



## Onderzoeksrapport

# Invloed riothermiesystemen op de afvalwaterzuivering

# Invloed riothermiesystemen op de afvalwaterzuivering

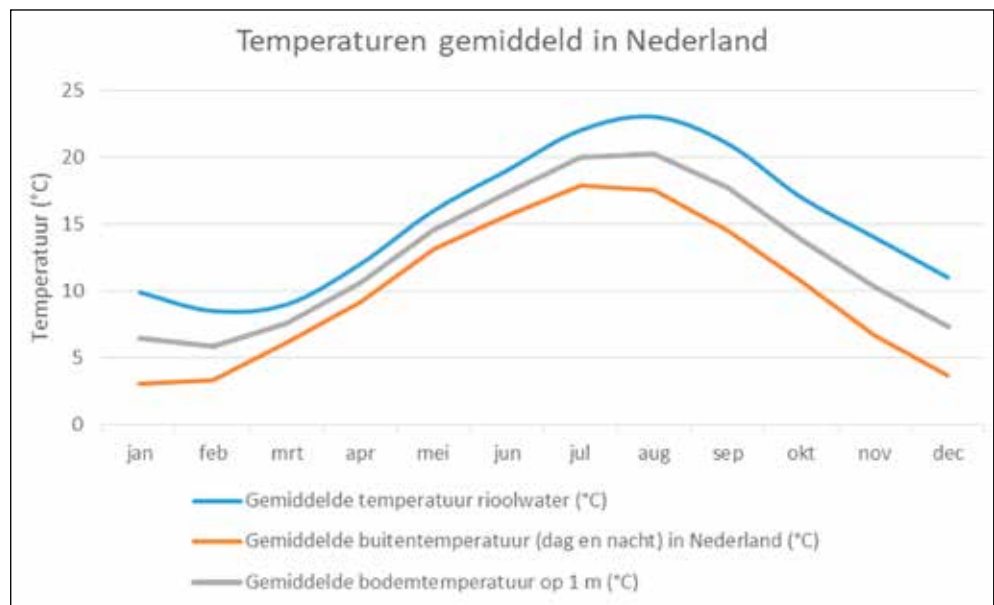
# Samenvatting

De ontwikkelingen in het gebruik van warmte uit afvalwater zijn in volle gang. Op dit moment zijn in Nederland tien riothermiesystemen in bedrijf en verwacht wordt dat dit aantal de komende jaren zeker zal verdubbelen. Dit betekent dat steeds meer aanspraak wordt gemaakt op de thermische energie uit het afvalwater. In 2018 hebben TAUW en IF Technology in opdracht van STOWA een analyse uitgevoerd naar het potentieel van thermische energie uit afvalwater. Hieruit blijkt dat dit potentieel 59 Peta Joule (PJ) is. Dit is gelijk aan het gemiddelde warmtegebruik van circa 1,3 miljoen huishoudens. De vraag is hoe het stedelijk waterbeheer met een dergelijk potentieel kan omgaan. Is onbeperkt warmte te winnen uit het afvalwater zónder gevolgen voor het waterzuiveringsproces? Dat heeft Syntraal in 2019 in opdracht van STOWA en Stichting RIONED onderzocht aan de hand van literatuur, praktijkmetingen, modelberekeningen en een rwzi-gevoeligheidsanalyse met een voorbeeldcasus.

## Literatuuronderzoek

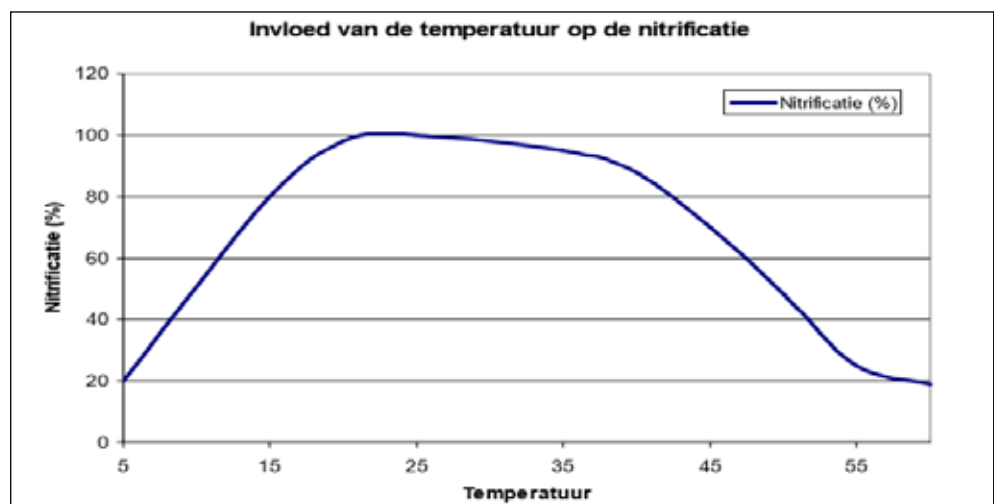
Om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden, is meer inzicht nodig in het effect van warmtewinning door riothermie op de temperatuur van het rwzi-influent. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat het afvalwater in de verzamelriolen gemiddeld door het jaar een redelijk voorspelbare temperatuur heeft. Deze is afhankelijk van de buiten- en de bodemtemperatuur. Figuur 0.1 geeft het verloop van de temperatuur in het jaar weer voor een verzamelriool op circa 1 meter diepte.

**Figuur 0.1**  
Afvalwatertemperatuur  
gemiddeld in Nederland  
(Bron: Syntraal)



De temperatuur van het afvalwater en dus het rwzi-influent heeft een directe invloed op het nitrificatieproces op de zuivering en daarmee het stikstofgehalte (N-totaal) in het rwzi-effluent. Figuur 0.2 zet de nitrificatie uit ten opzichte van de afvalwatertemperatuur.

**Figuur 0.2**  
Nitrificatie ten opzichte van de  
afvalwatertemperatuur  
(graden Celsius)  
(Bron: TAUW 2017)





Zichtbaar is dat bij een afvalwatertemperatuur van 5 graden Celsius het nitrificatieproces nog voor 20% functioneert. Dat betekent dat het zuiveren van het afvalwater dan vijf keer zoveel tijd in beslag neemt in vergelijking met een optimaal nitrificatieproces. Bij een lagere temperatuur heeft het afvalwater dus een langere verblijftijd, dit betekent een grotere opslagcapaciteit van de rwzi. De capaciteit van de meeste rwzi's is ontworpen op een influenttemperatuur van 8 graden Celsius. Dit betekent dat het nitrificatieproces voor ongeveer 40% functioneert. Dit is 2,5 keer zoveel als bij een influenttemperatuur van 5 graden Celsius. Als de temperatuur van 8 naar 5 graden Celsius daalt, zou de rwzi-capaciteit dus 2,5 keer zo groot moeten zijn.

Belangrijkste deelconclusies uit het literatuuronderzoek zijn:

- De influenttemperatuur heeft een directe relatie tot de gemiddelde buitenluchttemperatuur.
- In het laatste deel van het rioolstelsel – het deel dat het verzamelde afvalwater naar de rwzi transporteert en in beheer is bij het waterschap – is het temperatuurverloop minimaal. Met andere woorden, de invloed van de omgeving is daar minimaal. Dit is ook het gedeelte waarbij het economisch het meest rendabel is om warmte te winnen, omdat hier veel afvalwaterstromen doorheen gaan en dus veel energie te winnen is.
- De influenttemperatuur heeft invloed op het nitrificatieproces en daarmee op het stikstofgehalte (N-totaal) in het zuiveringswater.
- De influenttemperatuur heeft geen directe invloed op het energieverbruik van de zuivering.

## Praktijkmetingen

Voor het praktijkonderzoek zijn twee casussen gebruikt om de invloed van de riool- en de omgevingstemperatuur te meten. De praktijkmetingen hebben nog te weinig data opgeleverd voor een gegronde conclusie. De enkele systemen die op dit moment thermische energie onttrekken uit afvalwater, hebben weinig effect op de temperatuur van het rwzi-influent. Dit komt vooral omdat het een kleine deelstroom is van het totale influentdebiet.

## Modelberekeningen

Om inzicht te krijgen in het verloop van de afvalwatertemperatuur in een rioolbuis, is een zogenaamd stromingsmodel gebouwd, een CFD-model (Computational Fluid Dynamics-model). Het model rekent het verloop van de afvalwatertemperatuur in het riool uit nadat het water door warmteonttrekking een aantal graden is afgekoeld. Enkele parameters hebben invloed op de snelheid waarmee het afvalwater opwarmt en zich kan herstellen tot de begintemperatuur:

- Contactoppervlak van het afvalwater met de bodem.
- Materiaal van de rioolbuis.
- Stroomsnelheid.
- Bodemsamenstelling.
- Bodemtemperatuur.
- Neerslag.
- Bijmenging van stromen.

Met een zekere mate van onnauwkeurigheid kan het model het effect op de influenttemperatuur op een bepaalde afstand vanaf de rioolwarmtewisselaar aangeven na de warmteonttrekking uit het afvalwater. Om de betrouwbaarheid te verhogen, moet het model met meer praktijkdata worden gevalideerd.

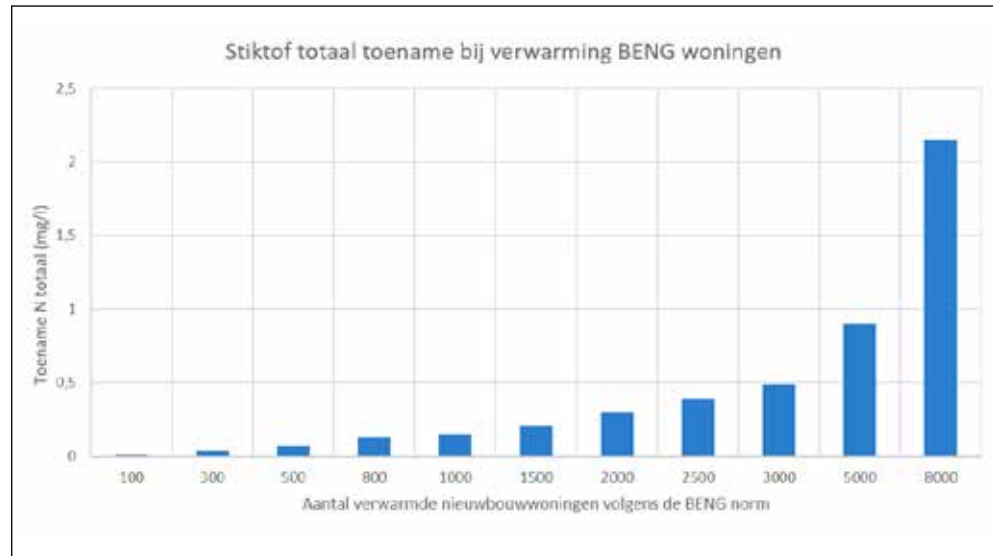
## Gevoeligheidsanalyse zuivering met voorbeeldcasus

Als de influenttemperatuur door riothermie daalt, wat is dan het effect op de zuivering? Aan de hand van een voorbeeldcasus is het effect op het stikstofgehalte (N-totaal) in het effluent onderzocht, een belangrijke parameter voor het zuiveringsproces. In de casus wordt de warmtewinning gebruikt om 2.000 duurzame nieuwbouwwoningen te verwarmen.

