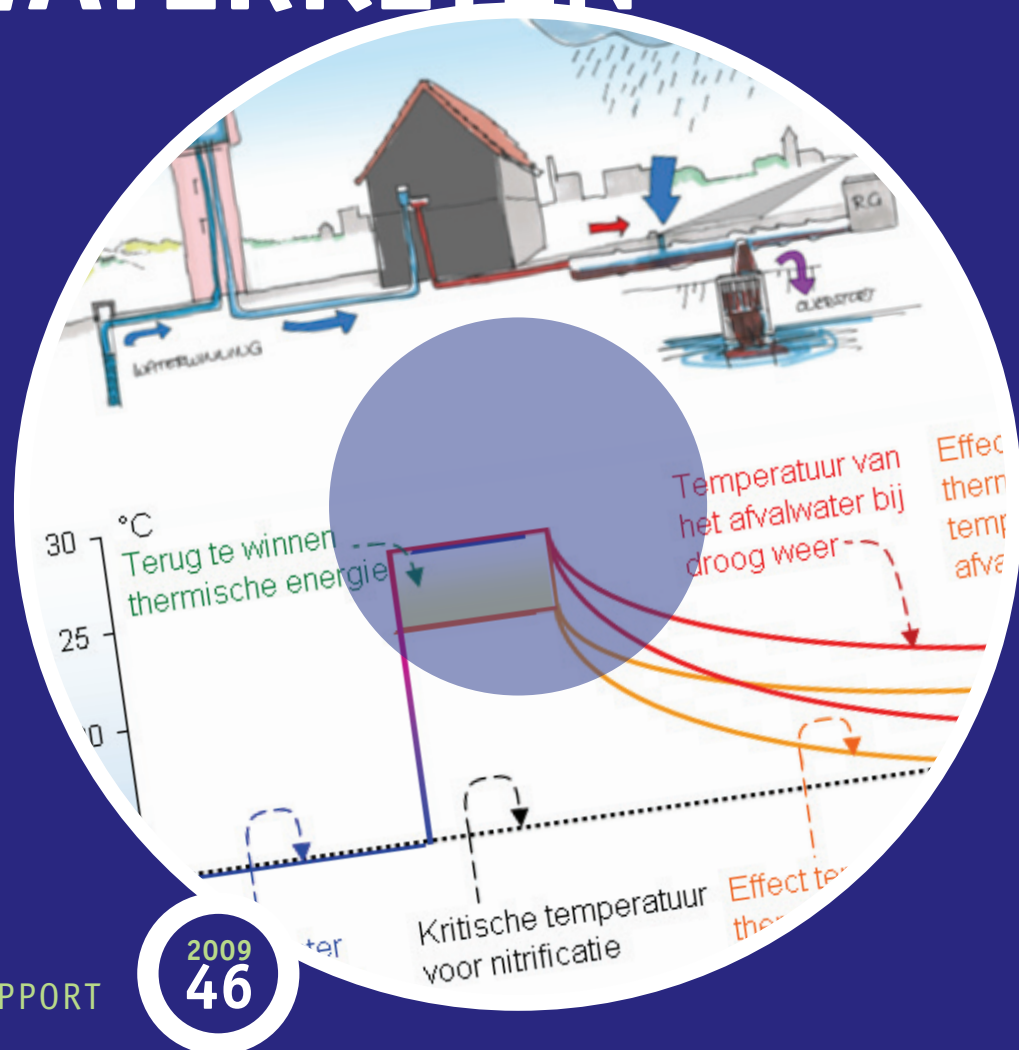


# MASTERCASE ENERGIE IN DE WATERKETEN



MASTERCASE ENERGIE IN DE WATERKETEN

STOWA

2009

46

ISBN 978.90.5773.465.6



# COLOFON

COLOFON

Utrecht, 2009

UITGAVE

STOWA, Utrecht

AUTEURS

Rada Sukkar  
Jeroen Kluck  
J. Blom  
J. Aversch

DRUK

Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA

rapportnummer 2009-46  
ISBN 978.90.5773.465.6

# TEN GELEIDE

De Unie van Waterschappen heeft in 2008 een meerjarenafspraak energie-efficiency (MJA3) met het ministerie van Economische Zaken getekend. Er is afgesproken om elk jaar de energie-efficiency met twee procent te verbeteren. Bij de zuiveringsinstallaties en in de afvalwaterketen liggen goede kansen voor energiebesparende maatregelen.

Naast besparing van de operationele energie, is energie(terug)winning uit afvalwater een interessante optie. Hierbij kan de chemische energie die in afvalwater zit worden gebruikt (zoals in bijvoorbeeld in "Sneek" en bij de "energiefabriek"), maar ook de thermische energie. Chemische en thermische energie zijn groter dan de operationele energie die in de waterketen wordt gebruikt. In potentie kan de waterketen energie leveren in plaats van kosten. Omdat dit de nodige infrastructurele aanpassingen vergt kan dit niet op korte termijn worden gerealiseerd.

De mogelijkheden die er liggen zijn het verkennen echter meer dan waard!

Utrecht, november 2009

De directeur van de STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

# SAMENVATTING

De stedelijke waterketen is naast verbruiker tevens een bron van energie. De hoeveelheid energie die nodig is voor het laten functioneren van de waterketen (operationeel verbruik) is vele male kleiner dan de potentiële energie die in de waterketen aanwezig is in de vorm van thermische en chemische energie. Naast aandacht voor het optimaliseren van de operationele energie verdient het benutten van de andere vormen van potentiële energie in de waterketen de aandacht.

In opdracht van VROM, STOWA, wetterskip Fryslân en m.m.v. Vitens heeft Tauw de volgende aspecten van energie in de waterketen onderzocht:

- Het operationele verbruik van energie in de waterketen
- De thermische energie in de waterketen
- Het afvalwater als bron voor energie

Als casus is de waterketen Leeuwarden onderzocht.

## HET OPERATIONELE ENERGIEVERBRUIK

Het operationele energieverbruik van de waterketen is relatief klein vergeleken met andere sectoren. Per persoon is het energieverbruik circa 0,2 kWh per dag voor het bereiden en distribueren van drinkwater, voor het inzamelen en verpompen van afvalwater naar de rwzi en voor het behandelen van het afvalwater. Bij het zuiveren wordt de meeste energie verbruikt. De volgende tabel geeft ter vergelijking het energieverbruik van een aantal activiteiten binnen het huishouden.

TABEL 0.1 ENERGIEVERBRUIK VAN VERSCHILLENDE ACTIVITEITEN IN HET HUISHOUDEN

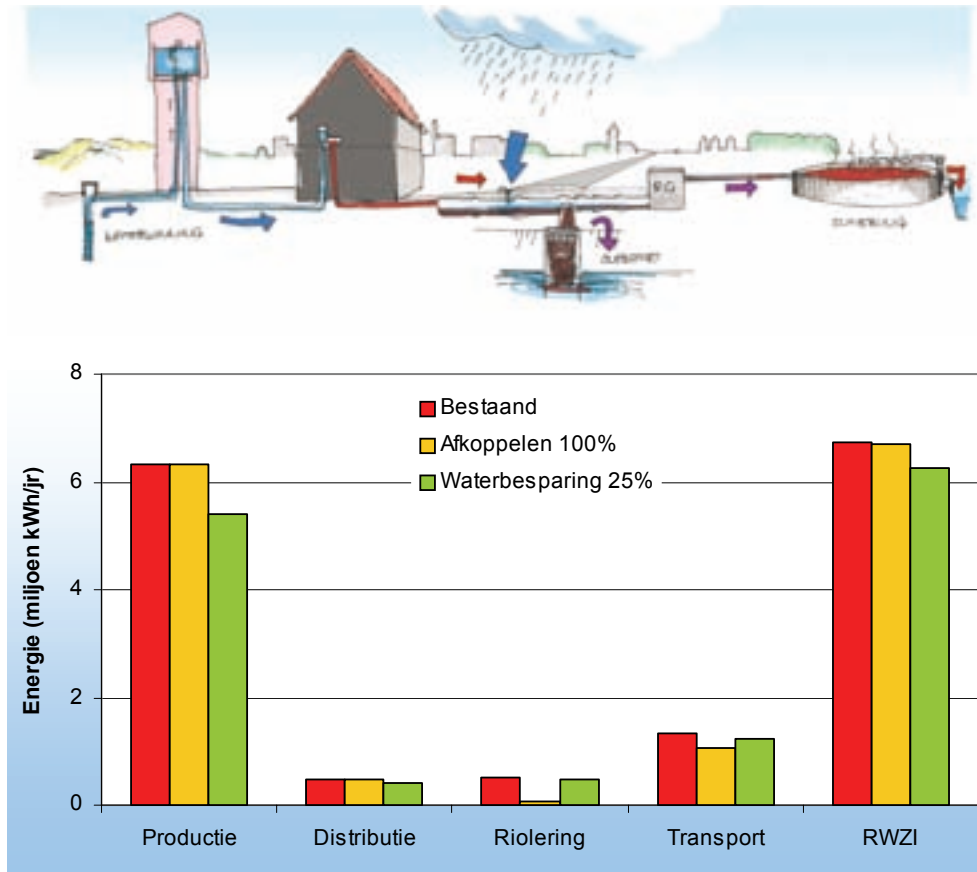
Soort activiteit	Energieverbruik	Eenheid
Elektraverbruik (gemiddeld)	4	kWh/inwoner/dag
Gasverbruik (gemiddeld)	20	kWh/inwoner/dag
Waterketen	0,2	kWh/inwoner/dag
PC één uur aan	0,2	kWh
Opwarmen van 1 liter water tot kookpunt	0,17	kWh

Het afkoppelen van hemelwater of rioolvreemdwater (parasitaire waterstromen) van het rioolstelsel heeft niet zoveel effect op het operationele energieverbruik in de waterketen. Dat valt te verklaren door het lage energieverbruik voor het transport en afvoer van water en de daarbij gelijkblijvende biologische belasting. Het verminderen van drinkwatergebruik heeft meer effect op het energieverbruik in alle delen van de waterketen.

Omdat bij de bereiding van drinkwater en de zuivering van afvalwater veel energie wordt gebruikt, is het zinvol om te kijken naar energiebesparing en optimalisatie van de processen die hier worden toegepast. Een mogelijkheid is het anaëroob zuiveren van afvalwater. Bij aërobe zuivering is veel energie nodig voor het beluchten (in de huidige situatie ongeveer 65 % van het totale energieverbruik voor behandeling van afvalwater). Anaëroob zuiveren stelt echter specifieke eisen aan het afvalwater. Het moet voldoende 'dik' zijn.

FIGUUR 1

OPERATIONELE ENERGIE IN DE WATERKETEN EN KANSEN VAN BESPARINGEN

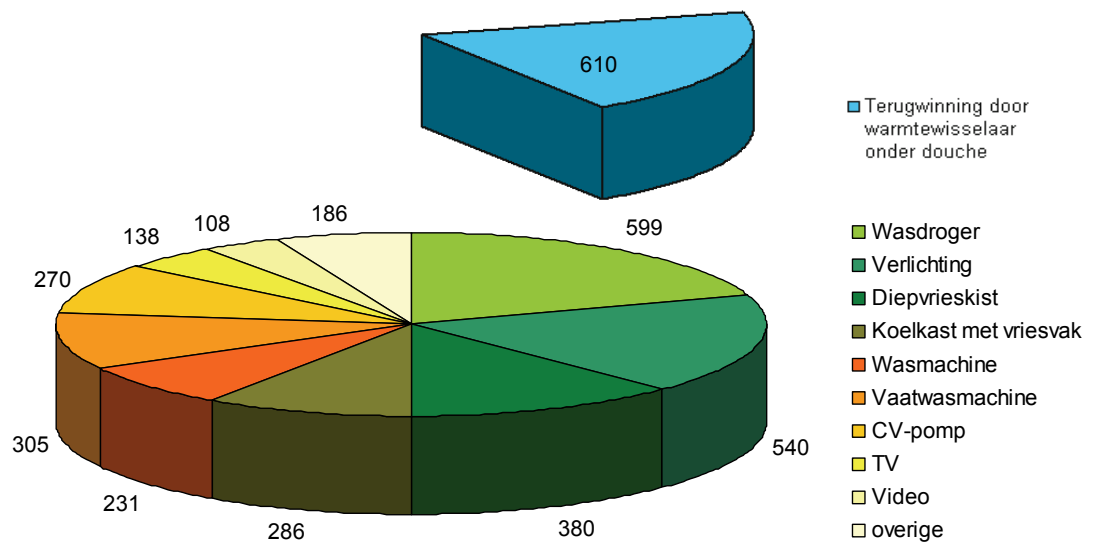


#### DE KANSEN VOOR HET BENUTTEN VAN THERMISCHE ENERGIE

De hoeveelheid thermische energie die huishoudens aan de waterketen toevoegen (voor het verwarmen van water) is een factor 10 tot 20 groter dan de operationele energie. Deze thermische energie gaat grotendeels onderweg naar de rwzi verloren door uitwisseling van warmte met de wanden van het rioolstelsel en de menging met koudere waterstromen zoals regenwater en grondwater. Het winnen van deze energie kan relatief eenvoudig worden gerealiseerd. Zo kan met een warmtewisselaar in het huishouden energie uit afvalwater worden teruggewonnen voordat het wordt geloosd. Een voorbeeld is de douchewarmtewisselaar. De investering voor deze douchewarmtewisselaar wordt binnen 3 tot 6 jaar terugverdiend.

