om het slib op temperatuur en druk te krijgen voor de voorontwatering en opwarmen van de het slib<sup>10</sup>.

In recent STOWA onderzoek is aan de hand van een rekenvoorbeeld ingegaan op de beschikbaarheid van thermische energie bij TSO. Bij dit rekenvoorbeeld kwam naar voren dat de energieinhoud van de rookgassen net niet voldoende was om te voorzien in de vraag naar thermische energie. Bij de modelzuiveringen van voorliggende studie in is wel sprake van voldoende aanbod van thermische energie. De thermische energiebalans van TSO is locatie en techniek specifiek. Uit de modelberekeningen komt een vereenvoudigd en algemeen beeld naar voren. Dit is richtinggevend, maar in specifieke situaties niet direct toepasbaar. Het aanbod van slib (verhouding primair/secundair) op een locatie is zeer bepalend voor het aanbod van biogas en de vraag naar thermische energie (kwaliteit en kwantiteit). Verder verschillen de technieken van de verschillende aanbieders van elkaar door verschillen in droge stofgehalte, ingaande temperaturen verschillen de technieken in de mogelijkheden voor warmteterugwinning en het inzetten van restwarmte. Op basis van voorliggende studie wordt aanbevolen een nadere generieke studie uit te voeren waarbij aandacht wordt besteed aan de verschillen tussen verschillende rwzi's, technieken en de mogelijkheden voor het inzetten van restwarmte bij de verschillende technieken en in verschillende situaties. Het resultaat van deze nadere generieke studie zou een routekaart voor het inzetten van TSO moeten zijn.

### **OVERZICHT CONCEPTEN**

In de matrix staan de verschillende concepten die in deze studie zijn onderzocht, met daarbij de kwalitatieve beoordeling en aandachtspunten van het concept.

10 STOWA, Thermische slibontsluiting, juni 2012

TABEL 1 KEUZEMATRIX

Beschouwde technologie	Effect op energiebalans rwzi (waardering conform figuur 3.13, paragraaf 3.6)			Effect op de operationele energiekosten (waardering conform figuur 3.14, paragraaf 3.7).			Belangrijkste kanttekeningen en aandachtspunten
	Conventioneel 100 000 ie	Conventioneel 350 000 ie	Energiefabriek 350 000 ie	Conventioneel 100 000 ie	Conventioneel 350 000 ie	Energiefabriek 350 000 ie	
Situatiespecifiek warmtetransportsysteem	+	+	++	0/-	--	--	Kansen zijn zeer locatiespecifiek. De opbrengst van het biogas moet relatief hoog zijn (>0,40-0,60/m <sup>3</sup> ) voordat sprake kan zijn van een positief effect op de operationele kosten van de rwzi
Warmtewisselaars en warmtepomp		++	++	0/-	-	-	
Ketel		++	+	0/-	-	-	
WKK gedimensioneerd op eigen warmtevraag		+	+	0/-	0/-	0/-	
Banddrogers	- / ++ Energiegebruik op de rwzi neemt toe, maar als ook het toekomstige effect op de slibketen wordt meegenomen is het effect sterk positief			- / ++ De energiekosten op de rwzi nemen toe. Als ook rekening wordt gehouden met de slibverwerkingskosten is sprake van een sterke daling van de operationele kosten.			Er is onvoldoende restwarmte beschikbaar voor het vergaand drogen van al het slib. De bestaande wijze van slibverwerking is nog niet geschikt voor gedroogd slib. Desondanks kansrijke optie.
Slibdroging in kassen	Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			
Restwarmte doorleveren aan derden (warmtenetwerk)	+	+	+	0/+	+	+	Kansen zijn zeer locatiespecifiek
ORC	0	0	+	0	0/+	+	Bij de energiefabriek rwzi is alleen lage temperatuur ORC een optie. Dit is experimentele technologie.
Warmte winnen uit afvalwater (warmtenetwerk)	Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Niet gekwantificeerd, wordt bestudeerd in een ander STOWA onderzoek			Kansen zijn locatiespecifiek
Opmerkingen			Energiebalans energiefabriek is complex				

De waarderingen zijn gebaseerd op de uitkomsten zoals vermeld in paragraaf 3.6 en 3.7. Er is de volgende waardering gebruikt:

- sterke verslechtering
- beperkte verslechtering
- 0: neutraal
- + beperkte verbetering
- ++ sterke verbetering

De matrix is bedoeld als hulpmiddel bij het vergelijken van thermische energieconcepten.

### SLOT

Tot nu toe is er weinig aandacht besteed aan de thermische energiebalans op de Nederlandse rwzi's. Er is sprake van een overschot aan thermische energie. Dit overschot kan worden verkleind of vermeden, of het kan nuttig worden ingezet. Energiefabriek rwzi's (met TSO) hebben een grotere behoefte aan hoogwaardige thermische energie dan conventionele zuiveringen. Dit is –naast het verbeteren van de energiebalans- een reden om specifiek aandacht te besteden aan de thermische energiebalans. Verbetering van de thermische energiebalans heeft bij bijna alle beschouwde concepten een grote verbetering van de totale



energiebalans van de beschouwde model rwzi's op. Voor de operationele energiekosten kan zowel sprake zijn van een verbetering als een verslechtering. Van alle beschouwde concepten is biedt het drogen van slib op de rwzi in potentie de grootste kansen voor het verbeteren van de thermische energiebalans én voor het verlagen van de operationele energiekosten. Daar staat tegenover dat het benutten van deze kansen niet eenvoudig is.

#### 4.2 CONCLUSIES

- In de huidige situatie blijft de warmte die vrijkomt met de rookgassen van de WKK's grotendeels (50-55%) onbenut. Dit is in technische zin geen probleem omdat de restwarmte meestal eenvoudig met de rookgassen kan worden wordt afgevoerd. Het beperken of voorkomen van warmte-overschot is echter goed mogelijk. Hierbij moet wel worden gekeken naar verschillende aspecten van de warmte-opties: effect op finaal energieverbruik, effect op MJA-balans en effect op de energiekosten.
- Bij energiefabriek rwzi's (TSO) dient aandacht besteed te worden aan de thermische inpassing in het slibverwerkingsproces op de rwzi. Voor de modelzuivering die in dit onderzoek is beschouwd blijkt voldoende thermische energie beschikbaar te zijn wanneer de hoogwaardige warmte uit de rookgassen van een WKK worden benut. Of dit echter onder alle omstandigheden en op alle rwzi's het geval zal zijn is nog de vraag.
- Het blijkt dat warmteconcepten die een warmte-overschot voorkomen, zoals het winnen van warmte uit effluent, biogas uitleveren en elektriciteit inkopen, goed scoren op de finale energiebalans maar juist slechter op de variabele energiekosten. Dit hangt samen met het verschil in kostprijs tussen gas en elektriciteit (tot een factor 3) en de noodzaak om de eigen vraag naar thermische energie op een andere wijze in te vullen.
- De warmteconcepten waarbij het warmte-overschot beperkt wordt, met blijvend gebruik van een WKK, scoren relatief goed vanwege deze factoren, ook al wordt niet alle warmte benut. Slibdroging komt daarbij naar voren als potentieel energetisch en financieel interessant alternatief op het moment dat het gedroogde slib kan worden aangemerkt als brandstof voor energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties en ook de slibeindverwerker de toegenomen energieinhoud kan benutten. Er ligt hier een kans. Lage temperatuur ORC kan ook interessante kansen opleveren om de warmtebenutting te verbeteren. De technische en financiële haalbaarheid is echter minder zeker.
- Hoewel de verbetering van de warmtebenutting in een situatie met een groot warmte-overschot niet urgent is, kan het toch zinvol zijn om aandacht te hebben voor het warmtegebruik op de zuivering, vraag te beperken waar mogelijk of cascaderingen van warmtegebruikers in te zetten.
- Warmte kan zeer beperkt worden getransporteerd en is daarom beperkter in de mogelijkheden voor uitwisseling met de omgeving. Daarnaast is de meeste restwarmte beschikbaar in de zomer, terwijl de grootste vraag in de omgeving zich over het algemeen in de winterperiode voor zal doen. Toch moeten deze kansen niet over het hoofd worden gezien. Indien in de omgeving restwarmte beschikbaar is of juist afgezet kan worden kunnen zich ook interessante warmtekansen voordoen, dit is met name afhankelijk van de afstand, omvang, kwaliteit en bedrijfstijd van de warmtevraag of -aanbod. Het grote potentieel van restwarmte uit het effluent zou hiermee ontsloten kunnen worden.

### 4.3 AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt om het slibdrogingsspoor nader te bestuderen. Uit deze (en eerdere) studies blijkt dit vanuit energetisch en financieel perspectief een interessante optie te zijn. Aanbevolen wordt om aandacht te besteden aan technieken voor lage temperatuurdroging (restwarmte WKK), optimalisatie op het droge stof gehalte en beperking van geuremissies aan de hand van een specifieke locatie.

TSO blijkt een complexe energiebalans op te leveren. Door de grote vraag naar hoogwaardige thermische energie luistert de thermische balans van TSO nauw. Er bestaan verschillen in de energiebalans van de technieken die in de markt beschikbaar zijn. Daarnaast bestaan per rwzi verschillen die de thermische energiebalans van TSO beïnvloeden. Zo is de massastroom van het met TSO te verwerken slib van belang voor de warmtebehoefte van de TSO. Dit hangt weer samen met het droge stofgehalte van het aangevoerde slib, maar ook van het aanbod van bijvoorbeeld primair slib. De technieken verschillen in werktemperatuur, temperatuurverschil tussen ingaand en uitgaand slib en de wijze waarop energie wordt teruggewonnen en de mate waarin warmte kan worden teruggewonnen en restwarmte kan worden gebruikt om de energiebalans te verbeteren. Dit is complex en vraagt een gedetailleerdere uitwerking dan in het kader van deze studie is uitgevoerd. Op basis van voorliggende studie wordt aanbevolen om de kennis aan te vullen met een nadere generieke studie waarbij aandacht wordt besteed aan de verschillen tussen verschillende rwzi's, technieken en de mogelijkheden voor het inzetten van restwarmte bij de verschillende technieken en in verschillende situaties. Het resultaat van deze nadere generieke studie zou een routekaart voor het inzetten van TSO kunnen zijn.

De ORC is techniek die nog niet gangbaar is in de watersector en naar voren komt als een energetisch interessante optie om restwarmte uit de WKK nuttig te gebruiken. Deze techniek verdient nadere studie, met name de lage temperatuur ORC variant, waarbij in eerste instantie de kosten (nu en op langere termijn) aandacht behoeven.

Warmte is een lokale aangelegenheid. Op veel locaties zijn of worden de mogelijkheden voor warmte-uitwisseling onderzocht. Op sommige plekken zijn er ook al projecten gerealiseerd of is er juist afgezien van realisatie. Er is in Nederland momenteel veel aandacht voor het gebruik van duurzame warmte via collectieve warmtenetten. De timing is daarom goed om de reeds bestaande kennis over schaalgrootte en randvoorwaarden voor een rendabel warmteproject te bundelen en te communiceren. De laagwaardige warmte in het effluent zou bijvoorbeeld goed kunnen dienen als bron van warmte voor de verwarming van een woonwijk, zodat bijvoorbeeld geen grondwater aangeboord hoeft te worden.



## BIJLAGE 1

# MODELZUIVERINGEN

Voor het STOWA project Thermische energie op de rwzi zijn de volgende vier modelzuiveringen gedefinieerd:

- Huidige rwzi 100.000 i.e. met slibgisting
- Toekomstige rwzi 100.000 i.e. met slibgisting, TSO en deelstroombehandeling voor stikstof
- Huidige rwzi 350.000 i.e. met centrale slibvergisting
- Toekomstige rwzi 350.000 i.e. met centrale slibvergisting, TSO en deelstroombehandeling voor stikstof en fosfaat

De huidige 100.000 i.e. (150 g TZV) zuivering is opgesteld door opschaling van de modelzuivering uit het werkrapport “De Energiefabriek”, bijlage 2 Stoffenbalans (100.000 i.e. op basis van 136 g TZV) naar een zuiveringscapaciteit 100.000 i.e. op basis van 150 g TZV. De opschaling heeft plaatsgevonden door verhoging van de influentdebieten en debieten interne stromen; de influentsamenstelling is gelijk gehouden. Voor de opschaling is uitgegaan van de uitgangspunten ten aanzien van influentsamenstelling, rendementen VBT, afbraak in vergister en dergelijke zoals in de studie Energiefabriek gebruikt zijn (zie bijlage 2 werkrapport De Energiefabriek 2009).

De gegevens met betrekking tot de Modelzuivering Energiefabriek zijn ingevoerd in het Tauw ontwerpprogramma OWT (HSA model, slibgisting Chen & Hashimoto). Vervolgens is de opschaling naar 100.000 i.e. (150 g TZV) en 350.000 i.e. (150 g TZV) uitgevoerd. De hoeveelheid te vergisten extern slib op de zuiveringen met centrale slibverwerking is gesteld op 50% van de slibproductie van de zuivering, met 1/3de deel primair slib en 2/3de deel secundair slib. Er is uitgegaan van 15% chemisch fosfaatslib in het aangevoerde secundair slib.

Voor formulering van de toekomstige zuiveringen is uitgegaan van de ontwikkelingen ten aanzien van de zuiveringsconcepten rwzi als Energiefabriek en rwzi als Grondstoffenfabriek. De toekomstige 100.000 i.e. rwzi kan door toepassing van thermische slibontsluiting (vergroting biogasproductie) gezien worden als een kleinschalige Energiefabriek. Deelstroombehandeling is nodig om de terugvoer van ammonium (gehalte neemt toe door TSO) te beperken.

De 350.000 i.e. zuivering met centrale slibverwerking zal door toepassing van thermische slibontsluiting een grotere Energiefabriek worden. De terugvoer van fosfaat en ammonium naar de waterlijn is bij vergisting van extern slib dusdanig hoog dat ervoor gekozen is deelstroombehandeling voor fosfaat (struvietprecipitatie) en stikstof (biologische omzetting via Anammoxroute) toe te passen. Door terugwinning van fosfaat in de vorm van de meststof struviet kan deze zuivering als Grondstoffenfabriek gezien worden.

