

stowa

# ENERGIE IN DE WATERKETEN



RAPPORT

2010  
35

stowa

ENERGIE IN DE WATERKETEN

STOWA

2010

35

ISBN 978.90.5773.488.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl  
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01  
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

Amersfoort, september 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

AUTEURS ir. J.J. (Johan) Blom  
ir. P. (Paul) Telkamp  
mr. ir. G.F.J. (Rada) Sukkar,  
ir. G.J. (Gert Jan) de Wit (Bries)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2010-35  
ISBN 978.90.5773.488.5

# TEN GELEIDE

De waterschappen streven naar een duurzame energiehuishouding. Dit is onder andere aangegeven in de Meerjarenaafspraken energie-efficiency en het Klimaatakkoord. Het doel hiervan is om zo min mogelijk fossiele brandstof te gebruiken en zoveel mogelijk duurzame energie op te wekken.

Dit rapport geeft een overzicht van de energie die in de waterketen wordt gebruikt, die bespaard kan worden en mogelijk kan worden teruggewonnen of anderszins benut. Wij hebben getracht helderheid te verschaffen in een boeiend maar complex thema. Hiermee willen wij uw energiebeleid helpen onderbouwen.

Utrecht, september 2010

De directeur van de STOWA

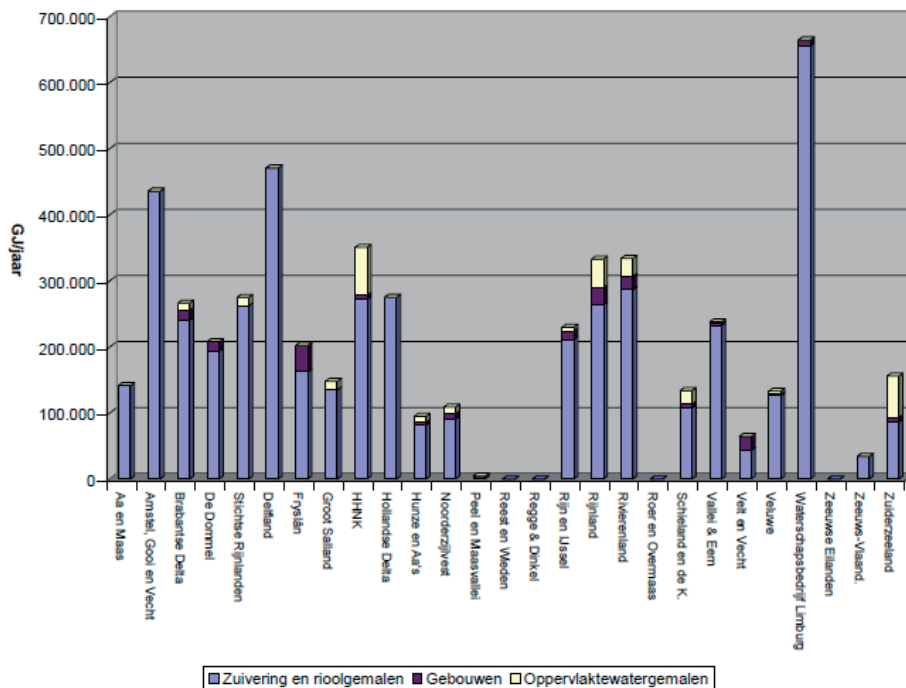
Ir. J.M.J. Leenen

# SAMENVATTING

De Nederlandse overheid streeft naar een duurzame energiehuishouding. Waterschappen - als een belangrijk onderdeel van de Nederlandse overheid- nemen hierin hun verantwoordelijkheid. Maatschappelijk verantwoord ondernemen, Meerjarenaafspraken energie-efficiency en het Klimaatakkoord geven invulling aan energiebesparing en energiewinning bij de waterschappen. Het doel is om zo min mogelijk fossiele brandstof te gebruiken en zoveel mogelijk duurzame energie op te wekken.

Uit een onderzoek van SenterNovem in de Grond-, Weg- en Waterbouw-sector in 2005 bleek dat het energieverbruik van waterschappen veruit het grootste is van alle overheden [oo]. De nulmeting in het kader van het Klimaatakkoord [ij], laat zien dat het grootste deel van het energiegebruik bij een gemiddeld waterschap aan het zuiveren van het afvalwater wordt besteed. Dat wordt op enige afstand gevolgd door het verpompen van oppervlaktewater voor peilbeheer en de verwarming van kantoorgebouwen zie Figuur 0.1. Het gaat hierbij om zogenaamde operationele energie (voornamelijk elektrische energie). Dit is echter niet de enige energiesoort die relevant is voor de waterketen.

FIGUUR 0.1 VERDELING ENERGIEGEBRUIK WATERSCHAPPEN. BRON: UNIE VAN WATERSCHAPPEN [II]



## ENERGIESOORTEN IN DE WATERKETEN

Er zijn drie belangrijke soorten energie in de waterketen: thermische, chemische en operationele energie. De totale hoeveelheid energie die gerelateerd kan worden aan de Nederlandse afvalwater bedraagt ongeveer 88 PJ/jaar.

*Thermische energie* is energie in de vorm van warmte die door huishoudens en bedrijven aan het afvalwater wordt toegevoegd.

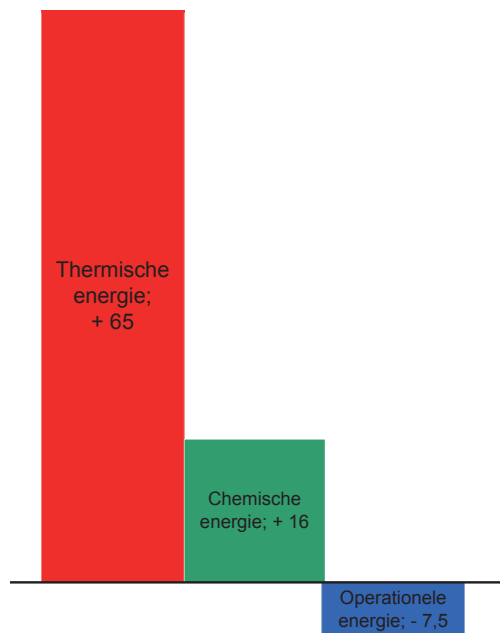
*Chemische energie* is de energie die is opgeslagen in de chemische bindingen.

*Operationele energie* is energie die gebruikt wordt voor het functioneren van de waterketen.

Dit betreft voornamelijk elektrische energie, aardgas en diesel (transport).

In de navolgende figuur is de verdeling van de totale hoeveelheid energie in de waterketen weergegeven.

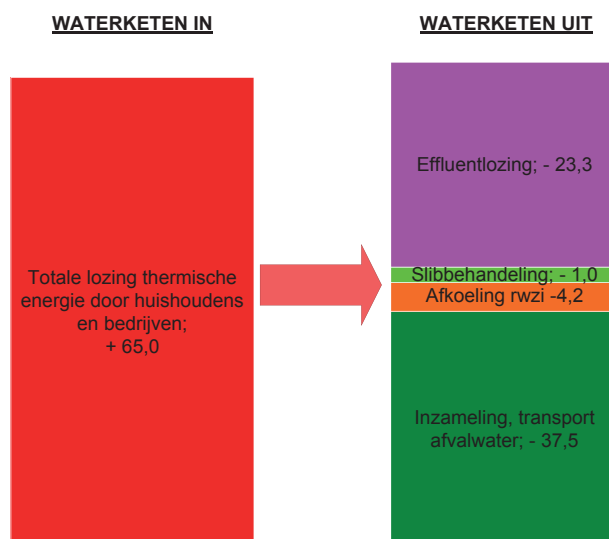
FIGUUR 0.2 VERDELING TOTALE HOEVEELHEID ENERGIE IN WATERKETEN IN PJ/JAAR 2007



### THERMISCHE ENERGIE

Door huishoudens en bedrijven wordt 65 PJ per jaar aan thermische energie aan het afvalwater toegevoegd. Driekwart (49 PJ/jaar) is afkomstig van huishoudens. De temperatuur van het afvalwater van huishoudens en bedrijven op het lozingspunt wordt geschat op 25 – 30 °C. In de navolgende figuur is de in- en uitgaande thermische energie in de waterketen weergegeven.

FIGUUR 0.3 THERMISCHE ENERGIE WATERKETEN IN- EN UITGAAND IN PJ/JAAR 2007



Opmerking: de huishoudens en bedrijven lozen 65 PJ/jaar (waterketen in) terwijl 66 PJ/jaar de waterketen uitgaat. Het verschil (1 PJ/jaar) wordt veroorzaakt de omzetting van biogas (chemische energie) in warmte (thermische energie). Hieronder valt namelijk het affakkelen van biogas en de restwarmte die vrijkomt bij de WKK.

Enkele interessante mogelijkheden tot het terugwinnen van de thermische energie zijn:

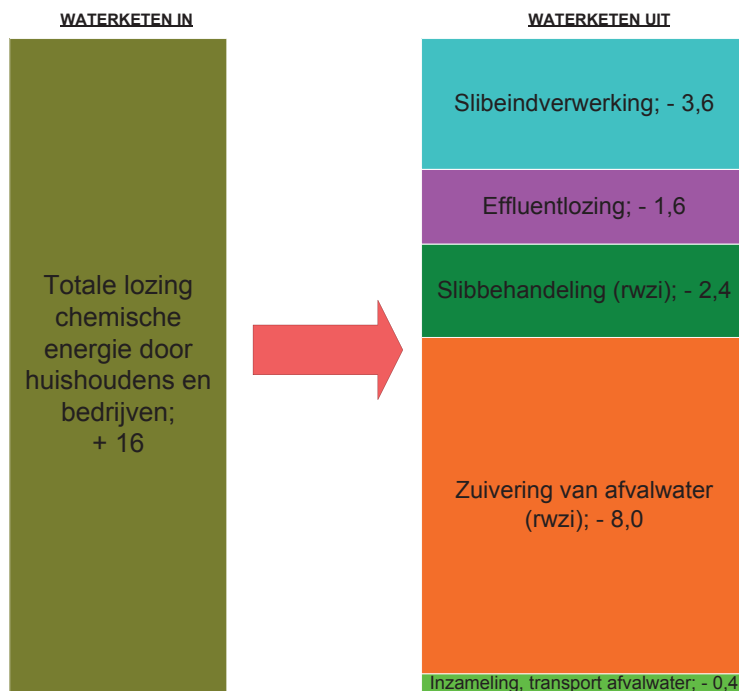
- installatie van een douchewarmtewisselaar. Hiermee kan in theorie 31 PJ/jaar teruggewonnen uitgaande van toepassing bij alle huishoudens in Nederland.
- winning van warmte uit afvalwater direct na de woning met een warmtepomp en hergebruik van de warmte voor verwarming van de woning. Bij toepassing voor alle woningen in Nederland kan maximaal 59 PJ/jaar worden gewonnen. Om deze warmte nuttig te gebruiken is wel een warmtepomp nodig die elektrische energie gebruikt (indicatie elektriciteitsgebruik 19 PJ/jaar, totale warmtelevering  $59 + 19 = 78$  PJ/jaar).

### CHEMISCHE ENERGIE

Door huishoudens en bedrijven wordt 16 PJ per jaar aan chemische energie (koolstof- en stikstofverbindingen) geloosd. Dit wordt via het riool afgevoerd naar de rioolwaterzuivering. Huishoudens lozen ongeveer 10 PJ/jaar en bedrijven 6 PJ/jaar. Een deel van deze chemische energie wordt bij de slibgisting omgezet in biogas (2,4 PJ/jaar). Het restant wordt via de effluentlozing (-1,6 PJ/jaar) en met het slib afgevoerd (-3,6 PJ). In de navolgende figuur is de in- en uitgaande chemische energie in de waterketen weergegeven.

FIGUUR 0.4

CHEMISCHE ENERGIE WATERKETEN IN- EN UITGAAND IN PJ/JAAR 2007



De chemische energie blijkt grotendeels verloren te gaan bij de zuivering van afvalwater. Het zuiveren van afvalwater kost operationele energie. De huidige energiegelans kan in theorie verbeterd worden door:

- een groter deel van het afvalwater anaeroob te behandelen. Hierbij wordt minder energie gebruikt en meer biogas geproduceerd. Het afvalwater moet echter voldoende geconcentreerd en warm zijn om dit te kunnen toepassen.
- de productie van zuiveringsslib te vergroten. Bij de slibgisting kan dan meer gistinggas geproduceerd worden.
- de slibgisting te optimaliseren, bijvoorbeeld door het slib voor te behandelen.

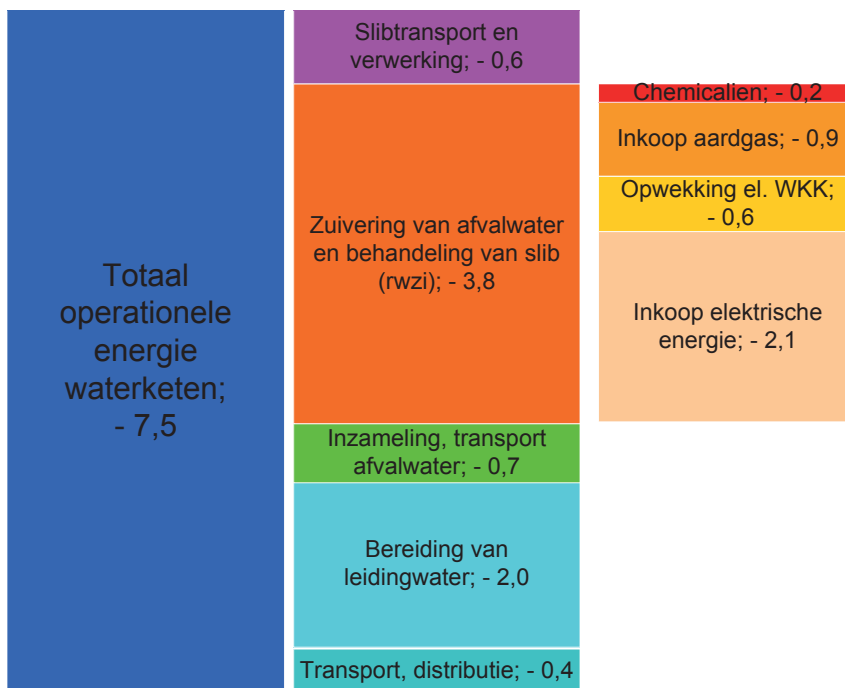
Het initiatief 'De Energiefabriek' behelst ondermeer het beter benutten van de chemische energie die met het afvalwater wordt aangevoerd. De rwzi's zouden minimaal energieneutraal moeten worden. Als uitgegaan wordt het energieneutraal worden van alle rwzi's dan betekent dit een reductie van het energiegebruik in de waterketen van 2,1 PJ per jaar.

### OPERATIONELE ENERGIE

In de waterketen wordt 7,5 PJ per jaar aan operationele energie gebruikt. De grootste gebruikers van operationele energie zijn de rwzi's (3,8 PJ/jaar). In navolgende figuur is de verdeling van de operationele energie in de waterketen weergegeven.

FIGUUR 0.5

VERDELING OPERATIONELE ENERGIE IN DE WATERKETEN IN PJ/JAAR 2007



Het belangrijkste handvat bij het verlagen van het operationele energiegebruik is energiebesparing op de rwzi (doelstelling conform de MJA3 is bij benadering een besparing van ca. 1 PJ/jaar in 2020). Ook bij de slibeindverwerking lijken er in potentie goede mogelijkheden te bestaan om het gebruik van operationele energie te verlagen. De droging van slib vraagt veel energie (aardgas), hier kan mogelijk ook restwarmte voor gebruikt worden.



Eerder in de waterketen zijn de mogelijkheden voor energiebesparing kleiner. Het energiegebruik voor de productie van leidingwater is relatief stabiel en de energiebesparingsmogelijkheden lijken beperkt te zijn. Bij de distributie van leidingwater zijn enkele logistieke optimalisaties mogelijk. Een indicatie van de besparing van het gebruik van operationele energie voor de productie en distributie van leidingwater is 0,2 PJ/jaar. Bij het inzamelen en transporteren van afvalwater kan het afkoppelen van hemelwater en het vermijden van rioolvreemd water een besparing op het operationele energiegebruik in de waterketen op van uiteindelijk maximaal 0,3 PJ/jaar.

### **SLOT**

Uit deze bureaustudie blijkt dat er relatief grote hoeveelheden chemische en thermische energie worden geloosd met het afvalwater. In de huidige situatie wordt deze energie nauwelijks teruggewonnen. Er zijn mogelijkheden om energie te besparen en chemische en thermische energie te winnen. De besparing en de winning van energie kan meer opleveren dan het totale gebruik van operationele energie in de waterketen. De technieken waarmee dit gerealiseerd kan worden hoeven niet bijzonder complex te zijn.

Als vanuit een perspectief van energieoptimalisatie gekeken wordt naar de waterketen dan lijkt het logisch om meer anaerobe processen te gebruiken en minder aerob te zuiveren. Het eerste proces levert immers biogas op terwijl de het tweede proces energie vraagt voor beluchting. Dit vereist echter een aanpassing in de wijze waarop we afvalwater inzamelen en de wijze waarop we omgaan met de warmte die nodig is voor anaerobe processen. Wellicht liggen hier ook kansen voor gezamenlijke verwerking van andere stromen die rijk zijn aan organische stof, zoals mest, sommige industriële waterstromen en groente en fruitafval.

Winning van energie in de waterketen is relevant voor het bereiken van doelstellingen op het gebied van duurzame energie. Energiebesparing en winning van energie in de waterketen is relevant voor de Meerjarenaafspraken energie-efficiency en de klimaatdoelstelling van de waterschappen. Vanuit de doelstellingen van het Klimaatakkoord zijn de energiestromen in de waterketen relevant. Bijvoorbeeld bij het bereiken van de doelstelling “40% zelfvoorzienend door eigen duurzame energieproductie” is het logisch om gebruik te maken van de chemische energie die door huishoudens en bedrijven met het afvalwater wordt geloosd. Verder is vanuit de doelstellingen van het Klimaatakkoord s er een potentiële rol voor de waterschappen bij het verlagen van de lozing van thermische energie door de huishoudens.

Bij het benutten van kansen is samenwerking met de partijen in de waterketen nodig. Met name de lozers (huishoudens en bedrijven) en de gemeentes zijn partners om de doelen te bereiken. Hiermee komen ook andere partijen in beeld, zoals energiebedrijven en de woningbouwsector. Hier ligt een uitdaging voor de waterschappen.

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

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

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

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

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

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

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

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



# ENERGIE IN DE WATERKETEN

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VRAAGSTELLING EN PROJECTBEGRENZING</b>	<b>2</b>
2.1	Vraagstelling	2
<b>3</b>	<b>BEGRIPPEN, EENHEDEN EN REFERENTIEKADER</b>	<b>4</b>
3.1	Operationele energie	4
3.2	Chemische energie	4
3.3	Thermische energie	5
3.4	Eenheden	5
3.5	Energie in de waterketen en duurzame energie	5
3.6	Referentiekader	7
<b>4</b>	<b>ENERGIE IN DE WATERKETEN</b>	<b>9</b>
4.1	Operationele energie	9
4.2	Chemische energie	13
4.3	Thermische energie	15
4.4	Bespreking	18
<b>5</b>	<b>BESPARING, WINNING EN TERUGWINNING VAN ENERGIE IN DE WATERKETEN</b>	<b>21</b>
5.1	Vermindering van het gebruik van operationele energie	21
5.1.1	Leidingwaterproductie	21
5.1.2	Distributie van leidingwater	21
5.1.3	Inzameling en transport van afvalwater	21
5.1.4	Zuivering van afvalwater	22

<b>5.2</b>	Vergroten opbrengst chemische energie in afvalwater	24
5.2.1	Algemeen	24
5.2.2	Meer anaërobe behandeling	24
5.2.3	Vergroten van de energieopbrengst uit slib	25
5.2.4	Vergroten van de energieopbrengst uit het biogas	25
<b>5.3</b>	Nieuwe sanitatie	26
5.3.1	Leidingwatergebruik en distributie	27
5.3.2	Afvalwaterinzameling en transport	28
5.3.3	Zuivering van afvalwater	28
5.3.4	Slibeindverwerking	28
5.3.5	Indicatie energiebesparing	28
<b>5.4</b>	Thermische energie	29
5.4.1	Algemeen	29
5.4.2	De douchewarmtewisselaar	32
5.4.3	Warmtewinning uit afvalwater	36
5.4.4	Effect op de werking van de rwzi	37
<b>5.5</b>	Bespreking	39
5.5.1	Operationele energie	39
5.5.2	Chemische energie	39
5.5.3	Thermische energie	40
5.5.4	Beoordeling van de opties	41
<b>5.6</b>	Energieprijs	43
<b>5.7</b>	Duurzame energie	44
<b>5.8</b>	Klimaatakkoord	45
5.8.1	Ambities	45
5.8.2	Invulling	45
5.8.3	Bewustwording en actieteam	45
5.8.4	Klimaatakkoord, energie in de waterketen en thermische energie	46
<b>5.9</b>	Thema's voor nader onderzoek	48
5.9.1	Congruentie van gegevens	48
5.9.2	Toekomstperspectief	48
5.9.3	Waterkwaliteit	48
5.9.4	Productie van meststoffen	49
5.9.5	Lozing van thermische energie door bedrijven	49
5.9.6	Combinaties en totaalconcepten	49
<b>6</b>	<b>TERUGKOPPELING NAAR DE VRAAGSTELLING</b>	<b>50</b>
<b>6.1</b>	Theorie/achtergrond	50
<b>6.2</b>	Huidige situatie	54
<b>6.3</b>	Toekomstige situatie	55
<b>6.4</b>	Slot	55
<b>7</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>57</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	EXERGIE, WERKINGSPRINCIPE WATERPOMPEN, LAGE TEMPERATUURVERWARMING EN PASSIEFHUIS	59
2	CHEMISCHE ENERGIE IN HUISHOUDELIJK AFVALWATER	65
3	VERZAMELDE UITGANGSPUNTEN EN BALANSBEREKENINGEN	69
4.	ENERGIEASPECTEN VAN NIEUWE SANITATIE	81

# 1

## INLEIDING

Al vanaf de Derde Energienota (1996) is het energiebeleid van de overheid gericht op het stimuleren van een duurzame energiehuishouding. In het werkprogramma Schoon en Zuinig (2007) is de Nederlandse doelstelling voor energiebesparing geformuleerd. Het doel is om in de periode 2011-2020 een gemiddelde jaarlijkse energiebesparing van 2% te realiseren. Waterschappen - als een belangrijk onderdeel van de Nederlandse overheid - nemen hierin hun verantwoordelijkheid. Maatschappelijk verantwoord ondernemen, Meerjarenaafpraak energie-efficiency en het Klimaatakkoord geven invulling aan energiebesparing en energiewinning bij de waterschappen. Het doel is om zo min mogelijk fossiele brandstof te gebruiken en zoveel mogelijk duurzame energie op te wekken.

Recente projecten, onderzoeken en onderzoeksthema's richten zich op het vrijmaken van de energie die in afvalwater is opgesloten. Voorbeelden zijn 'de rwzi als energiefabriek' en verschillende 'nieuwe sanitatie' projecten. Daarnaast hebben de waterschappen zich verbonden aan het Klimaatakkoord. Hiermee hebben de waterschappen hun sectorbrede doelstellingen en ambities ten aanzien van klimaat en duurzaamheid vastgelegd waarbij het energiegebruik in de waterketen uiteraard een belangrijk aandachtspunt is. Daarom is het belangrijk om te weten wat de aard en de omvang van de energiestromen in de waterketen is. Er is echter nog weinig bekend over de hoeveelheid energie die op chemische wijze is vastgelegd in het afvalwater (als koolstof of stikstofverbindingen) en hoeveel thermische energie huishoudelijk afvalwater bevat.

Het is de vraag waar de beste mogelijkheden bestaan om de energie in de waterketen te (her)gebruiken. Nog belangrijker is de vraag of we met onze huidige waterketen wel het maximale kunnen bereiken of dat het tijd wordt voor een nieuw concept. Het antwoord op deze vraag is relevant voor allerlei doelstellingen die recent zijn geformuleerd, zoals de Meerjarenaafpraak energie-efficiency 2001 - 2020 voor het zuiveringsbeheer en de klimaatdoelstelling van de waterschappen (Klimaatakkoord).

In hoofdstuk 2 zijn de vraagstelling en de projectbegrenzing van de studie beschreven. In hoofdstuk 3 zijn de begrippen operationele energie, chemische energie en thermische energie toegelicht. Daarnaast zijn in dit hoofdstuk de in het rapport gebruikte eenheden beschreven, wordt er een link gelegd met de duurzame energieproductie in Nederland en wordt het referentiekader van de studie weergegeven. In hoofdstuk 4 volgt een beschrijving van de hoeveelheden operationele, chemische en thermische energie die in de waterketen omgaan. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een bespreking van de resultaten. Op basis van de hoeveelheden energie die in de waterketen omgaan worden in hoofdstuk 5 de mogelijkheden om energie te besparen of terug te winnen besproken en gewogen. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een bespreking van de resultaten en wordt gerefereerd aan de klimaatdoelstelling van de waterschappen. In hoofdstuk 6 worden de onderzoeksvragen beantwoord en is de slotconclusie opgenomen.

# 2

## VRAAGSTELLING EN PROJECTBEGRENZING

### 2.1 VRAAGSTELLING

In de waterketen wordt energie gebruikt voor het bereiden van drinkwater, transporteren van leiding- en afvalwater en voor het zuiveren van afvalwater. Deze energie betreft veelal elektrische energie en wordt in dit rapport operationele energie genoemd. Daarnaast wordt energie toegevoegd, bijvoorbeeld door het lozen van verwarmd water (thermische energie) of het lozen van organische stof (chemische energie). Deze chemische en thermische energie wordt geloosd met het afvalwater. In de waterketen wordt deze energie getransporteerd en/of omgezet.

De vraagstelling van dit onderzoek valt uiteen in een aantal deelvragen. Navolgend zijn de deelvragen opgenomen. In hoofdstuk 6 “Terugkoppeling naar de vraagstelling” is per deelvraag het antwoord weergegeven.

#### THEORIE/ACHTERGROND

- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid operationele energie die gebruikt wordt in de waterketen?
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de reductie van deze operationele energie? Aandachtspunten hierbij zijn de hoeveelheid gebruikte energie, de kwaliteit van de energie, de vraag en het aanbod van de energie.
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid chemische vastgelegde energie (theoretisch) in de waterketen? Dit is de bovengrens voor de hoeveelheid energie die kan worden vrijgemaakt uit de stoffen in het afvalwater.
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de winbaarheid van deze chemische energie? Aandachtspunten hierbij zijn de hoeveelheid beschikbare energie, de kwaliteit van de energie, de vraag en de aanbod van de energie.
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid thermische energie in de waterketen? Dit is een uitgangspunt voor de hoeveelheid warmte die maximaal kan worden teruggewonnen uit afvalwater.
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de winbaarheid van thermische energie in de waterketen? Aandachtspunten hierbij zijn de hoeveelheid beschikbare energie, de kwaliteit van de energie, de vraag en de aanbod van de energie.
- Wat is de totale omvang van de theoretisch beschikbare hoeveelheid energie in de waterketen in Nederland?
- Hoe verhoudt de theoretisch beschikbare energie zich ten opzichte van andere vormen van biomassa en duurzame energie, het totale energiegebruik van de waterschappen en het energiegebruik van huishoudens?

### HUIDIGE SITUATIE

- Hoe wordt in de bestaande situatie gebruik gemaakt van de energie in afvalwater?
- Waar gaat chemische of thermische energie verloren?

### TOEKOMSTIGE SITUATIE

- Wat zijn logische locaties om energie (terug) te winnen uit afvalwater en welke combinaties kunnen gemaakt worden?
- Wat zijn de verwachte consequenties van het terugwinnen van deze energie in de waterketen?
- Hoe kan de waterketen vanuit energetisch perspectief optimaal worden ingericht?

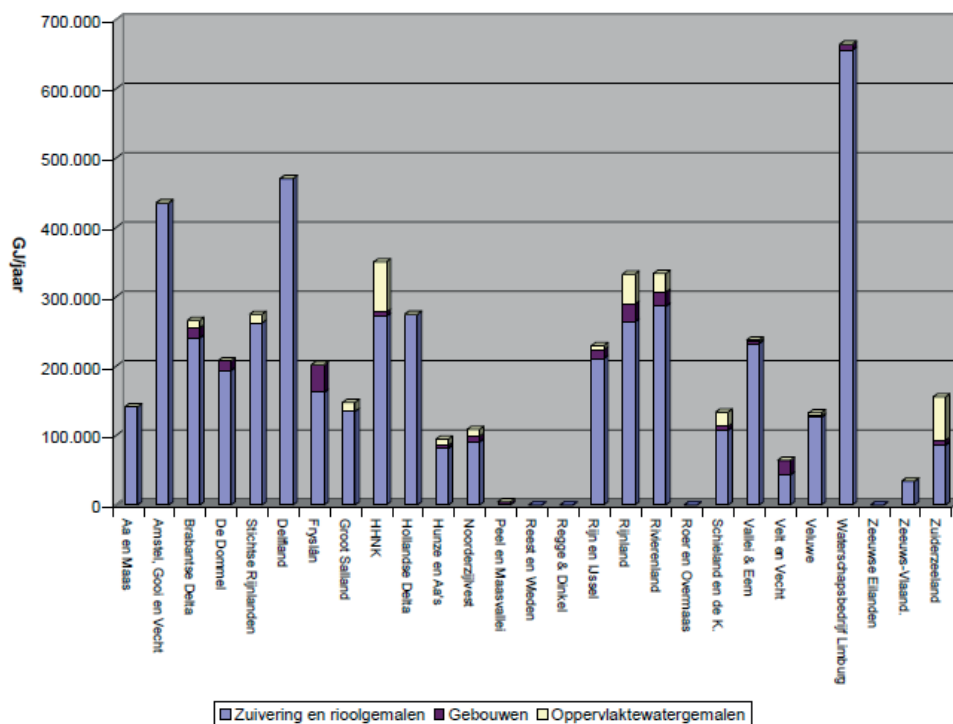
### PROJECTBEGRENZING

Dit project richt zich op energie in de waterketen. Voor de waterschappen is in de waterketen ook de grootste besparing te realiseren, aangezien naar schatting 90% van het energiegebruik van de waterschappen gerelateerd is aan de gebruikte energie in de waterketen, zie Figuur 2.1 [ii]. Er wordt ingegaan op de operationele, thermische en chemische energie in huishoudelijk afvalwater in Nederland. Deze bureaustudie is een objectieve systeemanalyse met een verkennend karakter en met de gehele Nederlandse waterketen als onderwerp.

De volgende onderdelen van de water- (en slibketen) behoren tot de 'scope' van het onderzoek:

- Chemicaliëngebruik bij drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering
- Leidingwaterwinning en -distributie
- Productie van huishoudelijk afvalwater door huishoudens
- Toevoeging van chemische en thermische energie aan afvalwater door huishoudens
- Afvalwatertransport
- Afvalwaterbehandeling
- Slibgisting
- Slibontwatering
- Slibeindverwerking

FIGUUR 2.1 VERDELING ENERGIEGEBRUIK WATERSCHAPPEN. BRON: UNIE VAN WATERSCHAPPEN [II]





# 3

## BEGRIPPEN, EENHEDEN EN REFERENTIEKADER

In dit hoofdstuk wordt in het algemeen ingegaan op de vorm waarin energie zich in huishoudelijk afvalwater kan bevinden. Verder worden de begrippen die in dit rapport worden gebruikt toegelicht. De volgende energievormen komen aan de orde:

- 1 Operationele energie
- 2 Chemische energie
- 3 Thermische energie

Verder wordt ingegaan op de eenheden die worden gebruikt, de hoeveelheid duurzame energie die in Nederland wordt opgewekt en het referentiekader voor deze studie. In bijlage 1 is een aantal principes en begrippen die in dit hoofdstuk worden gebruikt nader uitgelegd.

### 3.1 OPERATIONELE ENERGIE

Operationele energie is energie die gebruikt wordt voor het functioneren van de waterketen. Dit betreft voornamelijk elektrische energie, aardgas en diesel (transport). Elektrische energie wordt gebruikt bij het bereiden en distribueren van leidingwater en bij het verzamelen, transporteren en behandelen van afvalwater. Met de elektrische energie wordt vooral arbeid verricht. Er worden voornamelijk pompen en compressoren mee aangedreven. Aardgas wordt gebruikt voor bijstoken in warmtekracht(koppeling)installatie (WKK) en voor opwarming van de gisting indien onvoldoende biogas aanwezig is. Enkele waterschappen drogen het zuiveringsslib in eigen beheer en gebruiken aardgas bij het drogen van slib.

Onder de operationele energie wordt ook de energie verstaan die nodig is voor het produceren van chemicaliën die gebruikt worden bij de productie van drinkwater en de zuivering van afvalwater. Voorbeelden hiervan zijn natronloog (NaOH) en ijzerchloride (FeCl<sub>3</sub>). Deze operationele energie wordt aangeduid als indirecte operationele energie.

### 3.2 CHEMISCHE ENERGIE

Chemische energie is de energie die is opgeslagen in de chemische bindingen. Voorbeelden van energierijke stoffen zijn voedsel en brandstoffen. In afvalwater is chemische energie opgeslagen in koolstof en stikstofverbindingen. De chemische energie die hierin is opgeslagen wordt bijvoorbeeld gebruikt door de bacteriën in het actief slib voor stofwisselingsprocessen en groei.