FIGUUR 2

ENERGIEVERBRUIK VAN AANTAL ACTIVITEITEN IN EEN HUISHOUDEN IN KWH PER JAAR



Om de verschillende mogelijkheden voor het verlagen van het energiegebruik beter te kunnen beoordelen is een aantal onderzoeken noodzakelijk, namelijk:

- Het meten van de thermische energiehuishouding in de waterketen
- Het bepalen van de meest geschikte locatie voor de terugwinning van thermische energie op basis van potentie, techniek, beheer en onderhoud
- Het vergroten van inzicht in de invloed van energieverliezen/besparingen op het functioneren van de rwzi

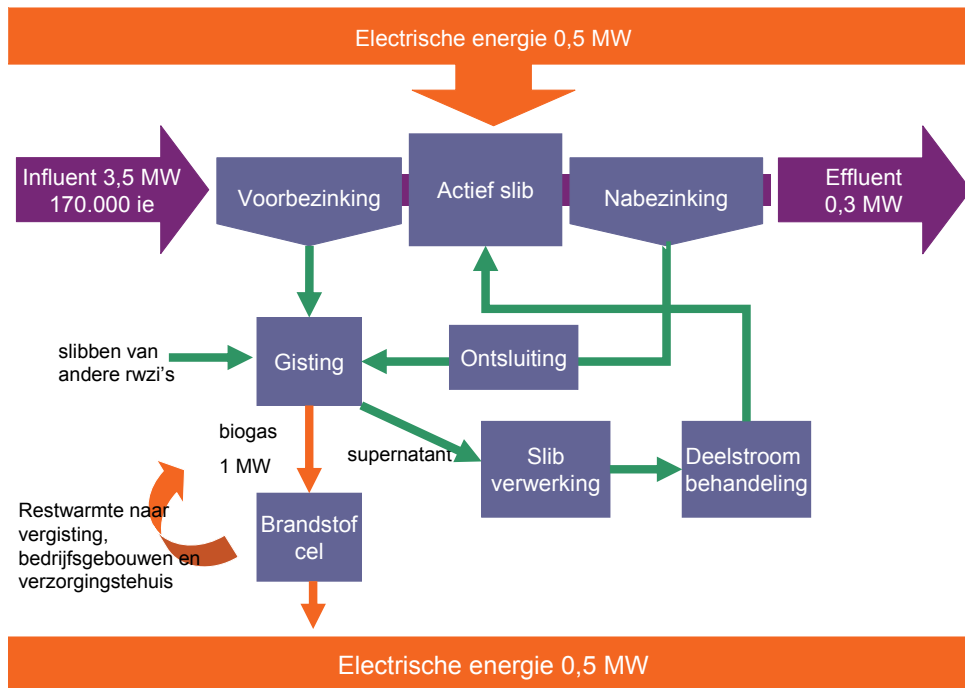
#### HET AFVALWATER ALS BRON VOOR ENERGIE

Organische stoffen in het afvalwater zijn een bron van energie. Doormiddel van vergisting van het zuiveringsslib wordt deze energie nu slechts ten dele benut. Er zijn twee sporen beschouwd om de energieopbrengst te vergroten. Ten eerste is met behulp van het project "de energiefabriek" gekeken naar het vrijmaken van een grotere hoeveelheid energie uit het zuiveringsslib. Met deze aanpak lijkt het mogelijk om een energieoverschot te creëren in de afvalwaterketen. Uitgangspunt is dan wel volledige benutting van al het biogas. Als het biogas met de brandstofcel wordt omgezet in elektrische energie dan vermindert het energiegebruik van de waterketen met 40 %.

Een nog ingrijpender aanpak is toepassing van nieuwe sanitatie. Dit betekent dat geconcentreerd afvalwater (urine en faeces) gescheiden wordt ingezameld en behandeld. Volgens het beschouwde concept (zwart water inzameling, Sneek-aanpak) levert dit een aanzienlijke reductie van het energiegebruik van de waterketen op, namelijk 45 % (op basis van omzetting van biogas in een conventionele WKK-installatie).

FIGUUR 3

PLUSVARIANT ENERGIEFABRIEK OP RWZI LEEUWARDEN



### CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Uit deze mastercase valt het volgende te concluderen:

- De optimalisatie van de waterketen op energieaspecten is een onmisbaar onderdeel van toekomstige optimalisaties.
- De thermische energie in de waterketen biedt vele kansen voor eenvoudige en rendabele terugwinning



# DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

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

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

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

# MASTERCASE ENERGIE IN DE WATERKETEN

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 De aanleiding	1
	1.2 Doelen	1
	1.3 Energieverbruik in het huishouden	1
	1.4 Energiebesparing in de waterketen?	2
	1.5 Energievormen in de waterketen	3
	1.6 Modellen en methodieken	3
	1.7 De werkgroep	3
	1.8 Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>DE WATERKETEN LEEUWARDEN</b>	<b>5</b>
	2.1 Drinkwaterproductie	5
	2.2 Het rioolstelsel en de gemeente	5
	2.3 De afvalwaterzuiveringsinstallatie	6
<b>3</b>	<b>HET OPERATIONELE ENERGIEVERBRUIK IN DE WATERKETEN</b>	<b>7</b>
	3.1 Operationeel energieverbruik via MIMOSA	7
	3.2 Scenario's voor energieverbruik	7
	3.3 De resultaten	8
	3.4 Conclusies over energieverbruik in de waterketen	8
	3.5 De uitstoot van broeikasgassen van de waterketen	9

<b>4</b>	<b>DE THERMISCHE ENERGIE VAN HET (AFVAL)WATER</b>	<b>10</b>
4.1	Thermische energie in huishoudelijke waterstromen	10
4.2	Warme afvalwaterstromen uit het huishouden	11
4.3	Thermische verliezen binnen het huishouden	11
4.4	Invloeden van temperatuur op het zuiveringsproces	12
4.5	Conclusies	16
<b>5</b>	<b>HET AFVALWATER ALS POTENTIËLE ENERGIEBRON</b>	<b>17</b>
5.1	Algemeen	17
5.2	De rwzi	17
5.3	Alternatieven voor de vergisting	18
5.3.1	De basisvariant	18
5.3.2	De plusvariant	19
5.3.3	Geoptimaliseerde plusvariant	20
5.4	Nieuwe sanitatie	21
5.4.1	Belangrijke kenmerken van nieuwe sanitatie	21
5.4.2	Energiehuishouding waterketen bij nieuwe sanitatie	21
5.5	Bespreking en conclusies	22
<b>6</b>	<b>KANSEN VOOR ENERGIE IN DE WATERKETEN</b>	<b>24</b>
6.1	De omvang en de potentie	24
6.2	Kansen voor de thermische energie	25
<b>7</b>	<b>AANBEVELINGEN</b>	<b>26</b>
7.1	Ter verfijning van de resultaten	26
7.2	Aanbeveling voor toekomstige ontwikkeling	27
<b>8</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>29</b>
	<b>BIJLAGE</b>	
1	Het rekenmodel MIMOSA	30

# 1

## INLEIDING

In de waterketen wordt energie gebruikt om drinkwater te produceren, (afval)water te transporteren en te zuiveren. Het (afval)water in de waterketen is verder een drager van thermische en chemische energie en dus een potentiële bron van energie. Dit onderzoek is bedoeld om de omvang van deze verschillende vormen van energie in de waterketen te verkennen. Daarnaast ligt de focus op de meest doeltreffende energiereducerende maatregelen die effecten hebben op verschillende delen van de waterketen. Als casus is de waterketen Leeuwarden gebruikt.

### 1.1 DE AANLEIDING

Klimaatverandering heeft zijn weerslag op de waterketen als het medium waarmee het overtollige water uit steden afgevoerd wordt. Daarnaast heeft de waterketen, als verbruiker van energie en als potentiële energiebron, invloed op de klimaatverandering. Om de rol van de waterketen in energie en klimaatverandering te verkennen hebben het wetterskip Fryslân, STOWA, VROM, m.m.v. Vitens aan Tauw opdracht verleend om voor de casus Leeuwarden de energiebalans in de waterketen in kaart te brengen.

### 1.2 DOELEN

Deze studie richt zich op de volgende vragen:

- Wat is de huidige energiebalans in de waterketen Leeuwarden?
- Welke mogelijkheden zijn er voor verduurzaming in energitermen?
- Welke effecten zijn te verwachten in de verschillende delen van de keten bij ingrepen ten behoeve van verduurzaming?
- Kan de waterketen geoptimaliseerd worden op het aspect energie?

### 1.3 ENERGIEVERBRUIK IN HET HUISHOUDEN

Energie wordt verbruikt in de verschillende processen binnen de waterketen. In de volgende tabel is het operationele energieverbruik aangegeven:

TABEL 1.1 ENERGIEVERBRUIK IN DE VERSCHILLENDE DELEN VAN DE WATERKETEN

Onderdeel	Doel	Energieverbruik in kWh/inwoner*jaar
Drinkwater	Pompen	25
Distributie	Pompen	2
Inzameling	Pompen	2
Transport	Pompen	8
Zuivering	Pompen (waarvan beluchting 15 kWh/ie.)	25*
Totaal		62

\*Het energieverbruik voor de afvalwaterbehandeling is 35 kWh/inwoner \*jaar. In Leeuwarden wordt per inwoner biogas opgewekt van 10 kWh/inwoner\*jaar. Daarmee is het totale energieverbruik voor het behandelen van afvalwater 25 kWh/inwoner\*jaar

Daaruit blijkt dat het energieverbruik vooral besteed is aan het pompen van water, afvalwater en lucht. Het energieverbruik bij pompen is als volgt berekend:

$$\text{Energie} = g \cdot \phi \cdot \Delta h \cdot Q / \text{eff} = 0.004 \text{ kWh/m}^2$$

Waarin:

$g$  = Versnelling van de zwaartekracht [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$\phi$  = Dichtheid van water [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\Delta h$  = Pomphoogte [ $\text{m}$ ]

$Q$  = Debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Eff = Rendement [-]

Ter vergelijking met andere activiteiten in het huishouden wordt hierna het energieverbruik voor deze activiteiten (buiten de waterketen) genoemd:

TABEL 1.2 ENERGIEVERBRUIK VAN VERSCHILLENDE ACTIVITEITEN IN HET HUISHOUDEN

Soort activiteit	Energieverbruik	Eenheid
Elektraverbruik (gemiddeld)	4	kWh/inwoner/dag
Gasverbruik (gemiddeld)	20	kWh/inwoner/dag
Waterketen	0,2	kWh/inwoner/dag
PC één uur aan	0,2	kWh
Opwarmen van 1000 liter water met één graad Celsius	1,7*	kWh
Een douche (70 liter van 12° C tot 35° C)	2,7*	kWh

\*Op basis van 70 % efficiëntie van de waterverwarming. Deze zal verschillen per verwarmingsmethode

Wat uit de bovenstaande tabel opvalt, is de grote omvang aan energieverbruik voor het verwarmen van water voor verschillende doeleinden. Het warme water wordt onder andere gebruikt voor in de douche, de afwas, was en centrale verwarmingssystemen.

#### 1.4 ENERGIEBESPARING IN DE WATERKETEN?

Uitgaande van het boven geschetste beeld mag gesteld worden dat het energieverbruik in de waterketen vele malen kleiner is dan het energieverbruik in het huishouden. Daarnaast kun je je afvragen hoe het energieverbruik in de waterketen zich verhoudt tot het energieverbruik in de industrie. Men kan in de verleiding komen om te stellen dat de aanpak van het energieverbruik in de waterketen onbelangrijk is, toch zijn er goede redenen om hier aandacht aan te schenken, namelijk:

1. Maatregelen in een deel van de waterketen kunnen doorwerken in andere delen van de waterketen waardoor per saldo met relatieve beperkte maatregelen, grote effecten geogst kunnen worden. We noemen hierbij als voorbeeld het reduceren van het drinkwaterverbruik
2. Het zuiveren van het afvalwater als een industriële branche is opgenomen in het Meer Jaren afspraken, deel 3 (MJA3). Hierbij is als doel aangegeven om in een periode van 15 jaar (vanaf 2005) een reductie van het energieverbruik van 30 % te behalen
3. Al is het energieverbruik van de waterketen gerekend per inwoner klein, de drinkwatervoorbereiding en het zuiveren van afvalwater zijn elk een grote energieverbruiker. De centrale drinkwaterbereiding en afvalwaterbehandeling biedt kansen voor effectieve maatregelen
4. De watersector krijgt de kans om een voorbeeldrol te vervullen voor het werken aan een duurzame omgeving
5. Zoals al eerder is vermeld; het opwarmen van water in het huishouden is een grote post bij het energieverbruik. Het is daarom de moeite waard om de mogelijkheden voor het terugwinnen van die warmte te verkennen

## 1.5 ENERGIEVORMEN IN DE WATERKETEN

In de waterketen zijn er hoofdzakelijk twee verschillende vormen van energie, namelijk:

1. Operationele energie: Het gaat hier over de benodigde energie voor het voorbereiden van drinkwater, distribueren, verzamelen van afvalwater, transporteren en het zuiveren van afvalwater
2. Potentiële energie: hier gaat het over:
  - Thermische energie; daarbij doelen wij op de warmte die aan het water toegevoegd wordt in het huishouden en de industrie
  - Chemische energie; de energie dat vrij komt door het afbreken van organische materialen die aanwezig zijn in het afvalwater
  - Gravitatie energie; bij het vrijvallen van water waarop druk is gezet komt energie vrij

Omdat wij hier in Nederland in een vlak gebied wonen, is de gravitatie energie zo goed als verwaarloosbaar. De beschikbare gravitatie energie in de Waterketen is een toegevoegde energie die operationele doelen dient. Deze soort besparingen vallen binnen de verantwoordelijkheden van de drinkwatersector alleen en maken geen onderdeel van deze studie. De focus ligt daardoor op de drie eerst genoemde vormen van energie.

