

stowa

THERMISCHE ENERGIE UIT AFVALWATER IN ZWOLLE



RAPPORT

2011
25

THERMISCHE ENERGIE UIT AFVALWATER IN ZWOLLE

RAPPORT

2011

25

ISBN 978.90.5773.532.5



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Jeroen Kluck
Joost van den Bulk
Tony Flaming
Harry de Brauw

PROJECTLEIDER

Rada Sukkar

UITVOERING MEET- EN INSPECTIEWERK

Rob Ligtenberg
Tom ten Zijthof

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Mark Heideveld, gemeente Zwolle
Henk Drost, Waterschap Groot Salland
Heleen Pinkse, Waterschap Groot Salland
Arné Boswinkel, AgentschapNL
Ton Beenen, RIONED
Bert Palsma, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-25

ISBN 978.90.5773.532.5

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

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

TEN GELEIDE

De waterschappen streven naar een duurzame energiehuishouding. Dit is onder andere aangegeven in de Meerjarenafspraken 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.

In de waterketen is het lozen op het riool van opgewarmd (drink)water door huishoudens, kantoren, fabrieken, sporthallen etc. veruit de grootste energie-post. Onderweg naar de RWZI koelt dit warme water vervolgens af.

Om na te gaan of en waar deze thermische energie kan worden benut is in de riolering in Zwolle gemeten aan de energie inhoud van het afvalwater.

Op deze manier is een beter inzicht ontstaan in het temperatuurverloop in de riolering. Met deze resultaten kunnen waterschappen en gemeenten hun ambities voor energiebesparing verder onderbouwen.

Wij wensen u veel leesplezier.

Amersfoort, september 2011

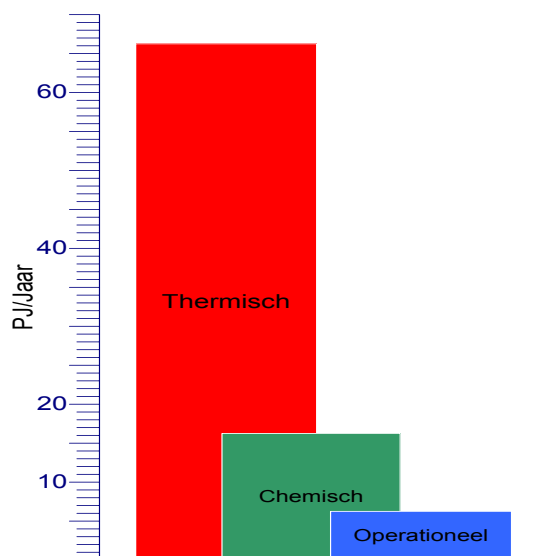
De directeur van de STOWA
Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

DE AANLEIDING EN DE DOELSTELLING VAN HET ONDERZOEK

Warmte is veruit de belangrijkste energievorm in onze samenleving. Het verwarmen van gebouwen en het gebruik van warm water in huishoudens en industrieën vormt circa 40 % van het totale energieverbruik. Dat is tweemaal de vraag naar elektriciteit. Een deel van deze warmte wordt gebruikt om water op te warmen. Dit warme water komt na gebruik in de riole- ring terecht. In figuur 1.1 staat de omvang weergegeven van de verschillende soorten energie in de waterketen; thermisch, chemisch en operationeel.

FIGUUR 1.1 DE OMVANG VAN DE BELANGRIJKSTE ENERGIESOORTEN IN DE WATERKETEN IN NEDERLAND



Energie wordt voor een groot deel opgewekt met behulp van fossiele brandstoffen en vormt hiermee een belangrijk aandeel in de uitstoot van broeikasgassen. Het terugdringen van het energiegebruik en het gebruik van duurzame energiebronnen draagt bij aan het verlagen van de uitstoot van broeikasgassen.

Dit onderzoek richt zich op de mogelijkheden tot terugwinning van warmte uit de (afval) waterketen door het meten van de van temperaturen in rioolwater. De terugwinning van warmte uit de afvalwaterketen zorgt ervoor dat besparingen gerealiseerd kunnen worden in het energieverbruik en de bijbehorende CO₂-emissies worden beperkt.

De haalbaarheid van de terugwinning van warmte uit afvalwater wordt in deze studie onderzocht aan de hand van de volgende drie onderzoeksvragen:

1. Hoe ziet de warmtehuishouding in de waterketen in de zuiveringskring Hessenpoort eruit en wat zijn de beste locaties voor terugwinning van warmte?
2. Wat zijn de mogelijke effecten van de terugwinning van warmte op het functioneren van een afvalwaterzuiveringsinstallatie (rwzi)?
3. Welke mogelijke technieken bestaan er voor de terugwinning van warmte uit de afvalwaterketen?

Deze studie is uitgevoerd door Tauw bv. Het waterschap Groot Salland, de gemeente Zwolle, Saxion, Stowa en Stichting RIONED hebben de studie begeleid en mede gefinancierd. Ook de provincie Overijssel en AgentschapNL hebben een financiële bijdrage geleverd.

HET MEETPROGRAMMA

In de zuiveringskring van de rwzi Hessenpoort te Zwolle, met ondermeer de jaren zeventig wijken Dieze Oost en Berkum en het bedrijventerrein Hessenpoort, zijn op 23 meetlocaties metingen uitgevoerd (druk, temperaturen) gedurende een periode van ruim een half jaar. Met de selectie van deze locaties is getracht om een representatief beeld te schetsen van de warmte in het rioolstelsel onder verschillende omstandigheden en op verschillende locaties. Zo is bijvoorbeeld gemeten in de buurt van een verpleeghuis, industrieterrein Lombok, een kantorencomplex en een sportvereniging. Daarnaast waren er meetpunten in drie typen rioolstelsels: het gemengd rioolstelsel, het regenwaterstelsel en het verbeterd gescheiden stelsel. Op de rwzi Hessenpoort zijn de temperaturen van het influent, het effluent, de buitenlucht en de omvang van de neerslag gemeten. Gegevens over de grondwatertemperatuur zijn door het waterschap beschikbaar gesteld. De debieten op de rioolgemalen zijn ruw geschat aan de hand van de draaiuren van de pompen. Op de andere meetpunten zijn de debieten globaal geschat aan de hand van inwonersaantallen en kengetallen voor watergebruik.

DE RESULTATEN

Voor het jaar 2010, gekenmerkt met haar strenge winter, zijn gemiddelde temperaturen gemeten in het rioolstelsel van 6,6 °C tot 8,3 °C in de winter en 16,4°C tot 19,4°C in de zomer. De influenttemperatuur was in de winter: tussen 5,7 en 8,2 °C en in de zomer: tussen 17,5 en 20,9°C. De gemeten temperaturen in de winter zakten nauwelijks onder de grondwatertemperatuur zakken. Dat doet vermoeden dat het grondwater een belangrijke rol speelt in het bufferen van de temperatuur van het afvalwater en de invloed van de buitenlucht gering is. Het afvalwater van verbeterd gescheiden stelsels, het verzorgingshuis en van industrieterrein Lombok is relatief warmer dan bij overige meetpunten. Ook direct bij de lozing van huishoudens is het afvalwater warm. Bij een kleine lozing koelt het afvalwater snel binnen een afstand van 100 m. Bij grotere debieten is een afkoeling geconstateerd tussen 0,4 en 0,9 °C binnen een afstand van 600 m in een vrijverval riool.

DE BESTE LOCATIES VOOR DE TERUGWINNING VAN WARMTE

De best mogelijke locatie voor de terugwinning van energie uit de afvalwaterketen is die waar het hoogste debiet en de hoogste temperatuur gevonden worden. Uit de meetresultaten mag geconcludeerd worden dat de beste locaties voor het terugwinnen van warmte uit rioolstelsels zijn:

- Direct bij de lozingen van warm water voordat het water afkoelt en energie naar de omgeving kwijtraakt
- Op locaties waar grote debieten worden afgevoerd; voor dit onderzoek zijn dit o.a.: het effluent, de gemalen Berkum en Dieze-Oost en het industrieterrein Lombok

Voor huishoudens is de douchewarmtewisselaar een voorbeeld van een effectief middel. Door de warmte direct uit het douchewater terug te winnen en dit te gebruiken om nieuw douchewater voor te verwarmen kan het gasverbruik voor de verwarming van douchewater flink gereduceerd worden. Dit principe geldt ook voor de directe terugwinning van warmte uit het afvalwater van ziekenhuizen, zwembaden, hotels, verzorgingshuizen en andere gebouwen met hoge warm waterverbruik. De warmte wordt in dit geval teruggewonnen uit het afvalwater door een opvangtank met warmtewisselaar te laten lopen alvorens het op het riool te lozen.

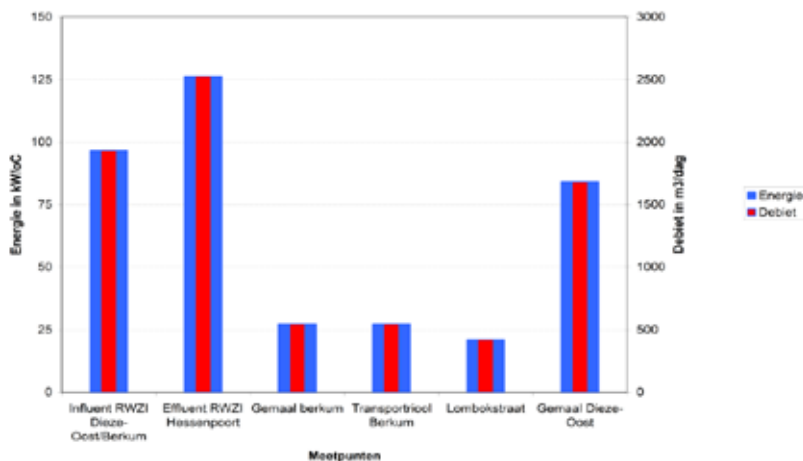
DE OMVANG VAN DE BESCHIKBARE ENERGIE

Aan de hand van de gemeten temperaturen en het bijbehorende debiet is de hoeveelheid beschikbare energie op de verschillende meetpunten ingeschat. Figuur 1.2 toont de hoeveelheid warmte die beschikbaar is (in kW per graad Celcius afkoeling) bij het gemeten gemiddelde debiet op enkele meetpunten in dit onderzoek. Het onttrekken van meerdere graden is mogelijk mits het effect van de onttrekking op de temperatuur van het influent beperkt blijft. Dat is het geval bij voldoende afstand tussen de onttrekking en de rwzi.

Zo is het effluent de grootste bron van energie met 125 kW per graad Celcius. Ter vergelijking; een huishouden gebruikt gemiddeld 2 kW voor verwarming en warm water (in de winterperiode wordt 5 kW energievermogen per huishouden gehanteerd). Uitgaande hiervan kan gesteld worden dat bijvoorbeeld het gemaal Dieze-Oost (80 kW) beschikt over voldoende energie voor 16 huishoudens per graad afkoeling. Bij terugwinning van 5 graden (80X5) is de beschikbare energie uit rioolstelsels net zo groot als de benodigde energie (verwarming en warm water) voor 80 huishoudens. Bij de onttrekking van warmte uit rioolstelsels moet rekening worden gehouden met de benodigde elektriciteit voor het aandrijven van een warmtepomp. Een dergelijke pomp is nodig voor het verhogen van de warmte tot het gewenste niveau. Bij een COP van 4 is de benodigde elektriciteit (voor het verkrijgen van 80 kW uit rioolstelsel) circa 20 kW. De teruggewonnen warmte kan ook ingezet worden in een zwembad, industrie, warmte- koude opslag (WKO) of bij het drogen van slib.

De energetische en financiële haalbaarheid van een dergelijk project is afhankelijk van meerdere factoren zoals: de omvang van de vraag, de aanwezigheid van warmte- en koudeopslag, de vraag naar koude, et cetera. Intensieve bebouwing, zoals flatgebouwen, heeft een intensieve vraag naar warmte en/of koude. Deze intensiteit werkt verlagend op de kosten van de benodigde installaties.

FIGUUR 1.2 THERMISCHE ENERGIE OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN



HET EFFECT OP DE RWZI

Door op grote schaal warmte terug te winnen uit afvalwater, zal het afvalwater afkoelen. Mogelijk kan hierdoor een lage influenttemperatuur optreden. Dit kan schadelijk zijn voor het zuiveringsproces. Bij een voldoende afstand tussen de terugwinlocatie in het rioolstelsel en de rwzi kan dit effect vermeden worden. Vermoedelijk treedt, onder invloed van grondwater, een opwarmingproces op waardoor per saldo een beperkt effect overblijft.

Het terugwinnen van energie direct uit het influent ligt niet voor de hand. Door de ligging van de meeste rwzi's net buiten het bebouwde gebied zijn de afstanden tot de vraagzijde (bijvoorbeeld woningen) een nadelige punt. Daarnaast is het, in een dergelijke situatie, voor de hand liggend om het effluent te gebruiken in plaats van het influent omdat hiermee eventuele nadelige effecten op de rwzi worden uitgesloten.

De influent- en effluenttemperatuur in Hessenpoort is ca 7 °C in de winter en 20 °C in de zomer. De afkoeling/opwarming onderweg naar de rwzi speelt hier een belangrijke rol. In de rwzi is de temperatuur afhankelijk van de interactie met de omgeving en de geproduceerde energie in het zuiveringsproces door de omzetting van biologisch afbreekbare materialen. De thermische gevoeligheid van de rwzi Hessenpoort is verkend. Zo blijkt dat in de actief-slibtank warmte vrijkomt door het proces van omzetting van biologische vervuiling en inbreng van mechanische energie. Zonne-energie warmt het afvalwater in de actief-slibtank en de nabezinktank op met 0,3 tot 3 °C.

Een (theoretische) langdurige temperatuurdaling van één graad gedurende het gehele winterseizoen kan een extra nitraat emissie veroorzaken van 6,3 tot 7,4 mg/l N. Om dit negatieve effect te voorkomen zijn diverse maatregelen mogelijk, zoals het afdekken van de actief-slibtank en het beperken van de windinvloed.

AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek en de daaruit getrokken conclusies bevelen wij het volgende aan:

- De afvalwaterketen Hessenpoort beschikt over een groot potentieel aan thermische energie. Op meerdere locaties in de afvalwaterketen kan deze verloren energie teruggewonnen worden
- Het negatieve effect van de terugwinning van energie op het functioneren van de rwzi is beperkt bij terugwinning op voldoende afstand van de rwzi. Het bufferende effect van het grondwater speelt daarbij vermoedelijk een belangrijke rol
- Om de haalbaarheid van terugwinning van warmte uit de (afval)waterketen in de praktijk te demonstreren dienen enkele praktijkpilots te worden uitgevoerd
- Het verrichten van meerdere metingen onder verschillende omstandigheden is nodig om een meer representatief beeld te ontwikkelen van de warmtehuishouding in de Nederlandse (afval)waterketen
- Het inzicht in de energetische en financiële haalbaarheid van terugwinningprojecten dient te worden vergroot door meer inzicht te verkrijgen in het rendement van warmtepompen, de temperatuur van het afvalwater en de prijsontwikkeling van energie
- Het is aan te bevelen om een verkenning uit te voeren naar de mogelijke organisatorische vormen en de verdeling van verantwoordelijkheden bij terugwinningprojecten. Hiermee wordt voorkomen dat door het ontbreken aan regie negatieve invloeden op de waterketen kunnen optreden en misinvesteringen worden gepleegd.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

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

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

THERMISCHE ENERGIE UIT AFVALWATER IN ZWOLLE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Projectdoelen	1
	1.3 Leeswijzer	2
2	ACHTERGRONDINFORMATIE EN ERVARINGEN MET TERUGWINNEN VAN WARMTE UIT AFVALWATER	3
	2.1 Warmte in afvalwater	3
	2.2 Mogelijke locaties voor warmteterugwinning uit afvalwater	4
	2.3 Apparatuur voor warmtewinning uit afvalwater	4
	2.4 Kosten en baten van warmtewinning uit afvalwater	4
	2.5 Aandachtspunten bij warmtewinning uit afvalwater	4
3	MEETSTUDIE IN ZWOLLE	5
	3.1 Doelstelling en onderzoeksvragen	5
	3.2 Aanpak	5
	3.3 Meetlocaties, meetprincipes, neerslag en grondwater	5
	3.4 Temperatuurmetingen en bepaling van het debiet	8
	3.5 Verwerking van de meetdata	10
	3.6 Analyse van de gegevens	10
4	MEETGEGEVENS EN ANALYSE	11
	4.1 Meetresultaten over een periode van weken	11
	4.2 Meetresultaten over een periode van maanden	12
	4.3 De temperatuur van huishoudelijk afvalwater	15
	4.4 Afkoeling en menging van het afvalwater in het riool	15
	4.4.1 Effect van debiet op afkoeling en opwarming	18

4.5	De hoogste en de laagste gemeten temperaturen	19
4.6	Lozingspatronen, dagritme en de invloeden van externe gebeurtenissen	20
4.6.1	Dagritme	22
4.6.2	Invloed van neerslag en smeltwater	23
4.7	Relatie tussen gemalen, transportleiding en rwzi	23
4.8	Het temperatuurverloop van de bodem	24
4.9	Conclusies van de analyse	24
4.10	De thermische energie inhoud van het afvalwater op de verschillende locaties	25
5	THERMISCHE GEVOELIGHEID RWZI HESSENPOORT	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Modellering zuiveringsproces en warmte-effecten rwzi Hessenpoort	26
5.3	Zuiveringstechnische aspecten	27
5.4	Warmtebalans over de rwzi Hessenpoort	28
5.5	Doorberekening effect koude influent op rwzi Hessenpoort	32
5.5.1	Uitgangspunten berekening	32
5.6	Resultaten doorberekening Hessenpoort	34
5.7	Conclusies warmtebalans en warmteonttrekking rwzi Hessenpoort	34
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	36
6.1	De warmte huishouding in de afvalwaterketen Hessenpoort	36
6.2	De beste locaties voor de terugwinning van warmte	36
6.3	Het effect op de rwzi	37
6.4	Aanbevelingen	37
	LITERATUURLIJST	39
	BIJLAGEN	
1	ACHTERGROND EN ERVARINGEN	41
2	AANPAK	59
3	KAART MEETPUNTEN	63
4	BESCHRIJVING MEETPUNTEN	65
5	FIGUUR METINGEN EN GRONDWATER	71
6	KENTALLEN EN BEREKENING RWZI	73

1

INLEIDING

Thermische energie (warmte) uit de waterketen kan een belangrijke en duurzame bron van energie zijn. Deze bron wordt in Nederland nog niet veel gebruikt. Provincie Overijssel, STOWA, RIONED, Agentschap NL, waterschap Groot Salland, gemeente Zwolle en Tauw hebben in dit project de thermische energie op verschillende plaatsen in de afvalwaterketen in beeld gebracht om de potentie van deze bron in kaart te brengen.

1.1 ACHTERGROND

In huishoudens en bedrijven wordt veel energie gebruikt voor het opwarmen van water voor verschillende doeleinden. Het warme water wordt vervolgens via het rioolstelsel afgevoerd. In het riool koelt het af en wordt het gemengd met koudere waterstromen, zoals afstromend hemelwater en grondwater. De hoeveelheid thermische energie die op deze manier verloren gaat is zo groot dat het zeker de moeite waard is om de mogelijkheden voor terugwinning te onderzoeken. In het onderzoek “Mastercase energie in de waterketen” (STOWA rapport 2009-46), zijn de potentiële kansen voor terugwinning van thermische energie gesignaleerd. Het STOWA rapport “Energie in de waterketen” kwantificeert de thermische, chemische en operationele energie in de waterketen (STOWA rapport 2010-35).

In dit onderzoek is de thermische energie in de afvalwaterketen in Zwolle op verschillende plaatsen in kaart gebracht. Dit is gedaan door het verrichten van metingen in een tweetal wijken en op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi).

1.2 PROJECTDOELEN

Een belangrijke vereiste voor de terugwinning van warmte uit afvalwater is het verkennen van de omvang en de spreiding van die warmte (in tijd en ruimte) in het rioolstelsel en in het influent en het effluent van de rwzi. Deze gegevens zijn noodzakelijk om de haalbaarheid van de terugwinning van warmte uit de afvalwaterketen en de impact daarvan op het functioneren van de rwzi's in te schatten. Op basis van deze inzichten worden passende maatregelen ontwikkeld om de thermische energie bij huishoudens, industrieën, rioolstelsels en op de rwzi terug te winnen zonder schadelijke effecten voor het functioneren van de rwzi.

De verschillende doelen van dit onderzoek betreffen:

1. Inzichtelijk maken van de warmtehuishouding in de waterketen en het aanwijzen van de beste locaties voor terugwinning
2. Weergeven van de mogelijke effecten van de terugwinning van warmte op het functioneren van rwzi's
3. Beschrijven van de mogelijke technieken voor de terugwinning van warmte uit de afvalwaterketen

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 van dit onderzoek is algemene informatie over warmte in en warmteterugwinning uit het afvalwater op een rijtje gezet, aan de hand van bestaande informatie en ervaringen in het buitenland.

Hoofdstukken 3 beschrijft de onderzoeksmethodiek. Dit hoofdstuk omvat het meetplan, de aanpak en een beschrijving van de verschillende meetpunten. Hoofdstuk 4 betreft de analyse van de verzamelde meetgegevens. In hoofdstuk 5 wordt de thermische gevoeligheid van de rwzi Hessenpoort in beeld gebracht. In hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek beschreven.

2

ACHTERGRONDINFORMATIE EN ERVARINGEN MET TERUGWINNEN VAN WARMTE UIT AFVALWATER

In dit hoofdstuk is algemene informatie over warmte in en warmteterugwinning uit het afvalwater op een rijtje gezet, aan de hand van bestaande informatie en ervaring in het buitenland. In dit hoofdstuk staan de resultaten van dit onderzoek kort weergegeven. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar bijlage 1.

2.1 WARMTE IN AFVALWATER

De energie die voorkomt in de waterketen is in te delen in drie soorten: thermische energie, chemische energie en operationele energie. Het grootste deel van de energie in de waterketen is thermische energie; de warmte die aan het water wordt toegevoegd door huishoudens en bedrijven.

Bij het terugwinnen van warmte uit afvalwater wordt energie uit het afvalwater gehaald met een warmtewisselaar (WTW) en met behulp van een warmtepomp omgezet in bruikbare warmte met een hogere temperatuur. Dit is laagwaardige energie met beperkte toepassingsmogelijkheden, zoals de verwarming van panden. In Nederland bedraagt de vraag naar warmte circa 40 % van de totale energievraag (manifest stichting WarmteNetwerk naar aanleiding van een studie van CE Delft). Dit is meer dan het dubbele van de elektriciteitsvraag. Aan de vraag naar warmte kan deels worden voldaan met warmte uit afvalwater.

Na lozing uit een woning wordt de temperatuur van het afvalwater door verschillende factoren beïnvloed. Hierdoor wordt onderweg naar de rwzi de temperatuur van het afvalwater doorgaans verlaagd.

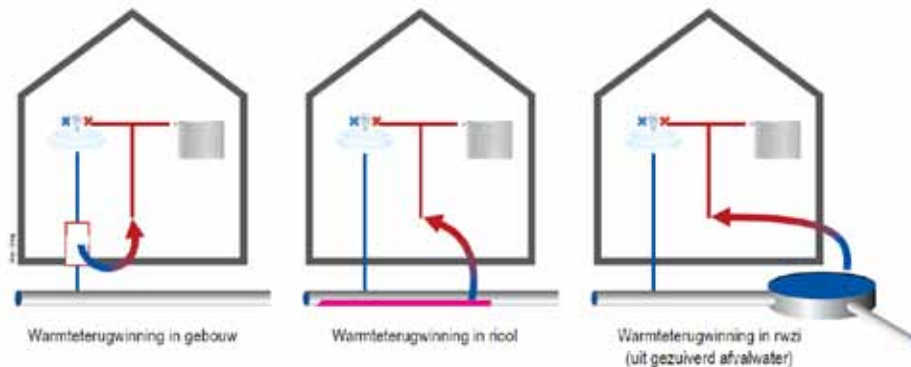
Hoe langer de verblijftijd in de riolering, hoe verder het afvalwater afkoelt. De minimumtemperatuur wordt door de omgeving bepaald. Deze minimumtemperatuur is sterk seizoensafhankelijk. Ook de afmeting van de riolering speelt een belangrijke rol bij de afkoeling van het afvalwater. De dikte van de wand en diameter van de buis zijn voor een groot deel bepalend voor de snelheid waarmee het afvalwater warmte verliest. Belangrijk is de afstand die het rioolwater moet afleggen tussen het lozingspunt en een mogelijke warmtewisselaar. De transportafstand bepaalt zodoende in grote mate de temperatuur van het afvalwater ter plaatse van het warmteterugwinpunt.

2.2 MOGELIJKE LOCATIES VOOR WARMTETERUGWINNING UIT AFVALWATER

Het terugwinnen van warmte uit afvalwater wordt in het algemeen op drie verschillende plaatsen mogelijk geacht: binnen de woning, in het riool en in het effluent van de rwzi. Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 2.1.

Het is van belang dat de warmte teruggewonnen wordt in de nabijheid van de plaats van de afzet. De warmteverliezen in de teruggevoerde warmtestromen blijven hierdoor beperkt en de benodigde infrastructuur zo gering mogelijk.

FIGUUR 2.1 DE MOGELIJKE LOCATIES VOOR DE TERUGWINNING VAN WARMTE UIT AFVALWATER (BRON: EAWAG)



2.3 APPARATUUR VOOR WARMTEWINNING UIT AFVALWATER

Voor het winnen van warmte uit water wordt gebruikt gemaakt van **warmtewisselaars**. Deze zorgen voor de overdracht van warmte en **warmtepompen** voor het verhogen van de temperatuur naar het gewenste niveau.

2.4 KOSTEN EN BATEN VAN WARMTEWINNING UIT AFVALWATER

De kosten en baten van warmteterugwinning uit afvalwater zijn afhankelijk van lokale factoren, zoals de warmtebehoefte van een woning. Voor het verhogen van de temperatuur in de terug te voeren stroom, wordt een warmtepomp ingezet. Het rendement van de warmtepomp is afhankelijk van de te realiseren verhoging van de temperatuur. Hoe hoger de gewenste temperatuur, des te lager het rendement van de warmtepomp. Om een hoog rendement te verkrijgen kan in de woning lage temperatuurverwarming worden toegepast. Meestal is dit in de vorm van vloerverwarming, waarmee de warmte gelijkmatig wordt afgegeven.

Door het gebruik van vloerverwarming en een warmte-koudeopslag systeem kan er ook in de zomerperiode vloerkoeling worden toegepast.

De koude wordt in die situatie aan het grondwater onttrokken. Het comfort bij deze vorm van koeling is veel hoger (en energiezuiniger) dan bij andere vormen van koeling.

2.5 AANDACHTSPUNTEN BIJ WARMTEWINNING UIT AFVALWATER

Uit de jarenlange praktijkervaring met warmteterugwinning uit afvalwater in Zwitserland komen twee belangrijke aandachtspunten naar voren waar rekening mee gehouden moet worden:

- De invloed van warmtewinning op het nitrificatieproces van de rwzi, vooral bij het plaatsen van warmtewisselaars vlakbij het influent
- Het verlies van efficiency van de warmtewisselaar door biofilmvorming op de wanden waardoor warmte wordt uitgewisseld

Voor beide aandachtspunten zijn er bruikbare oplossingen.

3

MEETSTUDIE IN ZWOLLE

In dit hoofdstuk wordt de warmtehuishouding op verschillende punten in de afvalwaterketen aan de hand van metingen in beeld gebracht. Om deze metingen uit te kunnen voeren zijn methodieken en meetapparatuur getest op hun betrouwbaarheid voor dit specifieke doel.

3.1 DOELSTELLING EN ONDERZOEKSVRAGEN

Doel van het meetprogramma was een antwoord te vinden op de volgende vragen:

1. Welke warmteprofielen voor de terugwinning van thermische energie zijn er in de afvalwaterketen in Nederland
2. Welke potenties voor de terugwinning van thermische energie zijn er in de afvalwaterketen in Nederland

Ad 1. Ten eerste was inzicht gewenst in de temperatuur van het afvalwater bij het verlaten van een woning, bij een verzameling van woningen, bij flats of bij een verzamelpunt van een wijk. Vervolgens was het belangrijk om inzicht te krijgen in de afname van de temperatuur van het afvalwater tijdens het transport richting de rwzi. Deze informatie kan inzicht geven in de mogelijke locatie bij de inzet van een (semicentrale) warmtewisselaar.

3.2 AANPAK

Het warme water dat vanuit woningen het riool in stroomt, zal onder invloed van de omgeving een temperatuurverandering ondergaan. De temperatuurveranderingen zijn afhankelijk van diverse factoren, zoals de temperatuur van de bodem, de lucht in het riool (buitenlucht), instromend regen- en grondwater en de afstanden die het afvalwater aflegt (c.q. verblijftijd). Om te bepalen op welke manier de temperatuur van het afvalwater zich door het jaar ontwikkelt is in het riool in twee wijken in Zwolle gemeten van januari tot en met juli 2010. Hiertoe zijn de temperatuur, de waterstand in de rioolbuizen, het debiet en de neerslag gemeten (deze aanpak is nader beschreven in bijlage 2).

Er is een inschatting gedaan van de omvang van de debieten op de verschillende meetpunten. Hiervoor is gebruik gemaakt van drinkwatergegevens van Vitens, het gemiddelde waterverbruik van Nederlanders (120 liter per persoon, per dag) en het gemiddeld aantal inwoners per huishouden.

3.3 MEETLOCATIES, MEETPRINCIPES, NEERSLAG EN GRONDWATER

In overleg met de gemeente Zwolle zijn er op 20 locaties metingen verricht (meetpunten, zie bijlage 3 en 4). Ook zijn er metingen verricht op rioolgemalen en de rwzi. De locaties van de meetpunten zijn weergegeven in figuur 3.1 (in bijlage 3 is een kaart op A3 formaat toegevoegd). In tabel 3.1 zijn de karakteristieken van de geselecteerde meetlocaties nader omschreven. Op basis van de in paragraaf 3.2 omschreven aanpak is er een inschatting gemaakt van de omvang van de debieten op de verschillende meetpunten.