Voor de technieken thermische slibontsluiting en de deelstroombehandelingen voor stikstof en fosfaat zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

**THERMISCHE SLIBONTSLUITING**

- Type: TurboTec 140 graden, 5 bar, continu proces
- Behandeling van secundair slib
- Indikking secundair slib tot 7% ds
- Toename biogasproductie secundair slib 30%
- Primair slibafbraak blijft gelijk
- Toename  $\text{NH}_4\text{-N}$  gehalte in centraat tot 2.500 mg/l
- Concentraties fosfaat, zwevende stof, CZV en BZV in centraat blijven gelijk
- Slibontwatering tot 28% ds

**DEELSTROOMBEHANDELING FOSFAAT**

- Type: Pearl
- Fosfaatverwijdering: 90%

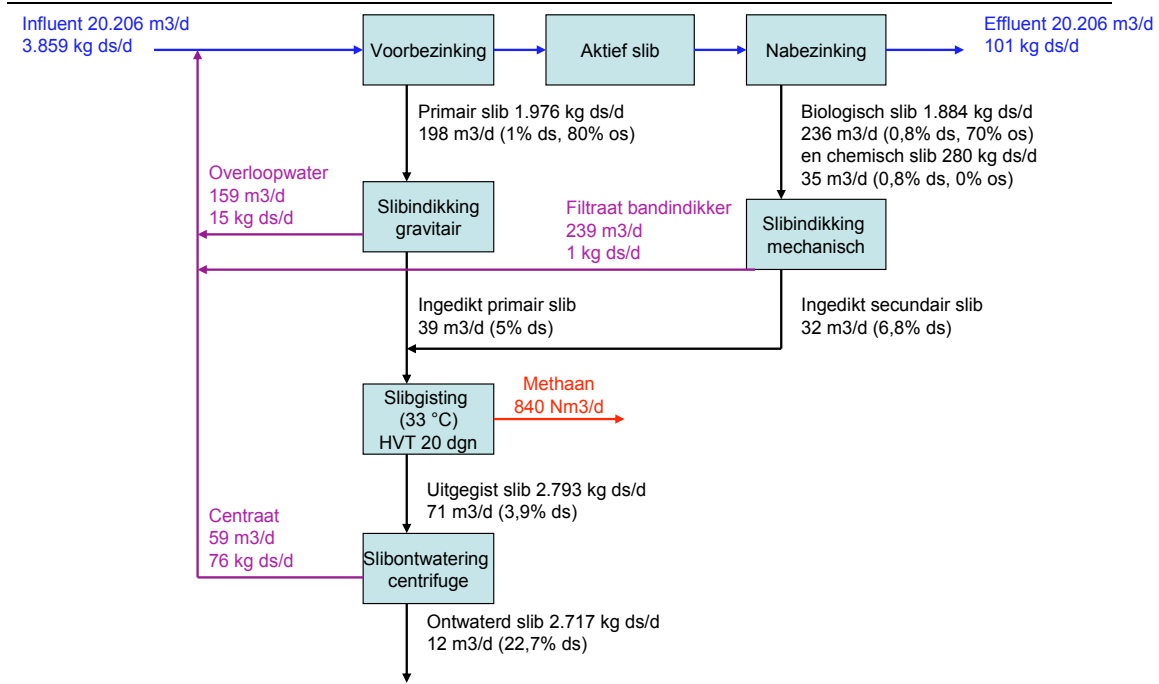
**DEELSTROOMBEHANDELING STIKSTOF**

- Type: Demon, Anammox bacteriën, 35 graden
- Verwijdering Kj-N: 85%
- Productie  $\text{NO}_3\text{-N}$ : 10% van verwijderd  $\text{NH}_4\text{-N}$
- Verwijdering CZV en BZV: 50%
- Yield Anammox bacteriën 0,17 kg ds/kg  $\text{NH}_4\text{-N}$  omgezet
- Terugvoer afgevangen zwevend stof en slibgroei naar waterlijn

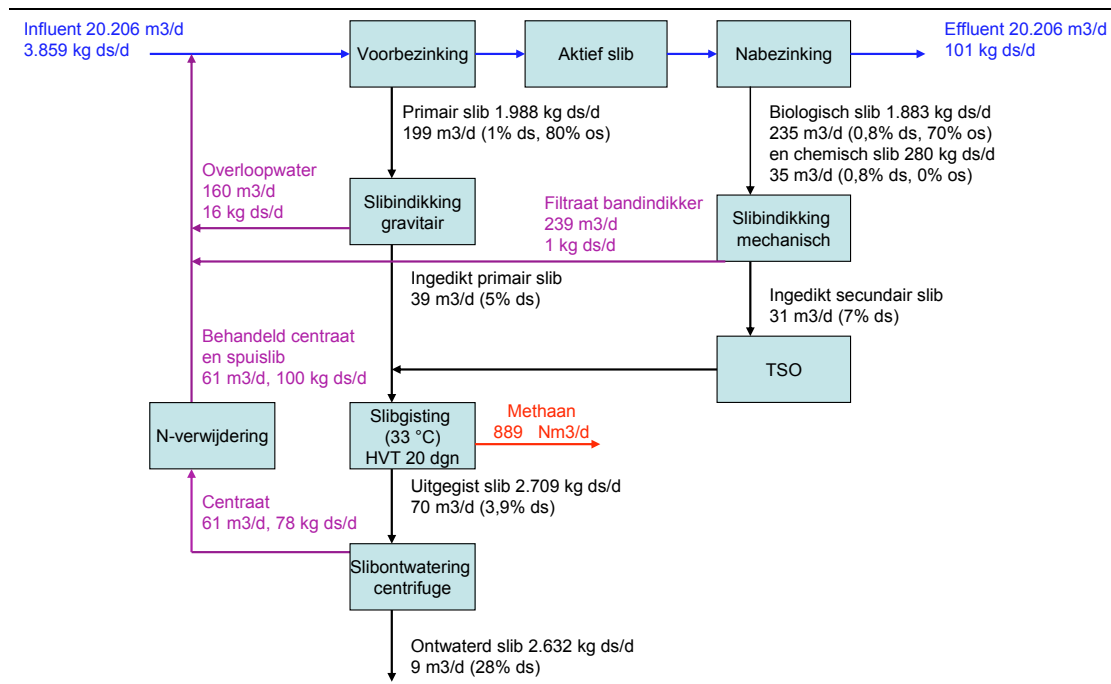
Bij toepassing van deze extra processtappen zijn de afmetingen van de actief slibruimte en gistingstanks gelijk gehouden. De figuren 1 t/m 4 geven de onderdelen en processtromen van de vier modelzuiveringen weer. Bij het uitwerken van de verschillende energievarianten is uitgegaan van de hier gepresenteerde processtromen. Door Cambi (leverancier van TSO) wordt thermische slibontsluiting vanaf een schaalgrootte van circa 350.000 ie (met behandeling extern slib) financieel haalbaar geacht. In de studie zijn om deze reden alleen energieconcepten voor de Energiefabriek uitgewerkt voor een schaalgrootte van 350.000 ie.

*De modelzuiveringen zijn voor de biogasopbrengst globaal vergelijkbaar met de grootste en de kleinste biogascapaciteit in de recente studie "Optimalisatie WKK en biogasbenutting"*

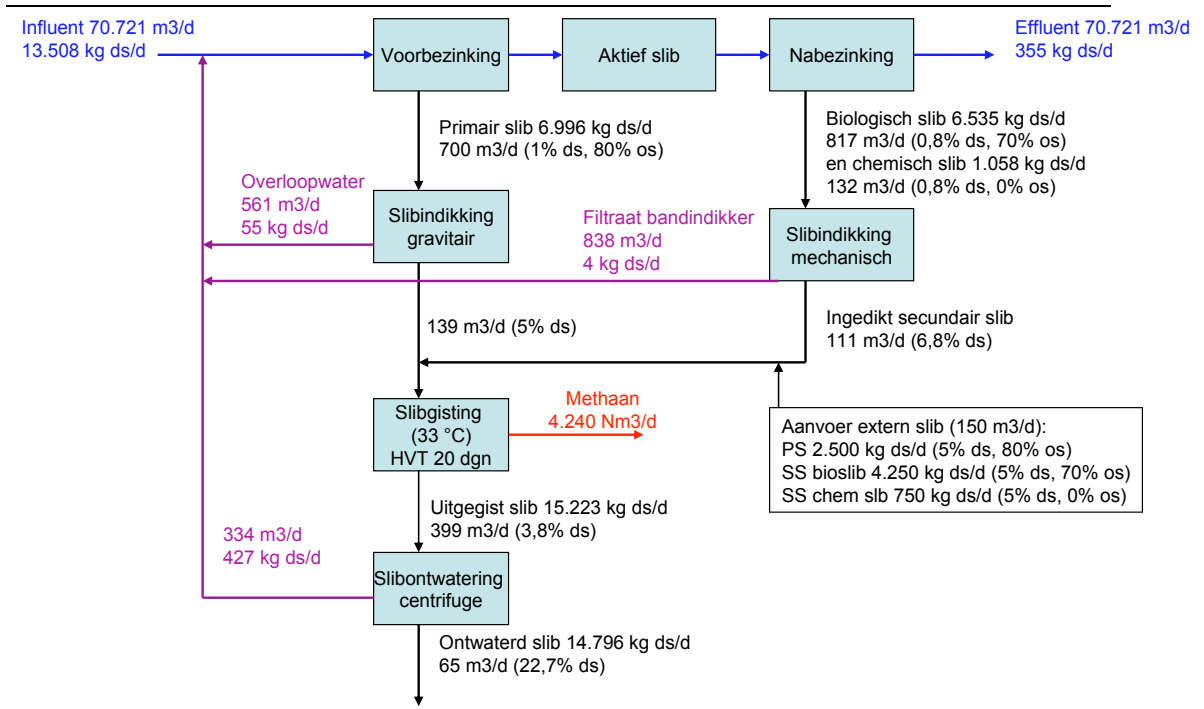
FIGUUR 1 MODELZUIVERING 100.000 I.E. (150 G TZV) HUIDIGE SITUATIE



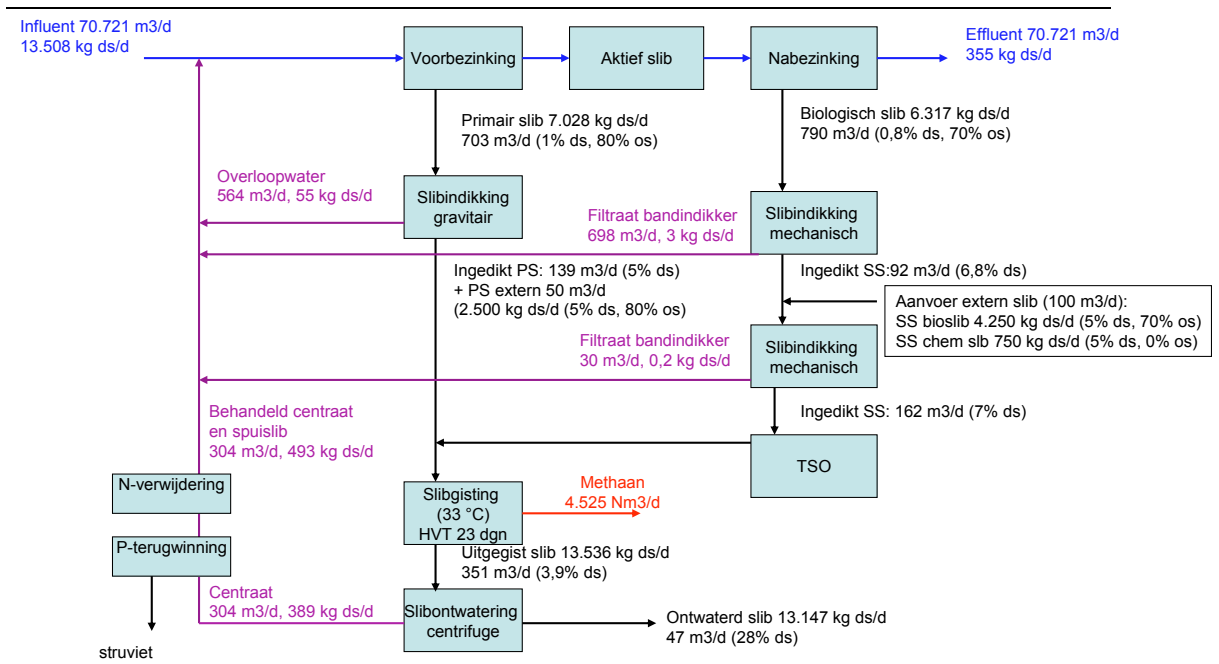
FIGUUR 2 MODELZUIVERING 100.000 I.E. (150 G TZV) TOEKOMST, MET TSO EN DEELSTROOMBEHANDELING VOOR STIKSTOF



FIGUUR 3 MODELZUIVERING 350.000 I.E. (150 G TZV) HUIDIGE SITUATIE, CENTRALE SLIBVERWERKING



FIGUUR 4 MODELZUIVERING 350.000 I.E. (150 G TZV) TOEKOMST, CENTRALE SLIBVERWERKING MET TSO EN DEELSTROOMBEHANDELING VOOR STIKSTOF EN FOSFAAT



## BIJLAGE 2

## FACTSHEETS

## SLIBGISTING

## ALGEMENE BESCHRIJVING

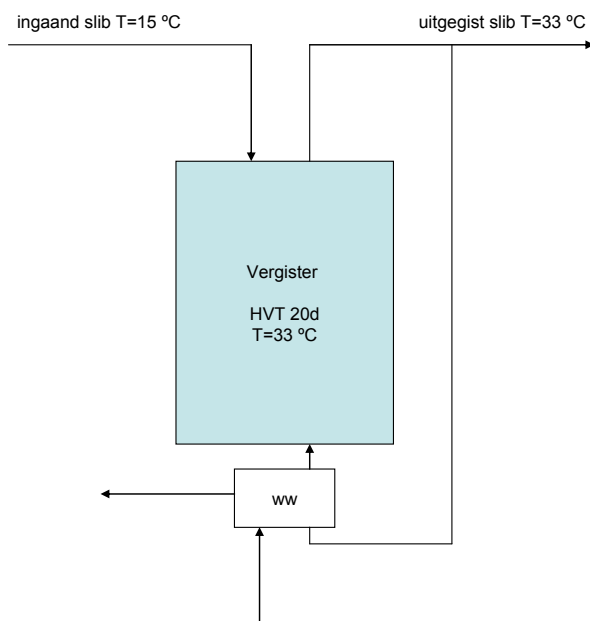
Biologische anaerobe afbraak van ingedikt primair en secundair slib tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$ . Mesofiele vergisting (T: 20-40 °C) wordt in Nederland veel toegepast voor vergisting van slib vrijkomend op communale zuiveringen. Thermofiele slibvergisting (T: 40-65 °C) wordt in Nederland toegepast bij industriële waterzuiveringen.