## 1.6 MODELLEN EN METHODIEKEN

Voor deze verkenning is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare meetgegevens van de waterketen Leeuwarden. Daarnaast worden verschillende modellen toegepast voor de simulatie van de waterketen Leeuwarden voor het aspect energie. In de volgende tabel zijn deze modellen aangegeven:

TABEL 1.3 TOEGEPASTE MODELLEN EN METHODIEKEN

Model / methodiek	Voor	Door
MIMOSA (model)	Bepaling operationele energieverbruik in de waterketen voor de verschillende delen	Tauw (Kluck, Flaming), KWR, STOWA (bijlage 1)
Thermische energie van het afvalwater (model)	Bepaling van de thermische verliezen van het afvalwater en de temperatuur van het influent in droge/ natte dagen, zomer/ winter.	Tauw / STOWA Nader aangepast om het effect van regenwater en seizoenen op het afvalwatertemperatuur in beeld te brengen
Thermische energie binnen het huishouden (methodiek)	Bepaling van de thermische waarde van waterstromen binnen het huishouden	Tauw (Blom, Aversch)
Weiss Brombach (methodiek)	Bepaling van parasitaire waterstromen in het rioolstelsel	Weiss Brombach

## 1.7 DE WERKGROEP

Voor de tot standkoming van deze opdracht is een werkgroep gevormd bestaande uit de volgende leden:

- Bert Palsma namens Stichting Toegepaste Onderzoek voor de Waterschappen (STOWA)
- Sybren Gerbens namens het Wetterskip Fryslân
- Ger Jan Kuipers namens de gemeente Leeuwarden
- Siemen Veenstra namens de drinkwatermaatschappij VITENS
- Rada Sukkar, projectleider namens Tauw
- Jeroen Kluck, specialist riolering namens Tauw
- Johan Blom, specialist proceszuivering namens Tauw
- Jobert Aversch, projectmedewerker namens Tauw

## 1.8 LEESWIJZER

In dit rapport leest u in hoofdstuk 2 over de waterketen Leeuwarden. Hoofdstuk 3 gaat over de operationele energie in de waterketen Leeuwarden. Hoofdstuk 4 behandelt de thermische energie in de waterketen, de kansen van terugwinning van dit type energie en de consequenties van deze maatregelen op het functioneren van de rwzi. Hoofdstuk 5 onderzoekt de mogelijkheden van het opwekken van energie uit het afvalwater. In hoofdstuk 6 worden de verschillende vormen van energie in de waterketen met elkaar vergeleken. Hieruit wordt vervolgens geconcludeerd welke maatregelen het meest opportuun zijn voor verduurzaming van de waterketen Leeuwarden op energieaspecten. In hoofdstuk 7 worden aanbevelingen gedaan met als doel de waardevolle richtingen die in deze studie gesignaleerd zijn nader uit te werken.

# 2

## DE WATERKETEN LEEUWARDEN



### 2.1 DRINKWATERPRODUCTIE

Leeuwarden is net als de rest van de provincie Friesland rijk aan oppervlaktewater. De Friese meren zijn hierbij een bekend fenomeen. Desondanks zijn volgens de drinkwatermaatschappij VITENS de reserves van schoonwater relatief schaars in Friesland.

Drinkwatermaatschappij VITENS is de enige concessiehouder voor het onttrekken van grondwater voor drinkwatervoorbereiding. Via een zuiveringsproces wordt drinkwater van hoge kwaliteit geproduceerd. De distributie van drinkwater verloopt via een netwerksysteem dat onder voldoende druk staat om alle inwoners en bedrijven van Leeuwarden te kunnen voorzien van drinkwater. Het huidige drinkwatergebruik in Leeuwarden bedraagt, volgens VITENS, 124 liter per inwoner per dag.

Het gebruik van grondwater voor de drinkwatervoorbereiding, industriewater en voor de landbouw kan er toe leiden dat zout grondwater omhoog komt met consequenties voor de waterkwaliteit. Als oplossing hiervoor wordt voorzichtig gedacht aan het gebruik van het oppervlaktewater als bron voor de drinkwatervoorbereiding. Zo wordt bijvoorbeeld momenteel gewerkt aan het Vechterweerd (oeverwinning) aan de Overijsselse Vecht. Dit proces vergt een cultuuromslag, een ander zuiveringsproces voor het drinkwater en een omvangrijk investeringstraject. Het grondwater heeft een stabiele temperatuur. Drinkwater dat grondwater als bron gebruikt heeft een temperatuur van 10 à 12 °C. Bij het gebruik van oppervlaktewater als bron kan de drinkwatertemperatuur meer beïnvloed worden door de seizoenen. De thermische huishouding in de waterketen kan sterk beïnvloed worden door het gebruik van een andere bron van drinkwater.

### 2.2 HET RIOOLSTELSEL EN DE GEMEENTE

Het rioolstelsel van Leeuwarden is overwegend een gemengd stelsel waarbij regenwater en afvalwater gemengd afgevoerd worden naar de rwzi.

Conform het GRP worden delen van het bestaande verharde oppervlak afgekoppeld. Nieuwbouw locaties krijgen gescheiden rioolstelsels. In tabel 2.1 zijn de soorten rioolstelsels en de bijbehorende verharde oppervlakken in Leeuwarden aangegeven:



TABEL 2.1 VERHARDE OPPERVLAKKEN EN RIOOLSTELSLS IN LEEUWARDEN

	Soort rioolstelsel	Verhard oppervlak in ha
1	(Verbeterd) gemengd	765
2	Afgekoppeld	170
3	Verbeterd gescheiden	60
	Totaal	825

### 2.3 DE AFVALWATERZUIVERINGSINSTALLATIE

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) van Leeuwarden is in beheer van het wetterskip Fryslân. Het betreft hier een conventionele installatie die in 2000 voor het laatst is gerenoveerd. Behalve voor de stad Leeuwarden behelst het verzorgingsgebied vijf kleine kernen onder andere Kleine Wielen, Warga en Wartena. Kenmerkend voor de rwzi Leeuwarden is de grote industriële lozing van Campina Friesland en aantal andere industriële lozingen.

Het waterschap neemt de MJA3 afspraken ter harte. In de afgelopen periode zijn verschillende initiatieven ondernomen voor de verduurzaming van het onderdeel van de waterketen dat in beheer is bij het waterschap. Zo wordt bijvoorbeeld getracht om het vergistingniveau in de rwzi te verhogen van 1 miljoen tot 2 miljoen m<sup>3</sup> biogas per jaar. Verder tracht het waterschap de optimalisatie van de afvalwaterketen te baseren op andere peilers dan de traditionele emissiepeilers, onder andere energieverbruik.

Voor Campina Friesland worden momenteel de mogelijkheden voor het terugwinnen van energie uit het industriële afvalwater onderzocht. Door de grofstoffelijke aard van deze opdracht zijn de details van deze industriële lozing buiten beschouwing gelaten.

TABEL 2.2 KARAKTERISTIEKEN VAN RWZI LEEUWARDEN

Karakteristieken RWZI Leeuwarden	
Ontwerp capaciteit	250.000 ie
Werkelijke belasting	170.000 ie
Inwonersaantal ca.	95.000
Industriewater	Circa 40 % van totale vervuiling

# 3

## HET OPERATIONELE ENERGIEVERBRUIK IN DE WATERKETEN

In dit hoofdstuk wordt het operationele energieverbruik van de waterketen Leeuwarden beschouwd. Daarbij is gezocht naar kansen van optimalisaties van het verbruik. Vooral maatregelen die van invloed zijn op andere delen van de waterketen hebben hier de aandacht. Dat neemt niet weg dat er bij afzonderlijke delen van de waterketen kansen voor nadere optimalisatie is.

### 3.1 OPERATIONEEL ENERGIEVERBRUIK VIA MIMOSA

Voor de waterketen Leeuwarden is het huidige operationele energieverbruik berekend met behulp van MIMOSA. Om de karakteristieken van de verschillende delen van het rioolstelsel van Leeuwarden in beeld te brengen, is de waterketen Leeuwarden in drie verschillende delen geschematiseerd, namelijk:

- De bebouwde kom van Leeuwarden
- Het buitengebied van Leeuwarden
- Het industrieterrein

### 3.2 SCENARIO'S VOOR ENERGIEVERBRUIK

Zoals al eerder is vermeld, ligt de nadruk in deze exercitie op maatregelen in de waterketen die van invloed zijn op meerdere delen van de waterketen. Maatregelen die een invloed hebben op de afzonderlijke delen van de waterketen zijn hier buiten beschouwing gebleven. Zo is bijvoorbeeld geen aandacht geschonken aan energie besparende alternatieven op de zuiveringsprocessen van drinkwater of afvalwater. Ook het optimaliseren van het operationele energieverbruik van rioolgemalen is niet behandeld. Uit maatregelen die een invloed hebben op meerdere delen van de waterketen zijn de volgende scenario's verkend:

1. Het afkoppelen van verhardingen waardoor de biologische belasting onverminderd blijft terwijl de hydraulische belasting afneemt. De volgende drie afkoppelscenario's zijn verkend: 20 %, 50 % en 100 % afkoppelen van verhardingen.
2. Het voorkomen van parasitaire waterstromen zoals grondwater, koelwater of oppervlaktewater dat op het rioolstelsel is aangesloten of binnenindringt via scheuren en lekken. De omvang van deze stroom is geschat en niet op metingen gebaseerd
3. Het verminderen van het drinkwatergebruik met 5 %, 15 % of 25 %.

### 3.3 DE RESULTATEN

In de volgende tabel zijn de resultaten van deze berekening weergegeven:

TABEL 3.1 ENERGIEVERBRUIK IN DE WATERKETEN

	Huidig Energie in kWh/jr	Afkoppelen			Waterbesparing			Parasitaire waterstromen
		20%	50%	100%	5%	15%	25%	
Productie	6.329.167	6.329.167	6.329.167	6.329.167	6.147.029	5.782.752	5.418.476	6.329.167
Distributie	478.286	478.286	478.286	478.286	464.522	436.994	409.466	478.286
Riolering	519.608	461.061	302.572	72.173	511.627	495.665	479.702	461.762
Transport	1.321.777	1.264.316	1.189.531	1.057.924	1.302.748	1.264.689	1.226.631	1.224.262
RWZI	6.731.815	6.724.494	6.709.919	6.685.103	6.740.892	6.377.471	6.241.524	6.695.167
<b>Totaal</b>	<b>15.380.653</b>	<b>15.257.324</b>	<b>15.009.474</b>	<b>14.622.653</b>	<b>15.166.816</b>	<b>14.357.571</b>	<b>13.775.799</b>	<b>15.188.644</b>

	Huidig Kosten in Eur	Afkoppelen			Waterbesparing			Parasitaire waterstromen
		20%	50%	100%	5%	15%	25%	
Productie	1.455.708	1.455.708	1.455.708	1.455.708	1.413.817	1.330.033	1.246.249	1.455.708
Distributie	110.006	110.006	110.006	110.006	106.840	100.509	94.177	110.006
Riolering	119.510	106.044	69.592	16.600	117.674	114.003	110.332	106.205
Transport	304.009	290.793	273.592	243.323	299.632	290.879	282.125	281.580
RWZI	1.548.317	1.546.634	1.543.281	1.537.574	1.550.405	1.466.818	1.435.550	1.539.888
<b>Totaal</b>	<b>3.537.550</b>	<b>3.509.184</b>	<b>3.452.179</b>	<b>3.363.210</b>	<b>3.488.368</b>	<b>3.302.241</b>	<b>3.168.434</b>	<b>3.493.388</b>

### 3.4 CONCLUSIES OVER ENERGIEVERBRUIK IN DE WATERKETEN

Uit de bovenstaande tabel kunnen we het volgende concluderen:

1. Het operationele energieverbruik in de huidige situatie is het hoogst bij de productie van drinkwater en de behandeling van het afvalwater
2. Het afkoppelen van verharde oppervlakken levert een beperkte besparing op het energieverbruik bij het inzamelen en afvoeren van afvalwater. Het energieverbruik bij het inzamelen en transporteren van het afvalwater daalt. Het energieverbruik bij het zuiveren van het afvalwater daalt in beperkte mate. Dat is te verklaren aan de ongewijzigde biologische belasting van de rwzi. De afname van de biologische belasting van de rwzi is bij 20 %, 50 % en 100 % afkoppelen respectievelijk 1 %, 2 % en 5 %. Dat is erg weinig in verhouding tot de inspanning
3. Het voorkomen van parasitaire waterstromen levert een beperkte besparing in het energieverbruik bij het inzamelen en afvoeren van afvalwater. Ook het energieverbruik bij het inzamelen en transporteren van het afvalwater daalt. Het energieverbruik bij het zuiveren van het afvalwater daalt in een beperkte mate. Dat is te verklaren door de ongewijzigde biologische belasting van de rwzi
4. Het verminderen van het drinkwatergebruik leidt tot de grootste energiebesparing, bovendien is het effect merkbaar in alle delen van de waterketen. Indien het watergebruik over het geheel afneemt is de energiebesparing gering. Dit komt doordat de biologische belasting van de rwzi niet verandert

In het algemeen kan gesteld worden dat de beschouwde scenario's geen grote energiebesparing leveren voor de huidige waterketen. Omdat de waterketens veel mensen ineens bedienen, kan door optimalisatie van onderdelen van de waterketen toch veel operationele energie bespaard worden.