De meetpunten liggen verspreid over het Zwolse rioolstelsel om zo veel mogelijk informatie te kunnen verzamelen over het verloop van de temperatuur in het stelsel. De volgende aspecten speelden een rol bij de bepaling van de meetpunten:

- Diversiteit van lozingen (woningen, flatgebouw, verzorgingstehuis, sporthal, et cetera)
- Ligging in het stelsel (begin, midden, eind, gemaal, et cetera)
- Omvang en lozingspatroon van de stroom afvalwater
- Type rioolstelsel (gemengd, gescheiden, persleiding)
- Ligging ten opzichte van het maaiveld
- Ligging ten opzichte van het grondwaterniveau
- Transportroute van het afvalwater

FIGUUR 3.1 LOCATIES VAN MEETPUNTEN IN ZWOLLE



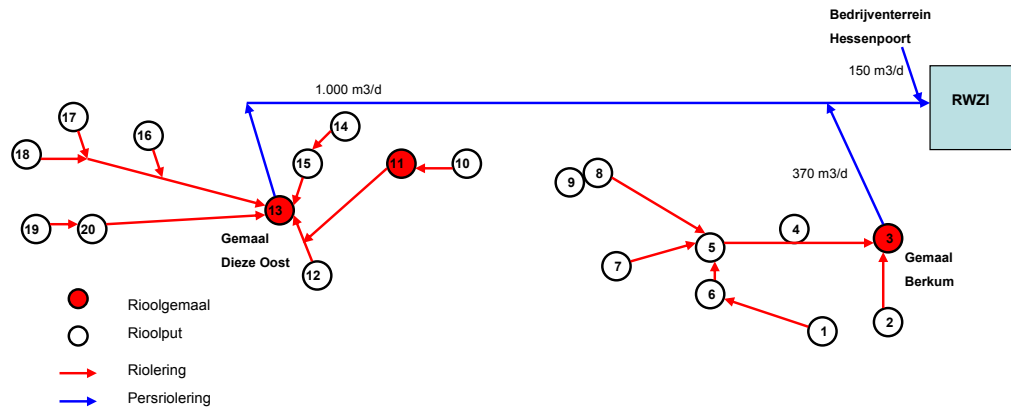
Tabel 3.1 geeft een overzicht van de geselecteerde meetlocaties met daarbij een aantal karakteristieken van deze locaties. In bijlage 4 is een specifiekere beschrijving van de meetlocaties opgenomen.

TABEL 3.1 OVERZICHT EN KARAKTERISTIEKEN VAN DE MEETLOCATIES

Meetlocatie	Aangesloten afvalwater	Diameter riool (mm)	Meetniveau beneden maaiveld (m)	Type rioolstelsel	Droog weerafvoer (m ³ /dag)
MP01	Villawijk Berkum	300	- 1,57	Gemengd	2
MP02	Woonwijk Maatgraven	250	-2,07	Verbeterd gescheiden, vuilwater	30
MP03	Gemaal Berkum			Gemengd	400
MP04	Transportriool (woonwijk Berkum)	400	- 2,41	Gemengd	370
MP05	Transportriool (woonwijk Berkum)	400	- 1,30	Gemengd	370
MP06	Woonwijk Berkum	300	- 0,87	Gemengd	10
MP07	Woonwijk Berkum	300	- 2,27	Gemengd	120
MP08	Kantorenterrein Berkum	250	- 2,39	Gescheiden, vuilwater	10
MP09	Kantorenterrein Berkum	250	- 1,62	Gescheiden, hemelwater	N.v.t.
MP10	Bedrijventerrein Vrolijkheid	300	- 2,93	Gemengd, instroom	10
MP11	Bedrijventerrein Vrolijkheid	160	nb	Gemengd, uitstroom	10
MP12	Flatgebouw en bedrijventerrein Lombokstraat	800 / 1.200	- 2,59	Gemengd	420
MP13	Gemaal Dieze-Oost			Gemengd	1.000
MP14	Flatgebouw Pieter Steynstraat	300	- 1,74	Gemengd	10
MP15	Flatgebouw Pieter Steynstraat	300	- 1,79	Gemengd	10
MP16	Verzorgingstehuis	700 / 1.050	- 2,26	Gemengd	85
MP18	Flatgebouw Hornstraat	250	- 1,35	Gemengd	3
MP19	Sporthal Stilo	300	- 1,37	Gemengd	Onbekend
MP20	Sporthal Stilo	300	- 1,50	Gemengd	Onbekend

Naast metingen in het rioolstelsel zijn ook op de rwzi Hessenpoort metingen verricht. Het influent van deze rwzi wordt aangevoerd door twee persleidingen, namelijk uit de wijken DiezeOost / Berkum en bedrijventerrein Hessenpoort. De inkomende persleidingen en het effluent zijn afzonderlijk bemeten. Op de verschillende meetpunten zijn 'divers' geïnstalleerd. Deze bevatten dataloggers die de temperatuur van het afvalwater en de druk meten. Door de druk op de bodem van de riolering (atmosferische druk + waterdruk) te corrigeren met de atmosferische druk is een indicatie te geven voor de waterhoogte in de riolering. De meetlocaties zijn schematisch weergegeven in figuur 3.2.

FIGUUR 3.2 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN MEETLOCATIES



MEETPUNT VOOR HUISHOUDELIJK AFVALWATER

Behalve voor de voorgenoemde meetpunten is er ook een meetpunt direct bij de lozing van het huishoudelijke afvalwater ingericht voor een korte periode. De desbetreffende woning beschikte over een douchewarmtewisselaar (wtw), die bestond uit een verticale dubbelwandige buis op de doucheafvoer. De wtw was circa 2 jaar in gebruik. Vanaf de wtw gaat het voorverwarmde water enerzijds naar de HR cv-combiketel en anderzijds naar de koude zijde van de douche.

Om de prestaties van de douche wtw te bepalen is het watergebruik en gasgebruik voor 10 minuten douchen gemeten. Eerst voor de situatie waarin het afvalwater van de douche niet langs de wtw stroomde en vervolgens voor de situatie waarbij dit water wel langs de douche stroomde.

NEERSLAG EN GRONDWATERSTAND

Om de invloed van neerslag inzichtelijk te maken zijn de neerslaggegevens van de regenmeter op de rwzi Hessenpoort geanalyseerd. Aan de hand van drie peilbuizen in de omgeving van het onderzoeksgebied is inzicht verkregen in de grondwaterstand en de temperatuur van het grondwater en de ondergrond. Als uitgangspunt voor de temperatuur van het grondwater is meetpunt 21GL0010 aangehouden. Deze lag op een diepte van ongeveer 2 meter beneden maaiveld (deze grondwaterstand komt het beste overeen met de positie van de rioleringsbuizen ten opzichte van het lokale maaiveld). Ook is de temperatuur van de buitenlucht gemeten.

3.4 TEMPERATUURMETINGEN EN BEPALING VAN HET DEBIET

TEMPERATUURMETINGEN

Voor het opslaan van meetgegevens over de temperatuur in het rioolstelsel is gebruik gemaakt van dataloggers. Fabrikant Schlumberger heeft de Mini-Diver geleverd, die naast temperatuur ook de druk meet. In figuur 3.3 is een Mini-Diver en de meetopstelling weergegeven. Mini-Divers slaan de meetwaarden op in een intern geheugen van 24.000 metingen (zowel druk als temperatuur). De starttijd en meetfrequentie kunnen met behulp van een uitleesunit via de computer manueel worden ingesteld.

Na twee weken zijn de dataloggers uitgelezen en opnieuw ingesteld voor een nieuwe meetperiode van twee weken. Na het vaststellen van de meetlocaties en wat er precies is gemeten, is het merendeel van de meetapparatuur op dinsdag 12 januari 2010 geïnstalleerd. Omdat er op dat moment nog veel sneeuw op het maaiveld aanwezig was, kon direct de invloed van

smeltwater op de temperatuur in het riool worden geanalyseerd. Het meten van deze effecten is gezien de looptijd van dit project een unieke kans geweest.

In de rioolput is een houten balk aangebracht (strak geklemd tussen twee putwanden). Op deze balk is een klem vastgeschroefd waarin een peilbuis kon worden vastgeklemd. De peilbuis is op maat gemaakt en bevatte aan de onderkant een uitsparing, zodat het rioolwater goed in contact kwam met de Mini-Diver. De dataloggers zijn vastgebonden aan een met plastic omhulde staaldraad. De staaldraad is aan de bovenzijde van de peilbuis bevestigd om te voorkomen dat de datalogger in het riool weg kon spoelen.

FIGUUR 3.3 MINI-DIVER (LINKS (BRON: SCHLUMBERGER)) EN MEETOPSTELLING (MIDDEN EN RECHTS)



DEBIETMETINGEN

Het meten van debieten in een rioolstelsel is een complex proces. Problemen met metingen in het rioolstelsel kunnen bijvoorbeeld ontstaan door:

- De discontinuïteit van de afvalwaterstroom
- De vervuiling in het rioolwater die voor blokkades zorgt door botsing met meetapparatuur en de opstelling
- Blokkades door vervuilingen die zorgen voor extra discontinuïteit

Om deze problemen zoveel mogelijk te vermijden heeft Tauw een test gedaan met een opstelling in Breda. Uitkomst van deze test was dat het veel inspanning vereist om de meetapparatuur veilig te installeren en vandalismebestendig te houden. Daarnaast moet de meetperiode zodanig ingepland worden dat een goed beeld gegeven wordt van de fluctuaties in het debiet. Over het algemeen is het dus een subtiel en tijdrovend proces gebleken dat niet vrij is van risico's.

In Zwolle is de droogweerafvoer van de rioolgemalen gebaseerd op de beschikbare debietmetingen. De droogweerafvoer van de meetlocaties is bepaald aan de hand van het aantal aangesloten woningen in het betreffende gebied, drinkwatergegevens van Vitens en het gemiddelde landelijk waterverbruik. Mogelijk zijn er in het projectgebied locaties waar grondwateronttrekkingen plaatsvinden, waarbij het grondwater vervolgens op de riolering geloosd wordt. Deze zijn moeilijk te achterhalen en daarom zijn ze in dit project buiten beschouwing gebleven.

3.5 VERWERKING VAN DE MEETDATA

De met de dataloggers verzamelde gegevens zijn verwerkt in databestanden. Deze databestanden bevatten een grote hoeveelheid meetgegevens met betrekking tot de temperatuur en druk van het afvalwater op de verschillende meetlocaties (temperatuur en druk per 5 minuten). De gemiddelde dagtemperatuur is bepaald, rekening houdend met de variatie in het debiet, zodat de temperatuur bij een groot debiet zwaarder meetelt dan de temperatuur bij een klein debiet.

3.6 ANALYSE VAN DE GEGEVENS

Aan de hand van de meetgegevens zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- De temperatuur en de druk op de verschillende meetlocaties
- De gemiddelde dag- en maandtemperatuur op de verschillende meetlocaties
- De temperatuurveranderingen die het afvalwater ondergaat in de riolering
- De effecten van dagritme en neerslag
- Het effect van de grondwatertemperatuur
- Vergelijking van de hoogste en laagste afvalwatertemperaturen
- Bepaling van de hoeveelheid warmte die op de verschillende meetlocaties gewonnen kan worden
- Bepaling van de beste locaties om warmteterugwinning toe te passen

De resultaten van de metingen en de analyses zijn gepresenteerd in hoofdstuk 4.

4

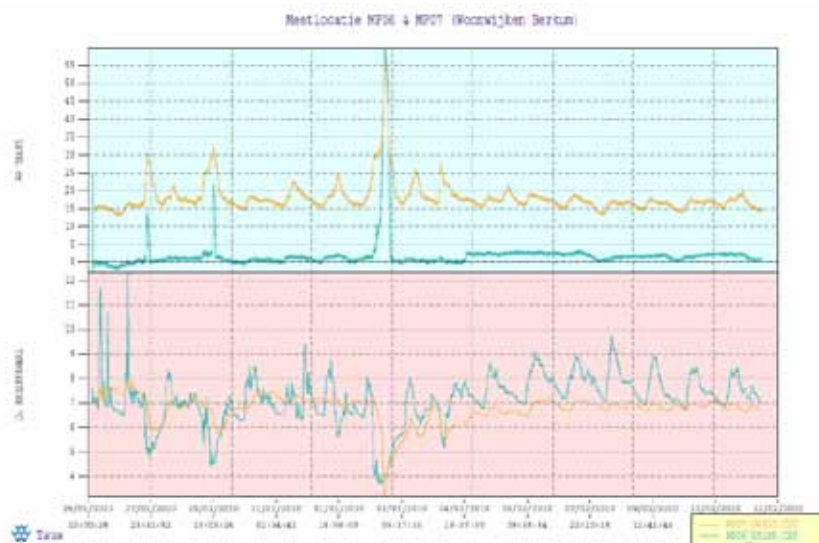
MEETGEGEVENS EN ANALYSE

De zeven maanden durende meetperiode heeft een grote hoeveelheid meetdata opgeleverd. In dit hoofdstuk worden de meetdata gepresenteerd en geanalyseerd. Vanwege de grote hoeveelheid data wordt vanuit de gepresenteerde data een analyse gegeven.

4.1 MEETRESULTATEN OVER EEN PERIODE VAN WEKEN

Gedurende 7 maanden (januari tot en met juli 2010) zijn er temperatuur- en drukmetingen uitgevoerd in de Zwolse afvalwaterketen. Figuur 4.1 illustreert voor twee verschillende meetpunten in Berkum de meetwaarden van temperatuur en druk (waterhoogte) in de periode 26 januari tot en met 12 februari 2010. In het bovenste deel van de figuur zijn de drukmetingen weergegeven en in het onderste deel van de figuur de temperatuurmetingen.

FIGUUR 4.1 VERLOOP WATERHOOGTE EN TEMPERAATUUR MP06 & MP07 (JANUARI/FEBRUARI 2010)



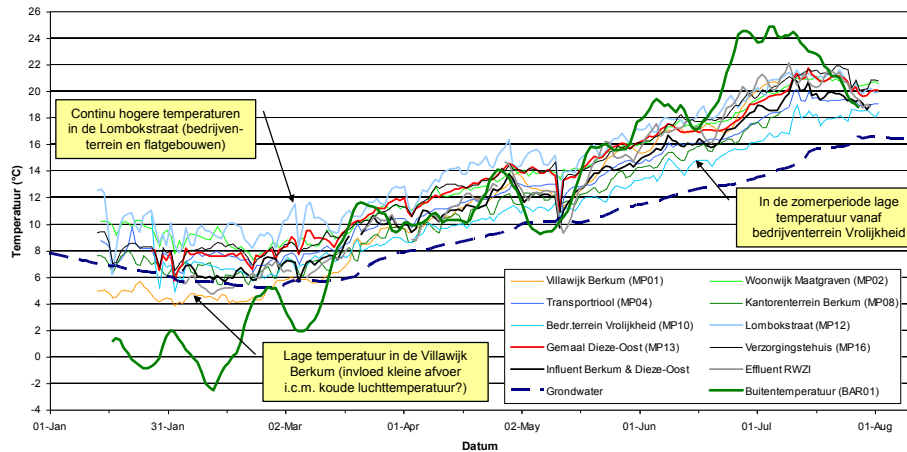
Uit figuur 4.1 komt een duidelijk dagritme naar voren bij zowel de druk- als de temperatuurmeting. Op enkele dagen (27/1, 29/1 en 3/2) is een plotse daling van de temperatuur waarneembaar, die gepaard gaat met een relatief grote afvoer. Dit is het gevolg van neerslag en smeltende sneeuw geweest. Op 2 februari is een dooiperiode ingetreden.

Het effect daarvan is vertraagd waargenomen op 3 februari als gevolg van de instroom van smeltwater. Deze afvoerpieken van smeltwater gaan gepaard met lage temperaturen.

4.2 MEETRESULTATEN OVER EEN PERIODE VAN MAANDEN

In figuur 4.2 (en in bijlage 5 op A3 formaat) zijn de gemiddelde dagtemperaturen van een aantal meetpunten grafisch weergegeven voor de periode januari tot augustus 2010. Tevens zijn de grondwater- en buitenluchttemperatuur opgenomen.

FIGUUR 4.2 GEMIDDELDE DAGTEMPERATUREN (RIOLERING, BUITENLUCHT EN GRONDWATER)



Uit figuur 4.2 volgt onder andere dat de temperatuur van het afvalwater in de winter hoger is dan de buitentemperatuur en de grondwatertemperatuur. De gemiddelde dagtemperaturen in de winter in zowel het rioolstelsel als op de rwzi varieerden van 6,6 tot 8,3 °C. De buitentemperatuur was in de winter van 2010 vaak onder het vriespunt. In de zomerperiode varieerden de temperaturen van de meetpunten tussen 16,4 en 19,4 °C. Ook volgt uit de figuur dat de temperatuur van het grondwater in bijna alle gevallen lager is dan die van het rioolwater.

De maandgemiddelde temperaturen voor de verschillende meetpunten zijn weergegeven in tabel 4.1.

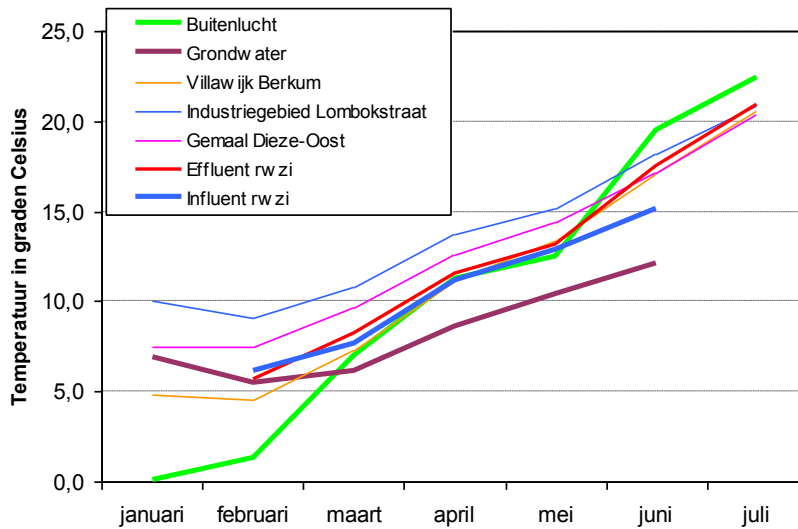
TABEL 4.1 DROOGWEERAFVOER (DWA) EN MAANDGEMIDDELDE TEMPERATUUR VAN AFVALWATER OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES

Code	Naam meetlocatie	DWA (m3/dag)	Januari (°C)	Februari (°C)	Maart (°C)	April (°C)	Mei (°C)	Juni (°C)	Juli (°C)
BAR01	Buitenlucht		0,1	1,3	7,0	11,3	12,5	19,6	22,4
21GL0010	Grondwater		6,9	5,5	6,2	8,6	10,4	12,1	
MP01	Villawijk Berkum	2	4,9	4,5	7,3	11,1	13,4	17,1	20,5
MP02	Woonwijk Maatgraven	30	9,8	8,6	9,6	12,5	14,6	17,5	20,5
MP03	Gemaal Berkum	400		7,6					
MP04	Transportriool (woonwijk Berkum)	370	8,0	7,3	8,7	11,4	13,2	16,0	19,0
MP05	Transportriool (Berkum)	370	8,4	7,8	9,4	12,1	13,9	16,8	19,9
MP06	Woonwijk Berkum	10	7,5	7,3	7,8				
MP07	Woonwijk Berkum	120	7,3	6,7	8,2	11,0	12,8	15,6	17,9
MP08	Kantorenterein Berkum	10	7,2	6,4	7,8	10,5	12,5	15,5	17,8
MP09	Kantorenterein Berkum	N.v.t.	5,0	4,7	6,2	9,1	11,1	14,2	16,2
MP10	Bedrijventerein Vrolijkheid	10	7,3	6,5	7,8	10,0	11,7	14,6	17,7
MP11	Bedrijventerein Vrolijkheid	10	5,7	5,2	7,0	10,3	12,4	16,1	19,5
MP12	Lombokstraat (bedrijventerein)	420	10,0	9,1	10,8	13,8	15,2	18,2	20,8
MP13	Gemaal Dieze-Oost	1.000	7,5	7,5	9,6	12,6	14,4	17,2	20,3
MP14	Flatgebouw Pieter Steynstraat	10	6,9	6,6	9,6	13,6	15,2	18,5	21,4
MP15	Flatgebouw Pieter Steynstraat	10	6,4	6,7	7,9	12,9	14,5	18,2	21,1
MP16	Verzorgingstehuis	85	8,2	7,9	9,5	12,7	14,4	17,8	20,9
MP18	Flatgebouw Hornstraat	3	5,7	5,8	8,8	12,1	13,6		
MP19	Sporthal Stilo	Onbekend	5,4	4,7	6,8	10,2	12,0	15,3	17,8
MP20	Sporthal Stilo	Onbekend	6,1	6,0	8,0	11,1	13,3	16,4	18,9
	Industrie Hessenpoort *	150	-	5,7	7,1	9,8	11,6	14,7	17,5
	Aanvoer Berkum en D-0	1.400	-	6,4	8,2	11,2	12,8	16,2	19,1
	Influent rwzi	1.400	-	6,1	7,7	11,2	12,8	15,2	-
	Effluent rwzi	1.550	-	5,7	8,2	11,6	13,2	17,5	20,9
Gemiddeld			7,1	6,6	8,3	11,5	13,3	16,4	19,4

* Bij het influent van de rwzi dient de aanvoer vanuit industrieterrein Hessenpoort opgeteld te worden om tot het totale effluentdebiet te komen (de stroom vanuit industrieterrein Hessenpoort wordt voorbij het meetpunt van het influent op de rwzi geloosd)

De in tabel 4.1 gepresenteerde maandgemiddelde temperaturen geven een overzichtelijker beeld van de meetgegevens, omdat de daggemiddelde pieken en de fluctuaties door neerslag, uitgevlakt worden. In figuur 4.3 zijn de maandgemiddelde temperaturen van een aantal meetpunten grafisch weergegeven in de tijd.

FIGUUR 4.3 MAANDGEMIDDELTE TEMPERATUREN VAN EEN AANTAL MEETPUNTEN (JANUARI TOT EN MET JULI 2010)



Uit tabel 4.1 en figuur 4.3 kan het volgende opgemaakt worden:

- De gemiddelde maandtemperaturen op de verschillende meetlocaties vertonen een grote variatie (5°C variatie in gemiddelde maandtemperatuur van januari)
- De meetpunten 02 (Woonwijk Maatgraven, vuilwater van verbeterd gescheiden stelsel) en 12 (Flatgebouw en bedrijventerrein Lombokstraat) hebben een relatief hoge maandgemiddelde temperatuur. De temperatuur op deze meetpunten is gemiddeld 2 tot 3 graden hoger dan de maandgemiddelde afvalwatertemperatuur van de 19 meetpunten
- De meetpunten 1, 9, 11, 15, 18, 19 en 20 hebben in de wintermaanden (januari en februari) een relatief lage temperatuur (lager dan de grondwatertemperatuur). Mogelijk dat het debiet zo klein was dat het afvalwater langzaam stroomde en relatief sterk afkoelde of dat de riolering boven de grondwaterstand lag en werd beïnvloed door het zeer koude maaiveld
- In januari lag bij 50 % van de meetpunten de gemiddelde maandtemperatuur boven de temperatuur van de grondwaterstand. In februari is dit opgelopen tot 75 % van de meetpunten en in maart lag bij 100 % van de meetpunten de afvalwatertemperatuur boven de temperatuur van het grondwater
- Uit het verschil in temperatuur op de meetpunten 4 en 5 blijkt dat het afvalwater afkoelt onder invloed van de afgelegde afstand in het riool. Deze afkoeling wordt voornamelijk veroorzaakt door het contact met de rioolwand en de buitenlucht
- De temperatuur van het influent van de rwzi Hessenpoort bedroeg in februari gemiddeld 6,1°C en is daarmee hoger dan de grondwatertemperatuur en de buitenluchttemperatuur. Een deel van de toegevoegde warmte in het afvalwater blijft dus ook over een relatief lange afstand behouden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door het grote debiet dat door de persleidingen naar de rwzi getransporteerd wordt. Hierdoor is er een relatief lage verblijftijd en weinig contact met de koude wand van de rioolbuis
- Het effluent van rwzi Hessenpoort was in de winter gemiddeld kouder dan het influent terwijl in de zomer het omgekeerde het geval was. In het volgende hoofdstuk wordt nader ingegaan op de factoren die de temperatuur van het afvalwater in de rwzi Hessenpoort hebben beïnvloed

Verder volgt uit tabel 4.1 dat de buitentemperatuur grote variaties kent ten opzichte van de temperatuur van het grondwater en het afvalwater. De strenge winter is goed terug te zien in de buitenluchttemperaturen van januari en februari welke gemiddeld 0 tot 1 °C bedroeg.

De temperatuur van de buitenlucht liep in de zomermaanden op tot 20 à 25°C. De maandgemiddelde temperatuur van het grondwater in de omgeving varieert van 5,5 °C (februari) tot 12,1 °C (juni). De gemiddelde maandelijkse temperatuur van het afvalwater op alle meetpunten bedroeg minimaal 6,6 °C (februari) en maximaal 19,4 °C (juli).

4.3 DE TEMPERAATUUR VAN HUISHOUDELIJK AFVALWATER

Om te toetsen of de inschatting van de temperatuur van het huishoudelijk afvalwater correct is en om het temperatuurverloop gedurende de dag inzichtelijk te maken, is er binnen dit onderzoek een meting aan een huisaansluiting direct bij de lozing verricht. Gedurende twee weken in maart is de druk en de temperatuur van de betreffende afvalwaterstroom bepaald. Het betreft een woning met een douchewarmtewisselaar.

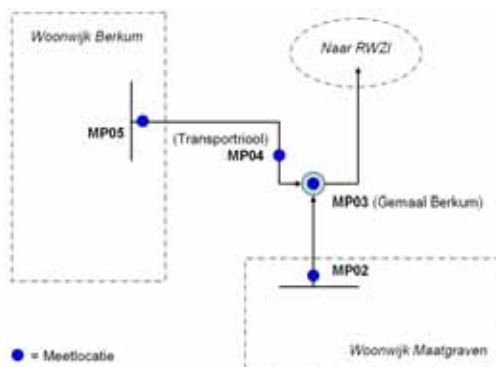
Uit de metingen is gebleken dat de temperatuur van het afvalwater grote fluctuaties vertoont per dag. Lange perioden waarin geen afvoer van afvalwater plaatsvindt worden afgewisseld met perioden waarin het afvalwater een relatief hoge temperatuur heeft (douchewater en wasmachine). De temperatuur van het afgevoerde afvalwater varieerde van 10 tot 25 °C, wat relatief hoog is vergeleken met de gemiddelde afvalwatertemperatuur in het riool van 8,3 °C in maart (tabel 4.1).

Om de prestaties van de douche wtw te bepalen is het watergebruik en gasgebruik voor 10 minuten douchen gemeten. Eerst voor de situatie waarin het afvalwater van de douche niet langs de wtw stroomde en vervolgens voor de situatie dat dit water wel langs de douche stroomde. De metingen laten zien dat voor de situatie met wtw bijna 50 % minder gas nodig was voor 10 minuten douchen (dit komt overeen met de claim van de leverancier). Hoe snel de investering wordt terugverdiend hangt af van hoe vaak en hoe lang er gedoucht wordt.

4.4 AFKOELING EN MENGING VAN HET AFVALWATER IN HET RIOOL

Figuur 4.5 toont een situatieschets van de meetpunten 2, 3, 4 en 5. Deze situatieschets is een weergave van een gedeelte van het gehele overzicht aan meetlocaties, zoals te zien is in figuur 3.2 van hoofdstuk 3.

FIGUUR 4.4 SITUATIESCHETS VAN MEETPUNTEN 2, 3, 4 EN 5

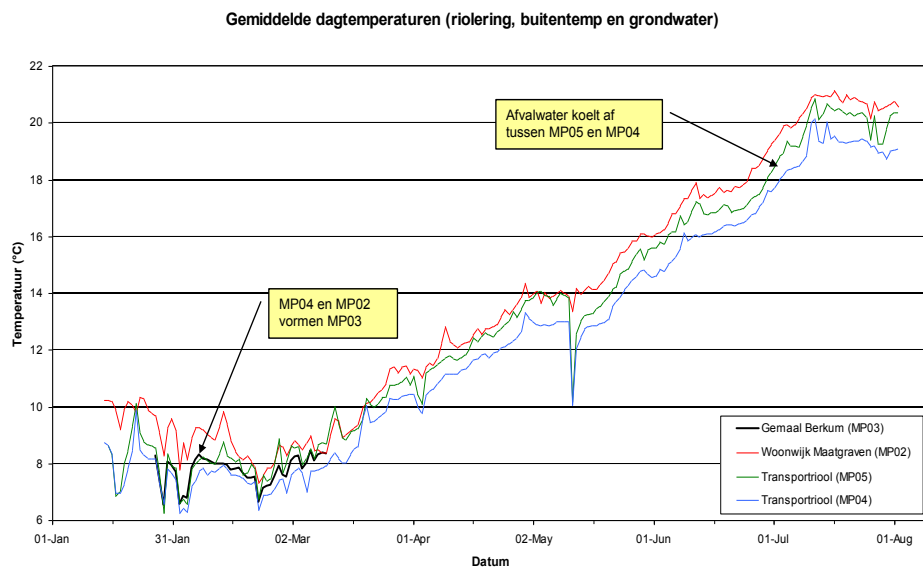


Meetpunten 2, 3, 4 en 5 zijn onderdeel van een vrijverval transportriool dat het water van Berkum naar het rioolgemaal afvoert. Het gemaal Berkum pompt het water in de persleiding (Meetpunt 3 is bij het gemaal Berkum). Meetpunten 4 en 2 vormen samen het debiet van meetpunt 3.

Omdat de meetpunten 5 en 4 in elkaars verlengde liggen (en er tussentijds geen afvalwater aan toegevoegd wordt) is het interessant om te analyseren welke veranderingen de temperatuur van het afvalwater tussen deze meetpunten ondergaat. Op meetpunt 3 wordt het afvalwater afkomstig van meetpunt 4 gemengd met een beperkte stroom afvalwater afkomstig van meetpunt 2 (welke relatief warm is). Door de temperatuur op meetpunt 3 te analyseren kan het effect van deze menging van afvalwater, inzichtelijk gemaakt worden.