## UITVOERINGSVORMEN: MESOFIELE EN THERMOFIELE SLIBVERGISTING

## THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN MESOFIELE SLIBVERGISTING

- Slibvergisting bij temperaturen 20 - 40 °C
- Warmteverliezen gistingstank en leidingen
- Hoe groter de gistingstank hoe lager de warmteverliezen (10% warmteverlies bij 10.000 m<sup>3</sup> tank – 19% warmteverlies bij 1.000 m<sup>3</sup> tank)
- Warmteverliezen kunnen beperkt worden door tankisolatie
- Hydraulische verblijftijd 20 - 25 dagen
- Opwarming recirculatiestroom uitgestist slib met laagwaardige restwarmte (warmtewisselaar)

## ENERGIESTROMEN MESOFIELE SLIBVERGISTING

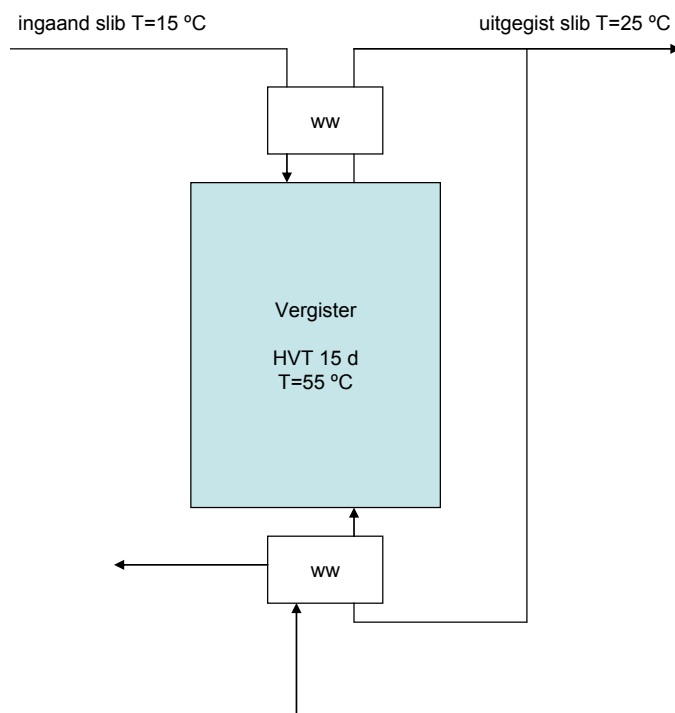


**Warmtebehoefte (incl. warmteverlies tank):**  
**93 – 104 MJ/m<sup>3</sup> slib<sub>T=15 °C</sub> (vergister 10.000 – 1.000 m<sup>3</sup>)**



**THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN MESOFIELE SLIBVERGISTING**

- Slibvergisting bij temperaturen 40 - 65 °C, optimumtemperatuur 55 °C
- Warmteverliezen gistingstank en leidingen
- Hoe groter de gistingstank hoe lager de warmteverliezen (21% warmteverlies bij 10.000 m<sup>3</sup> tank - 36% warmteverlies bij 1.000 m<sup>3</sup> tank)
- Warmteverliezen kunnen beperkt worden door tankisolatie
- Hydraulische verblijftijd 15 dagen
- Opwarming recirculatiestroom uitgegist slib met laagwaardige restwarmte (warmtewisselaar)
- Benutting warmte in uitgegist slib voor opwarming ingaande slibstroom (warmtewisselaar)

**ENERGIESTROMEN THERMOFIELE SLIBVERGISTING**

**Warmtebehoefte (incl. warmteverlies tank):**  
**76 - 94 MJ/m<sup>3</sup> slib<sub>T=15 °C</sub> (vergister 10.000 – 1.000 m<sup>3</sup>)**

## THERMISCHE SLIBONTSLUITING

### ALGEMENE BESCHRIJVING THERMISCHE SLIBONTSLUITING

Thermische slibontsluiting (TSO) is een voorbehandelingsstap voor de (mesofiele of thermofiele) slibvergisting. In Nederland wordt anno 2012 de toepassing van TSO volgens het Cambi proces (150 - 165 °C, 5 bar) en het TurboTec proces van Sustec (140 °C, 5 bar) voor de behandeling van secundair slib regelmatig in beschouwingen meegenomen.

### VOORDELEN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

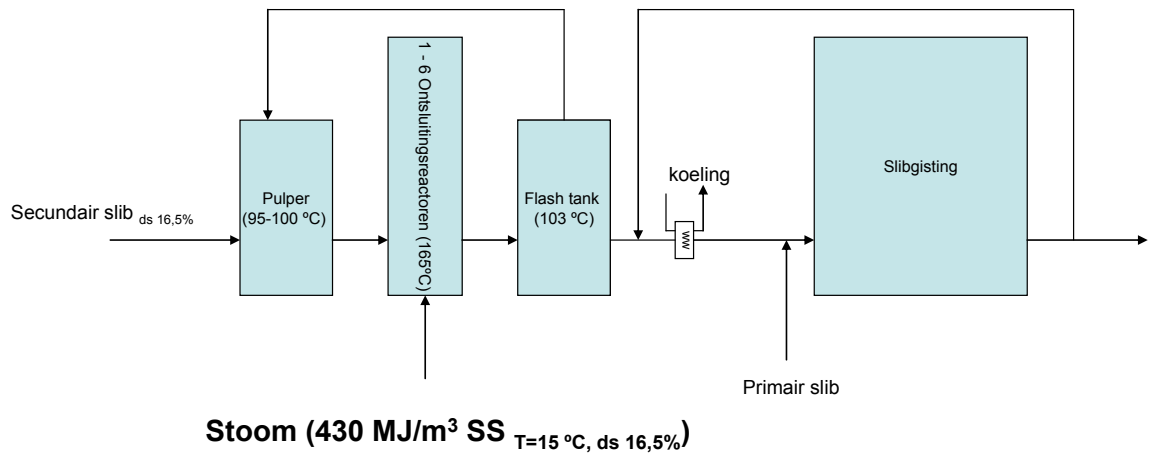
Door toepassing van deze ontsluitingsstap kan de vergisting bij kortere verblijftijd uitgevoerd worden, wordt de capaciteit van de vergister vergroot (hoger ds gehalte mogelijk door lagere viscositeit van het behandelde slib), wordt een verhoogde gasproductie in de slibgisting verkregen en een verbeterde ontwatering van het vergiste slib.

### UITVOERINGSVORMEN: CAMBI PROCES EN TURBOTEC® PROCES (SUSTEC)

#### THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN CAMBI [1]

- Uitvoering als batch of continue proces mogelijk voor behandeling van primair en secundair slib
- Het proces is een combinatie van thermische hydrolyse en stoomexplosie (2 destructietechnieken)
- In factsheet thermische uitwerking voor batch proces, bestaande uit 1 pulpertank (95-100 °C), 1 tot 6 onsluitingsreactoren (165 °C, 5 bar) en 1 flashtank (103 °C), voor behandeling secundair slib
- Ingaand secundair slib ds 15 – 18%
- Directe warmteuitwisseling (geen gebruik van warmtewisselaars)
- Warmteterugwinning: directe opwarming pulpertank met recuperatiestoom uit flashtank
- Warmtebehoefte onsluitingsreactor: directe stoominjectie circa 145 kg stoom/ ton slibmengsel  $T=15\text{ °C}$ , ds 16,5% (enthalpie 2.785 kJ/kg stoom)
- Warmtebehoefte onsluitingsreactor kan beperkt worden tot circa 100 kg stoom/ ton slibmengsel  $T=15\text{ °C}$ , ds 16,5% (enthalpie 2.785 kJ/kg stoom) door voorverwarming van het ingedikte slib vóór de ontwatering tot 20 - 40 °C met lage temperatuurwarmte
- Opmenging met primair slib na flashtank
- Afhankelijk van verhouding PS:SS is koeling of opwarming nodig om de gisting op de juiste temperatuur te houden
- Indien  $Q_{PS} > 2 Q_{SS}$  dan verwarming primair slib nodig
- Koeling geschiedt op TSO behandeld slib of op een mengsel van TSO behandeld slib met uitgegist slib (door menging pH verhoging waardoor verstopping warmtewisselaar in T-traject < 70 graden voorkomen wordt)

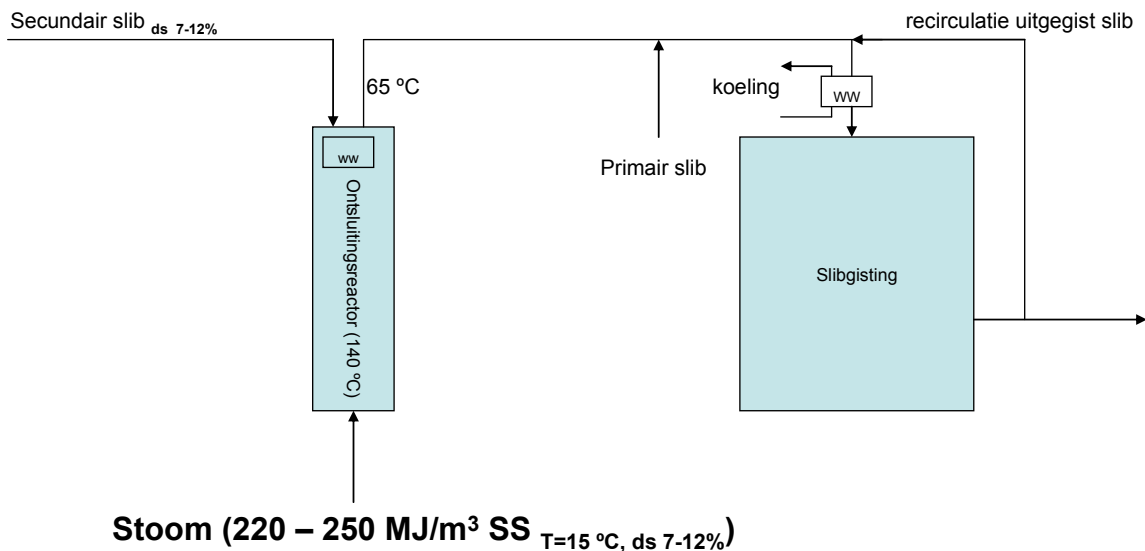
**ENERGIESTROMEN CAMBI PROCES**



[1] Factsheet opgesteld in samenwerking met Cambi, Davy Ringoot, januari 2012

**THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN TURBOTEC PROCES [2]**

- Continu proces in ontsluitingsreactor 140 °C, 5 bar
- Behandeling secundair slib
- Ingaand secundair slib ds 7 – 12%
- Door middel van een warmtewisselaarsysteem wordt een groot deel van de ingebrachte warmte teruggewonnen
- Temperatuur behandeld slib bedraagt circa 65 °C
- De uiteindelijke warmtetoevoer vindt plaats door middel van directe stoominjectie (220 - 250 MJ/m<sup>3</sup> slib <sub>T=15 °C, ds 7-12%</sub>)
- Opmenging met primair slib na ontsluitingstank
- Afhankelijk van verhouding PS:SS is koeling of opwarming nodig om de gisting op de juiste temperatuur te houden
- Indien  $Q_{PS} > Q_{SS}$  dan verwarming primair slib nodig
- Koeling geschiedt op ontsloten slib of op een mengsel van ontsloten slib met uitgestit slib

**ENERGIESTROMEN TURBOTEC PROCES**

[2] Factsheet opgesteld in samenwerking met Sustec, Lex van Dijk, januari 2012

## STIKSTOFVERWIJDERINGSTECHNIEKEN DEELSTROOMBEHANDELING

### ALGEMENE BESCHRIJVING

Stikstofverwijdering wordt op de Nederlandse rwzi's hoofdzakelijk gerealiseerd door nitrificatie-denitrificatie in de hoofd-waterlijn. Op zuiveringen waar een slibontwatering aanwezig is, kan de stikstof op energetisch efficiëntere wijze verwijderd worden vanuit het centraat/ filtraat door biologische omzetting door Anammox bacteriën. De optimale temperatuur voor deze omzetting is 30 – 37 °C. In Nederlandse praktijksituaties bedraagt de temperatuur van het centraat/ filtraat na ontwatering doorgaans 24 – 33 °C. In deze factsheet worden de uitvoeringsvormen Demon en Canon toegelicht.

Het SHARON proces maakt geen gebruik van de Anammoxroute. In het SHARON proces wordt ammonium omgezet tot nitriet (nitrificatie), waarna het nitriet met behulp van een C-bron tot stikstofgas wordt omgezet (denitrificatie). De omzetting tot nitriet dient bij hogere temperaturen (30 – 40 °C) en lage slibverblijftijd plaats te vinden om te voorkomen dat omzetting tot nitraat plaatsvindt.

Stikstofverwijdering uit het centraat/filtraat kan ook gerealiseerd worden door productie van N-houdende meststoffen (vorming struviet en/of ammoniumsulfaat via de processen Pearl, SaNiPhos of NutriTec). Deze precipitatietechnieken behoeven geen warmte en zullen om deze reden in de factsheet niet verder uitgewerkt worden.

### VOORDELEN STIKSTOFVERWIJDERING DOOR ANAMMOX BACTERIËN

De omzetting van stikstof via de Anammox route vindt plaats door omzetting van nitriet met ammonium tot stikstofgas. Voor de omzetting is slechts een kleine hoeveelheid zuurstof nodig. In vergelijking met de stikstofverwijdering via de klassieke route nitrificatie-denitrificatie is derhalve een aanzienlijke besparing op beluchtingsenergie mogelijk. Voor de Anammox omzetting is verder geen BZV nodig en de slibproductie in het systeem is bijzonder laag door de lage groeisnelheid van de bacteriën.

### VOORDELEN STIKSTOFVERWIJDERING VIA NITRIETROUTE

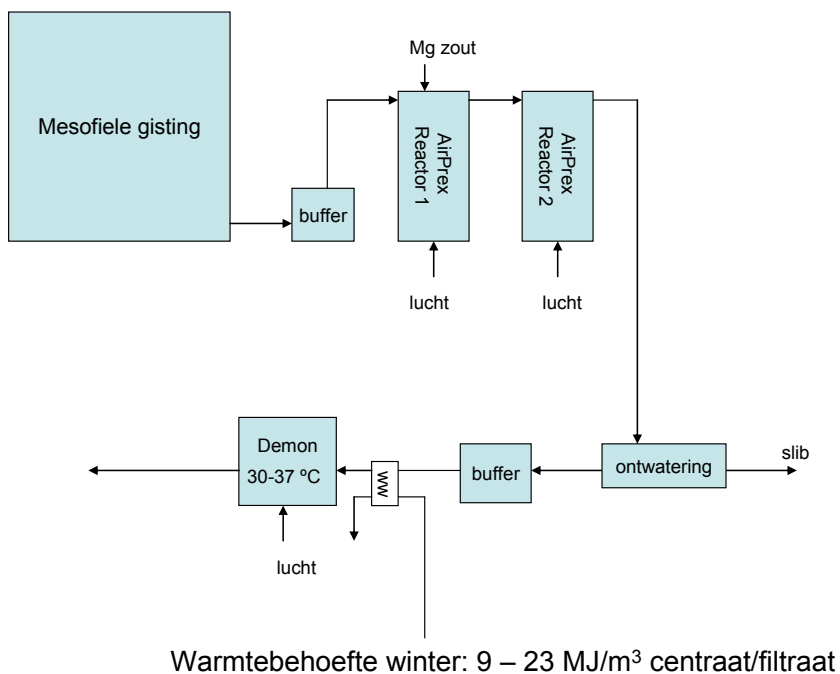
Bij nitrificatie / denitrificatie met nitriet als intermediair is in vergelijking met de conventionele stikstofverwijdering minder zuurstof (minder beluchtingsenergie) en minder BZV nodig en is de slibproductie geringer.

