

stowa

# DUURZAME VERWARMING SLIBGISTINGEN



RAPPORT

2023  
42

DUURZAME VERWARMING SLIBGISTINGEN

RAPPORT

2023

42

ISBN 978.94.6479.038.2



[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Lenno van den Berg – RHDHV  
Mathijs Oosterhuis – RHDHV  
Joost van den Bulk – TAUW  
Heleen Niele – TAUW

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Levien van Dixhoorn – Waterschap Brabantse Delta  
Gijs van Pruissen – Waterschap Aa en Maas  
Giel Geraeds – Waterschapsbedrijf Limburg  
Amor Gaillard – Waterschap Drents Overijsselse Delta  
Maik Wiering – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier  
Joep van Doornik – Waterschap Vallei en Veluwe  
Cora Uijterlinde - STOWA

VORMGEVING Buro Vormvast  
FOTO OMSLAG rwzi Harnaschpolder (fotograaf: Abdel Idrissi)  
STOWA STOWA 2023-42  
ISBN 978.94.6479.038.2

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.  
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

## **DUURZAAM VERWARMEN VAN EEN SLIBGISTING IS HAALBAAR EN FINANCIËEL AANTREKKELIJK**

Vaak wordt de slibgisting verwarmd met biogas via een biogasketel. In dit project is onderzocht of andere warmtebronnen op een duurzame manier gebruikt kunnen worden om de gisting te verwarmen. Met name ‘warmte uit effluent met een warmtepomp’ en ‘warmte uit digestaat met een slib/slib warmtewisselaar’ zijn aantrekkelijke en duurzame concepten als deze gecombineerd worden met een biogasketel voor het opvangen van pieken in de warmtevraag.

Nederland staat voor de grote opgave om minder afhankelijk van fossiel aardgas te worden. In het Klimaatakkoord is de ambitie vastgelegd om in Nederland 2 miljard kuub aan groen gas te produceren in 2030. Veel waterschappen dragen bij aan deze ambitie door (nu of in de toekomst) biogas op te werken tot groen gas. De productie van groen gas leidt echter ook tot een warmtetekort op de rwzi omdat de WKK, waarmee voorheen elektriciteit en warmte opgewekt werd, in dat geval uit bedrijf genomen wordt. De meest voor de hand liggende oplossing is om de slibgisting te verwarmen met biogas via een biogasketel, maar hiermee wordt een aanzienlijk deel van het biogas verbruikt. Er zijn ook andere, potentieel meer duurzame, bronnen van warmte aanwezig op en rond de rioolwaterzuiveringsinstallatie. In dit project is onderzocht of deze warmtebronnen op een duurzame manier gebruikt kunnen worden om de gisting te verwarmen.

Op basis van interviews met experts en ervaringsdeskundigen en een literatuuronderzoek zijn zes kansrijke verwarmingsconcepten opgesteld. Bij deze concepten wordt de slibgisting verwarmd met warmte uit effluent, digestaat of buitenlucht, met behulp van warmtewisselaars of warmtepompen. De zes verschillende concepten zijn technisch uitgewerkt en er is een vergelijking gemaakt van de kosten en duurzaamheid van deze concepten. De belangrijkste conclusie van deze studie is dat het verwarmen van een slibgisting met warmte uit effluent, digestaat of de buitenlucht de duurzaamheid van de rwzi vergroot en daarnaast ook economisch haalbaar is (in combinatie met de productie van groen gas). Met name ‘warmte uit effluent met een warmtepomp’ en ‘warmte uit digestaat met een slib/slib warmtewisselaar’ zijn aantrekkelijke concepten, als deze gecombineerd worden met een biogasketel voor opvangen van pieken in de warmtevraag. De keuze voor een verwarmingsconcept hangt sterk af van de lokale situatie, waarbij ook factoren zoals krapte op het elektriciteitsnet meegenomen moeten worden in de afweging.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

## AANLEIDING

Veel waterschappen hebben de ambitie om de komende decennia groen gas te gaan produceren door biogas op te werken. Aanleiding voor deze ambitie is onder andere het Klimaatakkoord, waarin doelstellingen zijn vastgelegd voor de reductie van broeikasgas-emissies en de productie van groen gas. De productie van groen gas leidt echter ook tot een warmtekort op de rwzi, doordat er geen warmte van de WKK meer beschikbaar is. De meest voor de hand liggende oplossing is om de slibgisting te verwarmen met biogas via een biogasketel, maar hiermee wordt een aanzienlijk deel (20-30%) van het biogas verbruikt. Er zijn ook andere, potentieel meer duurzame, bronnen van warmte aanwezig op de rwzi die gebruikt zouden kunnen worden om de gisting te verwarmen. Het doel van dit project was om de haalbaarheid van het verwarmen met alternatieve warmtebronnen inzichtelijk te maken, zodat waterschappen een weloverwogen keuze kunnen maken voor de verwarming van hun slibgistingen.

## VERWARMINGSCONCEPTEN

Op basis van literatuuronderzoek en inventarisatie van binnen- en buitenlandse praktijkervaring zijn zes kansrijke verwarmingsconcepten opgesteld. Deze concepten maken gebruik van warmtewisselaars en warmtepompen om warmte te winnen uit effluent, digestaat, buitenlucht of een warmtenet. De zes concepten zijn vergeleken met een referentie waarbij de gisting verwarmd wordt met een biogasketel of WKK:

- Warmte uit effluent in combinatie met een warmtepomp
- Warmte uit digestaat in combinatie met een warmtepomp
- Warmte uit digestaat met een slib/water/slib warmtewisselaar
- Warmte uit digestaat met een slib/slib warmtewisselaar
- Warmte uit buitenlucht met een warmtepomp
- Warmte uit een warmtenet

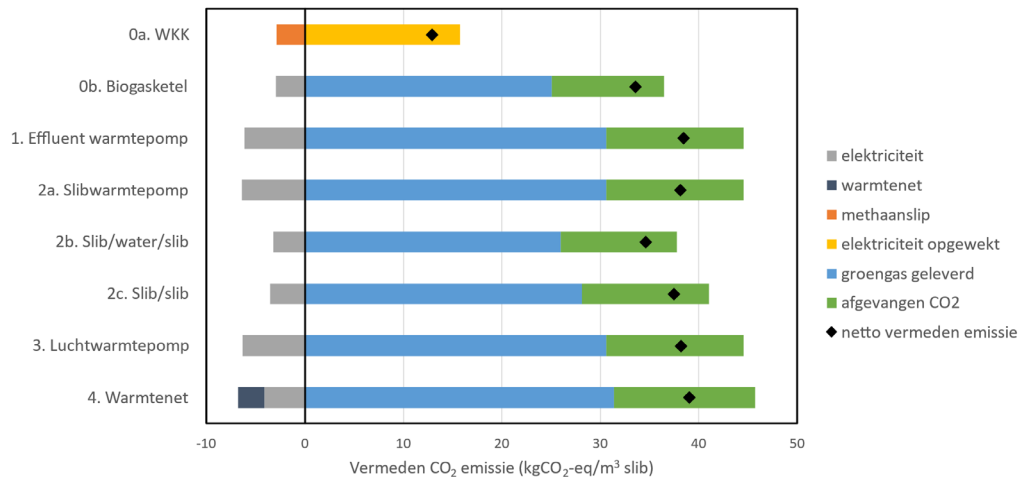
In alle concepten is ook een biogasketel opgenomen voor de piekwarmtevraag en als reserve waardoor een hybride verwarmingssysteem ontstaat. De concepten met een warmtepomp of warmtenet leveren de volledige gemiddelde warmtevraag. In de andere twee concepten (met slib/water/slib of slib/slib warmtewisselaar) is de biogasketel aanvullend nodig om de gemiddelde warmtevraag te leveren. Alle concepten zijn uitgewerkt voor een representatieve slibgisting, die mesofiel bedreven wordt en een aanvoerdebiet heeft van 400 m<sup>3</sup>/d. Een select aantal concepten is ook uitgewerkt voor andere schaalgroottes en voor een thermofiele gisting.

## DUURZAAMHEID

De duurzaamheid van de zes verschillende verwarmingsconcepten is vergeleken aan de hand van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk is berekend op basis van de groengasproductie, het elektriciteitsverbruik, methaanslip en afvang van CO<sub>2</sub> in de groengasinstallatie. De totale vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van de concepten is weergegeven in Figuur 1.1. Het referentieconcept met de biogasketel is duidelijk duurzamer dan het referentieconcept met de WKK. Dit komt onder andere doordat de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteit uit de WKK lager is dan de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van groen gas.

Alle zes verwarmingsconcepten zijn duurzamer dan het referentieconcept met een biogasketel. Het onderlinge verschil tussen de verschillende groen gasconcepten is echter relatief klein. De vermeden CO<sub>2</sub>-emissie varieert van 33,6 tot 39,0 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib. Het warmtenet concept is het meest duurzaam, terwijl het slib/water/slib concept het minst duurzaam is. Wat daarnaast opvalt is dat het slib/slib concept, waarbij een slib/slib warmtewisselaar voorziet in 2/3<sup>de</sup> van de warmtevraag, bijna net zo duurzaam is als concepten met een warmtepomp, die in de volledige warmtevraag voorzien.

**FIGUUR 1.1 DE CO<sub>2</sub>-FOORPRINT VAN DE VERSCHILLENDE VERWARMINGSCONCEPTEN, UITGEDRUKT IN VERMEDEN CO<sub>2</sub>-EMISSIE PER M<sup>3</sup> SLIB. DE ZWARTE DIAMANTEN GEVEN DE NETTO VERMEDEN CO<sub>2</sub>-EMISSIE WEER. EEN HOGERE VERMEDEN EMISSIE BETEKENT EEN HOGERE DUURZAAMHEID**



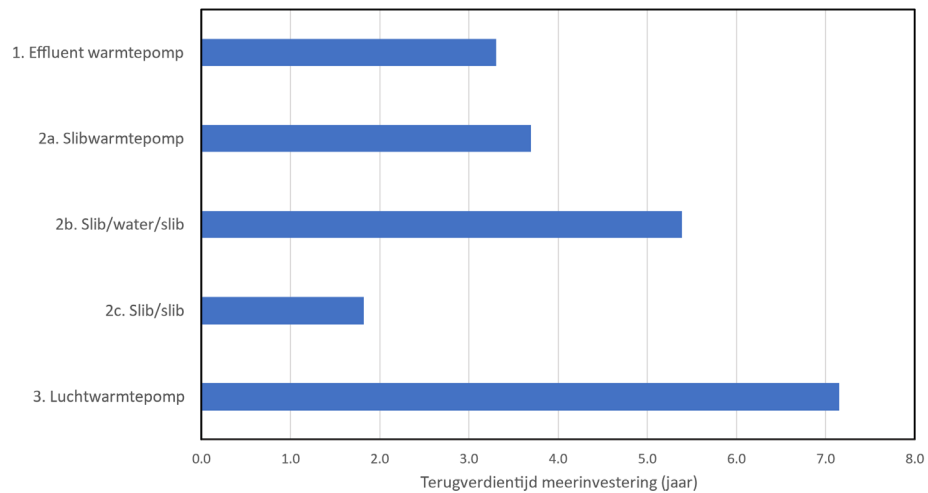
### KOSTEN

De investeringskosten van de verschillende concepten variëren van 0,8 tot 4,8 M euro voor een mesofiele slibgisting met een aanvoerdebiet van 400 m<sup>3</sup>/d. Dit komt ongeveer overeen met de slibproductie van 300 000 i.e.<sub>150</sub>. De duurzame verwarmingsconcepten zorgen voor een hogere groen gasproductie en daarmee voor extra inkomsten waarmee de investering terugverdiend kan worden. De berekende terugverdiëntijden zijn weergegeven in Figuur 1.2.

Alle duurzame verwarmingsconcepten hebben een relatief korte terugverdiëntijd van minder dan 5 jaar, behalve het luchtwarmtepompconcept en het slib/water/slib concept. Dit betekent dat bijna alle concepten financieel aantrekkelijke investeringen zijn. De opbrengst van het extra geproduceerde groen gas is dusdanig hoog, dat de investeringen snel terugverdiend kunnen worden. Hierbij is uitgegaan van een groen gasprijs van 1,50 euro/m<sup>3</sup> en daarbovenop een HBE-subsidie van 0,50 euro/m<sup>3</sup>. De terugverdiëntijd van de investering is echter wel sterk afhankelijk van de groengasprijs.

FIGUUR 1.2

TERUGVERDIENTIJT VAN DE MEERINVESTERING TEN OPZICHT VAN DE BIOGASKETEL VOOR DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN VOOR EEN MIDDENGROTE MESOFIELE SLIBGISTING (SLIBDEBIET 400 M<sup>3</sup>/D). DE KOSTEN EN OPBRENGSTEN VAN HET WARMTENET ZIJN LOCATIE SPECIFIEK WAARDOOR DE TERUGVERDIENTIJT NIET VASTGESTELD KAN WORDEN



### CONCLUSIE

De belangrijkste conclusie van deze studie is dat alle beschouwde verwarmingsconcepten de duurzaamheid van de rwzi vergroten. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de rwzi kan afnemen met maximaal 5 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib door een gisting duurzaam te verwarmen. De meeste beschouwde concepten hebben daarnaast korte terugverdiëntijden (< 6 jaar) bij de hiervoor genoemde groen gasprijs van 1,50 euro/m<sup>3</sup> en een HBE-subsidie van 0,50 euro/m<sup>3</sup>. Het duurzaam verwarmen van een slibgisting is dus zinvol te noemen en kan een bijdrage leveren aan het verkleinen van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de waterschappen. Hier staat tegenover dat het verwarmen van een slibgisting met een biogasketel, in combinatie met de productie van groen gas, ook al een duurzaam concept is ten opzichte van een WKK. Het vervangen van een biogasketel door een duurzaam verwarmingsconcept heeft namelijk een 4 keer zo klein effect op de CO<sub>2</sub>-voetafdruk als het vervangen van een WKK door een groen gasinstallatie met biogasketel.

Twee duurzame verwarmingsconcepten zijn het meest kansrijk, namelijk 'effluentwarmte met een warmtepomp' en 'warmte uit digestaat met een slib/slib warmtewisselaar'. Het effluentwarmteconcept is bekend en bewezen, wordt in Nederland al toegepast en zorgt voor een hoge groengasproductie. Met het slib/slib concept kan tegen een beperkt energieverbruik en beperkte investeringen toch een groot deel van de warmtevraag geleverd worden. Het slib/slib concept is hierdoor bij uitstek geschikt voor rwzi's waar problemen met krapte op het elektriciteitsnet spelen. Er is in Nederland echter nog geen praktijkervaring met het slib/slib concept. De technische haalbaarheid moet nog bewezen worden, bijvoorbeeld in een demonstratieproef.

# BEGRIPPENLIJST

VO	Verwarmd oppervlak
BVZ	Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer
COP	Coëfficiënt of Performance
WKK	Warmtekrachtkoppeling
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
AWZI	Afvalwaterzuiveringsinstallatie
NBT	Nabezinktank
SGT	Slibgistingstank
RVS	Roestvrijstaal
WKO	Warmte en koudeopslag
USB	Uitgegist slib buffer
MCA	Multi criteria analyse



# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# DUURZAME VERWARMING SLIBGISTINGEN

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	BEGRIPPENLIJST	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Aanleiding en doel	1
	1.2 Aanpak	2
	1.3 Leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>WARMTEWINNING OP DE RWZI</b>	<b>3</b>
	2.1 Effluent	3
	2.2 Digestaat	3
	2.3 Externe warmte / restwarmte	4
<b>3</b>	<b>(INTER)NATIONALE ERVARINGEN MET WARMTEWISSELAAR OP SLIB EN EFFLUENT</b>	<b>5</b>
	3.1 Literatuurscan	5
	3.2 Nederlandse praktijkervaringen: lessons learned	8
	3.2.1 Warmtewisselaar op effluent	8
	3.2.2 Warmtewisselaar op digestaat	11
<b>4</b>	<b>BESCHRIJVING VERWARMINGSCONCEPTEN</b>	<b>13</b>
	4.1 Inleiding	13
	4.2 Omschrijving duurzame verwarmingsconcepten	13
	4.2.1 Referentie concepten	14
	4.2.2 Warmte uit effluent	14
	4.2.3 Warmte uit digestaat met warmtepomp	15
	4.2.4 Warmte uit digestaat met slib/water/slib warmtewisselaar	16
	4.2.5 Warmte uit digestaat met slib/slib warmtewisselaar	17
	4.2.6 Warmte uit buitenlucht	17
	4.2.7 Warmte uit warmtenet	18
	4.3 Uitgangspunten, schaalgrootte en type gisting	18
	4.3.1 Representatieve slibgisting	18
	4.3.2 Effect van schaalgrootte	20
	4.3.3 Effect van type gisting	20
	4.3.4 Uitgangspunten	20

<b>5</b>	<b>UITWERKING VAN DE VERWARMINGSCONCEPTEN</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	Middelgrote mesofiele slibgisting	23
5.1.1	Technische uitwerking	23
5.1.2	Groen gasproductie	23
5.1.3	Elektriciteitsvraag	24
5.1.4	Totaal energieverbruik	25
<b>5.2</b>	Effect van schaalgrootte	26
<b>5.3</b>	Effect van type gisting	27
<b>6</b>	<b>DUURZAAMHEID</b>	<b>29</b>
<b>6.1</b>	Emissiefactoren	29
<b>6.2</b>	CO <sub>2</sub> -voetafdruk	30
<b>6.3</b>	Effect van de herkomst van stroom	31
<b>6.4</b>	Methaanemissies na de gisting	32
<b>7</b>	<b>KOSTEN</b>	<b>34</b>
<b>7.1</b>	Uitgangspunten	34
<b>7.2</b>	Investeringskosten	34
<b>7.3</b>	Operationele opbrengst	36
<b>7.4</b>	Terugverdientijd van de extra investering	37
<b>7.5</b>	Effect van de groen gasprijs	38
<b>7.6</b>	Effect van schaalgrootte	39
<b>8</b>	<b>DISCUSSIE</b>	<b>41</b>
<b>8.1</b>	Praktijkervaringen warmtewinning uit effluent en slib	41
<b>8.2</b>	Technische haalbaarheid	41
<b>8.3</b>	Verwarmen ingaand slib of recirculatieslib	42
<b>8.4</b>	Biogasketel of elektrische boiler	43
<b>8.5</b>	Verminderen van de warmtevraag	43
<b>8.6</b>	Duurzaam verwarmen van een thermofiele gisting	44
<b>8.7</b>	Warmte-onttrekking uit effluent	45
<b>8.8</b>	Beslisschema en MCA	46
<b>9</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>48</b>
<b>9.1</b>	Conclusies	48
<b>9.2</b>	Aanbevelingen	49
<b>10</b>	<b>LITERATUURLIJST</b>	<b>51</b>
BIJLAGE 1	OVERZICHT WARMTEWISSELAAR TYPES	53
BIJLAGE 2	PIEKFACTOR AANVOER SLIBGISTING ECHTEN	55
BIJLAGE 3	TYPE GISTINGEN IN NEDERLAND	56
BIJLAGE 4	SPREIDING VAN GISTINGSCAPACITEIT IN NL	57
BIJLAGE 5	WARMTEVERLIES SLIBGISTING	58
BIJLAGE 6	AANVULLENDE UITGANGSPUNTEN	59
BIJLAGE 7	UITWERKING CONCEPTEN 400 M <sup>3</sup> /D MESOFIEL	60
BIJLAGE 8	ONDERBOUWING MULTI CRITERIA ANALYSE	64

# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING EN DOEL

Veel waterschappen hebben de ambitie om de komende decennia groen gas te gaan produceren door biogas op te werken. Dit groen gas kan geleverd worden aan het net of gecomprimeerd worden opgeslagen in gastanks. Aanleiding voor deze ambitie is onder andere het Klimaatakkoord<sup>1</sup>, waarin doelstellingen zijn vastgelegd voor de reductie van broeikasgasemissies en de productie van groen gas. De productie van bijna 200 miljoen m<sup>3</sup> groen gas nu, moet opgeschaald worden naar 2 miljard m<sup>3</sup> in 2030. De waterschappen willen in deze ontwikkeling onder andere een rol spelen door meer biogas om te gaan zetten naar groen gas. In het Locatieonderzoek groen gas op rwzi's<sup>2</sup> wordt geconcludeerd dat waterschappen jaarlijks 80 miljoen m<sup>3</sup> groen gas kunnen produceren in 2030 waardoor ze een bijdrage kunnen leveren aan deze doelstelling.

Door biogas om te zetten in groen gas zal de elektriciteit- en warmteproductie met WKK's op rwzi's met slibgistingen echter grotendeels wegvallen. Uit het Locatieonderzoek groen gas op rwzi's is gebleken dat onvoldoende beschikbaarheid van warmte voor de verwarming van de slibgisting en bedrijfsgebouwen een belangrijk knelpunt vormt bij de overgang naar groen gasproductie. Om deze reden luidt een van de aanbevelingen uit het Locatieonderzoek: het in kaart brengen van duurzame alternatieven voor het verwarmen van de slibgisting en andere rwzi-onderdelen. Verwarming met aardgas is niet toekomstbestendig, daarom is het van belang om de warmte die aanwezig is op de rwzi zo efficiënt mogelijk te benutten zodat warmte behoevende onderdelen van de rwzi duurzaam verwarmd kunnen worden. Om deze reden is duurzame verwarming van slibgistingen een cruciaal onderdeel om de Groen gas- en klimaatambities van de Nederlandse waterschappen te verwezenlijken. Door de slibgisting te verwarmen met laagwaardige warmte kan de aanwezige energie in biogas volledig worden ingezet voor de productie van groen gas die elders hoogwaardig ingezet kan worden. Op jaarbasis kan daardoor circa 80 miljoen Nm<sup>3</sup> groen gas worden geleverd wat een vermeden CO<sub>2</sub>-emissie betekent van 153 miljoen kg CO<sub>2</sub> per jaar. Daarnaast leidt afkoeling van het uitgestemde slib ook tot een afname van de methaanemissie uit de uitgestemde slibbuffer, zie ook paragraaf 2.2.

Er zijn verschillende warmtebronnen die opgewaardeerd kunnen worden om de gisting, deelstroom en gebouwen op temperatuur te houden. Welke optie de voorkeur heeft voor een specifieke locatie hangt af van de technische haalbaarheid, betrouwbaarheid, kosten en duurzaamheidsaspecten. Hoewel warmtepompen en -wisselaars technieken zijn die veel worden toegepast is het gebruik ervan voor verwarming van slibgistingstanks of teruggewinning van warmte uit vergist slib nog beperkt. Meer inzicht in de technische en financiële haalbaarheid van toepassing bij slibvergisting is daarom gewenst. Ook is er nog onvoldoende inzicht in de duurzaamheidsvoordelen van deze concepten.

1 Klimaatakkoord - Unie van Waterschappen

2 Locatieonderzoek groen gas rwzi's - Unie van Waterschappen

Het doel van dit project is om de duurzaamheid, kosten, technische complexiteit en betrouwbaarheid van de verschillende varianten van duurzame verwarming inzichtelijk te maken voor verschillende schaalgroottes van rwzi's, zodat waterschappen een weloverwogen keuze kunnen maken voor de verwarming van hun slibgistingen.

## **1.2 AANPAK**

Om het doel van dit onderzoek te realiseren zijn verschillende werkzaamheden uitgevoerd. Ten eerste zijn binnen- en buitenlandse praktijkervaringen met warmtewisselaars en warmtepompen op effluent en slib geïnventariseerd. Hiervoor zijn gerelateerde STOWA-onderzoeken en literatuur geraadpleegd en is navraag gedaan bij ervaringsdeskundigen en waterschappen. Vervolgens zijn kansrijke concepten voor duurzame verwarming technisch uitgewerkt. Daarbij is een mesofiele slibgisting die verwarmd wordt via een WKK of biogas-ketel als referentievariant meegenomen. De referentievarianten en duurzame concepten zijn doorgerekend om de duurzaamheid (CO<sub>2</sub> equivalenten) en kosten (investering en operationeel) van duurzame verwarmingsconcepten in beeld te brengen, in vergelijking met verwarmen met biogas. Tot slot is een beslisschema uitgewerkt dat de waterschappen kunnen doorlopen om tot de beste verwarmingsoptie te komen voor hun lokale situatie.

## **1.3 LEESWIJZER**

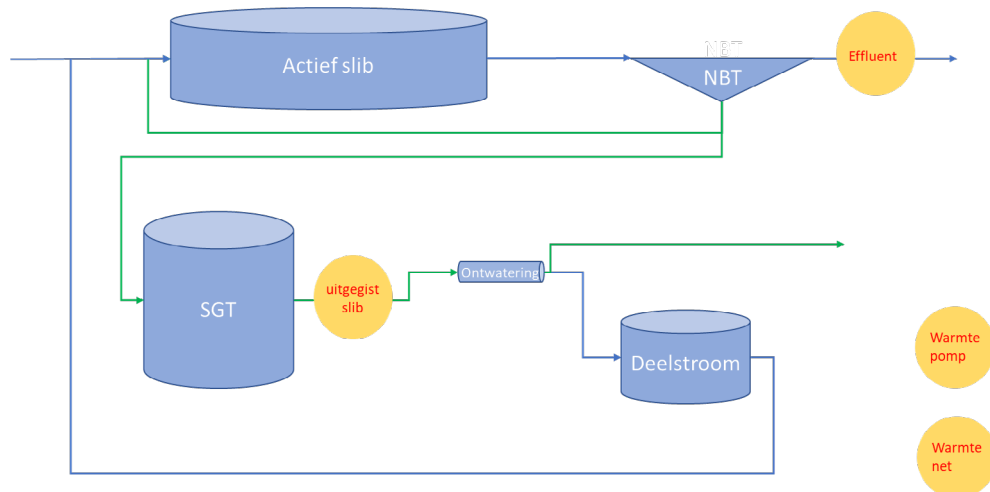
In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een toelichting gegeven op de verschillende mogelijkheden voor warmtewinning op de rwzi. De actuele ervaringen met warmtewinning op de rwzi worden gepresenteerd in hoofdstuk 3. Vervolgens worden de verschillende concepten voor duurzame verwarming van de slibgisting beschreven in hoofdstuk 4 waarna ze uitgewerkt worden in hoofdstuk 5. De duurzaamheid en kosten worden uitgewerkt in hoofdstukken 6 en 7. De discussie van de resultaten, inclusief het beslisschema dat is opgesteld aan de hand van de uitwerking van de varianten wordt gepresenteerd in hoofdstuk 8. In hoofdstuk 9 staan de conclusies van dit onderzoek en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

# 2

## WARMTEWINNING OP DE RWZI

In onderstaande figuur zijn de mogelijke stromen voor warmteonttrekking weergegeven. De warmte kan worden onttrokken met een warmtewisselaar om vervolgens met een warmtepomp te worden opgewaardeerd naar de benodigde temperatuur. Naast effluent zijn externe restwarmte, warmtewinning uit het centraat, de deelstroom of direct uit het digestaat interessante alternatieven omdat de temperaturen hoger zijn waardoor een warmtepomp efficiënter functioneert. De ervaringen met warmtewinning uit digestaat, centraat en de deelstroom zijn echter beperkt. Dit vereist namelijk specifieke warmtewisselaars. Ook de combinatie van een ketel en een warmtepomp is een interessante route omdat je in dat geval toe kan met een kleinere warmtepomp. De ketel schakelt bij om de piekvraag in de winter te voorzien en de rest van het jaar levert de warmtepomp duurzame warmte. Warmtewinning wordt hieronder nader toegelicht per bron.