De totale hoeveelheid chemische energie in afvalwater kan worden gekwantificeerd aan de hand van de Higher Heating Value (HHV) van de stoffen in het water. Dit is verder uitgewerkt in bijlage 2. De HHV vertegenwoordigt de verbrandingswarmte van de materialen en chemische verbindingen in het water en is een internationaal geaccepteerd begrip

Een voorbeeld van het beschikbaar maken van de chemische energie die in afvalwater is opgeslagen is het omzetten van organische stof door vergisting. Hierdoor ontstaat biogas wat bij verbranding warmte oplevert (thermische energie). Er vindt dan een energieomzetting plaats van vaste en opgeloste chemische energie (organische stof) via gasvormige organische stof (gistingsgas) naar thermische energie. Meestal komt hier nog een derde en vierde omzetting bij als de thermische energie wordt omgezet naar mechanische energie en de mechanische energie naar elektrische energie.

### 3.3 THERMISCHE ENERGIE

Door te douchen, of de was te doen voegen huishoudens thermische energie (warmte) toe aan het afvalwater. Thermische energie kan in principe in niet verloren gaan. De mogelijkheden voor het gebruiken van de thermische energie die in water is opgeslagen zijn afhankelijk van het temperatuurverschil met de omgeving. De toepassingsmogelijkheden van deze (laagwaardige) energie kunnen worden vergroot door toepassing van warmtepompen (zie bijlage 1).

### 3.4 EENHEDEN

Aardgas wordt gemeten in normaal kubieke meter ( $\text{Nm}^3$ , bij een druk van 1.013 mbar en een temperatuur van 0 graden Celsius), elektriciteit in kWh, benzine en stookolie in gewichtseenheden (kg). Dit zijn de fysieke eenheden die onderling niet zonder meer met elkaar verekend kunnen worden. Daarom worden de fysieke hoeveelheden omgerekend naar de hoeveelheden warmte die bij verbranding vrijkomen, de HHV (zie ook paragraaf 3.2). De eenheid waarin energie wordt uitgedrukt is de Joule (symbool J). Omdat dit een kleine eenheid is, worden in de statistiek veelvoudigen gebruikt, zoals de gigajoule ( $1 \text{ GJ} = 1 \cdot 10^9 \text{ J}$ ), de terajoule ( $1 \text{ TJ} = 1 \cdot 10^{12} \text{ J}$ ) of de petajoule ( $1 \text{ PJ} = 1 \cdot 10^{15} \text{ J}$ ). Bij het weergeven van energiestromen en verbruiken op landelijke schaal wordt in dit rapport als eenheid petajoule (PJ) gebruikt. Deze eenheid wordt algemeen gebruikt in rapportages over energieopwekking en energiegebruik van CBS en de Nederlandse overheid.

### 3.5 ENERGIE IN DE WATERKETEN EN DUURZAME ENERGIE

Een kenmerk van de huidige energieproductie is dat veel van de bronnen waar energie uit wordt gewonnen (fossiele energie) op kunnen raken, en dat er bij het produceren ervan vervuilende stoffen (vooral koolstofdioxide en verzurende componenten) vrijkomen. Er wordt daarom gezocht naar duurzame energiebronnen waarvoor dit niet geldt. In deze rapportage wordt duurzaam gebruikt als synoniem voor hernieuwbaar, oftewel voor energie opgewekt uit bronnen die niet op kunnen raken.

**DEFINITIES DUURZAME ENERGIE**

*SenterNovem: Duurzame energie is energie waarvoor hernieuwbare, primaire energiedragers met behulp van energieconversietechnieken zijn omgezet in secundaire oftewel bruikbare energiedragers [a].*

*VRM: Duurzame energie is energie die niet wordt opgewekt door aardolie, aardgas of steenkool te verbranden, maar door schone, onuitputtelijke bronnen. Duurzame energie wordt daarom ook wel hernieuwbare energie genoemd. Windenergie en zonne-energie zijn de bekendste voorbeelden. Maar er zijn meer soorten duurzame energie: biomassa, aardwarmte, waterkracht, energieopslag en warmtepompen. Een andere term voor duurzame energie is groene energie. Groene energie is een breder begrip dan groene stroom. Groene energie kán gebruikt worden voor de productie van elektriciteit, maar dat hoeft niet. Bij het vergisten van biomassa bijvoorbeeld komt gas vrij ('groen gas') en aardwarmte kan gebruikt worden om kassen op de juiste temperatuur te brengen ('groene warmte')*

In Tabel 3.1 is een overzicht opgenomen van de opbrengst van de verschillende bronnen van duurzame energie in Nederland in 2008 [b].

TABEL 3.1

DUURZAME ENERGIE IN NEDERLAND IN 2008

Bron en techniek	Vermeden gebruik fossiele energie per jaar
Waterkracht	0,8 PJ
Windenergie	35,1 PJ
Zonne-energie	1,2 PJ
Omgevingsenergie (warmtepompen, WKO)	5,4 PJ
Biomassa	71,6 PJ
Totaal vermeden gebruik	114,1 PJ
Totaal energiegebruik in Nederland	3.330 PJ/jaar
Aandeel duurzame energie in totaal energiegebruik	3,4 %

In 2008 was het aandeel van duurzame energie in het binnenlandse energiegebruik 3,4 %. Nederland heeft in de Derde Energienota tot doel gesteld dat 10 % van de energieconsumptie afkomstig moet zijn van duurzame bronnen. In EU verband is een bindende doelstelling vastgelegd van 14 % duurzame energie voor 2020.

De organische vervuiling in afvalwater van huishoudens en veel bedrijven is ook een biomassastroom. Nu wordt de energie-inhoud van deze biomassastroom voor een deel benut via slibgisting en opwekking van elektrische energie met WKK (warmtekrachtkoppeling). Gistinggas is een duurzame energiebron.

Voor het winnen van thermische energie uit afvalwater is minder duidelijk of dit als duurzame energie (omgevingsenergie) gezien kan worden. Je kunt het winnen van thermische energie uit afvalwater ook beschouwen als energiebesparing. Dit onderscheid is moeilijk te leggen en voert te ver voor deze studie. Er wordt nu gemakshalve van uitgegaan dat het terugwinnen van thermische energie valt onder de noemer omgevingswarmte en dus duurzame energie betreft.

### 3.6 REFERENTIEKADER

Om de waarden voor energiegebruik en voor de energieopbrengst in perspectief te kunnen zetten is een referentiekader nodig. Er wordt gekozen voor het refereren aan het energiegebruik van huishoudens. Er wordt uitgegaan van een vergelijking met het primaire energieverbruik binnenshuis van huishoudens.

#### PRIMAIRE ENERGIE, SECUNDAIRE ENERGIE EN OPWEKKINGSRENDEMENT

Primaire energie: energiegrondstoffen in hun natuurlijke vorm vóór enige technische omzetting. Voorbeelden zijn kolen, gas, olie, zon en biomassa.

Secundaire energie: energie verkregen door omzetting van primaire energiebronnen. Voorbeelden zijn elektriciteit en warmte.

Opwekkingsrendement: bij de productie van secundaire energie is altijd sprake van een energieverlies. Bij de opwekking van elektrische energie is bijvoorbeeld sprake van een aanzienlijk verlies in de elektriciteitscentrale (restwarmte). Het gemiddelde rendement van de Nederlandse energiecentrales was 43 % in 2008. Dit betekent dat voor iedere Joule elektrische energie 2,3 Joule primaire energie noodzakelijk was.

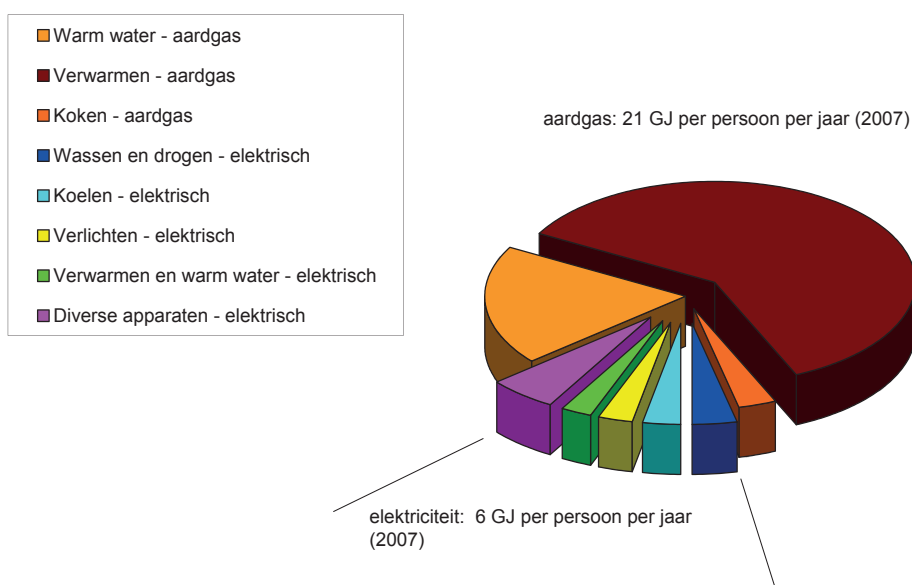
In Tabel 3.2 is het gemiddelde energieverbruik van Nederlandse huishoudens opgenomen.

TABEL 3.2 PRIMAIR ENERGIEGEBRUIK IN NEDERLANDSE HUISHOUDENS BINNENSHUIS (2007)

	Nederland (2007)	Specifieke energie per persoon		Per huishouden	
	PJ/jaar	kWh/pp/jaar	GJ/pp/jaar	kWh/hh/jaar	GJ/hh/jaar
Elektriciteit	91	1.500	6	3.500	13
Aardgas	348	5.900	21	13.000	48
Totaal	439	7.400	27	16.500	61

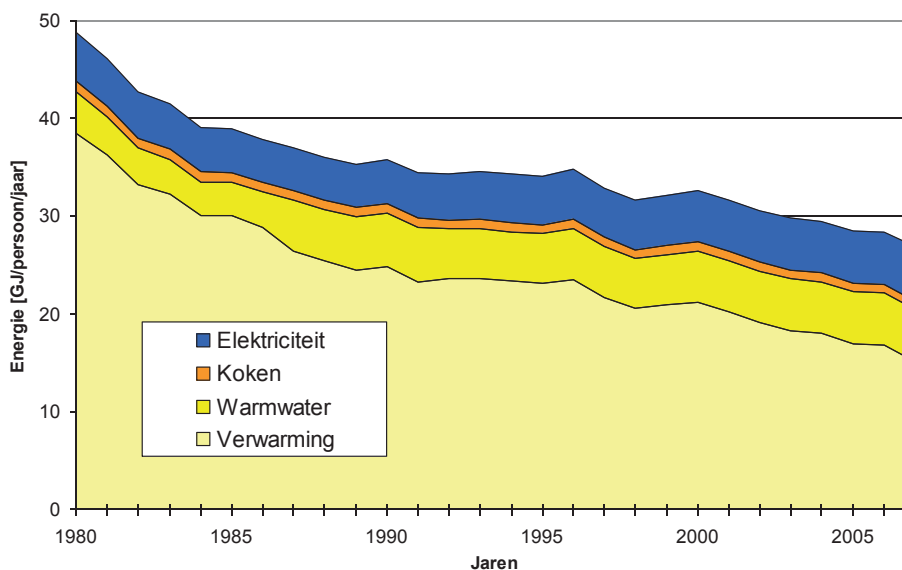
In Figuur 3.1 is ter illustratie een verdeling gegeven van het huishoudelijk energiegebruik in 2007.

FIGUUR 3.1 VERDELING HUISHOUDELIJK GEBRUIK PRIMAIRE ENERGIE (BRON: CBS)



In Figuur 3.2 is de ontwikkeling van het Nederlandse gas en elektriciteitsverbruik weergegeven voor de periode 1980 – 2005.

FIGUUR 3.2 ONTWIKKELING HUISHOUDELIJK ENERGIEGEBRUIK PER JAAR (BRON: CBS)



Uit Figuur 3.2 blijkt dat het gemiddelde huishoudelijke energiegebruik per hoofd van de bevolking de afgelopen decennia langzaam gedaald is tot 27 GJ per persoon per jaar in 2007. Deze daling is vrijwel geheel te danken aan een lager gasgebruik voor ruimteverwarming, de opkomst van de energiezuinige verwarming (HR-ketel) en betere isolatie van woningen. Het gasgebruik voor warm tapwater is in de afgelopen jaren echter iets gestegen. Daarmee is het percentage van het gemiddeld huishoudelijk gasgebruik voor warm tapwater ten opzichte voor ruimteverwarming in de afgelopen tien jaar toegenomen van circa 22% tot 32% [p]. Door deze twee ontwikkelingen is de warmtelozing via het afvalwater van huishoudens steeds relevanter geworden.

Het energiegebruik van de Nederlandse waterschappen wordt in een recente studie op 6,5 PJ/jaar geraamd [ii].

## 4

## ENERGIE IN DE WATERKETEN

Voor de Nederlandse situatie is de hoeveelheid energie die relevant is voor de waterketen redelijk goed bekend of in te schatten. In dit hoofdstuk is ingegaan op de omvang van het energiegebruik en de energiestromen. Er is waar mogelijk uitgegaan van recente gegevens. Bij de tabellen en de figuren is een negatieve waarde gegeven als er energie verdwijnt uit de waterketen of er sprake is van een energiegebruik (operationele energie). Er is een positieve waarde gegeven als er energie aan de waterketen wordt toegevoegd (zoals de lozing van chemische of thermische energie door huishoudens).

#### 4.1 OPERATIONELE ENERGIE

Operationele energie die in de waterketen wordt gebruikt is een relatief kleine energiestroom. Deze energiestroom is goed kwantificeerbaar. In Figuur 4.1 is een overzicht gegeven van de operationele energie die in Nederland voor de waterketen wordt gebruikt (situatie 2007). Deze gegevens zijn ondermeer gebaseerd op informatie van CBS en de Vewin.

De belangrijkste uitgangspunten die zijn gehanteerd zijn:

- Voor de bereiding en het transport van leidingwater is uitgegaan van 1.088 miljoen m<sup>3</sup> leidingwater per jaar en 0,47 en 0,11 kWh/m<sup>3</sup> voor respectievelijk bereiding en distributie van leidingwater [h]
- Voor de inzameling en transport van afvalwater is uitgegaan van een totaalgebruik van 204 GWh [i]
- Voor het energiegebruik op de rwzi (zuivering en slibbehandeling) is uitgegaan van de productie van afvalwater en het energiegebruik zoals dit door het CBS voor 2007 is geïnventariseerd (1,0 \*10<sup>9</sup> kWh). Er is uitgegaan van het totale energiegebruik. De productie van elektrische energie en warmte uit gistingsgas met WKK's (0,16\*10<sup>9</sup> kWh) is niet verrekend
- Het energiegebruik voor slibeindverwerking is opgebouwd uit het energiegebruik voor slibtransport en het energiegebruik voor slibafzet. Het uitgangspunt voor slibtransport is een energiegebruik van 1,9 MJ/ton.km [k] en een transportafstand van 155 \*10<sup>6</sup> ton.km/jaar [l][m][n]. Voor de slibafzet is uitgegaan van het energiegebruik van de meest gangbare wijze van slibeindverwerking, namelijk slibverbranding. Over andere slibeindverwerkings technieken, zoals compostering, zijn geen goede energieoverzichten gevonden. Deze zijn energieneutraal verondersteld.
- De energie die benodigd is voor de productie van de chemicaliën die gebruikt worden bij de bereiding en de zuivering van water wordt indirecte operationele energie genoemd
- Chemicaliën hebben een energie-inhoud die gebaseerd is op de hoeveelheid energie die benodigd is voor het productieproces. Deze energie-inhoud wordt uitgedrukt in kengetallen voor de CO<sub>2</sub> uitstoot (bijlage 3)
- De omrekenfactor die gebruikt wordt om de CO<sub>2</sub> uitstoot terug te rekenen naar het energieverbruik bedraagt 1 kWh per 0,59 kg CO<sub>2</sub>

In Tabel 4.1 is tevens het operationele energiegebruik weergegeven wat aan huishoudens kan worden toegeschreven. De toeschrijving is op basis van de volgende percentages:

- Aandeel van het gebruik van leidingwater door huishoudens in het totale gebruik van leidingwater is 73 % [h]
- Aandeel van het huishoudelijk afvalwater in het totale afvalwaterdebiet wat wordt ingezameld met het gemeentelijk riool is 36 % [dd]
- Aandeel van het huishoudelijk afvalwater in de lozing van vervuilingseenheden is 66 % [ee][gg][m]

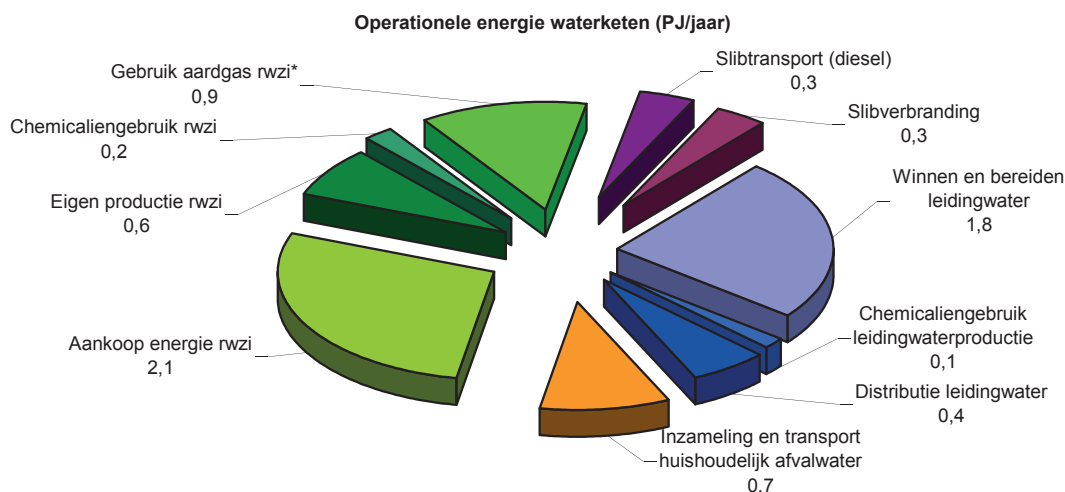
TABEL 4.1 OPERATIONELE ENERGIE IN DE WATERKETEN

	Totaal Nederland		Huishoudelijk gerelateerd		
	PJ/jaar	Aandeel	PJ/jaar	MJ/pp/jaar	kWh/pp/jaar
Bereiding van leidingwater	-2,0	73%	-1,4	-88	-24
Transport en distributie van leidingwater	-0,4	73%	-0,3	-19	-5
Huishoudens en bedrijven	niet van toepassing				
Inzameling en transport huishoudelijk afvalwater (riool)	-0,7	36%	-0,3	-16	-4
RWZI (zuiveringsproces en slibbehandeling)	-3,8	66%	-2,5	-154	-43
Effluentlozing	niet van toepassing				
Slibeindverwerking	-0,6	66%	-0,4	-25	-7
<b>Totaal waterketen</b>	<b>-7,5</b>		<b>-4,9</b>	<b>-302</b>	<b>-84</b>

In bijlage 3 zijn de uitgangspunten en de onderliggende balanswaarden opgenomen. Als het totale verbruik van de huishoudelijk gerelateerde operationele energie (302 MJ per persoon per jaar) wordt vergeleken met het gebruik van energie binnenshuis per persoon per jaar (Figuur 3.1: 27 GJ per persoon per jaar in 2007) dan valt op dat het energiegebruik in de waterketen relatief klein is (1,1 %). In Figuur 4.1 is de verdeling van het totale gebruik van operationele energie over de waterketen grafisch en uitgesplitst weergegeven [m].

FIGUUR 4.1 VERDELING VAN HET GEBRUIK VAN OPERATIONELE ENERGIE OVER DE NEDERLANDSE WATERKETEN 2007

Onderdeel	Gebruik in 2007	
<b>Leidingwater</b>		
Winnen en bereiden van leidingwater huishoudens	370.830.000 kWh/jaar	1,3 PJ/jaar
Distributie van leidingwater huishoudens	86.790.000 kWh/jaar	0,3 PJ/jaar
Winnen en bereiden van leidingwater overig	140.530.000 kWh/jaar	0,5 PJ/jaar
Distributie van leidingwater overig	32.890.000 kWh/jaar	0,1 PJ/jaar
Chemicaliënverbruik	38.367.000 kWh/jaar	0,1 PJ/jaar
<b>Inzameling en transport huishoudelijk afvalwater (riool)</b>		
Inzameling en transport huishoudelijk afvalwater	204.000.000 kWh/jaar	0,7 PJ/jaar
<b>RWZI (zuiveringsproces)</b>		
Aankoop energie (elektrisch, huisbrandolie)	585.000.000 kWh/jaar	2,1 PJ/jaar
Eigen productie (elektrisch)	158.000.000 kWh/jaar	0,6 PJ/jaar
Chemicaliënverbruik	49.500.000 kWh/jaar	0,2 PJ/jaar
Gebruik aardgas	29.574.000 Nm <sup>3</sup> /jaar	0,9 PJ/jaar
<b>Slibeindverwerking</b>		
Slibtransport (diesel)	154.701.000 ton km/jaar	0,3 PJ/jaar
Aardgas (DRSH en GMB)	1.808.000 Nm <sup>3</sup> /jaar	0,1 PJ/jaar
Elektrische energie	245.968.000 kWh/jaar	0,2 PJ/jaar
<b>Totaal</b>		<b>7,5 PJ/jaar</b>



\* Uit deze cijfers blijkt dat een aanzienlijke hoeveelheid aardgas wordt gebruikt op de Nederlands rwzi's. Exacte cijfers over de ondervdeling van dit gebruik ontbreken. De indruk is dat dit gasverbruik voor een klein deel kan worden toegeschreven aan ruimteverwarming. Daarnaast wordt een deel gebruikt voor het "bijstoken" in WKK-installaties, bijvoorbeeld als er (tijdelijk) te weinig biogas beschikbaar is. Tenslotte wordt verondersteld dat het drogen van slib met aardgas verantwoordelijk is voor een belangrijk deel van het verbruik.

## LEIDINGWATER

Het totale gebruik van operationele energie voor de productie van leidingwater is ten opzichte van de zuivering van afvalwater ongeveer 50 % kleiner. De productie van leidingwater (1.088 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) is ook ongeveer 50 % kleiner dan de hoeveelheid afvalwater die wordt gezuiverd (2.068 miljoen m<sup>3</sup>/jaar). De hoeveelheid energie die nodig is om 1 m<sup>3</sup> leidingwater te produceren is 2,1 MJ/m<sup>3</sup>.

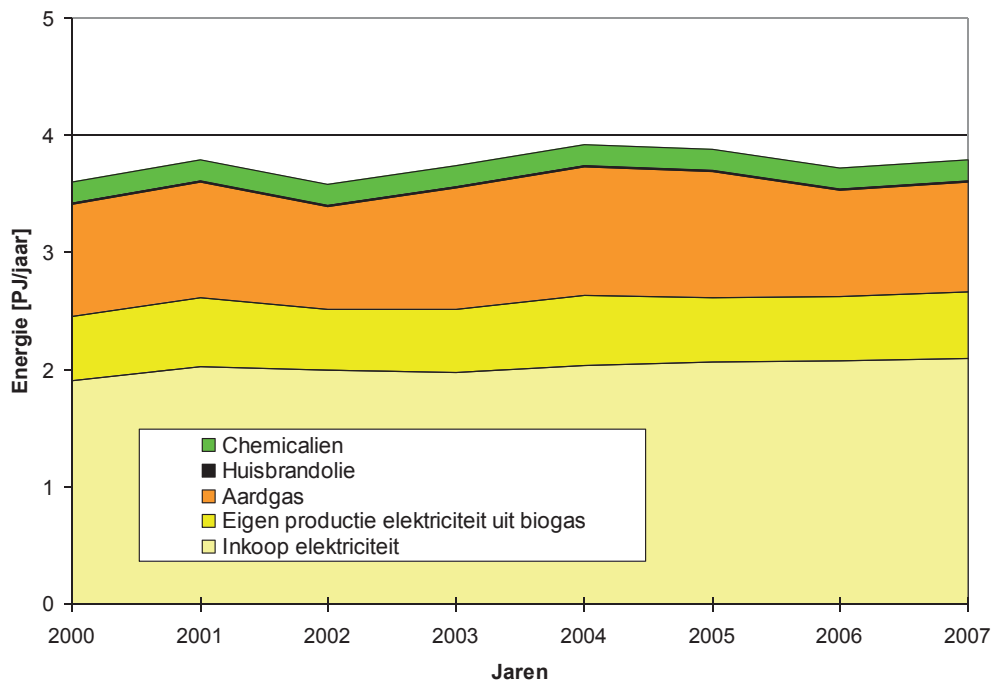
Het totale energiegebruik per kubieke meter geproduceerd leidingwater is de laatste jaren relatief stabiel. In de periode 1997-2006 is het mede als gevolg van ontharding en nieuwe zuiveringsmethoden met 4 % gestegen [g].



### RWZI'S

In Figuur 4.2 is de ontwikkeling in de periode 2000-2007 en de verdeling van het operationele energiegebruik tussen de verschillende energiedragers grafisch weergegeven. In bijlage 3 zijn de onderliggende waarden en uitgangspunten opgenomen. Het gaat in de grafiek om het directe gebruik van energie. Het opwekkingsrendement (zie het kader in hoofdstuk 3) en de productie van de elektrische energie is niet meegenomen.

FIGUUR 4.2 ONTWIKKELING DIRECT GEBRUIK OPERATIONELE ENERGIE OP NEDERLANDSE RWZI'S (ZUIVERINGSPROCES EN SLIBBEHANDELING) [M]



### SLIBEINDVERWERKING

Bij de slibeindverwerking is ook het slibtransport in de energiebalans meegerekend. Hierbij is uitgegaan van  $155 \cdot 10^6$  ton.km/jaar (zie bijlage 3). Dit komt overeen met een energiegebruik van 0,3 PJ/aar.

Bijna 50% van het zuiveringsslib wordt verbrand in twee grote wervelbedovens (Dordrecht en Moerdijk). De warmte die hierbij vrijkomt wordt gebruikt voor het gedeeltelijk voordrogen van het slib. Op basis van de jaarverslagen van deze twee wervelbedovens [n][o] is berekend dat deze wijze van slibeindverwerking 0,3 PJ/jaar vergt.

Ongeveer 30% van het slib wordt thermisch gedroogd. Dit vindt plaats in zeven drooginstallaties. Vijf van de zeven installaties gebruiken aardgas, één gebruikt biogas en één gebruikt restwarmte. Het gedroogde slib wordt als secundaire brandstof ingezet bij kolengestookte elektriciteitscentrales en cementovens. Een deel van het aardgas dat wordt gebruikt bij het drogen van het slib is opgenomen binnen het gebruik aan operationele energie van de rwzi's (Figuur 4.1 en Figuur 4.2). Circa 13% van het slib wordt biologisch gedroogd (compostering). Het gebruik van gedroogd slib in een elektriciteitscentrale of cementoven levert energie op [l]. De energieopbrengst van het gedroogde slib wordt door een groot aantal factoren bepaald. Er zijn geen goede cijfers beschikbaar over de hoeveelheid energie die in heel Nederland hiermee gemoeid is. Deze post is daarom niet meegenomen in het energiegebruik.

## 4.2 CHEMISCHE ENERGIE

Chemische energie wordt bij huishoudens en bedrijven in de vorm van organische stof toegevoegd aan water. Bij lozing van het afvalwater komt deze energie in het riool terecht. Een klein deel van de chemische energie wordt omgezet door anaërobe processen (rotting) in het riool of verdwijnt naar het oppervlaktewater via een riooloverstort uitgeworpen op het oppervlaktewater. Het is niet bekend hoeveel afbraak in het riool plaatsvindt en hoeveel afvalwater via een overstort wordt uitgeworpen. Er bestaat waarschijnlijk een grote variatie in afbraak door verschillen tussen rioolstelsels in verblijftijd en afvalwatertemperatuur. Een indicatie voor de afbraak van organische stof in het riool is de hoeveelheid methaan die in het riool wordt gevormd. Bij een recente studie naar broeikasgassen is het methaangehalte gemeten bij het ontvangstwerk van enkele rwzi's (4 - 22 mg/l bij een relatief hoge afvalwatertemperatuur van 26 - 28 °C) [ff]. Als het laagste gemeten gehalte wordt geëxtrapoléerd naar al het afvalwater in Nederland dan zou dit betekenen dat 16.000 ton CZV/jaar wordt omgezet in methaan.

Bij de bepaling van de hoeveelheid chemische energie die in de waterketen wordt toegevoegd en er uit wordt verwijderd is nader gekeken naar de chemische energie die in koolstof- en stikstofverbindingen is opgeslagen. De hoeveelheid energie is gekwantificeerd met behulp van een theoretische studie naar de hoeveelheid chemische energie in afvalwater en bedraagt 1,8 MJ per etmaal per vervuilingseenheid (à 136 g TZV). In bijlage 2 wordt een onderbouwing gegeven deze energie-inhoud. Met behulp van deze energiehoeveelheden, de omvang en de samenstelling van de afvalwaterstroom is de omvang van de energiestromen in de waterketen berekend. In Tabel 4.2 is de omvang van de chemische energiestromen opgenomen waarbij de huishoudelijke en overige stromen in een aparte kolom zijn weergegeven.

De belangrijkste uitgangspunten die zijn gehanteerd zijn:

- De chemische energie-inhoud van leidingwater is verwaarloosbaar klein.
- Op de Nederlandse rwzi's worden 27 miljoen vervuilingseenheden (à 136 g TZV) aangevoerd. Deze hoeveelheid is gebaseerd op informatie van het CBS over 2007 [m]. Getalsmatig betekent dit 2.06 miljoen m<sup>3</sup> afvalwater met 942 miljoen kg CZV en 88 miljoen kg N-Kjeldahl per jaar.
- Bij de inzameling en het transport van afvalwater gaat een deel van de geloosde vervuilingseenheden 'verloren' door riooloverstorten (5 volume %, emissie 0,9 % [gg]) en afbraak (aannahme van begeleidingscommissie voor omzetting is 2 %) in het riool. Volgens deze aannames gaat op deze wijze 27 miljoen kg CZV en 1 miljoen kg N-Kjeldahl "verloren" bij het transport van afvalwater.
- Het aandeel van het huishoudelijk afvalwater in de lozing van vervuilingseenheden is 65 %. Dit percentage is berekend met behulp bovenstaande uitgangspunten voor en een STOWA-studie naar de hoeveelheid organische stof die per persoon per dag wordt geproduceerd (631 miljoen kg CZV, 77 miljoen kg N-Kjeldahl) [ee] [m].
- Een deel van het primair en secundair slib wordt vergist. Dit leidt tot een biogasstroom met een energie-inhoud van 2,4 PJ/jaar.

TABEL 4.2 CHEMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN

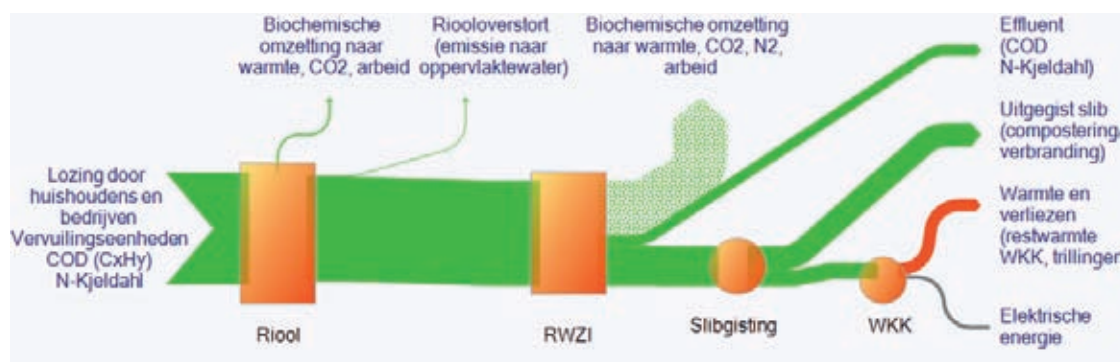
	Totaal Nederland		Huishoudelijk gerelateerd		
	PJ/jaar	PJ/jaar	Aandeel in totaal	MJ/pp/jaar	kWh/pp/jaar
Bereiding van leidingwater	nihil verondersteld				
Transport en distributie van leidingwater	nihil verondersteld				
Huishoudens en bedrijven	16	10,4	65%	637	177
Inzameling en transport huishoudelijk afvalwater (riool)	-0,4	-0,2	65%	-15	-4
RWZI (zuiveringsproces)	-8,0	-5,2	65%	-320	-89
RWZI (slibbehandeling)	-2,4	-1,6	65%	-97	-27
Effluentlozing	-1,6	-1,0	65%	-64	-18
Slibeindverwerking	-3,6	-2,3	65%	-142	-39

In bijlage 3 zijn de uitgangspunten en zijn de onderliggende balanswaarden opgenomen. De organische stof die huishoudens en bedrijven via het afvalwater afvoeren, vertegenwoordigt een energiewaarde van 16 PJ/jaar (op basis van de HHV = theoretisch maximum). Ten opzichte van het totale energiegebruik in Nederland is dit ongeveer 0,5 %. Ten opzichte van het vermeden gebruik van fossiele energie door gebruik van biomassa in 2008 is dit 22 %. Het komt overeen met het gebruik van aardgas van ruim 750.000 personen.