In figuur 4.6 zijn de gemiddelde dagtemperaturen van de meetpunten 2, 3, 4 en 5 weergegeven (helaas is de sensor op meetpunt 3, in de loop van het project losgeraakt, waardoor daar niet de gehele periode is gemeten).

FIGUUR 4.5 GEMIDDELDE DAGTEMPERATUREN VAN DE RIOLERING (AFKOELING TUSSEN PUNT 5 EN 4)



Uit figuur 4.6 is op te maken dat de temperaturen op de meetpunten 2, 3, 4 en 5 hetzelfde verloop vertonen, maar wel enkele graden van elkaar afwijken.

Om de afkoeling van het afvalwater tussen de verschillende meetpunten in beeld te brengen is in tabel 4.2 de gemiddelde maandtemperatuur van het afvalwater op de meetpunten weergegeven.

TABEL 4.2 GEMIDDELDE MAANDTEMPERATUUR OP MEETPUNTEN 2, 3, 4 EN 5 (JANUARI – JULI 2010)

		Januari (°C)	Februari (°C)	Maart (°C)	April (°C)	Mei (°C)	Juni (°C)	Juli (°C)	Gemiddeld (°C)
MP02	Woonwijk Maatgraven, vuilwater VGS	9,8	8,6	9,6	12,5	14,6	17,5	20,5	13,3
MP03	Gemaal Berkum		7,6						
MP04	Transportriool (woonwijk Berkum)	8,0	7,3	8,7	11,4	13,2	16,0	19,0	12,0
MP05	Transportriool (woonwijk Berkum)	8,4	7,8	9,4	12,1	13,9	16,8	19,9	12,6

Uit tabel 4.2 blijkt dat de temperatuur op meetpunt 2 gedurende de gehele meetperiode het hoogste is, gevolgd door respectievelijk de temperatuur op meetpunten 5 en 4 (de temperatuur op meetpunt 3 is slechts een beperkte periode gemeten vanwege het verlies van de sensor). De lage temperatuur op meetpunt 4 is niet verwonderlijk omdat dit meetpunt het verste weg ligt van de lozingspunten van warm water. Het is aannemelijk dat deze afkoeling veroorzaakt wordt door contact met het relatief koude oppervlak van de rioolwand en de temperatuur van de lucht in het riool. In tabel 4.3 worden het debiet en de afstand van de meetpunten 2, 4 en 5 tot meetpunt 3 (rioolgemaal Berkum) weergegeven.

TABEL 4.3 GEMIDDELTE TEMPERAATUR VAN MEETPUNTEN 2, 3, 4 EN 5 IN JANUARI 2010

Meetpunt	Omschrijving	Gemiddeld T (januari – juli 2010) (°C)	Debiet (m ³ /d)	Afstand van MP 3 (meter)
02	Woonwijk Maatgraven	13,3	30	30
03	Gemaal Berkum	*	400	-
04	Transportriool (woonwijk Berkum)	12,0	370	100
05	Transportriool (woonwijk Berkum)	12,6	370	400

* Slechts 1 volledige maand gemeten

Uit de tabellen 4.2 en 4.3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het afvalwater afkomstig van meetpunt 2 heeft een relatief hoge temperatuur en een klein debiet. De hoge temperatuur wordt veroorzaakt door de korte afstand tussen lozingspunt en meetpunt en het feit dat het de DWA stroom van een verbeterd gescheiden riool betreft
- Het afvalwater van meetpunt 2 is gemiddeld 1,3 °C warmer dan het afvalwater van meetpunt 5. Hierbij bedroeg het verschil in januari 1,8 °C en in juli 0,6 °C. Dit duidt op een sterkere afkoeling bij lagere temperaturen
- Het afvalwater uit woonwijk Berkum heeft op meetpunt 5 (einde van de woonwijk) een gemiddelde temperatuur van 12,6 °C
- Tussen meetpunt 5 en meetpunt 4 neemt de temperatuur van het afvalwater met gemiddeld 0,6 °C af tot 12,0 °C waarbij een afstand van 300 meter wordt overbrugd
- Het temperatuurverschil tussen meetpunt 5 en 4 bedraagt maximaal 0,9 °C (juli) en minimaal 0,4 °C (februari)
- De temperatuur op meetpunt 3 was in februari 2010 hoger dan de temperatuur op meetpunt 4. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door menging met relatief warm afvalwater van meetpunt 2
- Conform geraadpleegde literatuur (Stowa, rap.nr. 35, 2009) bedraagt de gemiddelde afvalwatertemperatuur van huishoudens 23 tot 26 °C (paragraaf 4.5). De gemiddelde afvalwatertemperatuur op meetpunt 2 bedroeg in januari en februari 2010 respectievelijk 9,8 en 8,6 °C. De gemiddelde afstand waarover het afvalwater in de woonwijk getransporteerd wordt voordat het langs het meetpunt komt bedraagt 100 meter. Binnen 100 meter daalde de temperatuur van het afvalwater in januari en februari dus meer dan 13 °C. Na deze eerste afname zakt de temperatuur van het afvalwater naar 8 °C in het hoofdrioolstelsel (MP 5 = transportriool Berkum) waarna de temperatuur verder daalt tot 6 °C wanneer het de rwzi bereikt

Het debiet bij meetpunt 4 is circa 12 keer groter dan het debiet bij meetpunt 2 (afvoer van nieuwbouwgebied met 250 inwoners). Meetpunt 5 bevindt zich aan het begin van een vrijverval transportriool dat het water via 4 naar 3 afvoert.

Uit figuur 4.6 blijkt dat de afkoeling van het afvalwater op het traject tussen meetpunten 5 en 4 is circa 0,6 °C. De afstand is 300 m en de leiding heeft een diameter van 400 mm. Het debiet is circa 370 m³/dag.

4.4.1 EFFECT VAN DEBIET OP AFKOELING EN OPWARMING

In tabel 4.4 is het temperatuurverloop van het afvalwater op meetpunten met een relatief klein debiet (villawijk Berkum, bedrijventerrein Vrolijkheid en woonwijk Maatgraven) vergeleken met de temperatuur van afvalwater op een meetpunt met een groot debiet (transportriool Berkum, gemaal Dieze-Oost).

TABEL 4.4 GEMIDDELTE TEMPERAATUUR EN DEBIET VAN AFVALWATER OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN

Code	Naam meetlocatie	Debiet (m ³ /d)	Januari (°C)	Februari (°C)	Juni (°C)	Juli (°C)	Verskil (max – min)
BAR01	Buitenlucht		0,1	1,3	19,6	22,4	22,3
21GL0010	Grondwater		6,9	5,5	12,1		6,6
MP01	Villawijk Berkum	2	4,9	4,5	17,1	20,5	16,0
MP02	Woonwijk Maatgraven	30	9,8	8,6	17,5	20,5	11,9
MP11	Bedrijventerrein Vrolijkheid	10	5,7	5,2	16,1	19,5	14,3
MP05	Transportriool (Berkum)	370	8,4	7,8	16,8	19,9	12,1
MP13	Gemaal Dieze-Oost	1.000	7,5	7,5	17,2	20,3	12,8

Uit tabel 4.4 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Op de meetpunten met de kleinste debieten (1 en 11) werden in januari en februari ook de laagste temperaturen gemeten. Blijkbaar is er een verband tussen deze twee parameters
- Op meetpunt 2 werden, ondanks het kleinere debiet, het gehele jaar hogere gemiddelde temperaturen gemeten dan op de meetpunten 5 en 13. Dat is vermoedelijk te verklaren door het soort rioolstelsel; verbeterd gescheiden stelsel/vuilwaterdeel
- In juli is op de locaties met een klein debiet (1 en 11) een gelijke tot relatief hoge temperatuur gemeten ten opzichte van locaties met een groot debiet
- Het verschil in minimale en maximale gemiddelde maandtemperatuur is groter op de meetpunten met kleine debieten

Uit bovenstaande conclusies komt naar voren dat de temperatuursverandering van het afvalwater in het riool niet alleen afhankelijk is van het debiet. Factoren die een rol spelen bij de afvalwatertemperatuur zijn beschreven in bijlage 1 en betreffen onder andere de temperatuur van de buitenlucht, neerslag, de temperatuur van de bodem, biofilmvorming in het riool, materiaal van de rioolbuizen, grondwaterstand, af te leggen afstand, stroomsnelheid en de mate van ventilatie. Op locaties met een relatief klein debiet is het afvalwater veel sterker blootgesteld aan de temperatuur van de bodem en de lucht waardoor het in de winter sneller afkoelt.

4.5 DE HOOGSTE EN DE LAAGSTE GEMETEN TEMPERATUREN

In het onderzoeksgebied zijn een aantal meetlocaties waar structureel hoge temperaturen zijn gemeten. Op andere locaties is juist een relatief lage temperatuur gemeten. De meetlocaties met hoge en lage temperaturen zijn weergegeven in tabel 4.5 evenals het debiet op deze meetlocaties. Ter referentie is in deze tabel ook de temperatuur van het grondwater meegenomen.

TABEL 4.5 MEETLOCATIES MET RELATIEF HOGE EN LAGE MAANDGEMIDDELTE TEMPERATUREN

Code	Naam meetlocatie	Debiet (m ³ /d)	Januari (°C)	Februari (°C)	Maart (°C)	April (°C)	Mei (°C)	Juni (°C)	Juli (°C)
Grondwater									
21GL0010	Grondwater		6,9	5,5	6,2	8,6	10,4	12,1	
Hoge temperaturen									
MP02	Woonwijk Maatgraven	30	9,8	8,6	9,6	12,5	14,6	17,5	20,5
MP04	Transportriool (woonwijk Berkum)	370	8,0	7,3	8,7	11,4	13,2	16,0	19,0
MP05	Transportriool (Berkum)	370	8,4	7,8	9,4	12,1	13,9	16,8	19,9
MP12	Bedrijventerrein Lombokstraat	420	10,0	9,1	10,8	13,8	15,2	18,2	20,8
MP16	Verzorgingstehuis	85	8,2	7,9	9,5	12,7	14,4	17,8	20,9
Lage temperaturen									
MP01	Villawijk Berkum	2	4,9	4,5	7,3	11,1	13,4	17,1	20,5
MP09 *	Kantorenterrein Berkum	Nvt	5,0	4,7	6,2	9,1	11,1	14,2	16,2
MP11	Bedrijventerrein Vrolijkheid	10	5,7	5,2	7,0	10,3	12,4	16,1	19,5
MP18	Flatgebouw Hornstraat	3	5,7	5,8	8,8	12,1	13,6		
MP19	Sporthal Stilo	nb	5,4	4,7	6,8	10,2	12,0	15,3	17,8

* Via MP09 (kantorenterrein Berkum) vindt nauwelijks afvoer plaats

Uit tabel 4.5 blijkt dat er op de meetpunten 2, 4, 5, 12 en 16, met name in de winter, relatief hoge afvalwater temperaturen gemeten zijn. Deze relatief hoge wintertemperaturen houden mogelijk verband met de volgende factoren:

- De relatief korte afstand tussen lozingspunt en meetpunt (MP 2 en 4, 5, 12 en 16) waardoor het geloosde water slechts een beperkte invloed heeft ondervonden van afkoelende factoren zoals de temperatuur van de lucht en het grondwater
- Geen menging met koud regenwater (gescheiden rioolstelsel) (MP 2)
- Een hoog gemiddeld debiet, waardoor er relatief weinig contact is tussen het afvalwater en de koude rioolwand en buitenlucht (MP 4 en 5). Het wateroppervlak dat blootgesteld wordt aan lage temperaturen is lager waardoor er minder warmte aan de omgeving wordt afgestaan
- De lozing van warm (industrieel) afvalwater (MP 12)

Dat meetlocatie 02, woonwijk, relatief warm is, is verklaarbaar door het feit dat in het verbeterd gescheiden stelsel nagenoeg geen menging met hemelwater optreedt. Ook het dagpatroon (bijvoorbeeld 's ochtends douchen en 's avonds afwassen) zorgt voor grotere debietfluctuaties en hogere temperaturen.

Het verzorgingshuis (meetlocatie 16) is een locatie met veel bewoningsintensiteit en daardoor ook een relatief hoog debiet.

De meetpunten 1, 9, 11, 18 en 19 vertonen relatief lage temperaturen in de winter. Deze lage temperaturen kunnen mogelijk verklaard worden door:

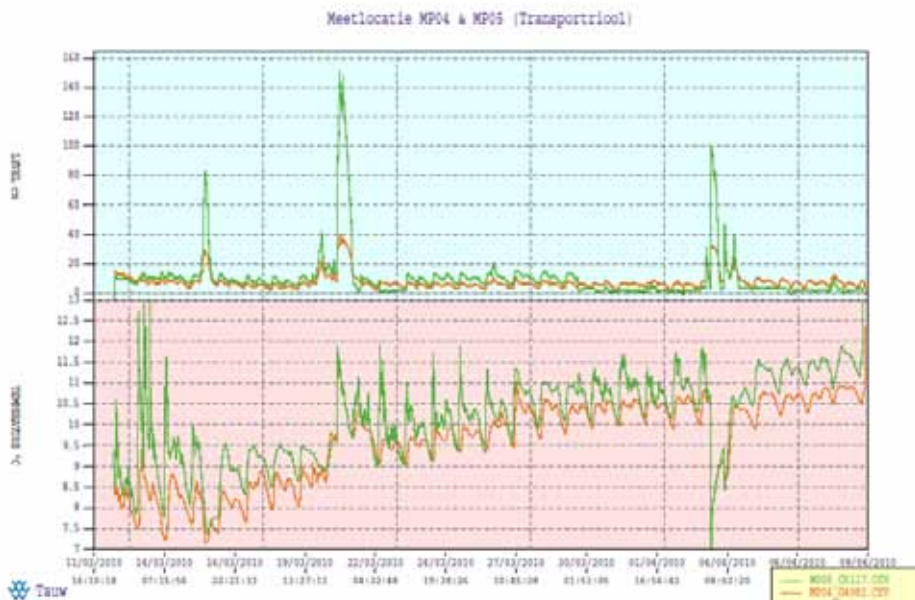
- Een relatief klein debiet, waardoor er veel uitwisseling optreedt met de koude omgevingslucht en de rioolwand (MP 1, 9 en 11, 18 en 19). De verhouding tussen koud oppervlak en de hoeveelheid afvalwater is hier dus groot
- Een relatief lange verblijftijd, waardoor er lang uitwisseling optreedt met de koude omgevingslucht en de rioolwand (MP 1, 9 en 11, 18 en 19)

Uit tabel 4.5 volgt dat het afvalwater in de winter met name sterk afkoelt in de riolen met kleine debieten. Bij kleine debieten ondervindt het afvalwater relatief veel contact met de rioolwand en de lucht waardoor het in de winter sneller af zal koelen (de lucht en de rioolwand zijn kouder dan het geloosde afvalwater). Het afkoelende effect van de rioolwand is afhankelijk van factoren zoals het materiaal, de grondwaterstand en de stromingssnelheid (literatuurvermelding: KWR/H2O).

4.6 LOZINGSPATRONEN, DAGRITME EN DE INVLOEDEN VAN EXTERNE GEBEURTENISSEN

Naast informatie over de gemiddelde temperatuur van het afvalwater en de bijbehorende hoeveelheid warmte, hebben de meetresultaten informatie opgeleverd over lozingspatronen en het effect van externe invloeden op deze patronen (figuur 4.7).

FIGUUR 4.6 DAGELIJKSE METINGEN, DEBIETEN EN TEMPERATUREN OP MEETPUNTEN 4 EN 5 (TRANSPORTRIOOL, 11/3 T/M 9/4 2010)

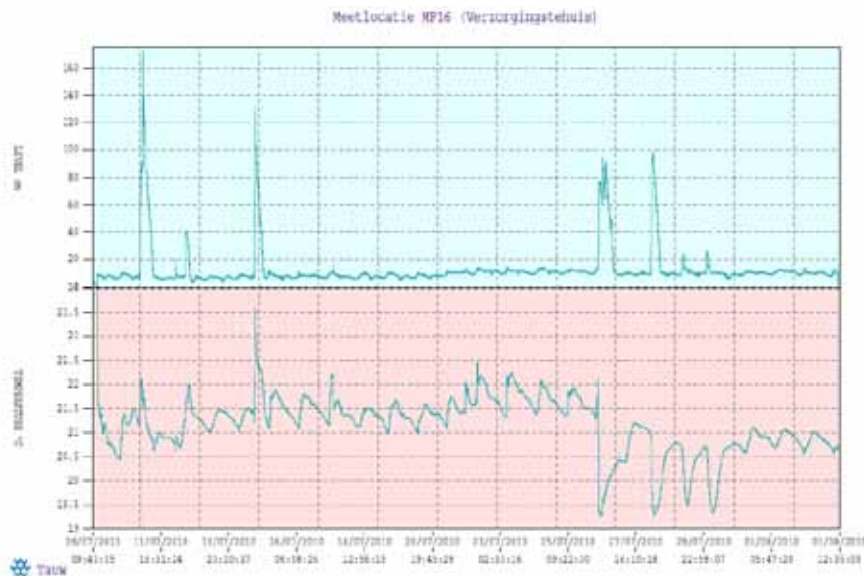


De volgende patronen en invloeden zijn daarbij waargenomen:

- Dagritme (figuur 4.6), werkdagen/weekendritme, feestdagen
- Invloed van smeltwater
- Instroom van neerslag à deze wordt opgewarmd/afgekoeld voordat het in het riool terecht komt (geïllustreerd door het effect van de neerslag op de temperatuur omstreeks 20 maart en 3 april in figuur 4.6)

In figuur 4.7 is het dagritme op meetpunt 16 weergegeven, waarbij de invloed van neerslag op de temperatuur van het rioolwater duidelijk waarneembaar is.

FIGUUR 4.7 VERLOOP VAN DE TEMPERATUUR EN WATERHOOGTE MP:016 (JULI), VERZORGINGSHUIS



Uit figuur 4.7 komen de volgende aspecten duidelijk naar voren:

- Het afvalwaterdebiet uit het verzorgingshuis vertoont een constant dagelijks patroon
- Onder invloed van neerslag kan er een stijging van de temperatuur van het rioolwater plaatsvinden (14/7) of een daling (26 t/m 29/7 2010)

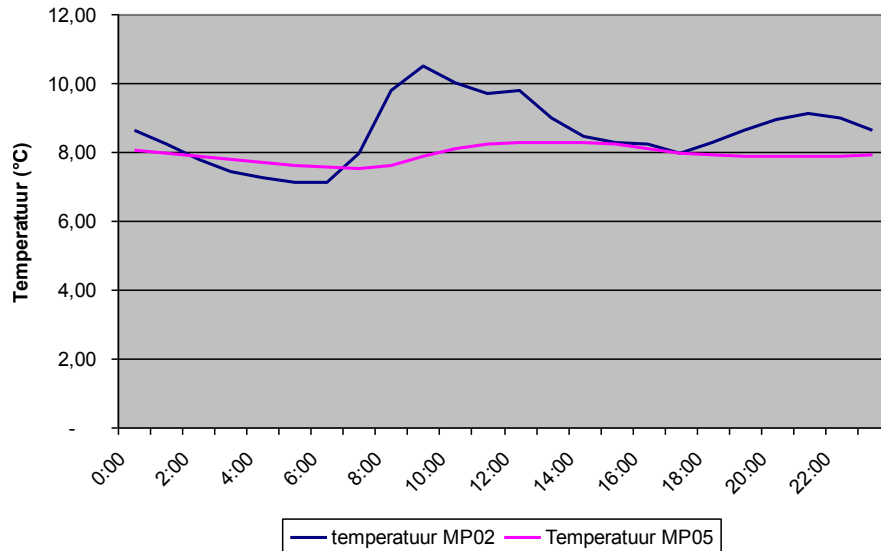
De temperatuur van regenwater dat in het riool stroomt is sterk afhankelijk van de temperatuur van het afstromend oppervlak. Wanneer het afstromend oppervlak eerder op de dag is opgewarmd door de zon zal dit een verhoging van de afvalwatertemperatuur in de riolering veroorzaken.

Van invloed op de stabilisatie van de temperatuur van het rioolwater kan de instroom van grondwater door lekke riolen zijn. In Zwolle zijn er geen redenen om aan te nemen dat dit het geval is, maar helemaal uitgesloten worden kan dit niet. Voor riolering van vóór 1984 is de instroom naar verwachting zeer hoog (circa 30 % van het totale afvalwateraanbod).

4.6.1 DAGRITME

Informatie over het verloop van de temperatuur gedurende de dag is van belang bij de toekomstige implementatie van rioolwarmtewisselaars. In figuur 4.8 wordt de gemiddelde temperatuur per uur van de dag weergegeven op een willekeurige dag (11-02-2010) zonder neerslag op de meetpunten 2 en 5.

FIGUUR 4.8 GEMIDDELTE TEMPERAATUUR PER UUR OP 11-02-2010 (MP 02 EN 05)



Figuur 4.8 laat zien dat de temperatuur op meetpunt 2 veel meer variatie vertoont dan de temperatuur op meetpunt 5. Dit is te verklaren doordat bij meetpunt 2, in tegenstelling tot meetpunt 5, een relatief klein debiet wordt verpompt (30 m³/dag), de afstand van de huishoudens tot het meetpunt relatief kort is en het voornamelijk om huishoudelijk afvalwater gaat. Meetpunt 5 bevindt zich aan het einde van een veel grotere woonwijk, het debiet is hier veel groter (370 m³/dag).

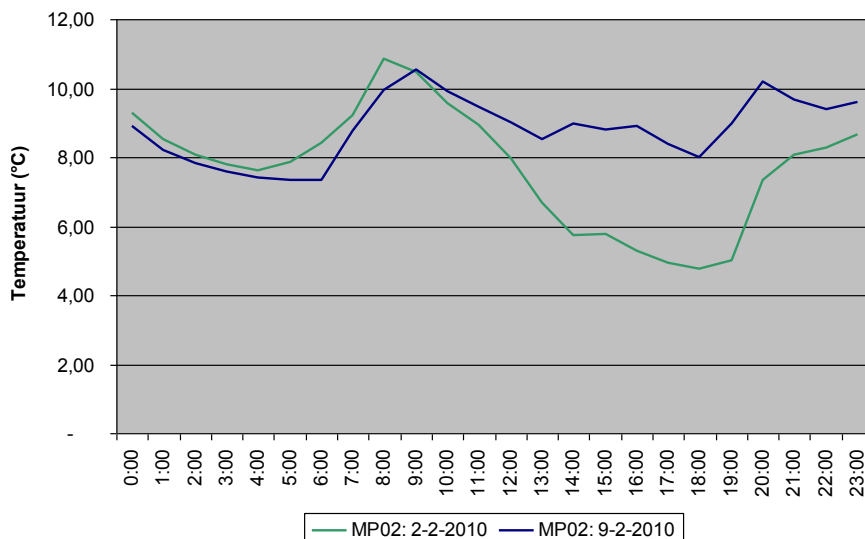
Uit figuur 4.8 blijkt verder:

- Op meetpunt 2 is duidelijk een dagritme waarneembaar waarbij er 's ochtends (9:00 uur) en 's avonds (21:00) afvalwater met een relatief hoge temperatuur geloosd wordt (douche-water)
- Op meetpunt 2 worden er overdag en 's nachts lagere temperaturen gemeten. De omvang van het debiet is onbekend
- Op meetpunt 5 is het dagritme minder duidelijk waarneembaar omdat dit het afvalwater betreft van een veel grotere woonwijk (resultierend in divers afvalwater, meer menging en een langere verblijftijd)
- Op meetpunt 5 zijn de hogere temperaturen die veroorzaakt worden door het dagritme, vertraagd waar te nemen ('s middags 13.00 uur en 's nachts om 01.00 uur)
- Het afvalwater op meetpunt 5 heeft een stabielere en lagere temperatuur dat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de langere afstand die door het riool afgelegd wordt en de menging die optreedt met andere afvalwaterstromen
- Gedurende de nacht en vroege ochtend behoudt het afvalwater op meetpunt 5 juist een hogere temperatuur wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de grotere hoeveelheid afvalwater. De verhouding contactoppervlak/volume is kleiner waardoor effecten van de omgeving beperkter zijn

4.6.2 INVLOED VAN NEERSLAG EN SMELTWATER

In figuur 4.10 is voor meetpunt 2 de gemiddelde uurtemperatuur van het afvalwater op een DWA dag (9 februari 2010) vergeleken met een dag met veel koude neerslag (2-2-2010). Op dinsdag 2 februari viel er 17 mm neerslag en op dinsdag 9 februari viel er geen neerslag. Meetpunt 2 betreft een verbeterd gescheiden stelsel waarbij de eerste hoeveelheid neerslag dus in het riool terecht komt.

FIGUUR 4.9 INVLOED VAN NEERSLAG OP DE GEMIDDELDE AFVALWATERTEMPERatuur PER UUR OP MEETPUNT 2



Uit figuur 4.10 is duidelijk op te maken dat de neerslag effect heeft op de temperatuur van het afvalwater. De volgende aspecten komen naar voren met betrekking tot meetpunt 2:

- De afvalwatertemperatuur op DWA dagen bereikt 's ochtends (9.00 uur) en 's avonds (21.00 uur) de hoogste temperatuur (dit blijkt ook uit figuur 4.9 in paragraaf 4.6.1)
- Onder invloed van winterse neerslag vertoont de temperatuur van het afvalwater een sterke daling

4.7 RELATIE TUSSEN GEMALEN, TRANSPORTLEIDING EN RWZI

Op de rwzi Hessenpoort, de rioolgemalen Berkum en Dieze-Oost en de transportleidingen zijn metingen verricht. De maandgemiddelde gegevens van deze metingen worden weergegeven in tabel 4.6.

TABEL 4.6 GEMIDDELDE MAANDTEMPERATUREN OP RWZI, RIOOLGEMALEN, TRANSPORTRIOOL EN GRONDWATER

Code	Naam meetlocatie	Debiet (m ³ /dag)	Januari (°C)	Februari (°C)	Maart (°C)	April (°C)	Mei (°C)	Juni (°C)	Juli (°C)
21GL0010	Grondwater		6,9	5,5	6,2	8,6	10,4	12,1	
MP05	Transportriool (Berkum)	370	8,4	7,8	9,4	12,1	13,9	16,8	19,9
MP13	Gemaal Dieze-Oost	1.000	7,5	7,5	9,6	12,6	14,4	17,2	20,3
	Transportriool Berkum	1.370	-	6,4	8,2	11,2	12,8	16,2	19,1
	Effluent rwzi	1.550	-	5,7	8,2	11,6	13,2	17,5	20,9

Uit tabel 4.6 komt naar voren:

- De temperatuur van het afvalwater op rioolgemaal Berkum ligt in de winter (januari en februari) hoger dan de temperatuur op het gemaal Dieze-Oost. Vanaf maart is de temperatuur op het gemaal Dieze-Oost hoger dan op het gemaal Berkum
- De temperatuur gemeten in het transportriool Berkum ligt structureel hoger dan de temperatuur van het influent van de rwzi (dit temperatuurverschil varieert van 1,1 tot 1,7 °C)
- In februari 2010 lag de temperatuur van het effluent van de rwzi gemiddeld 0,4 °C beneden deze van het influent. Er vindt afkoeling plaats in de rwzi
- Van maart tot en met mei 2010 lag de temperatuur van het effluent gemiddeld 0,5 °C boven die van het influent. Er vindt een beperkte opwarming plaats in de rwzi
- In juni 2010 lag de temperatuur van het effluent gemiddeld 2,3 °C boven die van het influent. Er vindt een forse opwarming plaats in de rwzi

4.8 HET TEMPERatuurVERLOOP VAN DE BODEM

De gemeten grondwatertemperaturen in Zwolle variëren tussen 5,0 en 16,0 °C voor meetpunt 21GL0010 welke op een diepte van 2 meter benden maaiveld ligt. De meeste rioolbuizen liggen op de diepte van meetpunt 21GL0010. Als in de winter het maaiveld tot enkele decimeters bevroren is, kan de temperatuur van de rioolbuizen behoorlijk beïnvloed worden door de bovenlaag van de bodem. Bij natte of verzadigde grond kan de bodem sneller bevriezen (geleidbaarheid van water). Bij droge grond heeft lucht in de poriën een isolerend effect.

4.9 CONCLUSIES VAN DE ANALYSE

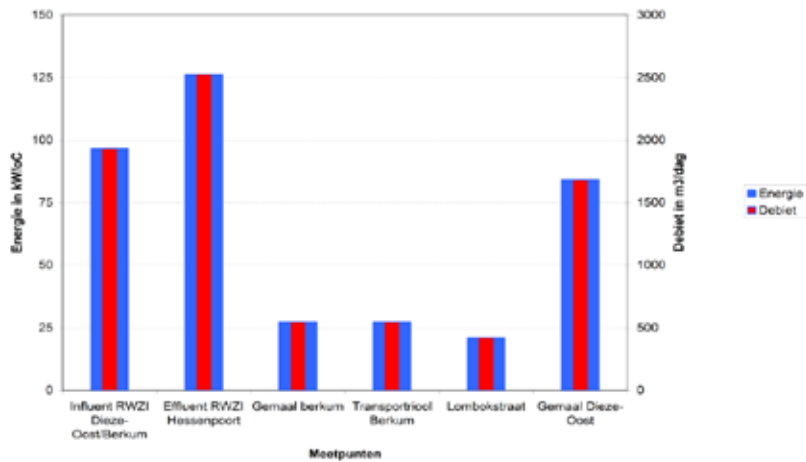
De metingen hebben een grote hoeveelheid informatie opgeleverd over de hoeveelheid en het verloop van de warmte in het afvalwater. Uit de analyse van de gegevens komt naar voren:

- De temperatuur van het afvalwater in het rioolstelsel varieerde tussen 6,6 en 8,3 °C in de winter en 16,4 en 19,4 in de zomer
- De afvalwatertemperatuur is in de grote rioolstelsels consequent hoger dan de grondwatertemperatuur
- Warm huishoudelijk afvalwater koelt in de winter sterk af direct na de lozing op het riool (13 graden C binnen 100 meter)
- Door het verblijf in het hoofdrioolstelsel koelt het afvalwater beperkt af (variërend van 0,4 tot 0,9 °C over een lengte van 300 meter, vrijverval afstroming)
- In de 2,5 km lange persleiding tussen het hoofdrioolstelsel en het influent van de rwzi koelt het afvalwater beperkt af (gemiddeld 1,5 °C)
- Het debiet en de temperatuur van het afvalwater van huishoudens en kleine rioolstelsels fluctueert sterk in vergelijking met grote (droogweer afvoer) debieten
- De temperatuur van het afvalwater in rioolstelsels met grote debieten is in de winter hoger dan de temperatuur van het afvalwater in stelsels met kleine debieten
- De invloed van neerslag en het smelten van sneeuw op de temperatuur en het debiet van het afvalwater is duidelijk waarneembaar
- Er is een duidelijk dagritme waarneembaar in temperatuur en debiet op de verschillende meetpunten
- De hoogste temperaturen in het afvalwater zijn gemeten bij het industrieterrein en het verpleeghuis
- In de droogweerafvoer (dwa) van het verbeterd gescheiden stelsel is de gemeten temperatuur hoger dan de temperatuur van het bijbehorende regenwaterstelsel. Echter, de verschillen in de temperaturen zijn slechts enige graden Celsius

4.10 DE THERMISCHE ENERGIE INHOUD VAN HET AFVALWATER OP DE VERSCHILLENDE LOCATIES

Aan de hand van de gemeten temperaturen en het bijbehorende debiet is de hoeveelheid beschikbare energie op de verschillende meetpunten berekend. Figuur 4.11 toont het thermische vermogen dat beschikbaar is (in kW per graad Celcius afkoeling) bij het gemeten, gemiddelde debiet op enkele meetpunten in dit onderzoek. Het onttrekken van meerdere graden is mogelijk mits het effect van de onttrekking op de temperatuur van het influent beperkt blijft. Dat is het geval bij een voldoende afstand tussen de onttrekking en de rwzi.