De nieuwbouwwoningen hebben een beperkte warmtevraag en de warmte wordt in relatief korte tijd opgewekt (nog geen 5 uur op vol vermogen (vollast) verdeeld over 20 uur per dag). Dit betekent dat het rioolwater het grootste deel van de dag niet of nauwelijks wordt afgekoeld. Hierdoor is de gemiddelde temperatuurdaling bij de zuivering veel minder groot dan

wanneer het riothermiesysteem continu op vol vermogen warmte zou onttrekken. Als een rwzi daarbij gemiddeld goed draait, is het effect op de zuivering beperkt: het gehalte N-totaal in het effluent stijgt tot 0,3 mg/l over het jaar. Daarbij is uitgegaan van een worstcasescenario, waarbij de afvalwatertemperatuur niet meer stijgt nadat het water is afgekoeld.

**Figuur 0.3**  
Toename N-totaal in het effluent per aantal nieuwbouwwoningen die worden verwarmd met het influent (Bron: Syntraal)



### Voorlopige conclusies

Het winnen van thermische energie uit het rioolstelsel heeft invloed op de influenttemperatuur bij de rwzi. Hoe groot die invloed is, is afhankelijk van veel factoren, zoals de diepteligging van het riool, de stroomsnelheid van het afvalwater, de bodemsamenstelling en het materiaal van de rioolbuis. Vooral aan het einde van het rioolstelsel (verzamelriool) heeft de omgeving steeds minder invloed op het temperatuurverloop van het afvalwater.

Afname van de influenttemperatuur zorgt voor een iets hoger stikstofgehalte in het rwzi-effluent. Of deze toename aanvaardbaar is en in welke mate een toename aanvaardbaar is, is onderwerp van discussie. De casus is toegepast voor één rwzi en dus niet representatief voor alle rwzi's. Elke zuivering heeft een eigen capaciteit en optimalisatie ten opzichte van de stikstofverwijdering.

### Aanbeveling waterschappen en gemeenten

Meerdere factoren die de invloed van riothermie op de influenttemperatuur bepalen, liggen in het beheergebied van de gemeente. Dus om het enorme potentieel aan riothermie te kunnen benutten, moeten waterschappen en gemeenten samen optrekken. De warmte uit het riool is een heel constante en directe warmtebron, die uitstekend past in de energietransitie waarvoor Nederland staat. Per project moeten waterschappen en gemeenten een afweging maken in de voor- en nadelen van riothermie voor het maatschappelijk belang.

# Inhoud

## Samenvatting 3

### 1 Inleiding 9

- 1.1 Aanleiding 9
- 1.2 Doel van het onderzoek 9
- 1.3 Auteurs en begeleidingscommissie 9
- 1.4 Leeswijzer 10

### 2 Werking van een riothermiesysteem 11

- 2.1 Het systeem 11
- 2.2 Roolwarmtewisselaars 14
  - 2.2.1 Roolwarmtewisselaar vrijvervalriool 14
  - 2.2.2 Roolwarmtewisselaar persleiding 16
  - 2.2.3 Overzicht 17
- 2.3 Efficiëntie van een roolwarmtewisselaar 18
  - 2.3.1 Biofilmvorming 18
  - 2.3.2 Sedimentatie 19

### 3 Invloed van de afvalwatertemperatuur op het zuiveringsproces 20

- 3.1 Temperatuurverloop in het rioelstelsel 20
- 3.2 Relatie influenttemperatuur en zuiveringsproces 24
- 3.3 Relatie influenttemperatuur en energieverbruik zuiveringsproces 26
- 3.4 Conclusie 28

### 4 De praktijkmetingen 29

- 4.1 Beschrijving van de drie onderzochte riothermiesystemen 29
  - 4.1.1 Riothermiesysteem van het Vellesan College, Velsen 30
  - 4.1.2 Riothermiesysteem van zwembad 't Bun, Urk 35
- 4.2 Praktijkmeting bij het Vellesan College 40
- 4.3 Praktijkmeting bij zwembad 't Bun 44
- 4.4 Praktijkmeting zwembad De Veldkamp in Wezep 45
- 4.5 Conclusie 49

### 5 Stromingsmodel afvalwater 50

- 5.1 Uitgangspunten, invoergegevens en berekeningen STEVAL 50
- 5.2 Resultaten STEVAL-modelberekeningen 51
- 5.3 Conclusie 56

### 6 Gevoeligheidsanalyse waterzuivering 58

- 6.1 Fictieve casus 58
- 6.2 Conclusies 65

### 7 Conclusies 67

### 8 Aanbevelingen 70

### 9 Definities, begrippen en afkortingen 71

### 10 Literatuur 75

Bijlage 1 Influenttemperatuur rwzi Velsen en rwzi Tollenbeek

Bijlage 2 Theoretische achtergrond model STEVAL

### Colofon 38

# Voorwoord

De ontwikkelingen in het gebruik van warmte uit ruw-afvalwater zijn in volle gang. Op dit moment zijn in Nederland tien riothermiesystemen in bedrijf en verwacht wordt dat dit aantal de komende jaren zeker zal verdubbelen. Een te lage temperatuur van het influent is echter nadelig voor de stikstofverwijdering op de RWZI. Op basis van literatuur, praktijkmetingen, modelberekeningen en een rwzi-gevoeligheidsanalyse, zijn in dit onderzoek de gevolgen van warmtewinning uit de riolering op het waterzuiveringsproces verkend.

De thermische energie in afvalwater biedt een potentieel van 59 Peta Joule (PJ). Dit is gelijk aan het gemiddelde warmtegebruik van circa 1,3 miljoen huishoudens. Doel van dit onderzoek was hoe het stedelijk waterbeheer een dergelijk potentieel kan benutten zonder negatieve gevolgen voor het waterzuiveringsproces. Met name de nitrificatie is gevoelig voor een lage temperatuur. Hoe groot die invloed is, is afhankelijk van bijvoorbeeld de diepteligging van het riool, de stroomsnelheid van het afvalwater, de bodemsamenstelling en het materiaal van de riolbuis. Vooral aan het einde van het rioolstelsel (verzamelriool) heeft de omgeving steeds minder invloed op het temperatuurverloop van het afvalwater. In het onderzochte geval konden 2000 woningen worden verwarmd door middel van riothermie. Het gehalte N-totaal in het effluent steeg hierbij minder dan 0,3 mg/l.

Wanneer ook bij volgende projecten de energieopbrengst en de effecten op de influenttemperatuur worden gemonitord zal de kennis van riothermie toenemen. Het ontwikkelde model zal steeds beter effecten kunnen voorspellen waarmee de verdere implementatie van riothermie wordt ondersteund.

Joost Buntsma, directeur STOWA  
Hugo Gastkemper, directeur Stichting RIONED

Maart 2021

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In 2018 hebben TAUW en IF Technology in opdracht van STOWA een analyse uitgevoerd naar het potentieel van thermische energie uit afvalwater. Hieruit blijkt dat dit potentieel 59 Peta Joule (PJ) is. In dit onderzoek is vastgesteld dat dit aandeel gelijk is aan 15% van de warmtevraag van de bebouwde omgeving in 2030. Samen met thermische energie uit drinkwater vormt afvalwater een belangrijk onderdeel voor de energietransitie de komende jaren.

De waterschappen zijn de afgelopen jaren al aan een energietransitie begonnen. Hierbij zetten zij vooral in op energieneutraliteit en opwekking van biogas door de 'energiefabrieken'. Door alle rwzi's om te bouwen naar energiefabrieken, kunnen de waterschappen in theorie uiteindelijk zo'n 100.000 huishoudens van biogas voorzien of 200.000 auto's een jaar lang op biogas laten rijden. Maar in vergelijking met biogas is het aandeel thermische energie uit afvalwater vele malen groter. In 2019 heeft Syntraal in opdracht van STOWA het potentieel van thermische energie uit afvalwater per waterschap in beeld gebracht. Het totaalpotentieel van de waterschappen is gelijk aan 1,3 miljoen huishoudequivalenten.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het winnen van thermische energie uit afvalwater (riothermie) is bezig met een gestage opmars. Sinds 2017 zijn in ons land meerdere installaties in gebruik genomen en inmiddels zijn tien systemen operationeel. Door de verhoging van de gasprijs en de noodzaak om van het gas af te komen, worden alternatieven zoals riothermie economisch steeds interessanter.

Belangrijk voor de waterschappen is daarom of riothermie effect heeft op het zuiveringsproces, een primaire taak van het waterschap. Dit heeft Syntraal in de periode van februari 2017 tot september 2019 in opdracht van STOWA en Stichting RIONED onderzocht aan de hand van literatuur, praktijkmetingen en modellering met data uit bestaande riothermie-installaties en een rwzi-gevoeligheidsanalyse.

De centrale vraag in het onderzoek is: is onbeperkt thermische energie uit het afvalwater te winnen zonder dat dit gevolgen heeft voor het zuiveringsproces van een rwzi?

## 1.3 Auteurs en begeleidingscommissie

In februari 2017 is TAUW aan het onderzoek begonnen en vanaf 2018 heeft Syntraal, dochteronderneming van TAUW, het onderzoek voortgezet. In de begeleidingscommissie hebben deelgenomen Waterschap Vallei en Veluwe, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Gemeente Urk, Waterschap Zuiderzeeland, Gemeente Velsen, Waterschap Vallei en Veluwe en Waterschap Drents Overijsselse Delta. Barry Meddeler en Lieke Noij (beiden Syntraal) hebben dit rapport opgesteld.

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat over de algemene werking van een riothermiesysteem en het effect ervan op de afvalwatertemperatuur. Hier leest u over de kenmerken van warmtewinning uit afvalwater, de huidige riothermiesystemen en de onderdelen.

Hoofdstuk 3 geeft het natuurlijke verloop van de afvalwatertemperatuur in de zomer en de winter weer. Daarnaast leest u hier wat de gevolgen voor de zuivering zijn als de influenttemperatuur daalt.

Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van praktijkmetingen van de afvalwatertemperatuur in het riool. Deze metingen geven meer inzicht in het verloop van de afvalwatertemperatuur na warmteonttrekking door een riothermiesysteem. Daarnaast vormen de metingen de basis voor het rekenmodel (zie hoofdstuk 5).



Hoofdstuk 5 bespreekt de resultaten van modelberekeningen om de (voorlopige) conclusies uit de praktijkmetingen en de theorie te onderbouwen. Hiervoor is een stromingsmodel gebouwd waarmee verschillende casussen zijn doorgerekend.

Hoofdstuk 6 beschrijft een fictieve warmteonttrekking uit het riool om een nieuwbouwwijk van een bestaande rwzi duurzaam te verwarmen. Bij deze gevoeligheidsanalyse gaat het met name om de vraag: hoeveel neemt het stikstofgehalte in het rwzi-effluent toe als de influenttemperatuur daalt door de warmtewinning?

Hoofdstuk 7 geeft een (voorlopige) eindconclusie en vat per deelonderzoek de conclusies samen. Ook komt hier het belang aan de orde van een goede samenwerking tussen gemeenten en waterschappen om het potentieel van thermische energie te benutten.

Hoofdstuk 8 geeft aanbevelingen, onder meer voor vervolgonderzoek, monitoring van riothermiesystemen en verbetering van het rekenmodel.

Hoofdstuk 9 bevat een lijst met definities, begrippen en afkortingen.

Hoofdstuk 10 geeft een overzicht van de geraadpleegde literatuur.