Mogelijk levert een nadere verdieping in de processen van drinkwatervoorbereiding en afvalwaterbehandeling meer kansen op een optimalisatie van het desbetreffende proces. Te denken valt bijvoorbeeld aan het anaëroob zuiveren van het afvalwater waarbij het beluchten van afvalwater komt te vervallen. De energiepost van de beluchting bedraagt ongeveer 65 % van het totale energieverbruik van het gehele zuiveringsproces. In dat geval dient het slib in het aangeleverde afvalwater voldoende geconcentreerd te zijn zoals bijvoorbeeld de zwarte waterlijn bij nieuwe sanitatie.

### 3.5 DE UITSTOOT VAN BROEIKASGASSEN VAN DE WATERKETEN

In deze paragraaf wordt ter vergelijking de uitstoot van de waterketen in perspectief gezet tegen de uitstoot van andere sectoren in Nederland. Het betreft hier de uitstoot door het operationele energieverbruik in de waterketen.

De uitstoot van broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-eq.). Deze is gebaseerd op de 'Global Warming Potential' (GWP), wat aangeeft in welke mate een gas bijdraagt aan het broeikas effect. De GWP van de Nederlandse waterketen bedraagt 1,67 miljoen ton CO<sub>2</sub>-eq. per jaar. Deze bijdrage op het totaal van Nederland van 212 miljoen ton CO<sub>2</sub>-eq. per jaar is gering (0,8 %).

De broeikasgasemissies van Nederland komen grotendeels voor rekening van een beperkt aantal sectoren zoals de energiesector, zware industrie, transport en een twintigtal andere sectoren. De (afval)watersector is een van deze sectoren en heeft er belang bij om het goede voorbeeld te geven. Zeker als een beroep gedaan wordt op huishoudens om zuinig om te gaan met warm water.

De GWP van water ten behoeve van huishoudelijk gebruik is 1,5 kg CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>3</sup> water (zie tabel 3). Dat komt per huishouden overeen met 160 kg CO<sub>2</sub>-eq. per jaar (3,3 % van de GWP door energiegebruik in huishoudens). De GWP voor het verwarmen van tapwater is echter 4x zo groot (693 kg CO<sub>2</sub>-eq. per huishouden per jaar)\*\*. Vorig jaar is in Nederland het warmwatergebruik voor douchen gestegen. Hier lijkt dan ook een belangrijk aangrijpingspunt voor verbetering te liggen in water- en daarmee energiebesparing.

TABEL 3.2 GWP BIJDRAGE WATERKETEN

Onderdeel	Bijdrage huishoudens in Kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>3</sup>	In percentage %	Bijdrage totale Nederlandse waterketen in ton CO <sub>2</sub> -eq.	In percentage %
Drinkwater	0,36	24	436.875	26,1
Riolering	0,07	4,6	123.620	7,4
Afvalwater	1,07	71,3	1.114.310	66,5
Totaal	1,50		1.674.805	

\* Bron: Op weg naar klimaatneutraal waterketen, KWR, STOWA

\*\* Het energieverbruik van de waterketen is 62 kWh/inw/jaar, gerekend met MIMOSA. Voor waterverwarming in het huishouden is het energieverbruik circa 1.200 kWh/inw/jaar, een factor 20 hoger dan het operationele verbruik. Het verschil in energieverbruik is groter dan het verschil in GWP (factor 4), dit komt doordat het GWP ook broeikasgassen die bij zuivering vrijkomen meeneemt

## 4

## DE THERMISCHE ENERGIE VAN HET (AFVAL)WATER

De thermische energie wordt aan het drinkwater toegevoegd voor allerlei doeleinden. Denk hier bijvoorbeeld aan douchewater, koffie en thee, maar ook bij bedrijven zoals bij de voedselindustrie en bij het schoonmaken van apparatuur. In dit hoofdstuk onderzoeken wij de thermische energiebalans in het huishouden en de mogelijkheden om deze terug te winnen. Daarnaast worden de effecten van de terugwinning op het functioneren van de rwzi onderzocht.

### 4.1 THERMISCHE ENERGIE IN HUISHOUDELIJKE WATERSTROMEN

Uitgaande van grondwater als bron voor drinkwater, heeft het drinkwater uit de kraan in Leeuwarden een gemiddelde temperatuur van 10 à 12 °C. In het huishouden wordt het drinkwater voor verschillende doeleinden gebruikt. Bij veel toepassingen wordt het water verwarmd voor gebruik, bijvoorbeeld voor douchen, wassen en afwassen. Onderstaande tabel vermeldt voor diverse toepassingen binnen het huishouden hoeveel water er gebruikt wordt, en wat de bijbehorende geschatte temperatuur is. De laatste kolom geeft de geschatte toegevoegde hoeveelheid energie op basis van drinkwater van 12 °C graden. Daarbij is uitgegaan van een efficiëntie van de waterverwarming van 70 %.

TABEL 4.1 VERWARMDE WATERSTROMEN IN HET HUISHOUDEN PER PERSOON

Watergebruik	Volume in liter/dag	Temperatuur in °C	Toegevoegde warmte in Wh/inw/d
Voedselvoorbereiding	2	14	7
Wastafel	5	15	26
bad	3	30	77
Wassen hand	2	14	7
Toiletspoeling	37	15	189
Douche	50	35	1870
Wasmachine	16	40	738
Afwassen hand	4	25	88
Afwasmachine	3	30	92
Koffie/thee	1	22	17
Water drinken	1	37	43
Overige keukenkraan	5	14	17
<b>Totaal</b>	<b>128</b>	<b>27</b>	Circa 3.170

Bron: TNS-NIPO (2008). Watergebruik thuis 2007. Rapport C6026, 31 januari 2008

#### 4.2 WARME AFVALWATERSTROMEN UIT HET HUISHOUDEN

Zoals uit de vorige paragraaf is gebleken wordt het relatief warme afvalwater in het rioolstelsel geloosd. Uitgaande van de boven vermelde waterstromen binnenhuis en de daarbij behorende temperaturen en hoeveelheden, komt de gemiddelde temperatuur van het afvalwater dat het huishouden verlaat op 27 °C, zie tabel 4.2.

TABEL 4.2 WARMTE HUISHOUDELIJKE AFVALWATER

Activiteit	l/inw/d	temp. In °C	%	kWh/inw/j	kWh/j voor Leeuwarden
Bad	2,5	30	2	21	1.937.542
Toiletspoelen	37	15	8	79	1.026.897
Douche	50	35	57	530	48.244.788
Wasmachine	16	40	21	198	18.019.138
Afwasmachine	3	30	3	26	2.325.050
Handmatig afwas	4	25	3	24	2.208.798
Overig					
Totaal	128	27		936	85.197.582

#### 4.3 THERMISCHE VERLIEZEN BINNEN HET HUISHOUDEN

Uit tabel 4.2 blijkt dat de omvang van de thermische energie in het afvalwater dat het huishouden verlaat substantieel is. Het is daarom de moeite waard om de mogelijkheden van terugwinning te onderzoeken.

Een deel van de thermische energie van het afvalwater is terug te winnen door het gebruik van een warmtewisselaar. Een belangrijke warmwaterstroom in het huishouden is de douche. Volgens Bries (specialist warmtewisselaars voor douches) heeft een warmtewisselaar voor de douche een rendement van 50 %. Aangenomen dat een warmtewisselaar voor de douche wordt geplaatst met een rendement van 50 %, komt het totaal terug te winnen energie op:

$530 \times 0,50 \times 2,3$  inwoners per huishouden = 610 kWh/j/hh

Bij een kWh prijs van EUR 0,23 per kWh is de besparing per huishouden circa EUR 140 per jaar. Rekeninghoudend met de investeringskosten van een warmtewisselaar voor de douche van EUR 250-1000, volgt dat deze wordt terugverdiend in een periode van 2 - 8 jaar!!!

Ter vergelijking geeft onderstaande tabel 4.3 een overzicht van de kosten van verschillende activiteiten in het huishouden waarbij energieverbruik te pas komt. Hieruit blijkt dat de energiebesparing door de warmtewisselaar ongeveer even groot is als de energievraag van de verlichting voor het hele huishouden. Hieruit blijkt dat veel winst te behalen is bij het terugwinnen van thermische energie.

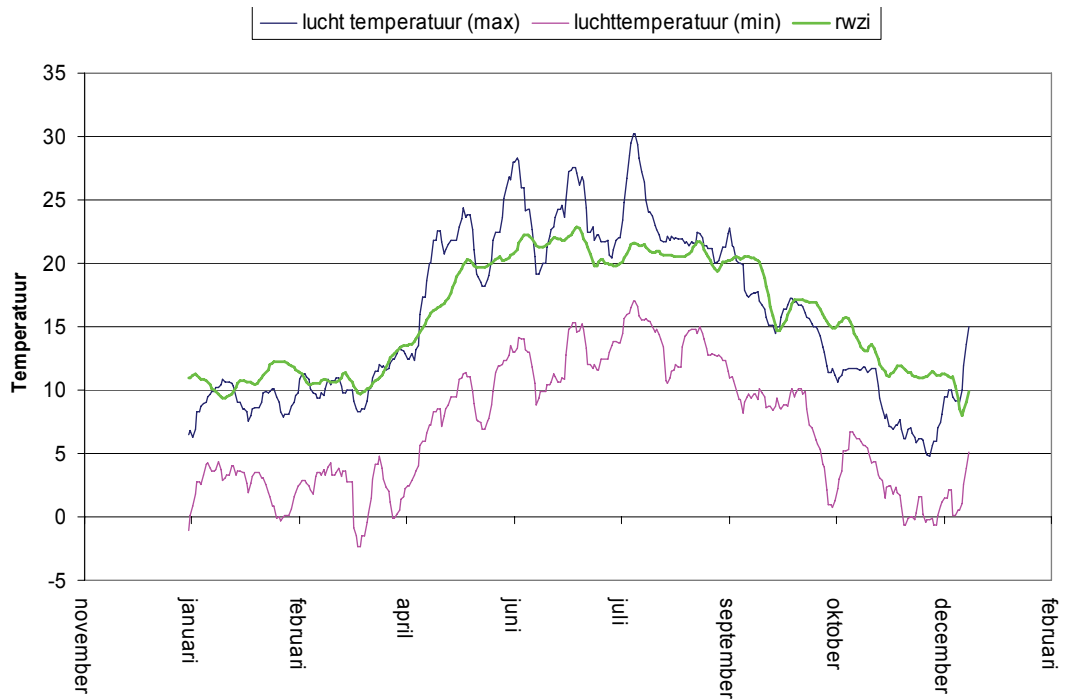
TABEL 4.3 KOSTEN VAN ENERGIEPOSTEN IN HET HUISHOUDEN TER VERGELIJKING MET WARMTETERUGWINNING VOOR DE DOUCHEL

Activiteit/besparing	kWh/hh/j	Kosten in EUR/hh/j
Verlichting	540	124
Wasdroger	600	140
Diepvrieskist	380	90
Terugwinning door warmtewisselaar onder douche	610	140

#### 4.4 INVLOEDEN VAN TEMPERatuur OP HET ZUIVERINGSproces

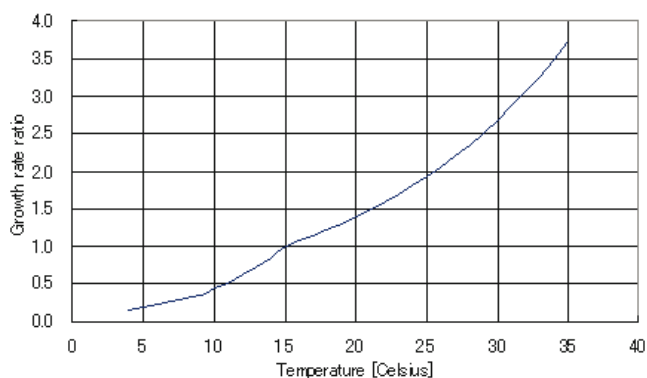
Onderweg naar de rwzi Leeuwarden verliest het afvalwater een deel van zijn thermische energie aan de omgeving. Ook in de rwzi koelt het afvalwater verder af in een proces dat bepaald wordt door de temperatuur van de buitenlucht en de omvang van de oppervlakte van de reservoirs op de rwzi. In het onderstaande figuur is de temperatuur van het afvalwater in de rwzi gerelateerd aan de temperatuur van de buitenlucht. De figuur laat zien dat de influenttemperatuur in belangrijke mate wordt bepaald door de maximale luchttemperatuur.