FIGUUR 4.10 THERMISCH VERMOGEN VAN HET AFVALWATER OP VERSCHILLENDE MEETPUNTEN BIJ ONTTREKING VAN ÉÉN GRAAD CELSIUS



Uit het figuur 4.10 blijkt dat de hoeveelheid te winnen warmte sterk afhankelijk is van de omvang van het debiet. In figuur 4.10 is de hoeveelheid terug te winnen energie in het effluent van de rwzi groter dan in het hier gedefinieerde influent omdat er na het laatste meetpunt een extra volumestroom bijkomt van industrieterrein Hessenpoort.

De hoeveelheid elektrische energie die het kost om de warmte uit het afvalwater te winnen met een warmtepomp is niet in het figuur meegenomen.

In het rioolstelsel van het projectgebied zijn een aantal locaties waar een omvangrijke hoeveelheid warmte beschikbaar is (bijvoorbeeld gemaal Dieze-Oost; mp13) en het effluent van de rwzi. Ter vergelijking, een huishouden gebruikt gemiddeld 2 kW per jaar voor verwarming en warm water. Door de ligging in de bebouwde omgeving is meetpunt 13 (Lombokstraat) geschikt voor de teruggewinning van warmte. In de zomer is er veel warmte beschikbaar op alle meetpunten. De teruggewonnen warmte zou ingezet kunnen worden bij locaties met een continue vraag naar warmte, zoals een zwembad, industrie, in een WKO of bij het drogen van slib. De mogelijkheden om afvalwater te gebruiken als bron van koude in de zomer dient nader onderzocht te worden.

De energetische en financiële haalbaarheid van een dergelijk project is afhankelijk van meerdere factoren. De omvang van de vraag en het aanbod, de aanwezigheid van warmte-koudeopslag, de vraag naar koude, et cetera. Intensieve bebouwing, zoals flatgebouwen, heeft een intensieve vraag naar warmte en/of koude. Deze intensiteit werkt verlagend op de kosten van de benodigde installaties en draagt bij aan het succes van dergelijke projecten.

5

THERMISCHE GEVOELIGHEID RWZI HESSENPOORT

In het vorige hoofdstuk zijn de profielen van de warmtehuishouding in de afvalwaterketen Hessenpoort te Zwolle in beeld gebracht. Daaruit was impliciet af te leiden dat de omgevingsomstandigheden een leidend effect hebben op de temperatuur van het influent. Bij onttrekking op voldoende afstand van het influent is het effect op rwzi naar verwachting beperkt. In dit hoofdstuk wordt de thermische gevoeligheid van rwzi Hessenpoort verkend.

5.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de warmte- (of thermische) energiebalans op de rwzi Hessenpoort en de invloed van veranderingen in deze balans op het zuiveringsproces. Processen die van invloed zijn op de temperatuur van het afvalwater in rwzi's zijn onder andere de bio-chemische omzetting van organische afvalstoffen en stikstof, afkoeling door wind of bodem en opwarming door bijvoorbeeld zonnestraling. Specifiek voor deze studie is gekeken naar het effect van de wijziging van de ingaande afvalwatertemperatuur door warmteonttrekking op het zuiveringsproces. Om de, vooral negatieve, effecten van afkoeling tegen te gaan, is gekeken naar maatregelen die op de rwzi genomen kunnen worden om meer warmte op de rwzi vast te houden.

5.2 MODELLERING ZUIVERINGSPROCES EN WARMTE-EFFECTEN RWZI HESSENPOORT

De rwzi Hessenpoort heeft een capaciteit van 28.250 ie (à 136 g CZV/dag). De berekende belasting voor 2008 is 11.991 per inwonerequivalent (ie, à 136 g CZV/dag) (verdere kengetallen van de rwzi zijn opgenomen in bijlage 6). De berekeningen zijn uitgevoerd met een statisch-dynamisch simulatiemodel gebaseerd op de evenwichtsberekening voor stikstof en fosfaatverwijdering. De stikstofverwijdering is gebaseerd op het HSA model, de fosfaatverwijdering is gebaseerd op het model van Scheer.

Voor de beschrijving van de warmte vasthoudende effecten op de rwzi Hessenpoort is gebruik gemaakt van het STOWA onderzoek "Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in rwzi's" (STOWA 2006-15).

5.3 ZUIVERINGSTECHNISCHE ASPECTEN

Het effect van de temperatuur op de volgende zuiveringstechnische aspecten is kwantitatief in ogenschouw genomen:

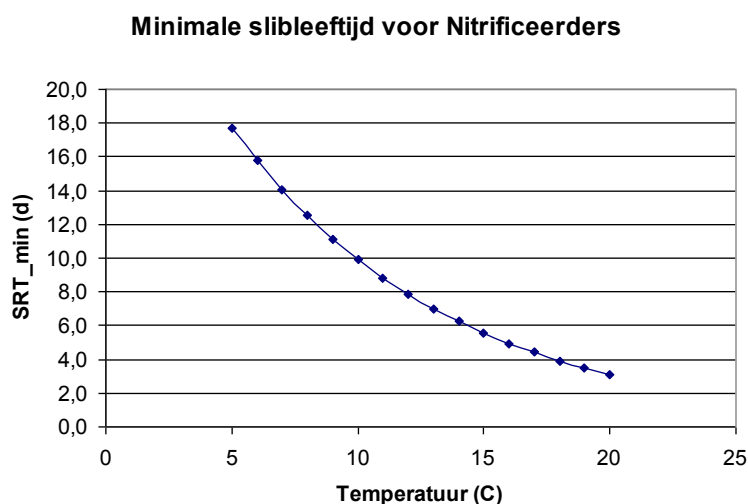
- Beluchtingsenergie en effluentkwaliteit voor totaal stikstof
- Secundaire slibproductie
- Effect op de biologische fosfaatverwijdering en de aanvullende chemicaliëndosering
- Exploitatiekosten

BELUCHTINGSENERGIE EN EFFLUENTKWALITEIT VOOR TOTAAL STIKSTOF

Bij een lage temperatuur van het influent spelen twee tegenstrijdige zaken een rol bij de benodigde beluchtingsenergie. Enerzijds daalt de benodigde beluchtingsenergie doordat bij lagere temperatuur de beluchting efficiënter verloopt. De oplosbaarheid van zuurstof neemt toe bij een lagere temperatuur. Anderzijds spoelt er meer nitraat uit met het effluent omdat er meer actief-slibvolume nodig is voor de omzetting van ammonium naar nitraat (nitrificatie) en minder volume overblijft voor de omzetting van nitraat naar stikstofgas (denitrificatie). Deze nitraatzuurstof wordt dan niet meer benut in het proces en gaat verloren. Als de warmteonttrekking leidt tot een vermindering van de ammoniumoxidatie naar nitraat omdat er een tekort aan volume is, vindt er een daling van de beluchtingsenergie plaats. Een verminderde ammoniumverwijdering leidt tot hogere ammoniumconcentraties in het effluent wat zeer ongewenst is.

De afhankelijkheid van de nitrificeerders van de temperatuur is weergegeven in figuur 5.1. De figuur laat zien dat de minimaal noodzakelijke slibleeftijd van de nitrificeerders exponentieel toeneemt bij een dalende temperatuur. Voor de rwzi betekent dit dat een groter deel van het actief-slibvolume belucht moet worden, of dat als het volume te klein wordt, de nitrificeerders uitspoelen en de nitrificatie stopt. Het stoppen van de nitrificatie is desastreus voor de effluentkwaliteit.

FIGUUR 5.1 INVLOED VAN DE TEMPERAATUUR OP DE SLIBLEEFTIJD (SLUDGE RETANTION TIME= STR)



SECUNDAIR SLIBPRODUCTIE

De secundaire slibproductie is het resultaat van de groei van het actief-slib en de omzetting van organische stoffen en ammonium. Bij lagere temperaturen groeit het slib langzamer maar wordt er ook minder organische stof omgezet zodat het netto resultaat is dat er meer slib ontstaat.

EFFECT OP DE BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING EN DE CHEMICALIËNDOSERING

Voor de verwijdering van fosfaat uit afvalwater wordt in veel gevallen gebruik gemaakt van metaalzouten (chemische fosfaatverwijdering). Dit kan ook aanvullend op biologische fosfaatverwijdering plaatsvinden. Bij de biologische fosfaatverwijdering wordt fosfaat opgeslagen in het actief-slib. De biologische fosfaatverwijdering is temperatuurafhankelijk waarbij er sprake is van tegenstrijdige effecten. Dit betekent dat de biologische fosfaatverwijdering bij lagere temperaturen zowel kan verbeteren of kan verslechteren. In rwzi's met biologische fosfaatverwijdering kan het aandeel chemisch slib dus stijgen of dalen als gevolg van een temperatuursverandering.

5.4 WARMTEBALANS OVER DE RWZI HESSENPOORT

Er is een warmtebalans opgesteld voor de rwzi Hessenpoort. Er is onderscheid gemaakt tussen de processen die de temperatuur in het actief-slibstelsel verhogen en de processen die de temperatuur in het stelsel verlagen.

Temperatuurverhogende aspecten:

- Zonnestraling
- Warmteproductie door micro-organismen en omzetting van mechanische energie

Temperatuur verlagende aspecten:

- Verdamping van water
- Warmte uitstraling naar de open lucht
- Geleiding en convectie vanaf wateroppervlak
- Geleiding naar of vanuit de bodem

De temperatuur verhogende en temperatuur verlagende aspecten zijn gebaseerd op de in tabel 5.1 opgenomen uitgangspunten. Aan de hand van deze uitgangspunten is de warmtebalans voor de rwzi Hessenpoort opgesteld.

TABEL 5.1

UIGANGSPUNTEN WARMTEBALANS

Per ie			
Debiet	l/dag	280	
Vuillast	g CZV/dag	91	
	g N_Kj/dag	10	
Energie-inhoud:			
CZV	MJ/kg	14	
N_Kj	MJ/kg	16	
Warmtecapaciteit water	kJ/kg.C°	4,18	
Omzetting		zomer	winter
CZV (aangenomen obv STOWA rapport)		40%	35%
N_Kj (berekend)		81%	67%
NKj influent	mg/l	35	35
N03 eff	mg/l	1,7	6,3
NKj slib	mg/l	5,0	5,5
N03 omgezet	mg/l	29	24

De uitgangspunten worden hieronder nader verklaard:

ZONNESTRALING

Zonnestraling leidt tot opwarming van de actief-slibtank en de nabezinktank. Door de jaarlijkse zonnecyclus is dit effect in de zomer veel groter dan in de winter. Gemiddeld per jaar wordt 108 W/m^2 toegevoerd. Het verschil tussen het maximum (zomer) en het minimum (winter) maandgemiddelde bedraagt een factor 10.

De actief-slibtank van de rwzi Hessenpoort is 4,75 m diep en heeft een actief-slibvolume van ongeveer $0,37 \text{ m}^3$ per i.e. Het actief-slib oppervlak per inwonerequivalent is dan $0,08 \text{ m}^2$. Voor de nabezinktank komt er ongeveer eenzelfde oppervlak bij. Voor de rwzi Hessenpoort levert de zonne-instraling een temperatuurstijging op van circa $+0,3^\circ\text{C}$ (winter) tot $+3,0^\circ\text{C}$ (zomer).

WARMTEPRODUCTIE DOOR MICRO-ORGANISMEN EN OMZETTING VAN MECHANISCHE ENERGIE

In de actief-slibtank komt energie vrij in de vorm van warmte door de omzetting van organisch materiaal via de biologische processen. De vrijkomende energie is te berekenen aan de hand van de aangevoerde vuillast en de omzetting. Circa 40 % van het organische stof (CZV) in het influent van de rwzi wordt omgezet (50 % in slib en 10 % in effluent) en 81 % (berekende waarde) van het aangevoerde stikstof (voornamelijk ammonium) wordt geoxideerd, 10 % belandt in het slib en 10 % in het effluent. Per gram omgezette CZV komt circa 14 kJ vrij en per gram geoxideerde stikstof komt rond 18 kJ vrij. In de winter wordt de omzetting van CZV iets lager verondersteld (35 %).

De oxidatie van stikstof is volgens de modelresultaten in de winter lager (67 %). Voor de rwzi Hessenpoort levert de biochemische omzetting een temperatuurstijging op van circa $+0,5^\circ\text{C}$.

Voor de omzetting van zuurstofverbruikend organisch materiaal en stikstof (TZV) is het noodzakelijk dat het actief slib wordt belucht. Het meest voorkomend is bellenbeluchting. Bij bellenbeluchting wordt een deel van de betrokken mechanische energie die hiervoor nodig is aan het actief slib overgedragen. Het is redelijk om te veronderstellen dat 50 % van het gele-

verde vermogen voor de beluchtingcompressoren in de vorm van warmte aan het actief-slib wordt overgedragen. Door de compressie warmt de lucht op. Het merendeel van de warmte wordt via de luchtleidingen en de luchtbellens aan de waterfase overgedragen.

Actief slib wordt met mixers en/of voortstuwers in suspensie gehouden. Meestal zijn de elektromotoren in het actief slib geplaatst en komt de ingebrachte mechanische energie voor 100 % ten goede aan de opwarming van het actief slib. Per i.e. wordt gemiddeld 0,85 W aan mechanische energie aan het actief-slib toegevoerd (STOWA 2006-15).

Voor de rwzi Hessenpoort levert de mechanische energie een temperatuurstijging op van circa +0,1 °C.

Overige opwarmende en/of koelende aspecten

De overige energieprocessen zijn veel complexer. Het gaat om de effecten van:

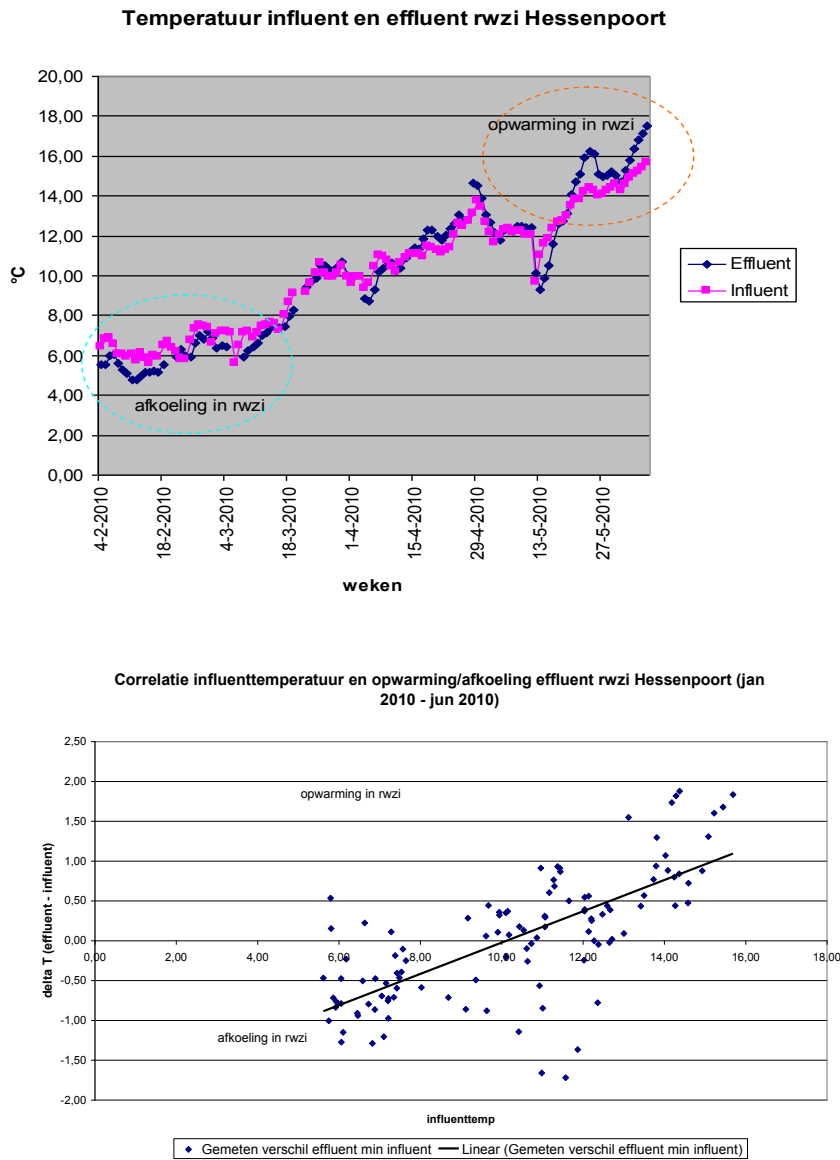
- Verdamping van water
- Atmosferische straling
- Geleiding en convectie vanaf het wateroppervlak
- Geleiding naar of vanuit de bodem

Voor de rwzi Hessenpoort leveren deze overige aspecten een temperatuurdaling van het influent op van circa -1,9 °C (winter) tot -2,9 °C (zomer). Deze waarden zijn bepaald aan de hand van praktijkmetingen van de influent- en effluenttemperatuur op de rwzi Hessenpoort.

TOTAAL EFFECT OP DE WARMTEBALANS

In figuur 5.2 zijn de gemeten temperatuur van influent- en effluent weergegeven. Uit het verschil tussen influent en effluent is afgeleid dat er sprake is van een gemiddelde afkoeling van circa -0,8 °C op een gemiddelde winterdag en een opwarming van circa +1,1 °C op een gemiddelde zomerdag. De spreiding in de metingen is groot. Dit komt door verschillen in de buitenluchttemperatuur, de aanvoer van regenwater of smeltwater en verschil in zonneschijn. De influenttemperatuur vertoont over het algemeen een sterke correlatie met de buitenluchttemperatuur, tot een zekere ondergrens waarbij de lucht wel verder afkoelt maar het influent niet.

FIGUUR 5.2 INFLUENT EN EFFLUENTMETING (BOVEN) EN AFKOELING/OPWARMING IN DE RWZI (ONDER)



figuur 5.2 Influent en effluentmeting (boven) en Afkoeling/opwarming in de rwzi (onder)

In tabel 5.2 is de totale warmtebalans weergegeven. De balans is weergegeven in Megajoules per dag per i.e., als vermogenspost in de vorm van Watt (Joule/sec) per i.e. en als temperatuur-effect op de waterstroom.

TABEL 5.2

WARMTEBALANS RWZI HESSENPOORT

		winter	zomer
In			
Zonnestralings energie	MJ/ie.dag	0,3	3,5
Zonnestraling vermogen	W/ie	4,0	40,0
Temperatuur effect rwzi	dT in °C	0,3	3,0
Productie			
Biochemische energie	MJ/ie.dag	0,6	0,6
Biochemisch vermogen	W/ie	6,4	7,4
Temperatuur effect rwzi	dT in °C	0,5	0,5
Mechanische energie	MJ/ie.dag	0,1	0,1
Mechanisch vermogen	W/ie	0,9	0,9
Temperatuur effect rwzi	dT in °C	0,1	0,1
Uit			
Afkoeling door wind/verdamping/warmte-uitstraling	MJ/ie.dag	-1,9	-2,9
Afkoelend vermogen wind/verdamping/waarde-uitstraling	W/ie	-22,1	-33,3
Temperatuur effect rwzi	dT in °C	-1,6	-2,5
Totaal effect op influenttemperatuur rwzi	dT in °C	-0,8	1,1

De warmtebalans laat zien dat het influent in de wintermaanden eerder afkoelt dan opwarmt, door warmte-effecten op de rwzi. De winter 2009/2010 betrof echter een lange winter, met veel vorst en veel sneeuw. De opwarming als gevolg van de biochemische of mechanische warmteproductie is maar in beperkte mate terug te zien. De afkoelende effecten vanuit de omgeving, zoals wind, verdamping en warmte-uitwisseling met de bodem zijn sterker dan de interne opwarming. In het voorjaar en de maand juni resulteren zonnewarmte en de productie van biochemische en mechanische warmte wel in een redelijke mate opwarming van het influent.

5.5 DOORBEREKENING EFFECT KOUDE INFLUENT OP RWZI HESSENPOORT

In voorgaand hoofdstuk is aan de hand van de warmtehuishouding in de afvalwaterketen geconstateerd dat de afvalwatertemperatuur niet verder daalt dan de temperatuur van het grondwater. Het grondwater lijkt te fungeren als een grote buffer. Hieruit wordt verondersteld dat de onttrekking van warmte uit afvalwater, mits dit op voldoende afstand van de rwzi gebeurt, geen of een beperkte invloed heeft op de temperatuur van het influent.

Daarnaast geldt dat bij een warmtevraag in de buurt van een rwzi het voor de hand liggend is om het effluent hiervoor te gebruiken in plaats van het influent.

In deze paragraaf wordt het effect van een theoretische, langdurige daling van de temperatuur van het influent op de functionering van de rwzi Hessenpoort berekend. Het gaat hier over een constante daling van 1 °C voor de periode december tot en met april.

5.5.1 UITGANGSPUNTEN BEREKENING

ZUIVERINGSTECHNISCHE ASPECTEN

Voor de berekening van de exploitatiekosten is uitsluitend gekeken naar de kosten voor beluchtingsenergie, chemicaliën en slibverwerking.

Voor de influentvracht en het slibgehalte is gerekend met jaargemiddelde vrachten en een gelijkblijvend slibgehalte (data 2008). De influentgegevens zijn in tabel 5.3 samengevat.

TABEL 5.3 INFLUENTGEGEVENS RWZI HESSENPOORT

Omschrijving	Eenheid	Ontwerpsituatie	Praktijk 2008
CZV	kg/dag	2.700	1.087
BZV	kg/dag	1.000	375
Zwevende stof	kg/dag	1.200	561
N-Kjeldahl	kg/dag	250	119
P-totaal	kg/dag	42	23
Droogweeraanvoer	m ³ /h	430	180
Regenweeraanvoer	m ³ /h	1.000	1.000
Gemiddeld debiet	m ³ /d	4.550	3.358
Slibgehalte AT	kg ds/m ³	5,0	3,6

Als maximale warmteonttrekking uit het influent is in de praktijksituatie gerekend met 1 °C in de maanden november tot en met april. Deze 1 °C wordt afgetrokken van het standaard temperatuurprofiel (praktijksituatie) dat gehanteerd wordt bij het ontwerp van rwzi's. Het doel van deze analyse is een trendmatige beoordeling van het effect van temperatuurreductie op het functioneren van het zuiveringsproces.

In het ontwerpproces vormt de ondergrens van het temperatuurprofiel de basis voor het ontwerp van de actief-slibtank. Bij een lagere ondergrens, in dit geval 9 °C in plaats van 10 °C, zou een grotere actief-slib tank kunnen worden ontworpen om te kunnen voldoen aan de gestelde effluent-eis.

In tabel 5.4 wordt het temperatuurprofiel van de praktijksituatie vergeleken met het temperatuurprofiel waarbij de influenttemperatuur 1 °C lager uitvalt. Ter illustratie zijn alle maanden opgenomen.

TABEL 5.4 TEMPERAATUURPROFIEL RWZI HESSENPOORT MET EN ZONDER VERLAGING INFLUENTTEMPERATUUR

Maand	Praktijk situatie 2008	dT	Temperatuur praktijk situatie 2008 inclusief warmteonttrekking
Januari	10,0	-1	9,0
Februari	10,0	-1	9,0
Maart	11,0	-1	10,0
April	12,0	-1	11,0
Mei	15,0	0	15,0
Juni	17,0	0	17,0
Juli	19,0	0	19,0
Augustus	20,0	0	20,0
September	17,0	0	17,0
November	15,0	0	15,0
December	12,0	-1	11,0

Naast de temperatuurprofielen in tabel 5.4 is er gerekend met de influentgegevens en de proces technologische gegevens van de rwzi Hessenpoort in 2008. In totaal zijn twee simulaties uitgevoerd (beide met aanvullende ijzer (Fe-)dosering op de waterlijn).

- Praktijk rwzi Hessenpoort 2008
- Praktijk rwzi Hessenpoort inclusief temperatuurverlaging 2008

5.6 RESULTATEN DOORBEREKENING HESSENPOORT

RESULTATEN EFFLUENT

Warmteonttrekking aan het influent leidt volgens de modelberekeningen in de praktijksituatie tot een toename van het stikstofgehalte in het effluent van 6,3 tot 7,5 mg/l. De effluent-eis voor de rwzi wordt hierbij echter niet overschreden. In bijlage 6 zijn de belangrijkste resultaten van de modelberekeningen weergegeven.

RESULTATEN EXPLOITATIEKOSTEN

Door de warmteonttrekking dalen in de praktijksituatie de kosten voor slibverwerking en stijgen de kosten voor de beluchting. De kosten voor het chemicaliëngebruik stijgen. In totaal nemen de exploitatiekosten met circa 0,3 % af. In bijlage 6 zijn de belangrijkste resultaten van de modelberekeningen weergegeven.

MOGELIJKHEDEN VOOR BEPERKING WARMTE-EFFECT

De verwachting is dat een afname van de influenttemperatuur rechtevenredig doorwerkt in de effluenttemperatuur, maar het is ook mogelijk dat het afkoelende effect van de rwzi minder is als het influent kouder is. Dit is verder niet onderzocht.

Het warmteverlies op de rwzi kan worden beperkt door een aantal eenvoudige maatregelen. Hiermee zou in het geval van warmteonttrekking aan de influentzijde gecompenseerd kunnen worden, zodat de warmteonttrekking niet tot verslechtering van de effluentkwaliteit zal leiden. Maatregelen zijn:

- Afdekking van de actief-slibtank
- Extra thermische isolatie voor deze afdekking
- Het verminderen van het afkoelend effect van de wind over de actief-slibtank

De temperatuur zou door afdekking of het wegnemen van de windinvloeden met 1 °C of 2 °C kunnen stijgen.

5.7 CONCLUSIES WARMTEBALANS EN WARMTEONTTREKKING RWZI HESSENPOORT

WARMTEBALANS RWZI HESSENPOORT

In de rwzi vindt opwarming van het afvalwater plaats. De opwarming van het afvalwater is een gevolg van de biochemische en de mechanische warmteproductie. In potentie is dit voor de rwzi Hessenpoort circa 0,6 °C. Daar kan, afhankelijk van het seizoen, 0,3 °C tot 3,0 °C bij worden opgeteld voor de zonnearmte. In totaal kan het afvalwater in de rwzi dus 0,9 °C tot 3,6 °C graden opwarmen. Door omgevingseffecten, zoals wind, verdamping en warmteuitwisseling met de bodem vindt echter afkoeling plaats.

Met name in de wintermaanden is dit het geval en daalt de temperatuur van het afvalwater in de rwzi Hessenpoort met 0,8 °C op een gemiddelde winterdag. Op een gemiddelde zomerdag stijgt de temperatuur van het afvalwater in de rwzi Hessenpoort met 1,1 °C.

ZUIVERINGSTECHNISCH EN EXPLOITATIE

De belangrijkste conclusies zijn dat de warmteonttrekking aan het influent volgens de modelberekeningen leidt tot een hogere concentratie aan stikstof in het effluent, een toegenomen druk op de lozingsvergunning en een lichte verlaging van de exploitatiekosten (tabel 5.5). Een temperatuurverlaging van 1 °C leidt volgens deze berekening niet tot een overschrijding van de effluenteisen. De reden hiervoor is dat de rwzi laagbelast is.

TABEL 5.5

EFFECT WARMTEONTREKKING RWZI HESSENPOORT

Aspect	In vergelijking met praktijksituatie
Warmteonttrekking influent	-1 °C
Effluentkwaliteit totaal stikstof	20 % grotere stikstof vracht in effluent
Exploitatiekosten	-0,3 %
- Minder chemisch slib	
- Minder beluchting	

TOEPASSING WARMTEONTREKKING AAN INFLUENT RWZI HESSENPOORT

De toepassing van warmteonttrekking aan de influentzijde van de rwzi Hessenpoort is mogelijk omdat de rwzi nog laag belast is. Bij een toenemende belasting zou de effluent-eis voor stikstof in het gedrang kunnen komen. Dit zou voorkomen kunnen worden door de lagere influenttemperatuur te compenseren door een isolerende afdekking van de actiefslibtank of het verminderen van het afkoelend effect van de wind over de actiefslibtank.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de metingen en de analyses is veel informatie vergaard over de warmtehuishouding in de afvalwaterketen Hessenpoort. In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van dit onderzoek besproken.

De haalbaarheid van de terugwinning van warmte uit afvalwater is in deze studie onderzocht aan de hand van de volgende drie onderzoeksvragen:

- Hoe ziet de warmtehuishouding in de afvalwaterketen er uit en waar zijn de meeste effectieve locaties voor het terugwinnen van warmte in deze keten
- Welke invloed heeft de terugwinning van warmte op het functioneren van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi)
- Welke technieken zijn mogelijk om de warmte terug te winnen

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden is er een meetprogramma uitgevoerd om de warmtehuishouding in een rioolstelsel in kaart te brengen.