Bijlage 1 gaat in op de influenttemperatuur van de rwzi's Velsen en Tollenbeek vóór en na realisatie van een riothermiesysteem.

Bijlage 2 schetst de theoretische achtergrond van het rekenmodel dat voor de modelberekeningen in hoofdstuk 5 is gebruikt en bevat alle modelresultaten.

## 2 Werking van een riothermiesysteem

Dit hoofdstuk gaat in op hoe een riothermiesysteem in het algemeen werkt, uit welke onderdelen het bestaat en welke typen systemen er zijn, waaronder de riothermiesystemen waarbij de praktijkmetingen voor dit onderzoek hebben plaatsgevonden.

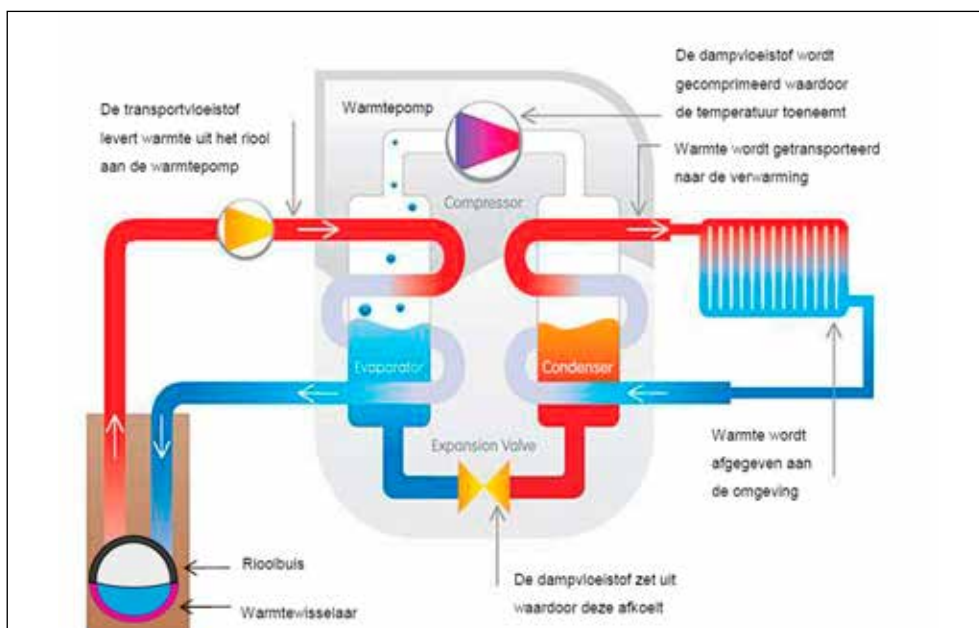
### 2.1 Het systeem

Huishoudens en bedrijven lozen afvalwater in het riool. Dit afvalwater bevat thermische energie. Een riothermiesysteem kan deze thermische energie uit het afvalwater halen. Het riothermiesysteem bestaat uit allerlei installaties die ervoor zorgen dat een object uiteindelijk verwarmd en gekoeld kan worden (Bies, 2016).

#### Warmtewinningsproces

Er bestaan verschillende methoden om warmte uit afvalwater te winnen. Globaal volgen deze methoden hetzelfde proces. Een warmtewisselaar wint thermische energie uit het afvalwater in de vorm van koude of warmte. De hoeveelheid thermische energie die uit afvalwater is te winnen, is onder andere afhankelijk van het volume (debiet) en het aantal graden dat het afvalwater kan worden afgekoeld (verschil in temperatuur, dit wordt ook wel 'delta T' genoemd). Bij warmtewinning wordt het afvalwater koeler, bij koudewinning wordt het warmer.

Door de warmtewisselaar stroomt een transportvloeistof (medium) die de afgegeven warmte van het afvalwater transporteert naar een warmtepomp. De transportleiding loopt vanuit de rioolbuis via de inspectieput richting het oppervlak en gaat vervolgens vlak onder het maaiveld richting de warmtepomp. De warmtepomp staat meestal nabij de eindverbruiker. De warmtepomp brengt de temperatuur van de transportvloeistof op het gewenste gebruikersniveau (Brauw, 2011). Figuur 2.1 geeft dit proces schematisch weer.



Figuur 2.1 Warmtepomp wint thermische energie uit het riool (Bron: TAUW, 2011)

De dampvloeistof in de warmtepomp neemt de temperatuur van de transportvloeistof over (evaporator). Een compressor comprimeert de dampvloeistof waardoor de temperatuur van de dampvloeistof toeneemt. Deze warmte wordt overgedragen aan de transportvloeistof (condensator) die naar de verwarming leidt. De dampvloeistof in de warmtepomp zet uit bij het expansieventiel waardoor de temperatuur afneemt en vervolgens weer in de evaporator uitkomt.

#### Pompen en elektriciteit

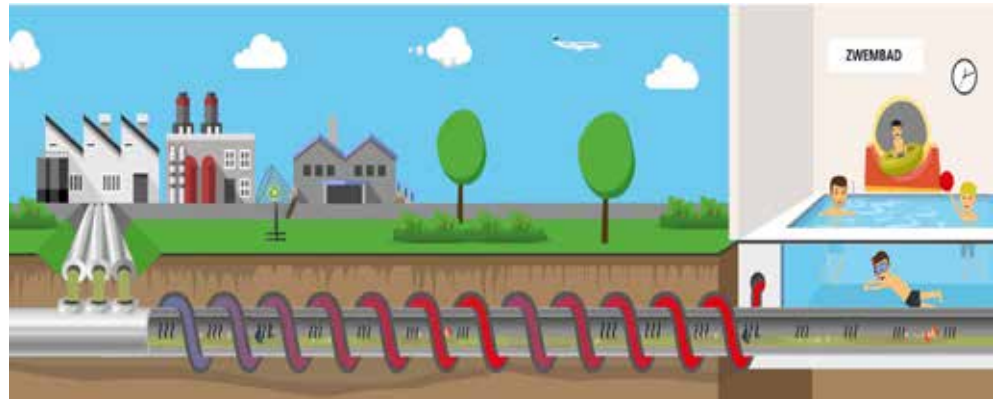
Elk transportsysteem moet de transportvloeistof, meestal water, verpompen. Hiervoor is elektriciteit nodig. Daarnaast werken de compressor en het expansieventiel in de warmtepomp op elektriciteit. De warmtepomp gebruikt in het systeem de grootste hoeveelheid elektriciteit. Hoeveel dit bedraagt, is voornamelijk afhankelijk van de temperatuur vóór de

warmtepomp (afkomstig van de rioolwarmtewisselaar) en de outputtemperatuur van de warmtepomp. Het rendement van een warmtepomp wordt uitgedrukt in COP (coëfficiënt of performance), dit is de verhouding van nuttige warmte (warmte die de gebruiker uiteindelijk kan afnemen) en opgenomen energie.

### Warmtewisselaar

De warmtewisselaar bepaalt hoeveel warmte (of koude) het systeem uit het afvalwater haalt. Figuur 2.2 geeft dit weer als een wikkel om het riool: wanneer de rioolwarmtewisselaar verandert van blauw naar rood, heeft de wisselaar warmte gewonnen. De warmte wordt met behulp van een medium (vloeistof) in de rioolwarmtewisselaar gewonnen door het zogenaamde tegenstroomprincipe. Het tegenstroomprincipe is een methode van overdracht of uitwisseling waarbij twee stromende vloeistoffen elkaar in gescheiden kanalen in tegengestelde richting passeren. Op de markt zijn verschillende typen warmtewisselaar beschikbaar.

**Figuur 2.2** Schematische weergave van de werking van een rioolwarmtewisselaar  
(Bron: Syntraal)



### Combinatie met WKO-systeem

Ook is een combinatie mogelijk van een riothermiesysteem met een warmte- en koudeopslag (WKO). WKO-systemen gebruiken grondwater uit de bodem als energiedrager, afwisselend om te koelen in de zomer of om te verwarmen in de winter.

De warmtewisselaar is een belangrijk onderdeel van het riothermiesysteem (zie paragraaf 2.2).

## 2.2 Rioolwarmtewisselaars

De warmtewisselaar moet zo optimaal mogelijk de warmte uit het afvalwater kunnen opnemen, robuust zijn en minimaal 30 jaar lang zonder problemen kunnen worden gebruikt. Daarnaast mag de wisselaar niet de levensduur van het riool verkorten, zodat het rioolsysteem na het einde van de levensduur van de wisselaar zijn functie behoudt. Gemeenten stellen vaak voorwaarden waaraan een rioolwarmtewisselaar in hun riolering moet voldoen, zoals:

- De hydraulische werking van het rioolstelsel mag niet verminderen.
- Beheerkosten van de riolering mogen niet of slechts minimaal toenemen.
- Robuuste systemen met optimale LCIRCA (levenscyclusanalyse) hebben de voorkeur.

Oorspronkelijk hebben Zwitserse ingenieurs de rioolwarmtewisselaars ontworpen, sinds 2005 leggen Duitse rioolbouwers ook dergelijke systemen aan. Op dit moment zijn meerdere systemen verkrijgbaar. In deze paragraaf vindt u per systeem een korte beschrijving.

### 2.2.1 Rioolwarmtewisselaar vrijvervalriool

Voor een vrijvervalriool zijn er twee typen rioolwarmtewisselaar: een interne rioolwarmtewisselaar en een externe rioolwarmtewisselaar om de rioolbuis.

#### Interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar (bestaand riool)

De interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar (zie figuur 2.3) is in een bestaand riool aan te leggen. De wisselaar bestaat uit schaaldelen die niet groter zijn dan de opening van de riooltoegangspuit. Hierdoor neemt de hydraulische capaciteit van het riool slechts minimaal af (circa 4 - 8%). De afname hangt af van de buisdiameter, bij een kleinere diameter gaat meer hydraulische capaciteit verloren. De aanvoer- en afvoerleiding liggen in de leidingkolom, links en rechts van de warmtewisselaar. De gemeente De Bilt verwarmt met dit systeem een zwembad.



**Figuur 2.3** Interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar die in schaaldelen wordt ingebouwd (Bron: Uhrig.com)

Deze wisselaar is toepasbaar bij een rioolbuis met een diameter vanaf 400 mm.

### Interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab (vervanging of nieuw riool)

Bij aanleg van een nieuw of vervanging van een oud riool is een prefabrioolwarmtewisselaar toepasbaar (zie figuur 2.4). De warmtewisselaar is onder in de buis ingebouwd, de transportleidingen zijn in het beton gegoten.



**Figuur 2.4** Interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab in de gemeente Goes (Bron: warmtepompen.nl)

### Externe vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab

Bij deze variant is de warmtewisselaar aan de buitenkant van de buis bevestigd (zie figuur 2.5). Hierdoor verliest het riool geen hydraulische capaciteit. Een nadeel is dat de wisselaar niet direct contact heeft met het afvalwater, waardoor de warmteoverdracht minder efficiënt is ten opzichte van een interne wisselaar. Daarom wordt deze variant alleen gebruikt als het riool in het grondwater ligt, waardoor de wisselaar warmte uit zowel het afvalwater als de bodem kan halen. De verdeling van de warmtewinning is circa 20% rioolwarmte en 80% bodemwarmte. De effecten op de bodem zijn minimaal omdat maar een klein temperatuurverschil ontstaat. Het systeem in figuur 2.5 is 66 meter lang, de gemeente Velsen verwarmt hiermee een school.