Er is sprake van een aantal omzettingen van chemische energie bij het transport en de zuivering van afvalwater. In Figuur 4.3 is in een zogenaamd Sankey diagram weergegeven hoe de chemische energie in een rwzi wordt omgezet of afgevoerd. De dikte van de pijlen is geschaald op basis van de energie-inhoud van de verschillende stromen in 2007.

Bij het zuiveren van het afvalwater wordt in 2007 ongeveer de helft van de aangevoerde energie door het actief slib in de rwzi gebruikt voor stofwisselingsprocessen. Een deel hiervan wordt bij de slibbehandeling omgezet in biogas. Een deel hiervan wordt weer omgezet in elektrische energie. Het resterende uitgeste slib wordt verder verwerkt (met name slibverbranding of compostering).

FIGUUR 4.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE OMZETTING VAN CHEMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN



### 4.3 THERMISCHE ENERGIE

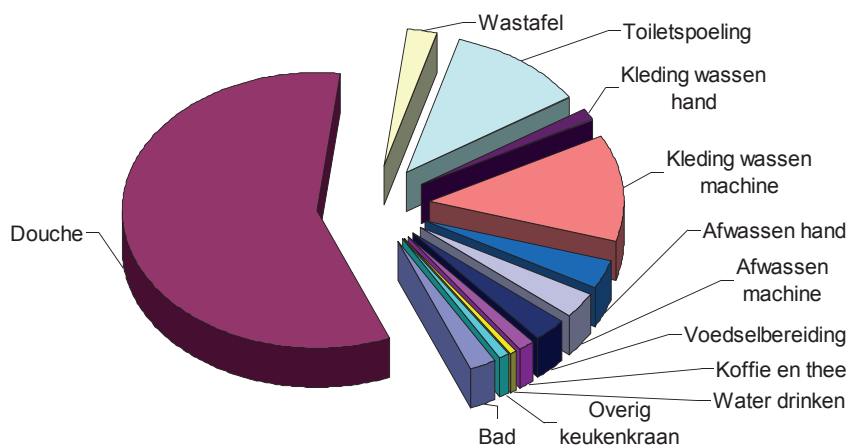
Huishoudens en bedrijven lozen met het afvalwater thermische energie. De hoeveelheid afvalwater die dagelijks door een persoon op het riool geloosd wordt en de temperatuur daarvan is weergegeven in Tabel 4.3. Een gemiddeld huishouden gebruikt 385 m<sup>3</sup> aardgas voor de productie van warm water. Bij het produceren van het warm water en bij het transporteren van het warm water gaat veel warmte verloren. Deze verliezen zijn voor ieder huishouden anders, door het gedrag van de bewoners, de grootte van het huis en het type ketel, etc. Bij de productie van warm water wordt uitgegaan van een verlies van 33%<sup>1</sup>. Een indicatie van de leidingverliezen is 14% (douche) tot 64% (keukenkraan) [rr]. Dit betekent dat het grootste deel van de warmte die in aan het leidingwater wordt toegevoegd (bijlage 3, tabel 5) verloren gaat voordat het warm water wordt gebruikt (en via het afvalwater wordt geloosd, bijlage 3, tabel 4).

In Figuur 4.4 wordt de verdeling van de geloosde thermische energie van huishoudens grafisch weergegeven (zie ook bijlage 3). Het gaat hierbij om de thermische energie die door huishoudens wordt geloosd met het afvalwater. De hoeveelheid thermische energie is berekend ten opzichte van de temperatuur van het leidingwater (uitgangspunt voor de gemiddelde leidingwatertemperatuur is 12 °C).

TABEL 4.3 GEMIDDELD WATERGEBRUIK EN AANNAME VOOR DE AFVALWATERTEMPERatuur PER PERSOON [J]

Bron	Gemiddeld daggebruik [l/d]	Lozing (aanname) [l/d]	Afvoer temperatuur [°C]	Geloosde thermische energie [kJ/pp.d]
Bad	2,5	2,5	30	188
Douche	49,8	49,8	35	4.788
Wastafel	5,3	5,3	22	222
Toiletspoeling	37,1	37,1	18	930
Kleding wassen hand	1,7	1,5	30	115
Kleding wassen machine	15,5	14,0	30	1.050
Afwassen hand	3,8	3,4	30	257
Afwassen machine	3,0	2,7	35	260
Voedselbereiding	1,7	1,5	50	243
Koffie en thee	1,2	1,1	37	113
Water drinken	0,6	0,5	37	56
Overig keukenkraan	5,3	4,8	15	60
<b>Totaal</b>	<b>127,5</b>	<b>124,2</b>	<b>28</b>	<b>8.282</b>

FIGUUR 4.4 VERDELING THERMISCHE ENERGIE IN DE WARMWATERLOZING VAN HUISHOUDENS (PJ/PP/DAG)



1 Dit verlies is aanzienlijk groter dan het door fabrikanten opgegeven rendement voor een moderne CV-installatie. Het gaat hier echter over het rendement van een gemiddelde CV-installatie.

*Als gekeken wordt naar de hoeveelheid thermische energie die ongewild wordt geloosd door het doorspoe-  
len van het toilet (930 kJ per persoon per dag = 340 MJ pp/jaar) dan is deze energiestroom groter dan de  
totale hoeveelheid huishoudelijk gerelateerde operationele energie die nodig is voor de waterketen (302  
MJ per persoon per jaar, paragraaf 4.1).*

Voor bedrijfsafvalwater is uitgegaan van een gemiddelde lozingstemperatuur van 25 °C. Dit is een arbitraire waarde. Er zijn geen goede gegevens over deze warmtelozing beschikbaar. Er is verder geen rekening mee gehouden dat sommige bedrijven afvalwater voorafgaand aan de lozing op het riool koelen om te voldoen aan de eis voor de maximum temperatuur. Verder lozen veel bedrijven koelwater op het oppervlaktewater. Deze warmtelozing valt echter buiten deze studie.

Na gebruik en opwarming wordt het afvalwater geloosd waarbij een belangrijk deel van de thermische energie wordt uitgewisseld met de omgeving via de wand van het rioolstelsel. Ook in de rwzi wordt energie uitgewisseld met de omgeving. Doordat in het riool ook hemelwater en rioolvreemd water aan het huishoudelijk en bedrijfsafvalwater wordt toegevoegd is de balans voor thermische energie over de waterketen van dag tot dag en van seizoen tot seizoen verschillend.

Om een indruk te geven van de omvang van de energiestromen in de rwzi is op basis van gemiddelde waardes een energiebalans opgesteld voor de Nederlandse waterketen. Deze is weergegeven in Tabel 4.4 (zie ook bijlage 3).

De thermische energie-inhoud is in deze balans beschreven op basis van de volgende uitgangspunten.

- In de tabel wordt weergegeven hoeveel energie wordt toegevoegd aan het leidingwater. Het uitgangspunt voor de gemiddelde leidingwatertemperatuur is 12 °C. Dit zegt nog niets over de mogelijkheden voor winning van thermische energie, hier wordt na de tabel op ingegaan.
- Huishoudens en bedrijven voegen 65 PJ/jaar aan thermische energie toe aan het afvalwater. Voor huishoudens is deze energiestroom gebaseerd op een TNS NIPO studie naar watergebruik en de aannames over de lozingstemperatuur (Tabel 4.3) [j]. Hiermee is berekend dat de warmtelozing door huishoudens 49 PJ/jaar bedraagt. Voor industrieel- en bedrijfsafvalwater is een lozingstemperatuur aangenomen van 25 °C. De omvang van de warmtelozing van de industrie en bedrijven bedraagt 16 PJ/jaar.
- Het aandeel van het huishoudelijk afvalwater in de lozing van thermische energie is 76% (49 PJ/jaar).
- Voor de thermische energie van het slib is er vanuit gegaan dat het slib vlak voor het transport naar de eindverwerker in evenwicht is met de omgeving. De thermische energiestromen bij de slibeindverwerking (slibdroging, verbranding) kunnen met de beschikbare gegevens niet worden gekwantificeerd en worden daarom buiten beschouwing gelaten.
- Bij de afbraak van verontreinigingen komt warmte vrij. Tegelijkertijd koelt de rwzi af. In de tabel is het saldo van opwarming en afkoeling weergegeven. In bijlage 3 tabel 26 en 27 zijn de onderliggende processen per maand kwantitatief weergegeven.

In Tabel 4.4 is de totale hoeveelheid en de hoeveelheid thermische energie weergegeven die aan huishoudens kan worden toegeschreven. Het verlies van thermische energie in het riool is de balanswaarde. In bijlage 3 zijn de onderliggende uitgangspunten en balanswaarden opgenomen.

TABEL 4.4 INBRENG EN AFVOER VAN THERMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN

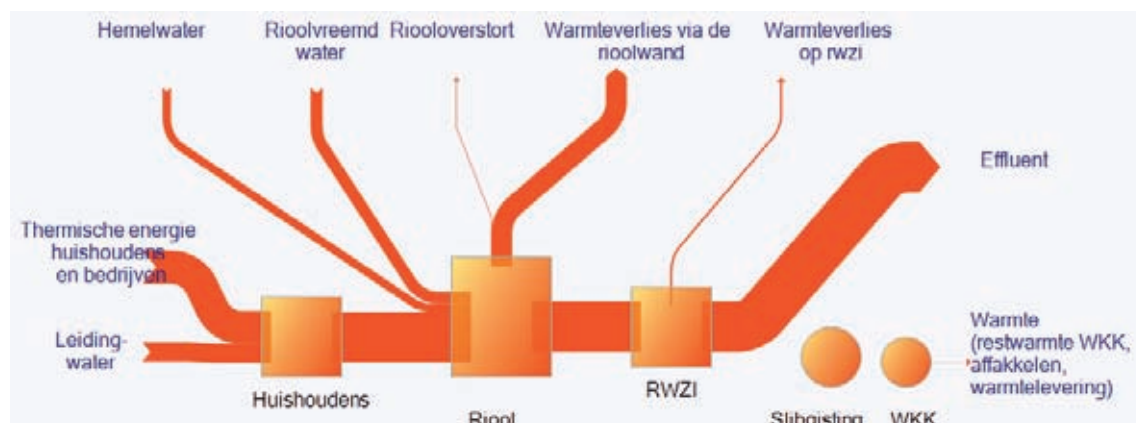
	Totaal Nederland		Huishoudelijk gerelateerd		
	PJ/jaar	PJ/jaar	Aandeel in totaal	MJ/pp/jaar	kWh/pp/jaar
Bereiding van leidingwater	nihil verondersteld				
Transport en distributie van leidingwater	nihil verondersteld				
Huishoudens en bedrijven	65	49	76%	3.023	409
Inzameling en transport huishoudelijk afvalwater (riool)	-37,5	-28	76%	-1.741	-484
RWZI (zuiveringsproces)	-4,2	-3,2	76%	-197	-55
RWZI (slibbehandeling)	-1,0	-0,7	76%	-45	-13
Effluentlozing	-23,3	-18	76%	-1.085	-301
Slibeindverwerking	n.v.t.				

Opmerking: de huishoudens en bedrijven lozen 65 J/jaar (waterketen in) terwijl er op basis van tabel 4.4 66 PJ/jaar de waterketen uitgaat. Oftewel een verschil van 1 PJ/jaar. Dit verschil wordt veroorzaakt de slibbehandeling van de rwzi. Hieronder valt namelijk het affakkelen van biogas en de restwarmte die vrijkomt bij de WKK. Chemische energie (vastgelegd in biogas) wordt hierbij omgezet in thermische energie en gaat vervolgens 'verloren'.

De thermische energie die huishoudens en bedrijven aan het afvalwater toevoegen heeft een energiewaarde vertegenwoordigt 2 % van het totale energiegebruik in Nederland en komt overeen met het aardgasgebruik van ruim 2.900.000 personen.

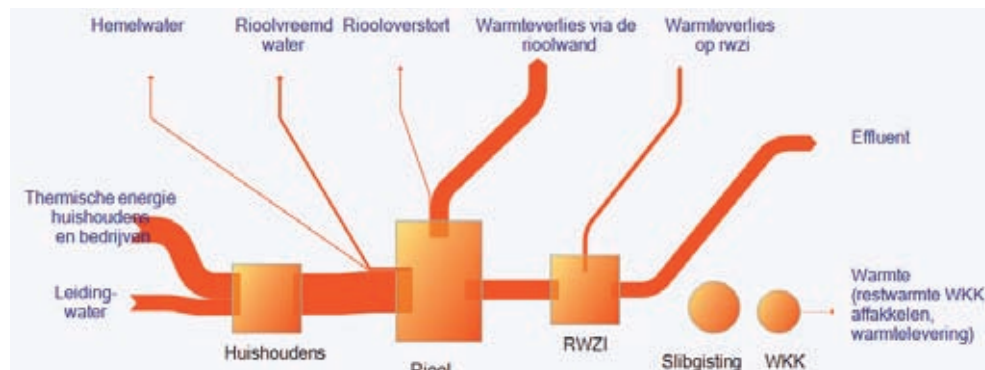
In het voorgaande deel van deze paragraaf is gerekend met thermische energie vanuit het lozingsperspectief. Het nulpunt is dan de leidingwatertemperatuur. Als echter vanuit het perspectief van energiewinning wordt gerekend is een ander nulpunt nodig. Het is dan van belang hoeveel energie theoretisch kan worden gewonnen uit water. Het nulpunt is dan 4 °C. Dit is de ondergrens voor winning van thermische energie uit water met een warmtepomp. In de navolgende figuren is achtereenvolgens de thermische balans bij een buitenluchttemperatuur van 10,3 °C (jaargemiddelde), 0 °C en 20 °C weergegeven. Alle waterstromen die warmer zijn dan 4 °C voegen thermische energie toe. De figuren zijn gebaseerd op de gegevens in bijlage 3, tabel 25. De temperatuur van het leidingwater is bij het opstellen van de figuren constant (12 °C) gehouden.

FIGUUR 4.5 THERMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN: GEMIDDELTE SITUATIE (BUITENTEMPERAATUUR 10,3°C)



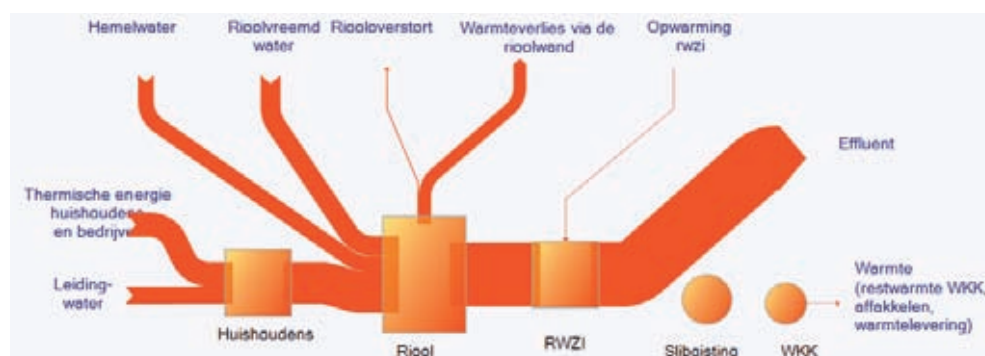
In de gemiddelde situatie is de afvoer van effluent een belangrijke post in de energiebalans. Het effluent van rwzi's heeft in Nederland een gemiddelde temperatuur van bijna 15 °C. In de wintersituatie is het effluent aanzienlijk kouder (bijna 8 °C) [r]. Het warmteverlies via de rioolwand is dan de grootste post in de balans.

FIGUUR 4.6 THERMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN: WINTERSITUATIE (BUITENTEMPERATUUR 0°C)



In de zomersituatie is het effluent van de rwzi ruim 20 °C. Afstromend hemelwater en riolvreemd water leveren in deze een positieve bijdrage aan de thermische energiebalans.

FIGUUR 4.7 THERMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN: ZOMERSITUATIE (BUITENTEMPERATUUR 20°C)



Uit figuur 4.7 blijkt dat in warme maanden de meeste thermische energie met het effluent van de rwzi wordt afgevoerd.

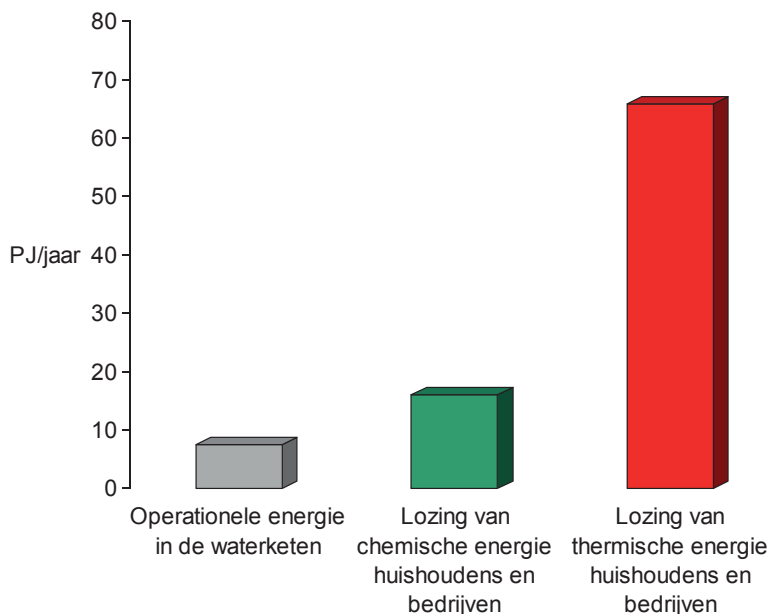
#### 4.4 BESPREKING

In de waterketen wordt operationele energie gebruikt door drinkwaterbedrijven, gemeentes en waterschappen. Door de huishoudens en bedrijven wordt chemische en thermische energie door lozing in de waterketen gebracht. Figuur 4.8 laat de verhouding tussen de verschillende energiesoorten zien. Deze figuur behoeft enige nuancering:

- De grootste energiestroom, thermische energie, is laagwaardig. Deze energie kan niet voor ieder doeleind worden ingezet.
- Thermische energie kan met de huidige stand van de techniek maar ten dele worden (terug)gewonnen. Bij de winning van thermische energie voor woningverwarming is een warmtepomp nodig. Deze wordt aangedreven met elektrische energie (zie bijlage 1)
- De benutting van de chemische energie op rwzi's verloopt in de bestaande situatie via vergisting (opwekking van biogas). Hierbij is sprake van verliezen. Er wordt dus maar een deel van de chemische energie vrijgemaakt.

Figuur 4.8 en Figuur 4.9 laten zien dat de huishoudens en bedrijven veel energie aan het afvalwater toevoegen ten opzichte van het gebruik van operationele energie. Deze energie gaat voor het grootste deel verloren door afkoeling in het riool (thermische energie), biologische afbraak op de rwzi (chemische energie) en middels het effluent (thermische energie).

FIGUUR 4.8 TOTALEN ENERGIESTROMEN IN DE WATERKETEN



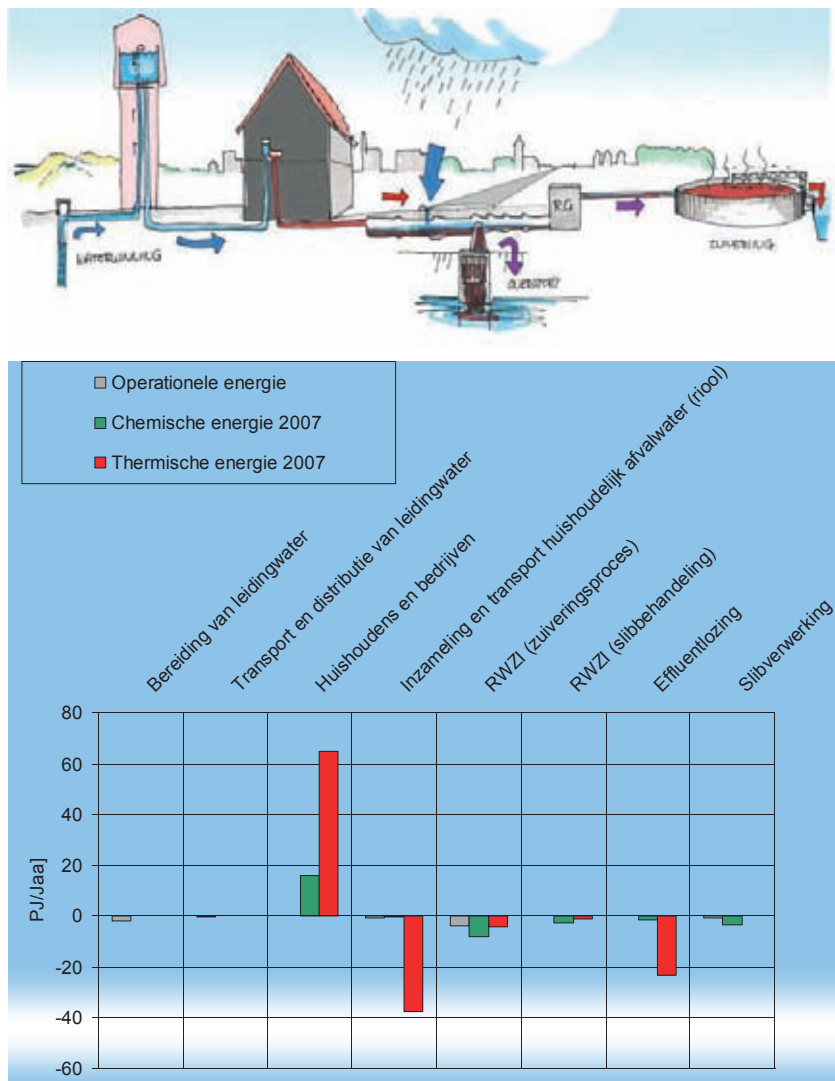
In totaal wordt jaarlijks ongeveer 88 PJ geloosd (chemisch en thermisch) en gebruikt (operationeel) in de Nederlandse waterketen. Dit komt overeen met het energiegebruik (aardgas en elektrisch) van 3.100.000 personen.

De hoeveelheid energie die door huishoudens en bedrijven wordt geloosd kan ook worden beschouwd in het perspectief van duurzame energie. In 2008 was de totale productie van duurzame energie in Nederland 114 PJ (uitgedrukt in vermeden gebruik van fossiele brandstof). De productie van biogas op rwzi's maakte hier een klein deel van uit (2,4 PJ/jaar). Chemische energie (16 PJ/jaar) en thermische energie (65 PJ/jaar) zijn direct na lozing van afvalwater door de huishoudens en bedrijven, significant ten opzichte van de productie van duurzame energie. Dit rechtvaardigt een nadere beschouwing van de mogelijkheden voor het terugwinnen van (een deel van) deze energie. Hier wordt in het volgende hoofdstuk op ingegaan.



FIGUUR 4.9

ONDERVERDELING ENERGIESTROMEN IN DE WATERKETEN<sup>2</sup>



2 Met de beschikbare cijfers kan geen onderscheid gemaakt worden tussen de operationele energie die voor het zuiveringsproces en de slibbehandeling. Het totaal van de operationele energie is daarom toegeschreven aan het zuiveringsproces.

# 5

## BESPARING, WINNING EN TERUGWINNING VAN ENERGIE IN DE WATERKETEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op verschillende mogelijkheden voor het besparen op de operationele energie en het winnen en het terugwinnen van chemische en thermische energie in de waterketen. Dit hoofdstuk is bedoeld als een globale verkenning, onder andere gebaseerd op energiebesparingsprogramma's van verschillende partijen in de waterketen (leidingwaterbedrijf, gemeente, waterkwaliteitsbeheerder, slibeindverwerker).

### 5.1 VERMINDERING VAN HET GEBRUIK VAN OPERATIONELE ENERGIE

#### 5.1.1 LEIDINGWATERPRODUCTIE

Het energiegebruik voor de productie van leiding water is relatief stabiel. Ontwikkelingen voor een efficiëntere productie van leidingwater zijn lage druk UV (desinfectie met ultraviolet licht) en nieuwe membraanconcepten [i]. Hierbij komt nog de mogelijkheid voor het verkleinen van de vraag naar leidingwater. Dit komt afzonderlijk onder het thema 'nieuwe sanitatie' aan de orde.

#### 5.1.2 DISTRIBUTIE VAN LEIDINGWATER

Bij de distributie van leidingwater zijn enkele logistieke optimalisaties mogelijk, zoals een betere inrichting van het distributienet voor leidingwater. Verder is het mogelijk om te sturen op basis van afnameprognoses. Hierdoor kan het productiedebiet constanter worden gemaakt, wat weer leidt tot lagere stromingsverliezen in de distributieleidingen. Daarnaast is het verlagen van de druk en het plaatsen van aanjagers in het leidingnet een mogelijkheid [i].

#### 5.1.3 INZAMELING EN TRANSPORT VAN AFVALWATER

Het energiegebruik voor het inzamelen van het afvalwater kan worden verlaagd door:

- 1 De hoeveelheid afvalwater te verkleinen
- 2 Het afvalwatertransport te optimaliseren

##### Ad 1. Verkleinen afvalwaterhoeveelheid

Door het afkoppelen van regenwater daalt de afvalwaterhoeveelheid. Ditzelfde geldt voor het terugdringen van de hoeveelheid rioolvreemd water. Dit leidt op een aantal wijzen tot energiebesparing. Ten eerste is er een directe energiebesparing doordat minder water verpompt hoeft te worden. Volledige afkoppeling van hemelwater en rioolvreemd water leidt tot een veel lager afvalwateraanbod. Van al het afvalwater wat wordt aangevoerd op de Nederlandse rwzi's is slechts 50 % afvalwater van bedrijven en huishoudens (zie bijlage 3). De overige 50 % is hemelwater en rioolvreemd water. Door een structureel lager aanbod van afvalwater kan het afvalwaterinzamelingsstelsel met kleinere leidingen en pompen worden gebouwd.

Het debiet wordt gelijkmatiger door het ontbreken van hemelwateraanvoer. Hierdoor kunnen pompen vaker op het optimale werkpunt draaien. Beide effecten opgeteld kunnen tot een grote besparing op het energiegebruik voor afvalwaterinzameling leiden. Als uitgegaan wordt van een halvering van het afvalwatervolume dan halveert ook het gebruik van operationele energie. Er wordt hierbij wel uitgegaan van een afzonderlijk vrij verval riool voor het afvoeren van hemelwater. Er dient te worden opgemerkt dat het afkoppelen van regenwater in bepaalde situaties nog wel gepaard gaat met een energievraag (bijvoorbeeld voor het verpompen van het regenwater naar de eindbestemming).

Of een verkleining van het afvalwaterdebiet ook leidt tot een besparing op het energiegebruik van de rwzi is niet eenduidig. Het energiegebruik op de rwzi is sterk afhankelijk van de vuilvracht en de lozingseisen. Als de lozingseisen gelijk blijven (uitgedrukt in mg/l) en de vracht blijft gelijk bij een afnemend debiet dan moet de zuiveringsrendement toenemen. Dit zal in de praktijk echter complex zijn omdat ook andere parameters (pieken, temperatuur) die relevant zijn voor zuivering van afvalwater anders zullen worden.

#### Ad 2. Optimalisatie afvalwatertransport

Bij persleidingen kunnen luchtbellens worden ingesloten door luchtinslag bij gemaalkelders. Verder kan methaanvorming in de leiding leiden tot gasbellen. Dit leidt tot energieverlies. Door een aantal technische maatregelen is dit sterk te beperken [bb]. Een tweede mogelijkheid is het sturen van de rioolgemalen op basis van het (verwachte) aanbod van afvalwater ('real time control'). De transportpompen kunnen beter worden gedimensioneerd en vaker op optimaal werkpunt opereren, wat weer kan leiden tot een lager energiegebruik.

#### 5.1.4 ZUIVERING VAN AFVALWATER

De huidige inzameling en verwerking van afvalwater kenmerkt zich door een inzameling van afvalwater met (verbeterd) gemengd of gescheiden rioolstelsels, afvalwaterzuivering met een actief-slibstelsel met hoofdzakelijk aërobe omzetting van de organische koolstof en stikstof en ten slotte de lozing van het gezuiverde effluent. In sommige gevallen zijn er interessante uitwisselingsmogelijkheden gevonden voor de rwzi en een wooncomplex (rwzi Leeuwarden) of de rwzi en een woonwijk (rwzi Apeldoorn). Voor het merendeel van de rwzi's geldt echter dat zij op zichzelf staan. Het energiegebruik van rwzi's staat momenteel in de aandacht. Met het ondertekenen van de MJA3 (Meerjarenafspraak energie-efficiency 2001 - 2020) voor het zuiveringsbeheer hebben de waterschappen zich namelijk geconformeerd aan een verbetering van de energie-efficiency bij het zuiveringsbeheer van 2 % per jaar en 30 % tot 2020. Voor de energie in de gehele waterketen betekent dit dat het totale gebruik van operationele energie tot 2030 met ongeveer 15 % zou moeten dalen.

Passend in deze ambitie is het initiatief 'De Energiefabriek' ontstaan. De Energiefabriek is een lerend netwerk van waterschappen om minimaal energieneutrale rwzi's te realiseren en gezamenlijk zichtbaar waterschapsenergie te gaan leveren. De ambitie hierbij is om energieneutraliteit op eigen rioolwater te realiseren. De rwzi staat vooralsnog centraal, maar er is ook aandacht voor energie uit de afvalwaterketen en de verwerking van slib als eindproduct. De waterschappen nemen hiermee hun verantwoordelijkheid voor het klimaatprobleem (mitigatie) en zijn beter bestand tegen veranderingen in de energiemarkt.

In deze subparagraaf wordt ingegaan op de mogelijkheden voor het verminderen van het gebruik van operationele energie op de rwzi. Er wordt ingegaan op de volgende onderwerpen:

1. Functioneren actief-slibstelsysteem
2. Gisting en slibeindverwerking
3. Zuiveringsconcept

#### Ad 1. Functioneren actief-slibstelsysteem

De meeste operationele energie wordt gebruikt voor het beluchten van het afvalwater. Het optimaliseren van de beluchting is daarom een goede manier om het operationele energiegebruik te verlagen. Een voorbeeld is het vervangen van puntbeluchters door efficiëntere bellenbeluchting. Dit kan leiden tot een aanzienlijke besparing op het energiegebruik. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de infrastructuur plaatsing en gebruik van bellenbeluchting toelaat. De actief slibtank moet bijvoorbeeld voldoende diep zijn. Een andere optie is het verlagen van het slibgehalte in de rwzi in warme seizoenen. Het actief slib vraagt zuurstof. In de zomer is de omzettingssnelheid door de hogere temperatuur groter. Er is dan minder slib nodig om de verontreinigingen af te breken. Het verminderen van recirculatiestromen kan eveneens een goede bijdrage leveren aan het verminderen van het operationele energiegebruik.

#### Ad 2. Gisting en slibeindverwerking

Het verwarmen van de slibgisting en het indikken en ontwateren van met name secundair slib kost nu nog veel energie (primaire slib heeft een goede ontwaterbaarheid). Uit de STOWA-slibketenstudie [1] is gebleken dat er manieren zijn om slib te drogen en te verwerken op een manier die energie oplevert. Inzet van laagwaardige warmte voor verwarming en slibdroging kan tot grote energiebesparingen leiden. Initiatieven zoals het drogen van slib in kassen of het gebruik van restwarmte van de WKK voor de verwarming van de gisting zijn hier voorbeelden van. Hier is synergie mogelijk tussen bijvoorbeeld de rwzi de afvalverbranding door uitwisseling van warmte en gas. Een voorbeeld hiervan is rwzi Amsterdam-West.

#### Ad 3. Zuiveringsconcept

Om de doelstelling op langere termijn te halen zijn maatgemaakte zuiveringsconcepten (of opschaling ervan) nodig die zich richten op proces optimalisatie en energiebesparing [d]. Mogelijke maatregelen zijn de herintrede van de voorbezinking op kleinere rwzi's of het gebruik van microzeef in plaats van voorbezinking. Het doel hiervan is tweeledig:

1. Door het afscheiden van organische stof wordt de belasting van het actief slib en daarmee de noodzaak tot beluchten verlaagd.
2. De slibgisting krijgt meer organische stof aangeboden. De productie van biogas kan hierdoor worden vergroot.

Fluctuaties in de afvalwatersamenstelling en omgevingsfactoren zoals vraag of aanbod van warmte of organische of nutriëntrijke reststromen kunnen een sterke invloed hebben op het operationele energiegebruik waardoor er per rwzi maatwerk nodig is.

## 5.2 VERGROTEN OPBRENGST CHEMISCHE ENERGIE IN AFVALWATER

### 5.2.1 ALGEMEEN

In het vorige hoofdstuk is vastgesteld dat chemische energie voor een belangrijk deel wordt omgezet bij het zuiveren van afvalwater en het verwerken van zuiveringsslib. Bij het beter benutten van de chemische energie kunnen de volgende strategieën worden gevolgd:

1. Meer anaërobe behandeling van afvalwater en minder aërobe behandeling
2. Vergroten van de slibopbrengst en optimalisatie van de energieopbrengst uit slib
3. Vergroten van de energieopbrengst uit het biogas

### 5.2.2 MEER ANAËROBE BEHANDELING

Anaërobe behandeling van afvalwater heeft vanuit energetisch perspectief twee voordelen ten opzichte van aërobe behandeling:

- Het gebruik van operationele energie is lager
- Er wordt methaan (gistingsgas) geproduceerd. Dit kan worden omgezet in warmte en elektrische energie

Anaërobe behandeling stelt echter ook specifieke eisen aan de kwaliteit van het afvalwater. Het afvalwater moet geconcentreerd zijn (relatief hoge gehalten organische stof) en het moet bij voorkeur warm zijn. Nutriënten worden bij anaërobe behandeling nauwelijks verwijderd. Om eenzelfde effluentkwaliteit te bereiken als bij aërobe zuivering is dus aanvullende verwijdering van stikstof en fosfaat noodzakelijk.