6.1 DE WARMTE HUISHOUDING IN DE AFVALWATERKETEN HESSENPOORT

Voor het jaar 2010, gekenmerkt met een strenge winter, zijn gemiddelde temperaturen gemeten in het rioolstelsel van 6,6 °C tot 8,3 °C in de winter en 16,4°C tot 19,4°C in de zomer. De influenttemperatuur was in de winter tussen de 5,7 en 8,2 °C en in de zomer: tussen de 7,5 en 20,9°C. Geconstateerd is dat de gemeten temperaturen amper onder de grondwatertemperatuur zakken. Dat doet het vermoeden dat het grondwater een belangrijke rol speelt in het bufferen van de temperatuur van het afvalwater.

Verder is geconstateerd dat lagere debieten sneller afkoelen dan hogere debieten. Dat is mogelijk te verklaren door een grotere invloed van de omgeving op kleinere debieten. Grote debieten zijn vaak minder gevoelig voor dagritmes. Afvalwater van verbeterd gescheiden stelsels, het verzorgingshuis, en industrieterrein Lombok is relatief warmer dan het afvalwater bij de overige meetpunten. Ook direct bij de lozing van huishoudens is het afvalwater warm. Bij een kleine lozing koelt het afvalwater in de winter snel, namelijk binnen een afstand van 100 m. Bij grotere debieten is een afkoeling geconstateerd tussen 0,4 en 0,9 °C binnen een afstand van 600 m.

6.2 DE BESTE LOCATIES VOOR DE TERUGWINNING VAN WARMTE

De best mogelijke locatie voor de terugwinning van energie uit de afvalwaterketen is die waar het hoogste debiet en de hoogste temperatuur gevonden worden. Uit bovenstaande paragraaf mag geconcludeerd worden dat de beste locaties voor het terugwinnen van warmte uit rioolstelsels zijn:

- Direct bij de lozingen van warm water voor dat het water afkoelt en zijn energie naar de omgeving kwijt raakt
- Op locaties waar grote debieten worden afgevoerd; voor dit onderzoek zijn die onder andere: het effluent, de gemalen Berkum en Dieze-Oost en het industrieterrein Lombok

Voor huishoudens is de douchewarmtewisselaar een voorbeeld van een effectief middel. Door de warmte direct uit het douchewater terug te winnen en dit te gebruiken om nieuw douchewater voor te verwarmen kan het gasverbruik voor de verwarming van douchewater flink gereduceerd worden. Dit principe geldt vermoedelijk ook voor de directe terugwinning van warmte uit het afvalwater van zwembaden, hotels, kazernes of andere gebouwen met een hoge warm waterverbruik. De warmte wordt in dit geval teruggewonnen door het afvalwater door een opvangtank met warmtewisselaar te laten lopen alvorens het op het riool te lozen. Een interessante mogelijkheid in Zwolle betreft de inzet van warmte van het industrieterrein voor het verwarmen van het naburige oude buitenzwembad. Naar verwachting bevat de afvalwaterlozing van de Isalaklinieken ook de nodige restwarmte welke mogelijk terug te winnen valt.

6.3 HET EFFECT OP DE RWZI

Door het massaal terugwinnen van warmte uit het afvalwater, kan het afvalwater afkoelen. Of dit merkbaar zal zijn op de influenttemperatuur hangt af van de afstand van de terugwinlocatie tot de rwzi en de ligging van het hoofdriool richting de rwzi ten opzichte van het grondwater. Vermoedelijk treedt, onder invloed van grondwater, een egalisatieproces op waardoor per saldo een beperkt effect overblijft.

Het terugwinnen van energie uit het influent ligt niet voor de hand. Dit ondanks dat het influent een groot debiet heeft. Door de ligging van de meeste rwzi's net buiten het bebouwde gebied zijn de afstanden tot de vraagzijde een nadelige punt. Daarnaast is het, in een dergelijke situatie, voor de hand liggend om het effluent te gebruiken in plaats van het influent.

Als de terugwinning van warmte uit het influent te dicht bij de rwzi wordt gerealiseerd, is de kans groter dat dit negatieve effecten heeft op het functioneren van de rwzi.

Voor de rwzi Hessenpoort zijn de belangrijkste factoren die de temperatuur beïnvloeden geanalyseerd. Zo blijkt dat in de actief-slibtank warmte vrijkomt door het proces van omzetting van organische stoffen en inbreng van mechanische energie. Zonne-energie warmt het afvalwater in de actief-slibtank en de nabezinktank op met 0,3 tot 3 °C.

De influent- en effluenttemperatuur in Hessenpoort is circa 7 °C in de winter en 20 °C in de zomer. De afkoeling / opwarming onderweg naar de rwzi speelt hier een belangrijke rol. In de rwzi is de temperatuur afhankelijk van de interactie met de omgeving en de geproduceerde energie in het zuiveringsproces door de omzetting van biologisch afbreekbare materialen.

In het geval van de rwzi Hessenpoort is berekend dat een langdurige temperatuurdaling van één graad Celcius gedurende het gehele winterseizoen, een extra nitraatmissie kan veroorzaken van 7,4 mg/l N, dat in plaats van 6,3 mg/l onder normale omstandigheden.

Om deze emissiestijging te voorkomen zijn diverse maatregelen mogelijk, zoals het afdekken van de actief-slibtank en het beperken van de windinvloed.

6.4 AANBEVELINGEN

- De afvalwaterketen Hessenpoort beschikt over een groot potentieel aan thermische energie. Op meerdere locaties in de afvalwaterketen kan deze verloren energie teruggewonnen worden
- Het negatieve effect van de terugwinning van energie op het functioneren van de rwzi is beperkt indien daar rekening wordt gehouden met een voldoende afstand tussen de locatie van de onttrekking van warmte en de rwzi. Het bufferende effect van het grondwater speelt daarbij vermoedelijk een belangrijke rol

- Om de haalbaarheid van terugwinning van warmte uit de (afval)waterketen in de praktijk te demonstreren dienen enkele praktijkpilots te worden uitgevoerd
- Het verrichten van meerdere metingen onder verschillende omstandigheden is nodig om een meer representatief beeld te ontwikkelen van de warmtehuishouding in de Nederlandse (afval)waterketen
- Het inzicht in de energetische en financiële haalbaarheid van terugwinningprojecten dient te worden vergroot door:
 - Meer inzicht in het rendement van warmtepompen en temperatuur van het afvalwater en de prijsontwikkeling van energie te verkrijgen
 - De mogelijke terugwinning van warmte en koude uit de afvalwaterketen in combinatie met warmte-koudeopslag te onderzoeken
- Het is aan te bevelen om een verkenning uit te voeren naar de organisatie en verantwoordelijkheden bij terugwinningprojecten. Hiermee wordt voorkomen dat door het ontbreken aan regie negatieve invloeden op de waterketen kunnen optreden en misinvesteringen worden gepleegd

LITERATUURLIJST

- 1 BEA / Prosys (2004), *Potenzialstudie zur Abwasserabwärmenutzung in Bremerhaven*
- 2 Bundesamt für Energie (BFE) (2008), *Wärmepumpen-Forschung Wärmequellen, Komponenten, Arbeitsmedien*
- 3 Bundesverband Wärmepumpe (2005), *Heizen und kühlen mit abwasser*
- 4 Bundesamt für Energie (BFE) (2008), *Abwasserwärmenutzung potenzial, wirtschaftlichkeit und forderung*
- 5 Eawag (2005), *Eawag news Biofilme*
- 6 Eawag, *Wärmenutzung aus abwasser*
- 7 Eawag (2006), *Berechnung des Verlaufs der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr*
- 8 Clive Beggs (2002), *Energy: Management, supply and conservation*
- 9 David J. Dürrenmatt (2006), *Berechnung des Verlaufs der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr, Eawag*
- 10 Felix Schmid (2008) *Sewage water: Interesting heat source for heat pumps and chillers*
- 11 Katushiko narita and Tesuya Maekawa (1990), *Energy recycling system for urban waste heat*
- 12 Martin Dietler (2004) *Abwärmenutzung aus bestehenden Schmutzwasserkanal in Binningen*
- 13 Mirjam Blokker, Ilse Pieterse-Quirijns (2010), *Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet, KWR*
- 14 Paepe M. de, E. Theuns, S. Lenaers, J. Van Loon (2003), *Heat recovery systems for dishwashers*
- 15 Rabtherm GmbH, diverse referenties
- 16 Rometsch L. (2004), *Warmgewinnung aus abwasserkanalen IKT studie*
- 17 Schmid, F. (2008) *Sewage water: Interesting heat source for heat pumps and chillers, Eawag*
- 18 STOWA 2010-35: *Energie in de Waterketen*
- 19 STOWA 2010-46: *Mastercase energie in de Waterketen*
- 20 Tassou (1987), *Heat recovery from sewage effluent using heat pumps*
- 21 TNO (2004), *Warmtewinning uit rioolpersleidingen*
- 22 Wanner, O, Panagiotidisa, V, Clavadetscherb, P, Siegrist, H. (2005) *Effect of heat recovery from raw wastewater on nitrification and nitrogen removal in activated sludge plants, Eawag*
- 23 Wanner, O. (2006) *Biofilms hamper heat recovery, Eawag news 60^e/July 2006*
- 24 Wanner, O. (2004), *Wärmerückgewinnung aus abwassersystemen, Eawag*

BIJLAGE 1

ACHTERGROND EN ERVARINGEN

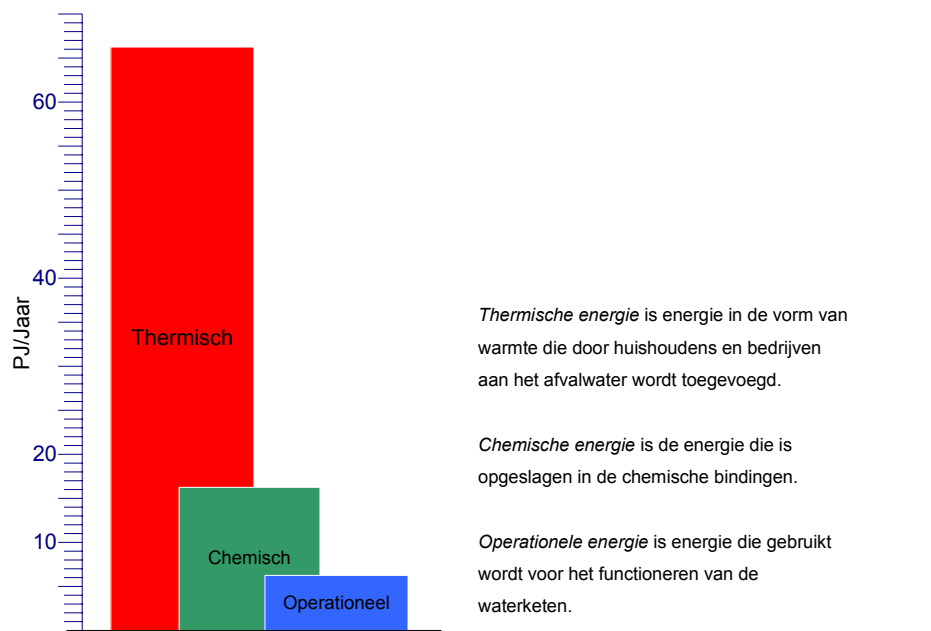
ACHTERGRONDINFORMATIE EN ERVARINGEN IN HET BUITENLAND

Deze bijlage bevat achtergrondinformatie over de hoeveelheid warmte die aan afvalwater wordt toegevoegd, de locaties en technieken die beschikbaar zijn om warmte terug te winnen uit afvalwater en de ervaringen met warmtewinning uit het buitenland.

ENERGIESOORTEN IN DE WATERKETEN

De energie die voorkomt en gebruikt wordt in de waterketen is in te delen in 3 soorten: Thermische energie, chemische energie en operationele energie (figuur B1.1). Het grootste deel van de energie in de waterketen is thermische energie; de warmte die aan het water wordt toegevoegd door huishoudens en bedrijven.

FIGUUR B1.1 DE OMVANG VAN DE BELANGRIJKSTE ENERGIESOORTEN IN DE NEDERLANDSE WATERKETEN
(BRON: STOWA RAPPORT 2010-35; ENERGIE IN DE WATERKETEN)



Thermische energie en chemische energie kunnen beiden worden teruggewonnen. Hoewel thermische energie het grootst in omvang is, wordt in de praktijk voornamelijk chemische energie teruggewonnen. Chemische energie wordt onder andere teruggewonnen door het vergisten van zuiveringsslib. Bij het vergisten ontstaat biogas. Dit is een hoogwaardige vorm van energie en kan gemakkelijk als brandstof worden gebruikt.

Bij terugwinnen van warmte uit afvalwater wordt warmte-energie uit het afvalwater gehaald en omgezet in bruikbare warmte van een hogere temperatuur met behulp van een warmtepomp. Dit is laagwaardige energie met beperkte toepassingsmogelijkheden, zoals de verwarming van panden. In Nederland is de vraag naar warmte circa 40 % van de totale energievraag (dit is meer dan het dubbele van de elektriciteitsvraag). Aan deze vraag naar warmte kan deels worden voldaan met warmte uit afvalwater.

WARMTE IN AFVALWATER

Huishoudelijk afvalwater is relatief warm. In tabel B1.1 worden de verschillende huishoudelijke afvalwaterstromen weergegeven met de gemiddelde temperatuur van deze stromen.

TABEL B1.1

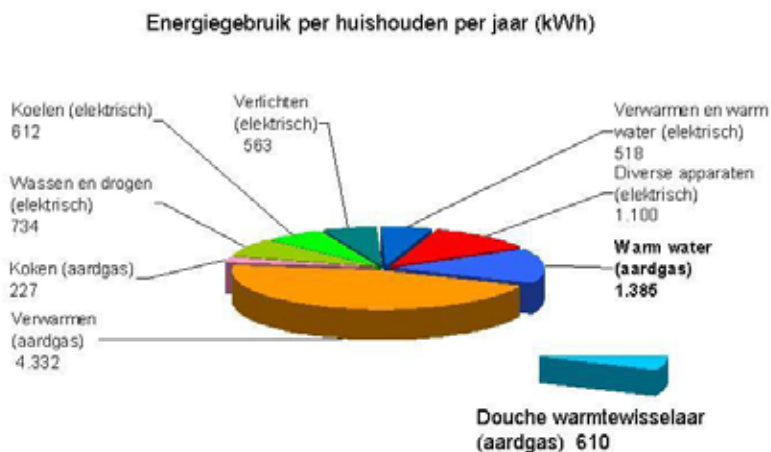
HUISHOUDELIJK AFVALWATERSTROMEN EN DE BIJBEHORENDE TEMPERATUUR (STOWA 35, 2010: ENERGIE IN DE WATERKETEN)

	Gemiddelde lozing (aanname), (l inw/d)	Afvoer temperatuur (°C)	Geloosde thermische energie (kJ/pp.d)
Bad	2,5	30	188
Douche	49,8	35	4.788
Wastafel	5,3	22	222
Toiletspoeling	37,1	18	930
Wassen hand	1,5	30	115
Wasmachine	14,0	30	1.050
Afwassen hand	3,4	30	257
Afwasmachine	2,7	35	260
Voedselbereiding	1,5	50	243
Koffie/thee	1,1	37	113
Water drinken	0,5	37	56
Overig Keukenkraan	4,8	15	60
Totaal	124	28	8.282

De thermische energie (warmte) in afvalwater kan deels worden teruggewonnen door het installeren van een warmtewisselaar. Bij nieuwbouw wordt bijvoorbeeld steeds vaker een warmtewisselaar bij de doucheafvoer geïnstalleerd om aan de EPC-normen te voldoen. Voor industrieën met een warmwaterlozing geldt in principe hetzelfde. Met een douchewarmtewisselaar kan in een gemiddeld huishouden circa 610 kWh per jaar aan warmte worden teruggewonnen (in figuur B1.2 weergegeven in het lichtblauw). Deze hoeveelheid energie is iets groter dan het jaarlijkse energieverbruik voor verlichting.

FIGUUR B1.2

DE OMVANG ENERGIEBESPARING DOOR HET PLAATSEN VAN EEN DOUCHEWARMTEWISSELAAR IN EEN GEMIDDELD WONING IN NEDERLAND



De hoeveelheid thermische energie die bij temperatuursverandering van het afvalwater verloren gaat of gewonnen wordt kan berekend worden met de volgende formule:

$$P = Q * c_w * \rho_w * \Delta T$$

Hierin zijn:

P = Energie (kW)

Q = Debiet (m³/s)

C_w = Soortelijke warmte water = 4,18 kJ/kg/°C

ρ_w = Dichtheid water = 1.000 kg/m³

ΔT = Temperatuur verschil tussen bron (rioolwater) en doel (°C)

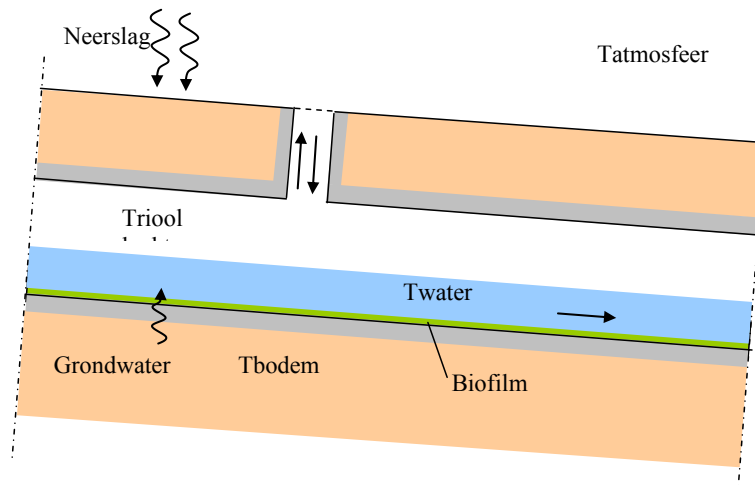
Uit deze formule blijkt dat debiet en temperatuur als enige onbekende lineair verantwoordelijk zijn voor de hoeveelheid thermische energie. Deze formule laat zien dat de hoeveelheid thermische energie lineair afhankelijk is van het debiet en de temperatuur.

INVLOED VAN EXTERNE FACTOREN OP DE TEMPERatuur VAN HET AFVALWATER

Verschillende externe factoren beïnvloeden de temperatuur van het afvalwater, en daarmee de hoeveelheid thermische energie. De gemiddelde temperatuur van huishoudelijk afvalwater is circa 26 °C bij het verlaten van het huis.

Na het verlaten van het huis wordt de temperatuur van het afvalwater bepaald door verschillende factoren (Eawag, Wärmenutzung aus abwasser) waardoor onderweg naar de RWZI een toename of een afname van de temperatuur van het afvalwater optreedt. De belangrijkste factoren zijn in figuur B1.3 schematisch weergegeven.

FIGUUR B1.3 DE BELANGRIJKSTE FACTOREN DIE DE TEMPERatuur VAN AFVALWATER IN HET RIOOL ONDERWEG NAAR DE RWZI BEÏNVLOEDEN



Hieronder worden de verschillende factoren puntsgewijs behandeld.

- *T-atmosfeer*: Doordat de riolering in open verbinding staat met de buitenlucht heeft de temperatuur van de atmosfeer invloed op de luchttemperatuur in het riool en daarmee op de temperatuur van het afvalwater in het riool
- *Neerslag*: Neerslag zal voor een deel afstromen in het riool. De invloed hiervan op de thermische energie van het afvalwater is afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid neerslag. Bij sneeuw kan de invloed op de temperatuur van het afvalwater pas bij een dooiperiode zichtbaar worden
- *T-bodem*: Door geleiding van de bodem en infiltratie van grondwater in de rioolbuis heeft de temperatuur van de bodem (welke ongeveer gelijk is aan de temperatuur van het grondwater) in meer of mindere mate invloed op de thermische energie van het afvalwater in de rioolbuis. Bij nieuwe rioolstelsels is de infiltratie van grondwater beperkt en zal de invloed van de bodem beperkt zijn. Oude rioolstelsels, voornamelijk systemen van voor 1984, kennen een hoge mate van grondwaterinfiltratie. Er zijn metingen bekend met een aandeel van 30 % grondwater in het dwa (droogweerafvoer). Deze substantiële stroom kan een grote invloed hebben op de temperatuur van het rioolwater.

De vorst in Nederland daalt in principe niet verder dan 50 cm beneden maaiveld. Dat is af te leiden uit de aanlegis van rioolbuizen. Om rioolbuizen te beschermen tegen scheuren door bevriezingen is een diepte van 60 cm als minimale eis gesteld. Vorst heeft dan ook geen directe invloed op de temperatuur van het afvalwater. Op een diepte van circa 2 m onder het maaiveld heeft het grondwater een gemiddelde temperatuur van circa 10 °C

- *Biofilm en sedimentatie*: Het slib in het rioolwater hecht zich aan de rioolwand en vormt daar een dunne laag op, de zogenaamde biofilm. Deze laag heeft een isolerende werking wat warmte-uitwisseling met de omgeving vermindert. Sedimentatie van onopgeloste delen in het afvalwater heeft een soortgelijk effect
- *Materiaal rioolbuizen en dikte*: Het materiaal en de dikte van rioolbuizen bepaald het isolerend vermogen van de rioolbuizen. Zo is bijvoorbeeld kunststof meer isolerend dan beton
- *Grondwaterstand*: Lucht isoleert beter dan water, bovendien stroomt grondwater (zij het langzaam) waardoor de toename of de afname van de temperatuur van het afvalwater continu door gaat
- *Af te leggen afstand*: Hoe langer de af te leggen afstand hoe langer het afvalwater invloeden van de omgeving ondervindt die consequenties hebben voor toename of afname van de temperatuur
- *Stroomsnelheid*: Een lage stroomsnelheid zorgt voor een langere periode van contact met de omgeving en daardoor meer invloeden
- *Mate van ventilatie*

Door bovengenoemde factoren neemt de temperatuur van het afvalwater af in de tijd en met de afstand tot de bron. Hoe langer de verblijftijd in de riolering, hoe verder het afvalwater afkoelt. De minimumtemperatuur wordt door de omgeving bepaald. Deze minimumtemperatuur is sterk seizoensafhankelijk. In de RWZI loopt de temperatuur van 10 °C in de winter tot 23 °C in de zomer.

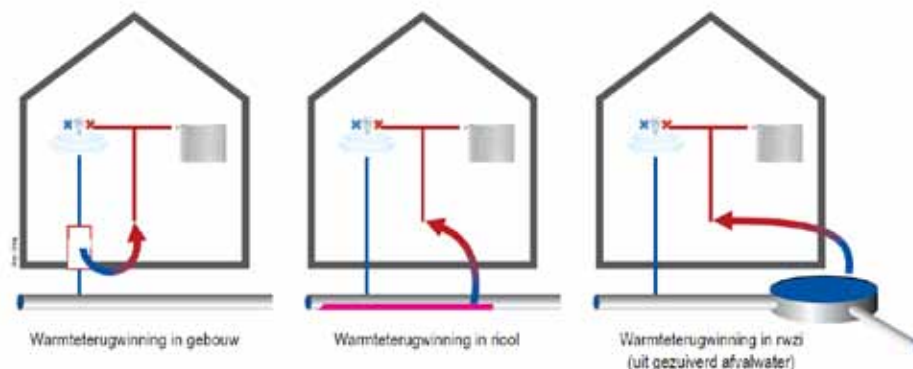
Ook de afmeting van de riolering speelt een belangrijke rol om de afkoeling van het afvalwater. De dikte van de wand en diameter van de buis zijn voor een groot deel bepalend voor hoe snel afvalwater zijn warmte verliest. Een dwa-stroom in een gemengd rioolstelsel koelt sneller af dan dezelfde dwa-stroom in een gescheiden rioolstelsel. Belangrijker nog is de afstand die het rioolwater moet afleggen tussen bron en een mogelijke warmtewisselaar: Hoe groter de buislengte, hoe langer de verblijftijd. De transportafstand bepaalt zodoende in grote mate de temperatuur van het afvalwater ter plaatse van de warmtewisselaar.

MOGELIJKE LOCATIES VOOR WARMTETERUGWINNING UIT AFVALWATER

Het terugwinnen van warmte uit afvalwater is globaal op drie verschillende plaatsen mogelijk: in het huis, in het riool, of in het effluent van de RWZI. Dit wordt schematisch weer gegeven in figuur B1.4.

Het is van belang dat de warmte teruggewonnen wordt in de nabijheid van de plaats van de afzet. De warmteverliezen blijven hierdoor beperkt en de benodigde infrastructuur en investeringskosten zo laag mogelijk.

FIGUUR B1.4



De optimale locatie voor het plaatsen van een warmtewisselaar (WTW) voor het terugwinnen van thermische energie uit afvalwater is afhankelijk van een aantal factoren, de belangrijkste zijn:

- De afstand van de WTW tot de afnemers
- Het debiet van de droogweerafvoer (DWA)
- De temperatuur van het afvalwater bij de WTW
- Type riolering: gescheiden of gemengd stelsel
- De afstand van de WTW tot de RWZI

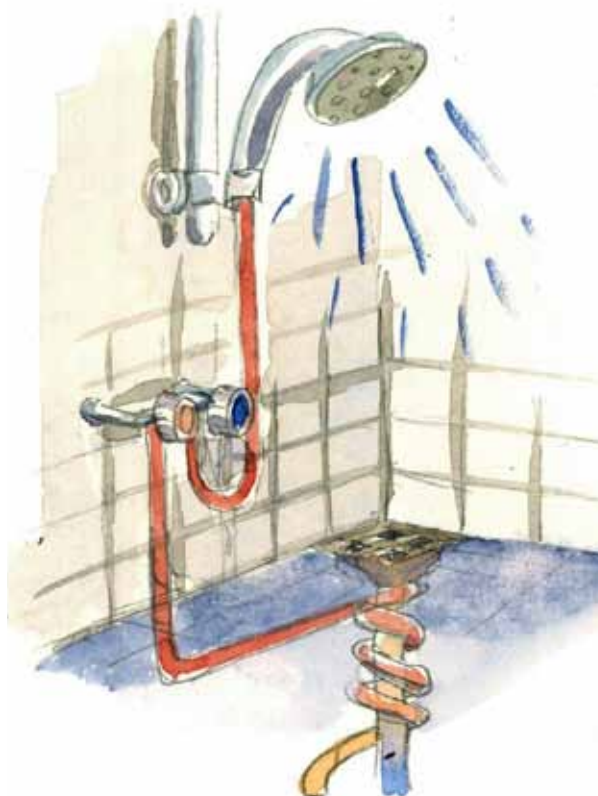
Aangezien de temperatuur van de omgeving (buitenlucht en bodem) een grote invloed heeft op de temperatuur van het afvalwater, zal bij een potentiële locatie onderzocht moeten worden hoeveel warmte teruggewonnen kan worden, bij zowel winterse als zomerse omstandigheden. Hierbij zullen de winterse omstandigheden limiterend zijn voor de hoeveelheid warmte die teruggewonnen kan worden.

In onderstaande paragrafen zijn de drie mogelijkheden verder uitgewerkt, plus de mogelijkheid van het combineren van warmtewinning uit afvalwater met warmte-koudeopslag (WKO).

WARMTETERUGWINNING BINNENSHUIS

Thermische energie kan binnenshuis op verschillende manieren teruggewonnen worden. Door het plaatsen van een warmtewisselaar op de afvoerleiding van de douche kan eenvoudig warmte worden terug gewonnen. Het toegeleverde douchewater wordt hierbij voorverwarmd met de warmte uit het afvalwater (figuur B1.5). Deze techniek wordt in Nederland al veelvuldig toegepast. De succesfactor van de douchewarmtewisselaar is de gelijktijdigheid en de nabijheid van de vraag naar warmte en het aanbod van warmte. Het afvalwaterdebiet van de douche is relatief groot waardoor het op te warmen douchewater direct met een grote hoeveelheid afvalwater (van hoge temperatuur) opgewarmd wordt. De compatibiliteit tussen vraag en aanbod maakt een terugverdientijd van 5 jaar mogelijk.

FIGUUR B1.5



ELD DOUCHEWATER

WARMTETERUGWINNING VLAK BIJ HET GEBOUW

Het plaatsen van warmtewisselaars bij de doucheafvoer is niet altijd gemakkelijk, vooral niet bij bestaande bouw. Voor deze situaties kunnen collectieve voorzieningen toegepast worden. Het op grotere schaal terugwinnen van warmte uit afvalwater (over het algemeen binnen wooncomplexen) wordt nog niet in Nederland toegepast. In het buitenland is hier al wel veel ervaring mee. Bij flatgebouwen worden zogenaamde spiral-tubes toegepast (figuur B1.6). Deze systemen zijn vooral toepasbaar voor situaties met een groot continue warmteaanbod en -vraag. Dit is vooral het geval bij ziekenhuizen, spa's, sportclubs en appartementen.