**Figuur 2.5** Externe vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab gemeente Velsen (Bron: Syntraal 2019)

### Relining

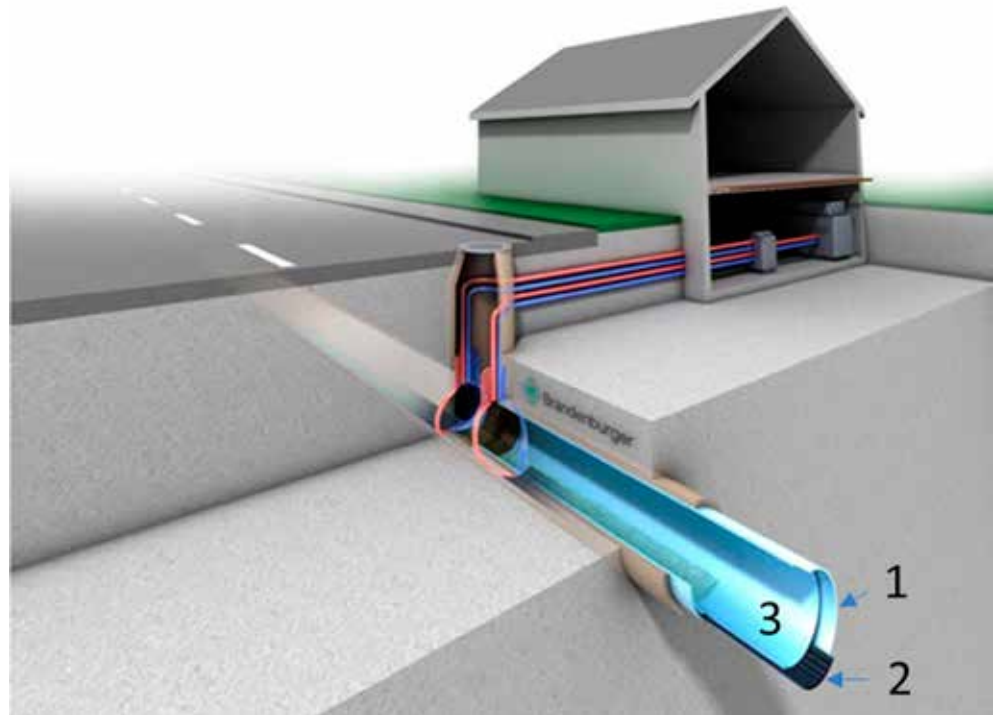
Relining is ook mogelijk. Rioleringsbeheerders passen relining meestal toe als een buis nog niet vervangen hoeft te worden, maar wel schade heeft (Cornelis & Van Esch, 2014). Relining is alleen geschikt voor vrijvervalriolering (zie figuur 2.6).

De reliner bestaat uit drie onderdelen:

- 1 Buitenvoering, voor revalidatie van het riool.
- 2 Rioolwarmtewisselaarmat, in de rioolvoet als absorber voor warmteterugwinning.
- 3 Binnenvoering, voor bevestiging en bescherming van de rioolwarmtewisselaarmat.



**Figuur 2.6** Voorbeeld van een warmtewisselaar in een relining  
(Bron: Brandenburger)



De buitenbekleding wordt met een kabellier in het riool getrokken, met perslucht uitgezet en met uv-licht uitgehard. De buitenste voering rehabiliteert het defecte riool en moet zodanig gedimensioneerd zijn dat het aan de capaciteit kan voldoen. Als het riool niet beschadigd is, is het systeem ook zonder buitenvoering te installeren. In de tweede stap wordt de mat van de rioolwarmtewisselaar in de pijpplaat getrokken. Tot slot wordt de binnenvoering geïnstalleerd. De binnenvoering kan dun zijn, omdat deze geen structurele functie heeft. Net als de buitenbekleding wordt de binnenvoering met een kabellier in het riool getrokken, met perslucht uitgezet en uitgehard met uv-licht.

### 2.2.2 Rioolwarmtewisselaar persleiding

In een persleiding (of drukriool) wordt afvalwater verpompt vanuit een rioolgemaal. De persleiding staat vol met afvalwater, waardoor het warmteoverdrachtsoppervlak groter is dan bij een vrijvervalleiding. Nadeel is dat de pomp van een rioolgemaal alleen aanslaat bij een bepaald waterniveau in de opvangkelder van het gemaal. Daardoor is er geen continue aanvoer en staat het afvalwater een tijdlang stil in de persleiding. Een rioolwarmtewisselaar is zowel bij vervanging als in een bestaande persleiding aan te leggen. Bij een bestaande leiding heeft een bypass vaak de voorkeur om de werking niet te hinderen.

#### Externe persrioolwarmtewisselaar bypass

Een andere mogelijkheid om warmte uit een persriool te onttrekken, is door de buis te vervangen door een dubbelwandige rvs-buis die de warmte direct overdraagt (zie figuur 2.7). Een dergelijk systeem is meteen bij vervanging aan te leggen of als bypass bij een bestaand riool. Urk heeft zo'n systeem, waarbij een dubbelwandige buis met een diameter van 250 mm en een lengte van 125 meter een binnenzwembad volledig verwarmt.

**Figuur 2.7**  
Persleidingrioolwarmtewisselaar  
extern prefab, waarbij een  
dubbelwandige buis zorgt voor de  
warmteoverdracht  
(Bron: Syntraal)





## 2.2.3 Overzicht

Tabel 2.1 zet de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende warmtewisselaars op een rij.

Eigenschap	Vrijerval, intern wisselaar bestaand systeem (Uhrig thermliner)	Vrijerval interne wisselaar prefab (Rabtherm)	Vrijerval externe wisselaar prefab (Frank)	Persriool (bypass) externe wisselaar prefab (Doorgeest Energietechniek)
Opbrengst per meter (diameter 400 mm)	1 - 1,5 kW/meter	1 - 1,5 kW/meter	0,5 kW/meter	1 - 1,5 kW/meter
Kosten per meter (in euro's)	1.200 - 1.400	1.200 - 1.400	800 - 1.000	500 - 1.200
Invloed op hydraulische werking riool	Beperkt	Beperkt	Niet	Niet
Invloed op beheerkosten riool	Beperkt	Beperkt	Beperkt	Beperkt
Robuustheid (minimale levensduur werking wisselaar)	30 jaar	50 jaar	50 jaar	30 jaar

Tabel 2.1 Overzichtstabel voor- en nadelen rioolwarmtewisselaars

## 2.3 Efficiëntie van een rioolwarmtewisselaar

De factoren die invloed hebben op de efficiëntie van een rioolwarmtewisselaar en tijdens de levensduur van een riothermiesysteem ontstaan, zijn:

- Veroudering van de rioolwarmtewisselaar.
- Biofilmvorming.
- Sedimentatie.

Deze paragraaf gaat kort in op biofilmvorming en sedimentatie.

### 2.3.1 Biofilmvorming

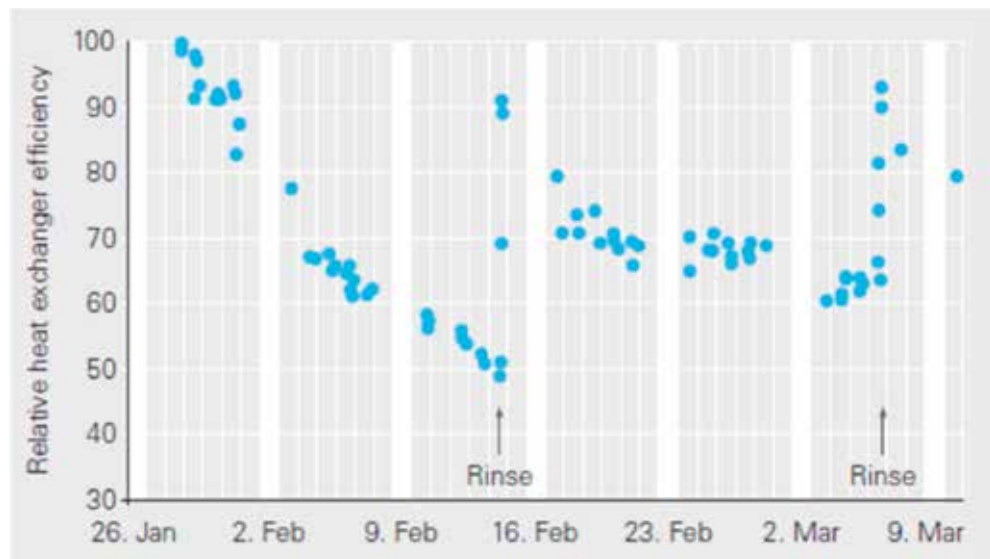
Door het vuil in het afvalwater kan een biologische aanslag op de interne rioolwarmtewisselaar ontstaan. Deze 'biofilm' heeft een isolerend effect waardoor de uitwisseling van thermische energie tussen afvalwater en rioolwarmtewisselaar vermindert. Onderzoek door het Zwitserse aquatisch onderzoeksinstituut Eawag wijst uit dat biofilmvorming en het effect hiervan op de rioolwarmtewisselaar afnemen als de stroomsnelheid van het afvalwater regelmatig boven 1 m/s ligt. Dan verwijdert het afvalwater de meeste biofilm, waardoor het rendementsverlies beperkt blijft tot ongeveer 20% (Wanner, 2006).

Het Zwitserse onderzoek heeft de volgende resultaten opgeleverd:

- Na een paar uur start al bacteriegroei op de warmtewisselaar, na een paar dagen is er een biofilm die honderden  $\mu\text{m}$  dik kan zijn. Na 18 dagen is de efficiëntie van de warmtewisselaar gereduceerd tot 50%.
- Door gedurende 20 minuten de snelheid van het water op te voeren van 0,4 naar 1 m/s, spoelt een deel van de biofilm weg en neemt de efficiëntie van de warmtewisselaar toe.
- Wanneer de snelheid constant 1 m/s is, komt de efficiëntie niet onder de 80% (gedurende 2 maanden getest).
- De verschillende ruwheidskarakteristieken van het oppervlak hebben geen invloed op de biofilmvorming. Alleen bij een tefloncoating ontstaat minder snel een biofilm laag.
- De beste resultaten worden behaald met een hoge snelheid en met tefloncoating. Teflon is alleen niet bestand tegen zand en grind in afvalwater.

De invloed van biofilmvorming op de warmteoverdracht door een rioolwarmtewisselaar is gemeten in een testopstelling van Eawag (zie figuur 2.8). Na drie weken blijkt de warmteoverdrachtscapaciteit gehalveerd te zijn. Door de stroomsnelheid te verhogen naar 1 m/s, neemt het rendement toe tot ongeveer 80 - 90%. Het verhogen van de stroomsnelheid tot 1 m/s is overigens niet bij elk riothermiesysteem mogelijk.

**Figuur 2.8** Invloed biofilmvorming op warmteoverdracht rioolwarmtewisselaar. In de figuur is de efficiëntie van de warmtewisselaar te zien (in de y-as, 0 tot 100%) in de loop van de tijd. Bij het spoelen (Rinse) wordt de buis schoongespoeld, daarbij neemt de efficiëntie toe tot 80-90% (Wanner, 2006).