FIGUUR 2.1 LOCATIES VAN WARMTEONTTREKKING OP DE RWZI



### 2.1 EFFLUENT

Het effluent van de rwzi bevat nog thermische energie (STOWA 2013-03). Het voordeel van warmteonttrekking uit effluent is dat het een groot debiet betreft en het effluent een relatief schone stroom is ten opzichte van de andere stromen, wat het zeer geschikt maakt. Effluent heeft echter wel een relatief lage temperatuur, waardoor het rendement van een warmtepomp lager uitvalt dan bij warmteonttrekking uit bijvoorbeeld digestaat.

### 2.2 DIGESTAAT

Het uitgegiste slib (digestaat) dat de mesofiele slibgisting verlaat heeft nog een relatief hoge temperatuur (33 - 38 °C), waardoor de warmtepomp efficiënter functioneert. Bij thermofiele vergisters is dit 52-57 °C. Slibgistingen worden over het algemeen verwarmd met CV-water met een temperatuur van 70 tot 80 °C (retour 50 tot 60 °C). In het geval van warmte onttrekking

uit digestaat kan de mesofiele slibgisting beter met een lagere temperatuur van circa 50°C verwarmd worden omdat de warmtepomp in dat geval efficiënter draait. Dit betekent wel dat de warmtewisselaar voor de warmteoverdracht naar het ingaande slib, groter wordt.

Het terugwinnen van warmte uit uitgegist slib heeft mogelijk als bijkomend voordeel dat de restemissie van methaan vanuit de uitgegist slibbuffers sterk verminderd wordt. Het afkoelen van uitgegist slib tot 15 °C levert een potentiële reductie van de CH<sub>4</sub> emissie vanuit de uitgegist slibbuffers op van 38% (STOWA 2016-09).

### **2.3 EXTERNE WARMTE / RESTWARMTE**

Wanneer er in de omgeving van de rwzi externe (rest)warmte beschikbaar is biedt dit een mogelijkheid voor het verwarmen van de slibgisting. Zo wordt bijvoorbeeld op de zuivering van Amsterdam-West gebruik gemaakt van warmte van AEB (afvalverwerkingsbedrijf). Een belangrijk knelpunt bij toepassing van onttrekking van restwarmte uit externe bronnen zijn contractuele aspecten (kosten, leveringszekerheid, contractduur, etc.). Andere externe warmtebronnen zijn bijvoorbeeld de bodem of de lucht.

# 3

## (INTER)NATIONALE ERVARINGEN MET WARMTEWISSELAAR OP SLIB EN EFFLUENT

Om te inventariseren welke ervaringen er zijn in binnen- en buitenland met warmte onttrekking op de rwzi is een literatuurscan uitgevoerd. Dit om een beeld te krijgen of en in welke mate warmtewinning op de rwzi, al dan niet voor duurzame verwarming van slibgistingen, wordt toegepast en is onderzocht. Vervolgens zijn praktijkervaringen en de lessen die daaruit kunnen worden getrokken op een rij gezet op basis van informatie verstrekt door ervaringsdeskundigen.

### 3.1 LITERATUURSCAN

In de literatuur zijn 32 praktijkcases naar voren gekomen van warmteonttrekking op de rwzi, zowel binnen als buiten Europa. Sinds 1980 wordt warmte gewonnen uit zowel ruw als behandeld afvalwater, met name in Duitsland, Zwitserland en Scandinavië. Deze landen zijn nog steeds koploper wat betreft warmteonttrekking op de rwzi, met alleen in Zwitserland al minstens 20 rwzi's waar warmte uit effluent wordt gewonnen (Hepbasli et al., 2014; Schmid, 2008). Ook in Nederland wordt op diverse locaties warmte gewonnen op de rwzi. Andere praktijkcases komen onder andere uit Denemarken, Japan, China en de VS.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gevonden praktijkcases, de warmtebron, warmtetoe-passing, type warmtewisselaar en of wel/geen warmtepomp wordt toegepast. Een beknopt overzicht van de verschillende types warmtewisselaars is te vinden in Bijlage 1.

#### WARMTEWINNING UIT EFFLUENT

Warmtewinning op de rwzi wordt voornamelijk toegepast op het effluent, met als doel het verwarmen van gebouwen op en buiten de rwzi. In de meeste gevallen wordt de warmte onttrokken met een platenwisselaar, deze zijn geschikt voor water/water toepassingen vanwege hun compactheid en hoge thermische prestaties (Zan et al., 2009) maar hebben als nadeel dat ze gevoelig zijn voor verstoppingen door zwevend stof en biofilm vorming. Een minder verstoppingsgevoelige oplossing is een buis- in buis wisselaar. Vervolgens wordt de warmte opgewerkt naar de juiste temperatuur met een warmtepomp.

#### WARMTEWINNING UIT DIGESTAAT

Ook voor het onttrekken van warmte uit digestaat zijn 11 cases gevonden. Deze warmte wordt in de meeste gevallen ingezet voor het verwarmen van de slibtoevoer van de thermofiele vergisting. Slib/slib of slib/water/slib warmtewisselaars worden hiervoor gebruikt. Deze kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd, zoals een concentrische buiswarmtewisselaar of buisvormige spiraal. Bij het plaatsen van een warmtewisselaar op digestaat dient in het ontwerp rekening te worden gehouden met het feit dat het een viskeuze stroom betreft. Spiralen zijn veelgebruikte warmtewisselaars voor (uitgegist) slib, vanwege de relatief brede kanalen (Lines, 1991; Nguyen et al., 2014).



Naast spiralen worden er in Noord-Amerika ook slib/slib warmtewisselaars toegepast met rechthoekige kanalen en afgeronde hoeken (zie Figuur 3.2). Deze technologie is ontwikkeld en gepatenteerd door DDI Heat Exchangers. DDI Heat Exchangers claimt dat de rechthoekige kanalen niet gevoelig zijn voor verstoppingen, in tegenstelling tot buis-in-buis of spiraal-warmtewisselaars. De rechthoekige kanalen zijn volledig open en hebben geen ondersteunende pilaren zoals een spiraalwarmtewisselaar. Doordat de kanalen een gelijke diameter hebben, hebben zowel het verse slib als het uitgeste slib een gelijke stroomsnelheid en zal het slib niet aancoeken. Dit is anders dan in buis-in-buis warmtewisselaars voor slib/slib toepassingen, waarbij het doorstroomde oppervlak van de buitenste buis groter is dan dat van de binnenste buis. Als het doorstroomde oppervlak van de buitenste buis kleiner gemaakt zou worden, dan is er een grote kans op verstopping van de buitenste buis. Deze uitdaging geldt specifiek voor slib/slib warmtewisselaars. Bij slib/water buis-in-buis warmtewisselaars kan het doorstroomde oppervlak van de buitenste buis (waar het water door heen stroomt) kleiner gemaakt worden zonder dat dit tot verstoppingsproblemen leidt. Op de website van DDI Heat Exchangers (<http://ddi-heatexchangers.com/references/>) zijn gebruikerservaringen te vinden over DDI Heat Exchangers, die aangeven dat de warmtewisselaars van DDI goed functioneren en nauwelijks onderhoud nodig hebben.

FIGUUR 3.1

BUITENAANZICHT VAN EEN DDI-WARMTEWISSELAAR, VOOR INSTALLATIE (BRON: DDI-HEATEXCHANGERS.COM)



FIGUUR 3.2

MODEL VAN DE DDI-WARMTEWISSELAAR. DE KANALEN ZIJN RECHTHOEKIG, DE HOEKEN ZIJN AFGEROND. DE WARMTEWISSELAAR BESTAAT UIT TWEE IDENTIEKE LAGEN, WAARVAN HIER ALLEEN DE BOVENSTE ZICHTBAAR IS (BRON: DDI-HEATEXCHANGERS.COM)



TABEL 3.1 OVERZICHT RESULTATEN LITERATUURSCAN: TYPE WARMTEBRON, WARMTEWISSELAAR, WARMTEPOMP EN WARMTETOEPASSING

Aantal	Warmtebron	Type warmtewisselaar	Warmtepomp	Toepassingen
20	Effluent	Platenwisselaar, buis-in-mantel	Meestal toegepast voor opwerken warmte	Voornamelijk verwarming gebouwen binnen en buiten rwzi Slib drogen
11	Digestaat	Slib/slib of slib/water/slib Buis-in-buis (Tubular) helical coil Spiraal Buis-in-mantel	Weinig toegepast	Verwarmen slibtoevoer vergister (thermofiel 9x, mesofiel 1x) Verwarming gebouwen (1x)
1	Centraat	HUBER RoWin system	Toegepast	Verwarmen slibgisting of gebouwen

### GEBRUIKERSERVARINGEN

Een belangrijk aandachtspunt voor het onttrekken van warmte op de rwzi met een warmtewisselaar is het optreden van vervuiling en verstoppingen, met als gevolg een sterke reductie van de warmteoverdracht (Culha et al., 2015; Shen et al., 2018; Zan et al., 2009).

Dit geldt zowel voor warmtewisselaars op effluent (bijvoorbeeld in Ochiai, Japan) als op digestaat (bijvoorbeeld in Annacis Island, Canada) (Funamizu et al., 2001; Shen et al., 2018; Shimp et al., 2000).

Al met al is er nog niet veel onderzoek gedaan specifiek naar vervuiling van warmtewisselaars op de rwzi (Shen et al., 2018). Op basis van beperkte informatie worden de onderstaande type vervuilingen in een warmtewisselaar onderscheiden (“Types of heat exchanger fouling”, 2021). Hierbij maken we de nuance dat de chemische en biologische kwaliteit van de warmtebron sterk kan verschillen, wat het type en de mate van vervuiling beïnvloedt.

**Biologische vervuiling:** Bacteriën en algen, aanwezig in het rwzi effluent, kunnen groeien en ophopen in de kanalen van de warmtewisselaar. Een biofilm wordt gevormd op het oppervlak van de warmtewisselaar, welke een isolerend effect heeft waardoor de uitwisseling van thermische energie vermindert (Culha et al., 2015; Hale et al., 2019; STOWA/ Stichting RIONED 2021-09; Zan et al., 2009). Door een stroomsnelheid hoger dan 1 m/s te hanteren in de warmtewisselaar kan biofilmvorming voor een groot deel worden voorkomen.

**Chemische vervuiling:** Mineralen en andere stoffen aanwezig in het effluent of digestaat kunnen door chemische reacties neerslaan op het oppervlak van de warmtewisselaar, dit wordt ook wel scaling genoemd. Zo werd op de rwzi Dallas, Texas, neerslag van vivianiet in de slib warmtewisselaar gemeten (Shimada et al., 2011). Niet alleen in Dallas, maar ook in andere warmtewisselaars waar slib doorheen stroomt is anorganische neerslag aangetoond, waaronder op rwzi Lübeck (Duitsland) en rwzi Ejby Mølle (Denemarken) (Prot et al., 2021). Afzettingen op het oppervlak van de warmtewisselaar reduceren de warmteoverdracht waardoor een grotere pompcapaciteit nodig is. Afzettingen vormen namelijk een bijkomende weerstand voor de warmteoverdracht en leiden tot vernauwing van de kanalen en extra wrijving (STOWA/Stichting RIONED 2021-09).

**Sedimentatie:** Vaste deeltjes in het effluent of digestaat kunnen afzetten op het warmtewisselende oppervlak. Net als chemische vervuiling, vormen de gesedimenteerde deeltjes een bijkomende weerstand voor warmteoverdracht en vernauwen ze de kanalen (Hale et al., 2019; STOWA/Stichting RIONED 2021-09). Door regelmatig een stroomsnelheid van 1m/s te hanteren wordt niet alleen biofilmvorming maar ook sedimentatie voorkomen.

**Corrosie:** Corrosie van de materialen in de warmtewisselaar kan plaatsvinden door aanwezigheid van corroderende stoffen in het effluent of digestaat (Culha et al., 2015; Hale et al., 2019). Uit praktijkervaring met warmtewisselaars op effluent is gebleken dat specifieke bacteriën aanwezig in de biofilm corrosie kunnen initiëren. Dit heet microbiëel geïnduceerde corrosie (MIC). De aanwezigheid van een biofilm in de warmtewisselaar leidt niet per definitie tot MIC.

Mogelijke maatregelen om vervuiling en aantasting van de warmtewisselaar te verminderen, vertragen of voorkomen zijn (Culha et al., 2015; Cyx & de herdt, 2018):

- Toepassing van zelfreinigende filtersystemen om intensief (manueel) onderhoud aan de filters te voorkomen.
- Uitrusten van de warmtewisselaar met een detectiesysteem, zoals een drukmeter, dat de mate van vervuiling meet zodat tijdig kan worden gehandeld en ernstige vervuiling kan worden voorkomen.
- Vermijden van stilstand van het afvalwater of digestaat in de warmtewisselaar, stilstand zorgt voor verhoging van biofilmvorming en sedimentatie. Regelmatig of continu doorstromen van effluentwarmtewisselaars met een snelheid hoger dan 1 m/s vermindert deze processen. Ook het vermijden van dode zones en vernauwingen is van belang.
- Drukstoten genereren om de biofilm van het oppervlak los te maken.
- Terugspoelen van de warmtewisselaar.
- Indien er kans is op microbiële corrosie (MIC), zoals bij toepassing warmtewisselaar op effluent, kan een titanium warmtewisselaar worden toegepast. Titanium onderdelen zijn beter bestand tegen corrosie dan roestvrijstaal (RVS) (STOWA 2020-37). Op awzi Harnaschpolder is de RVS-platenwarmtewisselaar op effluent vervangen voor een titanium warmtewisselaar, wat problemen met MIC heeft verholpen.

### 3.2 NEDERLANDSE PRAKTIJKERVARINGEN: LESSONS LEARNED

Er is in Nederland op een aantal rwzi's ervaring met het winnen van warmte uit verschillende warmtebronnen op de zuivering. Deze warmte kan op diverse manieren worden toegepast. Praktijkcases van warmtewinning uit effluent, inclusief praktijkervaringen en lessons learned, worden weergegeven in paragraaf 3.2.1. Ervaringen met warmtewinning uit digestaat worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.2.

#### 3.2.1 WARMTEWISSELAAR OP EFFLUENT

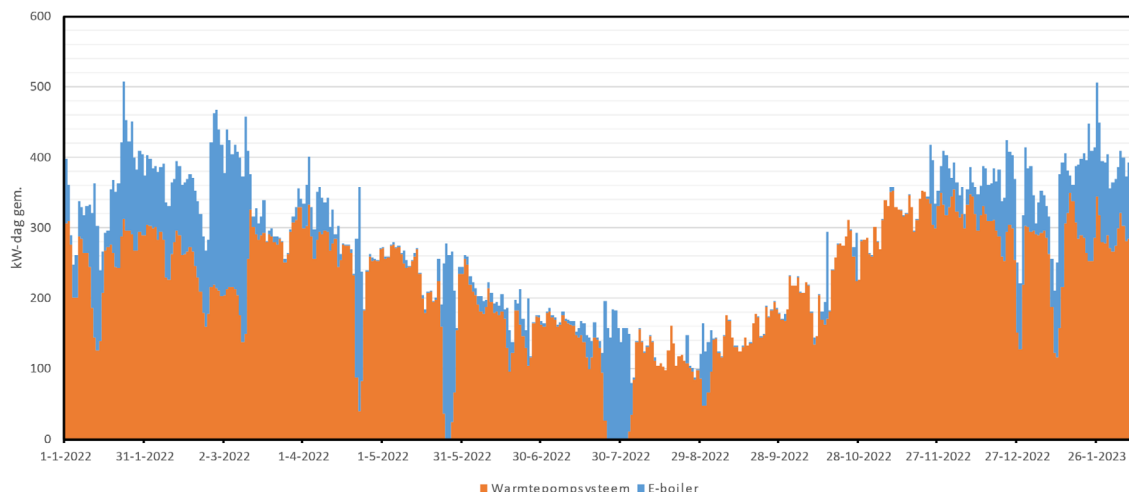
In Nederland wordt op meerdere waterzuiveringen warmte gewonnen uit het effluent voor verschillende verwarmingstoepassingen. Een aantal voorbeelden van toepassingen van effluentwarmte zijn (zie ook Tabel 3.2):

- Het hoofdkantoor van Waterschap Vallei & Veluwe in Apeldoorn wordt verwarmd en gekoeld met het effluent van de nabijgelegen rwzi Apeldoorn. Effluent wordt via een effluentleiding van  $2 \times 700 = 1.400$  meter (heen en terug) naar de platenwarmtewisselaars, opgesteld in de liftruimte op de begane grond van het hoofdkantoor, gepompt. De warmte wordt opgewerkt met een warmtepomp (108 kW) en toegepast in een laagtemperatuurverwarmingscircuit op 55°C.
- Zwembad de Tijenraan in Raalte wordt verwarmd met warmte uit het effluent van de nabijgelegen rwzi Raalte. Een gedeelte van het effluent wordt via een speciaal voor dit doel aangelegde leiding naar twee platenwarmtewisselaars bij het zwembad gepompt. Vier parallel geplaatste warmtepompen verhogen de temperatuur tot gebruikstemperatuur (gezamenlijk thermisch vermogen van 240 kW) ten behoeve van een lage-tempe-

ratuurdistributiesysteem, waarop zowel zwembadwater, luchtbehandelingskasten als overige verwarming van zwembad en sporthallen zijn aangesloten.

- In de wijk Harnaschpolder in Den Hoorn worden de woningen voorzien van stadsverwarming via een warmtenet met een aanvoertemperatuur op 75°C. Warmte wordt gewonnen uit het gezuiverde afvalwater van de nabijgelegen awzi Harnaschpolder. Het Hoogheemraadschap van Delfland stelt de warmte ter beschikking aan Eneco, die het warmtestation met warmtewisselaar, warmtepomp, gasgestookte ketels etc bedrijft. 200 m<sup>3</sup> effluent /h wordt vanaf de awzi naar een platenwisselaar in het naastgelegen warmtestation gepompt. Een warmtepomp van 1,2 MW werkt de warmte op tot 75°C.
- Op rwzi Sleeuwijk is een Energiefabriek gerealiseerd, waar slib van zeven verschillende rwzi's vergist wordt. Het geproduceerde biogas wordt opgewerkt tot groen gas. Om de slibgisting te verwarmen wordt 80-100 m<sup>3</sup>/u effluent onttrokken uit een effluentbuffer en via een grof filter en een fijn filter naar een platenwisselaar gepompt. Een warmtepomp van 400 kW werkt vervolgens de warmte op om de slibgisting te verwarmen. Daarnaast wordt een elektrische boiler van 350 kW gebruikt om de slibgisting te verwarmen als er een piek in de warmtevraag is of als de warmtepomp tijdelijk uit bedrijf is. De filters en de platenwisselaar moeten frequent (fijn filter 4x per jaar en platenwisselaar 5x per jaar) gereinigd worden om te voorkomen dat het effluentdebiet over de platenwisselaars te veel daalt en er minder warmte onttrokken kan worden. De ontwerpcapaciteit van de warmtepomp van 400 kW wordt niet gehaald, de warmtelevering is maximaal zo'n 350 kW. In de toekomst zal de platenwisselaar vervangen worden door een buis-in-buis warmtewisselaar, zodat de ontwerpcapaciteit naar verwachting wel behaald kan worden.
- De warmte uit het effluent van awzi Nieuwveen wordt ingezet voor het verwarmen van bedrijventerrein Schoterhoek 2 en een zwembad. Het effluent wordt rechtstreeks vanuit de effluentkelder naar de warmtewisselaar gepompt. Voor Schoterhoek 2 wordt de warmte uit effluent via een warmtewisselaar op het bedrijventerrein overgedragen naar het warmtenet.

**FIGUUR 3.3 WARMTELEVERING IN KW (GEMIDDELD OVER DE HELE DAG) DOOR DE WARMTEPOMP EN DE ELEKTRISCHE BOILER VOOR RWZI SLEEUWIJK OVER EEN PERIODE VAN ONGEVEER EEN JAAR. DE WARMTEPOMP LEVERT HET GROOTSTE DEEL VAN DE WARMTE EN DE ELEKTRISCHE BOILER WORDT VOORAL GEBRUIKT IN DE WINTER EN ALS DE WARMTEPOMP NIET IN BEDRIJF IS VANWEGE ONDERHOUD**



Ondanks dat de meeste systemen niet zijn ontworpen om de warmte toe te passen voor het verwarmen van de slibgisting, kunnen waardevolle lessen worden getrokken uit de praktijkervaringen voor ontwerp van een systeem dat wel wordt toegepast op de slibgisting.

TABEL 3.2 OVERZICHT VAN NEDERLANDSE ERVARINGEN MET WARMTEWINNING UIT EFFLUENT

Warmtebron	Toepassing warmte	Type warmtewisselaar	Warmtepomp vermogen	Sinds wanneer
Effluent rwzi Apeldoorn	Verwarming hoofdkantoor Waterschap Vallei & Veluwe, via laagtemperatuurverwarmings-circuit	Twee platenwisselaars (1 voor verwarmen, 1 voor koelen)	108 kW	1999
Effluent rwzi Raalte	Zwembad Tijenraan in Raalte, via laagtemperatuurverwarmings-circuit	Twee platenwisselaars	240 kW (gezamenlijk vermogen 4 parallel-geschakelde warmtepompen)	2014
Effluent awzi Harnaschpolder	Warmtestation Eneco t.b.v. stadsverwarming wijk Harnaschpolder, Den Hoorn (warmtenet op 75°C)	Platenwisselaar	1,2 MW	2012
Effluent rwzi Sleeuwijk	Slibgisting rwzi Sleeuwijk	Platenwisselaar	400 kW	2020
Effluent awzi Nieuwveen	Verwarmen bedrijventerrein Schoterhoek 2 via warmtenet	Elk bedrijf heeft een eigen platenwisselaar voor warmteonttrekking uit warmtenet	Elk bedrijf heeft een eigen warmtepomp, vermogen verschilt dus per bedrijf	2021

Praktijkervaringen met warmtewisselaars en warmtepompen op effluent zijn voor rwzi Apeldoorn, rwzi Raalte, awzi Harnaschpolder en awzi Nieuwveen in een eerder onderzoek door TAUW geïnventariseerd. De belangrijkste bevindingen, lessen en aanbevelingen uit de praktijk worden hieronder opgesomd.

- Problemen vinden met name plaats door:
  1. Vervuiling en/of verstopping van de Boll&Kirch filters voor de platenwarmtewisselaar, met als gevolg een laag debiet door de warmtewisselaar en intensief onderhoud aan filters;
  2. Vervuiling en/of verstopping van de platenwisselaars door aangroei van bacteriën en algen (biofilm) met als gevolg verminderde warmteoverdracht;
  3. MIC (corrosie) door micro-organismen aanwezig in de biofilm in de platenwisselaars.
    - Deze problemen leiden tot een afname in vermogen en vragen om frequent onderhoud van de installatie. Uit de praktijk blijkt dat voorbehandeling van effluent enkel door filtratie niet voldoende is om de problematiek te voorkomen. De volgende punten dienen in overweging te worden genomen:
      - Een platenwarmtewisselaar met grotere kanalen kan dichtslibben mogelijk verminderen of voorkomen mits de stroomsnelheid voldoende hoog blijft. Daarnaast kan toepassing van andere typen warmtewisselaars, zoals buis-in-buis, spiraal- of eventueel meerdere buizen in een huls ('buis-in-mantel') uitkomst bieden. In deze inventarisatie zijn alleen ervaringen met platenwarmtewisselaars geanalyseerd, andere typen warmtewisselaars zijn minder gevoelig voor vervuiling en dichtslibben.
      - Toepassing van kunststof leidingwerk en titaniummaterialen of -coating van de warmtewisselaar vermindert gevoeligheid voor MIC ten opzichte van RVS-materialen.
      - Titanium voorkomt, voor zover bekend, niet de aangroei van bacteriën en/of algen (biofilm vorming).
      - Filters en warmtewisselaars dienen regelmatig gereinigd te worden, ook bij chloor dosering en toepassing van corrosiebestendige materialen. Filters worden vaak handmatig gereinigd, een automatisch zelfreinigend filter kan uitkomst bieden. De warmtewisselaar kan gereinigd worden door (automatisch) terugspoelen.
      - De afweging tussen betere (duurdere) materialen (bijv. titanium en zelfreinigende filters) versus hogere onderhoudskosten is van belang in het opstellen van de businesscase.

- Bij ontwerp van het systeem dient rekening te worden gehouden met temperatuurwisselingen in het effluent, wat gevolgen heeft voor de efficiëntie van het systeem.
- Bij warmtepompen kunnen er problemen ontstaan met de vorstbeveiliging of bevrozing, houd hier rekening mee in het ontwerp.
- Voor continuïteit in de warmtelevering moet een back-up, zoals een WKO of ketel, toegepast worden.
- Betrek de fabrikant van de warmtewisselaar en warmtepomp bij het ontwerp en maak afspraken over garanties met betrekking tot prestaties en onderhoud.
- (slimme) Monitoring van de prestaties wordt aangeraden, zodat problemen als vervuiling snel gedetecteerd en opgelost kunnen worden.

### 3.2.2 WARMTEWISSELAAR OP DIGESTAAT

Er zijn enkele rwzi's in Nederland waar warmte uit het digestaat wordt gewonnen ten behoeve van het verwarmen van de slibgisting (zie Tabel 3.3). Op rwzi Tiel hebben twee slib/water buizenwarmtewisselaars (counterflow) gestaan waarmee de slibtoevoer (mengsel van primair, surplus en extern slib) van de gisting werd verwarmd met warmte uit het digestaat. Wegens verstoppingsproblematiek van de afvoerpomp, leidingwerk en mechanische indickers is de installatie uit bedrijf genomen. Door deze verstoppingen liep de druk in het systeem zodanig op dat de toevoerpomp uitviel. Om deze problematiek op te lossen is de warmtewisselaar aangepast zodat nog maar de helft werd gebruikt en de afstand waarover het slib door de warmtewisselaar verpompt moet worden is gehalveerd (kortere buis resulteert in minder weerstand). Deze maatregel was echter niet voldoende effectief waarna de warmtewisselaar definitief uit bedrijf is genomen.

TABEL 3.3 OVERZICHT VAN NEDERLANDSE ERVARINGEN MET WARMTEWINNING UIT DIGESTAAT EN/OF INGEDIKT SLIB

Warmtebron	Toepassing warmte	Type warmtewisselaar
Digestaat rwzi Tiel	Verwarmen slibtoevoer (mengsel primair, surplus en extern slib) van de gisting	Slib/water buizenwarmtewisselaars
Digestaat en ingedikt slib rwzi Bath	Verwarmen slibtoevoer van de gisting	'Buis-in-mantel' slib/water warmtewisselaars
Ingedikt slib rwzi Nieuwveer	Verwarmen slibtoevoer van de gisting	'Buis-in-mantel' slib/water warmtewisselaars

Op rwzi Bath (Waterschap Brabantse Delta) wordt een mengsel van digestaat uit de gisting en ingedikt slib via twee slib/water warmtewisselaars de gisting in gepompt. Digestaat en ingedikt slib worden **gemengd** om de viscositeit te verlagen en daarmee de warmteoverdracht te verhogen. Er zijn twee gistingstanks met elk twee warmtewisselaars (dus vier warmtewisselaars in totaal, zie onderstaande afbeelding). De operationele ervaringen op rwzi Bath zijn goed (er zijn geen rendementen gemeten). Op rwzi Nieuwveer zal hetzelfde principe toegepast worden als de installatie thermofiel gaat draaien (er wordt op moment van schrijven nog gewacht op vergunningen). Zodra dit gerealiseerd is zal het ingedikt slib via leidingwerk door de USOMT (uitgegist slib opslag- en mengtank) en daarna door de warmtewisselaars in de gisting worden gepompt.