FIGUUR B1.6

EEN SPIRAL-TUBE VOOR HET TERUGWINNEN VAN THERMISCHE ENERGIE (LINKS)



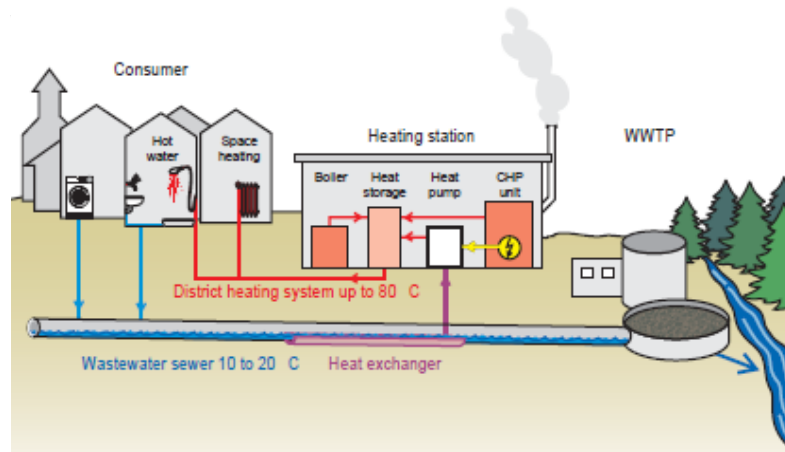
WARMTERUGWINNING IN HET RIOOL OF HET EFFLUENT VAN EEN RWZI

Er zijn twee methodes om warmte uit het rioolstelsel terug te winnen:

- Een warmtewisselaar in het riool (figuur B1.7). Hierbij stroomt het afvalwater over een warmtewisselaar die geïntegreerd, of later, in het riool, geplaatst is. Het debiet van het afvalwater moet voldoende zijn om warmtewisselaar continue onder water te houden
- Oppompen van het afvalwater uit het riool naar een externe warmtewisselaar boven de grond waarbij het water tevens gefilterd wordt (figuur B1.8)

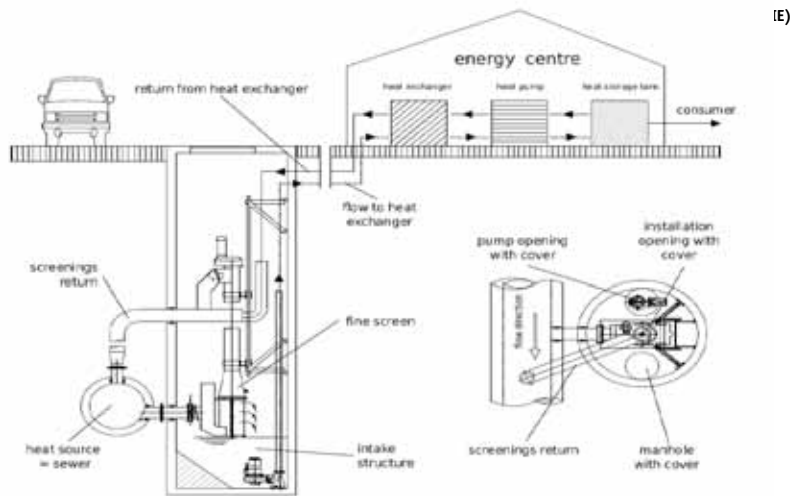
Beide systemen hebben voor- en nadelen. De variant met de warmtewisselaar in het riool gebruikt de minste operationele energie. Daarbij bevindt de warmtewisselaar zich volledig ondergronds wat ruimtegebruik bespaart. De tweede variant is technisch flexibeler. De dwarsdoorsnede en de helling van de riolering spelen geen rol waardoor een groot contact oppervlak mogelijk is. Tevens is het onderhoud gemakkelijker.

FIGUUR B1.7



FIGUUR B1.8

WINNING VAN AFVALWATERWARMTE DOOR HET OPPOMPEN VAN AFVALWATER UIT HET RIOOL WAARBIJ HET WATER EERST GEZUIVERD WORDT



Bij het terugwinnen van warmte uit rioolstelsels is het van belang om vraag en aanbod van warmte in kaart te brengen. De eerste stap in dit proces is het bepalen van de warmtevraag. Bij nieuwbouw kan de warmtevraag bijvoorbeeld bepaald worden aan de hand van de omvang van de te bouwen ruimte en het aantal bewoners/gebruikers. De volgende stap betreft het inventariseren van geschikte afvalwaterdebieten (met redelijke temperaturen) die de warmtevraag (gedeeltelijk) kunnen leveren. Afhankelijk van de locatie van de terugwinning kan een systeem voor warmtewinning geplaatst worden in het rioolstelsel, de gemaalkelder, de persleiding of daarbuiten. Bij terugwinning van warmte uit de waterketen is het ook van belang om na te gaan wat het effect van de terugwinning kan zijn op het functioneren van de RWZI. Bij een traditionele, biologische RWZI moet het afvalwater (influent) een minimum temperatuur hebben om voldoende biologische zuivering te realiseren. Bij een lagere temperatuur neemt de activiteit van de bacteriën te ver af waardoor de verblijftijd in de RWZI vergroot moet worden om tot eenzelfde zuiveringsrendement te komen.

Bij de terugwinning van warmte uit het effluent van de RWZI gelden dezelfde principes als bij de terugwinning uit rioolstelsels. Het voordeel bij de terugwinning uit het effluent is dat dit geen enkele invloed heeft op het functioneren van de RWZI. Terugwinning van warmte uit effluent heeft waarschijnlijk zelfs een positieve invloed op de waterkwaliteit, vooral in de zomer. Door de afkoelende werking van de warmtewinning wordt water met lagere temperaturen geloosd. Dit zorgt ervoor dat het effluent minder of geen effect meer heeft op het zuurstofgehalte in het water. Bij een hoge temperatuur van het water is het zuurstofgehalte laag waardoor het aquatische leven negatief wordt beïnvloed.

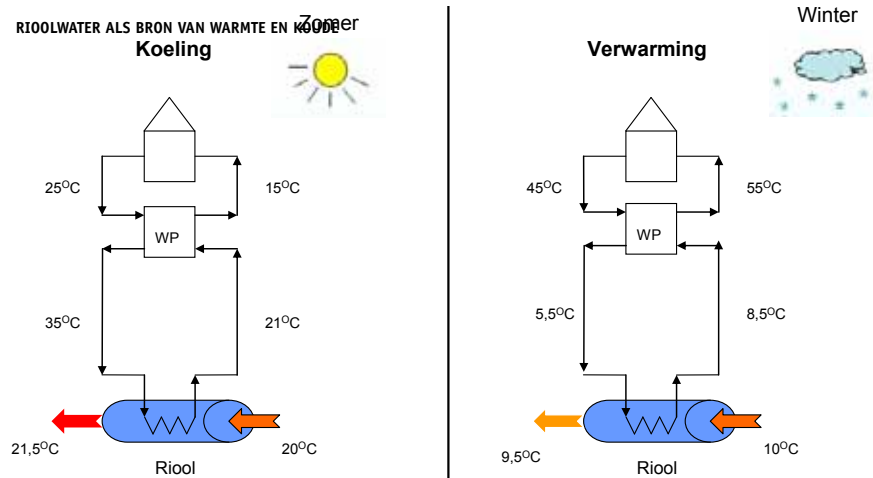
COMBINATIE VAN WARMTERUGWINNING UIT AFVALWATER EN WARMTE- EN KOUDEOPSLAG

Thermische energie kan bestaan uit warmte of koude. In de zomer bestaat er over het algemeen een vraag naar koude, in de winter naar warmte. Wanneer de riolering deze warmte en koude levert betekent dit dat het rioolwater in de zomer warmer wordt (om koude aan gebouwen af te geven) en in de winter kouder (om warmte aan gebouwen af te geven). Deze situatie is weergegeven in figuur B1.9. In de zomer kan deze verhoging van de temperatuur van

het effluent leiden tot problemen in het oppervlaktewater met zuurstoftekort en algengroei. In de winter is het rioolwater relatief koud waardoor nog maar weinig thermische energie beschikbaar is voor het terugwinnen van warmte. Dit kan problemen geven met de biologische zuivering in de RWZI indien de winning van warmte uit de riolering vlak vóór de RWZI plaatsvindt. Om problemen te voorkomen kan gekozen voor limitering van warmtewinning onder bepaalde omstandigheden. In Zwitserland gebeurt dit al.

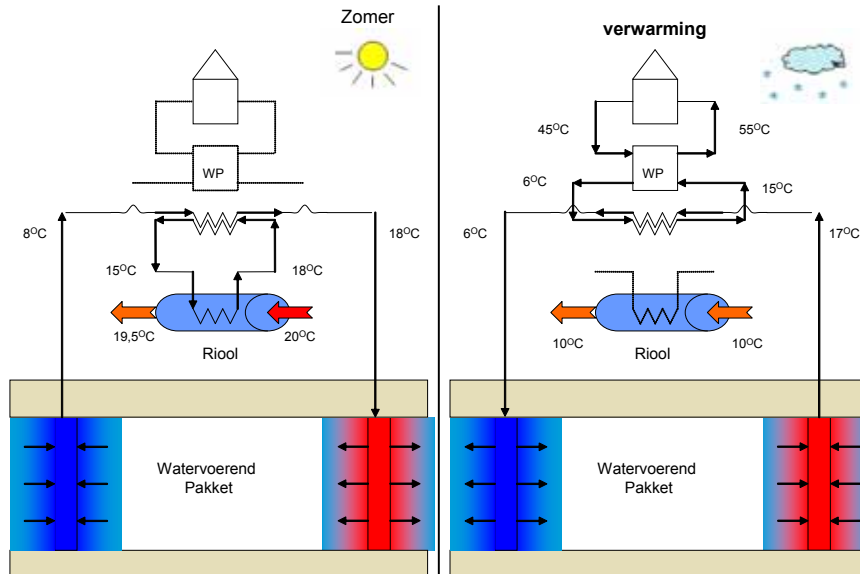
De Nederlandse ondergrond is zeer geschikt voor warmte- en koudeopslag (WKO) door de aanwezigheid van watervoerende pakketten. Het is interessant om de mogelijkheden te onderzoeken om het winnen van thermische energie uit afvalwater te koppelen aan WKO. Bij een WKO is het vaak problematisch om de warmtebalans tussen warmte en koude in de bodem te realiseren. Door het combineren van warmtewinning uit afvalwater en WKO kan de warmte en koude beter afgestemd worden op de vraag en het aanbod. Bovendien kan de warmtebalans in de bodem voor WKO worden geoptimaliseerd. Dit is schematisch weergegeven in figuur B1.10. In deze figuur is de situatie weergegeven waarin de warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van een zwembad. De warmtevraag is in de winter groter dan in de zomer. Door de weergegeven schakeling kan in de zomer de warmteopslag van de WKO aangevuld worden met warmte uit afvalwater. De temperatuur van het afvalwater bij de locatie van terugwinning zal in de zomer naar verwachting afnemen. In de winter wordt de warmtewisselaar afgekoppeld aangezien de temperatuur van het afvalwater kouder is dan de warmwaterbron. Hierdoor worden negatieve effecten op de RWZI in de winter voorkomen. De WKO wordt aangevuld waardoor de warmtebalans in de bodem neutraal blijft.

FIGUUR B1.9



FIGUUR B1.10

RIOOLWATER ALS BRON VOOR WARMTE IN DE ZOMER IN COMBINATIE MET WARMTE-KOPUDEOPLAG (WKO)



TECHNIEKEN VOOR WARMTEWINNING UIT AFVALWATER

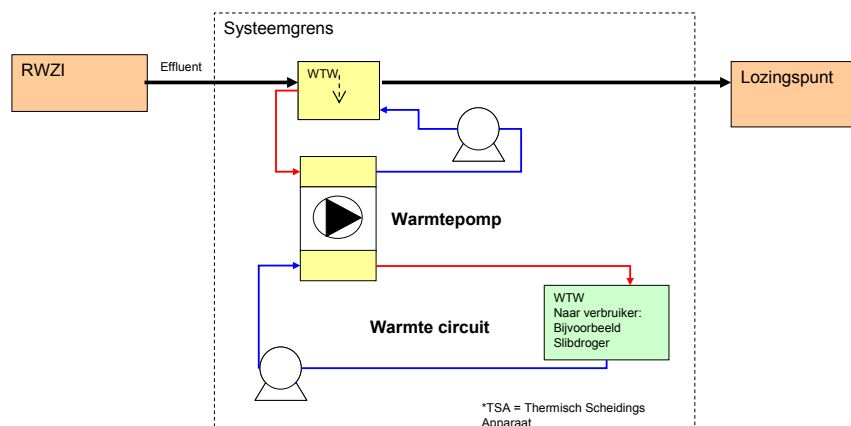
WARMTEWISSELAARS EN WARMTEPOMPEN

Voor het winnen van warmte uit water wordt gebruikt gemaakt van warmtewisselaars voor de overdracht van warmte en warmtepompen voor het verhogen van de temperatuur naar het gewenste niveau.

In de warmtewisselaar vindt een temperatuursuitwisseling plaats tussen de verschillende waterstromen. In feite is dit niets anders dan dat een koude en een warme waterstroom, fysiek gescheiden door een geleidende plaat, hun temperatuur uitwisselen. Figuur B1.11 illustreert dit met een effluentbuis van een RWZI die voorzien is van een warmtewisselaar. Meestal heeft de resulterende warmwaterstroom nog niet de juiste temperatuur voor de beoogde toepassing. In dat geval kan gebruik worden gemaakt van een warmtepomp. Deze pomp maakt het mogelijk om een medium (meestal gas of vloeistof) een grote temperatuursverlaging te geven en een ander medium (vloeistof of gas) een grote temperatuursstijging. Hiervoor maakt de pomp gebruik van arbeid (in de vorm van elektrische energie) waarmee een grotere hoeveelheid warmte-energie kan worden verplaatst dan er aan arbeid wordt verricht. Bij de terugwinning van warmte uit douchewater is er geen warmtepomp nodig omdat het in de warmtewisselaar opgewarmde water direct aan de ketel toegevoegd wordt.

FIGUUR B1.11

WARMTENET BIJ TOEPASSING VAN WARMTEWISSELAARS EN WARMTEPOMP



Het rendement van een warmtepomp wordt uitgedrukt in COP (coëfficiënt of performance), dit is de verhouding nuttige warmte gedeeld door de opgenomen elektrische energie. In formulevorm is dit:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Waarin:

Q = De bruikbare hoeveelheid warmte die wordt geleverd door de warmtepomp [kW]

W = Het (elektrische) energieverbruik van de compressor [kW]

Afhankelijk van de installatie heeft een warmtewisselaar in de praktijk een COP van minimaal 3,0 tot maximaal 7,0. Een COP van 3,5 betekent dat de warmtepomp 3,5 kW aan warmte produceert voor elke kW die zij uit het elektriciteitsnet consumeert. Het rendement bedraagt dus 350 %. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat er elektrische energie toegevoegd wordt die in Nederland met een efficiëntie van gemiddeld 35 tot 40 % wordt geproduceerd.

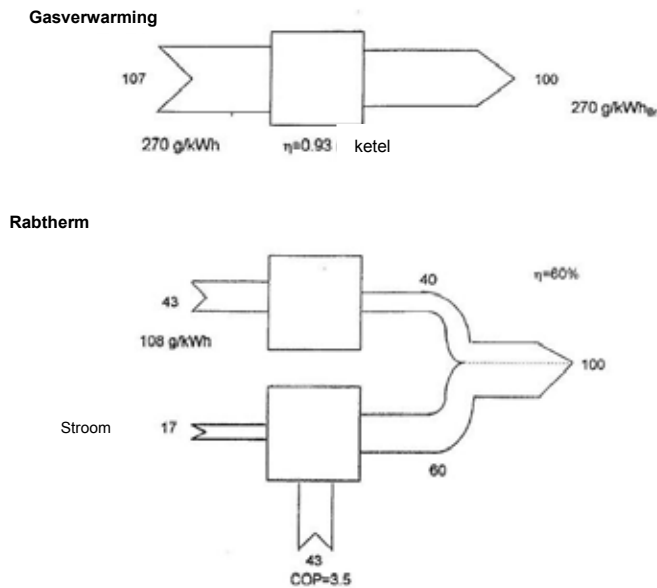
CO₂-UITSTOOT

De CO₂-uitstoot kan sterk verkleind worden door het winnen van thermische energie uit de riolering. Voor elke kWh energie uitgewekt uit gas is een emissie van CO₂ gepaard van 0,202 kg. Bij elke kWh elektriciteit is de CO₂ emissie 0,54 kg.

Hierna is een illustratie voor een Zwitserse voorbeeld. Een systeem waarbij 80 % van de warmtebehoefte geleverd wordt door warmte uit afvalwater met een warmtepomp op elektriciteit (COP 3,5) en de overige

20 % warmte afkomstig is van een gasgestookte hoogrendementsketel, zal circa 60 % minder CO₂ uitstoten dan een systeem dat door een oliecentrale van warmte wordt voorzien (er van uitgaande dat groene stroom gebruikt wordt in de warmtepomp). Dit wordt verduidelijkt met een voorbeeld in figuur B1.12.

FIGUUR B1.12 VEGELIJKING CO₂ UITSTOOT TUSSEN TRADITIONELE VERWARMING MET GASKETEL (EFFICIENTIE 93 %) EN EEN COMBINATIE VAN WARMTE UIT AFVALWATER (60 %) EN GASKETEL (40 %) (BRON: EAWAG)



ERVARINGEN MET WARMTEWINNING UIT HET BUITENLAND

Uit een oriënterend onderzoek naar ervaringen in overige Europese landen is naar voren gekomen dat Zwitserland en Scandinavië al veel ervaring hebben op het gebied van terugwinning van warmte uit afvalwater. In Nederland is er vooralsnog geen praktijkervaring op dit gebied. In Nederland zijn de ontwikkelingen tot op heden gericht op de winning van bodemwarmte en -koude (geothermie, WKO). Daar is de bodemopbouw in het merendeel van Nederland zeer geschikt voor. De terugwinning van warmte uit afvalwater kan een belangrijke aanvulling daarop zijn. Reden genoeg om een kijkje te nemen in het buitenland. In de loop van dit onderzoek en in opdracht van STOWA heeft een delegatie uit Nederland en België een bezoek gebracht aan Winterthur (Zwitserland, kanton Zürich) om de ontwikkelingen daar in beeld te brengen.

Zwitserland en Duitsland (figuur B1.13) hebben door de realisatie van talrijke projecten en ruim 20 jaar ervaring een leidende rol. In Oslo (Noorwegen) wordt een gehele buurt al 20 jaar voor 80 % in de warmtevraag voorzien door de teruggewonnen thermische energie uit het afvalwater. Hiervoor is een 300 meter lange warmtewisselaar gebouwd die een vermogen van 6,5 MW aan warmte en 4,5 MW aan koeling levert. De meeste literatuur over het terugwinnen van thermische energie is dan ook uit deze landen afkomstig.

In Zwitserland is jarenlange ervaring met het terugwinnen van warmte op verschillende plaatsen in de afvalwaterketen. Het enthousiasme over de behaalde resultaten is groot. Steeds meer projecten en bijbehorende producten worden ontwikkeld voor de terugwinning van thermische energie uit afvalwater. De initiatiefnemers en eigenaren van dergelijke projecten divers zijn. Eigenaren van appartementen, eigenaren van appartementcomplexen, energiebedrijven en investeerders hebben allen succesvolle projecten lopen die naar tevredenheid functioneren.

Ook op het gebied van beleid zijn er de nodige ontwikkelingen gaande. Zo heeft de gemeente Winterthur de verplichting opgelegd aan alle initiatiefnemers om bij nieuwbouw eerst na te gaan of de terugwinning van warmte uit het rioolstelsel voldoende energie kan leveren voor hun projecten. Bij gebleken energietekorten mag pas overgegaan worden naar andere energiebronnen. Beheerders van projecten en waterbeheerders maken afspraken omtrent de maximale toegestane verlaging van de temperaturen van het influent en de te nemen maatregelen bij zeer lage winter temperaturen.

FIGUUR B1.13

WARMTEWISSELAAR GEINTEGREERD IN RIOOLBUIS (BRON: RABTHERM)



Zwitserland is met meer dan 25 jaar aan ervaring koploper in de winning van warmte uit het riool. In 2008 waren er al meer dan 50 projecten in heel Zwitserland gerealiseerd. Berekend is dat in Zwitserland jaarlijks 7 % van de benodigde stookenergie (6.000 GWh) verloren gaat door het riool. Daarom draait in Zwitserland het project “Swiss Energy for Infrastructure Plants” om deze verliezen tegen te gaan.

Algemeen wordt geconcludeerd dat de temperatuur van afvalwater niet onder de 10°C komt. In de zomer komt de temperatuur tot boven de 20 °C. Dit maakt het een ideale bron voor warmtewinning. 's Nachts is de temperatuur gemiddeld 2 to 3 °C kouder. In een gemengd systeem is tijdens regenbuien het afvalwater een aantal graden kouder.

De teruggewonnen warmte wordt voor verschillende doeleinden gebruikt: ruimteverwarming, ruimteverwarming en warm water, of ruimte-verwarming en -koeling.

ERVARINGEN MET KOSTEN IN ZWITSERLAND EN DOORKIJK NAAR NEDERLAND

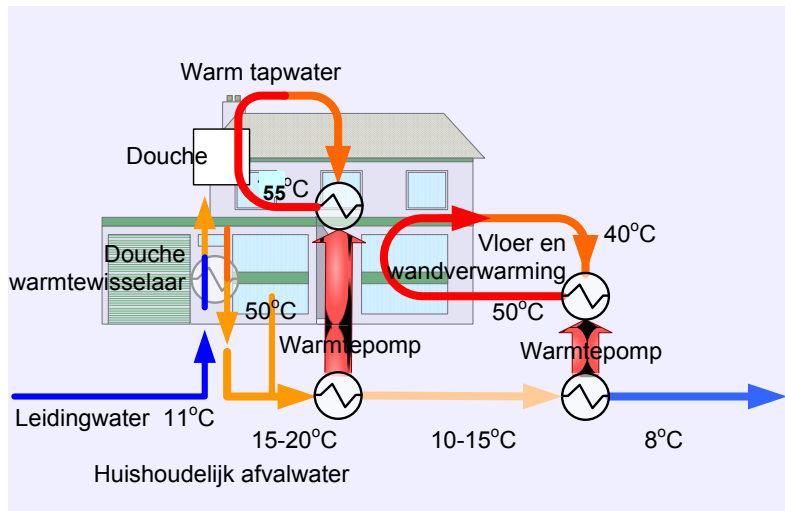
Uit een studie van het Zwitserse federale instituut voor energie blijkt dat de economische haalbaarheid van warmtewinning uit rioolwater afhankelijk is van 3 factoren:

1. De prijs van energie uit traditionele bronnen
2. De systeemgrootte (aantal afnemers)
3. De warmtedichtheid van het systeem (de compactheid van de bebouwing waar de afzet van warmte plaats vindt (Felix Schmid, 2008))

De kosten en baten van warmteterugwinning uit afvalwater zijn afhankelijk van lokale factoren zoals de warmtebehoefte van een woning in de directe omgeving van de warmtewisselaar. De warmte die in de winter aan het afvalwater kan worden onttrokken, is onvoldoende om een woning te verwarmen. Met een elektrische warmtepomp kan de temperatuur tot een aanvaardbaar niveau voor verwarming van een woning worden verhoogd. Het rendement van de warmtepomp is afhankelijk van de warmtevraag. Des te hoger de gewenste temperatuur, des te lager het rendement van de warmtepomp. Om een hoog rendement te verkrijgen kan in de woning lage temperatuurverwarming worden toegepast. Meestal in de vorm van vloerverwarming, waarmee de warmte gelijkmatig wordt afgegeven. Deze gelijkmatige verdeling met een groot aandeel warmtestraling wordt door bewoners als comfortabel ervaren. Door het gebruik van vloerverwarming en een bodemopslagsysteem kan er tevens in de zomerperiode vloerkoeling worden toegepast. De koude wordt aan het afvalwater onttrokken. Het comfort van deze vorm van koeling is veel hoger (en energiezuiniger) dan bij achteraf geplaatste koelunits. In figuur B1.14 is schematisch weergegeven hoe een op deze wijze verwarmd huis van warmte kan worden voorzien.

FIGUUR B1.14

VERSCHILLENDE TOEPASSINGEN VAN TERUGGEWONNEN WARMTE IN WONING



Energetisch is het toepassen van een warmtepomp gunstiger dan verwarming met gas. Als uitgegaan wordt van een COP van 4 dan kost iedere Joule geleverde warmte 0,25 Joule elektrische energie. Elektrische energie wordt in Nederland vrijwel volledig opgewekt met fossiele brandstoffen (kolen, aardgas). Om 0,25 Joule elektrische energie te produceren is 0,6 Joule fossiele brandstof nodig. Dit betekent dus 40 % minder gebruik van primaire energie en 40 % minder emissie van CO₂.

KOELEN VIA WARMTEPOMP

Als de woning wordt verwarmd met de thermische energie van afvalwater is het relatief eenvoudig om te koelen met afvalwater. De apparatuur en voorzieningen die nodig zijn voor het koelen met de thermische energie uit afvalwater zijn gelijk aan de apparatuur en voorzieningen voor het verwarmen (warmtepomp en vloerverwarming).

Vergeleken met de conventionele wijze van koeling door mechanische koeling (airconditioning of topkoeling) heeft het koelen met afvalwater een aantal voordelen. Mechanische koeling is relatief duur (indicatie EUR 10,00 per m³ woning) en vraagt ook meer elektrische energie. De mechanische koeling is in het nadeel ten opzichte van koeling met afvalwater omdat de mechanische koeling de koude uit de buitenlucht moet halen, die op warme dagen aanzienlijk warmer is dan het afvalwater in het riool.

INVLOED VAN WARMTEWINNING OP HET NITRIFICATIEPROCES IN ZWITSERLAND

Uit de jarenlange praktijkervaringen met warmteterugwinning uit afvalwater komen twee belangrijke knelpunten naar voren waar rekening mee gehouden moet worden:

- De invloed van warmtewinning op het nitrificatieproces van de RWZI
- Het verlies van efficiency van de WTW door biofilmvorming op de WTW

Deze knelpunten zijn beide voornamelijk van toepassing bij het plaatsen van een WTW vlak bij het influent van de RWZI. Hieronder wordt een samenvatting gegeven van uitgevoerd onderzoek naar deze knelpunten.

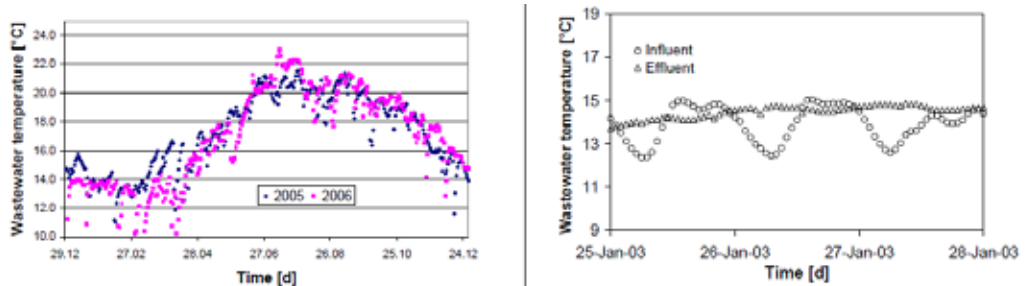
Door de winning van warmte uit het rioolwater kan de temperatuur van het influent van de RWZI worden verlaagd. Door een verlaging van de temperatuur neemt de nitrificatiecapaciteit van de RWZI af wat leidt tot hogere concentraties ammonium in het effluent van de RWZI. Nitrificatie is in een RWZI het limiterende proces en daardoor een belangrijke factor

bij het ontwerp van RWZI's. Het kwantificeren van het effect van warmtewinning in het riool op de nitrificatie in de RWZI is daarom van belang.

De analyse van de temperatuurregime van de RWZI Zürich, Zwitserland, laat het volgende zien (figuur B1.15):

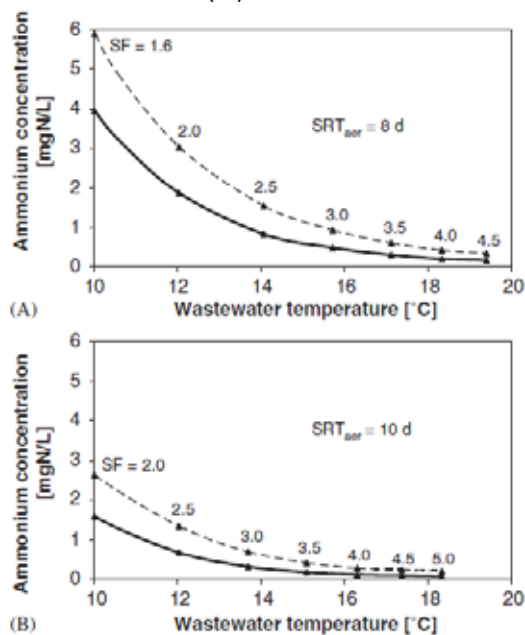
- In de winter is het influent 0,5 – 1,0 °C kouder dan het effluent. Dit wordt veroorzaakt door diverse interne processen (onder andere beluchting, verdamping en bioactiviteit)
- In de zomer wordt het effluent ongeveer 2 °C warmer dan het influent
- De RWZI wordt niet negatief beïnvloed door een verlaging van de temperatuur van het influent gedurende een aantal uur (vanwege de retentietijd van enkele dagen in de RWZI)
- De RWZI wordt sterk negatief beïnvloed door een langdurige verlaging van de temperatuur van het influent

FIGUUR B1.15 AFVALWATER TEMPERAATUUR IN EEN DWA-RIOOL BIJ HET INNAMEPUNT VAN DE RWZI TE ZÜRICH (LINKS) DE TEMPERAATUUR VAN DE DWA INFLUENT EN EFFLUENT STROOM VAN DE RWZI TE ZÜRICH, GEMETEN VAN 25 TOT 29 JANUARI IN 2003 (RECHTS)



Met behulp van een dynamisch model, gekalibreerd voor de RWZI Zürich, wordt een kwantitatieve relatie gelegd tussen de temperatuur van het afvalwater en de ammoniumconcentratie in het effluent van de RWZI (figuur B1.16). In combinatie met gemeten effluent concentraties, kan deze relatie gebruikt worden om een toename van de ammoniumconcentratie in het effluent, ten gevolge van een temperatuursdaling van het influent, te voorspellen.

FIGUUR B1.16 DEBIET-GEWOGEN DAGLIJKS GEMIDDELTE VAN DE AMONIUM CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT, BEREKEND VOOR DE 50 % (DIKKE LIJN) EN 85 % (GESTIPPDE LIJN) WERKENDE DAG, ALS FUNCTIE VAN DE TEMPERAATUUR VAN HET AFVALWATER VOOR TWEE RWZI'S MET VERSCHILLENDE AEROBE SLIBLEEF TIJDEN (SRT)



In Zwitserland wordt geëist dat de ammoniumconcentratie van het effluent van RWZI's gedurende 90 % van de tijd lager is dan 2 mg/l. Uit figuur 16 komt naar voren dat de aerobe slijleeftijd (SRT) en de temperatuur van het afvalwater invloed hebben op de ammoniumconcentratie in het effluent. Afhankelijk van de temperatuur van het influent moet dus zorgvuldig afgewogen worden op welke afstand een van een RWZI een warmtewisselaar te plaatsen.