De fabrikant Rabtherm gebruikt in zijn rioolwarmtewisselaars koperen strips. Doordat de ionen van het koper uitloggen, kan geen biofilmlaag ontstaan. Een biofilmlaag bestaat namelijk uit algen en koper is giftig voor algen.

### 2.3.2 Sedimentatie

Bij rioolwarmtewisselaars is sedimentatie: de ongewenste afzetting van materiaal op het warmtewisselende oppervlak. Tijdens het gebruik van een rioolwarmtewisselaar wordt het warmtewisselende oppervlak vies. Hierdoor nemen warmteoverdracht en ladingsvermogen af, waardoor een grotere pompcapaciteit nodig is. De afzetting is namelijk een bijkomende weerstand voor de warmteoverdracht en leidt tot vernauwing van de riolering en extra wrijving. Wanneer een rioolwarmtewisselaar te vies is geworden, is reiniging noodzakelijk. Hiervoor moet het onderdeel soms uit bedrijf worden genomen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Sedimentatie heeft belangrijke gevolgen voor het ontwerp van de rioolwarmtewisselaar. Het warmtewisselende oppervlak moet circa 50% groter zijn dan zonder sedimentatie. Vervuiling heeft ook een aanzienlijk economisch verlies tot gevolg, vanwege de directe invloed op initiële kosten, de onderhouds- en bedrijfskosten en de prestatie van de rioolwarmtewisselaar.

# 3 Invloed van de afvalwatertemperatuur op het zuiveringsproces

In Nederland wordt afvalwater hoofdzakelijk gezuiverd door een combinatie van bacteriologische en chemisch-fysische processen. Bacteriologische processen hebben enkele belangrijke voorwaarden om goed te kunnen werken, één daarvan betreft de afvalwatertemperatuur. In verschillende studies is al onderzocht wat er gebeurt als de temperatuur van het rwzi-influent daalt. Dit hoofdstuk beschrijft de uitkomsten van deze studies. Daarnaast krijgt u hier antwoord op de vraag of de rwzi bij een lagere influenttemperatuur meer energie verbruikt voor het zuiveringsproces. Met andere woorden, is er een directe relatie tussen de afvalwatertemperatuur en de energie die nodig is voor het zuiveringsproces? Hierover is nog geen literatuur beschikbaar. Daarom hebben we praktijkdata opgevraagd van rwzi-beheerders die zowel het energieverbruik als de influenttemperatuur op de zuivering meten.

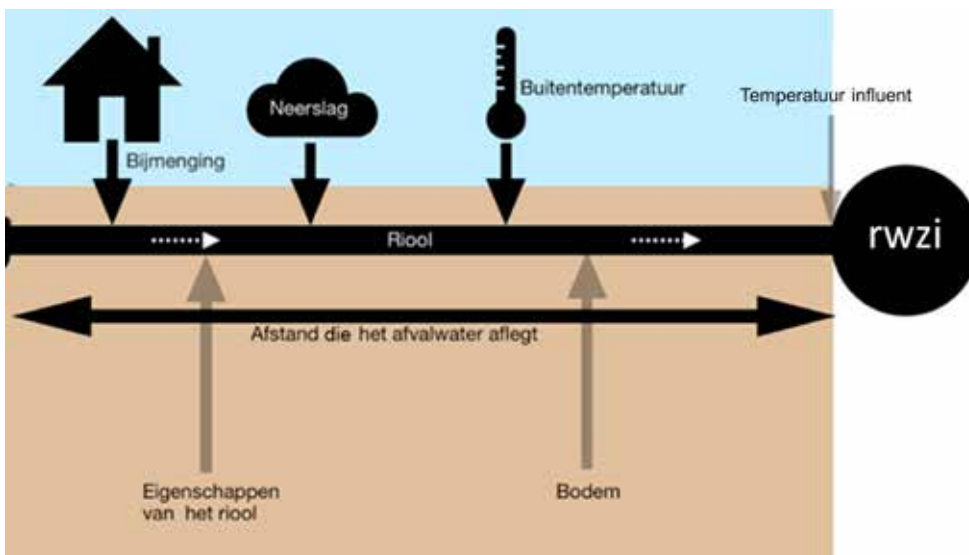
## 3.1 Temperatuurverloop in het rioolstelsel

Voor de invloed van de afvalwatertemperatuur op het zuiveringsproces is het temperatuurverloop in het riool van belang. Bij welke temperatuur komt het afvalwater aan bij de zuivering en welke factoren hebben invloed op deze temperatuur?

In STOWA-onderzoek uit 2006 (Tessel & Pijl, 2006) zijn 48 rwzi's beschouwd. Uit temperatuurgegevens van influent, gemalen en rioolstelsels is een gemiddeld temperatuurverloop in het rioolstelsel bepaald. Er zijn drie omgevingsfactoren waardoor de afvalwatertemperatuur kan veranderen:

1. De buitentemperatuur.
2. Neerslag in de vorm van regen, hagel of sneeuw.
3. Warmtegeleiding van bodemmaterialen.

In figuur 3.1 ziet u deze omgevingsfactoren met de andere factoren die invloed hebben op de afvalwatertemperatuur.

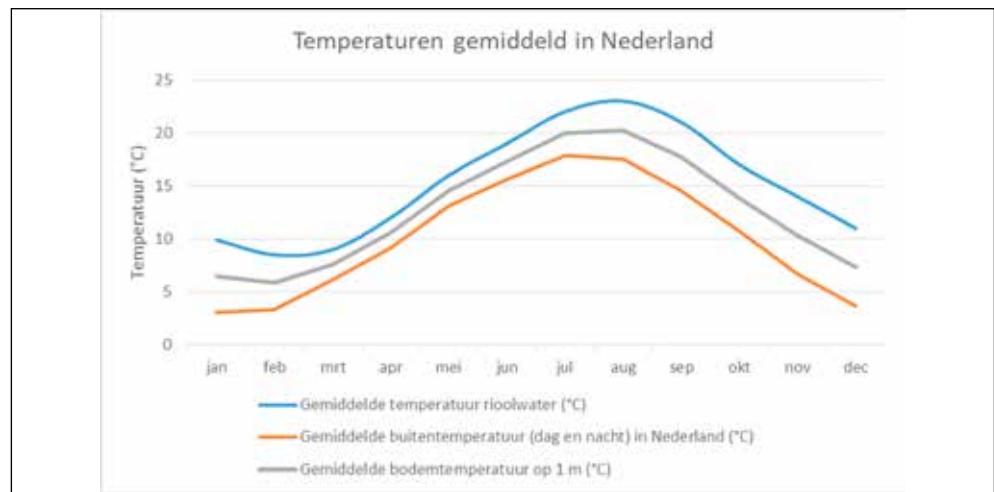


Figuur 3.1 Factoren die invloed kunnen uitoefenen op de afvalwatertemperatuur (Bron: Syntraal)

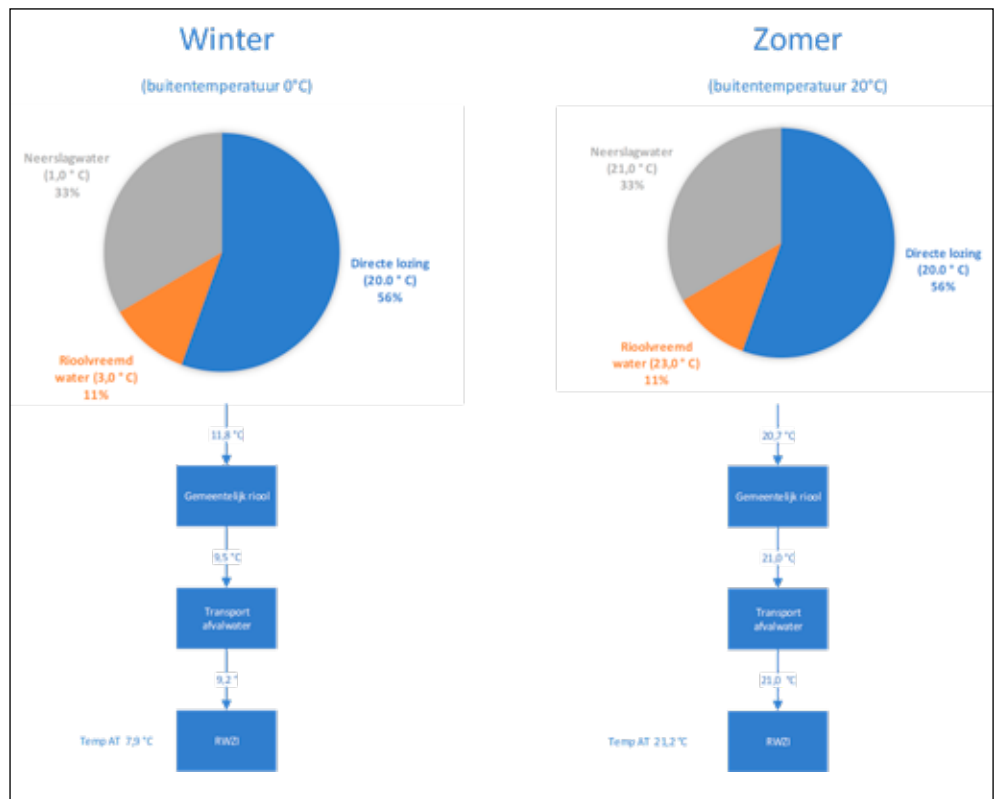
In figuren 3.2 en 3.3 ziet u het gemiddelde temperatuurverloop in het rioolstelsel in de zomer en de winter. Opvallend is dat de temperatuur in het laatste deel van het riool (het deel dat het afvalwater naar de rwzi transporteert en dat het waterschap beheert) bijna niet meer verandert.

Belangrijk gegeven is dat het afvalwater in het laatste deel van het riool (nabij de rwzi) niet veel invloed ondervindt van de omgeving. De buitenluchttemperatuur in de winter is circa 0 graden Celsius, de bodemtemperatuur is circa 4 tot 8 graden Celsius (afhankelijk van hoe diep de leiding ligt). Dit laatste deel van het riool is ook het deel waarbij het meeste afvalwater zich verzamelt en dus ook de meeste thermische energie is te winnen.