## UITVOERINGSVORMEN: DEMON, CANON EN SHARON

### THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN DEMON [1]

- Batch proces, uitvoering in één reactor in cycli van 8 uur
- Exotherme reactie, 100 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$  geeft in Demon reactor circa 0,3 graad temperatuurstijging
- Reactortemperatuur: 30 – 39 graden (praktijk awzi Apeldoorn)
- Warmtebehoefte: geen verwarming nodig (in winters 2010 en 2011, awzi Apeldoorn, geïsoleerde uitvoering, ontwatering volcontinu)
- Wel verwarming nodig voor opstart of herstart van de Demon installatie
- Bij voorschakeling Pearl proces (P-verwijdering in rejectiewaterstroom), binnenopstelling, geen verwarming nodig (inschatting Tauw)
- Bij voorschakeling AirPrex proces (P-verwijdering in uitgegist slibstroom), buitenopstelling, alleen in wintermaanden verwarming nodig (inschatting Tauw: delta T 2 – 5 graden)

### ENERGIESTROMEN DEMON PROCES MET P-VERWIJDERING VIA AIRPREX



[1] Facsheet Demon opgesteld op basis van praktijkervaringen Demon awzi Apeldoorn (2009 – 2012)

#### **THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN CANON (PAQUES)**

- Continu proces, uitvoering in één reactor met speciale constructie voor slibseparatie
- Exotherme reactie, 100 mg NH<sub>4</sub>-N/l geeft in Canon reactor circa 0,3 graad temperatuurstijging
- Warmtebehoefte vergelijkbaar met Demon proces

#### **THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN SHARON**

- Uitvoering in één of twee reactoren zonder slibretentie
- Nitritatie bij temp 30 – 40 °C
- Exotherme reactie, 100 mg NH<sub>4</sub>-N/l geeft in SHARON reactor 1 graad temperatuurstijging
- Warmtebehoefte: geen verwarming nodig bij geïsoleerde uitvoering SHARON reactoren en opslagbuffers, eventueel koeling nodig (praktijkervaring Grontmij full scale installaties)
- Wel verwarming nodig voor opstart of herstart van de SHARON installatie
- Bij voorschakeling Pearl proces (P-verwijdering in rejectiewaterstroom), binnenopstelling, geen verwarming nodig
- Bij voorschakeling AirPrex proces (P-verwijdering in uitgegist slibstroom), buitenopstelling, verwarming alleen in wintermaanden nodig (inschatting Tauw: delta T 2 – 5 graden)

## LAGE TEMPERATUUR SLIBDROGING MET BANDDROGER

### ALGEMENE BESCHRIJVING

Voor het drogen van mechanisch ontwaterd zuiverings-slib kan gebruik worden gemaakt van laagwaardige warmte (vanaf circa 60°C). Veelal worden banddrogers toegepast. Het slib kan worden gedroogd tot circa 90% d.s. Opgewarmde lucht kan door het slib worden geblazen, waarbij vocht wordt opgenomen. De vrijkomende droogdampen worden gekoeld (waarbij het vocht wordt gecondenseerd), weer opgewarmd en opnieuw door het slib geblazen. Het voornaamste voordeel van lage temperatuur droging is de mogelijkheid om laagwaardige warmte te benutten, die anders weg gekoeld had moeten worden. Door het gesloten ventilatiesysteem wordt de geuremissie van de installatie beperkt.

Enkele voordelen van slibdroging;

- Optimalere benutting warmte op de rwzi.
- Hogere energiedichtheid van het slib, interessanter product.
- Minder slib, dus minder transportbewegingen voor slibafvoer
- Efficiëntieverbetering mogelijk bij slibeindverwerker, doordat droging daar overbodig is.

Om 1 kilogram water uit het slib te verdampen, is circa 1 kWh aan warmte benodigd.

Dit komt overeen met een rendement van circa 70%.



## LAGE TEMPERATUUR SLIBDROGING IN KASSEN

### ALGEMENE BESCHRIJVING

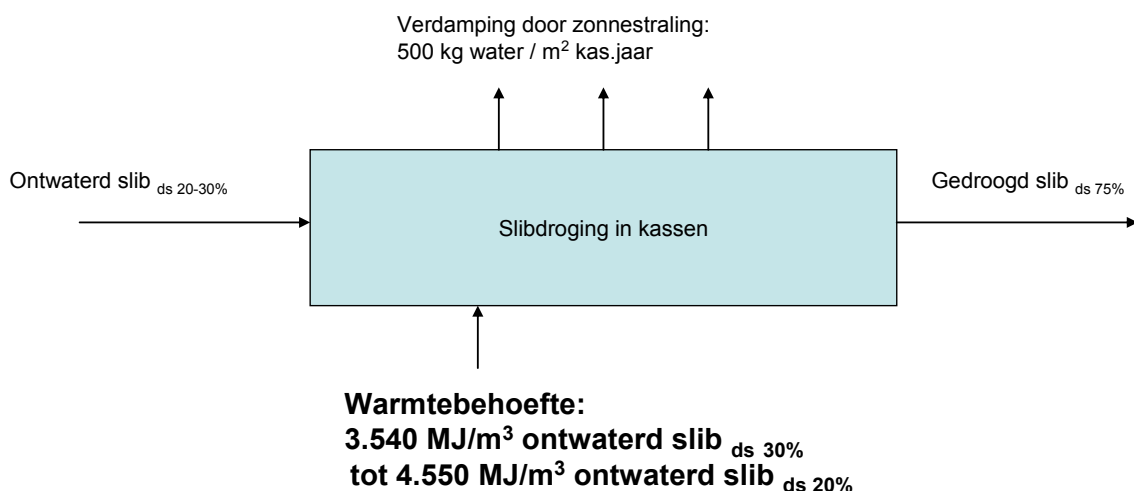
Droging van ontwaterd zuiveringsslib in kassen vindt plaats door zonne-energie of een combinatie van zonne-energie en laagwaardige restwarmte. Deze slibdroging kan in de nabijheid van de waterzuivering gerealiseerd worden indien voldoende ruimte voor bouw van de droogkassen aanwezig is. Door droging van het ontwaterd slib, vermindert het volume, waardoor de transportkosten aanzienlijk dalen. De in deze factsheet beschreven droging is berekend op basis van een praktijksituatie waarin droging met zonne-energie en een grote hoeveelheid restwarmte plaatsvindt ( kassen van Thermo-System Industrie- & Trocknungstechnik GmbH in Friesoythe, Duitsland).

### UITVOERINGSVORM: THERMO-SYSTEM INDUSTRIE- & TROCKNUNGSTECHNIK GMBH

#### THERMISCH RELEVANTE KENMERKEN SLIBDROGING IN KASSEN [1]

- Droging van ontwaterd slib, ds gehalte 20 – 30%
- Droging slib tot ds gehalte 75%
- Kasoppervlak afhankelijk van te behandelen slibdebiet, dimensionering conform kassen te Friesoythe 1 m<sup>2</sup> kas / ton slibkoek (ds 25%)/jaar
- Kasoppervlak variabel te kiezen afhankelijk van verhouding droging door zonne-energie en droging door restwarmte
- Indien droging door alleen zonne-energie, dan benodigd kasoppervlak: 1 m<sup>2</sup> per ton slibkoek (25% ds)/jaar
- Droging door zonne-energie en laagwaardige restwarmte conform kasdroging te Friesoythe, dan benodigd kasoppervlak: 1 m<sup>2</sup> per 5 ton slibkoek (25% ds)/jaar
- Slibdroging door zonne-energie: 1 ton slibkoek (ds 25%)/ m<sup>2</sup> kas.jaar
- Resterende droging door ventilatie met verwarmde lucht (uitgaande lucht 40 °C, relatieve vochtigheid 60%)
- Luchtverwarming met laagwaardige restwarmte (T circa 85 °C)

#### ENERGIESTROMEN SLIBDROGING IN KASSEN



[1] Factsheet opgesteld op basis van praktijkgegevens lage temperatuur slibdroging in Thermo-System kassen te Friesoythe, Duitsland

## **WARMTEOPWEKKING VIA KETEL, WKK OF WARMTEPOMP**

### **KETEL**

Om warmte te produceren worden in de verschillende sectoren veelal gasgestookte ketels toegepast. In een ketel wordt aardgas/biogas verbrand en omgezet in warmte. Een aardgasketel kan tegenwoordig een rendement van 96% op bovenwaarde behalen. Dit is onder andere mogelijk door de zogenaamde condensatiewarmte in de rookgassen te benutten; hiervoor is wel een rookgascondensator benodigd. Het wel of niet toepassen van een rookgascondensator scheelt circa 10% op het thermische rendement.

Door de zuurgraad van de rookgassen van biogas kan geen gebruik gemaakt worden van 'traditionele' metalen rookgascondensators bij rioolwaterzuiveringen, maar moet gebruik gemaakt worden van alternatieve rookgascondensators, zoals kunststofcondensators. Hierin zijn de laatste jaren flinke ontwikkelingen gemaakt en dergelijke condensators worden ondertussen in bepaalde industrieën toegepast. Deze condensators zijn ook toepasbaar bij warmtekrachtkoppelingen.

### **WARMTEKRACHTKOPPELINGEN**

Warmtekracht is een bijzonder breed begrip, kent verschillende verschijningsvormen en toepassing ervan is in verschillende sectoren te vinden. Door gelijktijdig opwekken van elektriciteit en warmte wordt voorkomen dat centraal elektriciteit moet worden opgewekt, waarbij in veel gevallen de warmte moet worden geloosd. Bij warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt zodoende altijd gestreefd naar een optimale benutting van zowel de elektriciteit als de warmte die bij de opwekking van de elektriciteit vrijkomt.

Op rioolwaterzuiveringen worden over het algemeen gasmotoren toegepast. Gasmotoren hebben als belangrijkste voordeel dat ze relatief goedkoop zijn en een hoog elektrisch en thermisch rendement hebben. Een gasmotor is een seriematig product, dat betrouwbaar is en zo goed als uitontwikkeld. Deze gasmotoren zijn ontworpen om aardgas te verstoffen en dienen enigszins aangepast te worden om ook biogas te kunnen verstoffen.

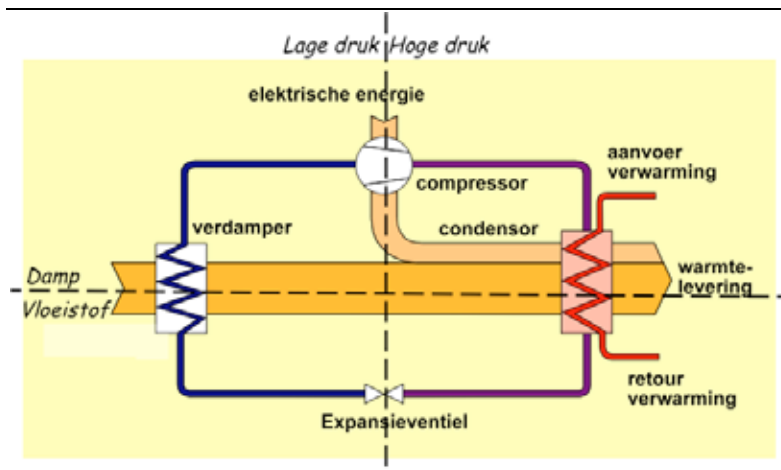
Er zijn ontwikkelingen gaande waarbij motoren ontwikkeld worden die speciaal zijn ontworpen voor biogas. De huidige warmtekrachtkoppelingen behalen een elektrisch rendement van circa 40% en een thermisch rendement van 50% (zonder toepassing van rookgascondensator).

## WARMTEPOMPEN

### ELEKTRISCHE WARMTEPOMPEN

De meeste warmtepompen zijn elektrisch aangedreven. De werking is gebaseerd op het verdampen en condenseren van koudemiddel. De warmtepomp verplaatst warmte. Daarbij verlaat, volgens de wet van behoud van energie, ook alle aandrijfenergie van de compressor het systeem als warmte via de condensor. Dit wordt duidelijk in onderstaande figuur, waar ook het bijbehorende Sankey-diagram is getekend.

FIGUUR 1 ELEKTRISCHE WARMTEPOMP MET SANKEY-DIAGRAM (BRON: TNO)



Het rendement van de warmtepomp is het hoogst als de temperatuurlift zo klein mogelijk is, met andere woorden de afgiftemperatuur laag wordt gehouden, bij voorkeur onder de 55°C. Elke warmtepomp heeft een bron nodig. Op de rioolwaterzuivering zou dit het effluentwater of het uitgestigte slib kunnen zijn.

### GASMOTORWARMTEPOMPEN

In plaats van een elektromotor kan ook een gasmotor de compressor aandrijven. De gasmotorwarmtepomp verbruikt dus geen elektriciteit maar aard/biogas. In de condensor stroomt het opgewarmde medium ook langs de gasmotor, waar het warmte opneemt uit het koelwater en de rookgassen van de motor. Het voordeel is dat de restwarmte die vrijkomt in de gasmotor nuttig gebruikt kan worden. De warmtepomp functioneert het beste bij een lage afgiftemperatuur.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de rendementen voor de verschillende vormen van warmteopwekking.