FIGUUR 4.1 TEMPERatuur VAN HET AFVALWATER VAN RWZI LEEUWARDEN IN RELATIE TOT HET SEIZOEN



Voor een optimaal verloop van het zuiveringsproces is een temperatuur van minimaal 12 °C vereist. Bij een lagere temperatuur komt het nitrificatieproces in de problemen (zie figuur 4.2). De stikstofverwijdering neemt dan snel af.

FIGUUR 4.2 EFFECT VAN TEMPERatuur OP NITRIFICATIEproces



Om na te gaan wat het effect van een warmtewisselaar in het huishouden kan zijn op de effectiviteit van het zuiveringsproces is gebruik gemaakt van het model Tessel/ Van der Pijl (STOWA onderzoek: Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's Stowa rapport nr. 2006-15). Dit model is aangepast om:

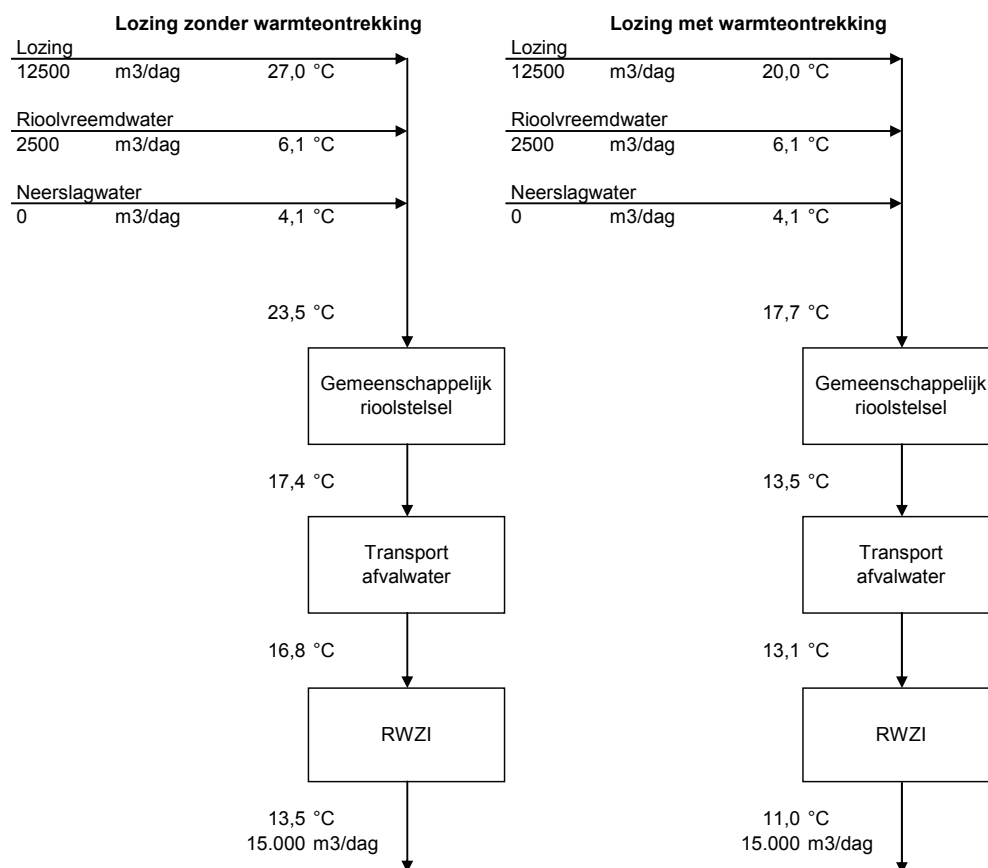
- Het effect van afstromend hemelwater bij verschillende regenintensiteiten op de temperatuur van het afvalwater te bepalen
- Het effect van de seizoenen en de daarbij behorende temperaturen op de thermische energie van het afvalwater te bepalen

Hierbij wordt gedacht aan het toepassen van een warmtewisselaar voor douches in alle huishoudens waarmee 50 % van het warmtevermogen van douchewater kan worden teruggewonnen. Een andere optie is het toepassen van centrale warmtewisselaars in het riool. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met warmteverlies over de lengte van de leiding.

Figuur 4.3 toont de opbouw van het model, waarmee de gemiddelde temperaturen van het afvalwater berekend zijn. Voor een wintersituatie met een buitenluchttemperatuur van 3,1 °C is de afkoeling van het afvalwater tijdens het transport en de zuivering geschat. Daarbij zijn 3 situaties beschouwd: droog weer, een kleine neerslag van 2 mm in één dag en een redelijke bui van 7 mm in één dag. Aangenomen is dat de neerslag 1 graad warmer is dan de buitenlucht (dus 4,1 graden).



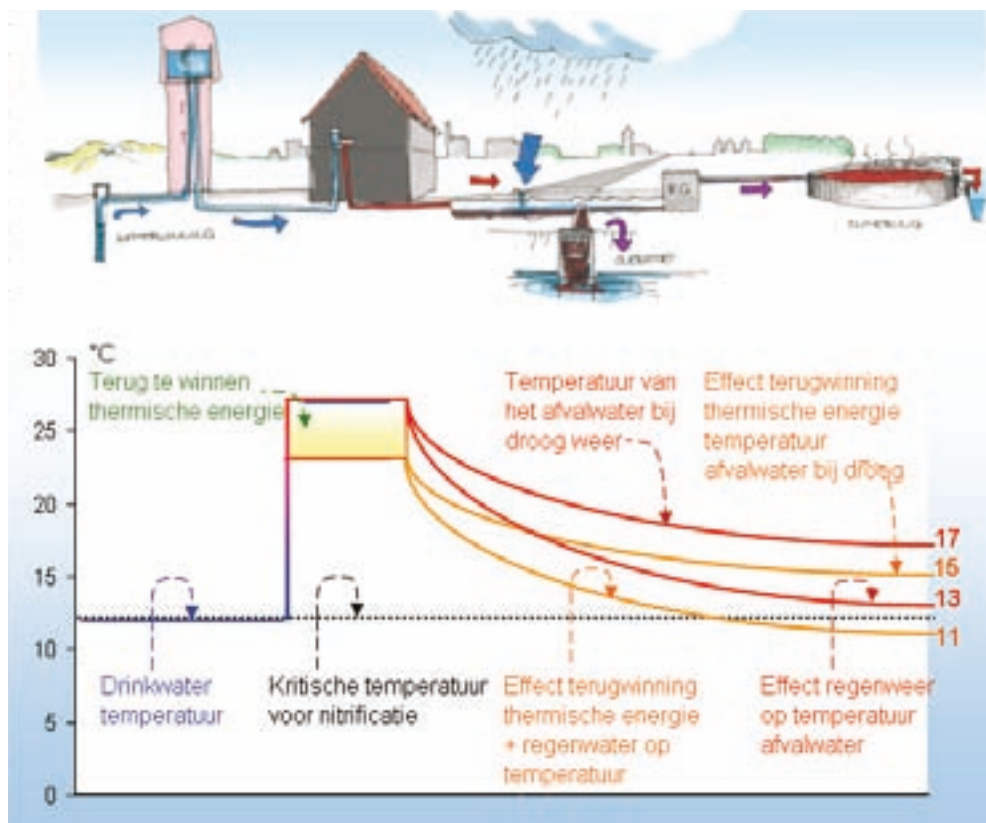
FIGUUR 4.3 TEMPERATUUR VAN HET AFVALWATER VIA HET MODEL TESSEL/ VAN DER PIJL



Tabel 4.4 toont de temperaturen voor de huidige situatie en voor het toepassen van douche-warmtewisselaars bij alle huishoudens. Hieruit blijkt dat het zuiveringsproces in theorie aan effectiviteit kan inboeten door de veelvuldige terugwinning van de thermische energie door het huishouden.

FIGUUR 4.4

## WARMTEVERLOOP IN HET RIOOLSTELSEL



TABEL 4.4

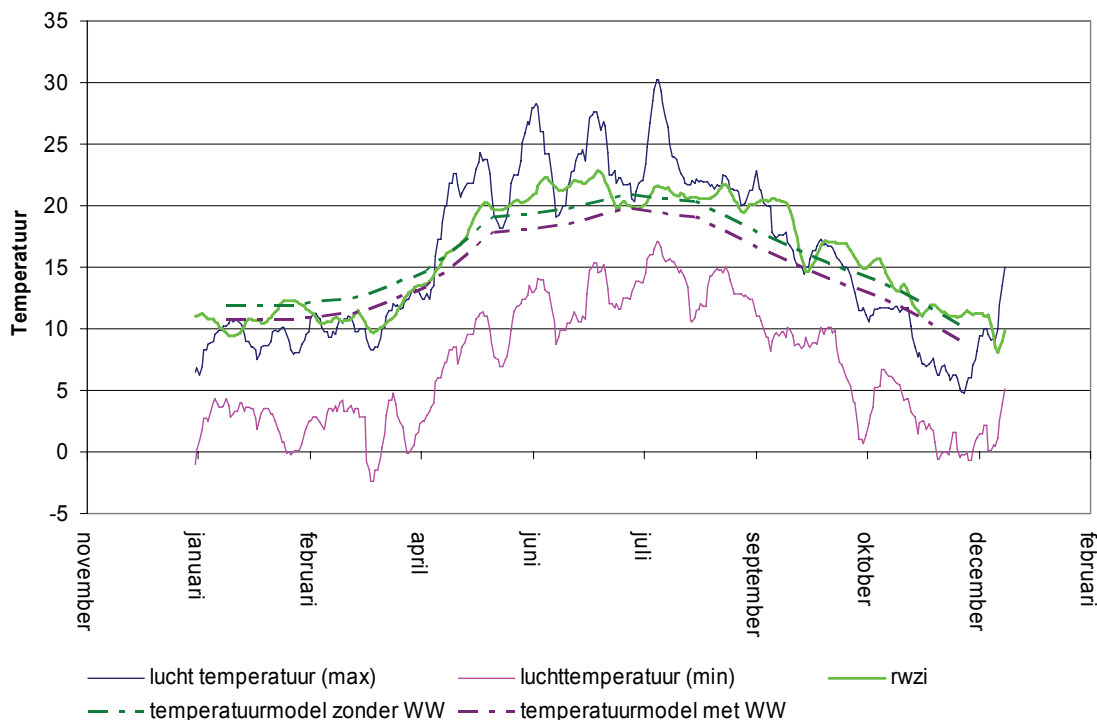
## TEMPERATUREN VAN HET AFVALWATER BIJ TERUGWINNING VAN THERMISCHE ENERGIE IN HET HUISHOUDEN

Scenario	Temp bij de huisaansluiting in ° C	Temp van effluent bij droogweer in ° C	Temp van effluent bij 2 mm regen in ° C	Temp van effluent bij 7 mm regen in ° C
Huidige situatie	27	17	13	9
Bij toepassing van een ww	23	15	11	8

In figuur 4.5 is het effect van de warmte wisselaar op de gemiddelde temperatuur van het influent aangegeven.

Het effect van terugwinning van douchewarmte op het influent van de rwzi is volgens de tabellen en grafiek beperkt. Maar of de veronderstelling dat het toepassen van warmtewisselaar een schadelijk effect heeft op het functioneren van de rwzi moeten we nog nuanceren aangezien dat deze veronderstelling sec op berekeningen zijn gebaseerd. Een goed doordacht meetprogramma kan hier een helder beeld schetsen van deze invloeden. De warmte verliezen van het (afvalwater)keten verdient bij deze meer aandacht. Het transport van warmte in de (afvalwater)keten is zeer relevant voor de temperatuur van het water in de rwzi en de beste locatie voor het terugwinnen van warmte.