**FIGUUR 3.4** VIER 'BUIS-IN-MANTEL' SLIB/WATER WARMTEWISSELAARS OP RWZI BATH, ZEELAND. TWEE WARMTEWISSELAARS PER SLIBGISTING



# 4

## BESCHRIJVING VERWARMINGSCONCEPTEN

### 4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk bespreekt de duurzame verwarmingsconcepten die in deze studie worden vergeleken met de referentievarianten waarbij de slibgisting verwarmd wordt met een WKK en/of biogasketel. Uit hoofdstuk 3 komt naar voren dat er in Nederland praktijkervaringen zijn met warmtewinning uit effluent en uit digestaat. Deze warmtebronnen zijn op alle rwzi's met slibgistingen ruim beschikbaar en betreffen dus een robuuste bron van warmte. Andere duurzame concepten betreffen verwarming met een lucht/water warmtepomp en verwarming middels een warmtenet.

### 4.2 OMSCHRIJVING DUURZAME VERWARMINGSCONCEPTEN

Navolgend worden de concepten voor duurzame verwarming toegelicht. We zijn uitgegaan van twee verschillende manieren van verwarmen:

- Verwarming via een warmtewisselaar op een recirculatiestroom vanuit de slibgisting
- Verwarming via een warmtewisselaar op de toevoer naar de slibgisting

Het voordeel van de eerste manier is dat er altijd verwarmd kan worden, ongeacht of er toevoer is naar de slibgisting. Daarnaast kan de warmtewisselaar kleiner gedimensioneerd worden, doordat het slibrecirculatie-debiet groter kan zijn dan het slibaanvoerdebiet. Ook is de viscositeit van het slib in de gisting laag, wat tot een betere warmteoverdracht leidt. Het voordeel van de tweede manier is dat het ingaande slib koud is waardoor een minder hoge temperatuur nodig is om de warmte over te kunnen dragen. De viscositeit van het koude slib is hoog, waardoor de warmteoverdracht van de warme stroom naar het koude slib afneemt.

Voor de uitgewerkte concepten gelden verder de volgende uitgangspunten:

- De capaciteit van de duurzame verwarmingsconcepten is gelijk aan de gemiddelde warmtevraag over het jaar <sup>3</sup>
- Om te voorzien in het verschil tussen “warmtevraag gemiddeld” en “warmtevraag maximaal” wordt een biogasketel ingezet (piekfactor 1,9, zie Bijlage 2) waarmee over het jaar 13% van de benodigde warmte geleverd wordt. Hiervoor is 3% van de totale biogasproductie nodig. De piekfactor is gebaseerd op de piek in slibaanvoer in het voorjaar, omdat deze aanvoerpiek leidend is voor de maximale warmtevraag.
- Het oppervlak van de slib/water warmtewisselaar is gebaseerd op de piekwarmtevraag, zodat ook voldoende warmte geleverd wordt op het moment dat de biogasketel bij moet springen

Een aantal verwarmingsconcepten maakt gebruik van een warmtepomp. Een warmtepomp gebruikt elektriciteit om warmte te onttrekken uit een warmtebron, zoals effluent of de buitenlucht. De efficiëntie van een warmtepomp wordt standaard berekend met de Coëfficiënt of Performance (COP). De COP geeft de verhouding aan tussen de hoeveelheid

<sup>3</sup> Technisch en financieel ligt het niet voor de hand om het duurzame verwarmingsconcept te ontwerpen op de maximale piekvraag omdat het systeem in dat geval veel groter ontworpen dient te worden terwijl de piekvraag slechts enkele weken per jaar de gemiddelde warmtevraag overschrijdt



geleverde warmte en de hoeveelheid verbruikte energie. De COP geeft aan hoeveel warmte een warmtepomp kan leveren per eenheid elektrische energie die het verbruikt. Een COP van 4 betekent bijvoorbeeld dat voor elke kWh elektriciteitsverbruik, de warmtepomp 4 kWh aan warmte levert. De COP is niet constant, maar verandert als de temperatuur van de warmtebron verandert. In de winter heeft een warmtepomp op buitenlucht of effluent een lagere COP dan in de zomer. Het rendement van de warmtepomp over een heel jaar wordt uitgedrukt met de Seasonal Coëfficiënt of Performance (SCOP) of gemiddelde COP.

#### 4.2.1 REFERENTIE CONCEPTEN

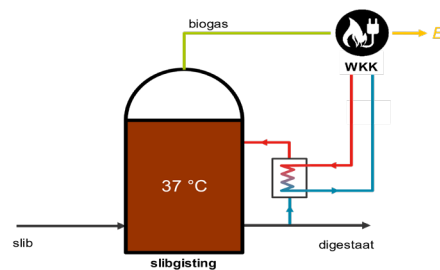
Het referentieconcept is onderverdeeld in twee sub concepten:

- 0a. Warmte uit de WKK
- 0b. Warmte uit de biogasketel i.c.m. groen gas

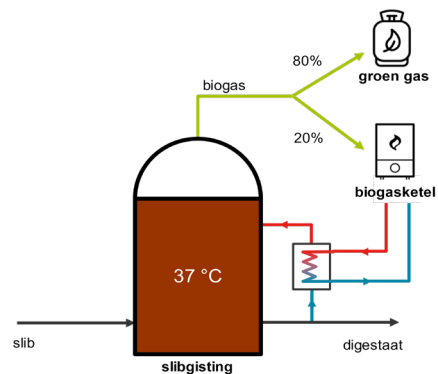
Beide concepten zijn onderstaand weergegeven. Voor concept 0a geldt dat de benodigde warmte wordt geleverd door een WKK-installatie. Bij een warmtetekort wordt bijgeleverd via een biogasketel. De warmte wordt via een water/slib warmtewisselaar overgedragen op het slib in de gisting. De grootte van de WKK is gebaseerd op de biogasproductie.

In concept 0b wordt biogas omgezet naar groen gas en wordt de slibgisting op temperatuur gehouden via een biogasketel.

FIGUUR 4.1 WARMTE UIT DE WKK



FIGUUR 4.2 WARMTE UIT DE BIOGASKETEL



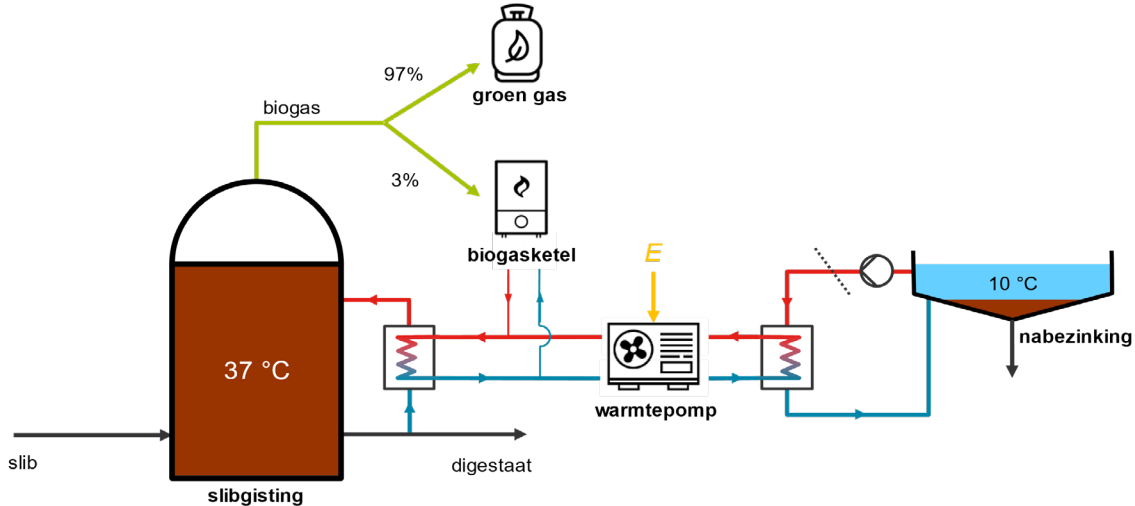
#### 4.2.2 WARMTE UIT EFFLUENT

Effluent is relatief schoon en in grote hoeveelheden beschikbaar. Effluent kan onttrokken worden uit de effluentgoot, een effluentbuffer, maar eventueel ook uit de nabezinktank (dit wordt nader beschouwd in paragraaf 8.7). Met een pompinstallatie (effluentpompen) wordt het opgepompte effluent over een automatisch reinigend filter en een tussenwarmtewisselaar (water/water) teruggepompt naar de nabezinktanks of de effluentgoot. De secundaire zijde van deze warmtewisselaar is aangesloten op de primaire zijde van de warmtepomp. In onderstaande figuur is dit concept schematisch uitgewerkt. De volgende ontwerpkeuzes zijn van toepassing:

- Elke slibgisting wordt voorzien van één of meerdere warmtewisselaars.
- De warmtewisselaars zijn van het type “buis-in-buis” met in de binnenbuis het slib en in de buitenbuis schoon water. In vergelijking met platenwisselaars zijn dit type warmtewisselaar minder gevoelig voor verstopping.
- De onderdelen zijn dusdanig gedimensioneerd dat de warmtepomp een gemiddelde COP heeft tussen 4 en 7. Een gemiddelde COP kleiner dan 4 is energetisch niet optimaal waardoor het stroomverbruik onnodig hoog zou zijn. Een gemiddelde COP groter dan 7 zou bij

de gehanteerde lage verwarmingstemperaturen technisch tot hoge kosten leiden doordat erg grote warmtewisselaars nodig zouden zijn. Bij de minimale en maximale temperatuur van het effluent is de COP circa 12 % lager of hoger.

**FIGUUR 4.3** WARMTE UIT EFFLUENT, WAARBIJ WARMTE MET BEHULP VAN EEN WARMTEPOMP ONTTROKKEN WORDT UIT DE NABEZINKTANK OF EEN ANDERE LOCATIE WAAR EFFLUENT BESCHIKBAAR IS



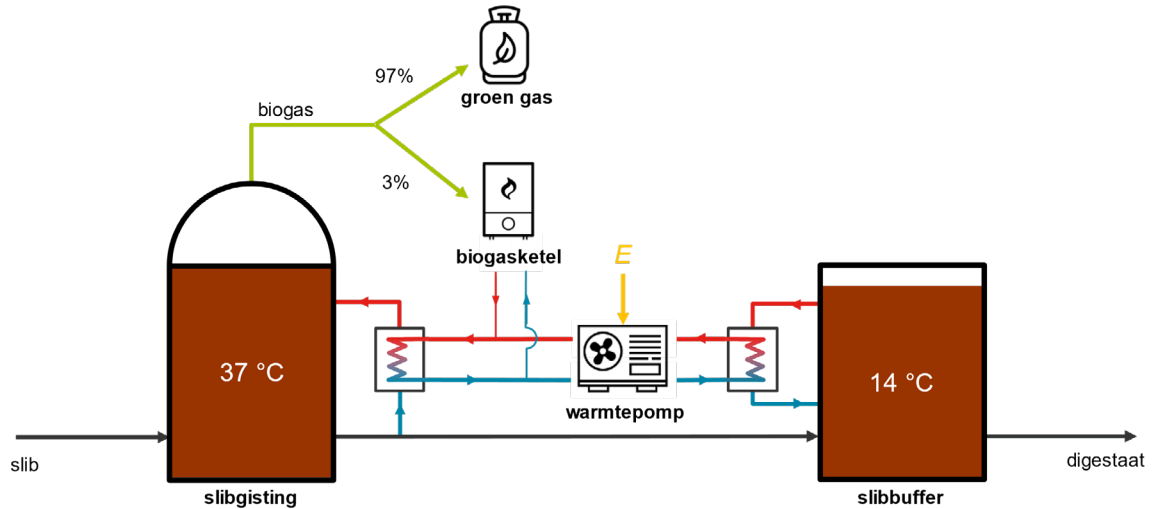
#### 4.2.3 WARMTE UIT DIGESTAAT MET WARMTEPOMP

Normaal gesproken verliest digestaat warmte in de uitgegist slibbuffer, bij slibontwatering en in de slibsilo. De warmte in de digestaatstroom kan ook nuttig ingezet worden om het ingaande slib te verwarmen. Als alleen warmtewisselaars gebruikt worden, kan nooit in de volledige warmtevraag voorzien worden. Warmtewisselaars zijn namelijk nooit 100% efficiënt. Met een warmtepomp kan er meer warmte onttrokken worden aan het slib, waardoor er minder biogas nodig is voor de verwarming van de gisting.

In dit concept circuleert het slib in de gisting over een warmtewisselaar, waarbij het slib warmte krijgt uit CV-water afkomstig van de warmtepomp. De warmtepomp onttrekt warmte aan de uitgegist slib buffer (USB) via een warmtewisselaar en waardeert deze warmte op. In dit concept wordt niet het ingaande en uitgaande slib gebruikt, maar worden recirculatiestromen gebruikt van de gisting en USB. Dit is een robuuste aanpak omdat variaties in de slibaanvoer geen effect hebben op de verwarming. Hier staat tegenover dat  $\Delta T$  wel kleiner is, maar dit is minder cruciaal omdat de warmtepomp gebruikt wordt om de warmte op te waarden. De volgende ontwerpkeuzes zijn van toepassing:

- Om zo veel mogelijk warmte aan het vergiste slib te onttrekken en de methaanproductie uit de USB te minimaliseren wordt het slib in de USB maximaal teruggekoeld.
- De onderdelen zijn dusdanig gedimensioneerd dat het oppervlak van de warmtewisselaar binnen de range valt van beschikbare installaties en de warmtepomp een gemiddelde COP heeft tussen 4 en 7. Doordat de temperatuur van de slibbuffer constant is, is ook de COP van de warmtepomp constant.

FIGUUR 4.4 WARMTE UIT DIGESTAAT MET EEN WARMTEPOMP

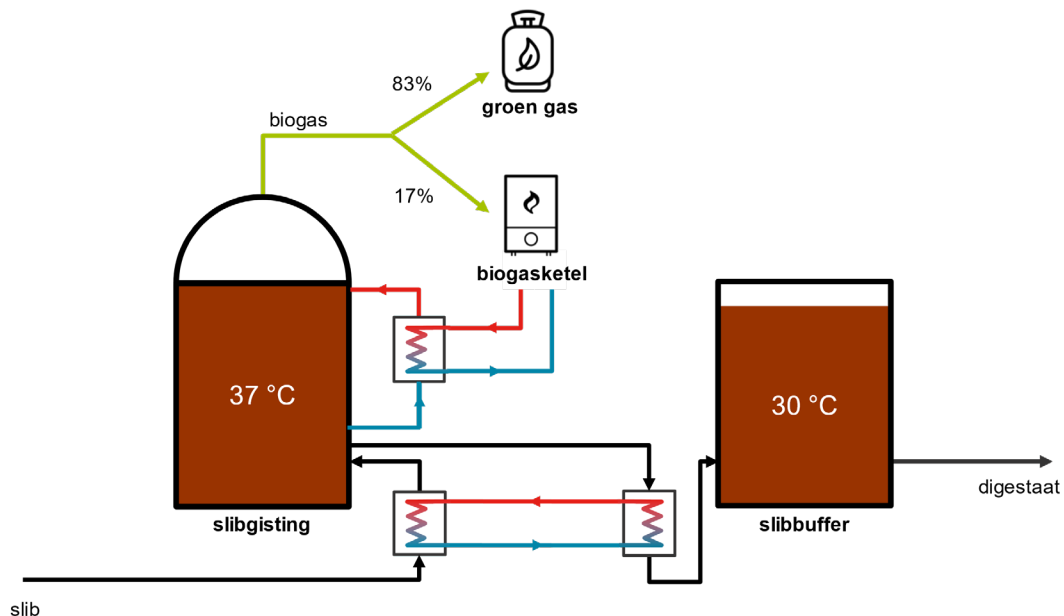


#### 4.2.4 WARMTE UIT DIGESTAAT MET SLIB/WATER/SLIB WARMTEWISSELAAR

Warmte kan ook uit digestaat teruggewonnen worden met een slib/water/slib warmtewisselaar. Dit concept maakt gebruik van twee slib/water-warmtewisselaars om het ingaande slib te verwarmen met warmte uit de digestaat stroom. De eerste slib/water warmtewisselaar verwarmt het ingaande slib en is van het type “buis-in-buis”. Het ingaande slib stroomt in de binnenste buis en het water in de buitenste buis. De tweede slib/water warmtewisselaar onttrekt warmte uit het uitgaande slib en geeft het af aan het watercircuit. Deze tweede warmtewisselaar is ook van het type “buis-in-buis” en ook hier stroomt het slib door de binnenste buis. De warmteonttrekking uit digestaat is afhankelijk van de aanvoer van slib en is dus gebaat bij een zo constant mogelijke aanvoer van slib. De USB heeft een lagere temperatuur als gevolg van de warmteonttrekking uit het uitgaande slib.

De warmteonttrekking uit digestaat is niet volledig en er is een aanvullende warmtebron nodig. Voor de extra warmtevoorziening is een biogasketel opgenomen die de recirculatie van de slibgisting verwarmt. Deze ketel kan het CV-water naar een hogere temperatuur verwarmen, hierbij is een extra warmtewisselaar noodzakelijk. De biogasketel wordt zowel gebruikt voor aanvullende verwarming als voor verwarming bij de piekwarmtevraag.

FIGUUR 4.5 WARMTE UIT DIGESTAAT MET SLIB/WATER/SLIB WARMTEWISSELAAR



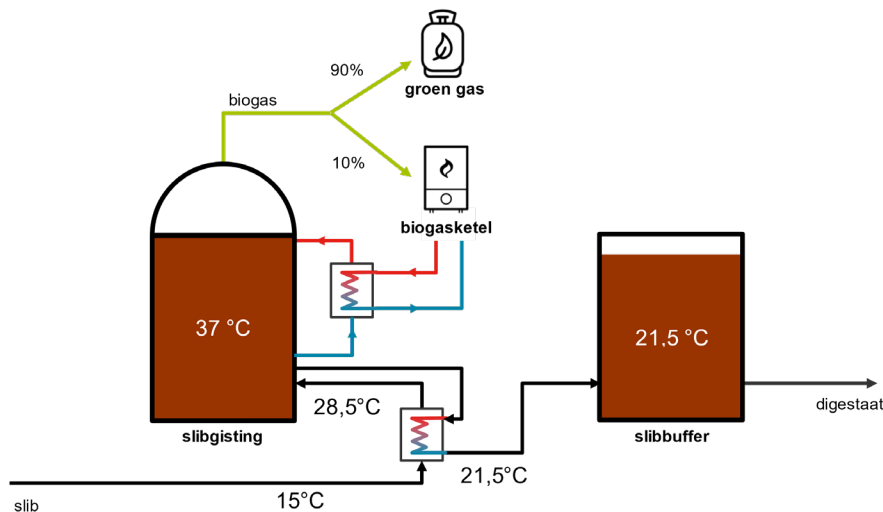
NB: Door aan dit concept een warmtepomp toe te voegen kan in de totale warmtevraag van de slibgisting worden voorzien. Het nadeel daarvan is echter dat de warmtepomp alleen draait op het moment dat er sprake is van toevoer van slib. Het benodigde vermogen van de warmtepomp zal daardoor groter zijn dan wanneer er sprake is van een continue toevoer.

#### 4.2.5 WARMTE UIT DIGESTAAT MET SLIB/SLIB WARMTEWISSELAAR

Warmte kan ook uit digestaat onttrokken worden met een slib/slib warmtewisselaar. In dit concept wordt het ingaande slib eerst langs een warmtewisselaar geleid voor het de gisting in gaat. In deze warmtewisselaar komt het in contact met het uitgaande slib, dat nog warm is. De slibbuffer heeft een lagere temperatuur doordat warmte onttrokken wordt uit het uitgegiste slib. Ook hier geldt dat warmteonttrekking uit digestaat afhankelijk is van de aanvoer van slib en dus gebaat is bij een zo constant mogelijke aanvoer van slib.

De warmte kan niet met 100% efficiëntie teruggewonnen worden, dus is een extra warmtebron nodig. Ook in dit concept is gebruik gemaakt van een biogasketel. De biogasketel verwarmt slib in een recirculatieleiding, hierbij is een extra warmtewisselaar noodzakelijk

FIGUUR 4.6 WARMTE UIT DIGESTAAT MET EEN SLIB/SLIB WARMTEWISSELAAR

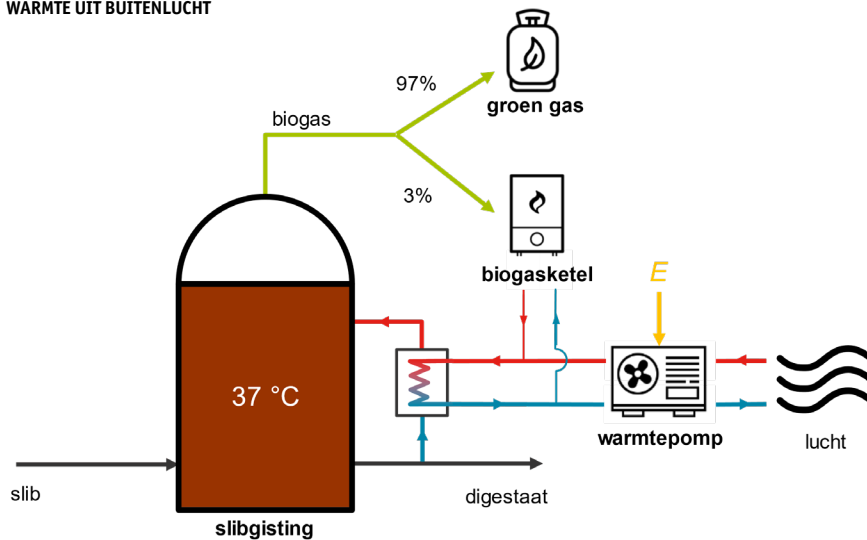


#### 4.2.6 WARMTE UIT BUITENLUCHT

Warmte uit buitenlucht is misschien wel de meest toegepaste warmtepompvariant in Nederland. Veel huishoudens gebruiken al een warmtepomp, waarbij warmte onttrokken wordt aan buitenlucht. Eenzelfde concept kan ook gebruikt worden om de gisting op te warmen. Het voordeel is dat het een bekende technologie is, het nadeel is dat de temperatuur van de buitenlucht aanmerkelijk lager is dan de effluenttemperatuur. De gemiddelde temperatuur van de buitenlucht is ca. 10 °C, terwijl dat bij effluent de minimumtemperatuur is. Deze variant is verder vergelijkbaar met warmte uit effluent, alleen gebruikt de warmtepomp buitenlucht in plaats van effluent. Hierbij gelden de volgende ontwerpkeuzes:

- Als buitenluchttemperatuur wordt een jaargemiddelde temperatuur van 10 °C aangehouden.
- De COP is in de winter bij een temperatuur van -5 graden 3,0 en in de zomer bij 20 graden 5,3. In de winter moet de warmtepomp dus harder werken om de benodigde warmte te leveren.

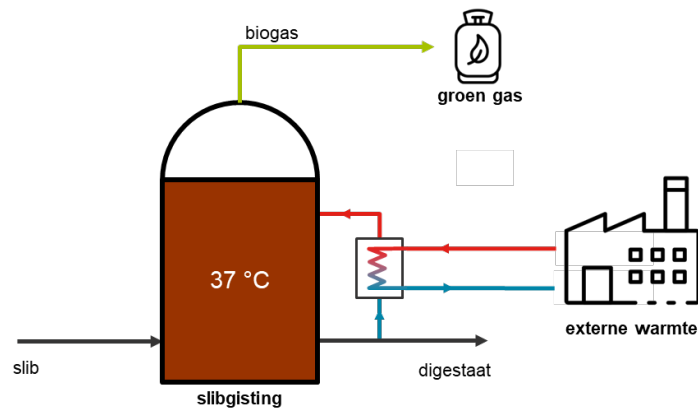
FIGUUR 4.7 WARMTE UIT BUITENLUCHT



#### 4.2.7 WARMTE UIT WARMTENET

Sommige rwzi's zijn gelegen naast een industrie of verbrandingsinstallatie, waar een warmteoverschot is. Deze warmte kan mogelijk goedkoop en duurzaam gebruikt worden om de gisting te verwarmen. We gaan uit van een warmtenet met een temperatuur van 70 °C, dus deze warmte kan direct gebruikt worden om de recirculatieleiding van de gisting te verwarmen. Er is in principe geen biogasketel nodig voor de piekvraag, afhankelijk van hoeveel externe warmte er geleverd kan worden. Een biogasketel als back-up is waarschijnlijk wel een goed idee, maar dit is niet meegenomen in deze studie.

FIGUUR 4.8 WARMTE UIT EEN EXTERNE WARMTEBRON



### 4.3 UITGANGSPUNTEN, SCHAALGROOTTE EN TYPE GISTING

#### 4.3.1 REPRESENTATIEVE SLIBGISTING

In paragraaf 4.2 zijn verschillende verwarmingsconcepten beschreven. Al deze verwarmingsconcepten zijn uitgewerkt voor een representatieve slibgisting, die geselecteerd is op basis van informatie in de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer (BVZ). Deze representatieve slibgisting is een middelgrote mesofiele slibgisting met de volgende eigenschappen:

- Slibtoevoer 400 m<sup>3</sup>/d
- Temperatuur 37 °C
- Verbliftijd 22 d

Er is gekozen voor een mesofiele gisting, aangezien meer dan 90% van de slibgistingen in Nederland mesofiel bedreven worden (zie Bijlage 3). De slibtoevoer van 400 m<sup>3</sup>/d is gekozen op basis van de spreiding in slibtoevoerbeiden in Nederland (zie Bijlage 4). De technische uitwerking van de middelgrote mesofiele slibgisting is weergegeven in Tabel 4.1. Bij de technische uitwerking zijn de volgende aspecten meegenomen:

- Het volume van de slibgisting is bepaald door de gemiddelde verblijftijd in Nederlandse slibgistingen (op basis van de BVZ) te vermenigvuldigen met de slibtoevoer;
- Er is gekozen voor twee gistingstanks, in verband met bedrijfszekerheid;
- Het wandoppervlak van de gistingstanks is bepaald op basis van een hoogte/diameter-verhouding van 0,85 (STOWA 2011-16);
- Het warmteverlies van de gistingstanks is bepaald op basis van het wand-, bodem- en dakoppervlak en een warmteverliescoëfficiënt.

Het warmteverlies van de tanks is afhankelijk van de mate van isolatie van de slibgisting. Voor de afkoeling van de tanks is in deze studie uitgegaan van een nieuwe goed geïsoleerde tank met dak-, vloer- en wandisolatie. Het warmteverlies van een dergelijke slibgisting is berekend op 0,204 W/m<sup>2</sup>.K en is gespecificeerd in Bijlage 5.

#### WARMTEVERLIES SLIBGISTING

Op het moment dat een bestaande en minder goed geïsoleerde gistingstank duurzaam verwarmd gaat worden betekent dit dat de warmtevraag in vergelijking met een nieuwe tank, toeneemt. Een slecht geïsoleerde tank met een isolatie van 50 mm resulteert bijvoorbeeld in een warmtedoorgangcoëfficiënt van 0,6 W/m<sup>2</sup>.K. Een goed geïsoleerde tank verliest 16 kW aan warmte, voor gemiddeld geïsoleerde tanks bedraagt het warmteverlies 33 kW en voor slecht geïsoleerde tanks 50 kW, wat neer komt op circa 10% van de totale warmtevraag van de slibgisting. De warmtevraag kan dus maximaal met 34 kW afnemen door een gisting goed te isoleren, dit is ongeveer 8% van de totale warmtevraag. Hieruit blijkt dat het overgrote deel van de warmtevraag bestaat uit het verwarmen van het slib en dat warmteverlies zelfs voor minder goed geïsoleerde gistingen een beperkte rol speelt. In de discussie in paragraaf 8.5 wordt hier nader op ingegaan.