Het huidige influent van rwzi's is niet voldoende geconcentreerd om anaëroob te kunnen behandelen. Dit komt door de lage temperatuur en verdunning met water van douches, wasmachines van de huishoudens, rioolvreemd water en hemelwater. Een mogelijkheid om een deel van het afvalwater geschikt te maken voor het toepassen van anaërobe behandeling is in het afkoppelen en apart behandelen van geconcentreerde waterstromen zoals ongezuiverd industrieel afvalwater of het toepassen van nieuwe sanitatie. De eerste optie (afkoppelen industrieel afvalwater) is locatiespecifiek en wordt nu niet verdere uitgewerkt. Nieuwe sanitatie komt later in dit hoofdstuk aan de orde.

Het verder opconcentreren van huishoudelijke afvalwater op de rwzi kan door voorafscheiding. Standaard wordt hiervoor een voorbezinktank gebruikt. De laatste jaren wordt er ook gekeken naar alternatieven zoals microzeven om meer organisch vuil te kunnen afscheiden. Met behulp van chemicaliën zoals metaalzouten en polymeren kan het afscheidingsrendement verder worden verhoogd. De voorafscheiding kent een optimum dat afhankelijk is van de opgeloste nutriënten. Voor de verwijdering van nutriënten heeft het actief-slib organische stof nodig. Ontstaat er een tekort dan kan dit in de vorm van een organische koolstof worden aangevuld en wordt zegge het paard achter de wagen gespannen. Vergaande voorafscheiding in combinatie met vergisting en ontwatering op dezelfde locatie kan ook tot problemen leiden omdat vanuit de gisting een aanzienlijk deel van de nutriënten weer terugkomt in het centraat van de ontwatering. Het centraat wordt geloosd op de rwzi en vergroot dus de nutriëntenbelasting. Dit probleem kan worden opgelost door toepassing van deelstroombehandeling waarbij zelfs mogelijkheden ontstaan voor nutriëntenterugwinning. Zo wordt een probleem dus een kans voor verbetering.

### 5.2.3 VERGROTEN VAN DE ENERGIEOPBRENGST UIT SLIB

Er bestaat een aantal mogelijkheden om de chemische energie die in het slib is opgeslagen beter te ontsluiten.

Een mogelijkheid is het optimaliseren van de vergisting, bijvoorbeeld door: het vergroten van de verblijftijd of het verbeteren van de menging in de slibgisting. Het verder indikken van het slib voordat het in de slibgisting wordt gebracht.

De energieopbrengst op de rwzi kan mogelijk verder worden vergroot door het slib beter vergistbaar te maken. Dit wordt gedaan door de celstructuur van de bacteriën in het zuiverings-slib kapot te maken (te destrueren) voorafgaand aan de gisting. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld verhitting (thermofiele hydrolyse) en enzymen (enzymatische hydrolyse). Een indicatie van de toename van biogasproductie die met thermofiele slibdestructie haalbaar zou kunnen zijn is ca. 40 %<sup>1</sup>: Als dit in heel Nederland toegepast zou worden dan levert dit een extra hoeveelheid biogas op met een energie-inhoud van 1 PJ/jaar.

Op dit moment wordt ook gekeken naar alternatieven voor de huidige wijze van vergisting. Het eerder genoemde initiatief 'De Energiefabriek' is hiervan een voorbeeld. Een optie die in dit kader vaak genoemd wordt is thermofiele vergisting. Hierbij wordt bij een hogere temperatuur vergist (50-55°C in plaats van 30-40°C). Thermofiele bacteriën hebben een hogere maximale omzettingssnelheid en zij zetten meer chemische energie (90% in plaats van 50% bij de huidige wijze van gisting) om in biogas. Dit proces vraagt echter meer thermische energie.<sup>1</sup>

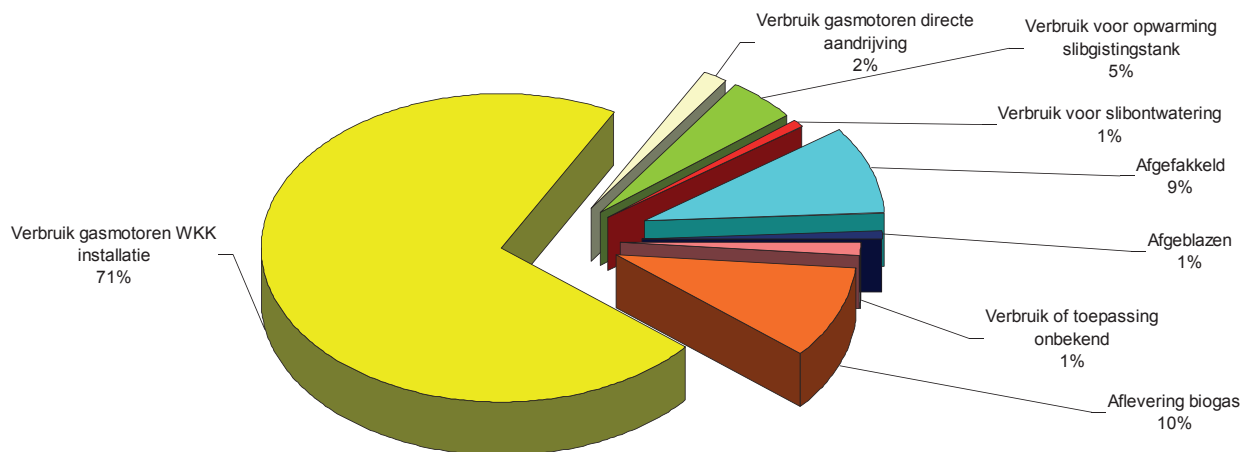
Belangrijk bij het beoordelen van de mogelijkheden voor de energieopbrengst uit slib is dat water- en de slibbehandeling op de rwzi en de slibeindverwerking samen in beschouwing worden genomen. De energie die op de rwzi wordt gewonnen is niet meer beschikbaar bij de slibeindverwerking. Eerder onderzoek [1] laat zien dat een beter energiesaldo van de totale slibketen vooral afhangt met de keuze voor een eindverwerking. Dit is goed verklaarbaar als gekeken wordt naar de chemische energiebalans. Het Nederlandse zuiveringsslib heeft een chemische energie-inhoud van ongeveer 3,6 PJ/jaar als het wordt aangeboden aan de eindverwerker (zie bijlage 3). De belangrijkste bestaande verwerkingsroute (indirecte droging en verbranding) kost echter energie. Het eerder genoemde onderzoek laat zien dat er grote verschillen bestaan in de energiebalans voor verschillende slibeindverwerkingstechnieken. Extremen zijn een positieve energiebalans bij thermische droging van slib met restwarmte en meestoken van het gedroogde slib in een cementoven of afvalverbrandingsinstallatie versus de sterk negatieve energiebalans van thermische droging met aardgas en het storten van het gedroogde slib.

### 5.2.4 VERGROTEN VAN DE ENERGIEOPBRENGST UIT HET BIOGAS

Het biogas wat op de Nederlandse rwzi's wordt gebruikt wordt niet volledig benut. In Figuur 5.1 is de verdeling voor het gebruik van het gistingsgas in 2007 weergegeven. Ongeveer 10 % van het gistingsgas wordt afgefakkeld of afgeblazen. Dit kan noodzakelijk zijn tijdens onderhoud van de WKK of bij een ondercapaciteit van de WKK.

<sup>1</sup> Percentage is gebaseerd op onderzoek uitgevoerd op rwzi Venlo met secundair slib. De biogasproductie werd verhoogd met 30 - 50%. Het gemiddelde percentage is gehanteerd. Er is verondersteld dat dit percentage ook van toepassing is op primair slib.

FIGUUR 5.1 VERDELING GEBRUIK BIOGAS NEDERLANDSE RWZI'S IN 2007 (TOTAAL 93 MILJOEN M<sup>3</sup>/JAAR, 2,4 PJ/JAAR)



De energieopbrengst uit biogas kan bijvoorbeeld worden vergroot door:

- Betere gasbuffers, voorkomen afblazen en affakkelen (maximaal +10 %: 0,2 PJ/jaar)
- Toepassing van een Hoogrendement WKK (maximaal +10 %: circa 0,2 PJ/jaar)
- Toepassing van een brandstofcel (elektrisch rendement 50 – 60 %) in plaats van WKK (elektrisch rendement 35 – 40 %: 0,4 PJ/jaar)
- Toepassen van een ORC-WKK. Hierbij wordt de warmte uit de rookgassen deels omgezet in elektrische energie (elektrisch rendement 40-45%).
- Op vollast draaien van WKK (start/stop principe)

Een rendementsverbetering bij de benutting van het biogas van 20% (0,5 PJ/jaar) lijkt op basis van de opgegeven rendementen haalbaar.

### 5.3 NIEUWE SANITATIE

Nieuwe sanitatie is een andere manier om met het afvalwater om te gaan. In de bestaande situatie wordt geconcentreerd huishoudelijk afvalwater gemengd met verdund afvalwater, hemelwater en rioolvreemd water. Volgens de principes van nieuwe sanitatie wordt geconcentreerd afvalwater gescheiden en zo min mogelijk verdund ingezameld en behandeld. Dit is relevant voor het energiegebruik in de gehele waterketen. In Nederland en andere Europese landen lopen diverse projecten met gescheiden afvalwaterbehandeling. Op verschillende plaatsen in Nederland is kennis en ervaring opgedaan met nieuwe sanitatie, bijvoorbeeld met het apart inzamelen en verwerken van urine en geconcentreerd toiletwater. De volgende twee concepten zijn het meest gangbaar:

1. Urine-afkoppeling
2. Zwart water scheiding

#### Ad 1. Urine afkoppeling

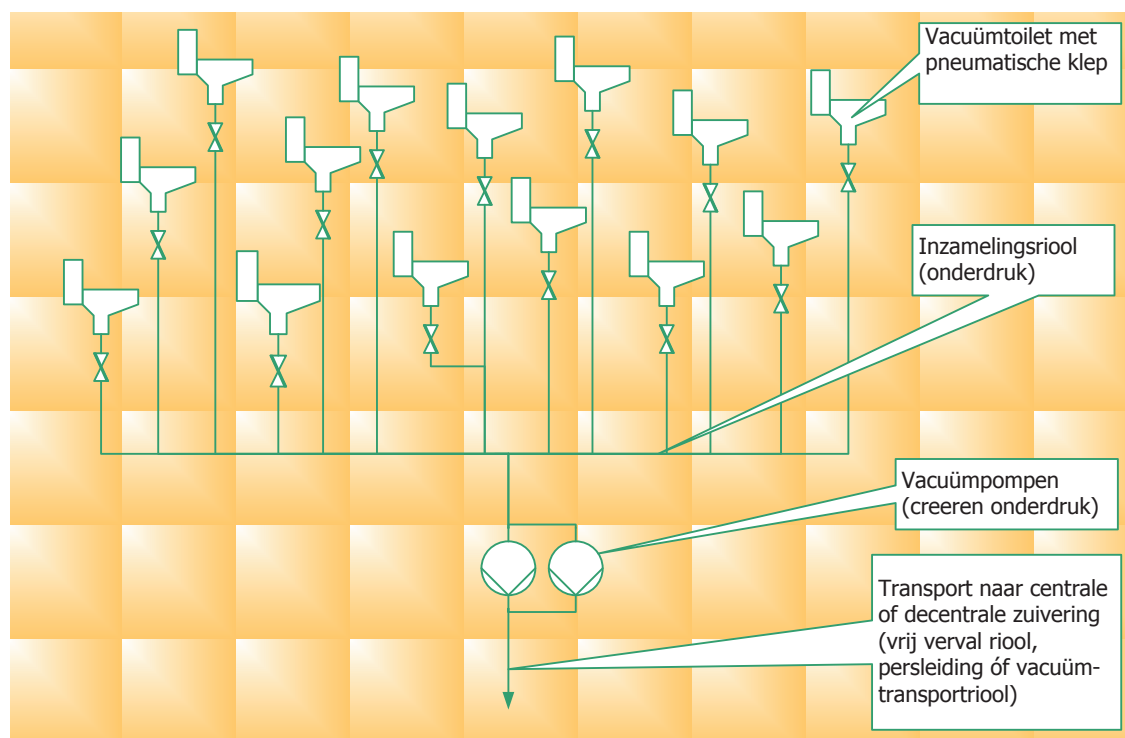
Met speciale scheidingstoiletten (zogenaamde no mix toiletten) en urinoirs kan de menselijke urine apart worden ingezameld, opgeslagen in speciale tanks en getransporteerd voor verdere behandeling. Urine is direct of na bewerking toepasbaar als meststof. Het andere afvalwater kan verder worden gezuiverd, of worden afgevoerd via de riolering. Voor het energiegebruik in de waterketen is urine afkoppeling relevant. Enerzijds is er meer energie nodig voor urine-inzameling en -transport. Anderzijds is er minder energie nodig op de rwzi's en kan er meer CZV worden afgevangen op de voorbezinktanks, aangezien de BZV/N verhouding min-

der wordt beïnvloed. Door het afkoppelen van urine en de daarmee gepaard gaande vermindering van de stikstofbelasting kunnen rwzi's aanzienlijk kleiner (en dus energiezuiniger) worden gedimensioneerd.

#### Ad 2. Zwart water scheiding

Bij gescheiden inzameling van toiletwater (zwart water: feces én urine) dient verdunning zoveel mogelijk te worden voorkomen. Hierdoor is het toiletwater zo sterk geconcentreerd dat het direct kan worden vergist. Het door gisting verkregen biogas kan worden gebruikt voor lokale energieopwekking. Het vergiste zwartwater dient vervolgens te worden nabehandeld. Hemelwater wordt apart opgevangen en op oppervlaktewater geloosd. Grijs water wordt naar een lokale zuivering of rwzi getransporteerd. Een veelgebruikte optie voor inzameling van geconcentreerd zwartwater is het vacuümtoilet. In een vacuümtoiletsysteem wordt zwart water geconcentreerd ingezameld en met behulp van onderdruk getransporteerd, zie Figuur 5.2.

FIGUUR 5.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VACUÛMTOILETSYSTEEM



Alhoewel de inzameling van organisch keukenmateriaal (GF-afval) buiten het concept van de afvalwaterketen valt, bestaat de mogelijkheid om een vacuümtoiletsysteem te combineren met de inzameling van organisch keukenmateriaal (GF-afval). Hiertoe dient een voedselrestenvermaler per huishouden te worden geïnstalleerd. De biogasproductie zal door toevoeging van GF-afval aan geconcentreerd zwartwater bijna verdubbelen [f].

#### 5.3.1 LEIDINGWATERGEBRUIK EN DISTRIBUTIE

De toepassing zwart waterscheiding met vacuümtoiletten levert een waterbesparing op van 25 % (1 liter leidingwater per spoelbeurt) op het huishoudelijke leidingwatergebruik. Bij urine afkoppeling is de waterbesparing kleiner. Uitgangspunt is een waterbesparing van 10 % (4 liter leidingwater per spoelbeurt). Op lange termijn is de besparing op het operationele energiegebruik voor leidingwaterproductie evenredig aan de waterbesparing. Doordat



minder leidingwater voor toiletspoeling wordt gebruikt, wordt ook minder warmte uit de woning afgevoerd met het toiletwater. Uitgaande van 170 stookdagen per jaar bedraagt de vermindering van het warmteverlies maximaal 138 MJ per persoon per jaar.

### 5.3.2 AFVALWATERINZAMELING EN TRANSPORT

Toepassing van zwart waterscheiding in nieuwbouwsituaties zal samengaan met het aanleggen van een nieuw riool waarbij hemelwater, grijs water en zwart water gescheiden worden ingezameld en getransporteerd. Dit zal leiden tot een aanzienlijke besparing op het energiegebruik voor afvalwaterinzameling en transport. Deze besparing kan echter niet op het conto van nieuwe sanitatie worden geschreven. Bij een nieuwbouwsituatie zou in alle gevallen een riool worden aangelegd waarbij de aanvoer van rioolvreemd water en hemelwater via het afvalwaterriool tot het verleden behoort.

Hier staat tegenover dat het gebruik van energie voor de inzameling van zwart water door het gebruik van een vacuüminzamelingsysteem zal toenemen. Deze toename wordt op basis van praktijkgegevens van een locatie in Deventer geschat op 12 kWh (circa 43 MJ) per persoon per jaar [s]. Voor heel Nederland betekent dit een toename van het gebruik van operationele energie van 0,7 PJ/jaar.

### 5.3.3 ZUIVERING VAN AFVALWATER

Zwart water dat met vacuümtoiletten wordt ingezameld is voldoende geconcentreerd om te worden vergist. Potentieel geschikte technologieën zijn een UASB (upflow anaerobic sludge blanket), een UASB-reactor met nageschakelde membranen, of een anaërobe MBR (membraan-bioreactor). Bij het vergisten van het zwartwater komt methaan (biogas) vrij. De hoeveelheid hangt af van de uitvoering van de vergistingstechnologie. Gangbare uitgangspunten voor de biogasopbrengst zijn 13 (koude vergisting) tot 19 (warme vergisting) liter methaan per persoon per dag (energie-inhoud 190 - 280 MJ/jaar). De resterende vloeibare fractie (supernatant) is rijk aan nutriënten en dient verder te worden behandeld, bijvoorbeeld door biologisch (de) nitrificatie (technologie: bijvoorbeeld Anammox, Demon of OLAND) en chemische defosfatering. Verwacht wordt dat de behandeling van grijs water en zwart water minder operationele energie kost en meer biogas oplevert dan de huidige wijze van afvalwaterbehandeling. In bijlage 4 is dit met een rekenvoorbeeld geïllustreerd.

### 5.3.4 SLIBEINDVERWERKING

Het is niet duidelijk welke invloed nieuwe sanitatie heeft op de hoeveelheid en de kwaliteit van het zuiveringsslib. De verwachting is dat nieuwe sanitatie leidt tot een lagere slibproductie. Er is echter alleen nog ervaring op pilot schaal met nieuwe sanitatie. Een complete slibbalans (behandeling zwartwater en grijswater) die vergeleken met de huidige wijze van zuivering van gemengd afvalwater op een rwzi is nog niet beschikbaar.

### 5.3.5 INDICATIE ENERGIEBESPARING

Op basis van het rekenvoorbeeld in bijlage 4 wordt de energieopbrengst/besparing geschat op ongeveer 0,16 GJ per persoon per jaar. In de theoretische situatie dat nieuwe sanitatie in alle Nederlandse huishoudens wordt toegepast is daalt het gebruik van operationele energie in de waterketen met 2,6 PJ/jaar.

## 5.4 THERMISCHE ENERGIE

### 5.4.1 ALGEMEEN

De thermische energie die in leidingwater aanwezig is en die door huishoudens en bedrijven wordt geloosd kan op verschillende plaatsen in de waterketen worden teruggewonnen.

In Figuur 5.3 zijn de verschillende locaties weergegeven.

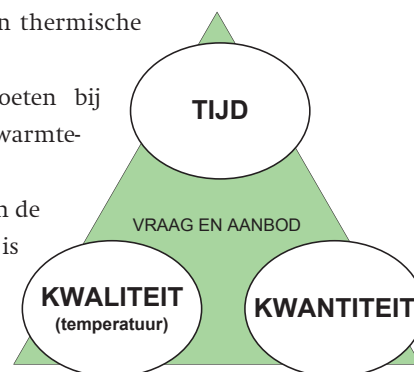
Het water in de waterketen is niet bijzonder warm. Het is in de praktijk daarom niet mogelijk om direct gebruik te maken van de thermische energie die in huishoudelijk afvalwater is opgeslagen. Als het afvalwater warmer is dan de omgeving dan is het echter in principe een mogelijkheid om er een woning mee te verwarmen. De temperatuur van huishoudelijk afvalwater is direct na de woning ongeveer 25 °C. Er is een warmtepomp nodig om de temperatuur op het gewenste niveau te brengen. Met een warmtepomp kan de temperatuur van het huishoudelijk afvalwater verder worden verlaagd dan de oorspronkelijke leidingwater-temperatuur. De ondergrens is 4 °C vanwege het gevaar van aanvriezen. Het transport van thermische energie met een warmtepomp gaat wel ten koste van elektrische energie. Des te hoger de gewenste temperatuur moet zijn, des te lager het rendement van de warmtepomp wordt. Daarom wordt in de woningen lage temperatuurverwarming toegepast. Elke geleverde J warmte gaat ten koste van 0,2 - 0,25 J elektrische energie. Deze verhouding is de zogenaamde CoP (Coëfficiënt of performance), zie bijlage 1.

FIGUUR 5.3 LOCATIES VOOR (TERUG)WINNEN VAN THERMISCHE ENERGIE IN DE WATERKETEN



Bij het beoordelen van de mogelijkheden voor het winnen van thermische energie moet rekening worden gehouden met drie factoren:

- Het **tijdstip** van vrijkomen: vrijkomen en gebruik moeten bij voorkeur synchroon lopen anders is een buffer (zoals een warmte-koudeopslag) nodig
- De **kwaliteit** van de thermische energie: de temperatuur aan de aanbods zijde moet hoger zijn dan aan de vraagzijde, anders is een opwerkingsstap (bijwarmen, warmtepomp) nodig
- De **hoeveelheid** thermische energie moet passend zijn



In de tabel op de volgende bladzijdes wordt per locatie kort ingegaan op de verschillende mogelijkheden voor warmtewinning in de waterketen. Omdat het effect van warmteterugwinning op de temperatuur van het influent van de rwzi een punt van aandacht is, wordt hier in de tabel per locatie op ingegaan.

Schaalniveau	Techniek	Gebruik warmte	Maximale energetische opbrengst	Effect op de temperatuur van het te zuiveren afvalwater (influent)
1. Wijk/kleine stad	Warmtewinning uit leidingwater op het niveau van een wijk met warmte koude opslag en een warmtepomp. In gebieden waar drinkwater wordt gewonnen uit oppervlaktewater is 's zomers sprake van relatief warm leidingwater. Temperaturen van 20-25 °C zijn geen uitzondering. Dit is ongewenst vanuit de hygiënische kwaliteit van het leidingwater (bacteriegroei). Deze warmte kan worden opgeslagen met warmte koude opslag en 's winters worden gebruikt om te voorzien in de warmwaterbehoefte en de warmtebehoefte voor ruimteverwarming van huishoudens. [g]	Hergebruik voor warmwatervoorziening en/of verwarming.	Het leidingwater in Nederland werd in 2007 voor 39 % bereid uit oppervlaktewater. Uitgaande van een winbare warmte van 5°C gedurende 3 warme maanden dan kan per persoon 0,24 GJ/jaar aan thermische energie worden gewonnen. Als al het leidingwater wat uit oppervlaktewater wordt bereid, gedurende drie maanden op deze manier benut zou worden dan zou in Nederland 1,5 PJ/jaar aan warmte beschikbaar komen.  Een aandachtspunt is dat meer dan de helft van het leidingwater alsnog verwarmd wordt. Dit betekent dat een belangrijk deel van de energiewinst in de huishoudens weer verloren gaat. Op basis van dit aandachtspunt in combinatie met de beperkte winbare warmte gedurende 3 maanden kan worden geconcludeerd dat warmteterugwinning uit leidingwater geen energetisch interessante optie is.	In de warme maanden zal sprake zijn van een lagere afvalwatertemperatuur voor de huishoudens. Het is onzeker of dit ook leidt tot een significant lagere temperatuur op de rwzi.
2. Apparaat	Warmterugwinning per apparaat op basis van eenvoudige warmte-uitwisseling, zonder opslag van warmte. Om dit eenvoudig te kunnen toepassen moet sprake zijn van gelijktijdigheid (aanbod en gebruik moeten synchroon lopen). De meest logische plaats om dit te doen is het plaatsen van een warmtewisselaar bij de douche. Zie volgende subparagraaf.	Direct hergebruik voor warmwatervoorziening.	Nederland verdoucht gemiddeld 2-3 GJ per persoon per jaar. Hiervan kan tot 60 % teruggewonnen worden. Deze besparing komt, afhankelijk van het type cv-ketel overeen met ongeveer 50 m <sup>3</sup> aardgas per persoon per jaar. Als elk huishouden over een douchewarmtewisselaar zou beschikken dan zou in Nederland 20-30 PJ/jaar aan warmte worden teruggewonnen.	Hangt af van afstand naar zuivering, dichtheid bebouwing, gemiddelde woningbezetting en specificaties riool (zie ook paragraaf 5.4.2).

Schaalniveau	Techniek	Gebruik warmte	Maximale energetische opbrengst	Effect op de temperatuur van het te zuiveren afvalwater (influent)
3. Huishouden (2,4 personen)	<p>Warmteterugwinning per huishouden, uit afvalwater met behulp van warmtepomp en thermische opslag. Bij inzet van warmtepomp is er zowel aan de vuile als aan de schone kant een energie buffer noodzakelijk. De warmtepomp moet namelijk de tijd krijgen om de warmte uit het afvalwater te trekken. De orde van grootte van de vuilwaterbuffer bedraagt enige honderden liters, die van de schone buffer 100-200 liter. Bij een optimale grootte van de buffers is een warmtepomp met een capaciteit in de orde van 1 kW voldoende.</p>	Hergebruik voor warmwatervoorziening en/of verwarming.	<p>Bij een lozing van afvalwater van 124 liter per persoon per dag (bijlage 3, tabel 3) en een maximale afkoeling van het afvalwater van 20°C, (bijvoorbeeld van 24 naar 4 °C) is sprake van een energiestroom van ongeveer 10 MJ per persoon per dag. Uitgaande van opwerking van de warmtestroom met een CoP van 4, is de totale beschikbare warmtestroom 13,3 MJ per persoon per dag ( dit komt overeen met 0,4 m<sup>3</sup> aardgas per persoon per dag). Voor heel Nederland: winning van 59 PJ/jaar restwarmte, 78 PJ geleverde warmte/jaar, energiegebruik warmtepompen 19 PJ/jaar (= 5 miljoen MWh). Bij een bezetting met 4 personen, en een woning conform "passiefhuis" specificaties (zie bijlage 1) kan meer dan 90 % van de totale energievraag in een woning op deze manier opgevangen worden. Bij dezelfde bezetting in een 'gewoon' zeer energiezuinige woning (EPC = 0,5, dat wil zeggen een primair energiegebruik equivalent met 500 m<sup>3</sup> aardgas per jaar, EPC= Energie Prestatie Coëfficiënt) kan meer dan 70 % van de energievraag worden gedekt. In beide gevallen is een voorziening om piekbelastingen in de warmtevoorziening op te vangen noodzakelijk (warm afvalwater is niet altijd aanwezig, bijvoorbeeld na afwezigheid bewoners). In bestaande bouw zal toepassing van warmteterugwinning op de gehele afvalwaterstroom in het algemeen lastig uit te voeren zijn.</p>	<p>Ook op dit niveau is de temperatuurverlaging sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Gezien de diepere afkoeling, en het feit dat de afkoeling toeneemt naarmate het kouder wordt (de bewoners hebben de warmte nodig) is bij massale toepassing van warmteterugwinning een effect op de influenttemperatuur van de rwzi te verwachten.</p>
4. Wijk/kleine stad (rond 10.000 i.e.)	<p>Warmteterugwinning per wijk of stad met behulp van een centrale warmtepomp, thermische opslag, en centrale distributie.</p> <p>Warmteterugwinning uit de gehele te zuiveren stroom. Op dit schaalniveau kunnen in het riool ingebouwde warmtewisselaars mogelijk ingezet worden.</p>	Hergebruik voor stadsverwarmingsysteem	<p>Bij een afkoelingtraject van bijvoorbeeld van 15 naar 5°C en een totale afvalwaterhoeveelheid van 45 m<sup>3</sup> per persoon per jaar is de opbrengst aan thermische energie voor een kleine kern (10.000 inwoners) maximaal 19 TJ. Uitgaande van een CoP van 4 kan maximaal 27 TJ geleverd worden. Voor heel Nederland: winning van 30 PJ/jaar, 40 PJ geleverde warmte/jaar, energiegebruik warmtepompen 10 PJ/jaar.</p>	<p>Invloed op de temperatuur bij zuivering kan substantieel zijn, afhankelijk van de afstand tussen de warmteterugwinning installatie en de zuivering.</p>

Schaalniveau	Techniek	Gebruik warmte	Maximale energetische opbrengst	Effect op de temperatuur van het te zuiveren afvalwater (influent)
5. Stad (ca 100.000 i.e.)	<p>Warmteterugwinning per stad met behulp van centrale warmtewisselaars, (geplaatst na zuivering), centrale warmtepomp, thermische opslag, en centrale distributie.</p> <p>Op dit schaal niveau wordt uitgegaan van centraal geplaatste zelfreinigende warmtewisselaars mogelijk in combinatie met de zuivering.</p>	Hergebruik voor stadsverwarming en/of andere grote warmtevragers zoals kassen.	<p>Dezelfde opmerkingen als boven, met de toevoeging dat op dit schaalniveau vooral ook naar industriële restwarmte gekeken moet worden. Het aanbod van restwarmte wordt daardoor groter. Dit wordt ten dele gecompenseerd doordat in het riool sprake is van afkoeling. Uitgaande van een gemiddelde temperatuur van gemengd afvalwater in het effluent van de rwzi van 14,8 °C (zie bijlage 3 tabel 24), een afkoelingstraject tot 4 °C en 350 l pp/d bedraagt het vermogen per inwoner 0,18 kW. , 100.000 inwoners leveren dan bij elkaar rond 20 MW continue aan restwarmte. Voor heel Nederland (CoP van 4): winning van 87 PJ/jaar, 116 PJ/jaar geleverde warmte/jaar, energiegebruik warmtepompen 29 PJ/jaar.</p>	Dit punt is niet aan de orde omdat de warmteterugwinning na zuivering plaatsvindt

In voorgaande tabel is een aantal mogelijke locaties voor het winnen van warmte uit afvalwater kort besproken. De opties verschillen significant in de potentiële warmteopbrengst en eventuele effecten op de temperatuur van de rwzi. Toch is er ook sprake van een aantal overeenkomsten:

- Bij het winnen van warmte uit leiding- en afvalwater is voor de meeste locaties een warmtepomp noodzakelijk. Alleen de douchewarmtewisselaar vormt hierop een uitzondering
- Bij warmteterugwinning is voor de meeste locaties een combinatie met nieuwbouw logisch. De meest voor de hand liggende wijze om laagwaardige warmte uit het afvalwater over te dragen is lage temperatuurverwarming. Dit is niet te realiseren in bestaande bouw. De douchewarmtewisselaar vormt hier weer een uitzondering op: deze kan in een aantal gevallen (badkamerrenovaties) ook worden toegepast in bestaande bouw

#### 5.4.2 DE DOUCHEWARMTEWISSELAAR

Het douchewater is een relatief warme afvalwaterstroom. Omdat het aanbod van restwarmte en de vraag naar warm water vrijwel gelijk lopen is het mogelijk om met een eenvoudige warmtewisselaar warmte terug te winnen. Er wordt het hele jaar door gedoucht. Een investering in een douchewarmtewisselaar rendeert dus het hele jaar. Er zijn verschillende douchewarmtewisselaars op de markt verkrijgbaar.

De douchewarmtewisselaar neemt een bijzondere plaats in bij de besproken warmte(terug)winnings technieken. Het is technisch een relatief eenvoudige techniek die in nieuwbouwprojecten al veel wordt toegepast. Met de douchewarmtewisselaar wordt restwarmte teruggewonnen uit het afvalwater van de douche. Deze restwarmte wordt weer afgegeven aan de cv-ketel, boiler of aan het koude douchewater. Omdat bij het douchen de vraag en het gebruik van restwarmte gelijktijdig zijn is het mogelijk om gebruik te maken van een warmtewisselaar die de warmte direct terugwint. Er is geen warmtebuffer of warmtepomp nodig.

In principe is een groot aantal uitvoeringsvormen mogelijk. Op dit moment zijn de volgende types op de markt:

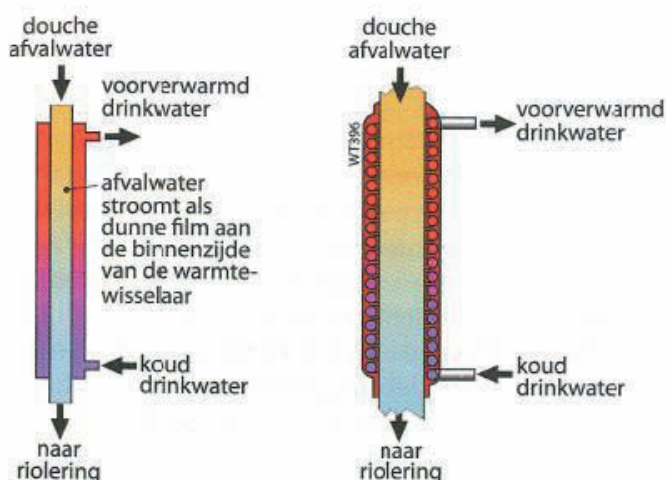
- a. Verticaal
- b. Horizontaal
- c. Geforceerd

Ad a. Verticaal

Een verticale douchewarmtewisselaar is een tegenstroom warmtewisselaar met een lengte van 1,5 - 2,25 m. Het afvalwater van de douche stroomt onder vrij verval in een centrale afvoerbuis. Aan de buitenzijde van deze buis stroomt leidingwater omhoog (Figuur 5.4). Het leidingwater wordt verwarmd door het afvalwater. Bij continu bedrijf is een rendement tot 70 % mogelijk. In de praktijk wordt uitgegaan van 50 - 60 %.