FIGUUR 4.5 INVLOED WINNING VAN WARMTE OP DE TEMPERatuur VAN HET INFLUENT VAN RWZI LEEUWARDEN



#### 4.5 CONCLUSIES

Voor de thermische energie van water kan het volgende geconcludeerd worden:

1. Voor het verwarmen van water binnen het huishouden worden enorme hoeveelheden energie gebruikt. Deze thermische energie is voor een belangrijk deel relatief eenvoudig terug te winnen door het toepassen van warmtewisselaars
2. Ter vergelijking met maatregelen als het gebruik van spaarlampen kan een warmtewisselaar onder de douche een besparing leveren die net zo groot is als het totale energieverbruik voor verlichting in het huishouden
3. De optimale vorm en de locatie voor het plaatsen van een warmtewisselaar verdient meer aandacht. Belangrijke overwegingen daarbij zijn bijvoorbeeld: effectiviteit, kosten, termijnen, beheer en onderhoudaspecten
4. Voor het breed uitzetten van deze maatregel, is een afstemming met andere beleidsvelden van groot belang. Hierbij wordt gedacht aan gemeenten, industrie, bouwsector en woningbouwverenigingen
5. Bij inzameling en transport van het afvalwater neemt met name 's winters de temperatuur van het afvalwater af. Bijvoorbeeld door menging van warm afvalwater met koud afstromend regenwater of intredend grondwater wordt de totale waterstroom koeler. Echter ontbreekt op dit moment een heldere beschrijving van het proces van warmteverliezen in het rioelstelsel
6. Ondanks de vele potenties van de thermische energie van water, zijn er momenteel te weinig temperatuurmetingen beschikbaar om de bevindingen van deze studie te toetsen. Nader onderzoek is daarom aanbevolen
7. Het gebruik van oppervlaktewater als bron voor drinkwater kan een andere verhouding opleveren voor de thermische energiebalans in de waterketen. Een nader onderzoek is hier aanbevolen

# 5

## HET AFVALWATER ALS POTENTIËLE ENERGIEBRON

### 5.1 ALGEMEEN

Afvalwater bevat organische stoffen. Deze worden deels afgebroken in de rwzi in aërobe of anaërobe processen. Deze processen zijn het belangrijkste onderdeel van het zuiveringsproces. Bij de anaërobe behandeling van het zuiveringsslib komt biogas vrij. Het methaan in het biogas wordt gebruikt om elektrische energie op te wekken met een warmte kracht koppeling installatie (WKK). Er bestaat een aantal mogelijkheden om de energieopbrengst op de rwzi te vergroten. In dit hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.

### 5.2 DE RWZI

Bij het bespreken van de mogelijkheden voor het op de rwzi benutten van energie die in het afvalwater van Leeuwarden is opgeslagen, wordt uitgegaan van het project "De energie-fabriek". Binnen dit project is een aantal varianten uitgewerkt voor het opwekken van energie op de rwzi. Het format van de energiefabriek wordt gebruikt om de uitkomsten te presenteren. Er wordt gekeken naar de basisvariant en de plusvariant. De supervariant wordt niet beschouwd, deze variant is te ambitieus en vergt omvangrijke aanpassingen aan de rwzi Leeuwarden.

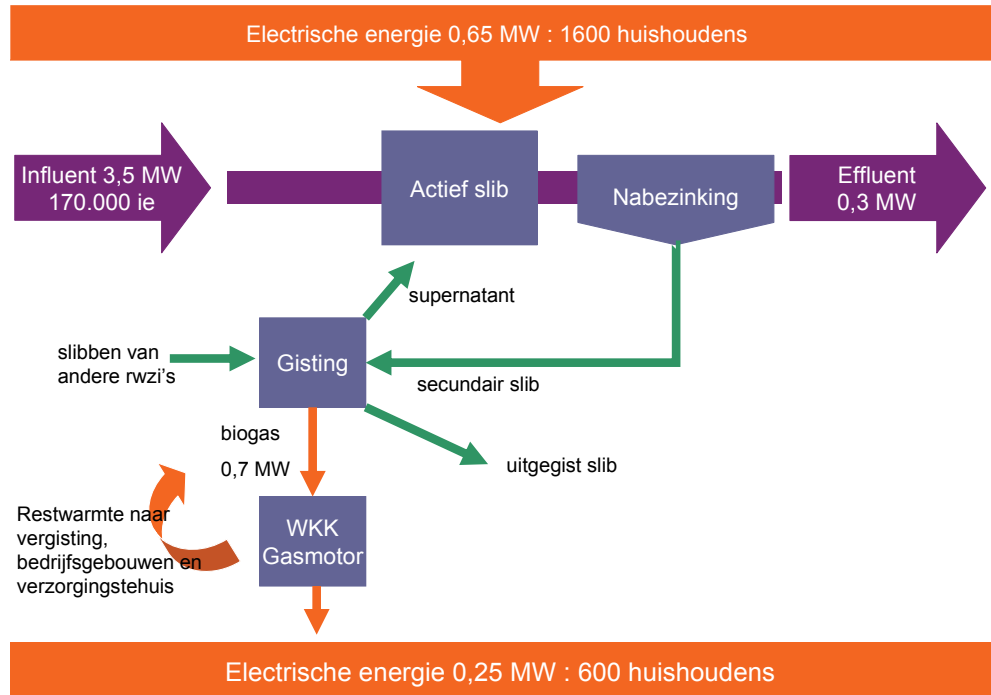
Uitgangspunt is dat een rwzi vanwege de bedrijfsmatige opzet een goede locatie is om energie op te wekken. Groene energie wordt opgewekt uit de bio-afbreekbare verontreinigingen in het rioolwater. In het rioolwater is energie opgeslagen in de vorm van organische stoffen. Deze energie wordt op rwzi Leeuwarden ten dele benut via de slibgisting en de WKK installatie. Schematisch ziet dit er als volgt uit:

Het energieverbruik van de rwzi Leeuwarden is berekend op basis van de gegevens van het wetterskip voor 2008. Volgens deze gegevens is op de rwzi Leeuwarden 5,6 miljoen kWh gebruikt. Dit komt overeen met een totaal elektrisch verbruik van 0,65 MW.

De energie in het influent (3,5 MW of 31000 MWh/jaar) is opgeslagen in organische stof. De thermische energie van het afvalwater wordt hier buiten beschouwing gelaten.

FIGUUR 5.1

ENERGIEBALANS BESTAANDE SITUATIE RWZI LEEUWARDEN (FORMAT: DE ENERGIEFABRIEK)



Een aantal zaken valt op en is relevant voor het opwekken van energie:

- Rwzi Leeuwarden heeft geen voorbezinking. Dit is energetisch ongunstig. Spuislib (secundair slib) heeft een lagere energie-inhoud dan primair slib uit de voorbezinking. Bij het aëroob zuiveren wordt dan wel spuislib geproduceerd, maar veel energie “gaat verloren” bij het oxideren van organische stoffen. Dit heeft twee effecten: (1) er is meer energie nodig voor het beluchten van de actief slibinstallatie, (2) er komt minder gistingsgas vrij
- Het rendement van de WKK installatie is 35 %. Uit een nadere beschouwing van de gegevens blijkt dat er een significant verschil bestaat tussen gasmotor 1 (32 %) en gasmotor 2 (40 %). Een deel van het gistingsgas (7 %) wordt overigens gespuid. Daaruit blijkt dat er nog mogelijkheden zijn voor het verhogen van de effectiviteit van de slibgisting

### 5.3 ALTERNATIEVEN VOOR DE VERGISTING

Als basisvariant voor de energiefabriek zijn de volgende technische maatregelen geselecteerd:

1. Toepassing van een (verbeterde) voorbezinking
2. Deelstroom behandeling voor stikstofverwijdering
3. Inzet van verbeterde gasmotoren

Door het nemen van deze maatregelen zal meer energie worden opgewekt bij de gisting en zal de omzetting in de WKK's met een hoger rendement plaatsvinden.

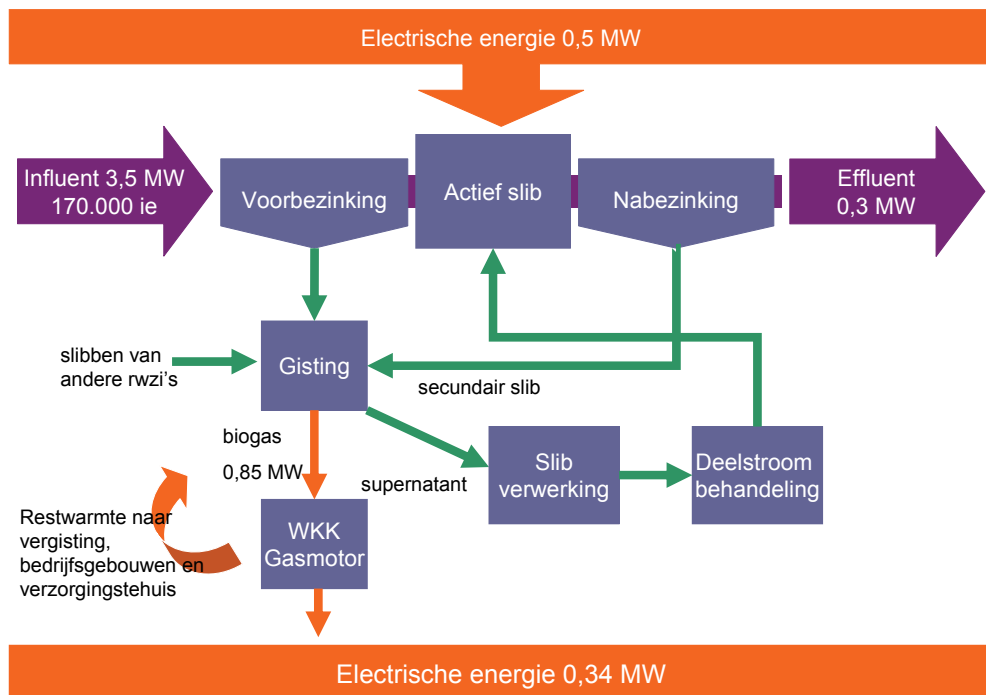
#### 5.3.1 DE BASISVARIANT

In deze variant wordt een voorbezinking toegepast. De basisvariant zal leiden tot een verlaging van het energiegebruik op de rwzi Leeuwarden (indicatie 25 %) omdat er meer organische stof naar de vergisting wordt gevoerd en minder naar de actief slib installatie. Er is dus minder energie nodig voor beluchting. Dit leidt tot een verhoging van de biogasopbrengst van de slibgisting (indicatie 20 %). De basisvariant is schematisch weergegeven (getallen zijn indicatief en gebaseerd op de energiefabriek en expert judgement).

Het invoeren van deze basisvariant is niet eenvoudig. Het bijplaatsen van een voorbezinking is ingrijpend. Daarnaast wordt de nu al onderbelaste actief slib installatie nog lager belast.

FIGUUR 5.2

BASISVARIANT RWZI LEEUWARDEN

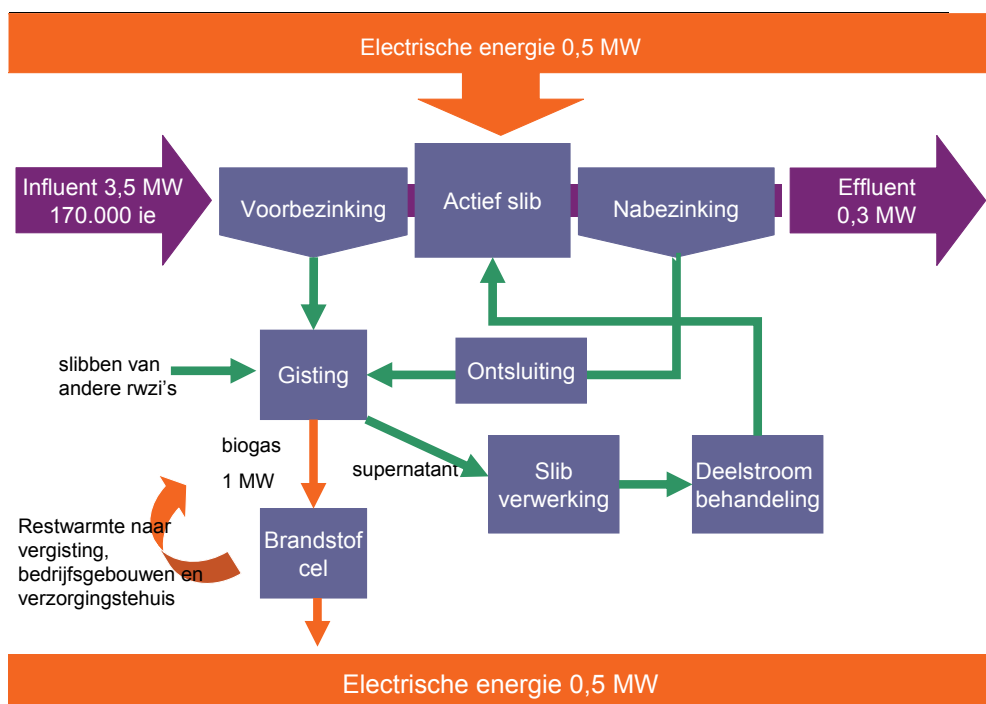


### 5.3.2 DE PLUSVARIANT

De plusvariant is een uitbreiding van de basisvariant. Er wordt gewerkt met een brandstofcel in plaats van een WKK installatie. Deze heeft een hoger rendement (50-60%) dan de WKK installatie. Verder wordt in deze variant het spuislib ontsloten waardoor meer biogas vrijkomt.