TABEL 4.1 TECHNISCHE UITWERKING VAN DE VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTES EN TYPES SLIBGISTING

		Mesofiel 100 m <sup>3</sup> /d	Mesofiel 400 m <sup>3</sup> /d	Mesofiel 700 m <sup>3</sup> /d	Thermofiel 400 m <sup>3</sup> /d
Type slibgisting		Mesofiel	Mesofiel	Mesofiel	Thermofiel
Slibdebiet	m <sup>3</sup> /d	100	400	700	400
Temperatuur	°C	37	37	37	56
Verblijftijd	dagen	22	22	22	16
Aantal tanks		1	2	2	2
Volume per tank	m <sup>3</sup>	2211	4422	7738	3120
Tankoppervlak totaal	m <sup>2</sup>	942	2991	4376	2371
Gemiddelde warmtevraag	kW	108	428	744	782
Opwarming slib	kW	103	411	720	766
Warmteverlies	kW	5	17	24	16
Maximale warmtevraag	kW	205	813	1413	1487
Opwarming slib	kW	197	787	1376	1465
Warmteverlies	kW	8	26	38	30
Biogasproductie	m <sup>3</sup> /d	2.200	9.000	15.700	9.100

#### 4.3.2 EFFECT VAN SCHAALGROOTTE

Naast de representatieve slibgisting zijn een aantal geselecteerde verwarmingsconcepten ook uitgewerkt voor een kleinere en een grotere mesofiele slibgisting:

- Kleine slibgisting                    slibtoevoer 100 m<sup>3</sup>/d
- Grote slibgisting                    slibtoevoer 700 m<sup>3</sup>/d

Deze schaalgroottes zijn ook gebaseerd op de spreiding in slibtoevoerdebiëten in Nederland (zie Bijlage 4). Samen met de middelgrote slibgisting vormen de drie schaalgroottes een representatieve doorsnede van de Nederlandse communale slibgistingen. De technische uitwerking van de kleine en grote mesofiele slibgisting is weergegeven in Tabel 4.1.

Voor de kleine en grote slibgisting zijn twee verwarmingsconcepten uitgewerkt, namelijk 'warmte uit effluent' en 'warmte uit digestaat met slib/slib warmtewisselaar'. Deze twee concepten zijn geselecteerd als meest interessant, op basis van de uitwerking voor de representatieve gisting (middelgroot mesofiel).

#### 4.3.3 EFFECT VAN TYPE GISTING

Er zijn in Nederland een beperkt aantal thermofiele gistingen in bedrijf. Voor deze gistingen kan het ook relevant zijn om één van de beschreven verwarmingsconcepten toe te passen. Daarom is het concept 'warmte uit effluent' ook uitgewerkt voor een middelgrote thermofiele gisting. De technische uitwerking van de middelgrote thermofiele slibgisting is weergegeven in Tabel 4.1. Het concept 'warmte uit effluent' voor een thermofiele gisting is technisch uitgewerkt en zal in paragraaf 5.1 aan bod komen. De duurzaamheid en kosten komen echter alleen in de discussie terug, in paragraaf 8.6).

#### 4.3.4 UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten ten behoeve van de biogas- en groen gasproductie en WKK zijn opgenomen in Tabel 4.2. Aanvullende uitgangspunten zijn opgenomen in Bijlage 6.

TABEL 4.2

## UITGANGSPUNTEN BIOGAS- EN GROEN GASPRODUCTIE EN WKK

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Ingaand droge stofgehalte	%	6,0	WAVES databank
Aandeel primair slib (o.b.v. droge stof)	%	50	WAVES databank
Aandeel secundair slib (o.b.v. droge stof)	%	50	WAVES databank
Methaangehalte biogas	%	60	
WKK			
Rendement elektriciteit	%	35	
Rendement warmte	%	50	
Methaanslip	%	1,0	STOWA 2011-33
Groen gasinstallatie, zonder CO <sub>2</sub> afvang			
Energieverbruik	kWh/Nm <sup>3</sup> biogas	0,35	Locatieonderzoek groen gas
Methaanslip	%	0,5	
Groen gasinstallatie, met CO <sub>2</sub> afvang			
Energieverbruik	kWh/Nm <sup>3</sup> biogas	0,49	Locatieonderzoek groen gas
Methaanslip	%	0	
Buffer uitgestist slib			
Temperatuur	°C	33	
Verblijftijd	d	2	
Slibsilo			
Temperatuur	°C	20	
Verblijftijd	d	5	
Toegevoerd slib temperatuur			
Gemiddeld	°C	13	
Minimaal	°C	10	
Temperatuur effluent (gemiddeld)	°C	15	
Temperatuur buitenlucht (gemiddeld)	°C	10	



# 5

## UITWERKING VAN DE VERWARMINGSCONCEPTEN

Aan de hand van een Excel model zijn de verwarmingsconcepten zoals omschreven in hoofdstuk 4 uitgewerkt, met een focus op de middelgrote mesofiele slibgisting.

Voor het ontwerp van de verwarmingsconcepten is uitgegaan van de volgende randvoorwaarden (indien van toepassing):

- De duurzame verwarmingsconcepten zijn ontworpen op basis van de gemiddelde jaarlijkse warmtevraag van de slibgisting. De resterende warmtevraag wordt voorzien middels een biogasketel;
- De basis van het model wordt gevormd door ontwerpspecificaties van commercieel beschikbare warmtewisselaars (water/water, water/slib, slib/slib) en warmtepompen die in de praktijk toegepast zijn;
- Het ontwerp van de warmtewisselaar is leidend voor het ontwerp van de warmtepomp. Uitgaande van de benodigde warmte wordt een verwarmd oppervlak (VO) berekend op basis waarvan een geschikte warmtewisselaar wordt geselecteerd. De specificaties van de warmtewisselaar bepalen vervolgens het vermogen van de warmtepomp en de resulterende COP;
- Als randvoorwaarde voor de gemiddelde COP van de warmtepomp geldt dat deze tussen de 4 en 7 ligt;
- Het verwarmend oppervlak en het aantal slib/water warmtewisselaars wordt berekend op basis van het slibdebiet, slib temperatuur, buislengte, aantal buisrijen en het aantal niveaus (buisrijen boven elkaar);
- De warmtedoorgangscoefficiënt van de warmtewisselaars is afgeleid op basis van het debiet, hoe hoger het debiet hoe beter de warmteoverdracht.

Per verwarmingsconcept zijn de volgende onderdelen uitgewerkt (indien van toepassing):

- Temperatuur uitgesteid slib na warmteonttrekking
- WKK; aantal en capaciteit per stuk (kW)
- Biogasketel; aantal en capaciteit per stuk (kW)
- Warmtewisselaar; aantal, debiet, verwarmend oppervlak (VO), vermogen (kW), elektriciteitsverbruik
- Warmtepomp; aantal, elektrisch vermogen (kW), gemiddelde COP, elektriciteitsverbruik

Op basis van de slibhoeveelheden en de gespecificeerde onderdelen zijn de jaarlijkse warmteproductie en het energieverbruik van de warmtewisselaars en warmtepompen uitgewerkt.

## 5.1 MIDDELGROTE MESOFIELE SLIBGISTING

### 5.1.1 TECHNISCHE UITWERKING

In Bijlage 7 zijn de resultaten per duurzaam verwarmingsconcept uitgewerkt. De technische uitwerking van de duurzame verwarmingsconcepten is samengevat in Tabel 5.1.

**TABEL 5.1** UITWERKING VAN VERSCHILLENDE VERWARMINGSCONCEPTEN. 1 = EFFLUENTWARMTEPOMP, 2A = SLIBWARMTEPOMP, 2B = SLIB/WATER/SLIB, 2C = SLIB/SLIB, 3 = LUCHTWARMTEPOMP, 4 = WARMTENET

Concept	Eenheid	1	2a	2b	2c	3	4
Thermisch vermogen verwarmingsconcept	kW	428	428	116	264	428	428
Resterende warmtevraag t.o.v. gemiddeld	kW	0	0	312	164	0	0
Warmtepomp							
Gemiddelde COP	-	4,5	4,3	-	-	4,2	-
Gemiddeld elektrisch vermogen	kW	95 *	100 *	-	-	102 *	-
E-verbruik verwarmingsconcept	kWh/d	3.018	3.362	178	280	3.257	480
E-verbruik per geleverde warmte	kWh/kWh	0,21	0,23	0,06	0,04	0,24	0,05
E-verbruik groen gasinstallatie	kWh/d	4.267	4.267	3.579	3.900	4.267	4.393
Aandeel biogas nodig voor verwarming	%	3%	3%	17%	10%	3%	0%

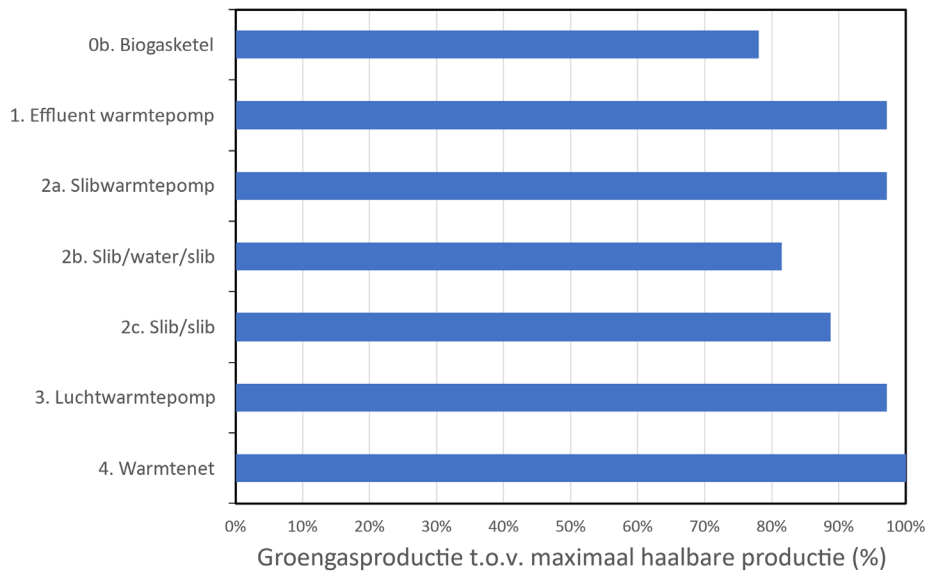
\* Geïnstalleerd vermogen van de warmtepomp ligt 10 – 20% boven het gemiddeld opgenomen vermogen

Uit Tabel 5.1 volgt dat het merendeel van de verwarmingsconcepten in staat is om de jaargemiddelde warmtevraag van 428 kW te leveren. In deze concepten bestaat het verwarmingsstelsel uit een combinatie van warmtewisselaars en warmtepompen, terwijl in het geval van een warmtenet de temperatuur voldoende hoog is om een warmtepomp overbodig te maken. De concepten zonder warmtepomp of warmtenet zijn in staat om in een deel van de benodigde warmte te voorzien door direct warmte vanuit het vergiste slib over te dragen naar het slib wat de gisting in gaat. In het geval van een slib/water/slib warmtewisselaar resteert een warmtebehoefte van 312 kW en in het geval van een slib/slib warmtewisselaar resteert 164 kW. Deze resterende warmtevraag kan voorzien worden met een biogasketel of door een combinatie te maken met een ander duurzaam verwarmingsconcept.

### 5.1.2 GROEN GASPRODUCTIE

De biogasproductie is bij elk verwarmingsconcept gelijk, maar dit geldt niet voor de groen gasproductie. In sommige concepten is meer biogas nodig om de gisting op temperatuur te houden. De groen gasproductie van de verschillende concepten is te zien in Figuur 5.1. Het concept 'warmte uit een warmtenet' produceert maximaal groen gas, doordat het warmtenet ook de piekwarmtevraag levert (dit was een uitgangspunt in deze studie). De concepten met een warmtepomp produceren ook veel groen gas, doordat alleen biogas verbruikt wordt voor verwarmen bij de piekwarmtevraag. Dit komt overeen met slechts 3% van de totale biogasproductie. In de concepten slib/water/slib en slib/slib kan er niet voldoende warmte onttrokken worden uit het uitgegiste slib om de gisting op temperatuur te houden. Er is biogas nodig voor aanvullende verwarming, waardoor de groen gasproductie lager is. Bij het slib/water/slib concept is te zien dat de extra groen gasproductie ten opzichte van verwarmen met een biogasketel beperkt is. In Tabel 5.1 is te zien dat de resterende warmtevraag van het slib/water/slib concept 312 kW is, terwijl de gemiddelde warmtevraag 428 kW is. De slib/water/slib warmtewisselaar voorziet dus slechts in 27% van de gemiddelde warmtevraag.

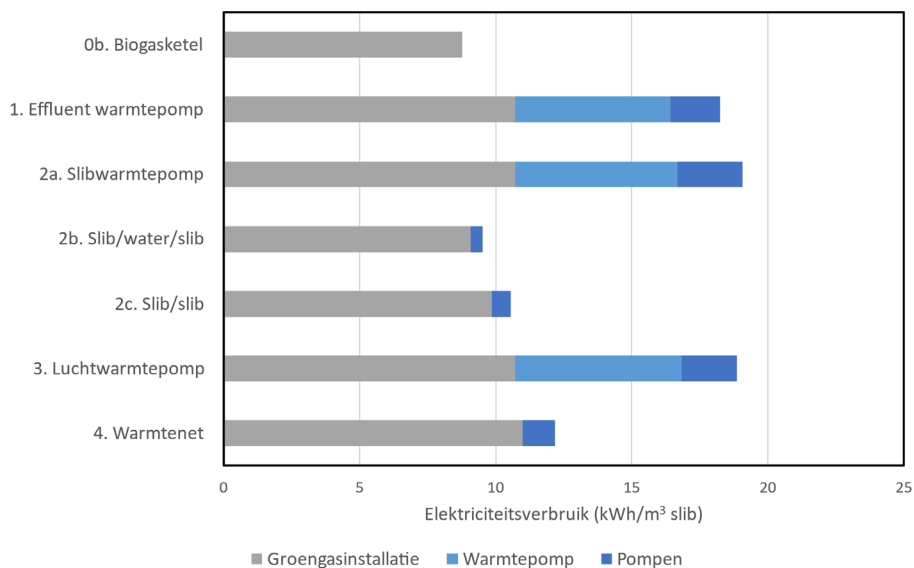
**FIGUUR 5.1 GROEN GASPRODUCTIE VAN DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN, TEN OPZICHT VAN DE MAXIMAAL HAALBARE PRODUCTIE WAARBIJ AL HET GEPRODUCEERDE BIOGAS OPGEWERKT WORDT TOT GROEN GAS**



### 5.1.3 ELEKTRICITEITSVRAAG

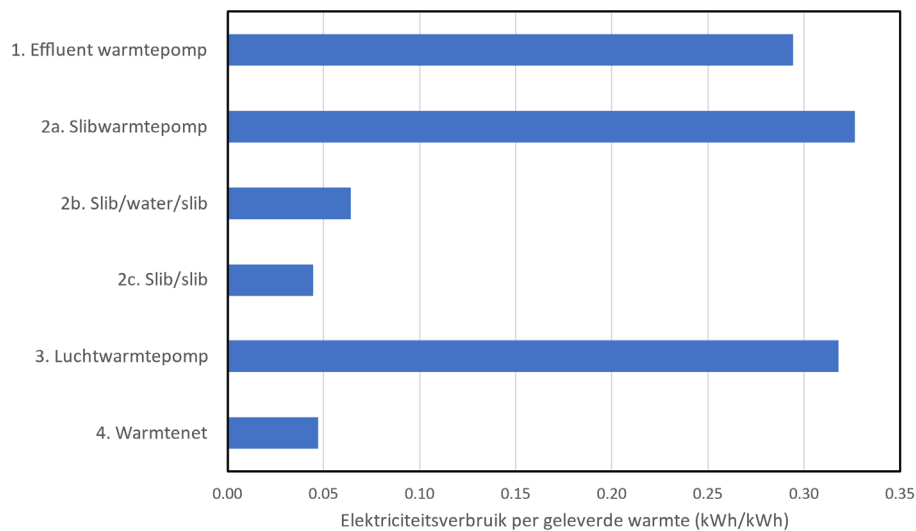
In Figuur 5.2 is het elektriciteitsverbruik van de verschillende verwarmingsconcepten weergegeven in kWh/m<sup>3</sup> slib, inclusief het verbruik van de groen gasinstallatie. Dit elektriciteitsverbruik loopt uiteen van 8 tot 20 kWh/m<sup>3</sup> slib. Uit de figuur kan worden afgeleid dat het elektriciteitsverbruik van concepten met een warmtepomp aanzienlijk hoger uitvalt dan concepten met enkel een warmtewisselaar of een warmtenet. Wat verder opvalt is dat een verwarmingsconcept met een luchtwarmtepomp iets meer elektriciteit verbruikt dan een concept met een effluentwarmtepomp maar minder dan een slibwarmtepomp. Verder is te zien dat in de concepten biogasketel, slib/water/slib en slib/slib minder elektriciteit verbruikt wordt door de groen gasinstallatie. De reden hiervoor is dat bij deze concepten een groter deel van het biogas nodig is voor het verwarmen van de slibgisting en er simpelweg minder groen gas geproduceerd wordt.

**FIGUUR 5.2 ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN IN KWH/M<sup>3</sup> SLIB. HET ELEKTRICITEITSVERBRUIK BESTAAT UIT DE GROEN GASINSTALLATIE, WARMTEPOMPEN EN EFFLUENT-, CV- EN SLIBPOMPEN**



In Figuur 5.3 is het elektriciteitsverbruik per geleverde warmte te zien. Dit elektriciteitsverbruik gaat alleen over de elektriciteit die nodig is om de warmte te leveren, dus het elektriciteitsverbruik van de groen gasinstallatie wordt hierbij niet meegenomen. Wat opvalt is dat de concepten met een warmtepomp een hoog elektriciteitsverbruik per geleverde warmte hebben. Per kWh warmte geleverd is dit 0,29-0,33 kWh aan elektriciteitsverbruik. Het totale warmtepompsysteem heeft dus een COP van grofweg 3. Dit is lager dan de gemiddelde COP van de warmtepompen zelf, die is in deze concepten namelijk hoger dan 4 (zie Tabel 5.1). Het verschil tussen de COP van het totale warmtepompsysteem en de warmtepomp zelf komt door het elektriciteitsverbruik van de effluent-, CV- en slibpompen. De concepten zonder warmtepomp (slib/water/slib, slib/slib en warmtenet) hebben een laag elektriciteitsverbruik per geleverde warmte, van 0,04-0,06 kWh/kWh. Het elektriciteitsverbruik is zo laag omdat alleen de pompen elektriciteit verbruiken en de warmte uit het uitgestist slib of het warmtenet komt.

**FIGUUR 5.3** ELEKTRICITEITSVERBRUIK PER GELEVERDE WARMTE VOOR DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN. ALLEEN HET ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN DE WARMTEPOMPEN EN EFFLUENT-, CV- EN SLIBPOMPEN IS MEEGENOMEN. BIJ HET WARMTENET CONCEPT IS ER GEEN REKENING GEHOUDEN MET ELEKTRICITEITSVERBRUIK VOOR DE PRODUCTIE EN LEVERING VAN DE WARMTE



#### 5.1.4 TOTAAL ENERGIEVERBRUIK

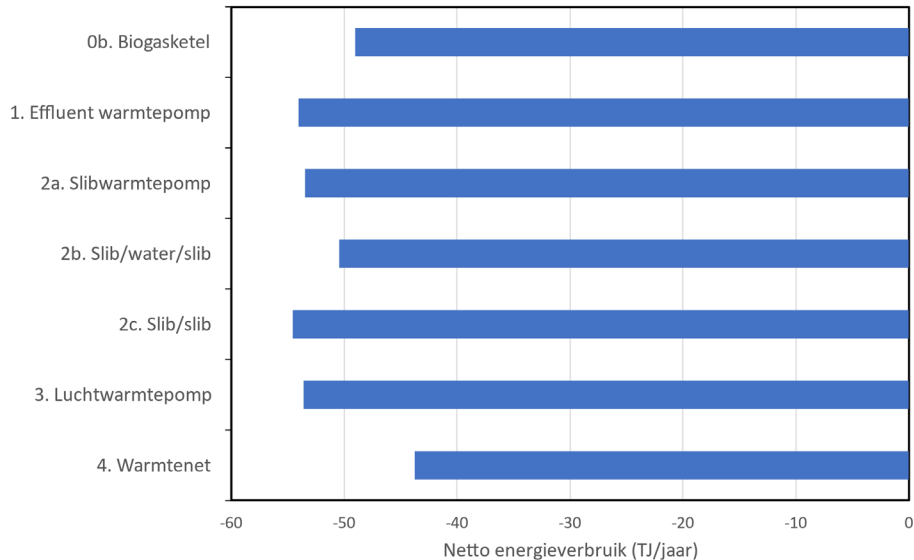
Alle beschouwde verwarmingsconcepten vergroten de productie van groen gas, maar daar staat tegenover dat er ook energie verbruikt wordt door de concepten. Het gaat hierbij met name om elektriciteitsverbruik, maar ook om warmte uit een warmtenet. Voor de energieneutraliteit van de hele rwzi is het van belang dat de extra energieproductie uit groen gas groter is dan het extra energieverbruik van het verwarmingsconcept. Het netto energieverbruik van de verwarmingsconcepten is hier berekend met de omrekenfactoren uit 'Energie onder één noemer (KWR 2011.034)'. Het gaat hierbij om de volgende omrekenfactoren:

- 1 kWh = 0,00522 GJ primair
- 1 Nm<sup>3</sup> groen gas = 0,03165 GJ primair (gelijk aan aardgas)
- 1 GJ warmte = 1,1 GJ primair

Het netto energieverbruik van de verwarmingsconcepten is weergegeven in Figuur 5.4. Alle duurzame verwarmingsconcepten hebben een lager netto energieverbruik dan verwarmen met een biogasketel, behalve het warmtenet concept. Vanuit het oogpunt van energieneutraliteit is het warmtenet concept daarom het minst aantrekkelijk. Het slib/water/slib concept

heeft een iets lager netto energieverbruik dan een biogasketel, maar het verschil is klein. Het laagste netto energieverbruik wordt bereikt met het slib/slib concept. In dit concept wordt energie efficiënt teruggewonnen uit het uitgestigte slib, terwijl hier een relatief laag elektriciteitsverbruik tegenover staat.

**FIGUUR 5.4** NETTO ENERGIEVERBRUIK VAN DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN, WAARIN DE GROEN GASPRODUCTIE, HET ELEKTRICITEITSVERBRUIK EN WARMTE UIT HET WARMTENET ZIJN MEEGENOMEN



## 5.2 EFFECT VAN SCHAALGROOTTE

In deze paragraaf is het effect bepaald van de schaalgrootte van de slibgisting op de technische uitwerking van het effluentwarmtepomp concept en het slib/slib concept. De resultaten zijn afgezet tegen de hoofdvariant met een toevoer van 400 m<sup>3</sup>/d. Een samenvatting van de resultaten is opgenomen in Tabel 5.2: en Tabel 5.3.

**TABEL 5.2** VERWARMEN VAN SLIBGISTINGEN VAN VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTE MET WARMTE UIT EFFLUENT IN COMBINATIE MET WARMTEPOMP

Concept	Eenheid	100 m <sup>3</sup> /d	400 m <sup>3</sup> /d	700 m <sup>3</sup> /d
Aantal slibwarmtewisselaars	stuks	1	2	4
VO slibwarmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	34	34	34
Elektrisch vermogen warmtepomp	kW	21	95	158
Gemiddelde COP van de warmtepomp	-	5,3	4,5	4,7
Vermogen warmtepomp	kW	108	428	744

In Tabel 5.2: is te zien dat het concept effluentwarmtepomp is aangepast aan de schaalgrootte. Bij een toevoer van 100 m<sup>3</sup>/d volstaat één warmtewisselaar terwijl er bij een toevoer van 700 m<sup>3</sup>/d vier van dergelijke warmtewisselaars nodig zijn. Het verwarmd oppervlak van de warmtewisselaars neemt dus niet proportioneel toe met het slibdebiet. Dit heeft er mee te maken dat de warmtewisselaars alleen in standaard capaciteiten verkocht worden. Bij een toevoer van 100 m<sup>3</sup>/d zou een kleinere warmtewisselaar ook afdoende zijn, maar zo'n kleinere warmtewisselaar is niet leverbaar. De warmtewisselaar voor de kleine slibgisting is hierdoor overgedimensioneerd.

Het vereiste vermogen van de warmtepomp loopt uiteen van 108 kW naar 744 kW. De warmtepomp waarmee dit vermogen geproduceerd wordt draait bij de kleine slibgisting wat efficiënter dan bij de grotere slibgistingen waardoor de gemiddelde COP in het geval van de kleine slibgisting uit komt op 5,3. De kleine slibgisting heeft een hogere gemiddelde COP doordat de warmtewisselaar een relatief groot verwarmd oppervlak heeft. Hierdoor kan er meer warmte aan de gisting afgegeven worden en wordt de warmtepomp efficiënter.

**TABEL 5.3 VERWARMEN VAN SLIBGISTINGEN VAN VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTE MET WARMTE UIT DIGESTAAT MET EEN SLIB/SLIB WARMTEWISSELAAR**

Concept	Eenheid	100 m <sup>3</sup> /d	400 m <sup>3</sup> /d	700 m <sup>3</sup> /d
Aantal slib/slib warmtewisselaars	stuks	1	1	1
V0 slib/slib warmtewisselaars	m <sup>2</sup>	30	114	208
Vermogen slib/slib warmtewisselaars	kW	69	264	483
Aantal slib/water warmtewisselaars	stuks	1	2	2
V0 slib/water warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	5	10	20
Resterende warmtevraag t.o.v. gemiddeld	kW	39	164	261
Totaal E-verbruik	kWh/d	70	280	90
E-verbruik per geleverde GJ	kWh/kWh	0,04	0,04	0,04
Percentage biogas voor verwarming	%	11%	11%	11%

In Tabel 5.3 is te zien wat het effect van de schaalgrootte is op het slib/slib warmtewisselaar concept. De capaciteit en het verwarmd oppervlak van de slib/slib warmtewisselaar varieert proportioneel met het slibtoevoerdebiet. De slib/slib warmtewisselaars zijn niet gebaseerd op gestandaardiseerde componenten, waardoor de capaciteit van de warmtewisselaars goed aan kan sluiten op het slibtoevoerdebiet. Daardoor is er weinig schaaffect voor dit concept. Er is bij de kleine schaal wel slechts 1 slib/water warmtewisselaar nodig, omdat er bij de kleine schaal maar één slibgistingstank is. Bij de middelgrote en grote schaal zijn er twee slibgistingstanks, dus zijn er ook twee slib/water warmtewisselaars nodig die warmte van de biogasketel overdragen naar een recirculatiestroom over de gisting.

### 5.3 EFFECT VAN TYPE GISTING

In deze paragraaf is het effluentwarmtepompconcept uitgewerkt voor een thermofiele slibgisting met een toevoer van 400 m<sup>3</sup>/d. De hogere temperatuur van een thermofiele slibgisting leidt tot een grotere warmtevraag waardoor ook het verwarmingsconcept een grotere capaciteit heeft. De resultaten van deze vergelijking zijn weergegeven in Tabel 5.4.