FIGUUR 5.4

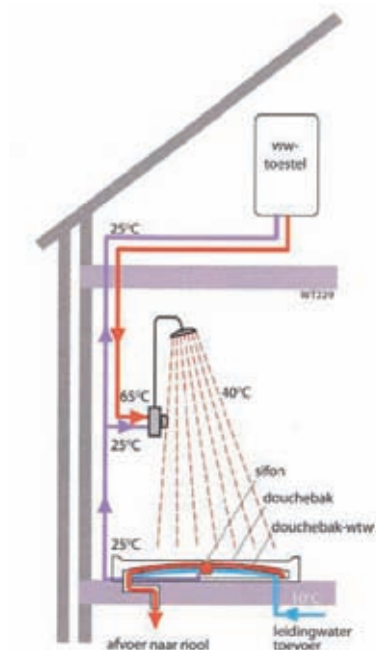
VERTICALE DOUCHEWARMTEWISSELAAR (T)



Ad b. Horizontaal

Onder horizontale douchte wtw's worden kruisstroom of tegenstroom warmtewisselaars verstaan die in de douchebak geïntegreerd zijn of verdiept in de vloer zijn aangebracht (Figuur 5.5). Ook bij dit type is sprake van een vrije afstroming van het afvalwater van de douche. Er is voldoende afschot noodzakelijk. Bij een kruisstroomwisselaar is een rendement tot 50 % mogelijk bij continu bedrijf, bij een tegenstroomwarmtewisselaar is dit 20 % hoger.

FIGUUR 5.5 VOORBEELD VAN EEN HORIZONTALE DOUCHEWARMTEWISSELAAR [T]



## Ad c. Geforceerd

Geforceerde doorstroming van douchewarmtewisselaars wordt vooral toegepast bij grootschaliger toepassing (meerdere douches). Een aantal warmtewisselaars wordt parallel geplaatst of er wordt een gemeenschappelijke wisselaar toegepast. Het douchewater wordt in een reservoir opgevangen en met een pomp door de warmtewisselaar gevoerd, waar de warmte aan koud leidingwater wordt overgedragen. De warmte wordt aan het koude leidingwater overgedragen, omdat het temperatuurverschil het grootst is bij koud leidingwater.

In Tabel 5.1 is met een rekenvoorbeeld voor een verticale douchewarmtewisselaar geïllustreerd welke energiebesparing in principe mogelijk is.

TABEL 5.1 REKENVOORBEELD DOUCHEWARMTEWISSELAAR

Douchewarmtewisselaar	Per persoon	Totaal Nederland
Watergebruik voor het douchen	49,8 l/d	815.000 m <sup>3</sup>
Ingaande temperatuur	12 °C	
Temperatuur douchewater voor gebruik	40 °C	
Temperatuur douchewater na gebruik	35 °C	
Gemiddeld rendement CV ketel en warmwaterdistributie (conform NEN 5128, tabel 29) <sup>1</sup>	67,5 %	
Energiegebruik douchen per dag	8.635 kJ/dag	0,14 PJ/dag
Energiegebruik douchen per jaar	3,2 GJ/jaar	52 PJ/jaar
Rendement douchewarmtewisselaar <sup>2</sup>	60 %	
Potentiële energieopbrengst douchewarmtewisselaar	1,9 GJ/jaar	31,2 PJ/jaar

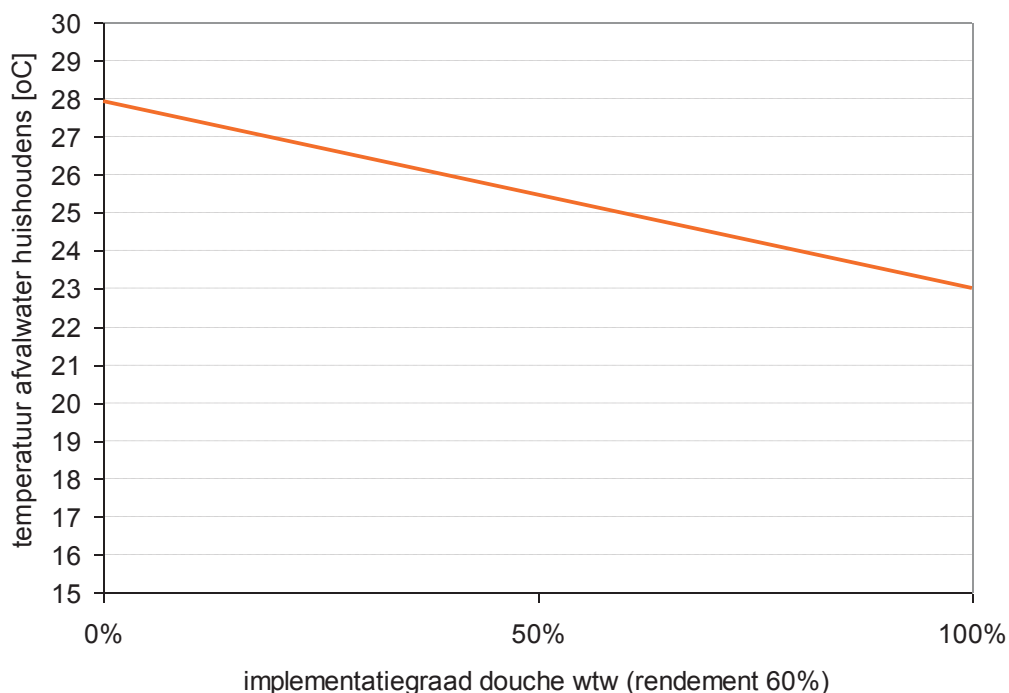
- 1 Dit rendement is aanzienlijk lager dan het door fabrikanten opgegeven rendement voor een moderne CV-installatie. Het gaat hier echter het rendement van een gemiddelde CV-installatie.
- 2 Het rendement van douchewarmtewisselaars zal van situatie tot situatie verschillen. Het opgegeven rendement is gebaseerd op een publicatie uit 2006 in VV+ [ss] en informatie van Gertjan de Wit (Bries).

De vraag is hoe snel de implementatie van douchewarmtewisselaar (warmteterugwinning) zal verlopen. De terugverdientijd voor horizontale wisselaars lijkt aantrekkelijk (2 - 3 jaar). Al moet hier wel een kanttekening bij worden geplaatst. De douchewarmtewisselaar vergroot de warmwatercapaciteit van de douche. Het wordt eenvoudig om de hoeveelheid water waarmee gedoucht wordt te vergroten (l/min). Dit heeft een dempend effect op de energiebesparing, maar hoeft de implementatiesnelheid niet te hinderen. Warmteterugwinning uit afvalwater is sinds kort (mei 2009) opgenomen in de berekening van de EPC [c]. De EPC norm wordt voortdurend aangescherpt. Om deze reden wordt geconcludeerd dat het mogelijk is dat warmtewisselaars in woningen op grote schaal toegepast zullen gaan worden voor het terugwinnen van thermische energie.

Toepassing van de douchewarmtewisselaar heeft een effect op de temperatuur van het huishoudelijk afvalwater. In Figuur 5.6 is weergegeven hoe groot dit effect kan zijn bij voortschrijdende implementatie.



FIGUUR 5.6 IMPLEMENTATIEGRAAD DOUCHEWARMTEWISSELAAR EN BEREKENDE TEMPERatuur HUISHOUDELIJK AFVALWATER



Uit de figuur blijkt dat het effect van douchewarmtewisselaars op de temperatuur van huishoudelijk afvalwater direct na de woning significant kan zijn (5 °C). Het effect op de temperatuur van het influent van de rwzi zal echter kleiner zijn door vermenging met bedrijfsafvalwater, rioolvreemdwater en hemelwater. Door deze vermenging wordt het effect van een temperatuursverlaging van het huishoudelijk afvalwater met 5 °C verlaagd tot 1,8 °C. Daarnaast fungeert het rioolstelsel als een warmtebuffer door warmte-uitwisseling met de bodem via de wand van het riool. Het effect van de warmte-uitwisseling in het riool is niet kwantitatief bekend. Beredeneerd kan worden dat een lagere afvalwatertemperatuur tot een kleiner warmteverlies in het riool zal leiden omdat het temperatuursverschil met de bodem kleiner wordt.

Het houdt dus niet automatisch in dat toepassing van douchewarmtewisselaars ook een significant effect op de temperatuur van de rwzi zal hebben. Momenteel voert STOWA een onderzoek uit in Zwolle en Apeldoorn waarbij de temperatuur in het rioolstelsel wordt gemonitord en gekeken wordt in welke mate de temperatuur op de rwzi wordt beïnvloed.

#### 5.4.3 WARMTEWINNING UIT AFVALWATER

In Nederland bestaat voor zover bekend geen praktijkervaring met het winnen van warmte uit afvalwater op enige schaal. In 2004 heeft TNO voor gemeente Den Haag en NOVEM een studie uitgevoerd naar warmtewinning uit rioolpersleidingen. Het doel van deze studie was het ontwikkelen van technologie om warmte-uitwisseling mogelijk te maken tussen een rioolwaterpersleiding en het nabijgelegen wijkverwarmingsnet van de Spoorwijk in Den Haag. De conclusie van het onderzoek luidde dat er ruim voldoende warmte gewonnen kan worden uit ongezuiverd afvalwater om in de warmtevraag van de Spoorwijk te voorzien (29 TJ). De afkoeling van het rioolwater zou slechts 0,3 °C bedragen. Zaken als verstoring van de stroming in de rioolwaterpersleiding en vervuiling werden als risico's gezien voor succesvolle uitvoering. Winning van warmte gedurende het gehele jaar en opslag van deze warmte in de bodem werd als een interessante mogelijkheid gezien [aa]. Het is niet bekend hoe illustratief het voorbeeld

van Spoorwijk is ten opzichte van de rest van Nederland, aangezien Spoorwijk, voor zover bekend, het enige project is waarbij dit is onderzocht.

In het buitenland zijn diverse projecten met winning van warmte uit gezuiverd en ongezuiverd afvalwater daadwerkelijk gerealiseerd. Landen waarvan bekend is dat er warmteterugwinningsinstallaties zijn opgesteld zijn Finland (effluent zuiveringsinstallatie Viiki), Noorwegen (ongezuiverd afvalwater, Oslo), Zweden (effluent Henriksdal reinigingswerk, Stockholm), Zwitserland en Duitsland (ongezuiverd afvalwater, Freiburg).

In Zwitserland is een relatief groot aantal gerealiseerde projecten uitgevoerd. Door EAWAG [hh] wordt voor de situatie in 2007 meer dan 40 gerealiseerde projecten met warmte en/of koudewinning uit afvalwater genoemd. Er zijn verschillende leveranciers actief die warmtewisselaars en warmtepompen leveren. Een voorbeeld van een gerealiseerd project is het 400 woningen omvattende nieuwbouwcomplex Wässerwiesen in Winterthur. Hier wordt voor de verwarming van de woningen en de productie van warm tapwater gebruik gemaakt van warmte die uit afvalwater wordt gewonnen. De locatie ligt in de buurt van de rwzi van Winterthur. Over een lengte van 78 meter is een nieuwe betonnen buis naast de bestaande rioleringsbuis gelegd. Een deel van het afvalwater wordt omgeleid via dit nieuwe stukje riool. De nieuwe buis is aan de onderzijde voorzien van ingegoten pijpen waar de warmte wordt uitgewisseld met schoon water. Het opgewarmde water wordt naar een warmtecentrale in de woonwijk gevoerd. Hier wordt de laagwaardige warmte met warmtepompen op een hoger niveau gebracht. Het Zwitserse onderzoeksinstituut EAWAG, heeft voor de Zwitserse overheid een onderzoek uitgevoerd, waarin randvoorwaarden zijn vastgelegd. De Stadtentwässerung Winterthur stelt eisen aan de minimum intredetemperaturen vastgelegd voor haar rwzi. Bij hevige regenval of veel smeltwater kan het nodig zijn om de warmtepompen kortstondig uit te schakelen. Reservevermogen in de vorm van een ketel blijft daarom nodig [w] [x]. De meeste Zwitserse installaties zijn dan ook zogenaamde 'dual fuel' installaties. Andere voorbeelden van warmteterugwinning zijn Uster (133 woningen), Binningen (760 woningen) en Basel (70 woningen) [y] [z].

Ter illustratie van de warmtebalans bij terugwinning van energie uit afvalwater is in Figuur 5.7 een Sankey diagram opgenomen uit een Zwitsers document over dit onderwerp.

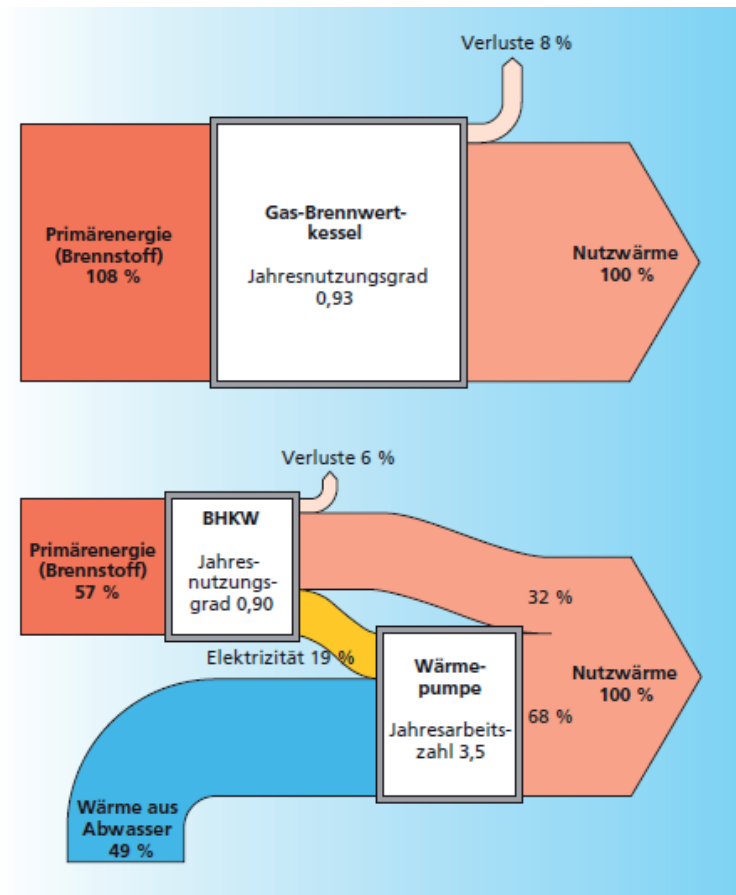
De figuur is een voorbeeld voor de energiestromen bij warmtewinning uit afvalwater met warmtekrachtkoppeling en een warmtepomp. Met een warmtekrachtkoppeling wordt elektriciteit opgewekt met primaire energie (gas of stookolie). De restwarmte wordt direct gebruikt voor ruimteverwarming. De elektrische energie wordt gebruikt om een warmtepomp aan te drijven waarmee warmte uit afvalwater wordt gewonnen die op een hogere temperatuur wordt doorgegeven voor ruimteverwarming.

#### 5.4.4 EFFECT OP DE WERKING VAN DE RWZI

Een lagere temperatuur van het ongezuiverde afvalwater heeft invloed op het zuiveringsproces. De volgende aspecten worden beïnvloed:

- Beluchtingsenergie
- Secundair slibproductie
- Chemisch slibproductie
- Effluentkwaliteit voor totaal stikstof en totaal fosfaat
- Exploitatiekosten

FIGUUR 5.7 VOORBEELD SANKEY DIAGRAM ENERGIEWINNING UIT AFVALWATER [Y]



(BHKW=WKK, Jahresarbeitszahl=CoP)

Niet alle rwzi's zijn gevoelig voor lagere influenttemperaturen. Rwzi's met een lage belasting die nog ruim binnen de effluentnorm liggen ondervinden relatief weinig hinder. Volbelaste rwzi's kunnen wel gevoelig zijn voor lagere influent temperaturen. Warmteonttrekking aan het influent kan dan leiden tot een toegenomen druk op lozingsvergunning en een lichte verhoging van de exploitatiekosten.

De druk op de lozingsvergunning neemt toe, omdat de stikstofverwijdering terugloopt. De werking van de biologische fosfaatverwijdering kan ook beïnvloed worden. Dit wordt mede veroorzaakt door de vermindering van de stikstofverwijdering. In een situatie met aanvullende metaaldosering in de waterlijn kunnen deze beide effecten elkaar versterken omdat de teruglopende biologische fosfaatverwijdering wordt gecompenseerd met extra chemicaliën waardoor de stikstofverwijdering nog verder verslechtert. Bij volledige belasting en een structurele verlaging van de influenttemperatuur met 1°C zou de verslechtering in stikstof- en fosfaatverwijdering volgens een modelberekening voor een middelgrote rwzi in Nederland 10 % tot 30 % zijn.

De exploitatiekosten stijgen licht (0,25 % tot 0,5 %) omdat de slibproductie toeneemt. De slibproductie neemt toe doordat het slib bij lagere temperatuur minder ver mineraliseert. De kosten voor de beluchtingsenergie dalen juist doordat de beluchting bij lagere temperatuur efficiënter verloopt (de oplosbaarheid van zuurstof neemt toe bij lagere temperatuur). Dit effect is sterker dan het verlies aan denitrificeerbaar nitraat. De besparing in de beluchtingsenergie is minder groot dan de extra kosten van het extra slib.

## 5.5 BESPREKING

Bij het beschouwen van de omvang van de energiestromen in het vorige hoofdstuk kwam naar voren dat de huishoudens veel chemische energie en thermische energie in de waterketen brengen. Met het functioneren van de waterketen bleek minder energie gemoeid te zijn. De absolute omvang van de energiestromen is echter niet het belangrijkste. Relevanter is de hoeveelheid energie die in de toekomst kan worden teruggewonnen of bespaard. Dit is per optie verschillend. Verder is ook de aard van de energie van belang. De thermische energie in een licht opgewarmde waterstroom (<30 °C) is minder waardevol dan elektrische energie die ten koste van biogas, aardgas of kolen is opgewekt.

### 5.5.1 OPERATIONELE ENERGIE

Bij het verminderen van het gebruik van operationele energie voor het bereiden en distribueren van leidingwater zijn de mogelijkheden beperkt. Alleen door waterbesparing (bijvoorbeeld met nieuwe sanitatie) kan hier een significante energiebesparing worden bereikt.

Bij het inzamelen van afvalwater is wel sprake van mogelijkheden voor energiebesparing. In potentie kan het energiegebruik worden gehalveerd als al het hemelwater wordt afgekoppeld en het rioolvreemd water wordt geminimaliseerd. Dit zal echter een zeer lange periode vergen (50-100 jaar) en zal naar verwachting nooit volledig gerealiseerd kunnen worden. De besparing wordt geraamd op maximaal 0,3 PJ/jaar voor heel Nederland.

Met de zuivering van afvalwater en de behandeling van slib op de energie is de meeste energie gemoeid. Een groot aantal energiebesparings- en opwekkingsmogelijkheden wordt bestudeerd in het kader van MJA3 afspraken. Energiebesparing zou in ieder geval 30 % moeten bedragen tot 2020 conform de MJA3. Dit komt neer op ongeveer 1 PJ/jaar voor heel Nederland.

Bij al deze opties geldt dat het gaat om het reduceren van de energiebehoefte en dat dit zeer wenselijke opties zijn.

### 5.5.2 CHEMISCHE ENERGIE

Bij het benutten van de chemische energie kunnen twee sporen worden onderscheiden. Het eerste is het beter benutten van de energie die in onopgelost organisch materiaal (primair en secundair slib) is opgeslagen ('De Energiefabriek'). Het tweede spoor is nieuwe sanitatie.

Bij 'De Energiefabriek' is het doel energieneutraal te worden op de rwzi (afvalwaterbehandeling en slibbehandeling). Uitgaande van de inkoop van elektrische energie zou dit neerkomen op een energiebesparing van 2,1 PJ/jaar in Nederland. Verwacht mag worden dat er ten minste één generatie rwzi's voor nodig is om dit doel te bereiken (30 jaar). Het gaat hierbij echter niet alleen om energiebesparing, het gaat ook om het vergroten van de productie van duurzame energie.

Nieuwe sanitatie grijpt fundamenteel in op het energiegebruik van in waterketen. Een rekenvoorbeeld leert dat met nieuwe sanitatie energiebesparing mogelijk is (circa 150 MJ per persoon per jaar voor gescheiden inzameling van zwart water volgens het Sneek-concept, zie bijlage 4). Belangrijk voor de energiebalans van nieuwe sanitatie is hoe met nutriënten wordt omgegaan. De productie van kunstmest kost veel energie. Als nieuwe sanitatie leidt tot productie van met kunstmest vergelijkbaar producten dan is dit zeer relevant voor de energiebalans.

De implementatiesnelheid en de mate van implementatie van nieuwe sanitatie worden sterk gedreven door de snelheid waarmee nieuwe woningen worden gebouwd. De toekomstige woningproductie wordt geraamd op 30.000 tot 120.000 woningen per jaar tot 2020. Op basis hiervan heeft nieuwe sanitatie de energiebesparingspotentie van 0,3 – 1,2 PJ per jaar na een periode van 30 jaar.

### 5.5.3 THERMISCHE ENERGIE

De thermische energie die met het huishoudelijk afvalwater wordt geloosd is de grootste energiestroom in de waterketen. Ingrepen in de waterketen die effect hebben op de thermische energie zijn daarmee relevant voor de totale energiebalans (zie kader).

Een maatregel die getroffen kan worden om thermische energie terug te winnen is de douchewarmtewisselaar. Als uitgegaan wordt van ca. 6 miljoen badkamers, die eens in de 20 jaar grondig gerenoveerd worden is sprake van 300.000 potentiële locaties per jaar. Bij een energiebesparingsrendement van 50 % en een energiegebruik voor douchen van 3,2 GJ per persoon per jaar neemt de energiebesparing telkens toe met 1 PJ per jaar. Over een periode van 20 jaar zouden in theorie alle douches met een douchewarmtewisselaar uitgerust kunnen zijn. De uiteindelijke energiebesparing zou maximaal 20 PJ/jaar bedragen. Deze wijze van energiebesparing levert een vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen (aardgas) op.

Voor warmteterugwinning uit afvalwater is het aantal potentiële locaties kleiner. Gelet op de aanpassingen die noodzakelijk zijn is realistisch om uit te gaan worden van nieuwbouw (30.000 tot 120.000 woningen per jaar) en koppeling aan bestaande en nieuwe warmtenetten. Verder is het moeilijk om in te schatten hoeveel energie dit op zal leveren. Om toch een indruk te geven is uitgegaan van een netto warmteterugwinning uit afvalwater van 50 % (teruggewonnen warmte minus benodigde energie voor de warmtepomp) gedurende 200 stookdagen per jaar. Op basis hiervan heeft warmteterugwinning uit afvalwater bij nieuwbouwprojecten de energiebesparingspotentie van 2 tot 7 PJ na een periode van 30 jaar. De wenselijkheid van deze wijze van energietrugwinning is minder groot dan bijvoorbeeld de douchewarmtewisselaar. Er is waardevolle elektrische energie nodig om de warmtepomp aan te drijven. Levering van warmte aan een warmtenet is niet persé afhankelijk van nieuwbouw. Er zijn in Nederland 7.000 warmtenetten. Deze zijn samen goed voor de levering van warmte aan 500.000 woningen. De warmteproductie is niet exact bekend, maar wordt geschat op enkele tientallen PJ/jaar. Hier ligt dus in principe een mogelijkheid voor het doorleveren van warmte die teruggewonnen is uit afvalwater. Voor de meeste warmtenetten is echter wel een aanzienlijke verhoging van de temperatuur (met een warmtepomp) nodig om de warmte in te kunnen voeden in het net. Verwacht mag worden dat dit door het relatief grote verbruik van elektriciteit voor het aandrijven van de warmtepomp geen realistische optie is. De verwachting is dat het leveren van restwarmte uit afvalwater aan een bestaand hoge temperatuur-warmtenet geen realistische optie is.

Voor warmteterugwinning op het schaalniveau van een wijk of groter is WKO (warmte koudeopslag) in aquifers een geduchte concurrent voor warmteterugwinning. Het temperatuurtraject is vergelijkbaar. WKO heeft het voordeel dat er koude kan maar het nadeel dat er ook koude geleverd moet worden (in verband met de energiebalans in de ondergrond). Warmteterugwinning uit afvalwater is een alternatief op plaatsen waar WKO (bijvoorbeeld door de bodemopbouw) niet mogelijk is. Bij inzet van laagwaardige restwarmte zitten knelpunten bij

het gebruik vooral in de kosten van gebruik (LTV), distributie en in de tapwatervoorziening, die in verband met legionellapreventie een temperatuur van 70°C moet hebben.

#### 5.5.4 BEOORDELING VAN DE OPTIES

De mogelijkheden voor energiebesparing en energiewinning kunnen op een aantal verschillende manieren in perspectief worden gezet. Bij deze beoordeling wordt op de volgende zaken ingegaan:

1. Energetische duurzaamheid → in welke mate draagt de maatregel bij tot verduurzaming van de energiehuishouding?
2. Effect → welke energiebesparing is mogelijk?
3. Snelheid van implementatie → hoe lang duurt het voor de maatregel effect heeft?

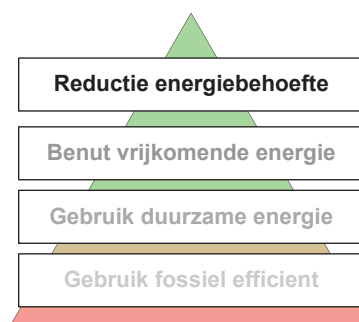
Bij het beoordelen van de energetische duurzaamheid is het is gangbaar om de volgende voorkeursvolgorde aan te houden:

1. Reductie energiebehoefte
2. Benut vrijkomende energie
3. Gebruik duurzame energie

De laatste en minst gewenste optie is:

4. Gebruik fossiele brandstoffen

Deze volgorde is goed bruikbaar om de verschillende opties te ordenen.



In Tabel 5.2 is, voor zover mogelijk, een beoordeling gemaakt voor de besproken maatregelen.

TABEL 5.2 WEGING VAN DE MAATREGELEN VOOR ENERGIEBESPARING EN ENERGIEWINNING IN DE WATERKETEN

Mogelijkheid	Energetische duurzaamheid	Maximaal effect: Theoretisch bij volledige implementatie [PJ/jaar]	Snelheid van implementatie [PJ/jaar]	Mogelijke opbrengst bij ambitieus scenario [PJ/jaar], uitgangspunten
<u>Vermindering gebruik van operationele energie</u>				
Efficiëntere leidingwaterproductie en distributie	Reductie	?	0,024	0,2 PJ/jaar in 2020, 10% energiebesparing in 10 jaar
Afkoppelen hemelwater en vermijden rioolvreemd water	Reductie	0,3	0,010	0,3 PJ/jaar in 2040, Realisatie doelstelling in 30 jaar
Optimalisatie afvalwatertransport	Reductie	?	?	
MJA3 zuiveringsbeheer	Reductie en benutting	0,6	0,06	0,6 PJ/jaar in 2020, Realisatie doelstelling in 2020
<u>Vergroten opbrengst chemische energie</u>				
Energiefabriek	Reductie en benutting	2,1	0,07	2,1 PJ/jaar in 2040, Realisatie doelstelling in 30 jaar
Vergroting energieopbrengst uit slib (thermofiele slibgistingen)	Productie duurzaam	1,1	0,11	1,1 PJ/jaar in 2020, Realisatie in 10 jaar
Betere benutting biogas	Benutting	0,5	0,05	0,5 PJ/jaar in 2020, 20% rendementsverbetering in 10 jaar
<u>Nieuwe sanitatie</u>	Reductie en benutting	2,6	0,03	0,9 PJ/jaar in 2040, Toepassing bij 50% van de nieuwbouw (75.000 woningen)
<u>Thermische energie</u>				
Douche warmtewisselaar	Reductie	31	1,0	30 PJ/jaar in 2040 Toepassing bij 50% van de nieuwbouw (75.000 woningen) en na 50% van de badkamerrenovaties (150.000 badkamers) per jaar
<u>Warmtewinning uit afvalwater</u>				
- op woningniveau	Benutting	59	0,63	19 PJ/jaar in 2040, Toepassing bij van de 50% nieuwbouw (75.000 woningen) en winning van 10 MJ restwarmte pp/d
- op wijkniveau	Benutting	30	0,25	9 PJ/jaar in 2040 Toepassing bij van de 50% nieuwbouw (75.000 woningen) en winning van 20 MJ/100 000 inwoners
- op stadsniveau	Benutting	87	?	Lage temperatuur-warmtenet lijkt noodzakelijk
Verklaring:	Meest positief			Minst positief

Bij deze wijze van beoordeling komt met name de winning van thermische energie positief naar voren. Het is een maatregel die in principe breed kan worden toegepast en die effect heeft op een groot deel van de energie die in de waterketen wordt gebruikt. De verschillende mogelijkheden voor het winnen van thermische energie zouden zelfs gecombineerd kunnen worden. Het toepassen van een douchewarmtewisselaar sluit het winnen van thermische energie bij de woning of verderop in de waterketen niet uit, al zal de opbrengst van de winning van thermische energie na de woning wel lager zijn. Bij het gebruik van winnen van afvalwater moet rekening worden gehouden met het energiegebruik van de warmtepomp. Dit is nu niet in de tabel opgenomen.

Volgens het ambitieuze scenario zou met douchewarmtewisselaars van 2010 tot 2020 10 PJ/ jaar bespaard kunnen worden. Dit is gelijk aan het huishoudelijk energiegebruik (elektriciteit en aardgas) van 370.000 personen. In het perspectief van het totale Nederlandse energiegebruik (3.330 PJ in 2008) betekent dit een besparing van 0,3 % ten opzichte van 2008.

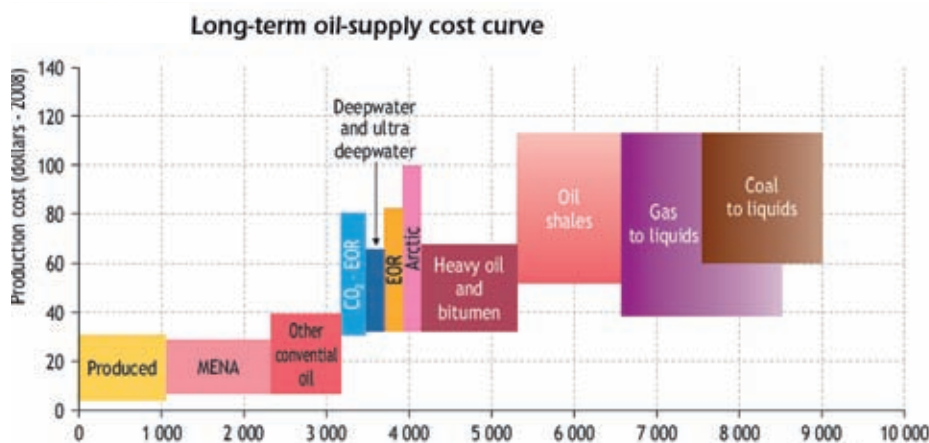
## 5.6 ENERGIEPRIJS

Bij het beoordelen van mogelijkheden voor energiebesparing en energiewinning is het relevant om te kijken naar de ontwikkelingen op de energiemarkt. Energiebesparende maatregelen zorgen in eerste instantie in meerkosten. Deze meerkosten worden over een periode van meerdere jaren geheel of gedeeltelijk terugverdiend. Een interessant aspect aan de terugverdiendtijd is de ontwikkeling van de energieprijzen. Wanneer de energieprijzen stijgt betekent dit immers een verkorting van de terugverdiendtijd. De energieprijzen in de laatste decennia aan grote veranderingen onderhevig geweest. Het is echter van belang om hier een splitsing te maken tussen de prijzen van olie, elektriciteit en duurzame energie.

De prijs van aardolie (en aardgas) is zeer gevoelig voor prijsfluctuaties omdat deze direct afhankelijk is van ontwikkelingen op de internationale markt. Spanningen in het Midden Oosten of Rusland kunnen al genoeg reden zijn om de olieprijs sterk te laten stijgen. Scenario's over de ontwikkeling van de olieprijs wijken om deze reden vaak sterk af van de werkelijkheid.

Vast staat dat aardolie een schaars goed is omdat het een eindige grondstof betreft. Deze grondstof wordt momenteel in hoog tempo verbruikt. De makkelijk winbare oliebronnen zijn reeds aangeboord. Moeilijker winbare oliebronnen, zoals teerzand en onderzeese olievelden, komen nu in beeld waardoor de productiekosten zullen stijgen, zie Figuur 5.8.

FIGUUR 5.8 OLIEVOORRAAD EN PRODUCTIEKOSTEN (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [NN])





De prijs van elektriciteit is relatief stabiel in vergelijking met de aardolieprijs omdat het wordt geproduceerd uit een verscheidenheid aan bronnen. Pieken zoals die optreden bij de olieprijs worden hierdoor geëffend. De prijs van elektriciteit vertoont vanwege verschillende ontwikkelingen de afgelopen decennia een stijgende lijn. Het schaarser worden van grondstoffen zoals kolen en gas spelen hierbij een grote rol maar ook de stijgende kosten voor de compensatie van CO<sub>2</sub> uitstoot. De verwachting is dat de prijs van elektriciteit de komende decennia geleidelijk blijft stijgen vanwege de stijgende grondstofprijzen.