FIGUUR 5.3

PLUSVARIANT RWZI LEEUWARDEN (GETALLEN ZIJN INDICATIEF)



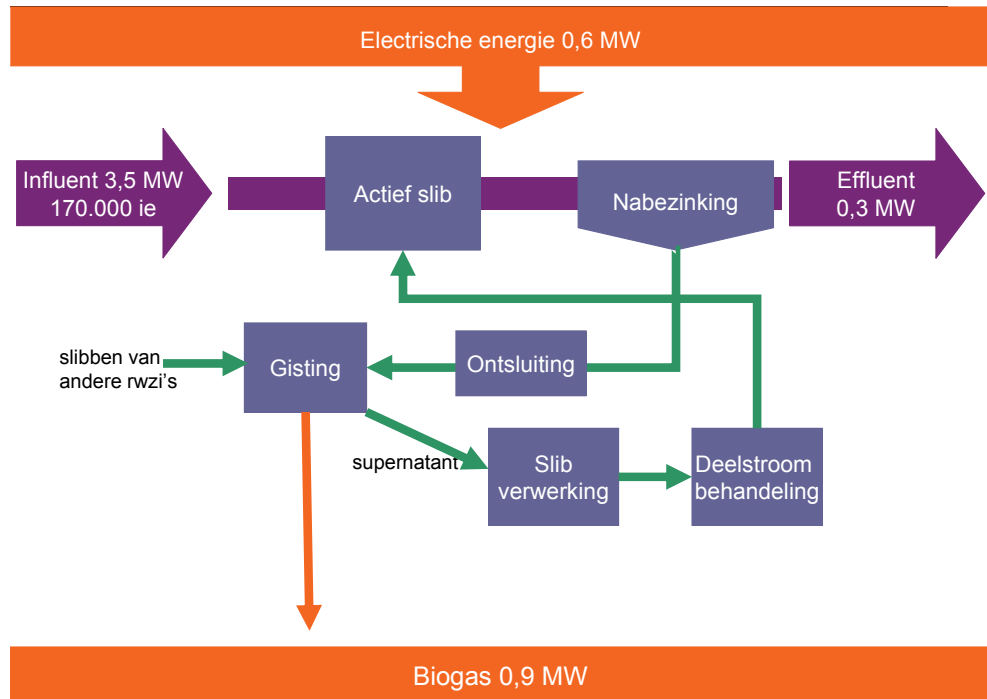
De rwzi is energieneutraal in deze plusvariant. Hierbij is de benutting van thermische energie buiten beschouwing gelaten. Deze variant is weer iets ingrijpender dan de basisvariant en kent dezelfde nadelen.

### 5.3.3 GEOPTIMALISEERDE PLUSVARIANT

Voor de situatie in Leeuwarden lijkt een geoptimaliseerde plusvariant beter inpasbaar. In deze variant vervalt de voorbezinking. Daarnaast is het in Leeuwarden een optie om biogas direct te gaan benutten. De brandstofcel zou daarmee kunnen vervallen.

FIGUUR 5.4

GEOPTIMALISEERDE PLUSVARIANT RWZI LEEUWARDEN (GETALLEN ZIJN INDICATIEF)



Met deze geoptimaliseerde plusvariant gaat de rwzi energie leveren in plaats van energie consumeren. De opbrengst bij volledige benutting van het vrijkomende biogas is ongeveer 0,3 MW of 2,5 miljoen kWh (800 huishoudens, 46 kWh/vervuilingseenheid).

#### SAMENVATTEND

Uit de vorige varianten blijkt dat de energieopwekking uit het afvalwater in Leeuwarden geoptimaliseerd kan worden. Hierna is een samenvatting van de omvang en de soorten van de opgewekte energie.

Het energieverbruik van de overige delen zoals berekend in hoofdstuk 3 is hieraan toegevoegd om het totale energieverbruik van de waterketen volgens de verschillende varianten in beeld te brengen.

TABEL 5.1 ENERGIEVERBRUIK DE RWZI ALS ENERGIFABRIEK

Onderdeel	Bestaande situatie kWh/ vervuilings eenheid	Basisvariant kWh/ vervuilingseenheid	Plusvariant kWh/ vervuilings eenheid	Geoptimaliseerde plusvariant kWh/vervuilings eenheid
Energieverbruik overige delen Waterketen	37	37	37	37
Energieverbruik rwzi	35	25	25	31
Opgewekt biogas	-33	-51	-51	-46
Omgezet naar elektriciteit	-10	-17	-25	0 (direct gebruik biogas)
Totaal	62	45	37	22

Bij de geoptimaliseerde plusvariant zal een deel van het biogas moeten worden gebruikt voor het opwarmen van de gisting en is er geen restwarmte beschikbaar van de WKK-installatie.

## 5.4 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. Meestal wordt in dit concept de centrale rwzi vervuurd voor een decentrale afvalwaterbehandeling.

Op verschillende plaatsen in Nederland wordt ervaring opgedaan met nieuwe sanitatie. Voor deze mastercase wordt uitgegaan van de wijze waarop in Sneek nieuwe sanitatie wordt toegepast. In Sneek bestaat ervaring in de praktijk met enkele tientallen woningen. Er wordt op kleine schaal onderzoek gedaan met gescheiden inzameling van zwartwater (toiletten) en vergisting.

### 5.4.1 BELANGRIJKE KENMERKEN VAN NIEUWE SANITATIE

De belangrijkste kenmerken en effecten van nieuwe sanitatie in de waterketen zijn als volgt:

- Bij het inzamelen van zwart water wordt minder water gebruikt, de waterbesparing is ongeveer 25 % voor het huishoudelijk gebruik
- Bij het inzamelen van zwartwater wordt gebruik gemaakt van vacuümtoiletten en leidingen waarin onderdruk heerst. Het creëren van deze onderdruk kost energie
- Het zwartwater wordt vergist (uasb) en nabehandeld. Bij het vergisten van het zwartwater komt biogas vrij. Dit wordt benut voor energieopwekking. Verder wordt het restant vloeistoffen (supernatant) behandeld in een anammox installatie (biologisch nitrificatie en denitrificatie) en met chemische defosfatering
- Het grijze water (van douches, wasmachines, et cetera) wordt apart behandeld. Er wordt uitgegaan van het plaatsen van biorotoren (lokaal)

### 5.4.2 ENERGIEHUISHOUDING WATERKETEN BIJ NIEUWE SANITATIE

Hierna wordt uitgegaan van de hypothetische situatie dat heel Leeuwarden wordt ingericht volgens dit nieuwe sanitatie concept. Het bedrijfsafvalwater wordt samen met het zwartwater behandeld in de vergistinginstallatie (UASB) In de tabel zijn de effecten op de energiebalans van de waterketen weergegeven.



TABEL 5.2 ENERGIEVERBRUIK IN DE VERSCHILLENDE DELEN VAN DE WATERKETEN BIJ NIEUWE SANITATIE

Onderdeel	Conventioneel kWh/vervuilings eenheid	Nieuwe sanitatie kWh/vervuilings eenheid	Toelichting
Drinkwater	25	20	Waterbesparingeffect ca 25%
Distributie	2	1,6	Waterbesparingeffect ca 25%
Inzameling	2	13	Vacuüinstallatie bron: eigen onderzoek van Tauw
Transport	8	5	Minder afvalwater Behandeling grijs water in de wijk
<b>Zuivering</b>			
Aërobe behandeling en vergisting	35		Conform berekening MIMOSA hfdst 3
Grijs water behandeling		2,7	Uitgangspunt: 2 kWh per kg BZV verwijderd
UASB zwart water en industrieel afvalwater		5	[lit 6]
Annamox		5	Uitgangspunt: 1 kWh per kg N [lit 5]
Opgewekte biogas	-33	-46	
Omgezet naar elektriciteit via WKK	-10	- 18,4	Uitgangspunt is een toename van de biogasproductie met 40 % en een rendement van 40 % in de WKK installatie
<b>Totaal</b>	<b>62</b>	<b>34</b>	

Hieruit blijkt dat het concept 'nieuwe sanitatie', het energieverbruik in de waterketen kan halveren.

Opgemerkt wordt dat het voor Leeuwarden moeilijk is om de biogasopbrengst goed te voorspellen. Invloed van de industriële lozing is onzeker. Bij de uitvoering van de mastercase is naar voren gekomen dat een deel van de industriële lozing ook anaeroob behandeld zou kunnen worden in een UASB installatie. Dit levert een extra bijdrage aan de productie van biogas. De omvang van deze extra bijdrage is onzeker.

## 5.5 BESPREKING EN CONCLUSIES

In organische stoffen in het afvalwater is energie opgeslagen. Deze energie wordt nu slechts ten dele benut (vergisting van het zuiveringsslib). Er zijn twee sporen beschouwd om de energieopbrengst te vergroten. Ten eerste is met behulp van het project "de energiefabriek" gekeken naar het vrijmaken van een grotere hoeveelheid energie uit het zuiveringsslib. Met deze aanpak lijkt het mogelijk om een energieoverschot te creëren in de afvalwaterketen. Uitgangspunt is hierbij het vergroten en volledig benutten van de biogasopbrengst. Hier zijn echter nieuwe technieken voor nodig (CAMBO) waarvan de haalbaarheid en de opbrengst niet vaststaat. Als het biogas met de brandstofcel wordt omgezet in elektrische energie dan vermindert het energiegebruik van de waterketen met 40 %. Deze techniek is echter niet gangbaar voor de behandeling van gistingsgas op rwzi's.

Volgens het beschouwde concept (zwart water inzameling, Sneek-aanpak) levert dit een aanzienlijke reductie van het energiegebruik van de waterketen op, namelijk 45 % (op basis van omzetting van biogas in een conventionele WKK-installatie). Het toepassen van nieuwe sanitatie voor Leeuwarden vergt zeer ingrijpende aanpassing van de infrastructuur. Invoering van dit concept op grote schaal zal vele decennia vergen.

Uit bovenstaande kunnen we het volgende concluderen:

1. Het energiegebruik voor het zuiveren van afvalwater kan worden verlaagd. Een randvoorwaarde is wel dat minder gangbare technieken worden gebruikt voor het vergroten van de biogasopbrengst bij de vergisting van zuiveringsslib en het vergroten de energieopbrengst van het biogas
2. Conform de uitgangspunten van “De rwzi als energiefabriek”, blijkt dat bij volledige benutting van het biogas de energieopbrengst door vergisting het verbruik van energie door de rwzi kan evenaren
3. Door het toepassen van “nieuwe sanitatie” in de stad Leeuwarden kan het energieverbruik van de waterketen halveren. Daarnaast heeft dit concept effect op de besparing van drinkwater en levering van mest. Het gaat hier om een grootschalige ingreep, vooral als het toegepast wordt in bestaand gebied

# 6

## KANSEN VOOR ENERGIE IN DE WATERKETEN

In de voorgaande hoofdstukken zijn drie verschillende soorten energie in de waterketen in beeld gebracht. Daarnaast zijn we verder ingegaan op de haalbaarheid van besparingen, recycling of opwekking van duurzame energie. In dit hoofdstuk zetten we de uitkomsten naast elkaar om de potentie voor de verduurzaming van de waterketen te beschouwen.

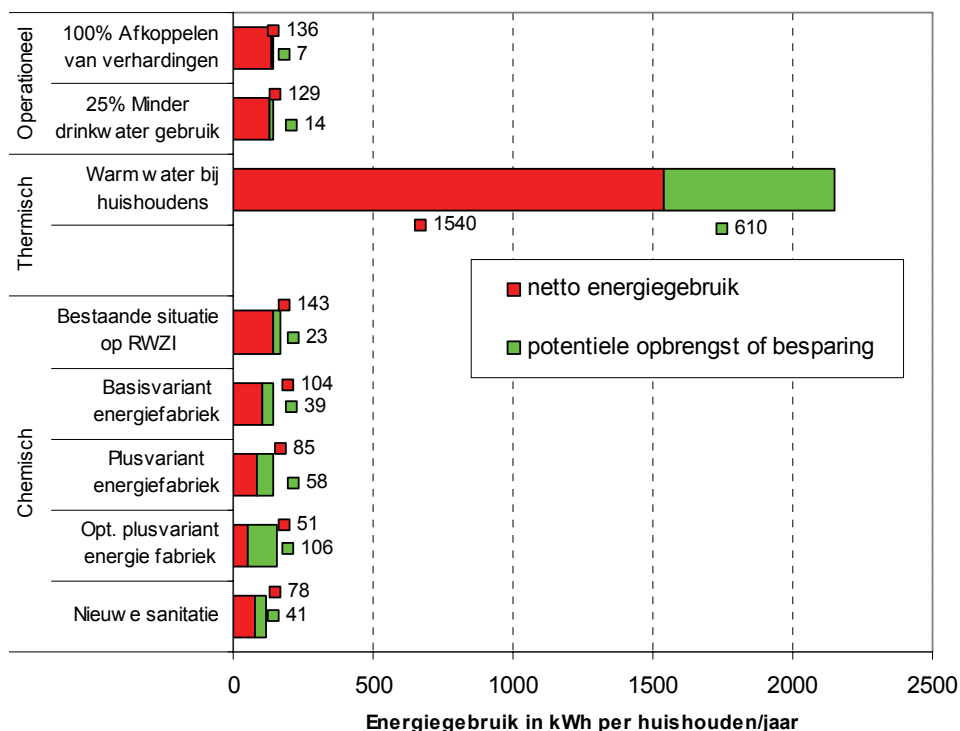
### 6.1 DE OMVANG EN DE POTENTIE

Bij deze mastercase is ingegaan op verschillende mogelijkheden om minder energie te gebruiken en meer energie te winnen. Voor de energie die de partijen in de waterketen van Leeuwarden zelf gebruiken geldt dat van grondwaterwinning tot afvalwaterlozing sprake is van energiegebruik. Van winning van energie is pas sprake als het zuiveringsslib wordt verwerkt. Waterbesparing is de belangrijkste mogelijkheid voor het verlagen van het energiegebruik in het begin van de waterketen. Aan het einde van de waterketen kan door middel van vergisting energie worden opgewekt.