**TABEL 5.4 VERWARMEN VAN EEN MESOFIELE OF EEN THERMOFIELE SLIBGISTING MET EEN TOEVOER VAN 400 M<sup>3</sup>/D MET WARMTE UIT EFFLUENT IN COMBINATIE MET WARMTEPOMP**

Concept	Eenheid	Mesofiel	Thermofiel
Gemiddelde warmtevraag	kW	428	782
Aantal slibwarmtewisselaars	stuks	2	4
V0 slibwarmtewisselaar (per stuk)	m <sup>2</sup>	34	34
Elektrisch vermogen warmtepompen	kW	95	243
Gemiddelde COP van de warmtepomp(en)	-	4,5	5,7 *
Vermogen warmtepompen	kW	428	787

\*twee in serie geschakelde warmtepompen met een COP van 5,7 elk, de COP van de twee warmtepompen samen is 3,2 (= 787 kW / 243 kW)

In Tabel 5.4 is te zien dat het vereiste vermogen van de warmtepomp bij een thermofiele slibgisting aanzienlijk groter is dan bij een mesofiele slibgisting. Het vermogen van de warmtepomp bedraagt 782 kW voor het verwarmen van een thermofiele slibgisting, tegenover 428 kW voor een mesofiele slibgisting. Bij een thermofiele slibgisting zijn twee warmtepompen in serie geplaatst om op een efficiënte manier tot de benodigde gistingstemperatuur van 56°C te komen met een gemiddelde COP van 5,7 per warmtepomp. De gemiddelde COP van de twee warmtepompen samen is 3,2. Om de benodigde warmte aan de gisting af te geven zijn voor een thermofiele slibgisting dubbel zo veel slibwarmtewisselaars nodig. Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor het verwarmen van de thermofiele slibgisting valt aanzienlijk hoger uit als voor een mesofiele slibgisting.

# 6

## DUURZAAMHEID

In het vorige hoofdstuk zijn verschillende verwarmingsconcepten uitgewerkt. Voor al deze concepten is het doel om zo min mogelijk biogas te gebruiken voor de verwarming van de slibgisting. Deze concepten zijn duurzaam omdat er meer groen gas geproduceerd kan worden uit biogas dan wanneer de gisting alleen verwarmd wordt met een biogasketel. Er is echter in alle **verwarmingsconcepten** ook elektriciteit nodig voor de verwarming van de slibgisting. Dit energieverbruik verschilt tussen de verwarmingsconcepten. In dit hoofdstuk wordt de duurzaamheid van de verschillende concepten vergeleken, door de extra groen gasproductie te vergelijken met het energieverbruik voor verwarming. In de duurzaamheidsvergelijking worden daarnaast ook methaanslip en afvang van CO<sub>2</sub> meegenomen. De methaanemissie uit het uitgiste slib komt in een aparte paragraaf aan bod. In dit hoofdstuk wordt alleen de duurzaamheid van de mesofiele slibgisting van middelgrote schaal (400 m<sup>3</sup>/d) beschouwd, omdat de duurzaamheid niet afhankelijk is van de schaalgrootte.

### 6.1 EMISSIEFACTOREN

Voor een kwantitatieve vergelijking wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren. Deze emissiefactoren vertalen productie en verbruik, bijvoorbeeld van groen gas en elektriciteit, naar CO<sub>2</sub>-equivalenten. De gebruikte emissiefactoren zijn weergegeven in Tabel 6.1. Hierbij is gebruik gemaakt van zogenaamde *well-to-wheel* emissiefactoren voor elektriciteit, aardgas en warmte uit het warmtenet. Deze emissiefactoren bestaan uit twee componenten:

- *Tank-to-wheel* emissies: dit zijn directe CO<sub>2</sub>-emissies, bijvoorbeeld de CO<sub>2</sub>-emissies die vrijkomen bij het verbranden van aardgas of steenkolen.
- *Well-to-tank* emissies, dit zijn indirecte CO<sub>2</sub>-emissies, bijvoorbeeld de CO<sub>2</sub>-emissies bij de winning van aardgas of de CO<sub>2</sub>-emissies bij het transport van warmte.

Voor elektriciteit zijn meerdere emissiefactoren beschikbaar, afhankelijk van de herkomst van de elektriciteit. Groene stroom heeft een emissiefactor van 0 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh, terwijl grijze stroom een emissiefactor heeft van 0,456 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh. In dit rapport wordt de emissiefactor van de energiemix in Nederland gebruikt. Deze emissiefactor houdt rekening met de bron van elektriciteit in Nederland, wat voor een gedeelte uit groene stroom bestaat en voor een gedeelte uit grijze stroom. Deze emissiefactor voor de energiemix NL past het beste bij de huidige situatie. Verderop in het rapport is een gevoeligheidsanalyse opgenomen waarin de emissiefactor voor elektriciteit gevarieerd is.

TABEL 6.1 GEBRUIKTE EMISSIEFACTOREN VOOR DE DUURZAAMHEIDSVERGELIJKING

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Elektriciteit: energiemix NL	kg CO <sub>2</sub> -eq/kWh	0,337	co2emissiefactoren.nl (januari 2023)
Aardgas	kg CO <sub>2</sub> -eq/Nm <sup>3</sup>	2,079	co2emissiefactoren.nl (januari 2023)
Warmte uit warmtenet	kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ	25,37	co2emissiefactoren.nl (januari 2023)
Methaanemissie	kg CO <sub>2</sub> -eq/kg CH <sub>4</sub>	29,8	IPCC (2021)



## 6.2 CO<sub>2</sub>-VOETAFDruk

De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de verschillende concepten bestaat uit de volgende aspecten:

- Nettoproductie van groen gas
- Verbruik van elektriciteit voor warmtepompen, warmtewisselaar pompen, effluent pompen, ventilatoren en de groen gasinstallatie
- Verbruik van warmte uit een warmtenet
- Afvang en productie van CO<sub>2</sub> bij de productie van groen gas
- Productie van elektriciteit (WKK)
- Methaanslip (WKK)

Een aantal aspecten heeft een vermeden CO<sub>2</sub>-voetafdruk, namelijk de productie van groen gas, elektriciteit en CO<sub>2</sub>. Door groen gas te produceren hoeft er bijvoorbeeld minder aardgas verbruikt te worden. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van het aardgas dat minder verbruikt hoeft te worden is in deze berekening toegekend als vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van het groen gas. De productie van elektriciteit en CO<sub>2</sub> is op dezelfde manier meegenomen. Methaanslip is alleen meegenomen voor de WKK. In een groen gasinstallatie kan ook methaanslip optreden, maar niet als er ook CO<sub>2</sub> afgevangen wordt. Als er CO<sub>2</sub> afgevangen wordt ontstaat er een gesloten systeem, waarbij methaan niet naar de atmosfeer kan ontsnappen. Omdat in deze studie uitgegaan wordt van groen gasproductie met CO<sub>2</sub> afvang is er geen methaanslip meegenomen voor de groen gas concepten. Alle relevante verbruiks- en productiegetallen zijn opgenomen in Tabel 6.2, voor alle concepten.

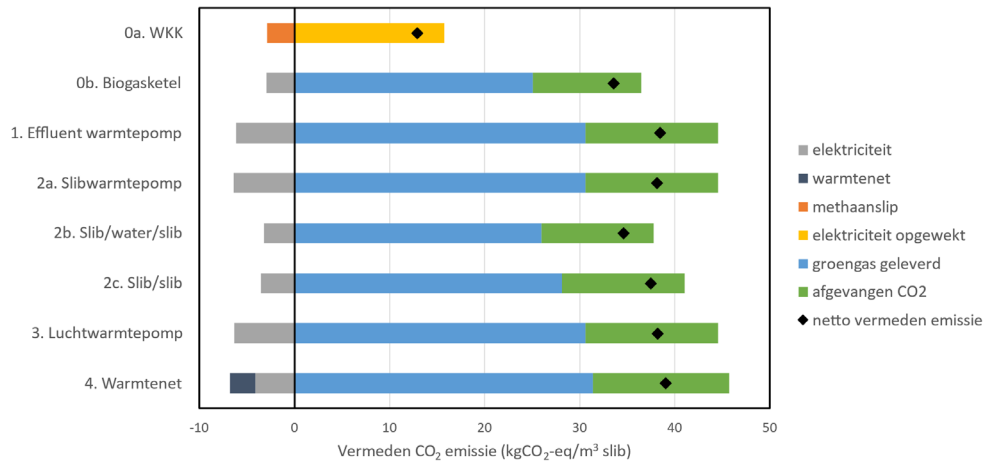
**TABEL 6.2 VERBRUIKEN EN PRODUCTIES DIE MEEGENOMEN ZIJN IN DE CO<sub>2</sub>-VOETAFDruk BEREKENING, VOOR ALLE CONCEPTEN.**  
**1 = EFFLUENTWARMTEPOMP, 2A = SLIBWARMTEPOMP, 2B = SLIB/WATER/SLIB, 2C = SLIB/SLIB, 3 = LUCHTWARMTEPOMP,**  
**4 = WARMTENET**

		Concept							
		0a.	0b.	1.	2a.	2b.	2c.	3.	4.
Biogasproductie	Nm <sup>3</sup> /d	8.964	8.964	8.964	8.964	8.964	8.964	8.964	8.964
Aandeel naar WKK		100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aandeel naar groen gas		0%	80%	97%	97%	83%	90%	97%	100%
Aandeel naar biogasketel		0%	20%	3%	3%	17%	10%	3%	0%
CO <sub>2</sub> afvang	Nm <sup>3</sup> /d	0	2.330	2.844	2.844	2.414	2.618	2.844	2.921
Elektriciteitsproductie	kWh/d	18.721	0	0	0	0	0	0	0
Elektriciteitsverbruik	kWh/d	0	3.505	7.298	7.626	3.808	4.217	7.539	4.873
Warmtepomp	kWh/d	0	0	2.283	2.389	0	0	2.446	0
Pompen, ventilatoren, etc.	kWh/d	0	0	738	960	178	280	816	480
Groen gasinstallatie	kWh/d	0	3.505	4.277	4.277	3.630	3.937	4.277	4.393
Methaanslip	kg CH <sub>4</sub> /d	38	0	0	0	0	0	0	0
Warmte uit warmtenet	GJ/d	0	0	0	0	0	0	0	42

De totale vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van de concepten is weergegeven in Figuur 6.1. In de figuur is te zien dat alle concepten waarbij groen gas geproduceerd wordt duurzamer zijn dan referentieconcept 0a met de WKK. Dit komt deels doordat er naast groen gas ook CO<sub>2</sub> geproduceerd wordt in de groen gas concepten, maar ook doordat de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteit uit de WKK lager is dan de vermeden CO<sub>2</sub>-emissie van groen gas. In deze berekening is het rendement van de WKK 35% voor elektriciteit en 50% voor warmte. De geproduceerde warmte wordt slechts voor een deel (<50%) nuttig gebruikt, voor het verwarmen van de slibgisting. Groen gas kan met een veel hoger rendement gebruikt worden, bijvoorbeeld in een HR-ketel voor de verwarming van huizen.

FIGUUR 6.1

DE CO<sub>2</sub>-FOORPRINT VAN DE VERSCHILLENDE VERWARMINGSCONCEPTEN, UITGEDRUKT IN VERMEDEN CO<sub>2</sub>-EMISSION PER M<sup>3</sup> SLIB. DE ZWARTE DIAMANTEN GEVEN DE NETTO VERMEDEN CO<sub>2</sub>-EMISSION WEER. EEN HOGERE VERMEDEN EMISSION BETEKENT EEN HOGERE DUURZAAMHEID



Het onderlinge verschil tussen de verschillende groen gasconcepten is klein. De vermeden CO<sub>2</sub>-emissie varieert van 33,6 tot 39,0 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib. De biogasketel is het minst duurzame concept, doordat er relatief veel biogas (20%) verbruikt wordt om de gistingstank te verwarmen. Alle andere groen gasconcepten zijn duurzamer, wat laat zien dat alle verwarmingsconcepten gebruikt kunnen worden om de duurzaamheid van de slibverwerking te vergroten. Tegelijkertijd zijn de verschillen klein. Het meest duurzame concept, het warmtenet, heeft een vermeden CO<sub>2</sub>-emissie die 16% hoger ligt dan het referentieconcept, de biogasketel. Wat daarnaast opvalt is dat concept 2c, waarbij een slib/slib warmtewisselaar voorziet in 2/3<sup>de</sup> van de warmtevraag, nauwelijks minder duurzaam is dan concepten die in de volledige warmtevraag voorzien (concepten 1, 2a, 3 en 4).

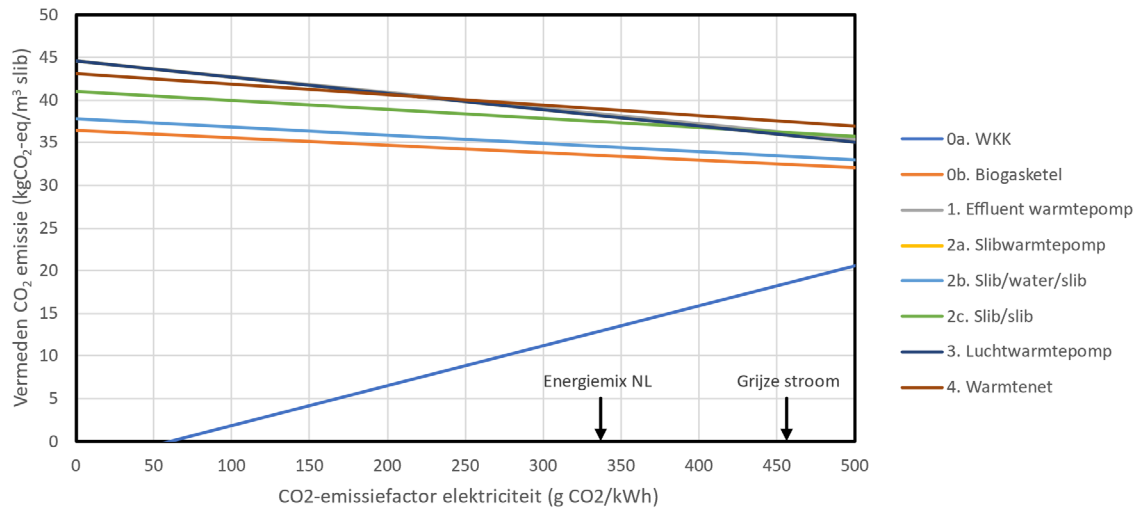
Het verschil tussen het meest duurzame concept, de effluentwarmtepomp, en de biogasketel is 5,4 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib. Het slibdebiet in dit scenario is 400 m<sup>3</sup>/d, dus een rwzi met een effluentwarmtepomp zal 788 ton CO<sub>2</sub>/jaar minder uitstoten dan een rwzi met een biogasketel. Een slibdebiet van 400 m<sup>3</sup>/d komt ongeveer overeen met 300.000 i.e.<sub>150</sub>. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk van een dergelijke rwzi is ongeveer 13.200 ton CO<sub>2</sub>/jaar, op basis van het energieverbruik, chemicaliënverbruik en procesemissies (Unie van Waterschappen, 2021). Hieruit volgt dat de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de hele rwzi met zo'n 6% zal afnemen door toepassing van een effluentwarmtepomp. Dit getal is slechts indicatief, omdat de studie voor de Unie van Waterschappen gedeeltelijk op andere uitgangspunten gebaseerd is. Het onderlinge verschil tussen de verwarmingsconcepten is echter beperkt. Kortom, de duurzame verwarmingsconcepten zijn nauwelijks onderscheidend wat betreft duurzaamheid.

### 6.3 EFFECT VAN DE HERKOMST VAN STROOM

De duurzaamheidsvergelijking is gedaan met een emissiefactor voor elektriciteit op basis van de energiemix in Nederland. De energiemix in Nederland is niet constant, het aandeel duurzame energie zal in de toekomst stijgen. Hierdoor zal ook de emissiefactor van elektriciteit afnemen in de toekomst. Dit heeft gevolgen voor de duurzaamheid van alle verwarmingsconcepten, omdat alle concepten elektriciteit verbruiken of produceren. Om deze gevolgen inzichtelijk te maken is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, zie Figuur 6.2. De figuur laat zien dat bij een lagere CO<sub>2</sub>-emissiefactor de WKK nog minder duurzaam wordt. Het effect op de duurzame verwarmingsconcepten is echter beperkt. Bij een CO<sub>2</sub>-emissiefactor

van 0 g CO<sub>2</sub>/kWh, voor groene stroom, zijn de concepten met een warmtepomp (concept 1, 2a en 3) extra interessant. De concepten met een laag elektriciteitsverbruik (concept 2b en 2c) worden relatief minder aantrekkelijk bij een lage CO<sub>2</sub>-emissiefactor van elektriciteit.

**FIGUUR 6.2** GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN DE VERMEDE CO<sub>2</sub>-EMISSION VAN DE VERSCHILLENDE VERWARMINGSCONCEPTEN, ALS FUNCTIE VAN DE CO<sub>2</sub>-EMISSIONFACTOR VAN ELEKTRICITEIT. DE PIJLTJES OP DE X-AS GEVEN DE CO<sub>2</sub>-EMISSIONFACTOREN WEER VAN ENERGIEMIX NL (337 G CO<sub>2</sub>/KWH) EN GRIJZE STROOM NL (456 G CO<sub>2</sub>/KWH). HET VERSCHIL TUSSEN CONCEPT 1. EFFLUENT WARMTEPOMP, CONCEPT 2A. SLIBWARMTEPOMP EN CONCEPT 3. LUCHTWARMTEPOMP IS ZO KLEIN DAT DE LIJNEN NAGENOEG GELIJKLOPEN IN DE GRAFIEK. HIERDOOR IS ALLEEN DE DONKERBLAUWE LIJN VAN CONCEPT 3. LUCHTWARMTEPOMP ZICHTBAAR



#### 6.4 METHAANEMISSIONS NA DE GISTING

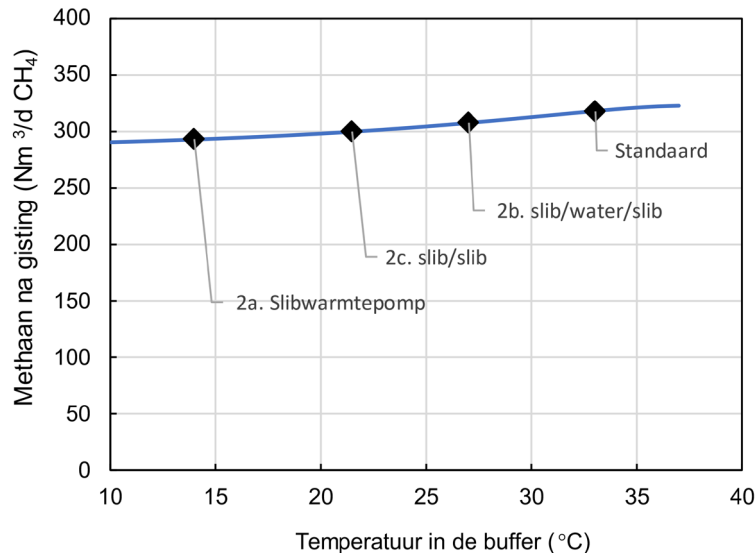
Tijdens het gistingproces wordt primair en secundair slib omgezet in methaan. Dit gistingproces vindt met name plaats in de gistingstank, maar ook na de gisting zal er methaan gevormd worden. Het gistingproces gaat door in de slibbuffer en de slibsilos doordat het slib nog niet volledig is afgebroken in de slibgisting. Daarnaast kan er ook sprake zijn van kortsluitstromen in de gistingstank, waarbij een klein deel van het ingaande slib een zeer korte verblijftijd heeft in de gistingstank. Dit deel van het slib komt nagenoeg onvergist in de slibbuffer terecht en kan daar omgezet worden in methaan.

De methaanemissionen na de gisting (uit de slibbuffer en slibsilos) kunnen een grote bijdrage leveren aan de totale CO<sub>2</sub> voetafdruk van de zuivering (STOWA 2016-09). De emissie van methaan uit de buffer en slibsilos is afhankelijk van de temperatuur, verblijftijd en kortsluitstromen in de slibgisting en van de verblijftijd en temperatuur in de buffer en slibsilos zelf. In het eerdergenoemde STOWA rapport (STOWA 2016-09) is het afkoelen van het uitgeste slib genoemd als maatregel om de emissie van methaan uit de slibbuffer te beperken. Bij de verwarmingsconcepten 2a-2c wordt warmte teruggewonnen uit uitgeste slib. Hierbij wordt het uitgeste slib afgekoeld tot een temperatuur van 14-30 °C. Zonder warmteterugwinning is de temperatuur van de uitgeste slibbuffer ca. 33 °C.

Het effect van het afkoelen van het uitgeste slib kan geschat worden met het methaanemissionenmodel dat is beschreven in het rapport 'Duurzaamheid van productie van biogas op rwzi's.' van de Unie van Waterschappen (Unie van Waterschappen, 2021). Dit model is gebaseerd op het veelgebruikte Chen & Hashimoto model en houdt daarbij ook rekening met kortsluitstromen in de gistingstank. De kortsluitstromen zijn geschat op basis van de verblijftijdsspreiding van een volledig gemengde tank. Voor een slibgistingstank met een verblijftijd

van 22 dagen heeft 4,4% van het ingaande slib een verblijftijd korter dan 1 dag. Deze fractie wordt beschouwd als kortsluitstroom.

**FIGUUR 6.3** EFFECT VAN TEMPERatuur IN DE SLIBBUFFER OP DE METHAANEMISSIE NA DE GISTING. DE ZWARTE DIAMANTEN GEVEN DE METHAANEMISSIE WEER VOOR CONCEPTEN 2A, 2B, 2C EN HET 'STANDAARD' CONCEPT WAARBIJ GEEN WARMTE ONTTROKKEN WORDT UIT UITGEGIST SLIB. IN HET CONCEPT STANDAARD HEEFT DE UITGEGIST SLIBBUFFER EEN TEMPERatuur VAN 33 °C



In Figuur 6.3 is het effect van temperatuur in de slibbuffer op de methaanemissie na de gisting weergegeven. Het effect van de temperatuur is beperkt, zelfs bij concept 2a, waarbij de slibbuffer actief gekoeld wordt met een warmtepomp tot een temperatuur van 14 °C. De gemodelleerde methaanemissie na de gisting bij concept 2a is 7,6% lager dan wanneer het uitgegiste slib niet afgekoeld wordt. Dit is een positief effect van het afkoelen van uitgegiste slib, maar het effect is niet zo groot als eerder gedacht. Dit komt onder andere door de kortsluitstromen in de gistingstank. Het slib dat nagenoeg onvergist in de slibbuffer terecht komt zal ook bij (iets) lagere temperaturen nog goed omgezet kunnen worden in methaan.

Het effect van het afkoelen van het uitgegiste slib is niet meegenomen in de CO<sub>2</sub>-voetafdruk om meerdere redenen. Allereerst is het effect op de methaanemissie (en daarmee op de CO<sub>2</sub>-voetafdruk) beperkt. Verder leidt het afkoelen van het slib mogelijk ook tot een verslechtering van de ontwatering. In een eerder onderzoek is geschat dat het afkoelen van slib tot 15 °C tot een verslechtering van 0,5% zou kunnen leiden (STOWA 2016-09). Dit betekent dat er meer energie nodig is in de slibeindverwerking en dat heeft ook een invloed op de duurzaamheid. Als laatste kan de slibbuffer ook afgezogen en gemengd worden met het biogas uit de slibgisting. Als dat het geval is, zijn de methaanemissies uit de slibbuffer niet meer relevant voor de duurzaamheidsvergelijking.

# 7

## KOSTEN

Belangrijke afwegingen in de keuze voor een duurzaam verwarmingsconcept zijn de investeringskosten en de operationele opbrengsten. In dit hoofdstuk worden deze kosten vergeleken, met een focus op de middelgrote mesofiele gisting. Het effect van schaalgrootte wordt ook meegenomen.

### 7.1 UITGANGSPUNTEN

De kostenvergelijking is gemaakt met de financiële uitgangspunten in Tabel 7.1. De kostenfactoren sluiten zoveel als mogelijk aan bij de economische situatie medio 2023. Sommige kostenfactoren kunnen erg fluctueren over de tijd, dit geldt met name voor de verkoopprijs van groen gas. De verkoopprijs van groen gas kan variëren doordat de aardgasprijs varieert, maar ook doordat er meer of minder subsidie beschikbaar komt voor groen gasproductie. Om inzicht te krijgen in het effect van de groen gasprijs op de kostenvergelijking is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de groen gasprijs (incl. subsidie) gevarieerd is van 1,00 tot 3,00 EUR/Nm<sup>3</sup>. De resultaten van deze analyse staan in paragraaf 7.5.

TABEL 7.1 GEBRUIKTE PARAMETERS VOOR DE KOSTENVERGELIJKING

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Inkoop energie			
Elektriciteit (all-in prijs)	EUR/kWh	0,20	
Warmte	EUR/GJ	28	
Verkoop groen gas (incl. HBE-subsidie)	EUR/Nm <sup>3</sup>	2,00	
Verkoop CO <sub>2</sub>	EUR/ton CO <sub>2</sub>	70	
Schaduwprijs CO <sub>2</sub> -equivalenten	EUR/ton CO <sub>2</sub> -eq	100	Unie van Waterschappen
Onderhoud (% van bouwkosten)	%	3	
Opslagfactor bouwkosten naar investeringskosten		1,8	

### 7.2 INVESTERINGSKOSTEN

Van elk duurzaam verwarmingsconcept zijn de kosten geraamd, op basis van de volgende overwegingen:

- Voor elk concept zijn de direct benoemde bouwkosten geraamd, waarbij de volgende componenten meegenomen zijn:
  - Biogasketel
  - Warmtepompen
  - Warmtewisselaars
  - Pompen voor slib, CV-water en effluent
  - Effluentfilter
  - Leidingwerk
  - Aansluitkosten warmtenet

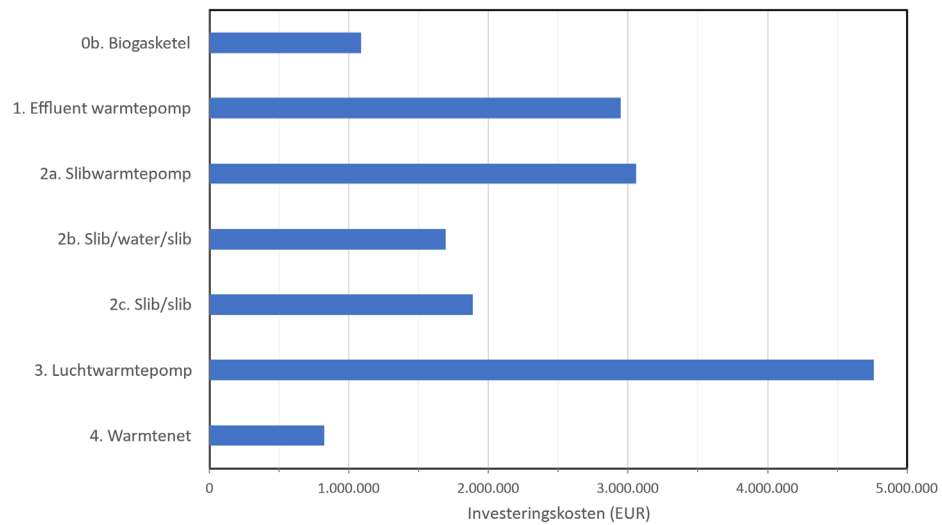
- Alleen de werktuigbouwkundige kosten zijn geraamd, omdat het voornamelijk om werktuigbouwkundige installaties gaat. Er is bijvoorbeeld geen kostenpost opgenomen voor een gebouw.
- Er is een opslag van 30% gebruikt voor onvolledigheid en daarbovenop een opslag van 30% voor onvoorziene kosten. Dit geeft samen de bouwkosten.
- Er is een opslagfactor van 1,8 (inclusief BTW) gebruikt om de bouwkosten te vertalen naar investeringskosten.