TABEL 1 RENDEMENT WARMTEOPWEKKING

Grootheid	Rendement	Waarde	Dimensie
Ketel	$\eta_{\text{warmte}}$	0,95	$\text{GJ}_{\text{th}}/\text{GJ}_{\text{aardgas}}$
Gasmotor WKK	$\eta_{\text{elektrisch}}$	0,37	$\text{GJ}_{\text{el}}/\text{GJ}_{\text{aardgas}}$
	$\eta_{\text{warmte}}$	0,53	$\text{GJ}_{\text{th}}/\text{GJ}_{\text{aardgas}}$
Elektrische warmtepomp	COP	4,00	$\text{GJ}_{\text{th}}/\text{GJ}_{\text{el}}$
Gasmotorwarmtepomp	$\eta_{\text{warmte}}$	1,75	$\text{GJ}_{\text{th}}/\text{GJ}_{\text{aardgas}}$

### **EXTERNE WARMTELEVERING**

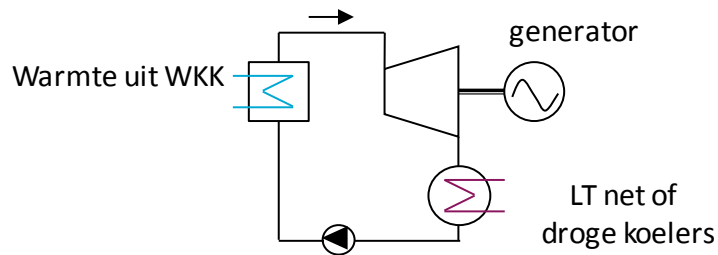
Naast opwekking van warmte door installaties is het ook mogelijk om warmte via een warmtenet te ontvangen. Traditionele warmtenetten distribueren over het algemeen de afvalwarmte afkomstig van elektriciteitscentrales en zijn uitgelegd op een hoge temperatuur. In de leidingen van een warmtenet vinden verliezen plaats. Nadeel van een warmtenet is dat er afhankelijkheid is van een externe partij. Op het moment dat de externe partij efficiënter gaat werken, zal de hoeveelheid restwarmte afnemen en de warmtelevering niet meer gewaarborgd zijn. Garanties, ook op lange termijn, zijn zodoende belangrijk bij de beslissing om een warmtenet te ontwikkelen.

## ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)

In de huidige situatie wordt op de rwzi niet alle opgewekte warmte nuttig ingezet. Een andere mogelijkheid om de vrijkomende warmte te benutten is toepassing van een Organic Rankine Cycle. Een ORC is in staat om met 'laagwaardige' warmte elektriciteit op te wekken. In principe werkt een ORC hetzelfde als een traditionele stoomcyclus. Bij een ORC wordt echter in plaats van stoom als werkmedium een organische vloeistof gebruikt met een lager kookpunt. Hierdoor kan bij lagere temperaturen reeds verdamping plaatsvinden. Onderstaande figuur geeft een schematische weergave van de werking van een ORC.

FIGUUR 1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN ORC



De geschiktheid van een ORC op een locatie met restwarmte is afhankelijk van verschillende factoren. De temperatuur en het vermogen van de restwarmte zijn van belang. De op dit moment beschikbare ORCs zijn grofweg in te delen in 'hoge temperatuur ORCs' en 'lage temperatuur ORCs'.

Hoge temperatuur ORCs benutten warmte uit rookgassen en koelen de rookgassen typisch tot ca. 180 °C. Deze ORCs hebben een relatief hoog elektrisch rendement (14-18 %). Echter, enkel de restwarmte uit de rookgassen van de biogasmotor kan benut worden, niet warmwater van de machinekoeling. Aan de condensorkant van de ORC komt restwarmte vrij die eventueel weer benut kan worden voor verwarming. Vaak wordt thermische olie gebruikt als medium voor warmteoverdracht tussen de rookgassen en de organische vloeistof<sup>11</sup>.

Bij lage temperatuur ORCs is de warmtebron typisch warmwater (> 90 °C). De lage verdampertemperatuur zorgt voor een iets lager elektrisch rendement (7-12%). In combinatie met een biogasmotor is het input vermogen echter groter dan dat van een hoge temperatuur ORC, omdat zowel de warmte uit de rookgassen als de machinekoeling gebruikt kan worden. Het zal dus per locatie afhangen of een hoge temperatuur ORC of een lage temperatuur ORC geschikt is. De aanwezige warmtebenutting – voor slibverwarming of ruimteverwarming – zal bij deze keuze een rol spelen.

11 De Tri-O-Gen ORC gebruikt geen tussenmedium en is hiermee, voor zover ons bekend, een uitzondering. Er wordt een warmtewisselaar geplaatst in het rookgaskanaal en waarmee de rookgassen de toelien verwarmen.

## LEVERING BIOGAS OF GROEN GAS

Indien op de zuivering een overproductie van biogas aanwezig is, kan in plaats van het biogas te verstoken in bijvoorbeeld een WKK ten behoeve van elektriciteitsproductie er ook voor gekozen worden om biogas of groen gas af te zetten naar derden. Biogas bestaat voornamelijk uit methaan en koolstofdioxide. Het methaangehalte varieert van 50% tot 65%. De opwerking van biogas tot groen gas is er op gericht om het gas identiek te maken aan aardgas. Er zijn verschillende technieken beschikbaar om biogas op te waardenen.

### VERGELIJKING LEVERING BIO/GROEN GAS VERSUS WKK

Vanuit oogpunt van duurzaamheid kan opwerking tot groen gas een interessant proces zijn. Echter in verband met MJA3 afspraken hoeft dit niet het geval te zijn. Doordat via de elektriciteitsproductie van een WKK bespaard wordt op de productie van elektriciteit vanuit een centrale met een energetisch rendement van 40% en elektriciteit ook op die manier gewaardeerd wordt in MJA3 is er vanuit MJA-3 oogpunt geen reden biogas te leveren of om op te waardenen. Optimalisatie van de warmtebenutting van een WKK is energetisch gunstiger indien omgerekend wordt naar primaire energie.

In onderstaande tabel is ter illustratie een vergelijking gemaakt tussen de uitlevering van biogas en de benutting van warmte die vrijkomt in een WKK. Voor de omrekening van warmte en elektriciteit volgens de MJA-3 beoordeling wordt voor elektriciteit en warmte een standaard opwekkingsrendement van 40% respectievelijk 90% gebruikt.

TABEL 1 VERGELIJKING UITLEVERING BIOGAS VERSUS BENUTTING WARMTE UIT WKK

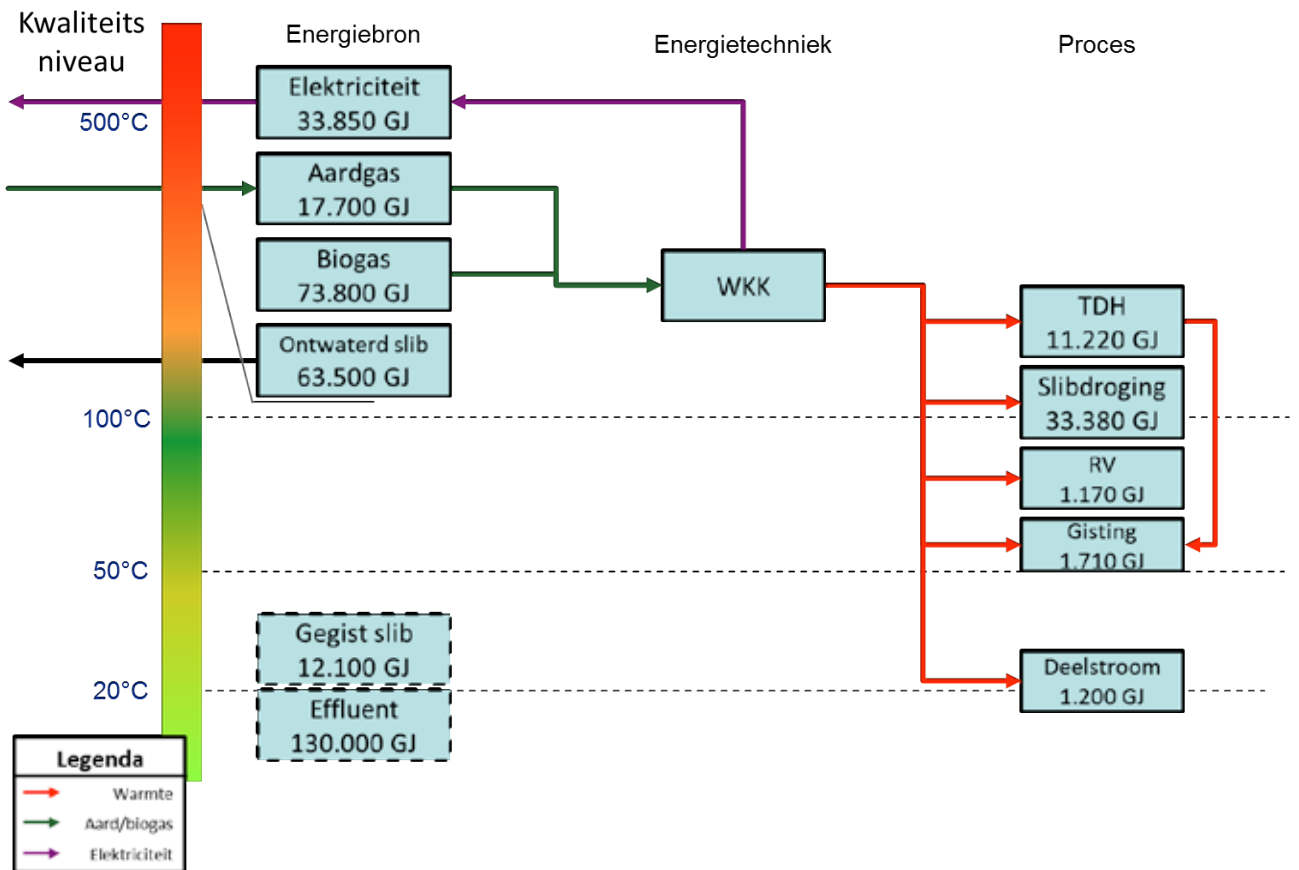
	Biogaslevering		WKK	
		geen warmtebenutting	50% warmtebenutting	100% warmtebenutting
Biogas beschikbaar	1 MWh	1 MWh	1MWh	1 MWh
Biogas geleverd	1 MWh	-	-	-
Biogas primair	1 MWh	-	-	-
Elektriciteit WKK (eff. 37%)	-	0,37 MWh	0,37 MWh	0,37 MWh
Elektriciteit WKK primair ( $\eta$ 40%)	-	0,93 MWh	0,93 MWh	0,93 MWh
Warmte WKK (eff. 53%)	-	-	0,27 MWh	0,53 MWh
Warmte WKK primair ( $\eta$ 90%)	-	-	0,30 MWh	0,59 MWh
Reductie op eindverbruik	1 MWh	0,37 MWh	0,64 MWh	0,90 MWh
Reductie primaire energie	1 MWh	0,93 MWh	1,23 MWh	1,52 MWh



BIJLAGE 3

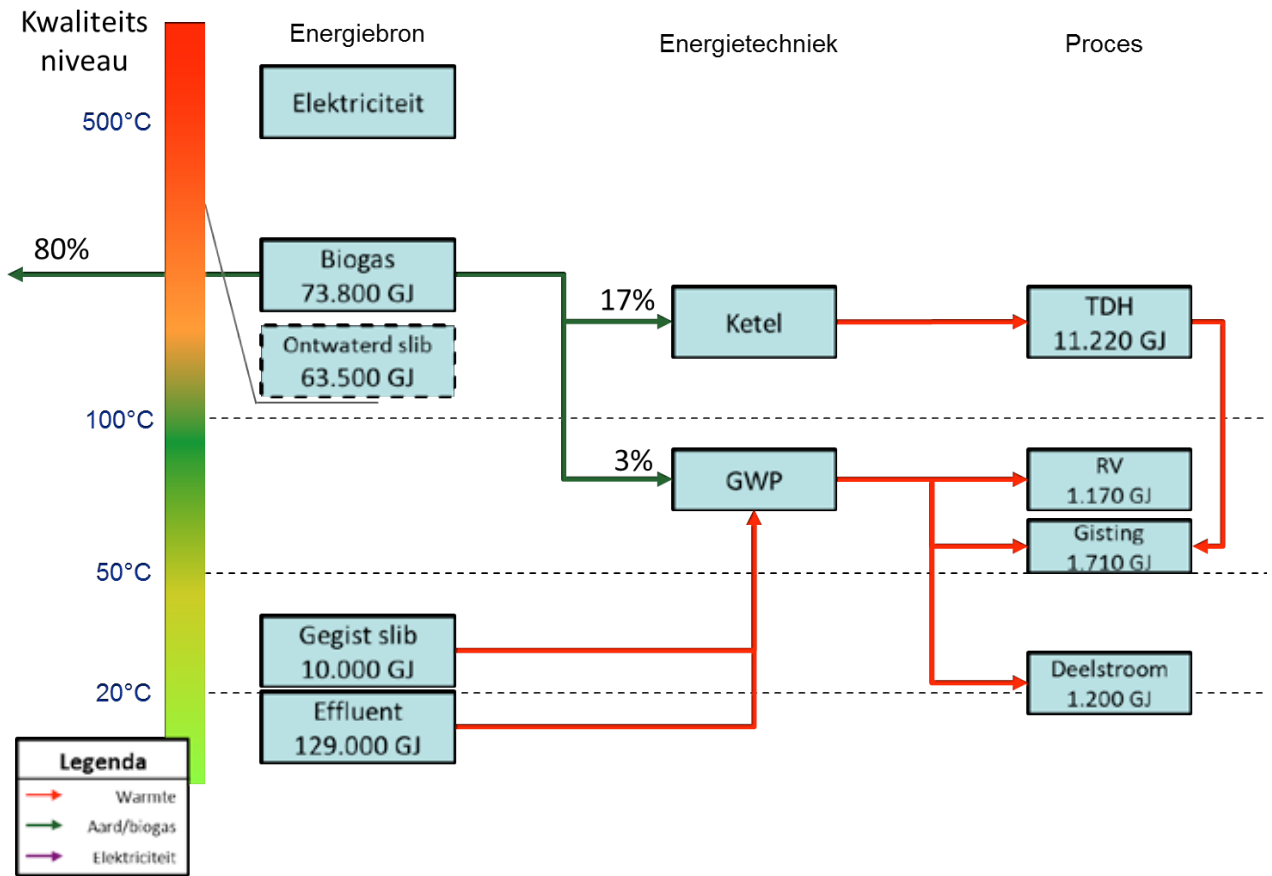
# ENERGIECONCEPTEN ENERGIEFABRIEK

FIGUUR 1 ENERGIECONCEPT : WKK'S MET BENUTTING RESTWARMTE VOOR SLIBDROGING  
 JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING ENERGIEFABRIEK (RWZI 350.000 IE MET T50)