**Figuur 3.2** Gemiddelde temperatuur van buitenlucht, bodem (1,5 m diep) en afvalwater over het jaar (Bron: Syntraal)



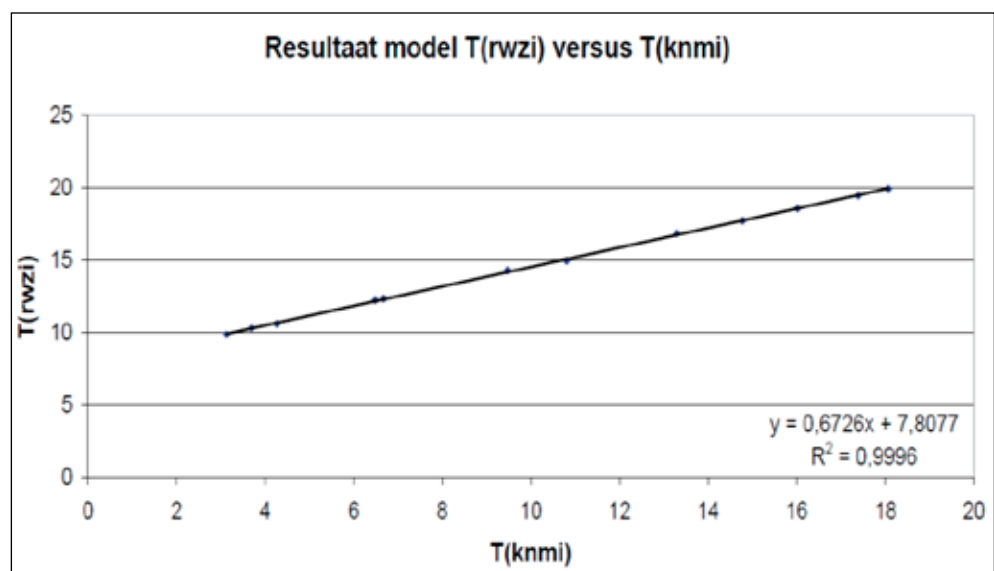
**Figuur 3.3** Temperatuurverloop van het afvalwater in het rioolstelsel in de winter en de zomer (Tessel & Pijl, 2006)



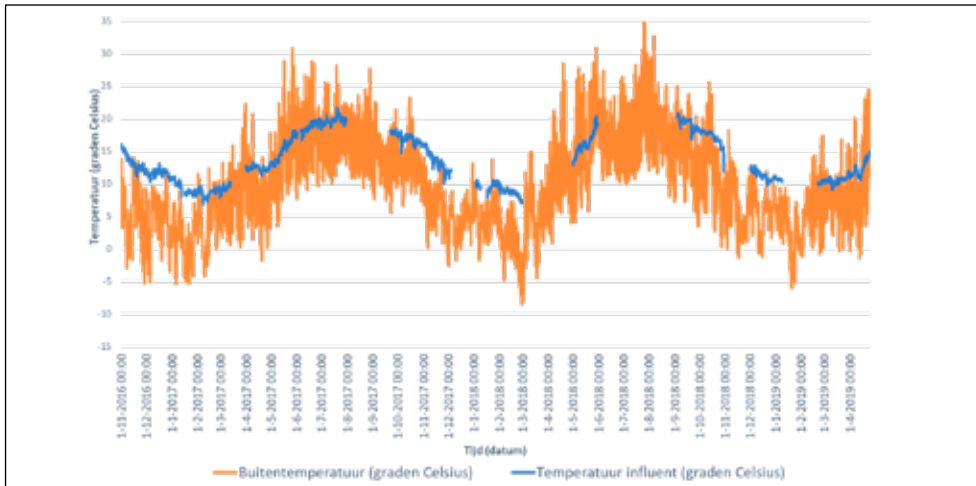
**Relatie buitentemperatuur en influenttemperatuur**

Vanuit deze studie is een directe lineaire relatie afgeleid tussen de buitentemperatuur en de influenttemperatuur bij de rwzi (zie figuur 3.4).

**Figuur 3.4** Lineaire relatie tussen de gemiddelde buitenluchttemperatuur (Tknmi) en de influenttemperatuur op de rwzi (Tessel & Pijl, 2006)



De relatie tussen buitentemperatuur en influenttemperatuur is ook direct gemeten bij de rwzi in Tollenbeek (Waterschap Zuiderzeeland). In figuur 3.5 ziet u de gemiddelde buitentemperatuur en de influenttemperatuur vanaf november 2016 tot maart 2019.



**Figuur 3.5**  
Temperatuurverloop  
(november 2016 – maart 2019)  
van het influent (blauw) en de  
gemiddelde  
buitentemperatuur (oranje)  
van de rwzi in Tollebeek  
(Bron: Syntraal)

De influenttemperatuur van Tollebeek is de afgelopen twee jaar niet onder de 9 graden Celsius gekomen.

### 3.2 Relatie influenttemperatuur en zuiveringsproces

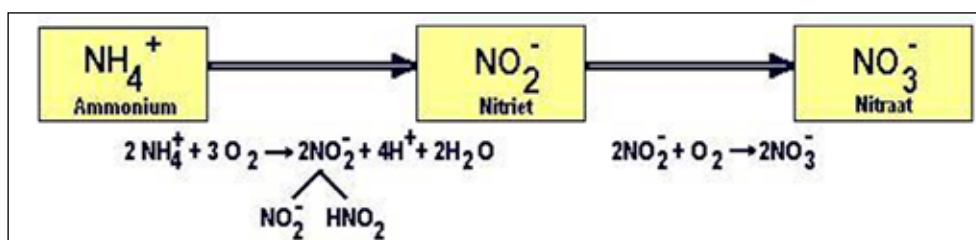
In het STOWA-onderzoek uit 2006 (Tessel & Pijl, 2006) is ook de invloed van de temperatuur van het actieve slib op het zuiveringsproces onderzocht. Het actieve slib is de naam voor de miljarden bacteriën in de rwzi-beluchtingstank die het overgebleven afval opeten. Uit het STOWA-onderzoek uit 2006 blijkt dat de temperatuur van het actieve slib een belangrijke rol speelt bij de afvalwaterzuivering.

Met name de stikstofverwijdering is sterk afhankelijk van de temperatuur van het actieve slib. Weliswaar kan een rwzi een matige stikstofverwijdering in de winter in de zomer compenseren, maar de wintersituatie blijft in hoge mate bepalend voor het ontwerp van een actiefslibproces. Hoe hoger de temperatuur blijft, hoe minder investeringen nodig zijn in een actiefslibproces.

Bij het ontwerp van rwzi's in Nederland wordt voor het actieve slib vaak een minimumtemperatuur van 8 graden Celsius aangehouden. Naarmate bij een ontwerp een steeds lagere minimumtemperatuur wordt aangehouden, stijgen de investeringskosten voor de rwzi onevenredig.

#### Afvalwatertemperatuur en nitrificatieproces

Naast de minimumtemperatuur van het actieve slib speelt bij het ontwerp van rwzi's het temperatuurverloop gedurende het jaar een rol. Daling van de afvalwatertemperatuur in de keten kan invloed hebben op de uiteindelijke afvalwatertemperatuur bij de rwzi. De afvalwatertemperatuur is een belangrijke parameter voor het nitrificatieproces. Het nitrificatieproces bestaat uit het omzetten van ammonium naar nitriet en vervolgens het omzetten van nitriet naar nitraat. Voor beide omzettingen is zuurstof nodig. In figuur 3.6 staan de vergelijkingen van het nitrificatieproces.

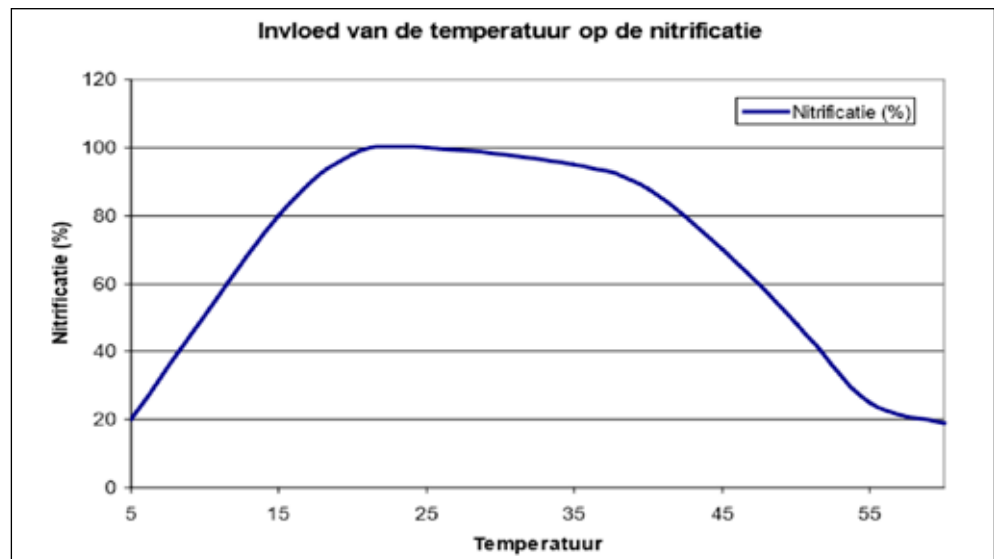


**Figuur 3.6** Nitrificatieproces:  
de omzetting van ammonium  
naar nitriet en vervolgens van  
nitriet naar nitraat (Aqua info,  
2019)

In figuur 3.7 ziet u dat het nitrificatieproces bij een afvalwatertemperatuur van 5 graden Celsius nog voor 20% functioneert. Dat betekent dat de afvalwaterzuivering vijf keer zoveel tijd in beslag neemt in vergelijking met een optimaal nitrificatieproces.



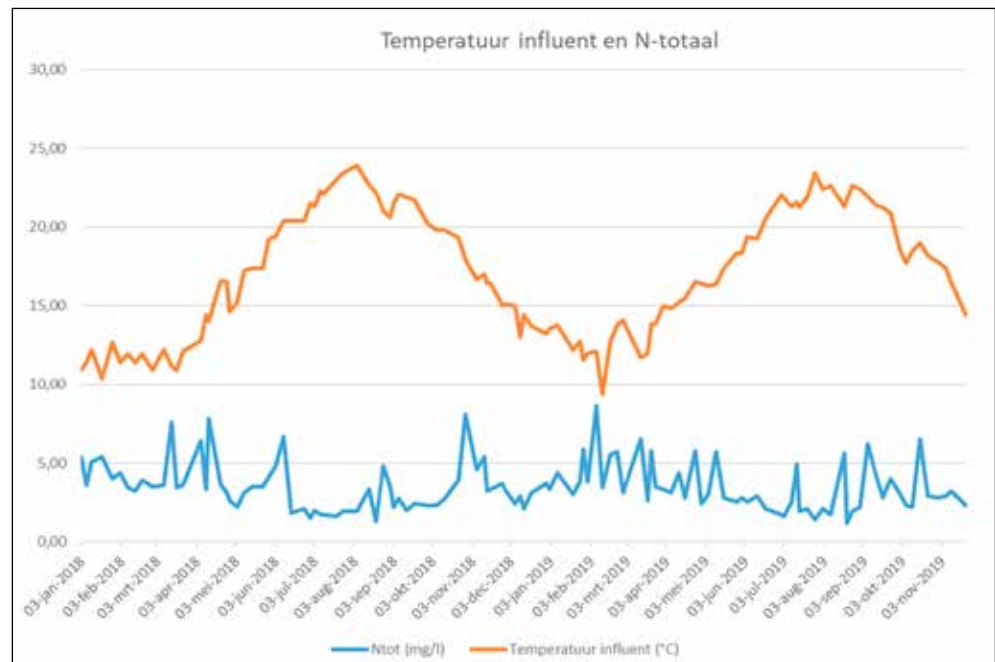
Figuur 3.7 Effect van afvalwatertemperatuur (in graden Celsius) op het nitrificatieproces van de rwzi (TAUW, 2018)



### Afvalwatertemperatuur en gehalte N-totaal

Het effect van de influenttemperatuur is ook meetbaar bij het bepalen van het gehalte N-totaal (mg/l). Figuur 3.8 geeft de afvalwatertemperatuur en de gemiddelde stikstofconcentratie in het effluent van rwzi Oijen over een jaar weer. De stikstofconcentratie wordt uitgedrukt in N-totaal, waarin alle stikstofverbindingen gemeten worden. De verwijdering van stikstof (N) uit het afvalwater is een temperatuurgevoelig proces. In de winterperiode (oktober tot maart) wordt de waarde van 10 mg/l gehanteerd, bij overschrijding kan de zuivering deze in de zomerperiode compenseren.