De investeringskosten van de verschillende concepten zijn weergegeven in Figuur 7.1. De investeringskosten variëren van 0,8 tot 4,8 M euro. Het concept warmtenet heeft de laagste investeringskosten, wat niet geheel verassend is. In deze studie is gerekend met een warmtetenntemperatuur van 70 °C, waardoor alleen slib/water warmtewisselaars, slibpompen en aansluitkosten nodig zijn. Hier staat tegenover dat de kosten van een warmtenet sterk afhankelijk zijn van de lokale situatie. Hierbij is vooral bepalend hoeveel geïsoleerd leidingwerk en hoeveel onderdoorgangen nodig zijn. De aansluitkosten van een warmtenet zijn zeer variabel en de kosten die in deze studie meegenomen zijn moeten als ondergrens beschouwd worden.

Het luchtwarmtepompconcept heeft de hoogste investeringskosten, van 4,7 M euro. Deze hoge kosten zijn het gevolg van de tweetraps warmtepomp die nodig is in de winter, bij de lage buitenluchttemperatuur. In de raming zijn nog geen kosten meegenomen voor de benodigde ventilatoren, dus de werkelijke investeringskosten van het luchtwarmteconcept zullen nog hoger zijn. Mogelijk kunnen de kosten verlaagd worden door te werken met een ééntraps warmtepomp, maar daar staat een hoger biogasverbruik tijdens de piekvraag tegenover. De optimale configuratie zal nader onderzocht moeten worden, met aandacht voor de lokale temperatuur over het hele jaar.

De concepten effluentwarmtepomp en slibwarmtepomp hebben hoge investeringskosten, van 2,9 en 3,1 M euro, respectievelijk. De hoge kosten zijn het gevolg van de complexiteit van deze concepten. De warmtepomp is een belangrijke kostenpost, maar daarnaast zijn er ook een effluentwarmtewisselaar en effluentfilter of slib/water warmtewisselaars voor de uitgeste slibbuffer nodig. De concepten slib/water/slib en slib/slib zijn relatief goedkoop, omdat er relatief weinig componenten nodig zijn. Kortom, de investeringskosten reflecteren de complexiteit van de duurzame verwarmingsconcepten.

**FIGUUR 7.1** **INVESTERINGSKOSTEN VAN DE VERSCHILLENDE DUURZAME VERWARMINGSCONCEPTEN VOOR EEN MESOFIELE SLIBGISTING MET EEN SCHAALGROOTTE VAN 400 M<sup>3</sup>/D. IN DE CONCEPTEN 1 T/M 3 IS OOK EEN BIOGASKETEL VOOR DE PIEKWARMTEVRAAG MEEGONOMEN IN DE RAMING**



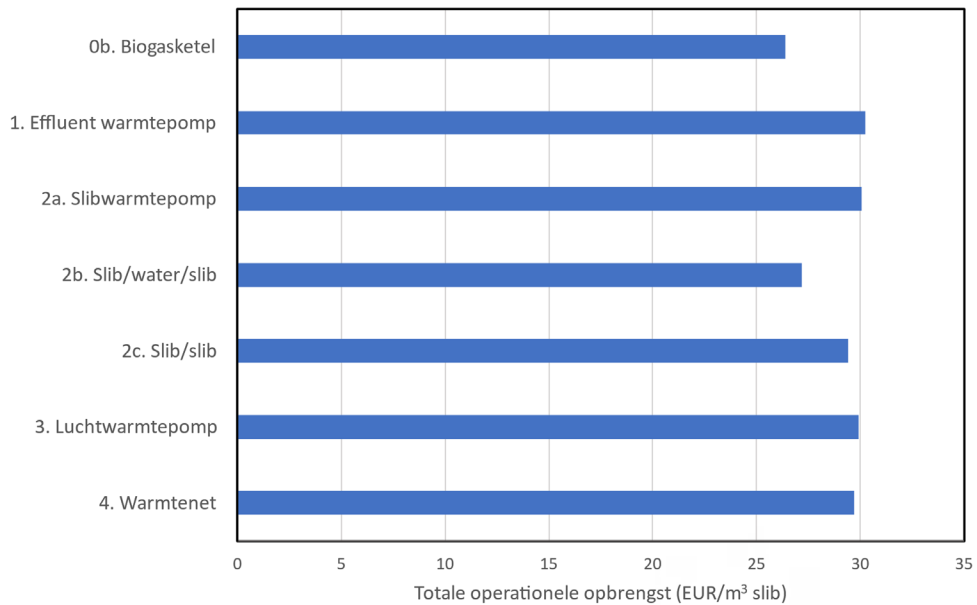
### 7.3 OPERATIONELE OPBRENGST

De duurzame verwarmingsconcepten zorgen voor een hogere groen gasproductie en daarmee voor extra inkomsten. De volgende posten zijn meegenomen in de operationele opbrengst:

- Opbrengst van geproduceerd groen gas incl. subsidie
- Opbrengst van afgevangen CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub>-equivalenten taks
- Inkoop elektriciteit voor warmtepompen, warmtewisselaar pompen, effluent pompen, ventilatoren en de groen gasinstallatie
- Inkoop warmte uit een warmtenet

De operationele opbrengst van de duurzame verwarmingsconcepten is weergegeven in Figuur 7.2. Er is voor gekozen om de opbrengst weer te geven en niet de kosten, omdat alleen relevante operationele kosten en opbrengsten meegenomen zijn. Operationele kosten voor het bedienen van de gisting, ontwatering, etc. zijn niet meegenomen in de vergelijking. Het gaat hier vooral om de vergelijking tussen het referentieconcept biogasketel en de duurzame verwarmingsconcepten. Wat opvalt is dat de opbrengst van de concepten met een warmtepomp het hoogst zijn. Deze concepten produceren het meeste groen gas, wat zich vertaalt in een hoge opbrengst. Concept 2c. slib/slib scoort ook relatief goed, doordat het elektriciteitsverbruik laag is.

**FIGUUR 7.2** TOTALE OPERATIONELE OPBRENGST VOOR DE VERSCHILLENDE VERWARMINGSCONCEPTEN VOOR EEN MIDDELGROTE MESOFIELE SLIBGISTING (SLIBDEBIET 400 M<sup>3</sup>/D)



#### 7.4 TERUGVERDIENTIJD VAN DE EXTRA INVESTERING

Duurzame verwarmingsconcepten met een korte terugverdientijd zijn een interessante optie voor een waterschap. Omdat deze studie over duurzaam verwarmen gaat, en niet direct over groen gasproductie, wordt er geen vergelijking gemaakt tussen een WKK en een groen gasinstallatie. De terugverdientijd is als volgt berekend:

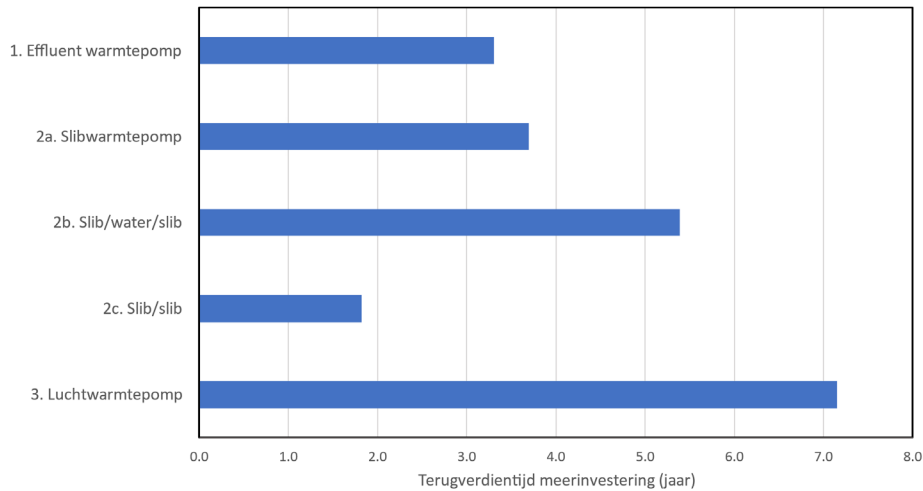
$$\text{Terugverdientijd} = \frac{\text{Extra investeringskosten}}{\text{Extra opbrengsten} - \text{Extra kosten}}$$

De extra investeringskosten, extra opbrengsten en extra kosten zijn berekend met het verwarmen met enkel een biogasketel als referentie. De terugverdientijd gaat dus alleen over het duurzame verwarmingsconcept zelf. De terugverdientijd houdt geen rekening met rente over de investering, zodat de terugverdientijd een intuïtieve en eenvoudige parameter blijft.

De berekende terugverdientijden zijn weergegeven in Figuur 7.3. Alle duurzame verwarmingsconcepten hebben een relatief korte terugverdientijd van minder dan 5 jaar, behalve het luchtwarmtepompconcept en het slib/water/slib concept. Dit betekent dat bijna alle concepten financieel aantrekkelijke investeringen zijn. De opbrengst van het extra geproduceerde groen gas is dusdanig hoog, dat de investeringen snel terugverdiend kunnen worden. Het luchtwarmtepomp concept heeft de langste terugverdientijd, wat vooral veroorzaakt wordt door de hoge investeringskosten met dit concept. De effluentwarmtepomp en slibwarmtepompconcepten hebben een terugverdientijd van ongeveer 3,5 jaar. Deze concepten hebben ook hoge investeringskosten (zie Figuur 7.1). Het slib/slibconcept heeft een terugverdientijd van minder dan 2 jaar. Voor dit concept zijn de investeringskosten beperkt en de baten hoog. Voor het warmtenetconcept is geen terugverdientijd te berekenen, doordat de investering voor een warmtenet lager is dan voor een biogasketel. Er is dus geen extra investering die terugverdiend moet worden. Dit hangt echter sterk af van de lokale omstandigheden en de afstand waarover warmte getransporteerd moet worden. Bij een grote afstand tussen de warmtebron en de rwzi kunnen de investeringskosten van een warmtentaansluiting wel degelijk hoger zijn dan de investeringskosten van een biogasketel.



**FIGUUR 7.3 TERUGVERDIENTTIJD VAN DE MEERINVESTERING TEN OPZICHTE VAN DE BIOGASKETEL VOOR DE VERSCHILLENDE CONCEPTEN VOOR EEN MIDDELGROTE MESOFIELE SLIBGISTING (SLIBDEBIET 400 M<sup>3</sup>/D). HET CONCEPT WARMTENET HEEFT GEEN TERUGVERDIENTTIJD, DOORDAT DE INVESTERINGSKOSTEN VOOR EEN WARMTENET LAGER ZIJN DAN VOOR EEN BIOGASKETEL**



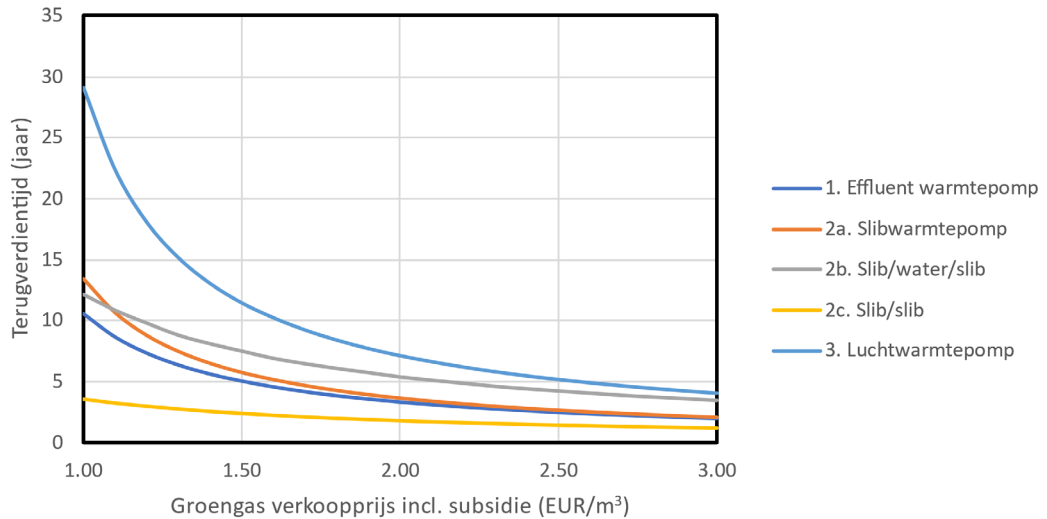
## 7.5 EFFECT VAN DE GROEN GASPRIJS

De business case van de verschillende duurzame verwarmingsconcepten is sterk afhankelijk van de groen gasprijs. De concepten gaan allemaal gepaard met een investering, die terugverdiend wordt door de extra groen gasproductie. Bij een hogere groen gasprijs zal de investering sneller terugverdiend zijn. Om het effect van de groen gasprijs, inclusief subsidie, op de terugverdiëntijd inzichtelijk te krijgen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De groen gasprijs is gevarieerd van 1,00 tot 3,00 euro/m<sup>3</sup>. Dit is de prijs inclusief subsidie, dat bij een HBE-subsidie ongeveer 0,50 euro/m<sup>3</sup> is.

In Figuur 7.4 zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse te zien. Bij een lage groen gasprijs (incl. subsidie) van 1,00 euro/m<sup>3</sup> is de terugverdiëntijd van concept 1, 2a, 2b en 3 lang, zelfs meer dan 10 jaar. Alleen concept 2c, met een slib/slib warmtewisselaar, heeft bij een lage groen gasprijs nog steeds een korte terugverdiëntijd. Het financiële risico van het slib/slib concept is daardoor lager dan van de andere concepten. Bij een hoge groen gasprijs (incl. subsidie) van 3,00 euro/m<sup>3</sup> is de terugverdiëntijd van alle concepten minder dan 5 jaar.

FIGUUR 7.4

EFFECT VAN GROEN GASPRIJS (INCL. SUBSIDIE) OP TERUGVERDIENTTIJD VAN VERSCHILLENDE CONCEPTEN



## 7.6 EFFECT VAN SCHAALGROOTTE

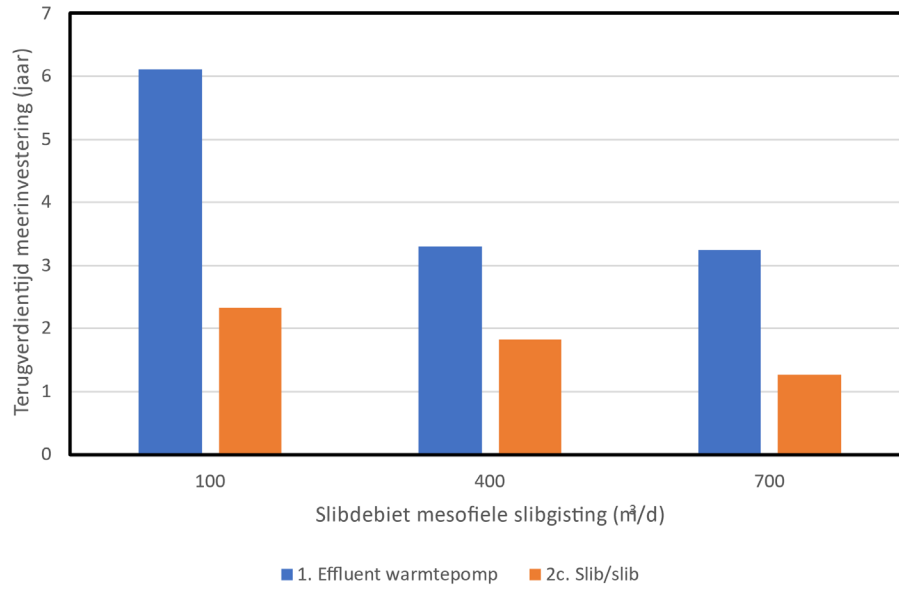
Voor de investeringskosten van de duurzame verwarmingsconcepten voor kleine en grote slibgistingen moet rekening gehouden worden met een schaal-effect. Bij een kleine slibgisting zullen de investeringskosten naar verhouding hoger zijn dan bij een grote slibgisting. In deze studie zijn twee verwarmingsconcepten uitgewerkt voor een kleine, middelgrote en grote slibgisting, zie ook paragraaf 5.2. Het gaat om de verwarmingsconcepten:

- Effluentwarmtepomp
- Slib/slib warmtewisselaar.

In Figuur 7.5 is de terugverdiëntijd weergegeven voor de verschillende schaalgroottes. De terugverdiëntijd is lager voor de grotere slibgistingen, dit komt door het schaalvoordeel in de investeringen. Voor concept 1. Effluentwarmtepomp is met name de terugverdiëntijd van de kleinste schaal slibgisting (met een slibdebiet van 100 m<sup>3</sup>/d) relatief hoog (6 jaar). Dit geeft aan dat een effluentwarmtepomp minder geschikt is voor kleine slibgistingen, ook al is de terugverdiëntijd nog steeds redelijk. Vanaf 400 m<sup>3</sup>/dag geldt een terugverdiëntijd van ruim 3 jaar voor een effluentwarmtepomp.

Voor concept 2c. Slib/slib is de terugverdiëntijd voor de kleinste schaalgrootte iets meer dan 2 jaar. Voor de grotere slibgistingen is de terugverdiëntijd daalt de terugverdiëntijd naar ruim 1 jaar bij 700 m<sup>3</sup> slib/dag. Een slib/slib warmtewisselaar is dus financieel aantrekkelijk voor zowel kleine als grote slibgistingen.

FIGUUR 7.5 TERUGVERDIENTIJT VAN DE MEERINVESTERING VOOR EEN MESOFIELE SLIBGISTING VAN VERSCHILLENDE SCHAALGROOTTES



# 8

## DISCUSSIE

### 8.1 PRAKTIJKERVARINGEN WARMTEWINNING UIT EFFLUENT EN SLIB

In Nederland is op enkele rwzi's ervaring opgedaan met de winning van warmte uit effluent en in mindere mate met de winning van warmte uit slib. Op de rwzi's Apeldoorn, Raalte, Harnaschpolder en Nieuwveen wordt met warmtewisselaars en warmtepompen warmte onttrokken uit effluent. Deze systemen zijn inmiddels al meerdere jaren in bedrijf en functioneren over het algemeen goed. Een belangrijke les die geleerd is, is dat buis-in-buis warmtewisselaars robuuster zijn dan platenwisselaars omdat ze minder gevoelig zijn voor verstopping door biofilm of zwevend stof.

Een voorgeschakeld filter (Boll & Kirch) is noodzakelijk om vervuiling van filters tegen te gaan. Om corrosie door micro-organismen tegen te gaan kan de warmtewisselaar voorzien worden van een titanium coating of volledig in titanium worden uitgevoerd. De afweging tussen betere (duurdere) materialen (bijv. titanium en zelfreinigende filters) versus hogere onderhoudskosten is van belang in het opstellen van de businesscase. De warmtewisselaar kan gereinigd worden door (automatisch) terugspoelen.

Bij ontwerp van het systeem dient rekening te worden gehouden met temperatuurwisselingen in het effluent, wat gevolgen heeft voor de efficiëntie en capaciteit van het systeem. Bij warmtepompen kunnen er problemen ontstaan met de vorstbeveiliging of bevroering, hier dient rekening mee gehouden te worden in het ontwerp. Voor continuïteit in de warmtelevering moet een back-up, zoals een biogasketel, toegepast worden. Monitoring van de prestaties (drukval) wordt aangeraden, zodat problemen als vervuiling snel gedetecteerd en opgelost kunnen worden.

Wat de winning van warmte uit digestaat betreft is er ervaring met slib/water buizenwarmtewisselaars. Op Tiel stonden buizenwisselaars (counterflow) waarmee de slibtoevoer (mengsel van primair, surplus en extern slib) van de gisting werd verwarmd met warmte uit het digestaat. Wegens verstoppingsproblematiek van de afvoerpomp, leidingwerk en mechanische indickers is de installatie uit bedrijf genomen.

### 8.2 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Effluentwarmtepompen zijn al vaker toegepast en de technische haalbaarheid hiervan is bewezen (zie paragraaf 3.2.1). Er zijn echter ook voor de effluentwarmtepomp nog uitdagingen, zoals het type effluentwarmtewisselaar dat gebruikt wordt. Andere duurzame verwarmingsconcepten, zoals de slib/slib warmtewisselaar, zijn nog grotendeels onbekend in Nederland. De technische haalbaarheid van dit concept is dus nog niet bewezen, ook al wordt dit concept al wel toegepast in Noord-Amerika.

Het belangrijkste aandachtspunt bij de technische haalbaarheid van de slib/water warmtewisselaar, is de verstopping van de warmtewisselaar. Op rwzi Tiel zijn slib/water buizenwarmtewisselaars gebruikt om de slibtoevoer (mengsel van primair, surplus en extern slib) te verwarmen met warmte uit digestaat. Deze warmtewisselaars zijn inmiddels buiten gebruiken, vanwege de problemen met verstopping (zie paragraaf 3.2.2). De verstoppings-

problemen treden vooral op aan de aanvoerkant, met koud, onvergist slib. Verstoppingen kunnen voorkomen worden door een versnijder te gebruiken voor de warmtewisselaar. Een andere mogelijkheid is om de warmtewisselaars van DDI Heat Exchanger te testen. Deze warmtewisselaars zouden niet of nauwelijks gevoelig moeten zijn voor verstoppingen. De leverancier claimt zelfs dat een drogestofgehalte van 8% of hoger niet tot problemen leidt. Een praktijktest zal uit moeten wijzen of de claims van de leverancier ook in de praktijk gerealiseerd kunnen worden.

### 8.3 VERWARMEN INGAAND SLIB OF RECIRCULATIESLIB

Om een slibgisting op de gewenste temperatuur te houden zijn er twee manieren van verwarmen mogelijk: verwarmen van het ingaande slib of verwarmen van een recirculatiestroom. Bij slibgistingen met een WKK of biogasketel is de tweede manier het meest gebruikelijk. Het verwarmen van een recirculatiestroom heeft meerdere voordelen, zoals de lagere viscositeit van het slib. Daarnaast is de warmteoverdracht niet afhankelijk van de aanvoer van het slib. Het nadeel van het verwarmen van een recirculatiestroom is dat het temperatuurverschil ( $\Delta T$ ) tussen de koude stroom en de warme stroom kleiner is dan bij het verwarmen van het ingaande slib. Echter, doordat het warme water uit een biogasketel een hoge temperatuur (70-80 °C) heeft, is dit geen probleem. Op rwzi Bath, Zeeland, wordt een mengsel van digestaat uit de gisting en ingedikt slib via twee slib/water warmtewisselaars de gisting in gepompt. Digestaat en ingedikt slib worden gemengd om de viscositeit te verlagen en daarmee de warmteoverdracht te verhogen. De operationele ervaringen op rwzi Bath zijn goed. Op rwzi Nieuwveer zijn dezelfde warmtewisselaars toegepast. Hier wordt, op moment van schrijven, overgegaan op thermofiele vergisting. Zodra dit gerealiseerd is zal het ingedikt slib via de warmtewisselaar in de USOMT (uitgegist slib opslag- en mengtank) en daarna door de warmtewisselaars in de gisting worden gepompt.

De meeste duurzame verwarmingsconcepten leveren alleen warmte met een lage temperatuur. De effluentwarmtepomp in dit rapport levert bijvoorbeeld water met een temperatuur van ca. 50 °C. Dit betekent dat de  $\Delta T$  met de slibgisting veel lager is dan wanneer een biogasketel gebruikt wordt voor de verwarming. Een lage  $\Delta T$  is ongunstig voor de warmteoverdracht, dus zijn grotere warmtewisselaars nodig. Als het ingaande slib verwarmd wordt, dan is de  $\Delta T$  groter, doordat het ingaande slib een temperatuur heeft van 10-20 °C. Bij het toepassen van een duurzaam verwarmingsconcept zal een keuze gemaakt moeten worden of het ingaande of het recirculatieslib verwarmd wordt. Hierbij spelen lokale omstandigheden een rol. Als de variaties in het slibdebiet klein zijn, of als een slibbuffer aanwezig is, dan is het verwarmen van ingaand slib een interessante optie. Bij grote variaties in het debiet is het verwarmen van een recirculatiestroom meer geschikt.

Er zijn ook combinaties mogelijk van de twee configuraties. Bijvoorbeeld in concept 2b en 2c (zie paragraaf 4.2.5 en 5.1) wordt het ingaande slib verwarmd door een slib/water/slib of slib/slib warmtewisselaar. Dit voorziet in een deel van de warmtevraag en het andere deel wordt geleverd door een biogasketel die een recirculatiestroom verwarmd. Een ander alternatief is om met behulp van kleppen en leidingen flexibiliteit te creëren. Hiermee kan in de standaard situatie ingaand slib verwarmd worden, waarbij slib uit de gisting gerecirculeerd kan worden over dezelfde warmtewisselaar als er geen ingaand slib beschikbaar is.

Een belangrijk aandachtspunt bij het verwarmen van het ingaande slib is de viscositeit van het koude, onvergiste slib. Dit slib heeft een hoge viscositeit en daardoor een lage turbulentie in de warmtewisselaar. Voor een goede en efficiënte warmteoverdracht is juist een hoge turbulentie gewenst. Door de lage warmteoverdracht van onvergist slib zijn er relatief grote warmtewisselaars nodig om deze stroom efficiënt op te warmen. Als alternatief kan ook onvergist slib gemengd worden met slib uit de gisting om de viscositeit te verlagen, zoals op rwzi Bath toegepast worden. Daarnaast is er internationaal ook ervaring met het opwarmen van koud slib met de warmtewisselaars van DDI Heat Exchangers, onder andere op rwzi Waterloo in Canada. Op die zuivering wordt koud slib opgewarmd met CV-water en deze installatie functioneert al bijna 10 jaar zonder problemen. Let op, de warmtewisselaars van DDI Heat Exchangers worden hier niet gebruikt als slib/slib warmtewisselaar, maar als slib/water warmtewisselaar.

#### 8.4 BIOGASKETEL OF ELEKTRISCHE BOILER

In de kosten- en duurzaamheidsvergelijking is een biogasketel gebruikt als referentiescenario en voor de piekwarmtevraag in de duurzame verwarmingsconcepten. Een biogasketel is een bekende technologie en biogas is vrijwel altijd beschikbaar. Er kunnen echter lokaal strenge eisen gesteld worden aan de NO<sub>x</sub> uitstoot, waardoor een biogasketel niet toegepast mag worden. Dit zal met name spelen bij een groene weidesituatie, maar ook bij het uitbreiden van de gistingcapaciteit in het kader van centralisatie. Als een biogasketel niet toegestaan is, dan is een elektrische boiler een mogelijk alternatief. Het toepassen van een elektrische boiler heeft mogelijk een effect op de duurzaamheids- en kostenvergelijking.