De belangrijkste mogelijkheden voor energiebesparing in de waterketen liggen niet bij de waterketenbedrijven aan de uiteinden van de keten, maar bij de huishoudens of bij locaties waar veel warm water wordt gebruikt. Bij huishoudens wordt veel thermische energie aan het afvalwater toegevoegd die nu nog direct wordt geloosd. Het is mogelijk om met een relatief eenvoudige techniek als een douchewarmtewisselaar een belangrijk deel van deze energie terug te winnen. Deze wijze van energiebesparing ligt met name bij de huishoudens. Waterketenpartijen hebben hier maar een beperkte invloed op. De effecten van deze wijze van energiebesparing op de zuivering van afvalwater verdienen de aandacht.

FIGUUR 6.1

KANSEN VOOR TERUGWINNING/ENERGIEREDUCTIE IN DE WATERKETEN



## 6.2 KANSEN VOOR DE THERMISCHE ENERGIE

De thermische energie in de waterketen lijkt door aantal redenen een veel belovende insteek voor besparing van energie in de waterketen. Deze redenen zijn als volgt te verklaren:

1. De omvang van de in huishoudens gebruikte thermische energie is in vergelijking met het operationele energieverbruik en de chemische energie zeer omvangrijk. Daarmee is de kans groter om daaruit meer energie terug te winnen
2. De thermische energie is via een relatief eenvoudige techniek terug te winnen
3. De terug te winnen thermische energie kan in de vele huishoudelijke activiteiten die gebruik maken van warm water hergebruikt worden
4. De benodigde techniek voor het terugwinnen van energie is relatief eenvoudig en goedkoop

# 7

## AANBEVELINGEN

### 7.1 TER VERFIJNING VAN DE RESULTATEN

De mastercase energie in de waterketen Leeuwarden laat zien dat het aspect energie in de waterketen nader ontwikkeld kan worden.

De mastercase Leeuwarden is geslaagd met het aanwijzen van de meest opportune mogelijkheden voor de verduurzaming van de waterketen op energieaspecten. Ook zijn de witte vlekken duidelijk aan bod gekomen. Om deze mogelijkheden nader te verdiepen worden de volgende acties aanbevolen:

#### METEN AAN DE WATERKETEN

- Het meten van temperatuur van water in diverse delen van de waterketen, gecombineerd met het meten van de effecten van energiebesparende maatregelen zoals warmtewisselaars in de waterketen
- Het meten van het effect van regenwater en parasitaire waterstromen op de temperatuur van het influent en het zuiveringsrendement. Aanbevolen is om te meten op rwzi's waarvan bekend is dat veel of juist weinig parasitaire waterstromen in het afvalwater bevinden, bijvoorbeeld: rwzi Leeuwarden (veel) en rwzi Bennekom (bijna nihil)

#### ONDERZOEK

- Het onderzoeken van de meest optimale locaties voor de terugwinning van thermische energie, rekening houdend met onder andere bouw, beheer en onderhoud aspecten
- Uitvoeren van pilots voor optimalisatiestudies van de waterketen, met inbegrip van optimalisatie op energieaspecten van de waterketen
- Verkenning van de gevolgen van het leveren van warmer drinkwater op de energiehuishouding voor de gehele waterketen, op gezondheidsrisico's en op acceptatie
- Onderzoeken van de energiehuishouding van (sub)waterketen van industrieën. Daarmee kan hergebruik van water, energie en biogas beter in beeld worden gebracht

#### VERWANTE BELEIDSTERREINEN

De verduurzaming van de waterketen is een beleidsoverweging die vervlochten is met andere beleidsterreinen, zoals:

- De bouwsector en de ruimtelijke inrichting van de moderne stad
- De wenselijkheid van de centrale of decentrale waterketen
- De haalbaarheid en de rol van verschillende partijen bij besparingen in water en energie en productie van mest uit het afvalwater
- De cultuuromslag/draagvlak bij vernieuwende waterketens

Het verkennen van deze aspecten in relatie tot de verduurzaming van de waterketen op energieaspecten is aan te bevelen. Daarnaast dient er een verdieping plaats te vinden in de verhouding: probleemhouder, probleem oplosser en de daaruit vloeiende verhouding in de kosten toedeling van maatregelen.

## **7.2 AANBEVELING VOOR TOEKOMSTIGE ONTWIKKELING**

De kansen voor benutting van de (thermische) energie kunnen een belangrijke rol spelen in verschillende beleidsvelden en samenwerkingstrajecten.

### **DE EVOLUTIE VAN DE WATERKETEN; VISIE VAN VROM**

In dit voorjaar is door VROM de nota Verbindend water gepresenteerd. Hiermee wordt beoogd een impuls te geven aan de ontwikkeling van een duurzamere waterketen. De case study Leeuwarden is een concrete stap in de evolutie van de waterketen zoals die in de nota bepleit wordt. Echter wordt hier niet zover gegaan tot het totaal omvormen van de huidige infrastructuur van de waterketen. Door deze studie wordt het laagst hangende fruit in de huidige infrastructuur gesignaleerd. Om nader te komen tot de ideale duurzame waterketen is het van belang om het proces van de omschakeling naar de toekomstige waterketen in kaart te brengen. Daarbij dient rekening te worden gehouden met belangrijke peilers zoals: noodzaak, draagvlak, momentum, levenscyclus van bestaande infra, techniek etcetera. Het concept 'Interactieve uitvoering' leent zich prima voor om een soepele, harmonieuze en verantwoorde omschakeling van de waterketen te realiseren. Dat betekent dat een rangschikking van maatregelen voortdurend wordt bijgesteld om de maatschappelijke acceptatie tegemoet te komen. Zo is het toepassen van een warmtewisselaar of nieuwe sanitatie in een nieuwbouwwijk vele malen makkelijker dan in een bestaande bouw. In het programma kunnen de kansen van de omschakeling in een tijdshorizon worden neergezet en de meest opportune momentum voor belangrijke maatregelen gedefinieerd. Denk bijvoorbeeld aan de leeftijd van het rioolstelsel, de gemiddelde periode voor het bewonen van een huis, onderhoudsprogramma van woningbouwverenigingen et cetera.

### **DE MJA3 VOOR DE AFVALWATERSECTOR**

Het behalen van deze afspraken worden op dit moment gezocht op het gebied van nieuwe zuiveringstechnieken (c.q. Nereda), verbetering van huidige technieken (o.a. beluchting) en vergisting van slib. Gelet op de kansen voor thermische energie, is het wellicht de moeite waard om de aandacht ook te richten op het rioolstelsel en de huisaansluitingen. Dat vergt een nauwe samenwerking tussen gemeenten en waterschappen om die kansen doordacht te verzilveren.

### **NIEUWE BOUWCONCEPTEN**

De kansen voor terugwinning van onder andere de thermische energie en chemische energie, stellen onze samenleving voor de vraag over de benutting hiervan. Binnen het huishouden zijn er diverse mogelijkheden om het warme water te benutten. In ander gevallen zoals op straatniveau, wijkniveau, bij industrieën, afvalvergisters, rwzi's, et cetera kan gedacht worden aan andere concepten en configuraties. Bijvoorbeeld bij een aanwezigheid van een stadsverwarming kan die warmte goed van pas komen. Het combineren met koude-warmte opslag biedt mogelijkheden voor een collectieve opslag van de teruggewonnen thermische energie.

Voor een nieuwe stad stelt de energiehuishouding eisen aan de ruimtelijke inrichting. Hierin moet niet alleen rekening gehouden worden met zuinig energiegebruik, terugwinning van energie, et.cetera, maar dient ook in het ontwerp rekening gehouden te worden met de benodigde infrastructuur om de energievraag aan het energieaanbod op verschillende niveau's te koppelen.

# 8

## LITERATUUR

- 1 MIMOSA, Milieu Indicatie Model voor Optimalisatie en Samenwerking in de Waterketen, Tauw, STOWA, Vewin, KIWA, RWS, december 2003, J. Kluck (Tauw), T. Flameling (Tauw), D.K. Voorhoeve Zeegers (Kiwa), E.C.M. van Doornum (Kiwa)
- 2 Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's, STOWA Utrecht 2006, P.J. Tessel (Tauw) en P.P. van der Pijl (Tauw)
- 3 Op weg naar een klimaatneutrale waterketen, KWR, STOWA, RWS, RIONED, Utrecht 2008, Jos Frijns (KWR), M. Mulder (Grontmij), J. Roorda (Grontmij)
- 4 Verbindend water
- 5 sharon-anammox-systemen, Evaluatie van rejectiewaterbehandeling op slibverwerkingsbedrijf sluisjesdijk STOWA 2008 ISBN 978.90.5773.416.8
- 6 Treatment of concentrated black water on pilot scale: options and challenges. Meulman et al.



**BIJLAGE 1**

# HET REKENMODEL MIMOSA

**MIMOSA IN EEN NOTENDOP**

MIMOSA (Milieu Indicatie Model voor Optimalisatie en Samenwerking in de Waterketen) is een beslissingondersteunend model voor de hele waterketen. Maatregelen kunnen hiermee worden geprioriteerd op basis van milieuaspecten (stoffenstromen, energie, gebruikte stoffen bij zuiveringsprocessen, directe emissie naar lucht, water op straat,...et cetera) en kosten (financiële indicatoren). Het is een instrument dat, mede door het kwantitatieve karakter, helpt om beslissingen over verschillende ketenvarianten (centrale rwzi versus kleinschalige rwzi's, verschillende bronnen drinkwater,..et cetera) te ondersteunen.

**HET DOEL VAN MIMOSA**

In het kort kan gesteld worden dat MIMOSA:

- Maakt ketenbreed verkenningen mogelijk:
  - Spoort trends op
  - Is lokaal en regionaal toepasbaar
- Maatregelen in de waterketen te beoordelen op basis van milieuaspecten (te meten met milieuprestatie-indicatoren) en kosten
- Verschafft een gevoel voor verhoudingen binnen de waterketen:
  - Maakt complexe vraagstukken kwantitatief inzichtelijk
  - Dwingt gebruikers om plannen concreet te maken en experts hierbij te raadplegen
  - Bevordert samenwerking in de waterketen doordat het gezamenlijk ingevuld moet worden
  - De maatregelen te treffen die de meeste milieuwinst opleveren voor de waterketen als geheel
- Levert mogelijk input om sectorale benchmarks te integreren tot een benchmark voor de gehele waterketen

Het model is door Tauw en KIWA ontwikkeld in opdracht van STOWA, RIZA en VEWIN. Het model is met succes toegepast in gemeente Oostzaan en bij het toetsen van de effecten van ontharding in Limburg.

**DE ONDERDELEN VAN DE WATERKETEN**

Voor aantal onderdelen van de waterketen kan MIMOSA belangrijke milieu- en operationele aspecten inzichtelijk maken. Het gaat hier over het volgende:

Onderdelen van de waterketen	Milieu en operationele aspecten
Drinkwatervoorbereiding	Kosten
Distributie	Klimaat (Broeikasgassen, Energie)
Inzameling van afvalwater en regenwater	Stofstromen (Gebruik chemicaliën, Emissies)
Transport van afvalwater vanaf de aansluitpunt van het waterschap	Warmte
Het zuiveren van het afvalwater	Verstoring (Ruimte, Geluid)
	Waterlast (Verdroging, Grondwateroverlast, Water op straat, Waterkwaliteit)

Momenteel wordt het model verbeterd onder andere om het aspect warmtehuishouding op te nemen in de modelfunctionaliteit.

**MOGELIJKHEDEN VIA MIMOISA**

- Vergelijking van varianten, bijvoorbeeld:
  - Productielocaties
  - Drinkwater/industriewater
  - Centrale/decentrale zuivering
  - Waterbesparing
  - Type riolering
  - Afkoppelen
  - Riolvreemd water aanpakken
  - Effect beperken pompcapaciteiten VGS
  - Inspelen op beperkte transportcapaciteit