Elektriciteit uit duurzame bronnen zal vanwege de schaalvergroting steeds goedkoper worden waardoor het binnen afzienbare tijd kan concurreren met elektriciteit opgewekt uit fossiele brandstoffen. Windenergie op land kan reeds concurreren met elektriciteit die opgewekt is in gas of kolen gestookte centrales<sup>1</sup>.

Geconcludeerd wordt dat het moeilijk is om goede voorspellingen te doen over de energieprijzen in de toekomst. Het is mogelijk dat de elektriciteitsprijs zich op een andere manier zal ontwikkelen dan de olie (aardgas) prijs.

## 5.7 DUURZAME ENERGIE

In 2008 was de productie van duurzame energie 114 PJ. De energiestromen in de waterketen hebben gezamenlijk een kleinere omvang (65 PJ/jaar thermische energie, 16 PJ/jaar chemische energie en 7,5 PJ/jaar operationele energie). In paragraaf 5.5 is geconstateerd dat er mogelijkheden zijn om een deel van deze energie te winnen.

In Tabel 5.3 is de bijdrage die de waterketen in de komende 10 jaar kan leveren aan de winning van duurzame energie opgenomen. Uitgangspunt hierbij is het ambitieuze scenario uit Tabel 5.2. Wellicht ten overvloede: energiebesparing (douchewarmtewisselaar) is niet hetzelfde als duurzame energie. Van alle maatregelen die zijn genoemd kan maar een klein deel worden beschouwd als een mogelijkheid voor het winnen van duurzame energie.

TABEL 5.3 POTENTIËLE BIJDRAGE VAN DE WATERKETEN AAN DE WINNING VAN DUURZAME ENERGIE

	Duurzame energie in 2008 [PJ/jaar]	Potentiële extra bijdrage uit de waterketen in 2020 [PJ/jaar]	
Waterkracht	0,8		
Windenergie	35,1		
Zonne-energie	1,2		
Omgevingsenergie (warmtepompen, WKO)	5,4	6,3	uitgaande van winning van thermische energie op woningniveau (warmtepomp en lage temperatuurverwarming)
Biomassa			
Biogas rwi's	2,4	0,55	betere benutting biogas en vergroting energieopbrengst uit slib
Overige bronnen	69,2	1,1	betere benutting energie-inhoud ingedikt slib
<b>Totaal</b>	<b>114,1 PJ/jaar</b>	<b>8 PJ/jaar</b>	

1 Indien de kosten voor de opvang en opslag van CO<sub>2</sub> meegerekend worden.

Geconcludeerd wordt dat de totale hoeveelheid duurzame energie die in de waterketen in 2020 opgewekt zou kunnen worden significant, maar niet zeer omvangrijk is ten opzichte van de opwekking van duurzame energie in 2008.

## 5.8 KLIMAATAKkoord

### 5.8.1 AMBITIES

In het Klimaatakkoord tussen Rijk en de Unie van Waterschappen zijn de klimaatambities van de waterschappen in samenhang gebracht en verankerd. Het Klimaatakkoord kent een drietal pijlers: energie, adaptatie en duurzaamheid. Kort samengevat zijn de belangrijkste ambities van het Klimaatakkoord:

- 30% energie-efficiënter en zuiniger werken tussen 2005 en 2020
- 40% zelfvoorzienend door eigen duurzame energieproductie in 2020
- 30% minder broeikasgassen tussen 1990 en 2020
- 100% duurzame inkoop in 2015

### 5.8.2 INVULLING

De ambities moeten worden gerealiseerd door het efficiënter omgaan met energie door toepassing van innovatieve technieken. De doelstelling van de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (MJA3) voor de afvalwaterzuivering wordt met het Klimaatakkoord verbreed naar het gehele werkveld van het waterschap. De ambitie is een vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen van 2% per jaar. Door verhoging van de productie van biogas uit afvalwater worden de waterschappen steeds meer zelfvoorzienend. Waterschappen zoeken ook naar andere alternatieve duurzame energiebronnen. Zij gaan meer gebruik maken van windenergie, zonne-energie en waterkracht.

Biomassa uit bermmaaisel en oeverbeplanting is een andere mogelijke energiebron die het onderzoeken waard is. Daarnaast gaan de waterschappen voor duurzaam inkopen en aanbesteden en het toepassen van het 'cradle to cradle'-principe (bijvoorbeeld het terugwinnen van fosfaat uit het rioolafvalwater). Bij het aanpassen van het waterbeheer aan veranderende (klimaat)omstandigheden wordt de landelijke adaptatiestrategie gevolgd. Dit houdt in dat weerstand geboden wordt waar het moet (bijvoorbeeld door versterking van waterkeringen) en mee te bewegen waar het kan (ruimte geven aan water, herstel van natuurlijke systemen). Bij de inrichting van het landelijk en stedelijk gebied koppelen zij klimaatbestendigheid van het waterbeheer (adaptatie) aan klimaatneutraliteit (mitigatie). Daarbij zoeken zij samenwerking met gemeenten.

### 5.8.3 BEWUSTWORDING EN ACTIETEAMS

Het Klimaatakkoord zal de klimaatkennis bij waterschappen vergroten en toegankelijker maken.

Dit gebeurt onder andere via gezamenlijk onderzoek in STOWA-verband, bijvoorbeeld naar lachgas en biogas, en via het uitvoeren van praktijkgerichte pilotstudies. Verder wil de Unie van waterschappen de bewustwording bij waterschappen en medewerkers vergroten door de klimaatvoetafdruk in beeld te brengen (energiegebruik en broeikasemissie). Ook willen de waterschappen bijdragen aan de publieke bewustwording en educatie rond klimaatverandering. Voor de uitvoering van het Klimaatakkoord wordt een Actieteam ingesteld voor de thema's duurzame energiewinning, snijvlak van adaptatie en mitigatie en voor bewustwording en educatie.

Deze actieteams hebben als doel om de kennis via voorbeeldprojecten/pilots in de praktijk toe te passen, de daarbij opgedane kennis breed te verspreiden en de aanwezige knelpunten te identificeren en hiervoor oplossingen te vinden [11] [mm].

#### **5.8.4 KLIMAATAKKOORD, ENERGIE IN DE WATERKETEN EN THERMISCHE ENERGIE**

Het Klimaatakkoord heeft een meer integrale benadering dan andere initiatieven en doelstellingen, zoals de energiefabriek of de MJA(3) doelstellingen. In het Klimaatakkoord wordt wel ingegaan op duurzame energiewinning (chemische energie) en energiebesparing (operationele energie), maar de thermische energie wordt niet als afzonderlijk thema geadresseerd. Als gekeken wordt naar de uitkomsten van deze bureaustudie dan lijkt hier een kans te liggen:

- de lozing van thermische energie is de grootste energiestroom in de waterketen.
- de mogelijkheden voor het winnen van thermische energie en energiebesparing liggen ook bij de huishoudens en gemeentes. Hier komt een aantal ambities bij elkaar: energiebesparing, bewustwording, reductie CO<sub>2</sub> uitstoot.

Vanuit de doelstellingen van het Klimaatakkoord kan gekeken worden naar mogelijkheden die de energiestromen in de waterketen bieden. Tabel 5.4 presenteert een soortgelijke tabel als Tabel 5.2, maar dan in het perspectief van het Klimaatakkoord.

TABEL 5.4

WEGING VAN DE MAATREGELEN VOOR ENERGIEBESPARING EN ENERGIEWINNING IN DE WATERKETEN IN HET PERSPECTIEF VAN HET KLIMAATAKkoord

Maatregel	Door wie/met wie			Termijn voor realisatie			Klimaatthemas uit accoörd						
	Leidingw bedr			Huishoudens	Gemeente	Waterschap	2020	2030	2040	Energie (PJ/jaar)			
	Leidingw bedr	Huishoudens	Gemeente							Waterschap	Duurzaam	Producteren	Besparen
												Emissiefactor*	
<b>Vermindering gebruik van operationele energie</b>													
Efficiëntere leidingwaterproductie en distributie												0,2	31.440 elektriciteit
Afkoppelen en vermijden rioolvreemd water												0,3	47.160 elektriciteit
Optimalisatie afvalwatertransport												?	?
MJA 3											0,6		94.320 elektriciteit
<b>Vergroten opbrengst chemische energie</b>													
Energiefabriek												2,1	330.120 elektriciteit
Vergroting energieopbrengst uit slib										1,1			- biogas
Betere benutting biogas										0,5			- biogas
<b>Nieuwe sanitatie</b>												0,9	
<b>Thermische energie</b>													
Douche warmtewisselaar												31	1.757.700 aardgas
Warmtewinning uit afvalwater**										19			330.600 warmtepomp
- op woningniveau										9			156.600 warmtepomp
- op wijkniveau										?			?
- op stadsniveau													

\* Emissiefactor aardgas 56,7 kg CO2/GJ

Emissiefactor elektriciteit 157,2 kg CO2/GJ

\*\* Bij de CO2 emissie is rekening gehouden met een CoP van 4 (emissie 17,4 kg CO2/GJ)

Enkele vragen die op basis van de uitgevoerde studie naar voren komen zijn:

- Kan de doelstelling “40% zelfvoorzienend door eigen duurzame energieproductie in 2020” worden bereikt met de chemische energie in het afvalwater of zijn aanvullende bronnen van duurzame energie (zon, wind) en energiebesparing nodig?
- Bij de doelstellingen “30% energie-efficiënter en zuiniger werken tussen 2005 en 2020” en “30% minder broeikasgassen tussen 1990 en 2020” komt de vraag naar voren of het aardgas wat nu wordt gebruikt voor slibdroging kan worden vervangen door restwarmte uit het afvalwater.
- Hoe kunnen de waterschappen effectief bijdragen aan het verlagen van de lozing van thermische energie door de huishoudens?
- Hoe relevant is afkoppelen en het vermijden van rioolvreemd water voor bereiken van de doelstellingen van het Klimaatakkoord?

Een nadere beschouwing van de energiestromen in de gehele waterketen is in dit licht gezien wenselijk en kan bijdragen aan het effectief realiseren van een aantal doelstellingen uit het Klimaatakkoord.

## 5.9 THEMA'S VOOR NADER ONDERZOEK

### 5.9.1 CONGRUENTIE VAN GEGEVENS

Bij dit onderzoek is een groot aantal verschillende bronnen geraadpleegd. Gebleken is dat gegevens niet altijd met elkaar overeen lijken te stemmen. Een opvallend verschil in het opgegeven energiegebruik is het onderzoek wat in 2005 is uitgevoerd voor agentschap NL [oo] en rapport ondersteuning Klimaatakkoord uit 2009 [ii]. Het energiegebruik van de waterschappen werd in de eerste bron geschat op 3,9 PJ/jaar en in de tweede bron op 6,5 PJ/jaar. Er is informatie ingewonnen over de onderliggende oorzaak voor dit verschil. Zonder gedetailleerd op beide onderzoeken in te gaan is een mogelijke verklaring de wijze waarop wordt omgegaan met het opwekkingsrendement. Gelet op de ambities die nu door de waterschappen worden geformuleerd en de afspraken die zijn gemaakt is het noodzakelijk om overeenstemming te hebben over de gebruikte gegevens en de wijze waarop getallen worden gepresenteerd. Het is nodig om de bronnen te onderbouwen, te verifiëren en definities eenduidig te hanteren.

### 5.9.2 TOEKOMSPERSPECTIEF

Als vanuit een perspectief van energieoptimalisatie gekeken wordt naar de waterketen dan is het logisch om meer anaerobe processen te gebruiken en minder aerob te zuiveren. Het eerste proces levert immers biogas op terwijl de tweede proces energie vraagt voor beluchting. Dit vereist echter een aanpassing in de wijze waarop we afvalwater inzamelen en de wijze waarop we omgaan met de warmte die nodig is voor anaerobe processen. Wellicht liggen hier kansen voor gezamenlijke verwerking van andere stromen die rijk zijn aan organische stof, zoals mest, sommige industriële waterstromen en groente en fruitafval. Dit is een onderwerp voor nader onderzoek.

### 5.9.3 WATERKWALITEIT

Het energetisch optimaliseren van de waterketen kan effecten hebben op de waterkwaliteit. Enkele voorbeelden:

- De winning van warmte uit ongezuiverd afvalwater leidt mogelijk tot een kouder influent. Voor sommige rwzi's kan een kleine daling al leiden tot een lager rendement op koude dagen.

- Vergaande zuiveringstechnieken (filtratie van effluent) kunnen leiden tot een hoger energiegebruik.
- Anaerobe zuivering is energetisch gunstiger dan aerobe zuivering, maar leidt tot een andere effluentkwaliteit.
- Afkoppeling van hemelwater levert een lager energiegebruik op, maar geeft andere emissies op een andere locatie.

Het is wenselijk om nader te kijken naar deze effecten. Het optimum; een optimale waterkwaliteit tegen acceptabele energiekosten, zou duidelijk moeten zijn voordat tot een maatregel in de waterketen wordt overgegaan.

#### **5.9.4 PRODUCTIE VAN MESTSTOFFEN**

Het aanleveren van geconcentreerd afvalwater (nieuwe sanitatie) maakt het mogelijk dat meststoffen gewonnen kunnen worden uit afvalwater. Dit kan zeer relevant zijn voor de energiehuishouding van de waterketen. Het produceren van kunstmest op stikstofbasis vraagt veel energie [pp]. Om het verschil tussen “eenvoudig” nitrificeren en denitrificeren, produceren van kunstmest op stikstofbasis en produceren van struviet (zoals bij nieuwe sanitatie) duidelijk in beeld te brengen moeten de energiebalansen onderling worden vergeleken. Op basis van deze vergelijking zou het energetische optimum gevonden moeten worden bij de productie van meststoffen uit afvalwater.

#### **5.9.5 LOZING VAN THERMISCHE ENERGIE DOOR BEDRIJVEN**

De lozing van thermische energie door bedrijven is slechts globaal in beeld gebracht. Er is in deze bureaustudie uitgegaan van een gemiddelde lozingstemperatuur van 25°C. Het is goed mogelijk dat het afvalwater van een aantal bedrijven warmer is. Een aantal bedrijven koelt het afvalwater tot de maximale lozingtemperatuur van 30°C die door veel gemeentes wordt gehanteerd om het riool te beschermen. Aanbevolen wordt om de grote warmtelozers in kaart te brengen en per geval te beoordelen of winning en gebruik van de thermische energie mogelijk is.

#### **5.9.6 COMBINATIES EN TOTAALCONCEPTEN**

Er kunnen logische combinaties van maatregelen gemaakt worden. Nieuwe sanitatie kan bijvoorbeeld gecombineerd worden met warmtewinning uit grijswater en/of met ‘De Energiefabriek’. De combinatie van nieuwe sanitatie met energiewinning uit grijswater lijkt logisch. Beide mogelijkheden zijn relevant voor een nieuwbouwsituatie en lijken elkaar niet te hinderen. Ook de combinatie van nieuwe sanitatie met ‘De Energiefabriek’ ligt voor de hand. Tenslotte is de combinatie van het afkoppelen en het vermijden van rioolvreemd water en de winning van thermische energie uit afvalwater een mogelijkheid en kan de winning van thermische energie en WKO worden gecombineerd.

Om de lozing van thermische energie te verminderen en de energieopbrengst uit afvalwater te maximaliseren is het wenselijk om te komen tot samenhangende concepten voor een energetisch optimale waterketen. Hiervoor zijn voorbeelden te vinden in de woningbouwsector. Een concrete uitwerking zou een woningconcept (voorbeeldwoning) kunnen zijn waarbij de inbreng van warmte voor het grootste deel met behulp van het eigen afvalwater wordt gerealiseerd.

# 6

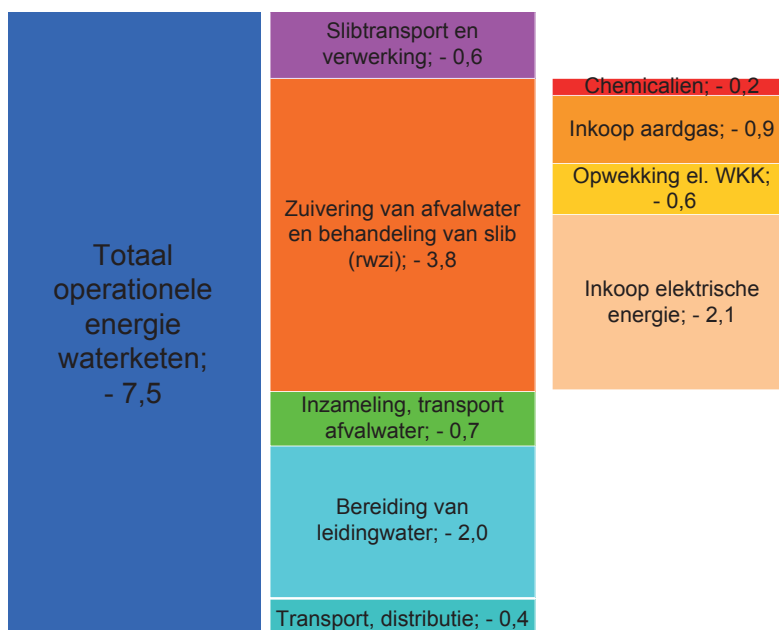
## TERUGKOPPELING NAAR DE VRAAGSTELLING

In hoofdstuk 2 is de vraagstelling voor het onderzoek geformuleerd. In deze paragraaf is per deelvraag het antwoord weergegeven.

### 6.1 THEORIE/ACHTERGROND

- *Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid operationele energie die gebruikt wordt in de waterketen?*
- In de waterketen wordt 7,5 PJ per jaar aan operationele energie gebruikt. De grootste gebruikers van operationele energie zijn de rwzi's (3,8 PJ/jaar). In Figuur 6.1 is de verdeling van de operationele energie in de waterketen weergegeven.

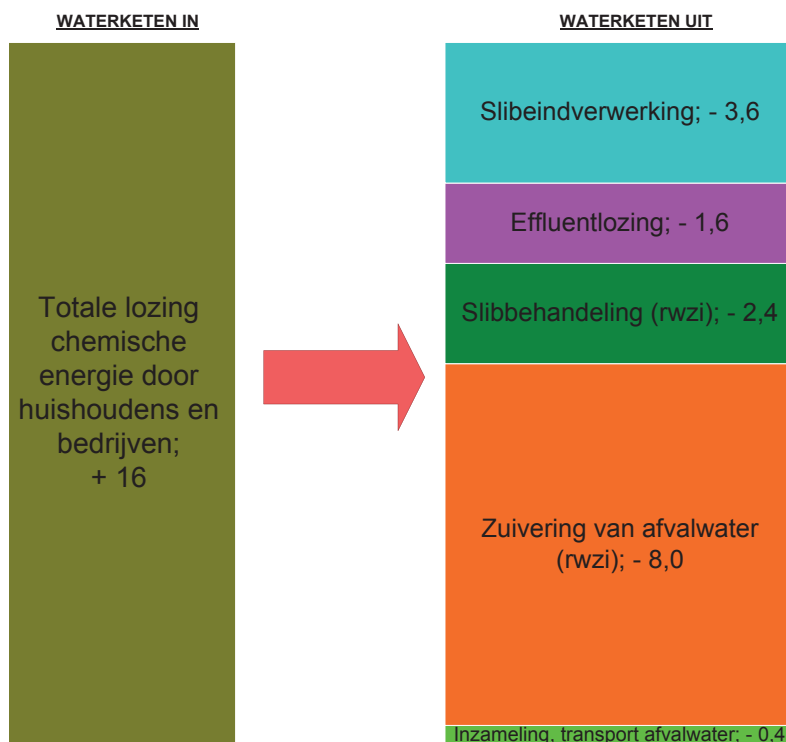
FIGUUR 6.1 VERDELING OPERATIONELE ENERGIE IN DE WATERKETEN IN PJ/JAAR 2007



- *Wat zijn realistische uitgangspunten voor de reductie van deze operationele energie?*
- Belangrijke mogelijkheden voor het verlagen van operationele energiegebruik zijn energiebesparing op de rwzi (conform de MJA3 ca. 1 PJ/jaar in 2020), de energiefabriek (2,1 PJ/jaar) en nieuwe sanitatie (0,3 -0,9 PJ/jaar na een periode van 30 jaar). Ook bij de slibeindverwerking lijken er in potentie goede mogelijkheden om het gebruik van operationele energie te verlagen, bijvoorbeeld door de chemische energie in het slib beter vrij te maken en te gebruiken.

- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid chemische vastgelegde energie (theoretisch) in de waterketen?
  - Door huishoudens en bedrijven wordt 16 PJ/jaar aan chemische energie (koolstof- en stikstofverbindingen) via het riool afgevoerd. Huishoudens lozen ongeveer 10 PJ/jaar en bedrijven 6 PJ/jaar. Een deel van deze chemische energie wordt bij de slibgisting omgezet in biogas (-2,4 PJ/jaar). Het restant wordt via de effluentlozing (-1,6 PJ/jaar) en met het slib afgevoerd (-3,6 PJ/jaar). In Figuur 6.2 is in- en uitgaande chemische energie in de waterketen weergegeven.

FIGUUR 6.2 CHEMISCHE ENERGIE WATERKETEN IN- EN UITGAAND IN PJ/JAAR 2007

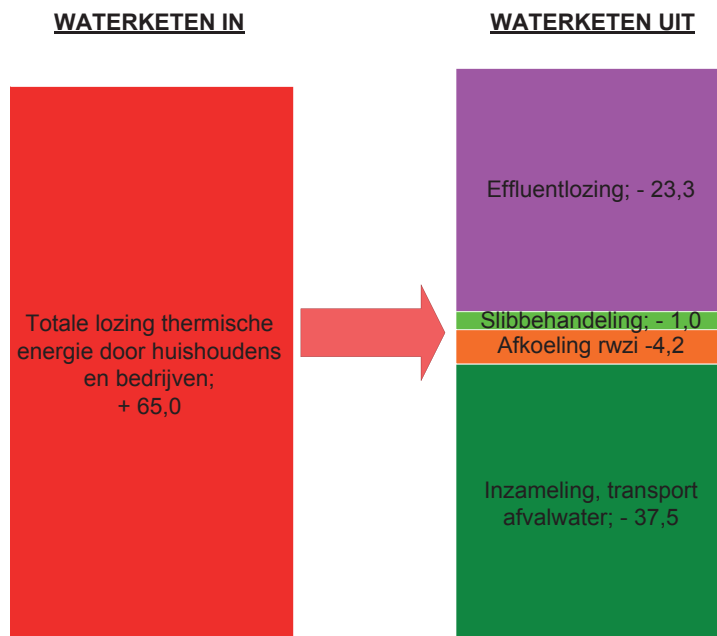


- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de winbaarheid van deze chemische energie?
  - Het is mogelijk om de chemische energie beter te winnen dan nu het geval is. Het is bijvoorbeeld mogelijk om een groter deel van het afvalwater anaeroob te behandelen waardoor er meer biogas geproduceerd wordt. Hier moet het afvalwaterzuiveringsproces echter aangepast worden. Ook kan de slibproductie vergroot worden, het vergistingsproces verder worden geoptimaliseerd waardoor de biogasproductie toeneemt. Nieuwe sanitatie (gescheiden inzameling van geconcentreerd afvalwater) en 'De Energiefabriek' (meer primair slib en/of betere vrijmaking van energie uit zuiveringsslib) maken hier gebruik van. Het beter benutten van de chemische energie in afvalwater kan in theorie 2 PJ/jaar ('De Energiefabriek') opleveren. Als gekeken wordt naar de chemische energie die in het slib wordt opgeslagen dan lijkt ook hier een verdere optimalisatie mogelijk. De orde-grootte voor deze besparing is 1 PJ/jaar.
- Wat zijn realistische uitgangspunten voor de hoeveelheid thermische energie in de waterketen?
  - Door huishoudens en bedrijven wordt 65 PJ/jaar aan thermische energie via het riool geloosd. Het merendeel (76%) betreft de thermische energie die huishoudens aan het afvalwater toevoegen. De temperatuur van het onverdunde afvalwater van huishoudens en bedrijven wordt geschat op 25 – 30 °C. In Figuur 6.3 is in- en uitgaande thermische energie in de waterketen weergegeven.



FIGUUR 6.3

THERMISCHE ENERGIE WATERKETEN IN- EN UITGAAND IN PJ/JAAR 2007

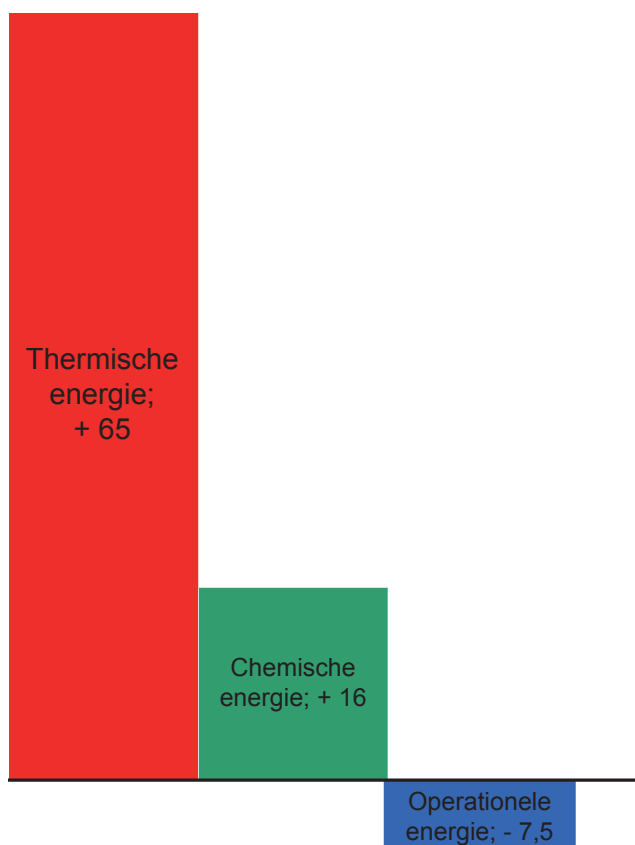


Opmerking: de huishoudens en bedrijven lozen 65 PJ/jaar (waterketen in) terwijl 66 PJ/jaar de waterketen uitgaat. Oftewel een verschil van 1 PJ/jaar. Dit verschil wordt veroorzaakt de slibbehandeling van de rwzi. Hieronder valt namelijk het affakkelen van biogas en de restwarmte die vrijkomt bij de WKK. Chemische energie (vastgelegd in biogas) wordt hierbij omgezet in thermische energie en gaat vervolgens 'verloren'.

- *Wat zijn realistische uitgangspunten voor de winbaarheid van thermische energie in de waterketen?*
  - De thermische energie die aan het afvalwater toegevoegd wordt, dient zo dicht mogelijk bij de warmtebron teruggewonnen te worden om het energieverlies te beperken. Enkele interessante mogelijkheden tot het terugwinnen van de thermische energie zijn:
    - Installatie van een douchewarmtewisselaar. Hiermee kan in theorie 31 PJ/jaar teruggewonnen worden als iedereen in Nederland van een douchewarmtewisselaar gebruik gaat maken.
    - Winning van warmte uit afvalwater direct na de woning met een warmtepomp en gebruik in de woning via lage temperatuurverwarming.
    - Realiseren van een WKO installatie op wijkniveau waarmee 's zomers thermische energie (in de vorm van warm water) uit het afvalwater ondergronds wordt opgeslagen. Dit warme water kan 's winters toegepast worden voor de warmwater voorziening
- *Wat is de totale omvang van de theoretisch beschikbare hoeveelheid energie in de waterketen in Nederland?*
  - De totale hoeveelheid operationele, chemische en thermische energie die aan het Nederlandse afvalwater wordt toegevoegd cq. benodigd is voor het functioneren van de waterketen bedraagt ongeveer 86 PJ/jaar. In Figuur 6.4 is de verdeling van de totale hoeveelheid energie in de waterketen weergegeven.

FIGUUR 6.4

VERDELING TOTALE HOEVEELHEID ENERGIE IN WATERKETEN IN PJ/JAAR 2007



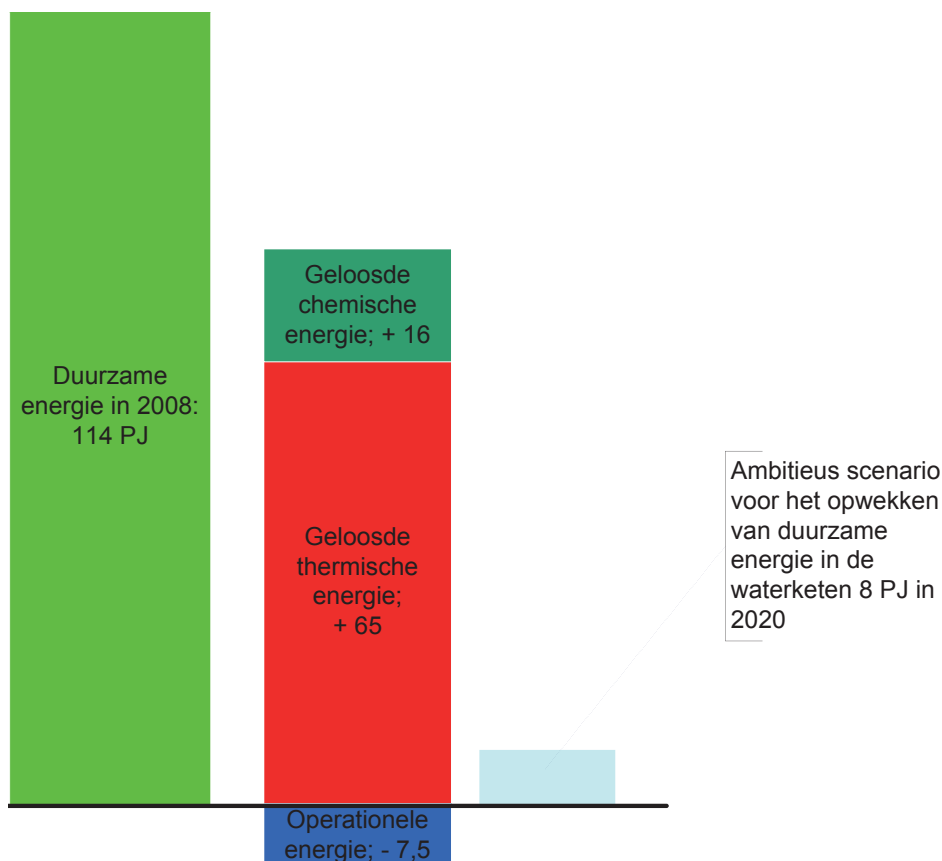
- *Hoe verhoudt de theoretisch beschikbare energie zich ten opzichte van andere vormen van biomassa en duurzame energie, het totale energiegebruik van de waterschappen en het energiegebruik van huishoudens?*
  - Hierover is het volgende geconstateerd in deze studie:
    - In Nederland wordt er op jaarbasis 3.330 PJ aan energie gebruikt waarvan 114 PJ (3,4 %) duurzaam wordt opgewekt (2008).
    - Het totale energiegebruik van Nederlandse huishoudens bedraagt 878 PJ/jaar (elektriciteit en aardgas). In de waterketen wordt op jaarbasis ongeveer 7,5 PJ gebruikt door leiding-waterbedrijven, gemeentes, waterschappen en slibeindverwerkers.
    - Het totale energiegebruik van de waterschappen (inclusief kantoren en gemalen) bedraagt 6,5 PJ/jaar volgend agentschap NL.
    - De energie die door huishoudens en bedrijven wordt geloosd met het afvalwater (78 PJ/jaar) bedraagt een veelvoud van de energie die in de waterketen wordt gebruikt. De energie die met het afvalwater wordt geloosd bedraagt 9% van het totale energieverbruik van Nederlandse huishoudens en is significant ten opzichte van de productie van duurzame energie in 2008.

De mogelijkheden voor het produceren van duurzame energie in de waterketen zijn significant (ambitieuw scenario: 8 PJ/jaar in 2020). Dit kan worden gerealiseerd door warmte uit afvalwater te winnen, door de biogasopwekking te maximaliseren en de energie-inhoud van het slib beter te benutten.

De grootste energiewinst is echter te bereiken door minder warm water te lozen, dit is strikt genomen echter geen duurzame energie. De douchewarmtewisselaar komt hierbij als interessante optie naar voren. Een besparing van 10 PJ/jaar in 2020 wordt gezien als een ambitieuze,

maar potentieel haalbare mogelijkheid. In Figuur 6.5 zijn de energiestromen in de waterketen geschaald weergegeven ten opzichte van de productie van duurzame energie in 2008 en de potentie voor de opwekking van duurzame energie in de waterketen.

FIGUUR 6.5 DUURZAME ENERGIE (2008) EN ENERGIE IN DE WATERKETEN (2007)



## 6.2 HUIDIGE SITUATIE

- *Hoe wordt in de bestaande situatie gebruik gemaakt van de energie in afvalwater?*
- In de huidige situatie wordt slechts een beperkt deel van de energie die aan het afvalwater wordt toegevoegd gewonnen. Dit kan als volgt worden verklaard:
  - Van chemische energie die door huishoudens en bedrijven wordt geloosd (16 PJ/jaar) wordt ongeveer de helft door bacteriën (actief slib) omgezet in de rwzi. Dit gaat overigens ten koste van elektrische energie (verpompen, beluchting en menging).
  - In de slibketen wordt door vergisting een deel van de resterende chemische energie teruggewonnen door vergisting en de productie van biogas (2,4 PJ/jaar). Het resterende deel van de chemische energie wordt met het effluent geloosd of met het uitgegiste slib afgevoerd.
  - Thermische energie wordt in Nederland tot op heden niet tot nauwelijks uit het afvalwater teruggewonnen.