Om 1 GJ aan warmte te leveren met een biogasketel (95% efficiëntie) is er 49 Nm<sup>3</sup> biogas nodig. Dit biogas had opgewerkt kunnen worden tot 33 Nm<sup>3</sup> groen gas. Als dat was gedaan, dan had het 66 euro opgeleverd en een vermeden CO<sub>2</sub>-voetafdruk, van 63 kg CO<sub>2</sub>. De waarde van het biogas wat gebruikt wordt om de 1 GJ aan warmte te leveren is dus 66 euro en de voetafdruk is 63 kg CO<sub>2</sub>. Met een elektrische boiler (99% efficiëntie) is 281 kWh nodig om ook 1 GJ aan warmte te leveren. Deze elektriciteit kost 56 euro en heeft een voetafdruk van 95 kgCO<sub>2</sub>. Kortom, de biogasketel is een duurzamer alternatief, maar de elektrische boiler heeft lagere operationele kosten. Dit komt onder andere door de subsidie op groen gas en de hoge gasprijs waarmee gerekend is in deze studie. Bij een lagere gasprijs of bij het wegvallen van subsidie zal de biogasketel lagere energiekosten hebben. Operationeel gezien is er dus waarschijnlijk weinig verschil tussen een biogasketel en een elektrische boiler. Een elektrische boiler vraagt een groot vermogen waardoor deze alleen te realiseren is bij een voldoende grote aansluiting.

#### 8.5 VERMINDEREN VAN DE WARMTEVRAAG

Naast het duurzaam verwarmen van een slibgisting is het ook mogelijk om de warmtevraag te verkleinen, bijvoorbeeld door betere isolatie of door indikken van het slib. In dit rapport is een goed geïsoleerde gisting en slib met een drogestofgehalte van 6% als uitgangspunt gebruikt. Dit is een optimale situatie die in de praktijk niet altijd van toepassing is.

Het verhogen van het drogestofgehalte heeft meerdere voordelen en is daarom ook al vaak door waterschappen uitgevoerd. Een hoger drogestofgehalte zorgt naast een kleinere warmtevraag ook voor een langere verblijftijd in de slibgisting en hogere concentraties stikstof en fosfaat in het rejectiewater. Het drogestofgehalte kan echter niet onbepaald verhoogd worden. Bij te hoge drogestofgehalten zal de warmteoverdracht in de warmtewisselaars afnemen en is het risico op verstoppingen ook hoger. Het optimale drogestofgehalte zal afhangen van

het type slib en de viscositeit. De toegevoegde waarde van het verhogen van het drogestofgehalte zal daarom per geval bekeken moeten worden. Een drogestofgehalte van 6% van het ingaande slib wordt in de praktijk al veel toegepast en lijkt niet tot grote problemen te leiden.

Het verbeteren van de isolatie van een slibgisting kan ook een interessante maatregel zijn om de warmtevraag te verkleinen. Als uitgangspunt voor het warmteverlies van de slibgistingstank is in deze studie uitgegaan van een goed geïsoleerde tank met een warmte-doorgangscoefficiënt van  $0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Om inzicht te krijgen in het warmteverlies van minder goed geïsoleerde tanks is tevens het warmteverlies berekend van een gemiddeld, en slecht geïsoleerde slibgisting, allebei voor een middelgrote mesofiele gisting (slibtoevoer  $400 \text{ m}^3/\text{d}$ ). Voor de gemiddeld geïsoleerde slibgisting is uitgegaan van  $70 - 100 \text{ mm}$  isolatie wat resulteert in een warmteverlies van  $0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Voor slecht geïsoleerde tanks is  $50 \text{ mm}$  isolatie aangehouden wat resulteert in een warmte-doorgangscoefficiënt van  $0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Een goed geïsoleerde tank verliest  $16 \text{ kW}$  aan warmte. Voor gemiddeld geïsoleerde tanks bedraagt het warmteverlies  $33 \text{ kW}$  en voor slecht geïsoleerde tanks  $50 \text{ kW}$ , wat neer komt op circa 10% van de totale warmtevraag van de slibgisting.

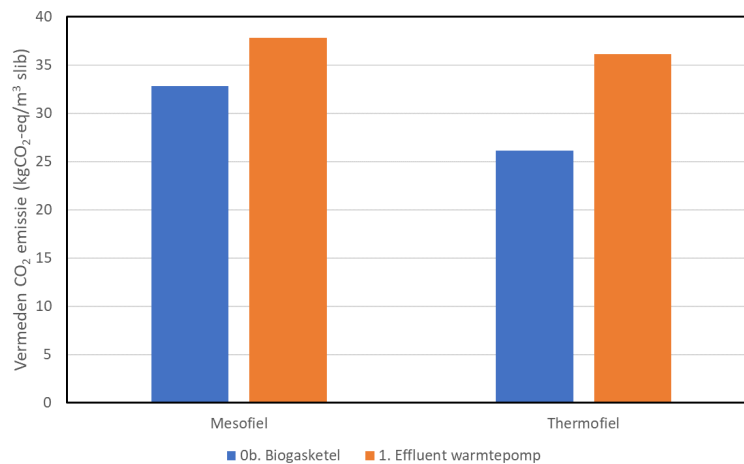
De warmtevraag kan dus maximaal met  $34 \text{ kW}$  afnemen door een gisting te isoleren, dit is ongeveer 8% van de totale warmtevraag. Hieruit blijkt dat het overgrote deel van de warmtevraag bestaat uit het verwarmen van het slib en dat warmteverlies zelfs voor slecht geïsoleerde gistingen een beperkte rol speelt. De voordelen van het isoleren moeten opwegen tegen de investeringskosten. Deze investering is echter sterk afhankelijk van de lokale situatie, hoe de gisting gebouwd is en hoeveel mogelijkheden er zijn om een extra isolatielaag aan te brengen. Het zal daarom per geval bekeken moeten worden of isoleren een kosteneffectieve maatregel is. Het is aannemelijk dat in sommige gevallen de gisting isoleren niet kosteneffectief is en dat het duurzame verwarmingsconcept iets groter uitgelegd moet worden.

## 8.6 DUURZAAM VERWARMEN VAN EEN THERMOFIELE GISTING

Op dit moment zijn verreweg de meeste gistingen in Nederland uitgevoerd als mesofiele slibgisting. Het is echter goed mogelijk dat er in de toekomst meer thermofiele gistingen toegepast gaan worden, doordat de afbraak bij thermofiele temperaturen sneller verloopt dan bij mesofiele temperaturen. Dit betekent dat een thermofiele gisting meer slib kan verwerken dan een mesofiele gisting van dezelfde grootte. De warmtehuishouding van een thermofiele gisting is echter wel anders dan die van een mesofiele gisting.

De warmtevraag van een thermofiele gisting is 78% hoger dan bij een mesofiele gisting, doordat het slib verder opgewarmd moet worden en doordat het warmteverlies groter is (zie ook paragraaf 5.3). Als een biogasketel gebruikt wordt om een thermofiele gisting op temperatuur te houden is er ca. 40% van het biogas nodig voor het verwarmen en de overige 60% kan gebruikt worden om groen gas te produceren. Ter vergelijking, voor een mesofiele gisting is slechts 22% van het biogas nodig voor het verwarmen. Dit betekent dat een duurzaam verwarmingsconcept meer toegevoegde waarde heeft voor een thermofiele gisting dan voor een mesofiele gisting, in elk geval wat duurzaamheid betreft. Bij een thermofiele gisting kan er meer biogas bespaard worden door de gisting op een duurzame manier te verwarmen. Het biogas kan opgewerkt worden tot groen gas, waardoor het totale concept duurzamer wordt. Dit effect is goed te zien in Figuur 8.1.

**FIGUUR 8.1** DUURZAAMHEID VAN DE BIOGASKETEL EN EFFLUENTWARMTEPOMP VOOR EEN MESOFIELE GISTING MIDDELGROOT (SLIBDEBIET 400 M<sup>3</sup>/D) EN EEN THERMOFIELE GISTING (SLIBDEBIET 400 M<sup>3</sup>/D). DE TOENAME IN VERMEDEN CO<sub>2</sub>-EMISSIE IS HET GROOTST VOOR DE THERMOFIELE GISTING



Het concept effluentwarmtepomp voor een thermofiele gisting is uitgewerkt in paragraaf 5.3. Een tweetrapswarmtepomp is nodig bij een thermofiele gisting omdat een hogere aanvoertemperatuur nodig is om de gisting op temperatuur te houden. Er is ook meer effluent nodig en alle warmtewisselaars worden groter. Kortom, het effluentwarmtepompconcept wordt complexer als het toegepast wordt op een thermofiele gisting. De investeringskosten zullen daardoor ook hoger uitvallen. Er zal een afweging gemaakt moeten worden of de extra duurzaamheidswinst opweegt tegen de hogere investeringskosten. Bij thermofiele gistingen is het warmteverlies met het uitgegiste slib ook extra groot. Het kan daarom interessant zijn om bij een thermofiele gisting een slib/slib warmtewisselaar toe te passen, of een nagisting op mesofiele temperatuur. Op die manier wordt de warmte het meest efficiënt benut.

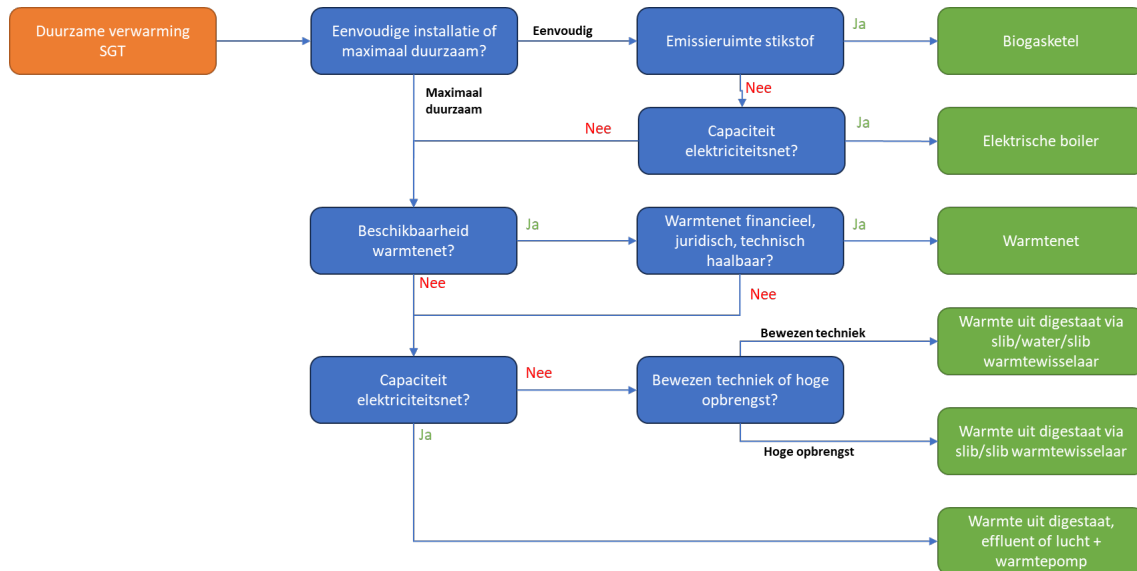
## 8.7 WARMTE-ONTTREKKING UIT EFFLUENT

Bij het onttrekken van warmte uit effluent is er in deze studie van uitgegaan dat het effluent continue beschikbaar is. Dit heeft als voordeel dat de warmtelevering onafhankelijk is van de aanvoer. Direct warmte onttrekken uit effluent wordt op rwzi Echten gerealiseerd door effluent te onttrekken uit de effluentput die nageschakeld is aan de nabezinktank. Dit effluent wordt vervolgens over een warmtewisselaar geleid. De effluentput staat in verbinding met de effluentgoot zodat er altijd effluent beschikbaar is als een nabezinktank uit bedrijf genomen wordt. Ook op Beverwijk gaat de warmte onttrokken worden uit de effluentkelder. Wellicht is het ook mogelijk om de warmte direct te onttrekken uit de nabezinktank, waarbij de nabezinktank fungeert als een warmtebuffer. Dit kan een interessant alternatief zijn indien warmte onttrekking uit de effluentput of effluentgoot niet haalbaar is. Een randvoorwaarde daarbij is dat de slibspiegel van de nabezinktank niet verstoord wordt. De haalbaarheid van directe warmte onttrekking uit de nabezinktank dient in een vervolgfase vastgesteld te worden.



## 8.8 BESLISSHEMA EN MCA

De resultaten van deze studie zijn verwerkt in onderstaand beslisschema wat kan helpen om tot een keuze voor een duurzaam verwarmingsconcept te komen. Aan de hand van een aantal basiskeuzes zoals investeringsruimte, emissieruimte voor stikstof en de capaciteit van het elektriciteitsnet kan het beslisschema doorlopen worden. Aan de hand van de kenmerken van de verschillende verwarmingsconcepten is vervolgens een semi kwantitatieve MCA opgesteld.



In bovenstaand schema is te zien dat een biogasketel een eenvoudige keuze is die als enige randvoorwaarde heeft dat er voldoende emissieruimte is voor stikstof. De biogasketel is minder duurzaam dan andere concepten maar heeft als voordeel dat deze geen elektriciteit verbruikt waardoor het stroomverbruik van de zuivering niet toeneemt. Concepten met een warmtewisselaar en warmtepomp verbruiken stroom waardoor de stroomvraag van een rwzi met circa 10% toe kan nemen (afhankelijk van de kenmerken van de rwzi). Daar bovenop komt het stroomverbruik van de groen gas en CO<sub>2</sub> installatie wat eveneens een toename van circa 10% betekent. Bij veel rwzi's is de combinatie van groen gas en duurzaam verwarmen met warmtepompen op dit moment niet te realiseren vanwege netcongestie.

In Tabel 8.1 zijn de afzonderlijke verwarmingsconcepten kwalitatief beoordeeld op verschillende criteria. De duurzame verwarmingsconcepten in combinatie met de productie van groen gas zijn vergeleken met de referentie situatie waarbij biogas wordt omgezet in een WKK. De onderbouwing voor de scores is opgenomen in Bijlage 8. Te zien is dat de biogasketel als duurzame verwarmingsbron op de meeste aspecten goed scoort. Alleen op het aspect duurzaamheid scoort de slib/slib warmtewisselaar in combinatie met een biogasketel beter dan enkel een biogasketel. Ook de concepten waarbij warmte gewonnen wordt uit effluent of digestaat, in combinatie met een warmtepomp, zijn duurzamer dan een biogasketel.

TABEL 8.1 SCORE VAN DUURZAME VERWARMINGSCONCEPTEN ICM GROEN GAS PRODUCTIE IN VERGELIJKING MET REFERENTIE WKK

Aspect	Biogas-ketel	E-boiler	Warmte uit eff +WP+ biogasketel	Warmte uit digestaat+ WP+ biogasketel	s/w/s ww + biogasketel	s/s ww+ biogasketel	Lucht WP + biogasketel	Warmte net
Netcapaciteit	0	--	-	-	0	0	-	0
Complexiteit	++	+	--	--	0	0	-	+
Bewezen technologie	++	++	+	0	+	--	0	++
Beheer en onderhoud	++	++	-	-	0	+	0	++
Storingsgevoeligheid	0	0	-	-	-	0	0	0
Duurzaamheid	+	-	++	++	+	++	++	*
Kosten	++	+	0	0	0	+	***	**

\*afhankelijk van de duurzaamheid van de betreffende warmte

\*\*afhankelijk van het warmte tarief

\*\*\*afhankelijk van de configuratie (één of tweetraps)

# 9

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 9.1 CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie van deze studie is dat de beschouwde verwarmingsconcepten de duurzaamheid van de rwzi vergroten en daarnaast ook financieel aantrekkelijk zijn. Het duurzaam verwarmen van een slibgisting is zinvol te noemen en kan een bijdrage leveren aan het verkleinen van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk en het vergroten van de energieneutraliteit van de waterschappen.

Aan de andere kant geldt dat het effect van de verwarmingsconcepten op de CO<sub>2</sub>-voetafdruk kleiner dan het effect van het vervangen van een WKK door een groen gasinstallatie. Als een WKK vervangen wordt door een groen gasinstallatie met een effluentwarmtepomp daalt de CO<sub>2</sub>-voetafdruk met 25,5 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib. Als een WKK vervangen wordt door een groen gasinstallatie met een biogasketel daalt de CO<sub>2</sub>-voetafdruk met 20,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib. Dit geeft aan dat het effect van de groen gasinstallatie op de CO<sub>2</sub>-voetafdruk ongeveer 4 keer zo groot is als het effect van de effluentwarmtepomp. Het verwarmen van een slibgisting met een biogasketel, in combinatie met groen gasproductie, is dus ook al een duurzaam concept ten opzichte van een WKK.

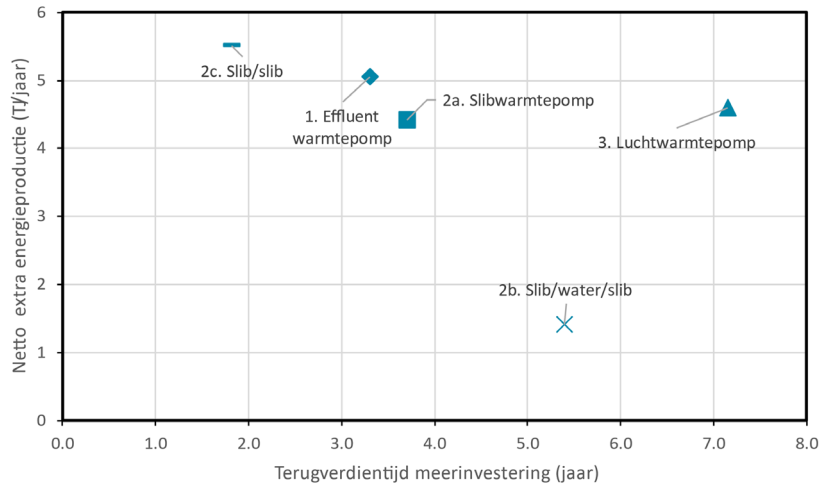
Er zijn zes verschillende duurzame verwarmingsconcepten vergeleken en al deze concepten zijn duurzamer dan het verwarmen met een biogasketel. De CO<sub>2</sub>-voetafdruk neemt af met 1,0-5,4 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> slib door het toepassen van de duurzame verwarmingsconcepten. De terugverdientijd van de concepten varieert van 2 tot 7 jaar. De afname in CO<sub>2</sub>-voetafdruk en beperkte terugverdientijd geeft aan dat alle concepten een goede keuze kunnen zijn, afhankelijk van de lokale omstandigheden. Toch kan er op basis van de vergelijking in deze studie onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende verwarmingsconcepten. Er zijn twee verwarmingsconcepten die met name interessant zijn:

**Warmte uit effluent met een warmtepomp.** Effluentwarmte is een bekende en bewezen warmtebron in Nederland. Het wordt al langer toegepast voor de verwarming van gebouwen en sinds kort ook voor de verwarming van een slibgisting, op rwzi Sleeuwijk. De warmtepomp is een volwassen technologie die in de praktijk goed functioneert en toekomstbestendig is. Door het effluentwarmteconcept toe te passen kan er maximaal groen gas geproduceerd worden. Er is nog slechts 3% van de totale biogasproductie nodig om in de piekwarmtevraag te voorzien. Het concept heeft een hoge netto energieproductie en een korte terugverdientijd van ongeveer 3,3 jaar (zie Figuur 9.1). Het concept heeft na het warmtenet concept de grootste afname in CO<sub>2</sub>-voetafdruk van alle beschouwde concepten.

**Warmte uit digestaat met een slib/slib warmtewisselaar.** Het slib/slib concept is nog onbekend in Nederland, maar het kan een interessant alternatief zijn om op een eenvoudige manier te voorzien in een groot deel van de warmtevraag (> 60%). Voor het resterende deel van de warmtevraag moet 10% van het geproduceerde biogas in een biogasketel verbrand worden. Met dit concept wordt er efficiënt warmte teruggewonnen uit het uitgegiste slib, waardoor het elektriciteitsverbruik laag is. Het slib/slib concept is hierdoor extra interessant voor een rwzi waar een uitbreiding van de elektrische aansluiting niet mogelijk is vanwege

netcongestie. Verder heeft het slib/slib concept een korte terugverdientijd van ongeveer 1,8 jaar (zie Figuur 9.1), met name door de lage investeringskosten. Het slib/slib concept heeft ook de hoogste netto energieproductie van alle beschouwde concepten. De technische haalbaarheid van dit concept is echter nog niet bewezen, ook al wordt dit concept al wel toegepast in Noord-Amerika.

**FIGUUR 9.1** SAMENVATTENDE VERGELIJKING VAN DE VERWARMINGSCONCEPTEN. DE X-AS GEEFT DE TERUGVERDIENTIJD VAN DE MEERINVESTERING WEER (T.O.V. VERWARMEN MET ENKEL EEN BIOGASKETEL). DE Y-AS GEEFT DE NETTO EXTRA ENERGIEPRODUCTIE WEER T.O.V. VERWARMEN MET ENKEL EEN BIOGASKETEL



Naast de hierboven beschreven hoofdconclusies kunnen de volgende, meer specifieke conclusies worden getrokken:

- De terugverdientijd hangt sterk af van de prijs van en subsidie op groen gas. Bij een lage groen gasprijs stijgen de terugverdientijden van de concepten met een warmtepomp sterk, tot meer dan 10 jaar. Het slib/slib concept heeft ook bij een lage groen gasprijs een korte terugverdientijd, van minder dan 4 jaar. Het slib/slib concept heeft hierdoor een laag financieel risico.
- Er is in Nederland en internationaal tot nog toe vooral ervaring met warmtewinning uit effluent. Uit de praktijkervaringen blijkt dat vervuiling van de effluentfilters en platen-warmtewisselaars vaak optreedt. Dit leidt tot een afname in warmtewisselend vermogen en vraagt om frequent onderhoud van de installatie. Uit de praktijk blijkt dat voorbehandeling van effluent enkel door filtratie niet voldoende is om de problematiek te voorkomen. Het toepassen van buis-in-buis warmtewisselaars, die minder gevoelig zijn voor voorstoppingen, is noodzakelijk om verstoppingen zoveel mogelijk te voorkomen.
- Voor kleinere slibgistingen (slibdebiet 100 m<sup>3</sup>/d) is het slib/slib concept interessant, doordat het ook bij een kleine schaal een korte terugverdientijd heeft (2 jaar). Voor grotere slibgistingen (slibdebiet 700 m<sup>3</sup>/d) is het effluentwarmtepomp concept interessant, doordat het een korte terugverdientijd heeft (3 jaar) en er meer groen gas geproduceerd kan worden dan met het slib/slib concept.

## 9.2 AANBEVELINGEN

- Uit deze studie is gebleken dat het slib/slib concept een aantrekkelijke optie kan zijn, doordat met beperkte investeringen een groot deel van de warmtevraag (> 60%) geleverd kan worden. Dit zorgt voor een korte terugverdientijd, ook bij een lage gasprijs en kleinere slibgistingen. Er is in Nederland echter nog geen ervaring met het type slib/

slib warmtewisselaar van DDI Heat Exchangers. De technische haalbaarheid van deze warmtewisselaars kan geverifieerd worden in een demonstratieonderzoek. De focus van het onderzoek zal moeten liggen op het voorkomen van verstoppingen en de efficiëntie van warmteoverdracht.

- Als warmte onttrekking uit uitgegist slib toegepast wordt, dan zal de temperatuur van het uitgegist slib dalen. Dit heeft effect op methaanemissies uit de uitgegist slibbuffer, maar ook op de ontwatering van het slib. Het effect van temperatuur op methaanemissies en ontwatering is moeilijk te schatten. In een praktijkonderzoek zou het effect getest kunnen worden voor verschillende slibstromen en verschillende temperaturen.
- Warmte onttrekking uit effluent geschiedt vooralsnog uit de effluentkelder en/of de effluentgoot. Afhankelijk van de situatie kan het interessant zijn om warmte direct uit de nabezinktank te onttrekken waarbij de nabezinktank als warmtebuffer fungeert. Een belangrijke randvoorwaarde daarbij is dat de slibspiegel niet mag worden verstoord. In een vervolgonderzoek kan de technische haalbaarheid van warmtewinning uit de nabezinktank vastgesteld worden.
- Bij de technische uitwerking van het luchtwarmtepomp concept in combinatie met een biogasketel is uitgegaan van een ééntraps luchtwarmtepomp. De leverancier van luchtwarmtepompen adviseert echter een tweetrapssysteem waardoor de investeringskosten van dit systeem hoog uitvallen. Aanbevolen wordt om in een vervolgfase de haalbaarheid van een ééntraps luchtwarmtepomp in combinatie met een biogasketel nader vast te stellen.

## 10

## LITERATUURLIJST

- Culha, O., Gunerhan, H., Biyik, E., Ekren, O., & Hepbasli, A. (2015). Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review. *Energy and Buildings*, 104, 215–232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.013>
- Cyx, W., & de Herdt, R. (2018). *Leidraad Riothermie Praktische gids voor het opzetten van riothermieprojecten in Vlaanderen*. Geraadpleegd op 9 februari 2023, van [https://www.riool.net/documents/20182/3298405/leidraad-riothermie%20\(1\).pdf/21d31f45-2a9f-405c-8e9a-b6de536e210f](https://www.riool.net/documents/20182/3298405/leidraad-riothermie%20(1).pdf/21d31f45-2a9f-405c-8e9a-b6de536e210f)
- Funamizu, N., Iida, M., Sakakura, Y., & Takakuwa, T. (2001). Reuse of heat energy in wastewater: implementation examples in Japan. *Water Science and Technology*, 43(10), 277–285. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0640>
- Hale, M. (2019). *Understanding and preventing heat exchanger fouling*. Water Technology. Geraadpleegd op 9 februari 2023, van <https://www.watertechnonline.com/process-water/article/14071807/understanding-and-preventing-heat-exchanger-fouling>
- Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H., & Araz, M. (2014). A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems. *Energy Conversion and Management*, 88, 700–722. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.065>
- Lines, J.R. (1991). Heat Exchangers in Municipal Wastewater Treatment Plants. *Water Engineering & Management*, 138(9), 28-29.
- Nguyen, C. X., Tang, K., & Won, Y. (2014). *Reaching zero-net energy at water and wastewater treatment facilities*. Retrieved from <https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/343>
- Prot, T., Korving, L., Dugulan, A., Goubitz, K., & van Loosdrecht, M. (2021). Vivianite scaling in wastewater treatment plants: Occurrence, formation mechanisms and mitigation solutions. *Water Research*, 197, 117045. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117045>
- Schmid, F. (2008). *Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers*. Swiss Energy Agency for Infrastructure Plants, Switzerland.
- Shen, C., Lei, Z., Wang, Y., Zhang, C., & Yao, Y. (2018). A review on the current research and application of wastewater source heat pumps in China. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 140–156. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.03.007>
- Shimada, T., Evers, M., White, J., Kaakaty, C., Sober, J., & Kilian, R. (2011). Detection and Mitigation of Vivianite Scaling in Anaerobic Digesters. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2011(12), 3985–3988. <https://doi.org/10.2175/193864711802764977>
- Shimp, G. F., Stukenberg, J. R., & Sandino, J. (2000). BEYOND CONVENTIONAL DIGESTION? An Industry Dilemma. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2000(11), 972–991. <https://doi.org/10.2175/193864700784544820>
- STOWA 2011-16. (2011). *Handboek Slibgisting*.