EFFECT VAN BIOFILMVORMING OP DE WARMTEWISSELAAR IN ZWITSERLAND

Door de (hoge) vuillast in het afvalwater zal in een vrijvervalriolering vaak een biofilm op de warmtewisselaar gevormd worden (Felix Schmid, 2008). Deze slijmlaag op de WTW heeft een isolerende werking waardoor de warmte-uitwisseling vermindert en zodoende de efficiëntie gereduceerd wordt.

In Zwitserland is onderzoek naar dit fenomeen gedaan om te bepalen in hoeverre dit kan worden voorkomen. Hierbij wordt uitgegaan van een WTW die in het riool is geplaatst.

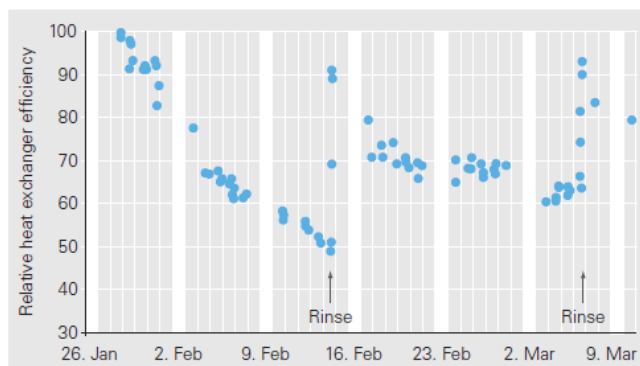
Het onderzoek is uitgevoerd met een plexiglas stroomgoot met roestvrijstalen WTW. De WTW bestond uit vier verschillende secties met per sectie een eigen oppervlaktekarakteristiek. De goot werd belast met voorbehandeld afvalwater waarbij de temperatuur van influent en effluent werd gemeten. De efficiëntie van de WTW kan aan de hand van deze waarden bepaald worden. Wanneer een biofilm groeit zal er minder warmte overdracht tussen water en WTW plaatsvinden waardoor het water minder afkoelt en de efficiëntie van de WTW afneemt (figuur B1.17).

Het onderzoek heeft onderstaande resultaten opgeleverd.

- Na een paar uur start al bacteriegroei, na een paar dagen is er een biofilm die honderden μm dik kan zijn. Na 18 dagen is de efficiëntie gereduceerd tot 50 %
- Door gedurende 20 minuten de snelheid van het water op te voeren van 0,4 naar 1 m/s wordt een deel van de biofilm weggespoeld en neemt de efficiëntie toe
- Wanneer de snelheid constant wordt gehouden op 1 m/s komt de efficiëntie niet onder de 80 % (gedurende 2 maanden getest)
- De verschillende ruwheidkarakteristieken van het oppervlak hebben geen invloed op de biofilm vorming. Alleen een teflon coating presteert iets beter
- De beste resultaten worden behaald met een hoge snelheid met teflon coating. Teflon is alleen niet bestand tegen zand en grind in afvalwater

FIGUUR B1.17

EFFECT VAN BIOFILMVORMING OP DE PRESTATIE VAN DE WTW OVER DE TIJD, TEN OPZICHTE VAN DE EFFICIENTIE VAN EEN SCHONE WTW. DE PIJLEN GEVEN AAN WANNEER DE SNELHEID VAN HET AFVALWATER GEDURENDE KORTE TIJD TOENEEMT



De firma Rabtherm maakt in zijn warmtewisselaars gebruik van koperstrips die op enkele meters van elkaar geplaatst zijn (zie figuur B1.18). Door de uitloging van ionen van het koper wordt eventuele biofilmvorming teniet gedaan. Dit komt doordat koper giftig is voor de algen die zich aan de warmtewisselaar hechten. De hoeveelheid koper die vrij komt van de koperstrips is minimaal vergeleken met de koperconcentratie die als achtergrondwaarde wordt aangetroffen.

FIGUUR B1.18 KOPERSTRIP OP WARMTEWISSELAAR IN RIOOLBUIS (BRON: RABTHERM)



BIJLAGE 2

AANPAK

INLEIDING

In huishoudens en bedrijven wordt veel energie gebruikt voor het opwarmen van water. Het warme water wordt na gebruik via het rioolstelsel verzameld en afgevoerd. In het riool koelt het water af en wordt het mogelijk gemengd met koudere waterstromen (afstromend hemelwater en grondwater).

In het kader van het project Thermische Energie in de Afvalwaterketen (TEA Zwolle) wordt onderzocht hoeveel thermische energie er in de waterketen beschikbaar is en hoeveel eventueel kan worden teruggewonnen. Om de beschikbaarheid van thermische energie voor terugwinning in beeld te brengen worden in Zwolle metingen in het rioolstelsel uitgevoerd. Dit rapport betreft het meetprogramma dat voor het project is opgesteld.

DOEL VAN HET MEETPLAN

Voor het project thermische energie in de afvalwaterketen wordt de energiestroom beter in beeld gebracht. Om deze energiestromen in de riolering in beeld te brengen worden er temperatuur- en debietmetingen uitgevoerd op verschillende locaties in het rioolstelsel van Zwolle.

OVERZICHT MEETLOCATIES

Om de thermische energie in het rioolstelsel in beeld te brengen, wordt meetapparatuur op een aantal locaties geïnstalleerd. Op 25 november 2009 is in overleg met de gemeente bepaald dat het riool in de wijken Berkum en Dieze-Oost ter beschikking worden gesteld voor dit meetproject.

Er is een overzicht gemaakt van de mogelijke meetlocaties, waarna een definitief overzicht is opgesteld met 20 verschillende meetlocaties. In onderstaande tabel zijn de twintig meetpunten opgenomen, inclusief het putnummer, wat er wordt gemeten, etc. De meetlocaties bevinden zich in de woonwijken Dieze-Oost en Berkum en het bedrijventerrein Vrolijkheid. Een grafisch overzicht van de meetlocaties en de gemalen in het gebied zijn weergegeven in bijlage 1.

De meetlocaties zijn op basis van een aantal criteria bepaald:

- De meeste meetlocaties zijn gesitueerd daar waar het aantal aangesloten huizen globaal bekend is. Voorbeelden van meetlocaties zijn kleine woonstraten of hoofdriolen die afvalwater van een hele woonwijk of bedrijventerrein afvoeren
- Om het verloop van de temperatuur over een bepaalde afstand in beeld te brengen, zijn een aantal tracés gekozen waarbij twee meetlocaties één opstelling vormen. Daarbij is gekozen voor locaties nabij een cluster woningen of flats en locaties op enige afstand van het eerste meetpunt
- Op een aantal locaties in Zwolle zijn gescheiden rioolstelsels aangelegd. Er zijn een aantal meetlocaties gekozen in zowel het vuil- als hemelwaterriool. Op deze manier kan ook het effect van hemelwater op gemengde riolering worden bepaald, daar waar er geen hemelwater is aangesloten op een vuilwaterriool bij een gescheiden stelsel
- In het gebied bevinden zich een aantal rioolgemalen. Bij de rioolgemalen is meetapparatuur geïnstalleerd om de temperatuur van het water te meten, voordat het naar de RWZI Hessenpoort wordt verpompt
- Om de effecten van thermische energie bij een verzorgingstehuis en sporthal te onderzoeken is gekozen hier meetopstellingen aan te brengen

In bijlage 4 zijn de kenmerken van alle meetlocaties beschreven. Nader informatie over de meetpunten betreft:

- Putnummer (volgens rioleringsgegevens van de gemeente Zwolle)
- Straatnaam (straatnamen in geval van een kruising)
- Type rioelstelsel
- Aangesloten gebied (omschrijving van het gebied dat wordt bemeten)
- Meetparameters (de dataloggers meten allemaal de heersende temperatuur en druk)
- Serienummer Mini-Diver (is direct gerelateerd aan het putnummer)
- Maaiveldniveau (m+NAP)
- Meetniveau (m+NAP)
- Installeren in (nadere informatie hoe de apparatuur is geïnstalleerd)

Per meetlocatie is een schematisch bovenaanzicht weergegeven, inclusief de diameters en b.o.b.'s van de rioelstrengen die op de betreffende rioelput zijn aangesloten. Het geheel wordt aangevuld met een luchtfoto met daarin weergegeven de meetlocatie(s).

MEETPLAN

MEETAPPARATUUR EN MEETFREQUENTIE

Voor het meten van de temperatuur is het rioelstelsel wordt gebruik gemaakt van dataloggers. Fabrikant Schlumberger levert de Mini-Diver die naast temperatuur ook de druk meet. In figuur B2.1 is een Mini-Diver weergegeven.

FIGUUR B2.1

MINI-DIVER (BRON: SCHLUMBERGER)



Deze dataloggers slaan de meetwaarden op in een intern geheugen van 24.000 metingen (zowel druk als temperatuur). De starttijd en meetfrequentie kunnen met behulp van een uitleesunit via de computer manueel worden ingesteld.

Om een meetperiode te hebben van circa twee weken is de meetfrequentie ingesteld op één meting per minuut. Dit resulteert in een meetperiode van 16,7 dagen. Na twee weken worden de dataloggers uitgelezen en opnieuw ingesteld voor een nieuwe meetperiode van twee weken.

MEETOPSTELLING

Na het vaststellen van de meetlocaties en wat er precies wordt gemeten, is het merendeel van de meetapparatuur op dinsdag 12 januari geïnstalleerd. Omdat er op dat moment nog veel sneeuw op het maaiveld aanwezig is, kan direct de invloed van smeltwater op de temperatuur in het rioel worden geanalyseerd. Het meten van deze effecten is gezien de looptijd van dit project een unieke kans.

In de rioolput is een houten balk aangebracht (strak geklemd tussen twee putwanden). Op deze balk is een klem vastgeschroefd waarin een peilbuis kan worden vastgeklemd. De peilbuis is op maat gemaakt en bevat aan de onderkant een uitsparing, zodat het rioolwater goed in contact komt met de Mini-Diver. De dataloggers zijn vastgebonden aan een met plastic omhuld staaldraad. Het staaldraad is aan de bovenzijde van de peilbuis bevestigd om te voorkomen dat de datalogger in het riool weg kan spoelen. In onderstaande figuur zijn een aantal foto's weergegeven die tijdens het installeren van de meetopstelling zijn genomen.

FIGUUR B2.2 MEETOPSTELLING MET MINI-DIVERS IN PEILBUIZEN



BAROMETER

Met behulp van een datalogger die puur de atmosferische druk meet (barometer), kan middels een correctieslag de waterstand in het riool worden berekend. Dit is vooral interessant tijdens en na perioden met neerslag.

De datalogger voor het meten van de atmosferische druk is opgehangen bij het gemeaal aan de Lorentzlaan (zie bijlage 1).

VERWERKEN MEETDATA

De uitgelezen data wordt omgezet naar grafieken waarin de druk en temperatuur worden weergegeven.

BIJLAGE 3

KAART MEETPUNTEN

LOCATIES VAN MEETPUNTEN IN ZWOLLE



BIJLAGE 4

BESCHRIJVING MEETPUNTEN

MEETLOCATIE 01

Op het gemengde rioelstelsel is een beperkt aantal woningen en verhard oppervlak aangesloten. Door het beperkte aantal aansluitingen is de kans op een wisselvallig verloop van temperatuur en waterstand groot. Naar verwachting zijn pieken in het verloop van de temperatuur en waterstand dan ook van korte duur. De temperatuur van instromende neerslag dempt naar verwachting de temperatuurfuctuatie van het huishoudelijk afvalwater. In droge perioden ligt de temperatuur van het afvalwater naar verwachting hoger. Het verloop van de temperatuur heeft naar verwachting een bepaald patroon (dagverloop, werkdagen/weekend).

MEETLOCATIE 02

Het meetpunt is geïnstalleerd in het vuilwaterriool van een gescheiden stelsel. Naar verwachting is in het verloop van de temperatuur een bepaald patroon (dagverloop, werkdagen/weekend) aanwezig. In theorie is geen/nauwelijks verhard oppervlak op het stelsel aangesloten, waardoor de pieken en dalen in de temperatuur ongedempt zijn. Verwacht wordt dat de temperaturen hoger zullen liggen dan bij een gemengd stelsel (bijv. MP01). Door de beperkte omvang van het huishoudelijke afvalwater zijn er naar verwachting nauwelijks pieken in het verloop van de waterstand. Wel is er mogelijk sprake van een bepaald afvoerpatroon.

MEETLOCATIE 03

Deze meetlocatie bevindt zich in het gemaal Berkum en is het laatste meetpunt in het systeem van de meetlocaties 04, 05 en 06. Het is een gemengd stelsel, waardoor pieken in de waterstand worden verwacht na dooi-perioden en perioden met neerslag. Er is mogelijk een dagelijks verloop in de waterstand waarneembaar.

Het verloop van de temperatuur is naar verwachting gering, omdat de temperatuur wordt uitgedempt door instromend hemelwater. De pieken van het huishoudelijk afvalwater bereiken op verschillende tijdstippen het gemaal. In perioden zonder neerslag wordt een dagelijks patroon verwacht (niet per se een duidelijk patroon met pieken in de ochtend en avond).

Een soortgelijk patroon is mogelijk waarneembaar voor de temperatuur. Door de verschillende afstanden tot aan de bron (huishouden/openbare voorziening) wordt een temperatuur verwacht die door de menging onderweg weinig schommelingen zal vertonen.

Mogelijk speelt voor de temperatuur de afstand waarover het water wordt getransporteerd een rol. Naar verwachting zijn de pieken in de temperatuur geringer dan bij de meetpunten 04 en 05. Ook zullen de pieken naar verwachting met enige vertraging ten opzichte van voornoemde meetlocaties worden weergegeven. Het water heeft tijd nodig om van meetlocatie 05 naar 04 en 03 te stromen.

MEETLOCATIE 04

In feite spelen hier dezelfde kenmerken als bij meetlocatie 03 een rol. De meetlocatie bevindt zich namelijk tussen de meetlocaties 03 en 05 in. Naar verwachting liggen de gemeten waarden tussen deze van voornoemde meetlocaties. Ook hier worden pieken in het verloop van de waterstand verwacht na neerslag en perioden van dooi. Naar verwachting is er een bepaald patroon waarneembaar in zowel de temperatuur als waterstand. Het verloop zal ten opzichte van meetlocatie 05 enigszins vertraagd worden weergegeven.

MEETLOCATIE 05

Als onderdeel van het systeem spelen hier dezelfde kenmerken als bij meetlocaties 03 en 04 een rol. Naar verwachting liggen de gemeten waarden in de buurt van voornoemde meetlocaties. Ook hier worden pieken in het verloop van de waterstand verwacht na neerslag en perioden van dooi. Naar verwachting is er een bepaald patroon waarneembaar in zowel de temperatuur als waterstand.

MEETLOCATIE 06

Op deze meetlocatie is het zuidelijke deel van Berkum aangesloten. Samen met het noordelijke deel komt het afvalwater in het gemengde transportriool terecht (met de meetlocaties 03, 04 en 05). Naar verwachting worden de meetwaarden van deze meetlocatie in de andere meetlocaties ook worden herkend. De meest directe relatie zou er moeten zijn met meetlocatie 05. Er worden soortgelijke patronen in het verloop van de temperatuur en waterstand verwacht als bij de meetlocaties 03, 04 en 05. Omdat het een kleiner aangesloten gebied betreft, wordt een patroon verwacht met meer variatie in de temperatuur en minder variatie in de waterstand. Afhankelijk van de temperatuur van het instromende water ('s winters koud en 's zomers warmer) treedt een daling of stijging van de temperatuur op.

MEETLOCATIE 07

Deze meetlocatie meet de gegevens van een ander deel van een woonwijk in Berkum. Evenals bij meetlocatie 06 wordt hier een bepaald patroon (dagverloop, werkdagen/weekend) verwacht voor zowel de temperatuur als waterstand. Omdat het een gemengd riool betreft wordt na perioden met neerslag of dooi een piek in de waterstand verwacht. Afhankelijk van de temperatuur van het instromende water ('s winters koud en 's zomers warmer) treedt een daling of stijging van de temperatuur op.

MEETLOCATIE 08

Het kleine kantoorterrein in Berkum is voorzien van een gescheiden rioolstelsel. Deze meetlocatie is geïnstalleerd in het vuilwaterriool. Voor het verloop van de temperatuur (en wellicht ook de waterstand) wordt een patroon verwacht dat optreedt gedurende de werkdagen. Naar verwachting zijn er in het weekend nauwelijks of geen activiteiten die leiden tot een waarneembare piek in de afvoer van afvalwater. Voor zover bekend is er ook geen afvoer van proceswater aanwezig. De verwachte temperatuur is naar verwachting lager dan een gescheiden stelsel in een woonwijk, want er wordt immers geen verwarmd water uit douche of bad afgevoerd.

MEETLOCATIE 09

Meetlocatie 09 is geïnstalleerd in het hemelwaterriool van het kantoorterrein in Berkum. Naar verwachting treedt in de waarneming een totaal willekeurig patroon op. Er worden alleen pieken na een periode van neerslag of dooi verwacht. Naar verwachting is het verloop van de temperatuur beperkt en voornamelijk afhankelijk van de temperatuur van het instromende water ('s winters koud en 's zomers warmer).

MEETLOCATIE 10

De afvoer van afvalwater vanuit het bedrijventerrein Vrolijkheid wordt gemonitord door de meetlocaties 10 en 11. Meetlocatie 10 is een ontvangende put in het gemengde rioolstelsel, waarna het afvalwater via een persleiding wordt verpompt naar meetlocatie 11. Er is mogelijk een patroon gedurende werkdagen zichtbaar. Voor zover bekend is er geen proceswater aangesloten.

MEETLOCATIE 11

Vanuit meetlocatie 10 wordt afvalwater via een rioolgemaal (Vrolijkheid) naar een ontvangstput aan de Ceintuurbaan gepompt. Wanneer de pomp aanslaat zal er in korte tijd een bepaalde hoeveelheid langs de meetopstelling stromen. Deze pompperioden zijn naar verwachting duidelijk waarneembaar. Tussen twee opeenvolgende pompperioden moet een tijd zijn dat er nauwelijks een verandering wordt gemeten. Naar verwachting is de gemeten temperatuur

lager dan de temperatuur gemeten bij meetlocatie 10. Over de gemeten waterstand kan op dit moment nog weinig worden gezegd. Theoretisch kan deze maximaal de buisdiameter (160 mm) bedragen, maar mogelijk resulteert de stuwkracht van de pomp in een verhoogde druk (en dus waterstand). De berekende waterstand is daardoor mogelijk niet altijd representatief.

MEETLOCATIE 12

Vlakbij het bergbezinkbassin in de Lombokstraat bevindt zich meetlocatie 12. Het aangesloten gebied wordt gekenmerkt door een bedrijventerrein aangevuld met een aantal flatgebouwen. De temperatuur heeft mogelijk een dagelijks verloop door het afvalwater dat vrijkomt van de bedrijven en de woningen. Instromend hemelwater heeft invloed op het temperatuurverloop. Het verloop van de waterstand is op dit moment moeilijk in te schatten. Wel wordt een bepaald patroon (dagverloop, werkdagen/weekend) verwacht. Mogelijk speelt de afvoer van proceswater een significante rol in.

MEETLOCATIE 13

Het gemaal bij deze meetlocatie ontvangt al het afvalwater uit het gebied Dieze Oost. Naar verwachting is het verloop van de temperatuur beperkt door de menging die vanuit het hele gebied optreedt. Wel zou de temperatuur lager moeten zijn dan het afvalwater van de omringende meetlocaties (bijv. 12, 14, 15 en 16). Vanuit dit hoofdgemaal wordt afvalwater naar de RWZI Hessenpoort verpompt. Het verloop van de waterstand heeft naar verwachting een vast patroon, dat gedurende perioden van neerslag en dooi wordt doorbroken met hogere waarden.

MEETLOCATIE 14

De meetlocaties 14 en 15 vormen één systeem. Deze meetlocatie bevindt zich vlakbij een verzamelpunt van een flatgebouw aan de Pieter Steijnstraat. Het is een gemengd stelsel, zodat ook neerslag door de meetopstelling wordt gemeten. In het verloop van de temperatuur wordt een duidelijk patroon verwacht. Door het goede inzicht in wat er is aangesloten, kan ook een goede analyse worden gemaakt of er verschil zit tussen de werkdagen en dagen in het weekend. De temperatuur dient eigenlijk te allen tijde hoger te zijn dan bij meetlocatie 15. Naar verwachting kan weinig over de waterstand worden gezegd. Alleen tijdens/na perioden met neerslag en dooi kan de waterstand duidelijk oplopen.

MEETLOCATIE 15

Deze meetlocatie vormt één systeem samen met meetlocatie 14. Het is geïnstalleerd in een gemengd rioolstelsel in de Pieter Steijnstraat en meet gegevens van afvalwater afkomstig van een flatgebouw en neerslag van verhard oppervlak. Het verloop van de waterstand en temperatuur dient een gelijk patroon te hebben als dat van meetlocatie 14. Naar verwachting is er een duidelijk patroon in het verloop van de temperatuur waarneembaar. Het verloop van de waterstand is naar verwachting beperkt door het geringe aangesloten verhard oppervlak. Bij hoge afvoeren van neerslag kunnen aangrenzende riolen (o.a. vanuit de Schoonhovenstraat) invloed hebben op de gemeten waterstand.

MEETLOCATIE 16

Meetlocatie 16 is gelegen nabij een verzorgingstehuis. Verwacht wordt dat hier een continue stroom van afvalwater vrijkomt met pieken in de ochtend, middag en avond. Mogelijk is er ook een verschillend patroon aanwezig tussen de werkdagen en het weekend. De waterstand laat mogelijk ook een bepaald patroon zien, met pieken tijdens/na perioden met neerslag of dooi. Neerslag heeft mogelijk een dempende functie op de temperatuur van het afvalwater.

MEETLOCATIE 17

Deze meetlocatie is tot op heden niet geïnstalleerd.

MEETLOCATIE 18

De meetlocatie aan de Hornstraat meet gegevens van een van de flatgebouwen aan deze straat. Evenals bij meetlocatie 14 (en 15) wordt een bepaald patroon verwacht voor wat betreft de temperatuur. De waterstand is mogelijk wat onduidelijker. Neerslag heeft mogelijk een dempende functie op de temperatuur van het afvalwater.

MEETLOCATIE 19

De meetlocaties 19 en 20 vormen één systeem. Meetlocatie meet de afvoer van onder andere de sporthal Stilo. Verwacht wordt dat hier op bepaalde tijden (bijv. tijdens de pauze van een sportwedstrijd) een afvoerpiek voorkomt. Deze pieken zouden ook in het weekend waarneembaar moeten zijn. Het stelsel betreft een gemengd riool, zodat ook neerslag in het riool terechtkomt. In de waterstand zou een piek als gevolg van neerslag of dooi waarneembaar moeten zijn.

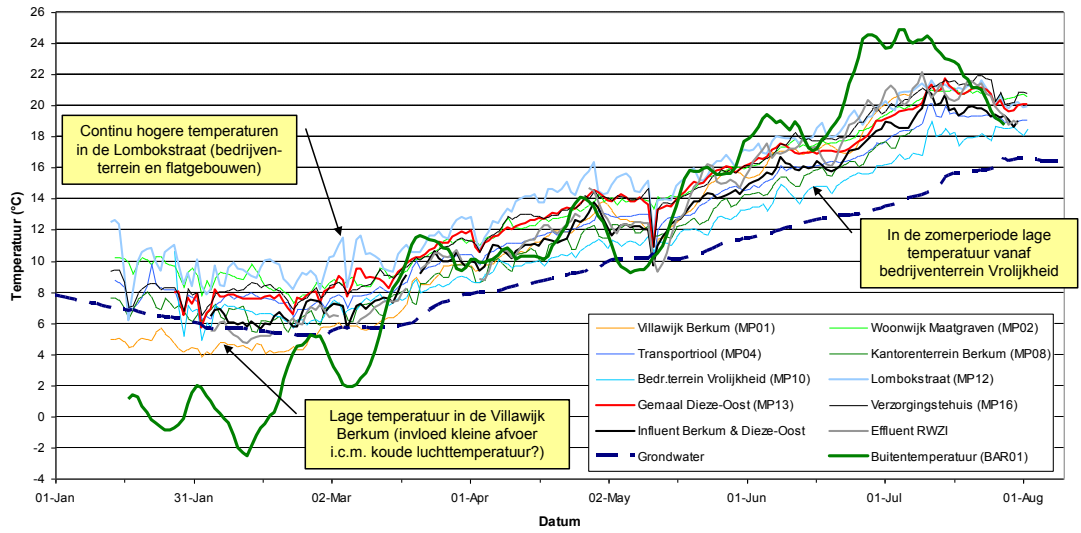
MEETLOCATIE 20

Meetlocatie 20 bevindt zich benedenstrooms van meetlocatie 19. Tussen beide meetlocaties sluit nog een riool aan vanuit de richting van de begraafplaats. Het is onduidelijk of hier ook afvalwater vandaan komt of alleen hemelwater. In grote lijnen zal het verloop van de waterstand en temperatuur gelijk zijn aan deze van meetlocatie 19. Naar verwachting is de temperatuur alleen iets lager dan bij meetlocatie 19.

BIJLAGE 5

FIGUUR METINGEN EN GRONDWATER

GEMIDDELDE DAGTEMPERATUREN (RIOLERING, BUITENLUCHT EN GRONDWATER)



BIJLAGE 6

KENTALLEN EN BEREKENING RWZI

MODELLERING: ONTWERP RWZI HESSENPOORT

0,055

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
c	CZV-vrucht	kg/dag	2.700
b	BZV-vrucht	kg/dag	1.000
S	ZS-vrucht	kg/dag	1.200
n	N-Kj-vrucht	kg/dag	250
no	N-NO3-vrucht	kg/dag	0
p	P-tot-vrucht	kg/dag	42
	BZV/N	kg/dag	4,0

DWA	DWA	m3/uur	430
RWA	RWA	m3/uur	1.000
DWA periode	DWA periode	uur/dag	20
Qgem	Gemiddeld debiet	m3/dag	4.550
Qbiop	Biop flow	m3/dag	8.600

c_bron	C-bron dosering in AT		Geen
c_bron g/m3	Hoeveel g/m3 CZV doseren	g CZV/m3	2,0
c_bron kg czv/dag	Kg CZV te doseren per dag	kg CZV/dag	-
c_bron m3/dag	Volumestroom CZV per dag	m3/dag	-

NH4-Nmax_eff	NH4 effluent uit model Downing	mg/l	1,5
NH4-Nmin_eff	Minimaal NH4 effluent	mg/l	1,5
N-org opgl_eff	N-org opgelost	mg/l	1,5
Nkj-Zseffl	N-Kj in ZS effluent	mg/l	0,5
NO3-Nmin_eff	N-NO3 effluent	mg/l	2,0
NO3-Nontwerp_eff	NO3 effluent ontwerptemperatuur	mg/l	16,63
CZV_sa_eff_anae	Effluent concentratie vzw in anaerobe volume	mg COD/l	2
P-effl	P effluent (DWA)	mg/l	1,00
ZSe	ZS effluent Bilmeier (0) anders waarde invoeren	mg/l	5,00
ZSe	ZS effluent zoals gebruikt in model	mg/l	5,00

Tontwerp	Ontwerptemperatuur	°C	11,25
Ga	Ontwerpslibgehalte	kg SS/m3	5,00

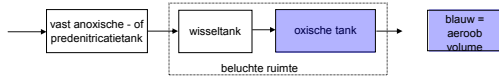
Chemicaliën dosering water: FeCl3(0); FeSO4(1); AlCl3(2); Geen (3)			0
Fe	Dosering Me	mol Me/mol P	0,000
Cmeop	MeOP correctie		1,0
Max_mep	Max. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	
Min_mep	Min. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	
<15_mep	vaste Me dosering bij T < 15°C	mol Me/mol P	
≥15_mep	vaste Me dosering bij T ≥ 15°C	mol Me/mol P	

Pre_simul	Pre-denitrificatie (1), simultane denitrificatie (0)		1
Tijd_anoxsel	Contacttijd anoxische selector	min	20
Tijd_biop	Contacttijd Bio P verwijdering	hours	0,9
N_biop	Aantal compartimenten in anaerobe tank	-	4
Phore_UCT	Phoredox (1) of UCT (0)	-	0
Wissel	Wisseltank: Ja (1), nee (0)	-	1
Rf_b	Maximale recirculatieverhouding B of sim. bij DWA	-	2,3
Rf_c	Maximale recirculatieverhouding C bij DWA	-	3,5
Rf_dwa	Maximale recirculatieverhouding B+C of sim. bij DWA	-	5,8
O2_recirc	O2-concentratie recirculatie	mg/l	0,5
ZF_retour	Waswater zandfilter wel (1) of niet (0) retour	-	0

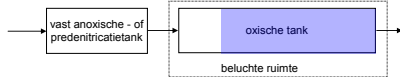
AT_limvav	Limiterende waarde vast anoxisch volume	%	28,57
Belucht_limittatie	Beluchtingslimittatie 1+ aan 0 = uit	%	1
Belucht_zomer	Aëroob volume van beluchte ruimte bij T >=15	%	50
Belucht_winter	Aëroob volume van beluchte ruimte bij T < 15	%	50

Nbt_diep/ondiep	NBT's Ondiep (0) / Diep (1)	-	0
SVI	Slibvolume index	ml/g	120
Xrs	retourlibgehalte	kg/m3	8,0

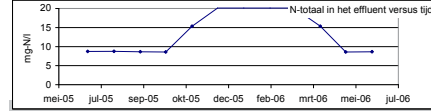
Voorbeeld van configuratie met een onbeluchte wisseltank:



Voorbeeld van configuratie met predenitrificatie en denitrificatie in de beluchte ruimte:



Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Ga_bio	Biologisch slibgehalte	g ds/l	5,0
fp_Ga	Gemiddeld P in slib	%	3,3
P_effl_gem	P effluent gemiddeld	mg/l	1,0
Ntot_min ontwerp	N-totaal minimaal ontwerp	mg/l	5,5
Ntot jaargem	Jaargem N-totaal in effluent 10	mg/l	13,6
Ntot zomer	Zomergemiddelde N-totaal	mg/l	9,8
Ntot winter	Wintergemiddelde N-totaal	mg/l	17,4
Tmin	Minimale temp	°C	11,3
Tmax	Maximale temp	°C	20,0



k	Slibbelasting (biol T ontwerp)	kg BZV/kg ds.d	0,052	Terugrekenen
Vn+Vd	Actief slib volume	m3	3.780	3.780
Vn	Aëroob volume	m3	2.600	2.700
Vd	anoxisch volume	m3	1.180	1.080
Vsel	Anox. selector volume	m3	360	350
Van	Anaëroob volume	m3	731	720
Vd_vast	Vast anoxisch volume	m3	720	720
V_wissel	Wisseltank volume	m3	1.350	1.350
V_oxische	Oxisch volume	m3	1.350	1.350
V_ox_aer_min	- min. belucht volume	m3	1.350	1.350 zomer
V_ox_aer_max	- max. belucht volume	m3	1.350	1.350 winter
Max %ae Vn	%ae V_tot bij T_min	%	69	
Min %ae V_tot	%ae V_tot bij T_max	%	36	
%vast Vd	% vast Vd	%	29	

PS	Primaar slibprod	kg ds/d	-
Y	Slibyield bij Tontwerp	kg ds/kg BZV	1,0
Gb	Biol slibaanwas bij Tontwerp	kg ds/d	1.047
Gb_gem	Gem. biol. slibaanwas	kg ds/d	1.017
md_FeCl3	Dosering FeCl3 bij Tontwerp	kg FeCl3/d	0
md_FeSO4	Dosering FeSO4 bij Tontwerp	kg FeSO4/d	0
md_AlCl3	Dosering AlCl3 bij Tontwerp	kg AlCl3/d	-
md_Me_liter	Gekozen dosering Me in l/dag	l Me/dag	-
Gf	Fys/chem slib bij Tontwerp	kg ds/d	-
Gf_gem	Fys/chem slib gemiddeld	kg ds/d	9
Gt	Totale slibprod bij Tontwerp	kg ds/d	1.047
Gt_gem	Totale slibprod gemiddeld	kg ds/d	1.026
Gt (-effl)	Slib slijbin	kg ds/d	1.024
tsl(7)	Slibleeftijd (minimaal)	dagen	18
tsl(10)	Slibleeftijd (maximaal)	dagen	20

GaRWA	Actiefslibgehalte bij RWA	kg/m3	3,50
Ga_gfname	Slibafname bij RWA	kg/m3	1,50
TDS_max gevraagd	Te bufferen hoeveelheid slib	kg	6,758
Qrs(DWA)	Retourslib DWA	m3/h	717
R	Retourslib RWA	m3/h	778
recirc_factor RWA	recirc. factor RWA	m3/h	0,8
Gc:	bufferslib NBT conc.	kg/m3	4,0
VSV_dwa	slibvolume DWA	ml/l	600

Voorbezinking			
A_nodig_VBT	Benodigd oppervlak VBT	m2	400
D_max_voor	Maximum diameter VBT	m	60
A_max_voor	Maximum oppervlakte per VBT	m2	2.827
n_voor	Aantal VBT	stuk	1
A_voor_stuk	oppervlak VBT per stuk	m2	400
D_voor	Benodigde diameter VBT per stuk	m	23

Chemicaliën FAST			
FeClSO4	ijzerchloridesulfaat	kg/dag	-
kat. coag	kationisch coagulant	kg/dag	-
an. flocc.	anionisch flocculant	kg/dag	-

6,2 praktijk

57,5 praktijk

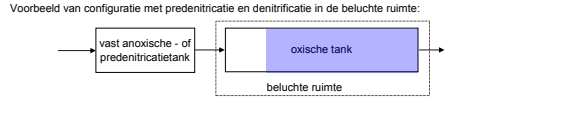
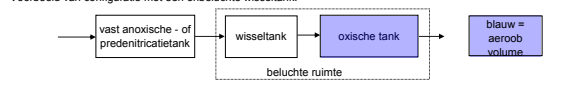
MODELLERING: ONTWERP RWZI HESSENPOORT INCLUSIEF TEMPERatuurVERLAGING

28253.676

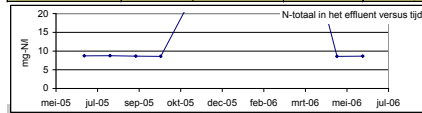
Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
c	CZV-vracht	kg/dag	2.700
b	BZV-vracht	kg/dag	1.000
S	ZS-vracht	kg/dag	1.200
n	N-Kj-vracht	kg/dag	250
no	N-NO3-vracht	kg/dag	0
p	P-af-vracht	kg/dag	42
	BZV/VN	kg/dag	4,0
DWA	DWA	m3/uur	430
RWA	RWA	m3/uur	1.000
DWA periode	DWA periode	uur/dag	20
Qgem	Gemiddeld debiet	m3/dag	4.650
Qbiop	BioP flow	m3/dag	8.600
c_bron	C-bron dosering in AT	-	Geen
c_bron g/m3	Hoeveel g/m3 CZV doseren	g CZV/m3	2,0
c_bron kg czv/dag	Kg CZV te doseren per dag	kg CZV/dag	-
c_bron m3/dag	Volumestroom CZV per dag	m3/dag	-
NH4-Nmax_eff	NH4 effluent uit model Downing	mg/l	1,5
NH4-Nmin_eff	Minimale NH4 effluent	mg/l	1,5
N-org opgl_eff	N-org opgelost	mg/l	1,5
Nkj-ZSeff	N-Kj in ZS effluent	mg/l	0,5
NO3-Nmin_eff	N-NO3 effluent	mg/l	2,0
NO3-Nmax_eff	N-NO3 effluent	mg/l	16,60
CZV_sa_eff_anae	Effluent concentratie vzw in anaerobe volume	mg COD/l	-
P_eff	P effluent (DWA)	mg/l	1,00
ZSe	ZS effluent Bilmeier (0) anders waarde invoeren	mg/l	5,00
ZSe	ZS effluent zoals gebruikt in model	mg/l	5,00
Tontwerp	Ontwerptemperatuur	°C	ALARM 11,25
Ga	Ontwerpsilicabehalte	kg SS/m3	5,00
Fe	Chemicaliën dosering water: FeCl3(0); FeSO4(1); AlCl3(2); Geen (3)	mol Me/mol P	0
Cmeop	Dosering Me	mol Me/mol P	0,000
Max_mep	Max. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	1,0
Min_mep	Min. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	-
<15_mep	vaste Me dosering bij T < 15°C	mol Me/mol P	-
≥15_mep	vaste Me dosering bij T ≥ 15°C	mol Me/mol P	-
Pre_simul	Pre-denitrificatie (1), simultane denitrificatie (0)	-	1
Tijd_anoxsel	Contacttijd anoxische selector	min	20
Tijd_biop	Contacttijd Bio P verwijdering	hours	0,9
N_biop	Aantal compartimenten in anaerobe tank	-	4
Phore_UCT	Phoredox (1) of UCT (0)	-	0
Wissel	Wisseltank: Ja (1), nee (0)	-	1
Rf_b	Maximale recirculatieverhouding B of sim. bij DWA	-	2,3
Rf_c	Maximale recirculatieverhouding C bij DWA	-	3,5
Rf_dwa	Maximale recirculatieverhouding B+C of sim. bij DWA	-	5,8
O2_recirc	O2-concentratie_recirculatie	mg/l	0,5
ZF_retour	Waswater zandfilter wel (1) of niet (0) retour	-	0

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
AT_limvav	Limiterende waarde vast anoxisch volume	%	28,57
Belucht_limite	Beluchtingslimiet 1 = aan 0 = uit	%	1
Belucht_zomer	Aerob volume van beluchte ruimte bij T >= 15	%	50
Belucht_winter	Aerob volume van beluchte ruimte bij T < 15	%	50

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Nbt_diep/ondiep	NBT's Ondiep (0) / Diep (1)	-	0
SVI	Slibvolume index	ml/g	120
Xrs	Retourslibgehalte	kg/m3	8,0



Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Ga_bio	Biologisch silicagehalte	g ds/l	5,0
fp_Ga	Gemiddeld P in slib	%	3,3
P_eff_gem	P effluent gemiddeld	mg/l	1,0
Ntot_min_ontwerp	N-totaal minimaal ontwerp	mg/l	5,5
Ntot_jaargem	Jaargem N-totaal in effluent 10	mg/l	18,2
Ntot_zomer	Zomergemiddelde N-totaal	mg/l	12,5
Ntot_winter	Wintergemiddelde N-totaal	mg/l	23,5
Tmin	Minimale temp	°C	10,8
Tmax	Maximale temp	°C	20,0



Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde	Terugrekenen
k	Slibbelasting (biol. T ontwerp)	kg BZV/kg ds.d	0,052	-
Vn+Vd	Actief slib volume	m3	3.853	3.780
Vn	Aerob volume	m3	2.648	2.700
Vd	anoxisch volume	m3	1.205	1.080
Vsel	Anox. selector volume	m3	382	360
Van	Anaerob volume	m3	731	720
Vd_vast	Vast anoxisch volume	m3	719	720
V_wissel	Wisseltank volume	m3	1.376	1.350
V_oxische	Oxisch volume	m3	1.376	1.350
V_ox_aer_min	- min. belucht volume	m3	1.376	1.350
V_ox_aer_max	- max. belucht volume	m3	1.376	1.350
Max %ae Vn	%ae V_tot bij T_min	%	69	-
Min %ae V_tot	%ae V_tot bij T_max	%	36	-
% vast Vd	% vast Vd	%	29	-

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
PS	Primair slibprod	kg ds/d	-
Y	Slibyield bij Tontwerp	kg ds/kg BZV	1,0
Gb	Biol silbaanwas bij Tontwerp	kg ds/d	1,047
Gb_gem	Gem. biol. silbaanwas	kg ds/d	1,011
md_FeCl3	Dosering FeCl3 bij Tontwerp	kg FeCl3/d	0
md_FeSO4	Dosering FeSO4 bij Tontwerp	kg FeSO4/d	0
md_AlCl3	Dosering AlCl3 bij Tontwerp	kg AlCl3/d	-
md_Me_liter	Gekozen dosering Me in l/dag	l Me/dag	-
Gf	Fys/chem slib bij Tontwerp	kg ds/d	-
Gf_gem	Fys/chem slib gemiddeld	kg ds/d	9
Gt	Totale slibprod bij Tontwerp	kg ds/d	1,047
Gt_gem	Totale slibprod gemiddeld	kg ds/d	1,020
Gt(-eff)	Slib silbijjn	kg ds(-)d	1,024
tsl(7)	Slibteftijd (minimaal)	dagen	18
tsl(10)	Slibteftijd (maximaal)	dagen	20

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
GARWA	Actiefslibgehalte bij RWA	kg/m3	3,50
Ga_afname	Slibafname bij RWA	kg/m3	1,50
TDS_max gevraagd	Te bufferen hoeveelheid slib	kg	6,901
Qrs(DWA)	Retourslib DWA	m3/h	717
R	Retourslib RWA	m3/h	778
Rc	recirc. factor RWA	m3/h	0,8
Gc	bufferslib NBT conc.	kg/m3	4,0
VSV.dwa	slibvolume DWA	ml/l	600

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Voorbezinking			
A_nodig_VBT	Benodigd oppervlak VBT	m2	400
D_max_voor	Maximum diameter VBT	m	60
A_max_voor	Maximum oppervlakte per VBT	m2	2.827
n_voor	Aantal VBT	stuks	1
A_voor_stuk	oppervlak VBT per stuk	m2	400
D_voor	Benodigde diameter VBT per stu	m	23
Chemicaliën FAST			
FeClSO4	ijzerchloridesulfaat	kg/dag	-
kat. coag	kationisch coagulant	kg/dag	-
an. flocc.	anionisch flocculant	kg/dag	-

6,2 praktijk

575 praktijk

MODELLERING: PRAKTIJK RWZI HESSENPOORT

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
c	CZV-vracht	kg/dag	1.087
b	BZV-vracht	kg/dag	375
S	ZS-vracht	kg/dag	561
n	N-Kj-vracht	kg/dag	119
no	N-NO3-vracht	kg/dag	0
p	P-tot-vracht	kg/dag	23
	BZV/N		3,2

DWA	DWA	m3/uur	180
RWA	RWA	m3/uur	1.000
DWA periode	DWA periode	uur/dag	20
Ogem	Gemiddeld debiet	m3/dag	3.359
Obiop	BioP flow	m3/dag	3.600

c_bron	C-bron dosering in AT	-	Geen
c_bron g/m3	Hoeveel g/m3 CZV doseren	g CZV/m3	2,0
c_bron kg czv/dag	Kg CZV te doseren per dag	kg CZV/dag	-
c_bron m3/dag	Volumestroom CZV per dag	m3/dag	-

NH4-Nmax_effl	NH4 effluent uit model Downing	mg/l	1,5
NH4-Nmin_effl	Minimaal NH4 effluent	mg/l	1,5
N-org_oppl_effl	N-org opgelost	mg/l	1,5
Nkj-ZSeffl	N-Kj in ZS effluent	mg/l	0,5
NO3-Nmin_effl	N-NO3 effluent	mg/l	0,5
NO3-Nontwerp_effl	NO3 effluent ontwerptemperatuur	mg/l	8,89
CZV_sa_eff_anae	Effluent concentratie vzw in anaerobe volume	mg COD/l	2
P_effl	P effluent (DWA)	mg/l	0,40
ZSe	ZS effluent Bilmeier (0) anders waarde invoeren	mg/l	5,00
ZSe	ZS effluent zoals gebruikt in model	mg/l	5,00

Tontwerp	Ontwerptemperatuur	°C	9,0
Ga	Ontwerpsilbgehalte	kg SS/m3	3,60

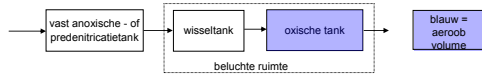
Chemicalien dosering water: FeCl3(0); FeSO4(1); AlCl3(2)	Geen (3)	0	
Fe	Dosering Me	mol Me/mol P	0,453
Omeop	MeOP correctie		1,5
Max_mep	Max. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	
Min_mep	Min. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	
<15_mep	vaste Me dosering bij T < 15°C	mol Me/mol P	
>15_mep	vaste Me dosering bij T > 15°C	mol Me/mol P	

Pre_simul	Predentificatie (1), simultane denitrificatie (0)	-	1
Tijd_anoxsel	Contacttijd anoxische selector	min	65
Tijd_biop	Contacttijd Bio P verwijdering	hours	2,0
N_biop	Aantal compartimenten in anaerobe tank	-	4
Phoredox	Phoredox (1) of UCT (0)	-	0
Wissel	Wisseltank: Ja (1), nee (0)	-	1
Rf_b	Maximale recirculatieverhouding B of sim. bij DWA	-	8,0
Rf_c	Maximale recirculatieverhouding C bij DWA	-	8,0
Rf_dwa	Maximale recirculatieverhouding B+C of sim. bij DWA	-	16,0
O2_recirc	O2-concentratie_recirculatie	mg/l	0,5
ZF_retour	Waswater zandfilter wel (1) of niet (0) retour	-	0

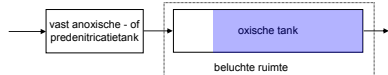
AT_limvav	Limiterende waarde vast anoxisch volume	%	29,00
Belucht_limitatie	Beluchttingslimitatie 1= aan 0 = uit		1
Belucht_zomer	Aerob volume van beluchte ruimte bij T >=15	%	50
Belucht_winter	Aerob volume van beluchte ruimte bij T < 15	%	50

Nbt_diep/ondiep	NBT's Ondiep (0) / Diep (1)	-	0
SVI	Silbvolume index	ml/g	120
Xrs	Retoursilbgehalte	kg/m3	8,0

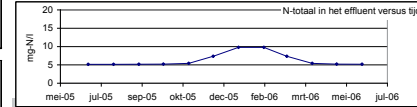
Voorbeeld van configuratie met een beluchte wisseltank:



Voorbeeld van configuratie met predenitrificatie en denitrificatie in de beluchte ruimte:



Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Ga_bio	Biologisch silbgehalte	g ds/l	3,2
lp_Ga	Gemiddeld P in silb	%	2,7
P_effl_gem	P effluent gemiddeld	mg/l	0,4
Ntot_min_ontwerp	N-totaal minimaal ontwerp	mg/l	4,0
Ntot_jaargem	Jaargem N-totaal in effluent 10	mg/l	6,3
Ntot_zomer	Zomergemiddelde N-totaal	mg/l	5,2
Ntot_winter	Wintergemiddelde N-totaal	mg/l	7,5
Tmin	Minimale temp	°C	10,0
Tmax	Maximale temp	°C	20,0



k	Silbelasting (biol T ontwerp)	kg BZV/kg ds.d	0,031	Terugrekenen
Vn+Vd	Actief silb volume	m3	3.799	3.799
Vn	Aerob volume	m3	2.213	2.213
Vd	anoxisch volume	m3	1.585	1.585
Vsel	Anox. selector volume	m3	355	355
Van	Anaerob volume	m3	720	720
Vd_vast	Vast anoxisch volume	m3	747	747
V_wissel	Wisseltank volume	m3	1.349	1.350
V_oxische	Oxisch volume	m3	1.348	1.349
V_ox_aer_min	-min. belucht volume	m3	1.348	1.349 zomer
V_ox_aer_max	-max. belucht volume	m3	1.348	1.349 winter
Max %ae Vn	%ae V_tot bij T_min	%	35	
Min %ae V_tot	%ae V_tot bij T_max	%	29	

PS	Primaire silbprod	kg ds/d	-
Y	Silbyield bij Tontwerp	kg ds/kg BZV	1,2
Gb	Biol silbaanwas bij Tontwerp	kg ds/d	449
Gb_gem	Gem. biol. silbaanwas	kg ds/d	434
md_FeCl3	Dosering FeCl3 bij Tontwerp	kg FeCl3/d	55
md_FeSO4	Dosering FeSO4 bij Tontwerp	kg FeSO4/d	0
md_AlCl3	Dosering AlCl3 bij Tontwerp	kg AlCl3/d	-
md_Me_liter	Gekozen dosering Me in l/dag	l Me/dag	39
Gf	Fys/chem silb bij Tontwerp	kg ds/d	51
Gf_gem	Fys/chem silb gemiddeld	kg ds/d	66
Gt	Totale silbprod bij Tontwerp	kg ds/d	500
Gt_gem	Totale silbprod gemiddeld	kg ds/d	500
Gt_effl	Silb silbijn	kg ds/d	483
tsl(7)	Silbteftijd (minimaal)	dagen	27
tsl(10)	Silbteftijd (maximaal)	dagen	28

GarWA	Actiefsilbgehalte bij RWA	kg/m3	2,74
Ga_ahame	Silbafname bij RWA	kg/m3	0,86
Tds_max_gevraagd	Te bufferen hoeveelheid silb	kg	3,863
Qrs(DWA)	Retoursilb DWA	m3/h	147
R	Retoursilb RWA	m3/h	522
Gc	recirc. factor RWA	m3/h	0,5
VSV.dwa	buffersilb NBT conc.	kg/m3	4,0
	silbvolume DWA	ml	432

Voorbezinking			
A_nodig_VBT	Benodigd oppervlak VBT	m2	400
D_max_voor	Maximum diameter VBT	m	80
A_max_voor	Maximum oppervlakte per VBT	m2	2.827
n_voor	Aantal VBT	stuk	1
A_voor_stuk	oppervlak VBT per stuk	m2	400
D_voor	Benodigde diameter VBT per stuk	m	23
Chemicalien FAST			
FeCl3O4	Izerchloridesulfaat	kg/dag	-
kat. coag	kationisch coagulant	kg/dag	-
an. flocc.	anionisch flocculant	kg/dag	-

6,2 praktijk

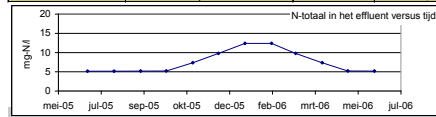
57,5 praktijk

MODELLERING: PRAKTIJK RWZI HESSENPOORT INCLUSIEF WARMTEONTREKKING

11991,397			
Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
c	CZV-vrucht	kg/dag	1.087
b	BZV-vrucht	kg/dag	375
S	ZS-vrucht	kg/dag	561
n	N-Kj-vrucht	kg/dag	119
no	N-NO3-vrucht	kg/dag	0
p	P-tot-vrucht	kg/dag	23
	BZV/N		3,2
DWA	DWA	m3/uur	180
RWA	RWA	m3/uur	1.000
DWA periode	DWA periode	uur/dag	20
Qgem	Gemiddeld debiet	m3/dag	3.358
Qbiop	BioP flow	m3/dag	3.600
c_bron	C-bron dosering in AT	-	Geen
c_bron g/m3	Hoeveel g/m3 CZV doseren	g CZV/m3	2,0
c_bron kg czv/dag	Kg CZV te doseren per dag	kg CZV/dag	-
c_bron m3/dag	Volumestroom CZV per dag	m3/dag	-

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Waarde
Ga_bio	Biologisch silbgehalte	g ds/l	3,2
tp_Ga	Gemiddeld P in silb	%	2,8
P_effi_gem	P effluent gemiddeld	mg/l	0,4
Ntot_min ontwerp	N-totaal minimaal ontwerp	mg/l	4,0
Ntot_jaargem	Jaargem N-totaal in effluent 10	mg/l	7,5
Ntot_zomer	Zomergemiddelde N-totaal	mg/l	5,5
Ntot_winter	Wintergemiddelde N-totaal	mg/l	9,5
Tmin	Minimale temp	°C	9,0
Tmax	Maximale temp	°C	20,0

6,2 praktijk



NH4-Nmax_effi	NH4 effluent uit model Downing	mg/l	1,5
NH4-Nmin_effi	Minimaal NH4 effluent	mg/l	1,5
N-org_opgl_effi	N-org opgelost	mg/l	1,5
NKj-ZSeffl	N-Kj in ZS effluent	mg/l	0,5
NO3-Nmin_effi	N-NO3 effluent	mg/l	0,5
NO3-NTontwerp_effi	NO3 effluent ontwerptemperatuur	mg/l	8,89
CZV_sa_eff_anae	Effluent concentratie vzw in anaerobe volume	mg COD/l	2
P_effi	P effluent (DWA)	mg/l	0,49
ZSe	ZS effluent Billmeier (0) anders waarde invoeren	mg/l	5,00
ZSe	ZS effluent zoals gebruikt in model	mg/l	5,00

k	Silbbelasting (biol. T ontwerp)	kg BZV/kg ds.d	0,031	Terugrekenen
Vn+Vd	Actief silb volume	m3	3.799	3.799
Vn	Aerob volume	m3	2.213	2.213
Vd	anoxisch volume	m3	1.585	1.585
Vsel	Anox. selector volume	m3	355	355
Van	Anaerob volume	m3	720	720
Vd_vast	Vast anoxisch volume	m3	747	747
V_wissel	Wisseltank volume	m3	1.349	1.350
V_oxische	Oxisch volume	m3	1.348	1.349
V_ox_aer_min	- min. belucht volume	m3	1.348	1.349
V_ox_aer_max	- max. belucht volume	m3	1.348	1.349
Max %ae Vn	%ae V_tot bij T_min	%	58	
Min %ae V_tot	%ae V_tot bij T_max	%	35	
%vast Vd	% vast Vd	%	29	

Tontwerp	Ontwerptemperatuur	°C	9,0
Ga	Ontwerpsilbgehalte	kg SS/m3	3,60

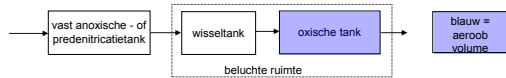
Chemicaliën dosering water: FeCl3(0); FeSO4(1); AlCl3(2);	Geen (3)	0	
Fe	Dosering Me	mol Me/mol P	0,453
Cmeop	MeOP correctie	-	1,5
Max_mep	Max. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	-
Min_mep	Min. verhouding Me dosering	mol Me/mol P	-
<15_mep	vaste Me dosering bij T < 15°C	mol Me/mol P	-
≥15_mep	vaste Me dosering bij T ≥ 15°C	mol Me/mol P	-

Pre_simul	Pre-denitrificatie (1), simultane denitrificatie (0)	-	1
Tijd_anoxsel	Contacttijd anoxische selector	min	65
Tijd_biop	Contacttijd Bio P verwijdering	hours	2,0
N_biop	Aantal compartimenten in anaerobe tank	-	4,0
PhoredoxUCT	Phoredox (1) of UCT (0)	-	0
Wissel	Wisseltank: Ja (1), nee (0)	-	1
Rf_b	Maximale recirculatieverhouding B of sim. bij DWA	-	8,0
Rf_c	Maximale recirculatieverhouding C bij DWA	-	8,0
Rf_dwa	Maximale recirculatieverhouding B+C of sim. bij DWA	-	16,0
O2_recirc	O2-concentratie_recirculatie	mg/l	0,5
ZF_retour	Waswater zandfilter wel (1) of niet (0) retour	-	0

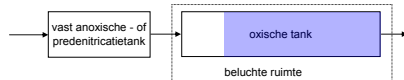
AT_limvav	Limiterende waarde vast anoxisch volume	%	29,00
Belucht_limitatie	Beluchtingslimitatie 1= aan 0 = uit		1
Belucht_zomer	Aerob volume van beluchte ruimte bij T >=15	%	50
Belucht_winter	Aerob volume van beluchte ruimte bij T < 15	%	50

Nbt_diep/ondiep	NBT's Ondiep (0) / Diep (1)	-	0
SVI	Silbvolumen index	ml/g	120
Xrs	Retoursilbgehalte	kg/m3	8,0

Voorbeeld van configuratie met een onbeluchte wisseltank:



Voorbeeld van configuratie met predenitrificatie en denitrificatie in de beluchte ruimte:



PS	Primair silbprod	kg ds/d	-
Y	Silbyield bij Tontwerp	kg ds/kg BZV	1,2
Gb	Biol silbaanwas bij Tontwerp	kg ds/d	449
Gb_gem	Gem. biol. silbaanwas	kg ds/d	435
md_FeCl3	Dosering FeCl3 bij Tontwerp	kg FeCl3/d	55
md_FeSO4	Dosering FeSO4 bij Tontwerp	kg FeSO4/d	0
md_AlCl3	Dosering AlCl3 bij Tontwerp	kg AlCl3/d	-
md_Me_liter	Gekozen dosering Me in l/dag	l Me/dag	39
Gf	Fys/chem silb bij Tontwerp	kg ds/d	51
Gf_gem	Fys/chem silb gemiddeld	kg ds/d	64
Gt	Totale silbprod bij Tontwerp	kg ds/d	500
Gt_gem	Totale silbprod gemiddeld	kg ds/d	500
Gt_effi	Silb silblijn	kg ds/d	483
tsl(7)	Silbteeftijd (minimaal)	dagen	27
tsl(10)	Silbteeftijd (maximaal)	dagen	28
GaRWA	Actiefsilbgehalte bij RWA	kg/m3	2,74
Ga_afname	Silbafname bij RWA	kg/m3	0,86
TDS_max gevraagd	Te bufferen hoeveelheid silb	kg	3.863
Qrs(DWA)	Retoursilb DWA	m3/h	147
R	Retoursilb RWA	m3/h	522
R	recirc. factor RWA	m3/h	0,5
Gc:	bufferstilb NBT conc.	kg/m3	4,0
VSV_dwa	silbvolumen DWA	ml/l	432

575 praktijk

Voorbezinking	Benodigd oppervlak VBT	m2	400
A_modig_VBT	Maximum oppervlak VBT	m	60
D_max_voor	Maximum oppervlakte per VBT	m2	2.827
n_voor	Aantal VBT	stuks	1
A_voor_stuk	oppervlak VBT per stuk	m2	400
D_voor	Benodigde diameter VBT per stuk	mm	23
Chemicaliën FAST			
FeClS04	ijzerchloridesulfaat	kg/dag	-
kat. coag	kationisch coagulant	kg/dag	-
an. flocc.	anionisch flocculant	kg/dag	-

kostenfactoren (incl. BTW)				
Slibkosten	EUR/ton ds	600		
Energiekosten	EUR/kwh	0,12		
Chemicalien	EUR/ton Fe	150		
Kosten voor slibverwerking, beluchtingsenergie en chemicalien				
		praktijk 2008	praktijk 2008	
temperatuur			min 1°C	
Belasting	ie à 136 g CZV	11.991	11.991	
Volume AT	m3	3.799	3.799	
V aerob	m3	2.213	2.213	
Slibgehalte	kg ds/m3	3,6	3,6	
Ontwerp temperatuur	C	9,0	9,0	
beluchting	kWh/dag	332	333	0,3%
secundair slib	kg ds/dag	434	435	0,2%
chemisch slib	kg ds/dag	66	64	-3,0%
Totaal slib	kg ds/dag	500	499	-0,2%
Ntotaal	mg/l	6,3	7,5	19,0%
Ptotaal	mg/l	0,4	0,4	0,0%
Pmaximaal	mg/l	0,4	0,4	0,0%
Me/P (gemiddeld)	mol/mol	0,63	0,61	
Ijzerdosering	kg/dag	76	73	
Afvoerkosten slib	EUR/jr	109.500	109.281	-0,2%
Beluchtungskosten	EUR/jr	14.542	14.585	0,3%
Chemicalien kosten	EUR/jr	4.161	3.997	-3,9%
Totaal	EUR/jr	128.203	127.863	-0,3%
		ontwerp	ontwerp	
temperatuur			min 1°C	
Belasting	ie à 136 g CZV	28.254	28.254	
Volume AT	m3	3.780	3.780	
V aerob	m3	2.700	2.700	
Slibgehalte	kg ds/m3	5,0	5,0	
Ontwerp temperatuur	C	11,3	11,3	
beluchting	kWh/dag	803	780	-2,9%
secundair slib	kg ds/dag	1.017	1.011	-0,6%
chemisch slib	kg ds/dag	9	9	0,0%
Totaal slib	kg ds/dag	1.026	1.020	-0,6%
Ntotaal	mg/l	13,6	18,2	33,8%
Ptotaal	mg/l	1,0	1,0	0,0%
Pmaximaal	mg/l	1,0	1,0	0,0%
Me/P (gemiddeld)	mol/mol	0,04	0,050	
Ijzerdosering	kg/dag	9	10	
Afvoerkosten slib	EUR/jr	224.694	223.380	-0,6%
Beluchtungskosten	EUR/jr	35.171	34.164	-2,9%
Chemicalien kosten	EUR/jr	493	548	11,1%
Totaal	EUR/jr	260.358	258.092	-0,9%