Thermische energie is veruit de grootste energiestroom in de waterketen. Het zinvol om te onderzoeken waar en onder welke omstandigheden de thermische energie kan worden gewonnen en gebruikt. Hierbij hoort ook een nader onderzoek naar de effecten van de teruggewinning.

- *Waar gaat chemische of thermische energie verloren?*
- Chemische energie (in de vorm van afvalstoffen in het water) gaat verloren doordat deze tijdens de aerobe behandeling van afvalwater door bacteriën (het actief slib) wordt gebruikt voor de stofwisselingsprocessen. De organische stoffen worden hierbij omgezet wordt in CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>. De potentieel aanwezige chemische energie wordt dus geoxideerd tot onbruikbare gassen. Thermische energie gaat verloren doordat de geloosde warmte van huishoudens verdwijnt naar de omgeving via de rioolwand, door afkoeling op de rwzi en door lozing met het effluent van effluent van de rwzi.

### 6.3 TOEKOMSTIGE SITUATIE

- *Wat zijn logische locaties om energie (terug) te winnen uit afvalwater en welke combinaties kunnen gemaakt worden?*
- Mogelijkheden om deze energie uit het afvalwater te winnen zijn:
  - De toepassing van een douchewarmtewisselaar bij huishoudens resulteert in een relatief grote energiebesparing (potentieel 10 PJ/jaar in 2020).
  - In nieuwbouwsituaties kan met een warmtepomp en lage temperatuurverwarming in de woning warmte uit afvalwater worden gebruikt om een woning te verwarmen. Deze optie heeft per woning een groot effect op de energiebalans, maar kan vooral in nieuwbouwsituaties goed gerealiseerd worden. Het potentieel is dan 12 PJ/jaar in 2040 als 50% van alle nieuwbouw hiervan gebruik gaat maken. De ontwikkeling op een dergelijke termijn is echter moeilijk te voorspellen.
  - Wanneer zwart water (toiletwater) en grijs water (douche, keuken, etc.) elk apart ingezameld worden (nieuwe sanitatie) is echter mogelijk om het geconcentreerde zwarte water (decentraal) anaeroob te behandelen. Chemische energie wordt in dat geval omgezet in biogas waarmee vervolgens elektriciteit opgewekt kan worden. De relatief licht vervuilde grijswater stroom kan decentraal met bijvoorbeeld een biorotor worden gezuiverd. De maximale besparing op het energiegebruik in de waterketen wordt geschat op 2,6 PJ/jaar. Omdat nieuwe sanitatie vooral in nieuwbouwsituaties goed gerealiseerd kan worden is de besparing naar verwachting kleiner: 0,9 PJ/jaar in 2040.
  - Interessante combinaties zijn:
    - ❖ nieuwe sanitatie en winning van thermische energie uit grijswater (warmtepomp en lage temperatuurverwarming in de woning)
    - ❖ nieuwe sanitatie en 'De Energiefabriek'
    - ❖ afkoppelen en het vermijden van rioolvreemdwater en de winning van thermische energie uit afvalwater
    - ❖ winning van thermische energie en WKO

### 6.4 SLOT

Het doel van dit rapport was om inzicht te verkrijgen in de hoeveelheden operationele, chemische en thermische energie die omgaan in de waterketen en mogelijkheden aan te dragen om het energieverbruik te reduceren en de aanwezige energie terug te winnen.

Uit dit rapport blijkt dat er vooral grote hoeveelheden chemische en thermische energie worden geloosd met het afvalwater. In de huidige situatie wordt deze energie nauwelijks teruggewonnen. Er bestaan mogelijkheden om energie te besparen en chemische en thermische energie te winnen. De energieopbrengst kan groter zijn dan het totale energiegebruik in de waterketen. Met name de hoeveelheid thermische energie is groot, de mogelijkheden voor energiebesparing en energiewinning zijn hiervoor dan ook het omvangrijkst.

Als vanuit een perspectief van energieoptimalisatie gekeken wordt naar de waterketen dan lijkt het logisch om meer anaerobe processen te gebruiken en minder aerob te zuiveren. Het eerste proces levert immers biogas op terwijl de het tweede proces energie vraagt voor beluchting. Dit vereist echter een aanpassing in de wijze waarop we afvalwater inzamelen en de wijze waarop we omgaan met de warmte die nodig is voor anaerobe processen. Wellicht liggen hier ook kansen voor gezamenlijke verwerking van andere stromen die rijk zijn aan organische stof, zoals mest, sommige industriële waterstromen en groente en fruitafval.

Winning van energie in de waterketen is relevant voor het bereiken van doelstellingen op het gebied van duurzame energie. Energiebesparing en winning van energie in de waterketen is relevant voor de Meerjarenaafspraken energie-efficiency en de klimaatdoelstelling van de waterschappen. Vanuit de doelstellingen van het Klimaatakkoord zijn de energiestromen in de waterketen relevant. Bijvoorbeeld bij het bereiken van de doelstelling “40% zelfvoorzienend door eigen duurzame energieproductie” is het logisch om gebruik te maken van de chemische energie die door huishoudens en bedrijven met het afvalwater wordt geloosd. Verder is vanuit de doelstellingen van het Klimaatakkoord s er een potentiële rol voor de waterschappen bij het verlagen van de lozing van thermische energie door de huishoudens.

Bij het benutten van kansen is samenwerking met de partijen in de waterketen nodig. Met name de lozers (huishoudens en bedrijven) en de gemeentes zijn partners om de doelen te bereiken. Hiermee komen ook andere partijen in beeld, zoals energiebedrijven en de woningbouwsector. Hier ligt een belangrijke uitdaging voor de waterschappen.

## 7

## REFERENTIES

- [a] Protocol monitoring duurzame energie, Update 2006, SenterNovem, Publicatienummer 2DEN0611
- [b] Duurzame energie in Nederland 2008, CBS 2009
- [c] Energie Prestatie Coëfficiënt, conform NEN 5128
- [d] Van Leusden Ir. M.M.A., Visser Dr. Ir. A., Land+Water nr 4, blz 16-17, april 2009
- [e] Onderzoek energiegebruik bij Casa Vita in Deventer 2008 - 2010, Paul Telkamp, Tauw
- [f] Meulman, B. et al. Treatment of concentrated black water on pilot scale: options and challenges, conferentie "Sanitation Challenge", Wageningen, 19 -21 mei 2008
- [g] STOWA-rapport 2008-18, Sharon Anammox systemen - Evaluatie van rejectiewaterbehandeling op slibverwerkingsbedrijf sluisjesdijk.
- [h] Waterleidingstatistiek 2007, Vewin
- [i] STOWA-rapport 2008-17, Op weg naar een energieneutrale waterketen
- [j] Watergebruik thuis 2007, TNS NIPO, 31 januari 2008
- [k] SenterNovem, Handreiking verbredingsthema's, deel 2, 2007
- [l] STOWA-rapport 2005-26, Slibketenstudie
- [m] [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl)
- [n] [www.snb.nl](http://www.snb.nl)
- [o] [www.drsh.nl](http://www.drsh.nl)
- [p] <http://www.infobladen-huishoudelijkwarmwatergebruik.nl/>
- [q] Van der Hoek, Dr. Ir. J.P., Energie in de watercyclus, 62e vakantiecursus drinkwater en afvalwater.
- [r] STOWA-rapport 2006-15, Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's
- [s] Inventarisatie bij appartementencomplex Casa Vita, 2008 - 2010, Paul Telkamp, Tauw
- [t] ISSO, Warmteterugwinning uit douchewater, Richtlijn voor ontwerp en uitvoering, publicatie 30.4, ISBN 978-90-5044-164-3
- [u] STOWA, Nieuwe sanitatie perspectieven, december 2009
- [v] Vewin, Water in zicht 2006
- [w] Müller, E.A., F. Schmid, Institut Energie in Infrastrukturanlagen, "Heizen und Kühlen mit Abwasser", 2005.
- [x] [http://www.energieprojecten.nl/print\\_winterthur.htm](http://www.energieprojecten.nl/print_winterthur.htm)
- [y] [www.infrastructures.ch/dokumente/Leitfaden\\_ara\\_kanalisationsbetreiber.pdf](http://www.infrastructures.ch/dokumente/Leitfaden_ara_kanalisationsbetreiber.pdf)
- [z] [www.bueroberg.de/pdf/Vortrag\\_Waermegewinnung.pdf](http://www.bueroberg.de/pdf/Vortrag_Waermegewinnung.pdf)
- [aa] Spoorenberg, H.R.R., J.B. de Wit, TNO-rapport 2004-DEG-R002, "Warmtewinning uit rioolpersleidingen", maart 2004
- [bb] <http://www.wldelft.nl/gen/events/capwatartikel.html>
- [cc] [www.stowa.nl/Upload/sti%2034%20web.pdf](http://www.stowa.nl/Upload/sti%2034%20web.pdf)
- [dd] STOWA-rapport 2005-20, Vervolgonderzoek rioolvreemd water
- [ee] STOWA-rapport 1998-40, Huishoudelijk afvalwater - Berekening van de zuurstofvraag
- [ff] STOWA-rapport 2010-08, Emissies van broeikasgassen van rwzi's

- [gg] Riooloverstorten, deel 2 eenduidige basisinspanning CIW, bijlage 1 “Berekeningen o.b.v. referentiestelsel, juni 2001
- [hh] EAWAG, bevindingen STOWA excursie ‘Heat recovery from wastewater’ 27 tot 28 mei 2010
- [ii] Unie van waterschappen, Rapport ondersteuning Klimaatakkoord, Arcadis, 27 november 2009, B02052/CE9/094/000056
- [jj] <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/wat-is-duurzame-energie> 22 juli 2010
- [kk] <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=7560> 22 juli 2010
- [ll] Unie van waterschappen, folder Klimaatakkoord, [www.waterschappen.nl](http://www.waterschappen.nl)
- [mm] Klimaatakkoord, Den Haag, april 2010
- [nn] *Medium Term Oil Market Outlook* Clingendael Energy Lecture, The Hague 2 February 2009  
Nobuo Tanaka IEA Executive Director
- [oo] Bepaling energieverbruik en besparingspotentieel GWW-sector, SenterNovem  
projectnr: 1702-04-01-12-001
- [pp] STOWA, project Betuwse kunstmest, winning van stikstof en fosfaat uit urine, nog niet gepubliceerd
- [qq] Nieuwe technieken in de waterzuivering en hun effect op de slibgisting, presentatie Wim Wiegant, 3<sup>e</sup> biogas themadag Agentschap NL, 20 april 2010
- [rr] NEN 5128 (tabel 29)<sup>1</sup>
- [ss] R. Schuitema, ECN – Energie in de Gebouwde Omgeving, Verwarming Ventilatie Plus

1 Dit rendement is aanzienlijk lager dan het door fabrikanten opgegeven rendement voor een moderne CV-installatie. Het gaat hier echter het rendement van een gemiddelde CV-installatie inclusief leidingverliezen tot aan de douche.

BIJLAGE 1

EXERGIE, WERKINGSPRINCIPE  
WATERPOMPEN, LAGE  
TEMPERATUURVERWARMING EN  
PASSIEFHUIS



## ENERGIE EN EXERGIE

Om de uitkomsten van deze studie goed te kunnen interpreteren is inzicht in het verschil tussen energie en exergie zinvol. De exergie geeft aan wat de waarde van een energiestroom is.

*Exergie is de maximale hoeveelheid arbeid die, in het theoretische ideale geval, uit een energiestroom gewonnen kan worden door het medium in evenwicht te brengen met de omgeving. Dit is dus de energie die geheel om te zetten is in andere types energie.*

Hoogwaardige energie, zoals elektriciteit of methaan, is 100 procent exergie. Het is dus vrijwel volledig om te zetten naar arbeid of laagwaardigere vormen van energie.

Laagwaardige energie, zoals warme lucht of warm water, heeft veel beperktere mogelijkheden voor omzetting naar andere vormen van energie, zoals arbeid, maar zijn bijvoorbeeld wel geschikt voor het verwarmen van een woning.

Als je efficiënt wilt omgaan met energie dan geeft de exergiebenadering een goed handvat. Het verwarmen van een huis tot 22 °C met aardgas is bijvoorbeeld niet effectief vanuit exergieperspectief. Het aardgas had voor veel meer hoogwaardiger activiteiten gebruikt kunnen worden. Het verwarmen met laagwaardige warmte zoals water (60 °C) uit een zonneboiler is veel efficiënter. Deze warmte heeft immers maar een beperkt aantal gebruiksmogelijkheden.

## WARMTEPOMPEN

Een warmtepomp is een apparaat dat warmte van de ene bron naar de andere bron transporteert. De warmtepomp neemt laagwaardige warmte uit bijvoorbeeld de bodem op en geeft deze vervolgens af aan een hoogwaardige warmtestroom om bijvoorbeeld een huis mee te verwarmen.

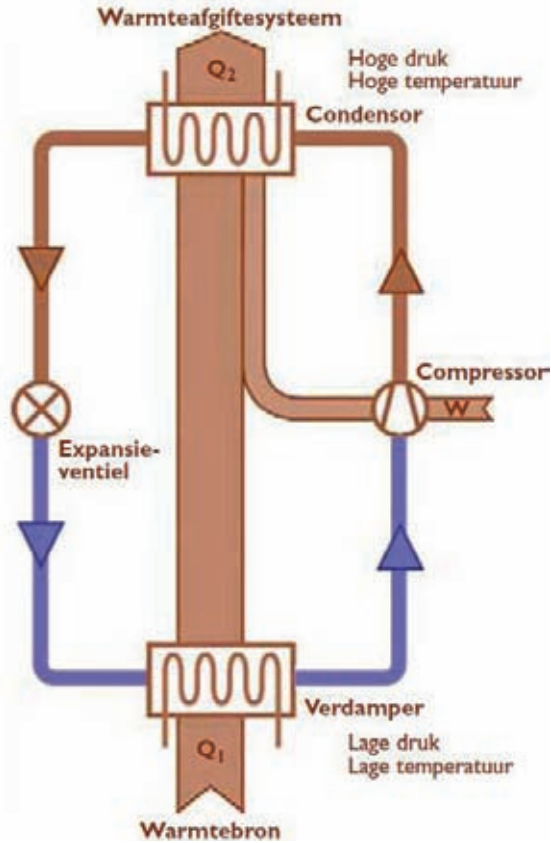
Een warmtepomp is in iedere koelkast aanwezig. De warmtepomp is een gesloten systeem waarin zich een vloeistof bevindt die bij een lage temperatuur verdampt. De warmtepomp staat aan de ene kant in verbinding met een warmtebron (bijvoorbeeld de grond) waaruit warmte opgenomen wordt. Aan de andere kant staat de warmtepomp in contact met een warmtestroom waaraan de warmtepomp warmte afgeeft (Figuur 1).

De opname en afgifte van warmte geschiedt volgens de volgende stappen:

1. De vloeistof in het gesloten circuit van de warmtepomp neemt warmte op uit een medium met een bepaalde temperatuur (10 °C), bijvoorbeeld de bodem
2. Door de opwarming verdampt de vloeistof in de warmtepomp (de vloeistof in de warmtepomp heeft een verdampingstemperatuur die onder de bodemtemperatuur ligt)
3. De verdampte vloeistof stroomt naar de compressor van de warmtepomp waar de damp onder druk gebracht wordt
4. Door de druk stijgt zowel de temperatuur (40 °C) als het kookpunt van de verdampte vloeistof
5. Vervolgens stroomt de damp naar het warmte-afgiftesysteem van de warmtepomp waar de damp condenseert en er warmte afgifte plaatsvindt
6. De gecondenseerde en afgekoelde damp stroomt vervolgens weer naar de warmtebron waarna de kringloop opnieuw begint
7. De opgebouwde druk verlaat de warmtepomp via een expansieventiel

FIGUUR 1

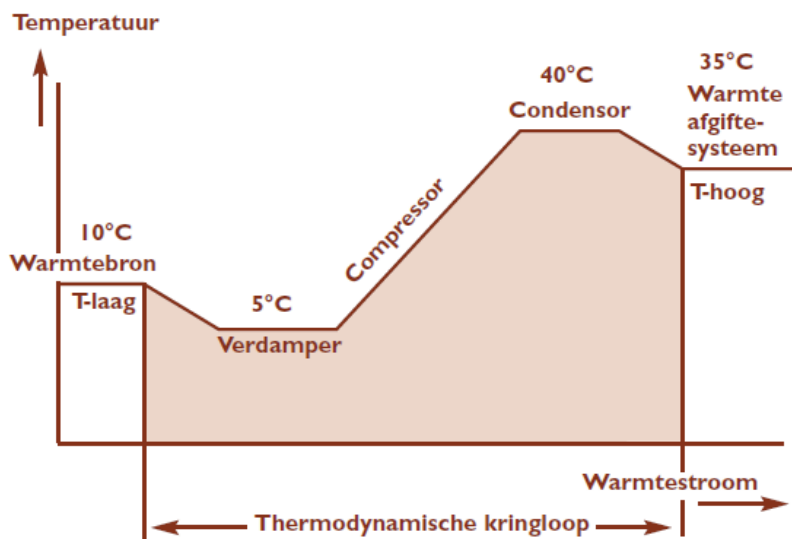
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN WARMTEPOMP



In figuur 2 wordt het temperatuurverloop over de warmtewisselaar weergegeven. De vloeistof in de warmtewisselaar neemt warmte op uit de bodem waardoor de vloeistof verdampt en de temperatuur van het verdampte gas stijgt tot 10 °C. Door de compressor stijgt vervolgens de temperatuur van het gas tot 40 °C. Het gas condenseert vervolgens op het warmte-afgifte-systeem waardoor er afgifte van warmte plaatsvindt. De gecondenseerde en afgekoelde vloeistof wordt vervolgens weer naar de warmtebron geleid waar de kringloop opnieuw begint.

FIGUUR 2

TEMPERATUURVERLOOP BIJ EEN GRONDWATER-WATER WARMTEPOMP BRON: ODE, WARMTEPOMPEN VOOR WONINGVERWARMING, [HTTP://WWW2.VLAANDEREN.BE/ECONOMIE/ENERGIESPAREN/DOC/BROCHURE\\_WARMTEPOMP.PDF](http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure_warmtepomp.pdf)



### RENDEMENT WARMTEPOMP

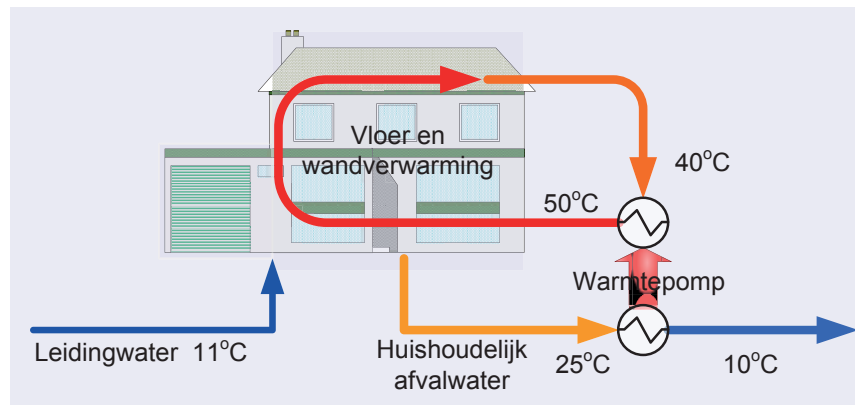
Een goed gedimensioneerde warmtepomp is in staat om 3 tot 6 kWh warmte te leveren per kWh energie die gebruikt wordt door de compressor. Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de CoP waarde (Coëfficiënt of Performance) die in dit geval dus 3 tot 6 bedraagt. Logischerwijs neemt het rendement van de warmtepomp toe naarmate de temperatuur van de warmtebron dichterbij de temperatuur van het warmteafgifte systeem ligt omdat er in dat geval minder arbeid geleverd hoeft te worden door de compressor.

### LAGE TEMPERATUUR VERWARMINGSSYSTEEM

Om de laagwaardige thermische energie van afvalwater nuttig te gebruiken voor woningverwarming is een systeem nodig om de warmte zo efficiënt mogelijk over te dragen: een LTV (lage temperatuur verwarming) systeem. Van een LTV-systeem wordt gesproken als de aanvoertemperatuur van een verwarmingssysteem niet hoger is dan 55 °C en de retourwatertemperatuur maximaal 45 °C is. Bij een traditioneel verwarmingssysteem liggen de ontwerptemperaturen op 90 °C voor aanvoer en 70 °C voor retour. Omdat het temperatuurverschil klein is, is in de woning is een groot oppervlak nodig om de warmte over te dragen. Hiervoor wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van vloer- en wandverwarming, zie figuur 3 en 4.

FIGUUR 3

SCHEMATISCHE WEERGAVE GEBRUIK VAN THERMISCHE ENERGIE UIT AFVALWATER VOOR WONINGVERWARMING



FIGUUR 4

AANLEG VLOERVERWARMING [WWW.E-VILLAS.BE]



Er zijn systemen met centrale warmtepompen en met individuele warmtepompen. In een grondgebonden woning komt in plaats van een HR-combiketel, een combiwarmtepomp. De warmtepomp wordt via een warmtewisselaar gevoed met warm afvalwater en warmt het verder op tot circa 55 °C. Hiermee wordt de woning verwarmd (vloerverwarming) en wordt voorzien in de warmtapwaterbereiding.

### **PASSIEFHUIS**

Een passiefhuis onderscheidt zich door de combinatie van een hoogwaardig en aangenaam binnenklimaat en een laag energiegebruik. Door een goed ontwerp, georiënteerd op de zon, uitgevoerd met zeer goede schilisolatie en een effectieve kierdichting, kan warmte nauwelijks weg uit het passiefhuis. Hierdoor is er nog maar heel weinig energie nodig om de woning in de winter op temperatuur te houden. Dan zorgen passieve warmtebronnen zoals de zon en interne warmtebronnen zoals bewoners en huishoudelijke apparaten voor bijna alle benodigde warmte. Door de kleine hoeveelheid verwarming die dan nog nodig is op een slimme manier over de lucht van het gebalanceerde ventilatiesysteem aan te voeren, is een conventioneel verwarmingssysteem overbodig. In de zomer garanderen passieve strategieën zoals een goed ontwerp, zware schilisolatie, de aanwezigheid van thermische massa, zonwering en nachtventilatie een comfortabel binnenklimaat.

Het passiefhuisconcept is oorspronkelijk - eind jaren tachtig - ontwikkeld door Prof. Bo Adamson aan de Universiteit van Lund in Zweden en in de jaren negentig verder gebracht door het wetenschappelijke Passiv Haus Institut (PHI) in Darmstadt onder leiding van Dr. Wolfgang Feist. Feist is de grondlegger van de verdere verspreiding van de passiefhuistechnologie in Europa en daarbuiten. Inmiddels is een groot aantal instituten en onderwijsinstellingen vooral in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland betrokken bij de kennisontwikkeling en kennisoverdracht van deze technologie.

Er zijn reeds ca. 5.000 passiefhuizen gebouwd in Duitsland, Zweden, Oostenrijk en Zwitserland. Ook in Nederland, Denemarken België, Italië en Frankrijk zijn de afgelopen zes jaar de eerste passiefhuizen gerealiseerd. Daarnaast zijn in meerdere landen ook scholen, verzorgings- en verpleegtehuizen, kantoren en bedrijfsgebouwen gerealiseerd conform het passiefhuisconcept. De laatste jaren groeit ook de belangstelling voor de toepassing van deze technologie bij renovatie van oudbouw, mede als gevolg van met name de resultaten van het praktisch onderzoekswerk van het PHI in Darmstadt (Bron passiefhuis: [www.passiefhuis.nl](http://www.passiefhuis.nl)).



BIJLAGE 2

# CHEMISCHE ENERGIE IN HUISHOUDELIJK AFVALWATER

## INLEIDING

Door Tauw is onderzoek uitgevoerd naar de hoeveelheid chemische energie in afvalwater en zuiveringsslib. Door LeAF zijn de uitkomsten van dit onderzoek beoordeeld. In deze bijlage wordt ingegaan op de uitkomsten van dit onderzoek.

## HIGHER HEATING VALUE

Na een inleiding over het onderwerp en een korte uiteenzetting over calorimetrie en chemische thermodynamica, is ingegaan op de diverse energiebegrippen die in de vakliteratuur en in de praktijk worden gebruikt. Uit deze energiebegrippen is de Higher Heating Value (HHV) gekozen om verder bij het onderzoek te gebruiken. De HHV vertegenwoordigt de hoge verbrandingswaarde van een stof, en wordt algemeen gebruikt om de energie inhoud van een stof te bepalen. Het is een veelgebruikt begrip in de Angelsaksische literatuur en wordt bijvoorbeeld gebruikt om de energie inhoud van aardgas te bepalen. De HHV geeft de totale hoeveelheid warmte aan die vrijkomt bij de verbranding van een bepaalde stof (inclusief de condensatiewarmte van het verdampte water). Dit in tegenstelling tot de Lower Heating Value (LHV) waarbij de condensatiewarmte van water niet meegerekend wordt.

Het afvalwater dat door huishoudens wordt geloosd bestaat uit afvalstoffen die een bepaalde energie inhoud vertegenwoordigen. De HHV is een goede maat om deze energie inhoud te bepalen omdat de stoffen in het afvalwater uiteindelijk verbrand worden als slib<sup>1</sup>.

## VERHOUDING HHV/COD

In het onderzoek dat door Tauw uitgevoerd is, is nagegaan in hoeverre de verhouding tussen de HHV en het Chemisch Zuurstofverbruik (Chemical Oxygen Demand of afgekort COD) bruikbaar is voor het kwantificeren van de hoeveelheid chemische energie in chemische verbindingen en in afvalwater en slib. De verhouding HHV/COD is met behulp van gegevens uit handboeken bepaald voor:

- n-alkanen
- Andere koolwaterstoffen
- Zuurstofhoudende verbindingen
- Stikstofhoudende verbindingen
- Zwavelhoudende verbindingen
- Biologisch belangrijke stoffen

In totaal is voor 80 zeer uiteenlopende chemische verbindingen de verhouding HHV/COD bepaald, waarbij deze verhouding uiteenliep van minimaal 11,4 MJ/kg tot maximaal 17,8 MJ/kg. Bij een nadere statistische analyse bleek dat op basis van de verhouding HHV/COD in totaal 7 van de 80 beschouwde verbindingen als uitbijters moesten worden beschouwd. De gemiddelde verhouding HHV/COD van de resterende 73 verbindingen (91 % van totaal) bedraagt 14,0 MJ/kg (range 12,9 t/m 15,3).

Op basis van gegevens in een artikel uit de vakliteratuur is vervolgens de verhouding HHV/COD voor primair slib bepaald. Hierbij is een correctie doorgevoerd voor het gehalte aan gereduceerde stikstof (NKj) in dit slib. Het gemiddelde resultaat voor acht verschillende soorten primair slib bedraagt: HHV/COD = 14,0 MJ/kg.

<sup>1</sup> Indien genereren van elektriciteit het uiteindelijke doel is, is het zinvoller om uit te gaan van een alternatieve vorm zoals Gibbs Energy ( $\Delta G$ ).

## CORRECTIES

Voor afvalwater en zuiveringsslib moet bij de bepaling van de hoeveelheid chemische energie rekening worden gehouden met de hoeveelheid gereduceerde stikstof, bepaald via de analysemethode volgens Kjeldahl (NKj). Het COD-gehalte wordt analytisch bepaald door oxidatie met chroomzuur. Volledige oxidatie vindt bij deze bepaling niet voor alle verbindingen plaats, gereduceerde stikstof wordt in het geheel niet geoxideerd en zwavel wordt waarschijnlijk geoxideerd tot  $\text{SO}_4$ . Correctie voor de onvolledige afbraak van koolstofverbindingen en zwaveloxidatie is niet goed mogelijk omdat hiervoor de informatie ontbreekt of niet nodig omdat deze correctie relatief klein is. Voor gereduceerde stikstof is wel een correctie mogelijk en deze wordt vanwege de omvang ook noodzakelijk geacht. Uitgaande van oxidatie van gereduceerde stikstof ( $2\text{NH}_3 + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$ ) is een correctie van de HHV berekend van 27,3 MJ/kg N.

## Berekening

De hoeveelheid chemische energie (Total Higher Heating Value of THHV) van afvalwater kan als volgt worden berekend:

$$\text{THHV (MJ/kg)} = 14 \text{ COD (kg)} + 27,3 \text{ NKj (kg)}$$

Toepassing van deze formule op een communale inwonerequivalent (i.e. à 136 g TZV) leidt tot:

$$\text{THHV} = 1,8 \text{ MJ/etmaal per i.e.}$$

Bij deze berekening is uitgegaan van:

- 107 gram COD/etmaal per i.e.
- 9,5 gram NKj/etmaal per i.e.
- 150 gram TZV/etmaal per i.e.