STOWA 2011-33. (2011). *Optimalisatie WKK en Biogasbenutting*

STOWA 2013-03. (2013). *Thermische energie op de rwzi. Vraag en aanbod*

STOWA 2016-09. (2016). *Reductie van methaanemissie in de afvalwater- en slibketen.*

STOWA 2020-37. (2020). *Leren van praktijkervaringen aquathermie.*

STOWA 2022-38. (2022). *Effecten van filters en warmtewisselaars op het aquatische ecosysteem: een literatuurstudie.*

STOWA / Stichting RIONED 2021-09. (2019). *Invloed riothermiesystemen op de afvalwaterzuivering.* Geraadpleegd op 9 februari 2023, van <https://edepot.wur.nl/543153>

Types of heat exchanger fouling. (2021). *World Pumps*, 2021(1), 20–22. [https://doi.org/10.1016/s0262-1762\(21\)00022-5](https://doi.org/10.1016/s0262-1762(21)00022-5)

Zan, C., Shi, L., Yang, W., & Ma, X. (2009). Evolution of composite fouling on a vertical stainless steel surface caused by treated sewage. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 4(2), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11708-009-0068-z>

## BIJLAGE 1

# OVERZICHT WARMTEWISSELAAR TYPES

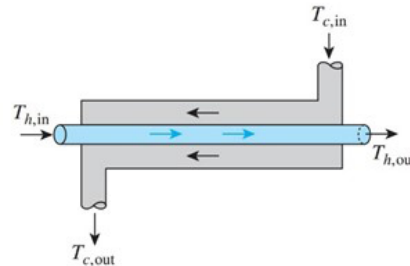
Om warmte uit te wisselen tussen twee stromen zijn er verschillende types warmtewisselaars beschikbaar. In het literatuuroverzicht in hoofdstuk 3 zijn vier types warmtewisselaars aan bod gekomen, namelijk buis-in-buis warmtewisselaars, buis-in-mantel warmtewisselaars, spiraal warmtewisselaars en platenwarmtewisselaars. In deze bijlage zijn deze vier types warmtewisselaars beknopt weergegeven.

## BUIS-IN-BUIS WARMTEWISSELAARS (ENGELS: 'TUBE-IN-TUBE HEAT EXCHANGER' OF 'DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER')

FIGUUR 10.1 BUIS-IN-BUIS WARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.THOMASNET.COM)

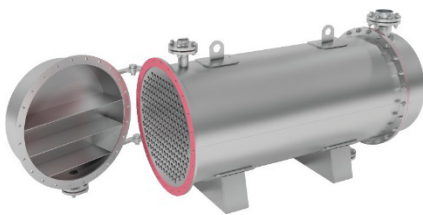


FIGUUR 10.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE BUIS-IN-BUIS WARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.THOMASNET.COM)

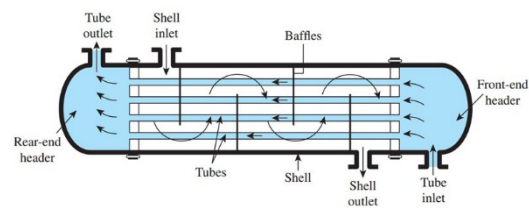


## BUIS-IN-MANTEL WARMTEWISSELAARS (ENGELS: 'TUBE-IN-SHELL HEAT EXCHANGER')

FIGUUR 10.3 BUIS-IN-MANTEL WARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.THOMASNET.COM)



FIGUUR 10.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE BUIS-IN-MANTEL WARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.THOMASNET.COM)



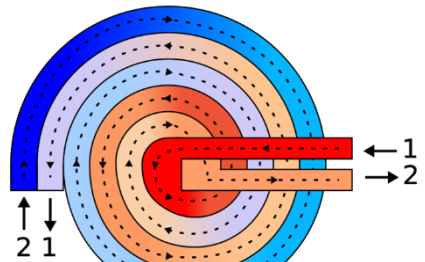


### SPIRAALWARMTEWISSELAARS (ENGELS: 'SPIRAL HEAT EXCHANGER')

FIGUUR 10.5 SPIRAAL WARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.KINAM.IN)



FIGUUR 10.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE SPIRAALWARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.WIKIPEDIA.ORG)

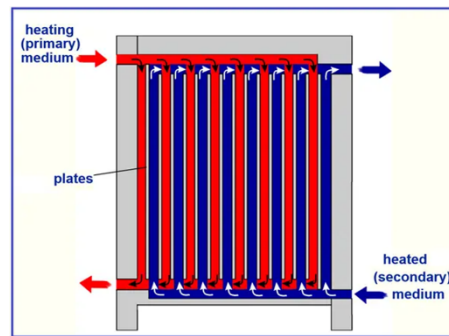


### PLATENWARMTEWISSELAARS (ENGELS: 'TUBE-IN-TUBE HEAT EXCHANGER')

FIGUUR 10.7 PLATENWARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.THOMASNET.COM)



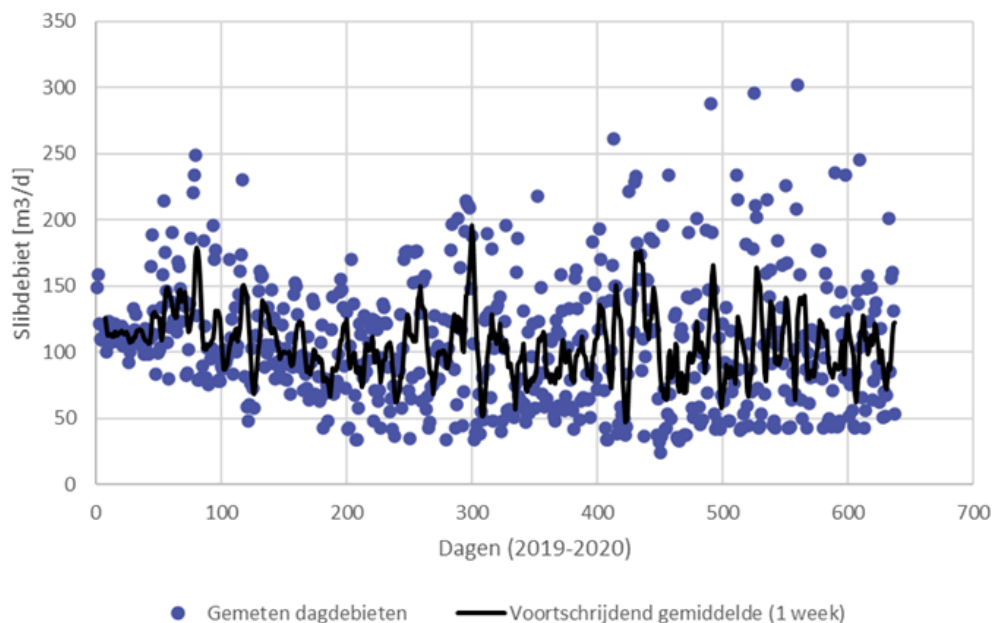
FIGUUR 10.8 SCHEMATISCHE WEERGAVE PLATENWARMTEWISSELAAR  
(BRON: WWW.WHATISPING.COM)



## BIJLAGE 2

# PIEKFACTOR AANVOER SLIBGISTING ECHTEN

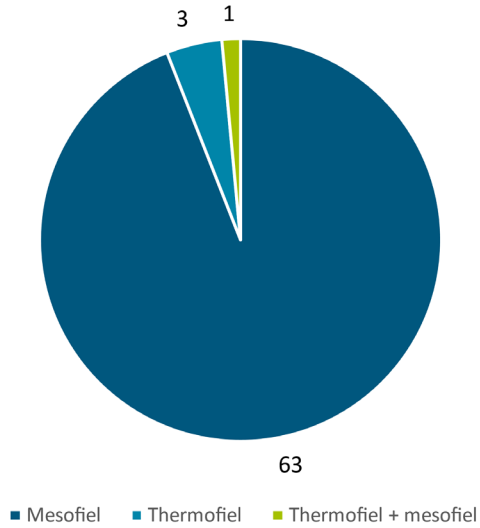
Om een realistische piekfactor te bepalen is naar de dagelijkse slibdebieten op rwzi Echten gekeken. Het gaat hierbij om secundair slib van de bandindikker. Het 95-percentiel van de debieten is 197 m<sup>3</sup>/dag, het gemiddelde is 106 m<sup>3</sup>/dag. De piekfactor hiertussen is 1,9. Er is niet gekozen voor het maximale dagdebiet, omdat uitschieters over het algemeen in de buffertank kunnen worden opgevangen. In onderstaand figuur is ter onderbouwing het dagdebiet en het voortschrijdende gemiddelde over 7 dagen/1 week gegeven. De individuele metingen zijn soms hoger dan 197 m<sup>3</sup>/dag, maar de voortschrijdende weekgemiddelden komen maximaal niet hoger dan circa 197 m<sup>3</sup>/dag.



BIJLAGE 3

# TYPE GISTINGEN IN NEDERLAND

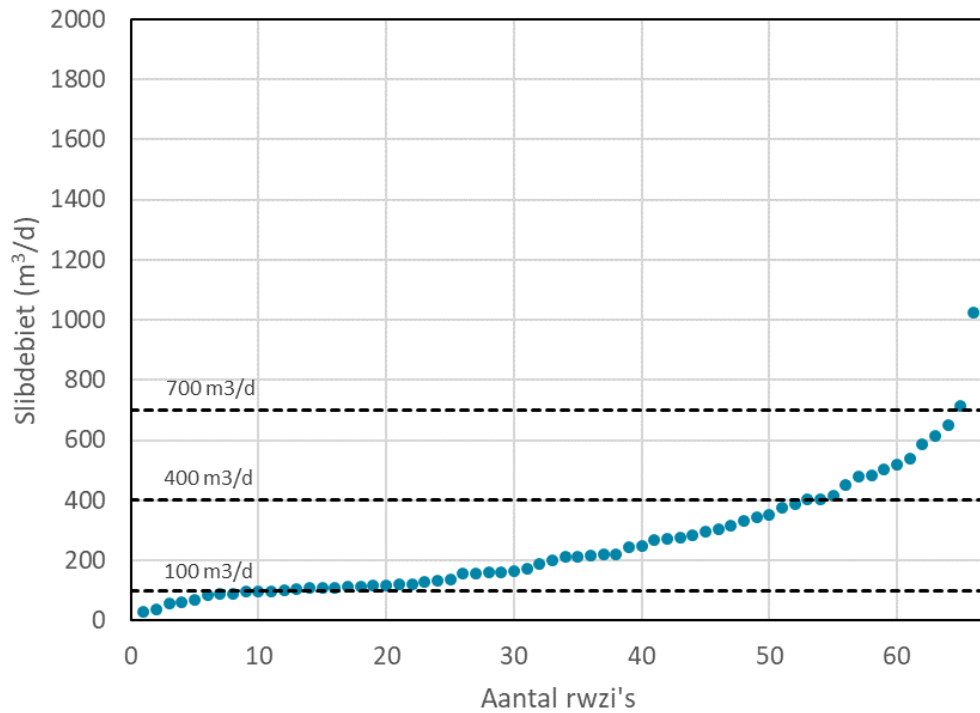
FIGUUR 10.9 VERDELING VAN SLIBGISTINGEN IN NEDERLAND, NAAR TYPE (BRON: WAVES DATABANK, 2021)



## BIJLAGE 4

## SPREIDING VAN GISTINGSCAPACITEIT IN NL

De bovenstaande figuur geeft de verdeling van slibdebieten weer, voor de Nederlandse rwzi's. De data is genomen uit de WAVES databank, van het jaar 2021. De gekozen capaciteiten voor deze studie zijn aangegeven met stippellijnen.



## BIJLAGE 5

## WARMTEVERLIES SLIBGISTING

## WARMTEDOORGANGSCOEFFICIENT GOED GEÏSOLEERDE SLIBGISTING

	d-beton	$\lambda$ -beton	d-isolatie	$\lambda$ -isolatie	Beplating	$\lambda$ -beplating	d-spouw	$\lambda$ -spouw	Warmtedoor- gangscoefficiënt
	mm	W/(mK)	mm	W/(mK)	mm	W/(mK)	mm	W/(mK)	W/(m <sup>2</sup> K)
Mantel bovengronds-vloeistof	250	1,9	90	0,027	2	50	76	0,024	0,151
Mantel bovengronds-gas	250	1,9	90	0,027	2	50	76	0,024	0,151
Mantel ondergronds	250	1,9	90	0,027	2	50	0	0,024	0,289
Dak	350	1,9	120	0,027	2	50	0	0,024	0,216
Vloer	400	1,9	120	0,027	2	50	0	0,024	0,215
<b>Gemiddeld</b>									<b>0,204</b>

## BIJLAGE 6

## AANVULLENDE UITGANGSPUNTEN

In deze bijlage staan een aantal uitgangspunten opgenomen die gebruikt zijn in deze studie. Deze uitgangspunten zijn standaardwaarden en daarom minder bepalend voor de uitkomst van deze studie. Voor de volledigheid staan ze toch hier vermeldt.

TABEL 10.1 OVERIGE UITGANGSPUNTEN

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Methaangehalte			
Aardgas	%	89	
Biogas	%	60	
Energieinhoud			
Methaan	MJ/m <sup>3</sup>	35,80	
Aardgas	MJ/m <sup>3</sup>	31,65	o.b.v. methaangehalte
Biogas	MJ/m <sup>3</sup>	21,48	o.b.v. methaangehalte
Primair slib			
ODS-gehalte	%	80	
CZV-gehalte	gCZV/gODS	1,8	
Maximale afbraak B	%	65	STOWA 2011-16
Afbraakconstante K		1,0	STOWA 2011-16
Secundair slib			
ODS-gehalte	%	71	
CZV-gehalte	gCZV/gODS	1,43	
Maximale afbraak B	%	40	STOWA 2011-16
Afbraakconstante K		1,5	STOWA 2011-16
Biogasketel efficiëntie	%	95	
Warmtecapaciteit slib	MJ/m <sup>3</sup> /°C	4,19	

## BIJLAGE 7

## UITWERKING CONCEPTEN

400 M<sup>3</sup>/D MESOFIEL

In deze bijlage worden de verwarmingsconcepten uitgewerkt voor een mesofiele slibgisting met een slibtoevoer van 400 m<sup>3</sup>/d.

TABEL 10.2 KENMERKEN WARMTEVRAAG VARIANT 2

Aspect	Eenheid	Kenmerk
Type slibgisting		Mesofiel
Slibdebiet	m <sup>3</sup> /d	400
Warmtevraag gemiddeld	KW	428
Warmtevraag maximaal	KW	813

## CONCEPT 0: REFERENTIE (WKK OF BIOGASKETEL)

TABEL 10.3 KENMERKEN REFERENTIETECHNIEKEN WKK OF BIOGASKETEL (CONCEPT 0)

Aspect	Eenheid	Oa: Referentie WKK	Ob: Referentie biogasketel
Capaciteit	kW	986 *	428
Biogasverbruik	m <sup>3</sup> /j	3.069.650	626.621
Elektriciteitsproductie	MJ/j	24.864.165	
Warmteopwekking	MJ/j	26.521.776	13.497.408
Slibwarmtewisselaars	aantal	2	2
VO warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	10	10

\*elektrische capaciteit

## CONCEPT 1: WARMTE UIT EFFLUENT

TABEL 10.4 KENMERKEN WARMTE UIT EFFLUENT (CONCEPT 1)

		1: Warmte uit effluent
Temperatuur effluent (minimaal)	°C	10
Aantal slibwarmtewisselaars	aantal	2
VO warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	34
Totaal debiet effluent	m <sup>3</sup> /h	116
Elektrisch vermogen warmtepompen	kW	95
COP warmtepomp	-	4,5
Vermogen warmtepomp	kW	428
Elektriciteitsverbruik warmtepompen	MJ/j	2.995.920
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen	MJ/j	630.720
Elektriciteitsverbruik effluentpomp	MJ/j	339.518
Elektriciteitsverbruik totaal	MJ/j	3.966.158

**CONCEPT 2A: WARMTE UIT USB RECIRCULEREN NAAR SGT****TABEL 10.5 KENMERKEN WARMTEWINNING UIT USB (CONCEPT 2A)**

Aspect	Eenheid	2a: Warmte uit digestaat
Temp slib in digestaat tank	C	14
Aantal slibwarmtewisselaars voor afkoeling		2
VO warmtewisselaar afkoeling (per stuk)	m <sup>2</sup>	48
Totaal vermogen slibwarmtewisselaar afkoeling	kW	350
Aantal warmtepompen in serie		1
COP		4
Elektrisch vermogen warmtepompen	kW	100
Aantal slibwarmtewisselaars voor opwarming		2
VO warmtewisselaar opwarming (per stuk)	m <sup>2</sup>	34
Totaal vermogen slibwarmtewisselaar opwarming	kW	428
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen	MJ/j	1.261.440
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	MJ/j	3.156.280
Elektriciteitsverbruik totaal	MJ/j	4.417.720

**CONCEPT 2B/C: WARMTE UIT DIGESTAAT NAAR INGAAND SLIB****TABEL 10.6 KENMERKEN WARMTE UIT DIGESTAAT NAAR INGAAND SLIB (CONCEPT 2B/C)**

Aspect	Eenheid	2b: Slib / water / slib	2c: Slib / slib
Temp slib in digestaat tank	C	30	21,5
Warmtewisselaar nakoelen aantal		1	1
Warmtewisselaar nakoelen vermogen per stuk	kW	116	264
Warmtewisselaar nakoelen VO per stuk	m <sup>2</sup>	27	114
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen nakoelen	MJ/j	116.823	146.029
Warmtewisselaar voorwarmen aantal		1	1
Warmtewisselaar voorwarmen vermogen per stuk	kW	116	264
Warmtewisselaar voorwarmen VO per stuk	m <sup>2</sup>	27	114
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen voorwarmen	MJ/j	116.823	221.964
Slibwarmtewisselaars op slibgisting	aantal	2	2
VO warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	10	10
Elektriciteitsverbruik totaal	MJ/j	233.647	367.994

**CONCEPT 3: WARMTE UIT BUITENLUCHT****TABEL 10.7 KENMERKEN WARMTE UIT BUITENLUCHT (CONCEPT 3)**

		3: Warmte uit buitenlucht
Buitentemperatuur gemiddeld	C	10
Aantal slibwarmtewisselaars		2
VO warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>	34
Elektrisch vermogen warmtepompen	kW	100
COP (bij buitentemp gemiddeld)	-	4,2
Vermogen warmteafgifte	kW	428
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen	MJ/j	630.720
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	MJ/j	3.280.717
Elektriciteitsverbruik ventilatoren	MJ/j	441.374
Elektriciteitsverbruik totaal	MJ/j	4.280.811



**CONCEPT 4: WARMTE EXTERN WARMTENET****TABEL 10.8 KENMERKEN WARMTE UIT WARMTENET (CONCEPT 4)**

			4: Extern warmtenet
Temperatuur warmtebron	C		70
Aantal slibwarmtewisselaars			2
V0 warmtewisselaars (per stuk)	m <sup>2</sup>		10
Warmtewisselaar vermogen	kW		428
Elektriciteitsverbruik warmtewisselaar pompen	MJ/j		630.720
Elektriciteitsverbruik totaal	MJ/j		630.720

**SAMENVATTING**

In Tabel 10.9 zijn de kenmerken van de in paragraaf 4.2 beschreven verwarmingsconcepten samengevat.

**TABEL 10.9 SAMENVATTING KENMERKEN (DUURZAME) VERWARMINGSCONCEPTEN**

Concept	Eenheid	WKK	Biogas- ketel	ww op effluent+wp	sws ww +wp	sws ww	ss ww	l/w wp	warmtenet
Verwarming SGT of Toevoer SGT		SGT	SGT	SGT	SGT	Toevoer SGT via sws ww	Toevoer SGT via ss ww	SGT	SGT
Aantal slib ww voor afkoeling	stuks				2	1	1		
V0 ww afkoeling (ps)	m <sup>2</sup>				48	27	114		
Vermogen slib ww afkoeling	kW				350	116	264		
Aantal slib ww	stuks	2	2	2	2	1/2 *	1/2 *	2	2
V0 ww (ps)	m <sup>2</sup>	10	10	34	34	27/10*	114/10*	34	10
ww voorwarmen vermogen (ps)	kW					116	264		
Elektrisch vermogen warmtepompen	kW			95	100			102	
COP wp	-			4,5	4,3			4,2	
Vermogen wp	kW			465	465			465	465
Resterende warmtevraag t.o.v. gemiddeld	kW	0	0	0	0	312	164	0	0
E verbruik wp	GJ/j			2.996	3.156			3.209	
E verbruik ww pomp	GJ/j			631	1.261	234	368	631	631
E verbruik eff. pomp	GJ/j			340				441	
Totaal E verbruik	GJ/j	-	-	3.966	4.418	234	368	4.281	631
Verbruik per geleverde GJ	GJ/GJ			0,29	0,33	0,06	0,04	0,31	0,05

\*aanvullend op de warmtewisselaars waarmee warmte uit digestaat overgedragen wordt op ingaand slib zijn warmtewisselaars voorzien om het tekort aan warmte toe te voeren naar de slibgisting

Uit Tabel 10.9 volgt dat de duurzame verwarmingsconcepten 1, 2a, 3 en 4 in staat zijn om de jaargemiddelde warmtevraag van 465 kW te leveren. In concepten 1, 2a en 3 bestaat het verwarmingsstelsel uit een combinatie van warmtewisselaars en warmtepompen terwijl in concept 4 de temperatuur van het warmtenet voldoende hoog is om een warmtepomp overbodig te maken. Concepten 2b en 2v zijn in staat om in een deel van de benodigde warmte te voorzien door direct warmte vanuit het vergiste slib over te dragen op het slib wat de gisting in gaat. In concept 2b resteert een warmtebehoefte van 312 kW en in concept 2c resteert 164 kW. Deze resterende warmtevraag kan voorzien worden met een biogasketel of door een combinatie te maken met een ander duurzaam verwarmingsconcept.

Wat verder opvalt is dat het elektriciteitsverbruik van de verschillende verwarmingsconcepten sterk uiteenloopt. De concepten die gebruik maken van een warmtepomp vereisen veel stroom (>4.000 GJ/j) terwijl de concepten met enkel warmtewisselaars 234 tot 368 GJ/j verbruiken waardoor ze per geleverde GJ aan warmte aanzienlijk minder stroom verbruiken. Ondanks dat concepten 2b en 2c niet in de gehele warmtevraag kunnen voorzien zijn het energie efficiënte manieren van verwarmen. De warmtevraag van concepten 2b en 2c ligt per geleverde GJ een factor 6 tot 8 lager dan concepten 1 en 2a.

## BIJLAGE 8

# ONDERBOUWING MULTI CRITERIA ANALYSE

Om inzicht te geven in hoe de verschillende verwarmingsconcepten zich tot elkaar verhouden is een multi criteria analyse uitgewerkt waarin de concepten kwalitatief beoordeeld zijn op relevante criteria. Ter referentie is ook het concept met een elektrische boiler meegenomen.

De volgende criteria zijn meegenomen:

- Netcapaciteit
- Complexiteit
- Bewezen technologie
- Beheer en onderhoud
- Storingsgevoeligheid
- CO<sub>2</sub> emissie
- Kosten

Navolgend is de score op de afzonderlijke criteria onderbouwd.

## **NETCAPACITEIT**

Verwarmingsconcepten die gebruik maken van een warmtepomp vereisen een groter elektrisch vermogen dan concepten die enkel gebruik maken van warmtewisselaars of een warmtenet. Een elektrische boiler vraagt vereist de meeste elektriciteit.

## **COMPLEXITEIT**

Concepten die een combinatie van warmtewisselaars en warmtepompen vereisen zijn complexer dan concepten met enkel een (slib/slib of slib/water/slib)warmtewisselaar. De toepassing van een biogasketel of elektrische boiler is technisch het minst complex.

## **BEWEZEN TECHNOLOGIE**

De biogasketel, elektrische boiler en het warmtenet hebben zich ruimschoots bewezen. Voor warmtewinning uit effluent in combinatie met een warmtepomp geldt dat het ook al in de praktijk is toegepast in Nederland. De luchtwarmtepomp in combinatie met een biogasketel en de winning van warmte uit slib middels een slib/water/slib warmtewisselaar gevolgd door een warmtepomp en een biogasketel zijn nog niet als concept toegepast op een rwzi. De slib/slib warmtewisselaar is in Nederland nog niet met succes toegepast en dient zich daarom nog te bewijzen op praktijkschaal. In Amerika wordt deze techniek al wel op praktijkschaal toegepast.

## **BEHEER EN ONDERHOUD**

Het beheer en onderhoud van de biogasketel, elektrische boiler en het warmtenet is beperkt omdat het weinig complexe en bewezen technologie betreft. Systemen met warmtewisselaars op effluent of slib in combinatie met een warmtepomp zijn complexer en gevoeliger voor verstoppingen of storingen waardoor ze meer beheer en onderhoud vragen. Dit geldt in mindere mate ook voor systemen met enkel slib/water/slib of slib/slib warmtewisselaars en de luchtwarmtepomp. Op basis van Canadese ervaringen wordt geconcludeerd dat de DDI slib/slib warmtewisselaars weinig onderhoud vragen.

### STORINGSGEVOELIGHEID

De storingsgevoeligheid van de biogasketel, elektrische boiler en het warmtenet is laag omdat het weinig complexe en bewezen technologie betreft. Systemen met warmtewisselaars op effluent zijn gevoelig voor verstopping door biofilmvorming. Dit kan ondervangen worden door het toepassen van een buizenwisselaar in plaats van een platenwisselaar. Uit Canadese ervaringen volgt dat de DDI slib/slib warmtewisselaars niet gevoelig zijn voor verstoppingen. Voor de Nederlandse praktijk dient dit nog te worden vastgesteld.

### DUURZAAMHEID

De duurzaamheid is uitgedrukt als de specifieke CO<sub>2</sub> emissie van het concept. De elektrische boiler heeft veruit de hoogste CO<sub>2</sub> emissie omdat die veel elektriciteit vereist. De biogasketel is vergelijkbaar met de slib/water/slib warmtewisselaar in combinatie met een biogasketel. Dit wordt veroorzaakt doordat de slib/water/slib warmtewisselaar slechts een beperkt deel van de benodigde warmte kan leveren. De laagste CO<sub>2</sub> voetafdruk wordt gerealiseerd door de concepten met warmtewinning uit effluent of slib in combinatie met een warmtepomp, de luchtwarmtepomp en door het concept met de slib/slib warmtewisselaar in combinatie met een biogasketel.

### KOSTEN

De investeringskosten en terugverdientijden van de verschillende concepten lopen sterk uiteen. Het plaatsen van een biogasketel vraagt een lage investering en levert een korte terugverdientijd op indien het resterende biogas wordt omgezet naar groen gas. Ook voor de combinatie van een slib/slib warmtepomp in combinatie met een biogasketel geldt dat de investeringskosten relatief laag zijn en de terugverdientijd kort. Concepten met warmtewisselaars op effluent of slib in combinatie met een warmtepomp zijn duurder en vragen meer stroom waardoor de terugverdientijd hoger uitvalt. De kosten van de luchtwarmtepomp in combinatie met een biogasketel dienen in een vervolgfase nader te worden vastgesteld. De elektrische boiler heeft lage investeringskosten waardoor de installatie zich ondanks het hoge elektriciteitsverbruik snel terugverdient.

TABEL 10.10 SCORE VAN DUURZAME VERWARMINGSCONCEPTEN ICM GROEN GAS PRODUCTIE IN VERGELIJKING MET REFERENTIE WKK

Aspect	Biogas ketel	E-boiler	Warmte uit eff +WP+ biogasketel	Warmte uit digestaat+ WP+ biogas-ketel	s/w/s ww +biogasketel	s/s ww+ biogasketel	Lucht WP + biogasketel	Warmtenet
Netcapaciteit	0	--	-	-	0	0	-	0
Complexiteit	++	+	--	--	0	0	-	+
Bewezen technologie	++	++	+	0	+	--	0	++
Beheer en onderhoud	++	++	-	-	0	+	0	++
Storingsgevoeligheid	0	0	-	-	-	0	0	0
Duurzaamheid	+	-	++	++	+	++	++	*
Kosten	++	+	0	0	0	+	***	**

\*afhankelijk van de duurzaamheid van de betreffende warmte

\*\*afhankelijk van het warmte tarief

\*\*\*afhankelijk van de configuratie (één of tweetraps)