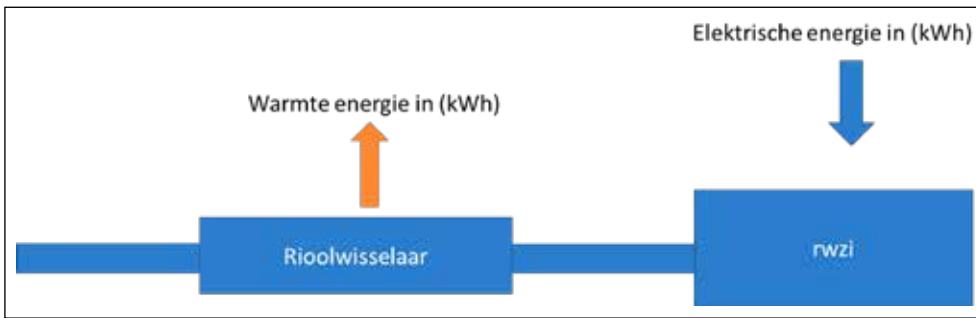
Figuur 3.8 Het verloop van N-totaal en de influenttemperatuur in een jaar van rwzi Oijen (Bron: waterschap Aa en Maas 2019)



Kortom, het nitrificatieproces is temperatuurafhankelijk. Een rwzi in Nederland heeft een minimale ontwerp temperatuur van 8 graden Celsius (wintertemperatuur). Het ontwerp is gebaseerd op een jaargemiddelde N-totaal van 10 mg/l. Overschrijdingen in de wintermaanden worden gecompenseerd in de zomermaanden. We gaan hier uit van gemiddelden, sommige rwzi's presteren beter op het gebied van stikstofverwijdering dan andere.

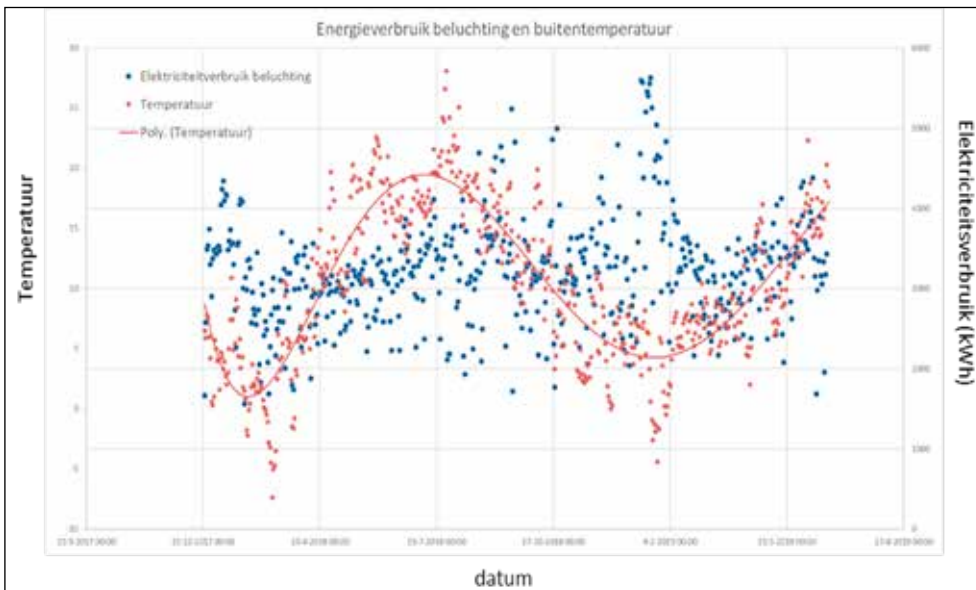
### 3.3 Relatie influenttemperatuur en energieverbruik zuiveringsproces

De relatie tussen de influenttemperatuur en het energieverbruik op de zuivering is van belang om de netto-energie winning te bepalen. Als thermische energiewinning in het rioolstelsel zorgt voor extra energieverbruik op de zuivering, is het belangrijk om de verhouding te weten. Het nettorendement van energiewinning in het riool moet altijd positief zijn, anders verplaatst energiewinning uit het riool de energievraag alleen maar.



Figuur 3.9 Warmtewinning uit het riool moet altijd meer energie (kWh) opleveren dan het extra energieverbruik (kWh) op de zuivering

Om de relatie tussen influenttemperatuur en energieverbruik te bepalen, hebben we meetdata gebruikt van de rwzi Tollebeek. In figuur 3.10 ziet u de gemiddelde buitentemperatuur ten opzichte van het elektriciteitsverbruik van de beluchting. De beluchting is de belangrijkste maatgever voor het energieverbruik op de zuivering. Andere processen zijn afhankelijk van volumestromen en dus niet temperatuurgerelateerd.



Figuur 3.10 Energieverbruik beluchting (blauw) in relatie tot de buitentemperatuur (rood, inclusief trendlijn) rwzi Tollenbeek (Bron: Waterschap Zuiderzeeland)

Aan de hand van figuur 3.10 hebben we de correlatie bepaald voor de buitentemperatuur en het energieverbruik van de beluchting. De correlatie is -0,02 (volledige correlatie -1 of 1, geen correlatie is 0), dit betekent dat er geen relatie is tussen de gemiddelde buitentemperatuur en daarmee de afvalwatertemperatuur ten opzichte van het elektriciteitsverbruik. Dit houdt in dat een daling van de influenttemperatuur niet leidt tot extra energieverbruik op rwzi Tollenbeek.

### 3.4 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn enkele belangrijke eigenschappen van het afvalwater in de afvalwaterketen naar voren gekomen. Samengevat zijn de belangrijkste conclusies:

- De influenttemperatuur heeft een directe relatie met de gemiddelde bodemtemperatuur, die weer gerelateerd is aan de gemiddelde buitentemperatuur.
- In het laatste deel van het rioolstelsel – het deel dat het verzamelde afvalwater transporteert naar de zuivering en dat het waterschap beheert – is het temperatuurverloop minimaal. Met andere woorden, hier heeft de omgeving nauwelijks invloed op de afvalwatertemperatuur.
- De influenttemperatuur heeft invloed op het nitrificatieproces van de zuivering en daarmee op de stikstofverwijdering (het gehalte N-totaal).
- De influenttemperatuur heeft geen directe relatie met het energieverbruik op de zuivering.

## 4 De praktijkmetingen

Dit hoofdstuk gaat in op de praktijkmetingen bij de riothermiesystemen van het Vellesan College in Velsen, zwembad 't Bun in Urk en zwembad Veldkamp in Wezep. Met deze metingen hebben we geprobeerd inzicht te krijgen in het verloop van de afvalwatertemperatuur door warmtewinning. U vindt hier een beschrijving van de drie riothermiesystemen, de meetopzet per systeem en de bijbehorende meetresultaten.

### 4.1 Beschrijving van de drie onderzochte riothermiesystemen

Op dit moment zijn in Nederland tien riothermiesystemen in bedrijf. Sommige halen warmte uit het influent, andere uit het effluent. De systemen die thermische energie uit effluent halen, zijn al meerdere jaren in gebruik, zoals het systeem van het kantoor van Waterschap Vallei en Veluwe in Apeldoorn. De systemen op influent zijn pas de laatste twee jaar in bedrijf genomen. De twee die hiervan het langst operationeel zijn, zijn de systemen van zwembad 't Bun in Urk en het Vellesan College in Velsen.

**Figuur 4.1**  
Riothermiesystemen in  
Nederland (Bron: Syntraal)



In een deel van de tien riothermiesystemen in ons land zitten meters om temperatuur en debiet te monitoren. Voor dit onderzoek hebben we drie systemen meegenomen die warmte winnen uit influent:

- Riothermiesysteem van het Vellesan College in de gemeente Velsen (zie paragraaf 4.1.1).
- Riothermiesysteem voor zwembad 't Bun op Urk (zie paragraaf 4.1.2).
- Restwarmte CēlaVīta voor zwembad Veldkamp in Wezep (zie paragraaf 4.1.3).

#### 4.1.1 Riothermiesysteem van het Vellesan College, Velsen

Het Vellesan College ligt in de gemeente Velsen, Noord-Holland. In figuur 4.2 ziet u de locaties van het Vellesan College, de rwzi Velsen en het KNMI-station Wijk aan Zee. Sinds eind 2017 verkoelt en verwarmt het riothermiesysteem het Vellesan College. Daarmee is het de eerste school in Nederland met een dergelijk systeem.

Het riothermiesysteem verwarmt de nieuwbouwvleugel van de middelbare school gasloos. Deze vleugel heeft een brutovloeroppervlak (bvo) van 1.500 m<sup>2</sup>. Voor de verwarming haalt het systeem warmte uit het afvalwater van een nabijgelegen vrijvervalriool. Het systeem kan ook koude winnen uit het riool, waardoor de klaslokalen in een warme zomerperiode een aangenaam binnenklimaat krijgen. Dit sluit aan bij de wens van het Vellesan College om de klimaatomstandigheden in de klassen te verbeteren. Daarnaast verbruikt de school zo minder energie en neemt zij verantwoordelijkheid voor het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In figuur 4.3 ziet u een illustratie van het riothermiesysteem van het Vellesan College. De school bestaat uit een ouder gebouw (het bruine gebouw) en nieuwbouw (rechts in de illustratie).



Figuur 4.2 Locatie van riothermiesysteem, rwzi en KNMI-station op de kaart (Bron: Syntraal)



Figuur 4.3 Illustratie van het riothermiesysteem van het Vellesan College in IJmuiden, gemeente Velsen (Bron: Syntraal)

### Warmtewisselaar

De rioolwarmtewisselaar in dit systeem komt van de Duitse fabrikant Frank GmbH. Dit is een buis van polyetheen (PE), waarbij de rioolwarmtewisselaar als een spiraal om de rioolbuis is gewikkeld. Hiervoor is gekozen omdat het riool volledig in het grondwater diep onder het maaiveld. De rioolwarmtewisselaar heeft een diameter van 1.100 mm en is 66 meter lang (elf delen van 6 meter).

### Rendement

De warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 80 kW, de rioolwarmtewisselaar heeft een vermogen van 65 kW. Deze vermogens komen overeen met het vermogen van een traditionele gasketel die het nieuwbouwdeel van de school kan verwarmen. De school bespaart hiermee per jaar ongeveer 13.000 m<sup>3</sup> gas. Dit is vergelijkbaar met het rendement van 220 zonnepanelen of het gasverbruik van bijna negen huishoudens. De school vermijdt jaarlijks 23 ton CO<sub>2</sub>-uitstoot. In tabel 4.1 ziet u de resultaten van het riothermiesysteem over 2018.