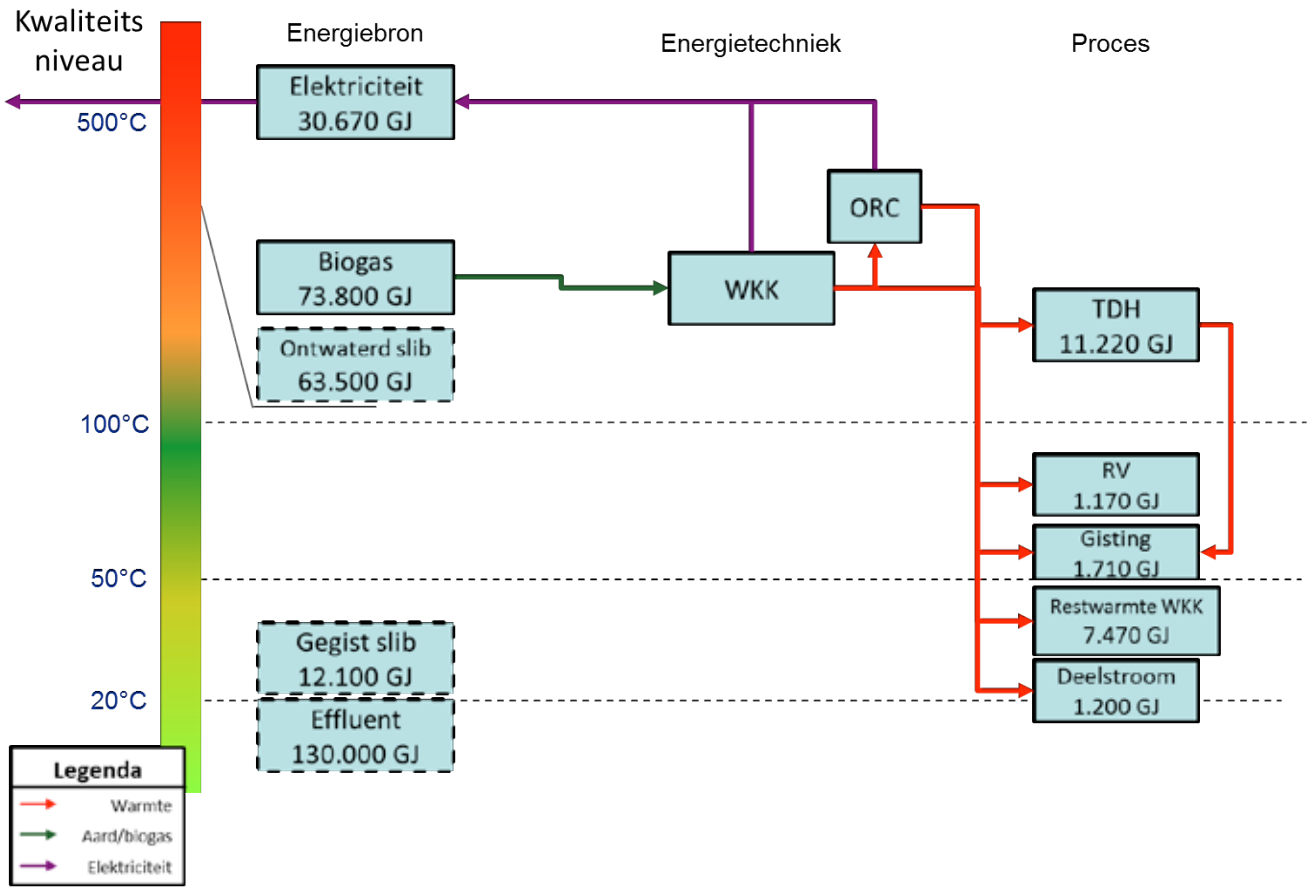




FIGUUR 2 ENERGIECONCEPT : BENUTTING ENERGIE UIT EFFLUENT EN UITGEGIST SLIB VIA GWP EN BIOGAS UITLEVEREN.  
 JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING ENERGIEFABRIEK (RWZI 350.000 IE MET TSO)



FIGUUR 3 ENERGIECONCEPT: MAXIMALE EXERGIEBENUTTING WKK MET ORC.  
 JAARBALANS ENERGIESTROMEN MODELZUIVERING ENERGIEFABRIEK (RWZI 350.000 IE MET T50)





BIJLAGE 4

UITKOMSTEN

ENERGIEBALANSBEREKENINGEN

MODELZUIVERINGEN

100.000 i.e.

	Doorteleven biogas (§ 3.2)						Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)		
	Referentie	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Stibdring met banddrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC
	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	GJ /jr	
Electriciteitsbehoefte	9 580	10 130	9 580	9 580	9 580	9 580	9 580	9 580	
Electriciteitsopwek	4 100	0	0	0	0	1 610	4 100	4 600	
Electriciteitsinkoop	5 480	10 130	9 580	9 580	9 580	7 970	5 480	4 980	
Warmteopwek	6 250	0	2 700	2 700	2 700	2 700	6 250	6 250	
Warmteinzet zuivering	2 700	2 700	2 700	2 700	2 700	2 700	2 700	5 620	
Warmtelevering derden	0	0	0	0	0	0	3 550	0	
Gasopwek zuivering	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	
Gasinzet zuivering	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	
Gasbehoefte zuivering	11 200	100	1 300	2 842	2 842	4 660	11 200	11 200	
Gaslevering derden	0	11 200	9 900	8 358	8 358	6 540	0	0	
Stibketen	0	0	0	0	0	0	14 800	0	
Finale elektriciteitsverbruik	5 480	10 130	9 580	9 580	9 580	7 970	5 480	4 980	
Finale gasbehoefte	0	-11 200	-11 100	-9 900	-8 358	-6 540	11 300	0	
Finale warmtebehoefte	0	2 700	0	0	0	0	-3 550	0	
Finale energiebehoefte	5 480	1 080	-970	-320	1 222	1 430	12 580	4 980	
Finale warmteoverschot	3 550	0	0	0	0	0	0	630	

350.000 i.e.

Doorleveren biogas (§ 3.2) Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)

	Doorleveren biogas (§ 3.2)						Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)					
	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Stibdroging met banddrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC				
	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Referentie	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Electriciteitsbehoefte	28 320	31 030	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320	28 320
Electriciteitsopwek	21 850	0	0	0	9 620	44 580	21 320	24 000				
Electriciteitsinkoop	6 470	31 030	28 320	28 320	18 700	-16 260	7 000	4 320				
Warmteopwek	33 070	14 560	14 560	14 560	14 560	67 480	33 070	33 070				
Warmteinzet zuivering	14 560	14 560	14 560	14 560	14 560	67 480	14 560	29 600				
Warmtelevering derden	0	0	0	0	0	0	18 510	0				
Warmteoverschot	18 510	0	0	0	0	0	0	3 470				
duurzame warmte	0	14 560	0	0	0	0	0	0				
Gasopwek zuivering	59 060	59 060	59 060	59 060	59 060	59 060	59 060	59 060				
Gasbehoefte zuivering	59 060	780	6 870	15 330	26 010	120 500	59 060	59 060				
Gaslevering derden	0	58 280	52 190	43 730	33 050	0	0	0				
Stibketen	0	0	0	0	0	78 300	0	0				
Finale elektriciteitsverbruik	6 470	31 030	28 320	28 320	18 700	-16 260	7 000	4 320				
Finale gasbehoefte	0	-58 280	-52 190	-43 730	-33 050	61 440	0	0				
Finale warmtebehoefte	0	14 560	0	0	0	0	-18 510	0				
Finale energiebehoefte	6 470	-27 250	-23 870	-15 410	-14 350	45 180	-11 510	4 320				
Finale warmteoverschot	18 510	0	0	0	0	0	0	3 470				

## Energiefabriek 350.000 i.e.

	Doorleveren biogas (§ 3.2)					Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)		
	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Stibdroging met bandrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC
Referentie	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr	GJ/jr
Electriciteitsbehoefte	31 475	31 855	31 475	31 475	31 475	31 475	31 475	31 475
Electriciteitsopwek	0	0	0	0	18 870	33 850	27 300	30 670
Electriciteitsinkoop	31 475	31 855	31 475	31 475	12 605	-2 375	4 175	805
Warmteopwek	15 300	15 300	15 300	15 300	28 570	51 240	41 340	41 340
Warmteinzet zuivering	15 300	15 300	15 300	15 300	15 300	48 690	15 300	33 870
Warmtelevering derden	0	0	0	0	0	0	26 040	0
Gasopwek zuivering	73 830	73 830	73 830	73 830	73 830	73 830	73 830	73 830
Gasbehoefte zuivering	0	13 250	14 580	16 770	51 010	91 500	73 830	73 830
Gaslevering derden	0	60 580	59 250	57 060	22 820	0	0	0
Stibketen	0	0	0	0	0	63 500	0	0
Finaal elektriciteitsverbruik	4 175	31 855	31 475	31 475	12 605	-2 375	4 175	805
Finale gasbehoefte	0	-60 580	-59 250	-57 060	-22 820	17 670	0	0
Finale warmtebehoefte	0	0	0	0	0	0	-26 040	0
<b>Finale energiebehoefte</b>	<b>4 175</b>	<b>-28 725</b>	<b>-27 775</b>	<b>-25 585</b>	<b>-10 215</b>	<b>15 295</b>	<b>-21 865</b>	<b>805</b>
Finale warmteoverschot	26 040	0	0	0	13 270	2 550	0	7 470

**BIJLAGE 5**

# ENERGIEKOSTEN



100000 ie

Doorteveren biogas (§ 3.2)

Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)

KOSTEN/BATEN	Doorteveren biogas (§ 3.2)			Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)														
	Referentie	(3.2.1) Restwarme innemen	(3.2.2) Effluentwarme met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarme met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC									
Uitgangspuntenenergiestromen		2.661.111	2.813.889	2.661.111	2.661.111	2.213.889	355.556	1.522.222	1.383.333									
Electriciteitsverbruik (kWh/jaar)	1.522.222	2.661.111	2.813.889	2.661.111	2.661.111	2.213.889	355.556	1.522.222	1.383.333									
Gasverbruik (m3/jaar)	0	-353.870	-350.711	-312.796	-264.073	-206.635	357.030	0	0									
Warmteverbruik (GJ/jaar)	0	2.700	0	0	0	0	0	-3.550	0									
Slibverbruik (GJ/jaar)	0	0	0	0	0	0	-14.800	0	0									
%ds slib	23%	23%	23%	23%	23%	23%	80%	23%	23%									
ton ds	992	992	992	992	992	992	992	992	992									
ton slib	4.369	4.369	4.369	4.369	4.369	4.369	1.240	4.369	4.369									
Financiële uitgangspunten																		
Electriciteitsverbruik	€	0,11	/kWh															
Terugleververgoeding electriciteit	€	0,06	/kWh															
Kosten gas	€	0,50	€/m <sup>3</sup>															
Opbrengsten biogas	€	0,30	€/m <sup>3</sup> a.e.															
Kosten warmte	€	20	€/GJ															
Opbrengsten warmte rwzi	€	12	€/GJ															
Baten gedroogd slib	€	-	€/GJ															
slibverwerkingskosten nat slib	€	60	€/ton															
slibverwerkingskosten droog slib	€	30	€/ton ds															
Kosten-baten (exclusief BTW)																		
Electriciteitskosten	€	166.000	€	291.000	€	291.000	€	242.000	€	39.000	€	166.000	€	151.000				
Gaskosten	€	-	€	-177.000	€	-175.000	€	-156.000	€	-132.000	€	-103.000	€	-	€			
Warmtekosten	€	-	€	53.000	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-70.000	€			
Slibkosten	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€			
Totale energiekosten	€	166.000	€	167.000	€	133.000	€	135.000	€	159.000	€	139.000	€	218.000	€	96.000	€	151.000
Afzetkosten slib	€	262.000	€	262.000	€	262.000	€	262.000	€	262.000	€	262.000	€	30.000	€	262.000	€	262.000
Energiekosten + afzetkosten slib	€	428.000	€	429.000	€	395.000	€	397.000	€	421.000	€	401.000	€	248.000	€	358.000	€	413.000
Energiekosten	€	166.000	€	167.000	€	133.000	€	135.000	€	159.000	€	139.000	€	218.000	€	96.000	€	151.000
Besparing op afzetkosten slib	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-232.000	€	-	€	-

350000 ie

## Doorleveren biogas (§ 3.2)

## Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)

	Referentie	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2) Effluentwarme met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarme met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC							
<b>KOSTEN/BATEN</b>																
Uitgangspuntenenergiestromen	3.241.667	9.311.111	10.063.889	9.311.111	9.311.111	6.638.889	-3.072.222	3.388.889	2.644.444							
Electriciteitsverbruik (kWh/jaar)		9.311.111	10.063.889	9.311.111	9.311.111	6.638.889	-3.072.222	3.388.889	2.644.444							
Gasverbruik (m <sup>3</sup> /jaar)	0	-1.866.035	-1.841.390	-1.648.973	-1.381.675	-1.044.234	1.941.232	0	0							
Warmteverbruik (GJ/jaar)	0	14.560	0	0	0	0	0	-18.510	0							
Slibverbruik (GJ/jaar)	0	0	0	0	0	0	-78.300	0	0							
%ds slib	23%	23%	23%	23%	23%	23%	80%	23%	23%							
ton ds	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401							
ton slib	23.791	23.791	23.791	23.791	23.791	23.791	6.751	23.791	23.791							
Financiële uitgangspunten		Bron														
Electriciteitsverbruik	€	0,11	/kWh			Sibketenstudie II (STOWA 2012-33)										
Terugleververgoeding electriciteit	€	0,06	/kWh			Sibketenstudie II (STOWA 2012-33)										
Kosten gas	€	0,50	€/m <sup>3</sup>			Studie optimalisatie WKK en biogasbenutting (STOWA 2011-33)										
Opbrengsten biogas	€	0,30	€/ m <sup>3</sup> a.e.			SDE 2012 1ste fase										
Kosten warmte	€	19,75	€/GJ			Aanname										
Opbrengsten warmte rwzi	€	12,00	€/GJ			SDE 2012 1ste fase										
Baten gedroogd slib	€	-	€/GJ			Aanname										
slibverwerkingskosten nat slib	€	60,00	€/ton			Aanname										
slibverwerkingskosten droog slib	€	30,00	€/ton ds			Aanname										
Kosten-baten (exclusief BTW)																
Electriciteitskosten	€	354.000	€	1.018.000	€	1.018.000	€	199.000	€	371.000	€	289.000				
Gaskosten	€	-	€	-933.000	€	-824.000	€	-691.000	€	-522.000	€	971.000	€			
Warmtekosten	€	-	€	288.000	€	-	€	-	€	-	€	-366.000	€			
Slibkosten	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€			
Totale energiekosten	€	354.000	€	373.000	€	179.000	€	194.000	€	327.000	€	772.000	€	5.000	€	289.000
Afzetkosten slib	€	1.427.000	€	1.427.000	€	1.427.000	€	1.427.000	€	1.427.000	€	162.000	€	1.427.000	€	1.427.000
Energiekosten + afzetkosten slib	€	1.781.000	€	1.800.000	€	1.606.000	€	1.621.000	€	1.754.000	€	934.000	€	1.432.000	€	1.716.000
Energiekosten	€	354.000	€	373.000	€	179.000	€	194.000	€	327.000	€	204.000	€	772.000	€	289.000
Besparing op afzetkosten slib	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-1.265.000	€	-	€	-