BIJLAGE 3

# VERZAMELDE UITGANGSPUNTEN EN BALANSBEREKENINGEN

**Omrekenen eenheden**

1 kWh =	3,6 MJ
1 kWh =	0,59 kg CO2
Inwoners Nederland 2007	16.357.000
Huishoudens in Nederland 2007	7.190.543
Inwoners per huishouden 2007	2,27
Gemeten aantal i.e. in Nederland	26.800.000
Soortelijke warmte drink- en afvalwater	i.e. Bron: Energie in de waterketen
Energieinhoud methaan	4,18 kJ/kg/C
Energieinhoud aardgas (Slochteren, onderwaarde)	39,8 MJ/m3
Energieinhoud aardgas (Slochteren, bovenwaarde)	31,65 MJ/m3
Energieinhoud huisbrandolie	35,17 MJ/m3
Dichtheid huisbrandolie	42,7 MJ/kg
Methaangehalte biogas vergisting zuiveringsslib	0,84 kg/l
Gasopbrengst	65% vol% Bron: Slibketenstudie
leidingwaterleidingen in Nederland	0,35 Nm3 methaan/kg CZV Bron: werkkapport de energiefabriek
leidingwateraansluitingen in Nederland	115.000 km Bron: de kosten van leidingwater, Vewin, 2008
Afzet van leidingwater in Nederland	7.555.000 m3 - Bron: waterleidingstatistiek 2007, Vewin
Afzet van leidingwater bij huishoudens	1.088.126.000 m3 Bron: waterleidingstatistiek 2007, Vewin
Aandeel huishoudens in leidingwatergebruik	73%
Herkomst leidingwater	
grondwater	691 miljoen m3
natuurlijk	62 miljoen m3
duinwater	13 miljoen m3
oppervlaktewater	482 miljoen m3
Nederland	1248 miljoen m3

**Energiegebruik productie van leidingwater**

Energiegebruik afvalwaterinzameling en transport	203.893.470 kWh/m3 Bron: Benchmark leidingwaterbedrijven 2007, Vewin
Riool, kolken en gemalen-slib gemeentes	95.000 ton/jaar Bron: CBS, jaarcijfers 2007
Energiegebruik wegtransport (20 ton)	1,98 MJ/ton.km Handreiking verbredingsthema's, deel 2, SenterNovem 2007

**1. Specifiek energiegebruik leidingwaterproductie en distributie**

Procescomponent	Specifiek energiegebruik kWh/m <sup>3</sup>	hoeveelheid	conversiefactor	totaal energiegebruik	totaal energiegebruik
Inname	0,055				
Viokvorming	0,024				
Flotatie	0,05				
Torenbeluchting	0,08				
Filtratie	0,012				
Actieve koolfiltratie	0,008				
Ontharding	0,02				
Uv-desinfectie	0,062				
Membraanfiltratie	0,15-1,5				
Distributie	0,11				
<b>Chemicaliengebruik</b>					
Bron: Op weg naar een energieneutrale waterketen, STOWA, 2008-17					
Procescomponent	Specifiek energiegebruik kWh/m <sup>3</sup>	hoeveelheid	conversiefactor	totaal energiegebruik	totaal energiegebruik
natronloog	0,013 kWh/m3	8945 ton/jaar	0,96 kg co2/kg	14.554,576 kWh/j	0,05 PJ
ijzerchloride	0,004 kWh/m3	2287 ton/jaar	1,15 kg co2/kg	4.457,712 kWh/j	0,02 PJ
ijzersulfaat	0,001 kWh/m3	6448 ton/jaar	0,11 kg co2/kg	1.202,169 kWh/j	0,0043 PJ
zoutzuur	0,001 kWh/m3	928 ton/jaar	0,35 kg co2/kg	550,508 kWh/j	0,0020 PJ
geregenereerd actief kool	0,016 kWh/m3	3709 ton/jaar	2,8 kg co2/kg	17.602,034 kWh/j	0,063 PJ
totaal energiegebruik chemicalien	0,035 kWh/m3	22.317 ton/jaar	5,4 kg co2/kg	38.367,000 kWh/j	0,14 PJ

**2. Specifiek energiegebruik leidingwaterproductie en distributie**

Procescomponent	Specifiek energiegebruik kWh/m <sup>3</sup>	hoeveelheid	conversiefactor	totaal energiegebruik	totaal energiegebruik
Bron: Op weg naar een energieneutrale waterketen, STOWA, 2008-17					
<b>Chemicaliengebruik</b>					
Bron: Op weg naar een energieneutrale waterketen, STOWA, 2008-17					
Procescomponent	Specifiek energiegebruik kWh/m <sup>3</sup>	hoeveelheid	conversiefactor	totaal energiegebruik	totaal energiegebruik
natronloog	0,013 kWh/m3	8945 ton/jaar	0,96 kg co2/kg	14.554,576 kWh/j	0,05 PJ
ijzerchloride	0,004 kWh/m3	2287 ton/jaar	1,15 kg co2/kg	4.457,712 kWh/j	0,02 PJ
ijzersulfaat	0,001 kWh/m3	6448 ton/jaar	0,11 kg co2/kg	1.202,169 kWh/j	0,0043 PJ
zoutzuur	0,001 kWh/m3	928 ton/jaar	0,35 kg co2/kg	550,508 kWh/j	0,0020 PJ
geregenereerd actief kool	0,016 kWh/m3	3709 ton/jaar	2,8 kg co2/kg	17.602,034 kWh/j	0,063 PJ
totaal energiegebruik chemicalien	0,035 kWh/m3	22.317 ton/jaar	5,4 kg co2/kg	38.367,000 kWh/j	0,14 PJ

## 3. Watergebruik en warmtelozing in huishoudens

	leidingwater 1)		Lozing 2)		Temperatuur 2)		Toegevoegd kJ/pp.d. (berekend mbv temperatu-ur en lozing)
	l/pp.d. % van totaal	%	l/pp.d.	°C ingaand	°C geloosd	kJ/pp.d.	
Bad	2,5	2%	2,5	12	30	188	via aardgas
Douche	49,8	39%	49,8	12	35	4788	via aardgas
Wastafel	5,3	4%	5,3	12	22	222	via aardgas
Toiletspoeling	37,1	29%	37,1	12	18	930	omgeving
Kleding wassen hand	1,7	1%	1,5	12	30	115	via aardgas
Kleding wassen machine	15,5	12%	14,0	12	30	1050	elektrisch
Afwassen hand	3,8	3%	3,4	12	30	257	via aardgas
Afwassen machine	3,0	3%	2,7	12	35	260	elektrisch
Voedselbereiding	1,7	1%	1,5	12	50	243	via aardgas/elektrisch
Koffie en thee	1,2	1%	1,1	12	35	104	elektrisch
Water drinken	0,6	1%	0,5	12	37	56	humaan
Overig keukenkraan	5,3	4%	4,8	12	15	60	omgeving
Totaal	127,5	100%	124,2		28	8.273	

1) Watergebruik thuis 2007 | C6026 | © TNS NIPO | 31 januari 2008 | 65

2) Aannames

## 4. Watergerelateerd energieverbruik huishoudens

Activiteit	kWh/hh,jaar	Energiegebruik huishoudens		Energiegebruik per persoon		Watergerelateerd MJ/pp.d.
		Aardgas (m3/hh,jaar)	1204	kWh/pp.d.	MJ/pp.d.	
Verwarmen			12,6		45,4	
Warm water			4,0		14,5	
Koken			0,7		2,4	
Wassen en drogen	708		0,8		3,0	
Koelen	590		0,7		2,5	
Verlichten	543		0,6		2,3	
Verwarmen en warm wate	500		0,6		2,1	
Diverse elektrische appar.	1061		1,3		4,5	
Totaal						22,1

Bron: milieucentraal.nl

## 5. Geloosde vracht organische stof met het huishoudelijk afvalwater

	Productie per persoon		Productie in Nederland	
	CZV (g O2/d)	N-Kjeldahl (g N/d)	CZV (ton O2/jr)	N-Kj (ton N/jr)
Fysiologische afvalstoffen	43	12,5	257.000	75.000
Persoonlijke verzorging	16,8	0,32	100.000	2.000
Voedselverzorging	17	0,004	101.000	-
Textielreiniging	24,4	0,08	146.000	500
Verzorging woning	4,5	0	27.000	-
Totaal	105,7	12,9	631.000	77.000

Bron: Huishoudelijk afvalwater. Berekening van de zuurstofvraag, STOWA 98-40

Opmerking: getallen zijn niet gecorrigeerd voor uithuizigheid, het betreft de gehele dagelijkse emissie per persoon

## 6. Zuivering van afvalwater 2007

	Bron: www.cbs.nl	
	eenheid	Effluent
Volume afvalwater	m3/jaar	Influent
Chemisch Zuurstof Verbruik	ton/jr	m3/d
Biochemisch Zuurstof Verbruik	ton/jr	79.026
Stikstofverbindingen als N	ton/jr	8.228
Fosforverbindingen als P	ton/jr	17.849
Vervuilingseenheden	ie (136)	2.643
		27.055.997
		3.226.667

Bron: www.cbs.nl

7. Waterstromen en temperaturen		Bron: "Vervolgonderzoek rioolvreemd water" STOWA 2005-20, "Commuunaal afvalwater op temperatuur houden voor acitever silb in rwzi's", STOWA 2006-15			
	Hoeveelheid m3/jaar	Gemiddelde temp. T zomer (maandge) T winter (maandgemiddelde 0 oC)	T zomer (maandge) T winter (maandgemiddelde 0 oC)	T zomer (maandge) T winter (maandgemiddelde 0 oC)	
Inname leidingwater huishoudens	789.000.000	12,0	12,0	12,0	12,0
Rioolvreemd water	573.000.000	14,0	14,0	14,0	14
Bedrijfsafvalwater (teruggerekend debiet, T=aanname Tauw)	303.278.000	25,0	25	25	25
Huishoudelijk afvalwater	742.000.000	27,9	27,9	27,9	27,9
Hemelwater (T=gemiddelde luchttemperatuur+1)	499.000.000	10,4	18,2	4,7	4,7
Gezamenlijk (productie afvalwater)	2.164.278.000	19,2	21	17,9	17,9
Rioolvorstenen	96.278.000	4,7%	14,7	21,6	7,8
Aanvoer van afvalwater op de rwzi	2.068.000.000	14,7	14,7	21,6	7,8
Saldo gemiddelde warmteoverdracht in de waterketen	40.000. TJJ/jaar				

8. Balans afstroming en aanvoer van hemelwater		Bron: Rioolvorstenen, deel 2 eenduidige basisinspanning CIW, juni 2001, bijlage 1, berekeningen obv referentiestelsel			
	Neerslagbalans mm/jaar	%	Neerslag via verhard oppervlak m3/jaar		
Afstromingsverliezen	196	25%	177.400.000		
Afvoer naar de rwzi	551,5	70%	499.000.000	(gemiddelde CZV-concentratie 250 mg/l)	
Overstortingen	36,5	4,7%	33.000.000		
Totaal neerslag	784	100%	709.400.000		

9. Balans koolstof en stikstofverbindingen in rioolstelsel		Bron: bijlage 1, berekeningen obv referentiestelsel						
Relatief	Volume	Huishoudelijk	Industrie 2007 <a href="http://bron.www.cbs.nl">bron: www.cbs.nl</a>	Overig	Emissie naar riool (teruggerekend)	Overstort naar BBB (aanname)	Afpraak koolstofverb. in riool (aanname: 2%)	Aanvoer op de rwzi CBS
		35,9%	69%		105%	4,7%	0%	100%
	Vracht	66,4%	9%	24%		0,8%		
	Chemisch Zuurstof Verbruik	631.000	87.411	232.000	950.000	8.000	19.000	942.000
	Stikstofverbindingen als N	77.000	6.734	5.000	89.000	1.000	-	88.000

10. Energieinhoud koolstof en stikstofverbindingen		Bron: bijlage bij rapportage	
	eenheid	hoeveelheid	
Koolstofverbindingen uitgedrukt als CZV	MJ/kg O2	14,0	
Gereduceerde stikstofverbindingen uitgedrukt als N-Kjeldahl	MJ/kg N	27,3	
CZV in zuiveringsslib	kg O2/kg ds	1,16	

11. Productie van zuiveringsslib rwzi's		Bron: <a href="http://www.milieucompendum.nl">www.milieucompendum.nl</a> , <a href="http://www.cbs.nl">www.cbs.nl</a>	
	eenheid	Productie van zuiveringsslib rwzi's in 2007	omvang
Nat silb	1000 kg	1.538.697	
Gloeirest	1000 kg	121.245	36%
Organische stof	1000 kg	217.857	64%
Stikstofverbindingen	1000 kg	17.225	5,1%

12. Afzet van zuiveringslib rwzi's		Bron: www.milieucompendum.nl, www.cbs.nl	Bron: Slibketenstudie, STOWA rapport 2005-26 ISBN 90.5773.314.5 bijlage III		Berekend
Afzet van zuiveringslib rwzi's	eenheid	omvang	Netto primaire energiebehoefte (ter indicatie)	opmerking	GJ/jaar in 2007
Composteren	1000 kg ds	32.964			
biologische droging, meestoken in een e-centrale				3,38 eindproduct wordt geëxporteerd	111.418
Sorteren	1000 kg ds	15.118			
directe thermische droging (aardgas) en sorteren				-11,38	(172.043)
Verbranden	1000 kg ds	228.501			
drogen met aardgas			84100		
drogen met restwarmte			21500		
wervelbedoven			173100	-0,79	(136.749)
Cementindustrie	1000 kg ds	48.517			
directe thermische droging (aardgas) en meestoken in cementoven				3,42 eindproduct wordt geëxporteerd	165.928
Elektriciteitscentrale	1000 kg ds	295			
directe thermische droging en meestoken in e-centrale				0,34	100
Overige bestemmingen	1000 kg ds	13.707			
Totaal	1000 kg ds	339.102			(31.345)

13. Energiegebruik en energiewinning zuivering van afvalwater 2007		Bron: www.cbs.nl	TJ/jaar	Biogasgebruik	relatief
	eenheid	omvang			
Productie biogas	1 000 m3	93.139	2.410		100%
Verbruik gasmotoren WKK installatie	1 000 m3	66.672	1.725		72%
Verbruik gasmotoren directe aandrijving	1 000 m3	1.610	42		1,7%
Verbruik voor opwarming slibgistingstank	1 000 m3	4.452	115		4,8%
Verbruik voor slibontwatering	1 000 m3	793	21		0,9%
Afgeafkeld	1 000 m3	8.591	222		9,2%
Algeblazen	1 000 m3	800	21		1,2%
Verbruik of toepassing onbekend	1 000 m3	1.086	28		1,2%
Aflevering biogas	1 000 m3	9.134	236		10%
Aankoop elektrische energie	min kWh	582	2.095		
Productie elektrische energie in WKK installaties	min kWh	158	569		
Totaal verbruik elektrische energie	min kWh	713	2.567		
Warmteproductie	TJ	933			
Aardgasverbruik	1 000 m3	29.574	936		
Huisbrandolie verbruik	1 000 l	276	10		

14. Indirect energiegebruik door chemicaliëndosering		Bron: Op weg naar een energieneutrale waterketen, STOWA, 2008-17	
	hoeveelheid	conversiefactor	TJ/jaar
FeO3, FeSO4, AlClSO4 waterlijn	20.221 ton jaar	1,13 kg co2/kg	139
FeCl3, FeSO4, AlClSO4 sliblijn	2.190 ton jaar	1,13 kg co2/kg	15
polyelectrolyet	3.407 ton jaar	1,15 kg co2/kg	24
Totaal chemicaliën water en sliblijn	25.818	-	178,20
			-
			49.500.000 kWh/j
			38.700.000 kWh/j
			4.200.000 kWh/j
			6.600.000 kWh/j

**15. Energiegebruik verbranding van zuiveringslib 2007 (SNB+DRSH)**

Bron: www.snb.nl www.drsh.nl

	eenheid	T/Jaar	MJ/ton ds
Verwerkt zuiveringslib maastroom (DRSH en SNB)	omvang		
Verwerkt zuiveringslib droge stof	ton	771.648	
Aardgas	m <sup>3</sup>	1.381.154	250
Elektriciteitsinkoop	kWh	46.776.736	965
Eigen elektriciteitsproductie	kWh	5.419.302	112
Netto elektriciteitsverbruik SNB en DRSH	kWh	52.196.038	1.076

**16. Transport lib 2007**

	hoeveelheid	Transportafstand	Transport	TJ/jaar
	1000 kg ds	km	tonkm/jaar	
Productie riool, kolken en gemalenslib gemeentes		60	5.700.000	11
Nat zuiveringslib		10 2)	60.540.000	120
Ontwaterd lib naar eindverwerker	339.102	60 4)	88.461.000	175
Totaal			154.701.000	306

1) Bron: STOWA slibketenstudie 2005-26

2) Bron: www.cbs.nl

3) Bron: www.snb.nl www.drsh.nl

4) Aanname obv 1)

5) Bron: CBS, jaarcijfers 2007

6) Aanname Tauw

**17. Duurzame energie in Nederland 2008**

	eenheid
Waterkracht	0,8 PJ
Windenergie	35,1 PJ
Zonne-energie	1,2 PJ
Omgevingsenergie (warmtepompen, WKO)	5,4 PJ
Biomassa	71,6 PJ
Totaal vermeden verbruik	114,1 PJ







## 22. V RWZI (Slibbehandeling)

	Berekening	Ingaand specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar	Toegevoegd/omzettingen specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar	Uitgaand specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar
<b>Operationele energie</b>							
Gebruik aardgas	1 000 m3	29.574	31,65 MJ/m3	57	936		
<b>Chemische energie</b>							
Aanvoer van slib							
- organische stof (CZV)	393.358 ton CZV/j	337	14 MJ/kg		5.507		
- siliciumverbindingen (N-K(jeld)ah)	17.225 ton Nj	29	27 MJ/kg		470		
Omzetting bij vergisting							
- organische stof (CZV) teruggekend obv biogasproductie	172.572 ton CZV/j		14 MJ/kg	(148)	(2.422)		
Productie van biogas	93.139 1000 Nm3/j		26 MJ/m3				
Aanvoer van slib							
- organische stof (CZV)	220.386 ton CZV/j		14 MJ/kg			189	3.085
- siliciumverbindingen (N-K(jeld)ah)	17.225 ton Nj		27 MJ/kg			29	470
<b>Totaal</b>			<b>5,977</b>		<b>(2.422)</b>		<b>3.556</b>
<b>Thermische energie</b>							
Productie restwarmte							
- afrekenen						1	21
- restwarmte WKK						58	952
<b>Totaal</b>							<b>973</b>

## 23. VI Slibverwerking

	Berekening	Ingaand specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar	Toegevoegd/omzettingen specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar	Uitgaand specifiek MJ/pp/jaar	Totaal T.J/jaar
<b>Operationele energie</b>							
Slibtransport	154.701.000 ton km/jaar						
Slibverbranding							
- droge stof	228.501 ton ds/j			19	306		
- aardgas	250 MJ/ton ds			3	57		
- elektrische energie	1.076 MJ/ton ds			15	246		
<b>Totaal</b>					<b>609</b>		
<b>Chemische energie</b>							
Slibaivoer rwz/s							
- droge stof	339.102 ton ds/j						
- organische stof (CZV)	220.386 ton CZV/j	189	14 MJ/kg		3.085		
- siliciumverbindingen (N-K(jeld)ah)	17.225 ton Nj	29	27 MJ/kg		470		
Sorten, composeren, overig							
- droge stof	110.801 ton ds/j						
- organische stof (CZV)	71.881 ton CZV/j						
- siliciumverbindingen (N-K(jeld)ah)	5.618 ton Nj						
Slibverbranding							
- droge stof	228.501 ton ds/j						
- organische stof (CZV)	148.505 ton CZV/j			(127)	(2.079)	62	1.006
- siliciumverbindingen (N-K(jeld)ah)	11.607 ton Nj			(19)	(317)	9	153
<b>Totaal</b>					<b>(2.396)</b>		<b>1.160</b>
<b>Thermische energie</b>							

## 24. Opwarming en afkoeling rwzi

Maand	Tiozing huishoudens en bedrijven 2)			Temperaturen			Nederlandse waterketen		
	Tk(nmi 1)	Trioolvreedm 1)	Tneerslag 1)	Tgemengd 3)	Tinfluent rwzi 1)	Teffluent rwzi 1)	Energieverlies in riool (Tgemengd tov Tinfluent) PJ/maand	Energieverlies op de rwzi (P/J/maand)	
Januari	3,1	27,1	6,1	4,1	15,6	11,0	9,9	(3,3)	-0,8
Februari	4,3	27,1	7,3	5,3	16,2	11,7	10,6	(3,3)	-0,8
Maart	6,5	27,1	9,5	7,5	17,3	13,0	12,2	(3,1)	-0,5
April	9,5	27,1	12,5	10,5	18,8	14,8	14,3	(2,9)	-0,3
Mei	13,3	27,1	16,3	14,3	20,7	17,0	16,8	(2,7)	-0,1
Juni	16,0	27,1	19,0	17,0	22,0	18,6	18,6	(2,5)	0,0
Juli	17,4	27,1	20,4	18,4	22,7	19,4	19,5	(2,4)	0,0
Augustus	18,1	27,1	21,1	19,1	23,1	19,8	19,9	(2,4)	0,1
September	14,8	27,1	17,8	15,8	21,4	17,9	17,7	(2,6)	-0,1
Oktober	10,8	27,1	13,8	11,8	19,5	15,6	15,0	(2,8)	-0,4
November	6,7	27,1	9,7	7,7	17,4	13,1	12,3	(3,1)	-0,5
December	3,7	27,1	6,7	4,7	15,9	11,4	10,3	(3,3)	-0,7
0oC KNMI	0,0	27,1	3,0	1,0	14,1	9,2	7,9	(3,5)	-0,9
Gemiddeld	10,3	27,1	13,3	11,3	19,2	15,3	14,8	(2,8)	-0,3
20oC KNMI	20,0	27,1	23,0	21,0	24,0	21,0	21,2	(2,2)	0,1
<b>Per jaar (P/J/maand)</b>								<b>-34,3</b>	<b>-4,2</b>

1) Bron: STOWA-rapport "Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's" 2006-15

2) Tabel 7 (uitgangspunten)

3) Berekend

4) Bron: STOWA-rapport "Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's" 2006-15 (zie tabel 27)

## 25. a Potentiele thermische energieinhoud Nederlandse waterketen per maand bij 10 oC

Maand	Winning van thermische energie bij: Leidingwater 12oC oC	Lozing hh en bedr		Rioolvreedm PJ/maand	Neerslag PJ/maand	Totaal instroom		Influent rwzi PJ/maand	Effluent rwzi PJ/maand
		PJ/maand	PJ/maand			PJ/maand	PJ/maand		
Januari	10	0,8	6,2	(0,8)	(1,0)	4,3	0,7	(0,1)	0,4
Februari	10	0,8	6,2	(0,5)	(0,8)	4,7	1,2	0,4	1,6
Maart	10	0,8	6,2	(0,1)	(0,4)	5,5	2,2	3,1	4,9
April	10	0,8	6,2	0,5	0,1	6,6	3,5	6,2	7,1
Mei	10	0,8	6,2	1,3	0,7	8,1	5,0	6,8	7,1
Juni	10	0,8	6,2	1,8	1,2	9,1	6,2	6,8	7,1
Juli	10	0,8	6,2	2,1	1,5	9,6	6,8	6,8	7,1
Augustus	10	0,8	6,2	2,2	1,6	9,9	7,1	6,8	7,1
September	10	0,8	6,2	1,6	1,0	8,6	5,7	5,5	3,6
Oktober	10	0,8	6,2	0,8	0,3	7,1	4,0	3,6	1,7
November	10	0,8	6,2	(0,1)	(0,4)	5,6	2,2	2,2	0,2
December	10	0,8	6,2	(0,7)	(0,9)	4,5	1,0	(0,6)	3,5
0 °C KNMI	10	0,8	6,2	(1,4)	(1,6)	3,1	(0,6)	(0,6)	8,1
Gemiddeld	10	0,8	6,2	0,7	0,2	6,9	3,8	3,5	8,1
20 °C KNMI	10	0,8	6,2	2,6	1,9	10,6	7,9	8,1	8,1
<b>Per jaar (P/J/maand)</b>	<b>9,1</b>	<b>74,7</b>	<b>8,0</b>	<b>2,8</b>	<b>45,6</b>	<b>41,1</b>	<b>41,1</b>	<b>41,1</b>	<b>41,1</b>

## 25 b. Potentiele thermische energieinhoud Nederlandse waterketen bij verschillende temperaturen

Scenario	Winning van thermische energie bij: Leidingwater (12oC)		Lozing hh en bedr		Rioolvreed P/J/maand	Neerslag P/J/maand	Totaal instroom P/J/maand	Influent rwzi P/J/maand	Effluent rwzi P/J/maand
	oC	P/J/maand	P/J/maand	oC					
Winning van warmte bij lage temperatuur (zie opm.)	4,0	36,4	100,9		22,4	15,3	137,9	97,5	93,0
	8,0	18,2	83,5		12,8	7,0	101,7	62,9	58,4
	12,0	0,0	66,0		3,2		65,5	28,3	23,8
	16,0		48,5				29,3		
	20,0		31,0						
Winning van warmte bij hoge temperatuur (zie opm)	24,0		13,5						
	28,0								

opm: Bij het winnen van thermische energie zal in de meeste (alle) gevallen een warmtepomp nodig zijn om de warmte op het gewenste niveau aan te kunnen bieden. Aan de koude zijde van de warmtepomp kan gekozen worden voor een temperatuur. Lager dan 4oC is echter praktisch niet mogelijk omdat dan water kan gaan bevriezen. Een hogere temperatuur aan de koude zijde levert een lager energiegebruik voor de warmtepomp en een hogere temperatuur van het afvalwater op.

## 26. RWZI 100.000 i.e. in kW/jaar

Maand	Biologisch	Mechanisch	Zon	Beluchting	Verdamping	Straling	Wateropp. Bodem	kW
Januari	675		79	99	-343	-169	-1511	-1279
Februari	666		80	168	-383	-164	-1455	-1221
Maart	709		81	300	-369	-159	-1146	-840
April	739		82	520	-428	-147	-907	-525
Mei	777		83	685	-435	-130	-636	-193
Juni	804		84	718	-427	-116	-438	-20
Juli	818		85	669	-366	-108	-338	62
Augustus	825		85	631	-321	-105	-268	122
September	792		84	412	-301	-121	-452	-173
Oktober	752		82	221	-346	-137	-812	-654
November	711		81	110	-292	-157	-1060	-865
December	681		79	72	-316	-168	-1385	-1173
0oC KNMI	644		78	95	-322	-183	-1704	-1391
Gemiddeld	747		82	362	-368	-141	-828	-554
20oC KNMI	844		86	675	-314	-94	-168	229

## 27. Extrapolatie energieverliezen op de rwzi naar 27 miljoen vervuilingseenheden in PJ/maand

Maand	Biologisch	Mechanisch	Zon	Beluchting	Verdamping	Straling	Wateropp.	Bodem	Totaal
Januari	0,4		0,0	0,1	-0,2	-0,1	-0,9	0,0	-0,8
Februari	0,4		0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,9	0,0	-0,8
Maart	0,4		0,1	0,2	-0,2	-0,1	-0,7	-0,1	-0,5
April	0,5		0,1	0,3	-0,3	-0,1	-0,6	-0,2	-0,3
Mei	0,5		0,1	0,4	-0,3	-0,1	-0,4	-0,3	-0,1
Juni	0,5		0,1	0,4	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	0,0
Juli	0,5		0,1	0,4	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	0,0
Augustus	0,5		0,1	0,4	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	0,1
September	0,5		0,1	0,3	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1
Oktober	0,5		0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,5	-0,2	-0,4
November	0,4		0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,7	-0,1	-0,5
December	0,4		0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,9	0,0	-0,7
0 C KNMI	0,4		0,0	0,1	-0,2	-0,1	-1,1	0,1	-0,9
Gemiddeld	0,5		0,1	0,2	-0,2	-0,1	-0,5	-0,2	-0,3
20 C KNMI	0,5		0,1	0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	0,1
<b>Per jaar</b>	<b>5,6</b>		<b>0,6</b>	<b>2,9</b>	<b>-2,7</b>	<b>-1,1</b>	<b>-6,5</b>	<b>-2,4</b>	<b>-4,2</b>

BIJLAGE 4

# ENERGIEASPECTEN VAN NIEUWE SANITATIE

## INLEIDING

Op verschillende plaatsen in Nederland is kennis en ervaring opgedaan met nieuwe sanitatie, bijvoorbeeld met het apart inzamelen en verwerken van urine en geconcentreerd toiletwater. Nieuwe sanitatie is een andere manier om met het afvalwater om te gaan. In de bestaande situatie wordt geconcentreerd huishoudelijk afvalwater gemengd met verdund afvalwater, hemelwater en rioolvreemd water. Volgens de principes van nieuwe sanitatie wordt geconcentreerd afvalwater gescheiden en zo min mogelijk verdund ingezameld en behandeld. Dit is relevant voor het energiegebruik in de gehele waterketen.

## VERLAGING OPERATIONELE ENERGIE EN VERBETERDE BENUTTING CHEMISCHE ENERGIE

De organische stof die door het actief slib wordt omgezet gaat grotendeels verloren. Het kost dus operationele energie om de organische stof af te breken. Bij nieuwe sanitatie door zwart waterscheiding wordt organische stof direct vergist, zonder dat het ten koste gaat van een hoog energiegebruik. De vergisting draagt bij aan de biogasopbrengst. Bij nieuwe sanitatie is minder operationele energie nodig, terwijl de biogasopbrengst groter is.

## REKENVOORBEELD NIEUWE SANITATIE

Voor dit rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van de wijze waarop in Sneek nieuwe sanitatie wordt toegepast. In Sneek bestaat ervaring in de praktijk met enkele tientallen woningen. Een groter project (enkele honderden woningen) is in voorbereiding. Er wordt onderzoek gedaan met gescheiden inzameling van zwartwater (toiletten) en vergisting. Het 'Sneek-model' is momenteel het meest uitgewerkt en het onderzoek heeft al een aantal uitgangspunten opgeleverd die voor het opstellen van een energiebalans nodig zijn. Deze wijze van nieuwe sanitatie is geschikt als rekenvoorbeeld.

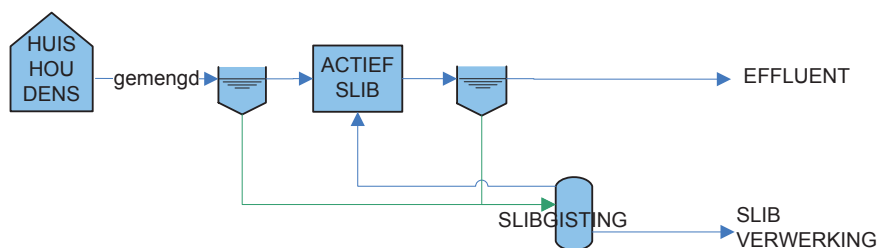
De belangrijkste uitgangspunten voor dit rekenvoorbeeld met nieuwe sanitatie zijn:

- Bij het inzamelen van zwart water wordt minder water gebruikt, de waterbesparing is ongeveer 25 % voor het totale huishoudelijk gebruik van water. Aangenomen is dat het energiegebruik voor bereiding en transport van leidingwater rechtsevenredig daalt met de waterbesparing
- Bij het inzamelen van zwartwater wordt gebruik gemaakt van vacuümtoiletten en leidingen waarin onderdruk heerst, zie bovenstaande figuur. Het creëren van deze onderdruk kost energie. Op basis van eigen Tauw onderzoek wordt er van uitgegaan dat dit ongeveer 12 kWh per persoon per jaar vergt [s]
- Het zwartwater wordt zonder verder te verwarmen vergist (anaerobe zuivering 20 °C) en nabehandeld . Bij het vergisten van het zwartwater komt methaan (biogas) vrij. Voor de hoeveelheid biogas wordt uitgegaan van 13 l methaan per persoon per dag (bij een gistingstemperatuur van ca. 20 °C) [f]
- De vloeibare fractie wordt (supernatant) behandeld door biologisch nitrificatie en denitrificatie (technologie: Anammox, Demon of OLAND). Voor het gebruik van operationele energie is een waarde van 1,4 kWh/kg N gehanteerd [f]. Dit uitgangspunt leidt tot een energiegebruik van ongeveer 26 MJ per persoon per jaar
- Het grijze water (van douches, wasmachines, et cetera) wordt apart behandeld. Er wordt bij dit voorbeeld uitgegaan van het plaatsen van biorotoren op wijkniveau. Het uitgangspunt voor het energiegebruik van deze biorotoren is 5 kWh per persoon per jaar
- Er is van uitgegaan dat nieuwe sanitatie geen consequenties voor de behandeling van bedrijfsafvalwater heeft

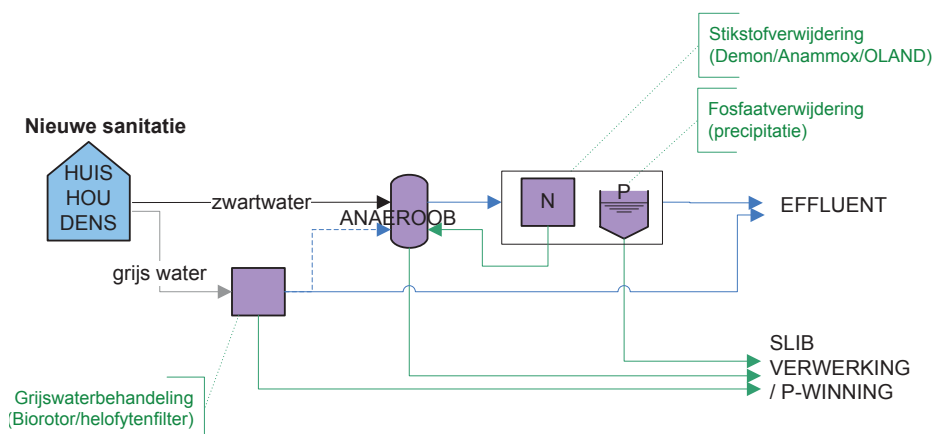
- Omdat er geen goede kwantitatieve uitgangspunten zijn om verschillen in slibproductie cijfermatig te onderbouwen is het uitgangspunt is dat de hoeveelheid slib en de wijze van slibeindverwerking ongewijzigd blijven
- Uitgangspunt is verder dat de emissie van stoffen vergelijkbaar is met de huidige waterketen. Dit betekent dat de totale emissie van stoffen uitgedrukt als jaargemiddelde vracht bij nieuwe sanitatie gelijk is aan de bestaande situatie. Net als bij de slibproductie geldt dat er geen goede uitgangspunten zijn om een verschil in waterkwaliteit cijfermatig te onderbouwen

FIGUUR 1 VEREENVOUDIGD FLOWSHEMA HUIDIGE EN NIEUWE SANITATIE

**Huidig**



**Nieuwe sanitatie**





TABEL 1 REKENVOORBEELD NIEUWE SANITATIE

Onderdeel	per persoon	
Besparing energie voor drinkwaterbereiding en transport (8 --> 1 l/toiletspoeling = 42 l pp/d)		25 MJ/jaar
Energiegebruik voor inzameling en transport afvalwater		
- inzameling met vacuümtoiletten en riool (12 kWh/pp/j)	-43 MJ/jaar	
- vermindering afvalwatertransport (42 l/pp/d)	5 MJ/jaar	
Vershil ten opzichte van de huidige waterketen		-38 MJ/jaar
Waterzuivering		
Energiegebruik vergisting (pp 0,6 W = 5 kWh)	-18 MJ/jaar	
Biogasopbrengst koude vergisting (13 l CH <sub>4</sub> pp/dag)	189 MJ/jaar	
Energiegebruik N-verwijdering (Anammox, OLAND)	-26 MJ/jaar	
Energiegebruik grijswaterbehandeling (pp 0,5 W = 5 kWh)	-18 MJ/jaar	
Huidig energiegebruik waterzuivering (alleen huishoudelijk, ex chem.)	140 MJ/jaar	
Huidige biogasproductie waterzuivering (alleen huishoudelijk)	-96 MJ/jaar	
Totaal waterzuivering		170 MJ/jaar
<b>Potentiële energieopbrengst / energiekosten nieuwe sanitatie per persoon</b>		<b>158 MJ/jaar</b>

Dit rekenvoorbeeld laat zien dat nieuwe sanitatie gevolgen heeft voor veel onderdelen van de waterketen. Een vergelijking met de huidige waterketen is moeilijk eenduidig te maken omdat in de huidige situatie niet al het slib wordt gebruikt voor het opwekken van biogas en de P-verwijdering c.q. terugwinning en eventuele productie van N-meststoffen in dit voorbeeld niet zijn meegenomen. Het laatstgenoemde is niet meegenomen omdat bij nieuwe sanitatie sprake is van P-terugwinning in de vorm van een kunstmest en bij de zuivering sprake is van P-binding. Dit kan niet direct met elkaar worden vergeleken. Het energiegebruik van P-terugwinning (incl. chemicaliën) zou dan vergeleken moeten worden met het energiegebruik van kunstmestproductie (incl. chemicaliën) en daarnaast ook vergeleken moeten worden met de SNB/Thermphos-route. Voor dit rekenvoorbeeld gaat dit te ver. Gezien de omvang van het energiegebruik voor de P-terugwinning (verwachting > 100 MJ per persoon per jaar bij alle technieken) en voor de productie van N-meststoffen (teruggerekend op basis van de N-lozing per persoon en het energiegebruik voor de productie van kunstmest > 100 MJ per persoon per jaar) is dit een relevant punt voor de energiebalans. Een dergelijke gedetailleerde vergelijking is wel aan te bevelen.

Toch laat dit rekenvoorbeeld duidelijk de effecten van nieuwe sanitatie en vergisting zien. In de huidige rwzi wordt het grootste deel van de energie gebruikt voor beluchting.

#### POTENTIËLE BESPARING EN ENERGIEOPBRENGST NIEUWE SANITATIE IN NEDERLAND

De berekende potentiële energieopbrengst is significant ten opzichte van het huidige gebruik van operationele energie (35 %).