35000 Energiefabriek

	Doorteveren biogas (§ 3.2)				Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)				
	Referentie	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Slibdroging met bandrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC
<b>KOSTEN/BATEN</b>									
Uitgangspuntenenergiestromen									
Elektriciteitsverbruik (kWh/jaar)	0	9.311.111	10.063.889	9.311.111	9.311.111	6.638.889	-3.072.222	3.388.889	2.644.444
Gasverbruik (m3/jaar)	0	-1.866.035	-1.841.390	-1.648.973	-1.381.675	-1.044.234	1.941.232	466.667	466.667
Warmteverbruik (GJ/jaar)	0	14.560	0	0	0	0	0	-18.510	0
Slibverbruik (GJ/jaar)	0	0	0	0	0	0	-78.300	0	0
%ds slib	23%	23%	23%	23%	23%	23%	80%	23%	23%
ton ds	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401	5.401
ton slib	23.791	23.791	23.791	23.791	23.791	23.791	6.751	23.791	23.791
Financiële uitgangspunten									
		Waarde (excl. BTW)	Bron						
Elektriciteitsverbruik	€	0,11 /kWh							
Terugleververgoeding elektriciteit	€	0,06 /kWh							
Kosten gas	€	0,50 €/m³							
Opbrengsten biogas	€	0,30 €/ m³ a.e.							
Kosten warmte	€	19,75 €/GJ							
Opbrengsten warmte rwzi	€	12,00 €/GJ							
Baten gedroogd slib	€	- /GJ							
slibverwerkingskosten nat slib	€	60,00 €/ton							
slibverwerkingskosten droog slib	€	30,00 €/ton ds							
Kosten-baten (exclusief BTW)									
Elektriciteitskosten	€	-	1.100.000	€	1.018.000	€	1.018.000	€	726.000
Gaskosten	€	-	-921.000	€	-824.000	€	-691.000	€	-522.000
Warmtekosten	€	-	-	€	-	€	-	€	-
Slibkosten	€	-	-	€	-	€	-	€	-
Totale energiekosten	€	-	179.000	€	194.000	€	327.000	€	204.000
Afzetkosten slib	€	1.427.000	€	1.427.000	€	1.427.000	€	1.427.000	€
Energiekosten + afzetkosten slib	€	1.427.000	€	1.606.000	€	1.754.000	€	1.631.000	€
Energiekosten	€	-	179.000	€	194.000	€	327.000	€	204.000
Besparing op afzetkosten slib	€	-	-	€	-	€	-	€	-
Besparing op afzetkosten slib	€	-	-	€	-	€	-1.265.000	€	-

**Gevoelighedsanalyse biogasprijs modelzuivering 350 000 ie**

Biogasprijs €/m <sup>3</sup>	Doorleveren biogas (§ 3.2)						Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)											
	Referentie	(3.2.1) Restwarmte inmenen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC	Referentie	(3.2.1) Restwarmte inmenen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) WKK + biogas uitleveren	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) Warmteuitlevering met WKK	(3.3.3) WKK + ORC
€ 0,10	€ 197.000	€ 961.000	€ 758.000	€ 695.000	€ 722.000	€ 464.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 961.000	€ 758.000	€ 695.000	€ 722.000	€ 464.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,20	€ 197.000	€ 775.000	€ 574.000	€ 530.000	€ 584.000	€ 359.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 775.000	€ 574.000	€ 530.000	€ 584.000	€ 359.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,30	€ 197.000	€ 588.000	€ 390.000	€ 366.000	€ 446.000	€ 255.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 588.000	€ 390.000	€ 366.000	€ 446.000	€ 255.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,40	€ 197.000	€ 401.000	€ 206.000	€ 201.000	€ 308.000	€ 150.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 401.000	€ 206.000	€ 201.000	€ 308.000	€ 150.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,50	€ 197.000	€ 215.000	€ 22.000	€ 36.000	€ 169.000	€ 46.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 215.000	€ 22.000	€ 36.000	€ 169.000	€ 46.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,60	€ 197.000	€ 28.000	€ -162.000	€ -129.000	€ 31.000	€ -59.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ 28.000	€ -162.000	€ -129.000	€ 31.000	€ -59.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,70	€ 197.000	€ -158.000	€ -346.000	€ -294.000	€ -107.000	€ -163.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ -158.000	€ -346.000	€ -294.000	€ -107.000	€ -163.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,80	€ 197.000	€ -345.000	€ -531.000	€ -459.000	€ -245.000	€ -267.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ -345.000	€ -531.000	€ -459.000	€ -245.000	€ -267.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 0,90	€ 197.000	€ -532.000	€ -715.000	€ -624.000	€ -383.000	€ -372.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ -532.000	€ -715.000	€ -624.000	€ -383.000	€ -372.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000
€ 1,00	€ 197.000	€ -718.000	€ -899.000	€ -789.000	€ -521.000	€ -476.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000	€ 197.000	€ -718.000	€ -899.000	€ -789.000	€ -521.000	€ -476.000	€ 678.000	€ -9.000	€ 131.000

- Alleen de operationele energiekosten
- Bedragen lager dan de referentiesituatie: groen



## BIJLAGE 6

# MJA-3 TABELLEN

De meerjarenaafspraken energie- efficiency zijn overeenkomsten tussen de overheid en bedrijven / instellingen over het effectiever en efficiënter inzetten van energie. In 2008 hebben de waterschappen de meerjarenaafpraak energie-efficiënt zuiveringsbeheer (MJA-3) ondertekend. De waterschappen streven hiermee naar verbetering van de energie-efficiency van 2% per jaar in de sector afvalwaterzuivering in de periode 2005 tot en met 2020.

Het MJA3-convenant kent drie pijlers waarop de doelstelling betrekking heeft: productieproces, productlevensketen en duurzame energie. Hoewel op alle drie onderdelen wordt beoogd om te besparen op de inzet van conventionele energiebronnen, verschillen de inspanningen die van bedrijven op de drie pijlers worden verwacht van elkaar in de onderliggende principes. In het productieproces gaat het om energie efficiëntieverbetering, bij productlevensketens om energiebesparing in de keten van grondstof tot productafdrinking en bij duurzame energie om vergroening van de energievoorziening.

De MJA-3 monitoringmethodiek is in februari 2010 vastgelegd en brengt de resultaten op de drie pijlers in beeld. Kernpunt van de nieuwe methode is dat het resultaat alleen wordt gebaseerd op de uitvoering van maatregelen. Deze maatregelen zijn overeenkomstig de afspraken in de MJA-3 vastgelegd in door de waterschappen opgestelde EEP's (EnergieEfficiencyPlannen), waarin de besparingsdoelstellingen voor de komende vier jaren vastgelegd zijn. Jaarlijks sturen de waterschappen de monitoringsgegevens aan Agentschap NL. De waterschapsrapportages geven inzicht in de voortgang van de uitvoering van de EEP's. Agentschap NL verwerkt de waterschapsrapportages vervolgens tot een brancherapportage, waarna de brancherapportages worden samengevoegd tot MEE-resultatenbrochure die aan de ministeries en commissie MEE gerapporteerd wordt.

Voor de aanlevering van de energiegegevens ontvangen de MEE bedrijven van het Agentschap NL jaarlijks een MEE monitoring invulsheet. De MJA3-resultaten zijn onder te verdelen in maatregelen op het gebied van procesefficiency (PE), ketenefficiency (KE) en de opwekking en inkoop van duurzame energie (DE). De totale energieprestatie van MJA 3-deelnemers is de optelsom van de maatregelen op deze drie gebieden.

In de MEE monitoring invulsheet moet de binnen de inrichting opgewekte duurzame energie, bijvoorbeeld biogas worden meegenomen in het totale energiegebruik, zie Handreiking Monitoring MEE, 4 januari 2012, Agentschap NL. In deze handreiking is ook de beoordeling van WKK installaties beschreven, de waardering van organische reststromen (ketenefficiency maatregel indien de reststroom in Nederland buiten de inrichting gebruikt wordt voor productie van duurzame energie), de inkoop en doorlevering van elektriciteit, warmte en aardgas en de opwekking van duurzame energie (biogas, groen gas).

## TABELLEN PRIMAIRE ENERGIE

## Modelzuivering 100 000 ie

		Doorleveren biogas (§ 3.2)					Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)			
		Referentie modelzuivering (H2)	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) gasuitlevering met WKK	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) WKK + warmte uitleveren	(3.3.3) WKK + ORC
Electriciteitsverbruik	GJ prim/jr	13.700	23.950	25.325	23.950	23.950	19.925	3.200	13.700	12.450
Warmteverbruik	GJ prim/jr	0	1.499	2.997	0	0	0	0	1.970	0
Gasverbruik	GJ prim/jr	11.200	0	100	1.300	2.842	4.660	22.500	11.200	11.200
Slib	GJ prim/jr	0	0	0	0	0	0	-11.840	0	0
<b>Primair energieverbruik</b>	<b>GJ prim/jr</b>	<b>24.900</b>	<b>25.449</b>	<b>28.422</b>	<b>25.250</b>	<b>26.792</b>	<b>24.585</b>	<b>13.860</b>	<b>26.870</b>	<b>23.650</b>

## Modelzuivering 350 000 ie

		Doorleveren biogas (§ 3.2)					Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)			
		Referentie modelzuivering (H2)	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) gasuitlevering met WKK	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) WKK + warmte uitleveren	(3.3.3) WKK + ORC
Electriciteitsverbruik	GJ prim/jr	16.175	70.800	77.575	70.800	70.800	46.750	-40.650	17.500	10.800
Warmteverbruik	GJ prim/jr	0	8.081	16.162	0	0	0	0	-11.106	0
Gasverbruik	GJ prim/jr	59.060	0	780	6.870	15.330	26.010	120.500	59.060	59.060
Slib	GJ prim/jr	0	0	0	0	0	0	-62.640	0	0
<b>Primair energieverbruik</b>	<b>GJ prim/jr</b>	<b>75.235</b>	<b>78.881</b>	<b>94.517</b>	<b>77.670</b>	<b>86.130</b>	<b>72.760</b>	<b>17.210</b>	<b>65.454</b>	<b>69.860</b>

## Modelzuivering Energiefabriek 350 000 ie

		Doorleveren biogas (§ 3.2)					Maximale elektriciteitsproductie (§ 3.3)			
		Referentie modelzuivering (H2)	(3.2.1) Restwarmte innemen	(3.2.2) Effluentwarmte met elektrische warmtepomp	(3.2.2) Effluentwarmte met gaswarmtepomp	(3.2.3) Warmte met ketel	(3.2.4) Gasuitlevering met WKK	(3.3.1) Slibdroging met banddrogers	(3.3.2) WKK + warmte uitleveren	(3.3.3) WKK + ORC
Electriciteitsverbruik	GJ prim/jr	10.438	78.688	79.638	78.688	78.688	31.513	-5.938	10.438	2.013
Warmteverbruik	GJ prim/jr	0	16.983	16.983	0	0	0	0	-14.452	0
Gasverbruik	GJ prim/jr	73.830	0	13.250	14.580	16.770	51.010	91.500	73.830	73.830
Slib	GJ prim/jr	0	0	0	0	0	0	-50.800	0	0
<b>Primair energieverbruik</b>	<b>GJ prim/jr</b>	<b>84.268</b>	<b>95.671</b>	<b>109.871</b>	<b>93.268</b>	<b>95.458</b>	<b>82.523</b>	<b>34.763</b>	<b>69.815</b>	<b>75.843</b>

**BIJLAGE 7**

# TOELICHTING REKENMODEL



### TOELICHTING REKENMODEL

Om de energieconcepten met elkaar te kunnen vergelijken is een rekenmodel ontwikkeld die voor elke rwzi toepasbaar is. In het rekenmodel worden twee verschillende energieconcepten voor een rwzi met elkaar vergeleken. Hierdoor kan onder andere inzichtelijk gemaakt worden hoe bijvoorbeeld het huidige energieconcept op een rwzi presteert ten opzichte van een nieuw energieconcept, op gebied van energieverbruik, primair energieverbruik en beschikbaar thermisch vermogen.

Bij de opbouw van het rekenmodel is de aanpak van de studie gehanteerd en behelst een drietal stappen:

1. Bepalen ontwerp rwzi
2. Bepalen gewenste technieken voor invulling warmtebehoefte
3. Berekening van de benodigde energie (gas, warmte, elektriciteit) t.b.v. invulling van de warmtebehoefte

Door het bepalen van het ontwerp van de rwzi wordt de behoefte naar warmte (op de verschillende temperatuurniveau's) en het (potentieel) aanbod van energiestromen op de rwzi wordt bepaald (zie Figuur 4.1). In deze stap wordt onder andere gevraagd naar de hoeveelheden influent en slibstromen die de rwzi ontvangt, daarnaast worden de processen die op de rwzi plaatsvinden in kaart gebracht met de procescondities zoals die op de rwzi bedreven worden. Na het doorlopen van deze stap is het ontwerp bepaald en is duidelijk wat de warmtebehoefte en energie-aanbod van de rwzi zijn.

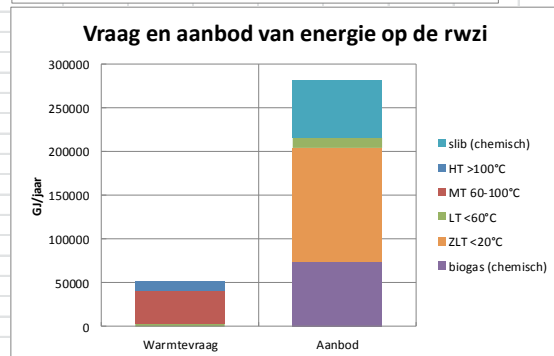
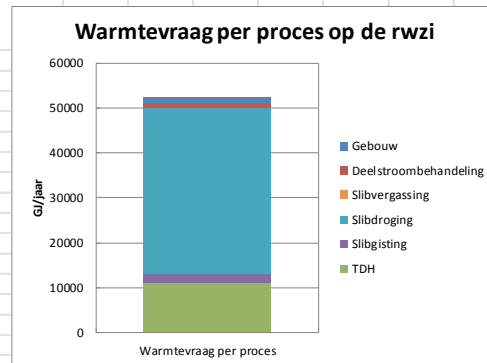
Vervolgens worden twee concepten bepaald waarin per concept wordt aangegeven met welke techniek(en) de warmtebehoefte wordt ingevuld (zie Figuur 4.2). Voor verschillende temperatuurniveaus kunnen verschillende technieken toegepast worden om zo tot een volledige invulling van de warmtebehoefte te komen.

In achterliggende tabbladen van het model worden berekeningen uitgevoerd om te bepalen hoeveel energie van de verschillende bronnen benodigd is om met de gekozen concepten in de warmtebehoefte te voorzien. Deze resultaten worden samengevat in een tabblad met resultaten, zodat de concepten met elkaar vergeleken worden.

Berekeningen zijn gebaseerd op formules, kentallen en aannames, welke zijn onttrokken uit onder andere ervaringscijfers en voorgaande STOWA-studies. Indien bekend kunnen kentallen en aannames toegespitst worden op een specifieke rwzi, zie Figuur 4.4. Veel van deze kentallen staan ook beschreven in de factsheets.

FIGUUR 4.1 BEPALEN VAN ONTWERP ZUIVERING

Ontwerp zuivering			
In dit tabblad wordt het ontwerp zuivering bepaald, dit hoeft niet perse de huidige situatie te zijn. In het ontwerp kunnen bijvoorbeeld ook al toekomstige ontwikkelingen wat betreft groei of nieuwe processen e.d. worden meegenomen. Door het bepalen van het ontwerp wordt de energiebehoefte van de zuivering vastgelegd.			
De getallen in de groene vakken dienen ingevuld te worden			
<b>Algemeen</b>	Capaciteit rwzi	350 000	ve
	Totaal influent	25 813 165	m3/jaar
	Gemiddeld dagdebiet	70 721	m3/dag
<b>Slib</b>	Primair slib	50 735	m3/jaar
		5,00	%ds
	Secundair slib	40 515	m3/jaar
		6,80	%ds
	Aangevoerd primair slib	18 250	m3/jaar
		5,00	%ds
	Aangevoerd secundair slib	31 025	m3/jaar
		5,00	%ds
	Aangevoerd uitgestigt slib	5 475	m3/jaar
		5,00	%ds
	Totaal primair slib	68 985	m3/jaar
	Totaal secundair slib	71 540	m3/jaar
	Totaal aangevoerd uitgestigt slib	5 475	m3/jaar
	Totaal slib	146 000	m3/jaar
	Droog stof primair slib	3 449	ton/jaar
	Droog stof secundair slib	4 306	ton/jaar
	Droog stof aangevoerd uitgestigt slib	274	ton/jaar
	Totaal droog stof	8 029	ton/jaar
<b>Ontwerp rwzi</b>		Aanwezig?	
<b>Gebouw</b>	Gebouw	ja	
	Oppervlak (BVO)	1 000	m2
	Aanvoer temperatuur CV water	90	°C
<b>Waterlijn</b>	Voorbezinktank	ja	
	Denitrificatie	ja	
	Beluchting	ja	
	Nabezinktank	ja	
	Deelstroombehandeling	ja	
	Aanvoer temperatuur deelstroom	40	°C
	Energievoorziening gecascadeerd?	nee	
<b>Sliblijn</b>	Slibindikker	ja	
	Thermisch drukhydrolyse	ja	
	Slibgisting	ja	
mesofiel	Soort gisting	mesofiel	
thermofiel	Temperatuur gisting	35	°C
	Aanvoer temperatuur header	55	°C
	Warmteterugwinning op uitgestigt slib	nee	
	Efficiency warmteterugwinning gisting	50%	
	Slibontwatering	ja	
	Droogstofgehalte na ontwatering	28,0%	%ds
	Slibdroging (MT)	ja	
	Droogstofgehalte na slibdroging	80%	%ds
<b>Overige gegevens</b>			
<b>Influent</b>	Gemiddelde jaartemperatuur	16,0	°C
	Minimale jaartemperatuur	11,2	°C
	Januari	11,8	°C
	Februari	11,2	°C
	Maart	12,3	°C
	April	15,1	°C
	Mei	17,4	°C
	Juni	19,3	°C
	Juli	20,1	°C
	Augustus	20,6	°C
	September	19,5	°C
	Oktober	17,2	°C
	November	14,8	°C
	December	12,7	°C



FIGUUR 4.2 BEPALEN ENERGIECONCEPTEN ZUIVERING

Energieconcept zuivering								
In dit tabblad worden 2 energieconcepten bepaald. Aan de hand van de energiebehoefte van het ontwerp kan bepaald worden welke conversietechniek(en) gewenst wordt/worden te gebruiken bij verschillende temperaturniveaus. Voor 2 gevallen kan een concept bedacht worden, een referentie en een nieuwe situatie. Als referentie zou bijvoorbeeld de huidige warmteopwekking gemodelleerd kunnen worden.								
De getallen in de groene vakken dienen ingevuld te worden. Rode tekst geeft aan dat nog niet alle gegevens correct zijn ingevuld.								
Referentiesituatie								
Invulling warmtevraag per T-niveau (Referentie)					Benutting warmteoverschot (Referentie)			
T-niveau	Mogelijke energiedrager(s)	Gebruiken?	Mogelijke conversietechniek(en)	Toepassen?	Dekkings% vraag	Toepassing warmteoverschot (evt.)	% potentieel	FOUTMELDINGEN
HT >100°C	Biogas	ja	Stoomketel	ja	0%	ORC (el. productie)	0%	
			WKK	ja	100%	levering aan derden	0%	
						Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	60	
MT 60-100°C	Biogas	ja	Ketel	ja	0%	ORC (el. productie)	0%	
			WKK	ja	100%	levering aan derden	0%	
			MT-Gaswarmtepomp	nee	0%	Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	60	
	Elektriciteit	nee	MT el. warmtepomp		0%	Zo nodig gebruik maken van:	GWP	
Externe warmte	nee	n.v.t.		0%				
LT < 60°C	Biogas	ja	Ketel	ja	0%	levering aan derden	0%	
			WKK	ja	100%	Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	20	
			LT-Gaswarmtepomp	nee	0%	Zo nodig gebruik maken van:	GWP	
	Elektriciteit	nee	LT-el. warmtepomp		0%			
Externe warmte	nee	n.v.t.		0%				
Benutting biogasoverschot (Referentie)								
Hoe dient het overschot aan biogas ingezet te worden?								
WKK								
Niet voldoende biogas beschikbaar t.b.v. van de warmtebehoefte van de rwzi. Er moet een andere invulling van de warmtevoorziening bedacht worden of aardgas ingekocht worden.								
Nieuw concept								
Invulling warmtevraag per T-niveau (Nieuw concept)					Benutting warmteoverschot (Nieuw concept)			
T-niveau	Mogelijke energiedrager(s)	Gebruiken?	Mogelijke conversietechniek(en)	Toepassen?	Dekkings% vraag	Toepassing warmteoverschot (evt.)	% potentieel	FOUTMELDINGEN
HT >100°C	Biogas	ja	Stoomketel	ja	100%	ORC (el. productie)	0%	
			WKK	ja	0%	levering aan derden	0%	
						Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	50	
MT 60-100°C	Biogas	ja	Ketel	ja	100%	ORC (el. productie)	0%	
			WKK	ja	0%	levering aan derden	0%	
			MT-Gaswarmtepomp	ja	0%	Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	50	
	Elektriciteit	ja	MT el. warmtepomp		0%	Zo nodig gebruik maken van:	GWP	
Externe warmte	ja	n.v.t.		0%				
LT < 60°C	Biogas	ja	Ketel	ja	100%	levering aan derden	0%	
			WKK	ja	0%	Gewenst T-niveau (°C) levering warmte:	50	
			LT-Gaswarmtepomp	ja	0%	Zo nodig gebruik maken van:	GWP	
	Elektriciteit	ja	LT-el. warmtepomp		0%			
Externe warmte	ja	n.v.t.		0%				
Benutting biogasoverschot (Nieuw concept)								
Hoe dient het overschot aan biogas ingezet te worden?								
WKK								
Niet al het geproduceerde biogas is benodigd t.b.v. van de warmtebehoefte van de rwzi. Het overschot aan biogas (>10% van productie) wordt benut zoals hierboven aangegeven.								

FIGUUR 4.3

## RESULTATEN OVERZICHT VAN HET REKENMODEL

Model resultaten			
Invulling warmtevraag	Warmtevraag	Referentie	Nieuw concept
T-niveau	GJ/jaar	GJ/jaar	GJ/jaar
HT >100°C	11222		
MT 60-100°C	38258		
LT <60°C	2915		
Ketel		0	52395
WKK		52395	0
GWP		0	0
EWP		0	0
Slibverbranding		0	0
Externe warmte		0	0
<b>Energiebehoefte rwzi</b>		<b>Referentie</b>	<b>Nieuw concept</b>
		GJ /jr	GJ /jr
Elektriciteitsbehoefte		33 250	33 250
Elektriciteitsopwek		36 304	6 723
Elektriciteitsinkoop		-3 053	26 527
Warmteopwek		89 677	94 129
Warmteinzet zuivering		52 395	52 395
Warmtelevering derden		0	0
Warmtebehoefte extern (Duurzame) warmte		0	0
Gasopwek zuivering		73 826	73 826
Gasinzet zuivering		98 118	73 826
Gasbehoefte zuivering		98 118	73 826
Gaslevering derden		0	0
Gedroogd slib		-53 119	-53 119
<b>Primaire energiebehoefte t.b.v. warmtevraag rwzi</b>		<b>Referentie</b>	<b>Nieuw concept</b>
		GJprim /jr	GJprim /jr
Elektriciteitsbehoefte		83 126	83 126
<b>Invulling vermogensvraag in winterperiode</b>			
Warmteopwek		99 542	104 483
<b>Maximale vermogensvraag rwzi per proces</b>			58 159
Proces	T-niveau	kWth_max	
Warmtebehoefte extern	HT	356	0
(Duurzame) warmte	MT	96	0
Netto verbruik warmte	LT	167	0
Slibgisting	LT	585	
Slibgisting	MT	73 826	73 826
Totaal zuivering		98 118	73 826
Gasbehoefte zuivering		98 118	73 826
<b>Invulling vermogensbehoefte</b>		<b>Referentie</b>	<b>Nieuw concept</b>
Netto verbruik gas	kWth_max	kWth_max	kWth_max
HT >100°C	356	645	2637
Gedroogd slib	1272	-53 119	-53 119
Primaire energieverbruik	752	37 165	87 025
Totaal vermogensbehoefte	2380	1641	2930

FIGUUR 4.4

## KENTALLEN VAN HET REKENMODEL

Kentallen rekenmodel		
<b>Algemeen</b>	Energieinhoud aardgas	31,65 MJ/m <sup>3</sup>
	Energieinhoud biogas	23,30 MJ/m <sup>3</sup>
	Dichtheid biogas	1,15 kg/m <sup>3</sup>
	Energieinhoud elektriciteit	3,60 MJ/kWh
<b>CO<sub>2</sub></b>	CO <sub>2</sub> -uitstoot aardgas	1,78 kg/m <sup>3</sup>
	CO <sub>2</sub> -uitstoot biogas	0,00 kg/m <sup>3</sup>
	CO <sub>2</sub> -uitstoot elektriciteit van net	0,55 kg/kWh
<b>Energiepotentie</b>		
<b>PS en SS</b>	Energieinhoud kg droog organisch stof	23 MJ/kg dos
	Verhouding dos / ds	77% kg dos / kg ds
	Afbraak dos in gisting	43%
<b>Uitgestit slib</b>	Energieinhoud kg droog organisch stof	10,5 MJ/kg dos
<b>Referentietemperatuur</b>	Temperatuur voor bepaling energieinhoud effluent/slib	10 °C
<b>Energiebehoefte processen</b>		
<b>Gebouw</b>	Specifieke warmtebehoefte gebouw	1,17 GJ/m <sup>2</sup> /jaar
	Specifieke vermogensbehoefte gebouw	96 W/m <sup>2</sup>
	Specifieke elektriciteitsbehoefte gebouw	182 kWh/m <sup>2</sup> /jaar
<b>Beluchting</b>	Specifieke elektriciteitsbehoefte beluchting	15 kWh/ve/jaar
	Gedeelte van totale el. behoefte	55%
<b>TDH</b>	Temperatuur TDH	140 °C
	Energiebehoefte TDH	430 MJ/m <sup>3</sup> sec. slib
	Droog stof gehalte secundair slib ingaand	17 %ds
	Temperatuur sec. slib TDH uit	90 °C
	Rendement TDH	80%
	Verbetering organische stof afbraak totale slibhoeveelheid	25%
<b>Gisting</b>	Transmissieverlies gistingtanks	20%
<b>Warmteterugwinning slib</b>	Effectiviteit warmteterugwinning uitgestit slib	50%
<b>Slibontwatering</b>	Effectiviteit slibontwatering droog stof	100%
	Droog stof gehalte voor ontwatering	4% ds
<b>Slibdroging</b>	Droog stof gehalte na ontwatering	28% ds
	Droog stof gehalte slib na droging	80% ds
	Rendement droger	70%
<b>Deelstroombehandeling</b>	Energiebehoefte deelstroombehandeling	21 MJ/m <sup>3</sup> centraat
<b>Eigenschappen conversietechnieken</b>		
<b>WKK</b>	Elektrische efficiency WKK	37%
	Thermische efficiency WKK >100°C	22%
	Thermische efficiency WKK 60-100°C	29%
	Thermische efficiency WKK 40°C	5%
	Vollasturen warmtetechnieken	7 000 uur/jaar
<b>Stoomketel</b>	Thermisch rendement stoomketel >100°C	90%
<b>Ketel</b>	Thermisch rendement ketel 60-100°C	95%
	Condenserende ketel 40°C	100%
<b>ORC</b>	Efficiency HT-ORC	17%
	Efficiency LT-ORC	12%
	Pompefficiëntie ORC	5% v.d. elektriciteitsproductie
<b>Warmtepompen</b>	Primair Energie Ratio GWP @80°C jaarrond	1,5 -
	Primair Energie Ratio GWP @40°C jaarrond	2,2 -
	COP EWP @80°C jaarrond	3,5 -
	COP EWP @40°C jaarrond	4,5 -
<b>Groen gas productie</b>	Energieverbruik productie	0,25 kWh/m <sup>3</sup> a.e.
	Energieverbruik op druk brengen	0,35 kWh/m <sup>3</sup> a.e.
	Totaal energieverbruik groen gasproductie	0,6 kWh/m <sup>3</sup> a.e.
		2,16 MJ/m <sup>3</sup> a.e.
		0,02 kWh/MJ
	Efficiency groen gas productie	93,2% %