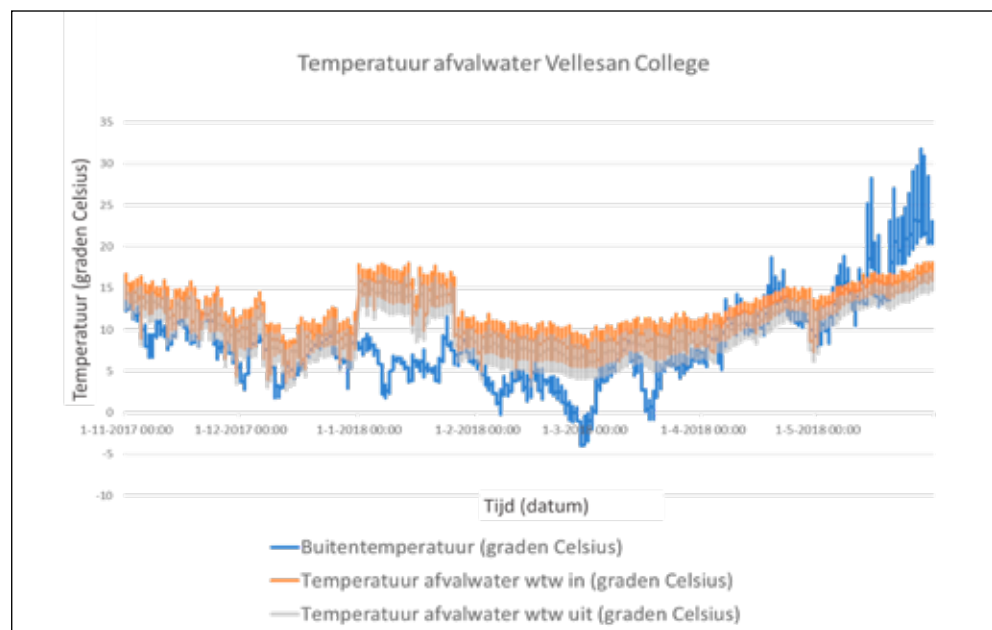
**Tabel 4.1 Resultaten riothermiesysteem Vellesan College over het gehele jaar 2018**

Resultaten	Waarde
Geleverde energie door warmtepomp	125.515 kWh
SPF (Seasonal Performance Factor = Coefficient of Performance (COP) over bepaalde periode)	3,9 (74% van de geleverde energie is afkomstig uit riool)
Vermeden gasverbruik	14.277 m <sup>3</sup>
Vermeden CO <sub>2</sub> -uitstoot (gebaseerd op vermeden gasverbruik, gecorrigeerd voor elektraverbruik)	25.484 kg grijze stroom, 8.903 kg groene stroom
Geleverde energie bron in koelen	2.723 kWh
Maximaal koelvermogen	3,0 kW

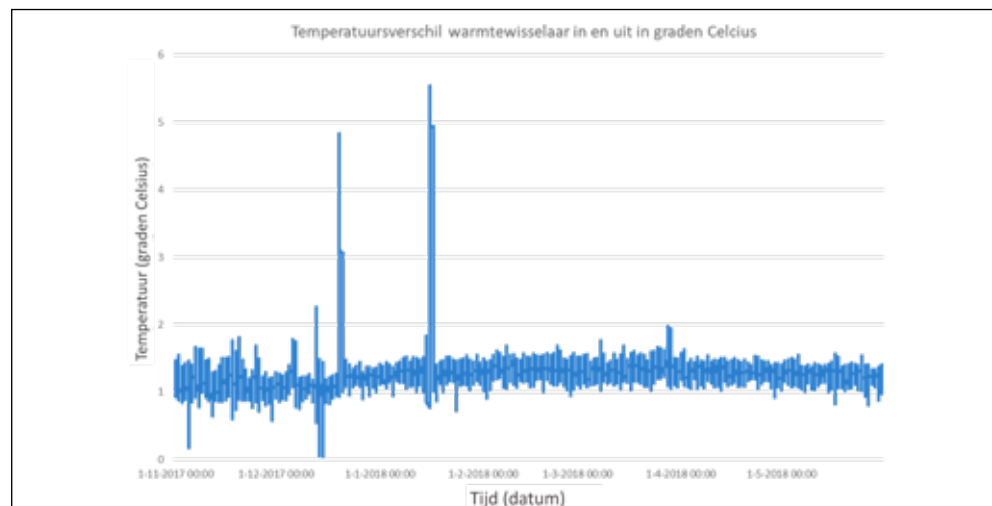
In figuur 4.4 ziet u het verloop van de temperatuur van het afvalwater dat in de rioolwarmtewisselaar gaat, de temperatuur van het afvalwater dat uit de rioolwarmtewisselaar komt en de buitentemperatuur (gemeten bij het Vellesan College). Deze data hebben een meetfrequentie van één minuut. Deze gegevens geven inzicht in hoeveel de afvalwatertemperatuur maximaal daalt door riothermie. In januari steeg en daalde de temperatuur van het in- en uitkomende afvalwater, hiervoor hebben we geen verklaring gevonden.

Figuur 4.5 geeft de winning van thermische energie uit het afvalwater weer. Dit is het verschil tussen de temperatuur van het afvalwater als het in de rioolwarmtewisselaar gaat en er weer uit komt (delta T). Het afvalwater volgt niet de dynamiek van de buitentemperatuur, de buitentemperatuur verandert snel over een korte periode (één dag). In januari geeft de figuur enkele onverklaarbare waarden van de delta T, voornamelijk de hoge waarden.

**Figuur 4.4 Temperatuur afvalwater rioolwarmtewisselaar in (oranje) en uit (grijs) en de buitentemperatuur (blauw) van het riothermiesysteem Vellesan College 1-11-2017 t/m 31-05-2018 (Bron: Syntraal)**



**Figuur 4.5 Verskil in temperatuur afvalwater rioolwarmtewisselaar in en uit (delta T) riothermiesysteem Vellesan College (Bron: Syntraal)**





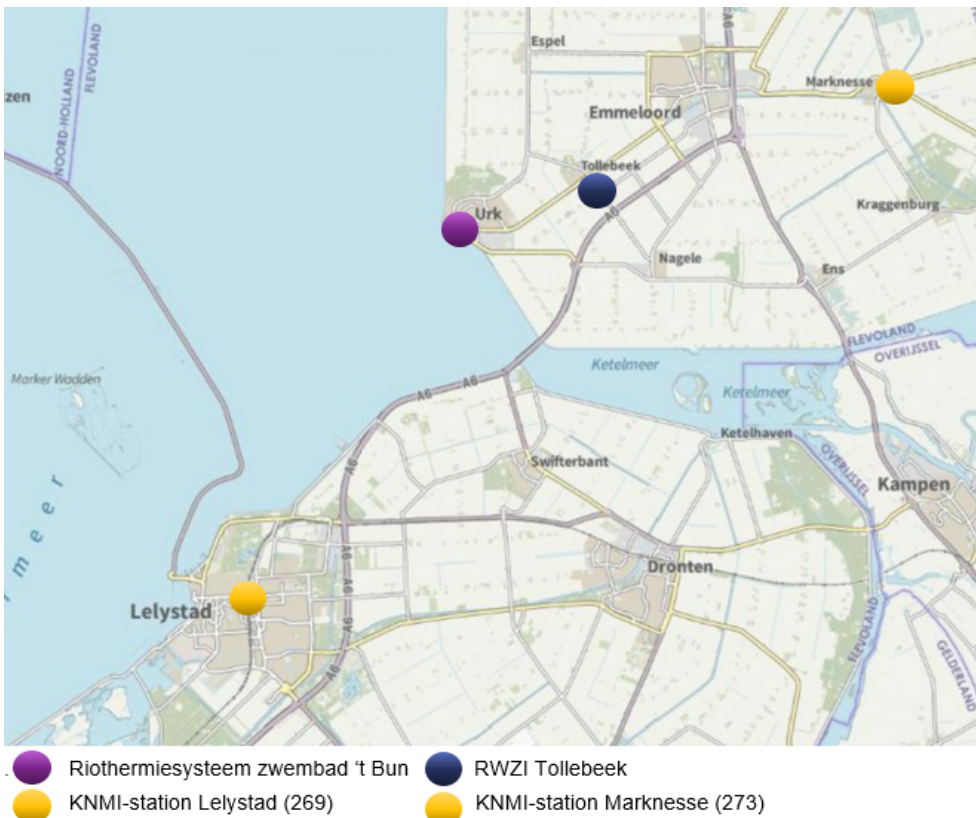
In tabel 4.2 ziet u de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van de buitenlucht, het in de warmtewisselaar komende afvalwater, het uit de warmtewisselaar gaande afvalwater en de delta T van het riothermiesysteem van 1 november 2017 tot en met 31 mei 2018. (Hierbij hebben we januari 2018 niet meegenomen vanwege de onverklaarbare afwijkingen.) De verwachting was dat bij een maximale buitentemperatuur ook de temperatuur van het in de wisselaar komende afvalwater maximaal is. Dit is niet het geval. Hetzelfde geldt voor de minimale waarden. Daarnaast is de gemiddelde delta T van het riothermiesysteem van het Vellesan College 1,28 graden Celsius. Dit betekent dat de afvalwatertemperatuur in deze periode gemiddeld met 1,28 graden Celsius is gedaald door riothermie.

Temperatuur	Buiten-temperatuur (graden Celsius)	Afvalwater wtw in (graden Celsius)	Afvalwater wtw uit (graden Celsius)	Delta T (graden Celsius)
Maximaal	31,79 (eind mei 2018)	18,11 (eind mei 2018)	16,84 (begin januari 2018)	4,44 (eind december 2017)
Minimaal	-3,94 (begin maart 2018)	3,71 (midden december 2017)	2,72 (midden december 2017)	0 (geen verwarming)
Gemiddeld	8,48	11,40	10,13	1,28

Tabel 4.2 Buitentemperatuur, temperatuur afvalwater wtw in, temperatuur afvalwater wtw uit en delta T riothermiesysteem Vellesan College van 01-11-2017 t/m 31-05-2018 (zonder januari 2018)

#### 4.1.2 Riothermiesysteem van zwembad 't Bun, Urk

Zwembad 't Bun ligt in de gemeente Urk, Flevoland. In figuur 4.6 ziet u de locaties van zwembad 't Bun, de rwzi Tollebeek en de KNMI-stations Lelystad en Marknesse. Zwembad 't Bun is in 2016 vernieuwd. Door de uitgebreide verbouwing en nieuwbouw zijn een nieuw wedstrijdbad, een gerenoveerd doelgroepenbad met glijbaan (50 meter) en extra kleedruimte ontstaan. Ook is meteen een riothermiesysteem aangelegd om het zwembad duurzaam (gasloos) te verwarmen.



Figuur 4.6 Locatie van riothermiesysteem, rwzi Tollebeek en KNMI-stations (Lelystad en Marknesse) (Bron: Syntraal)

#### Warmtewisselaar

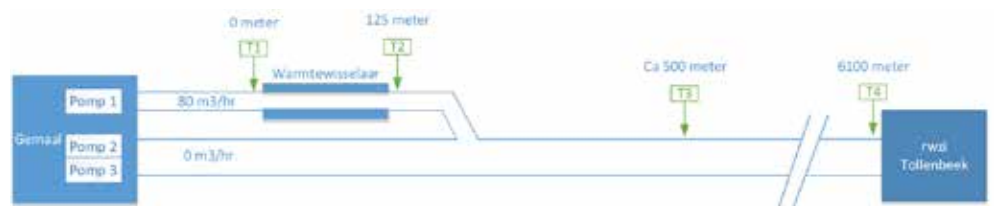
Het riothermiesysteem verwarmt het zwembad door warmte te winnen uit het afvalwater van een nabijgelegen persleiding (zie figuur 4.8). De rioolwarmtewisselaar bestaat uit een dubbelwandige stalen buis die als een bypass langs de bestaande rioolpersleiding is gelegd (zie figuur 4.7). De bypass biedt voordelen bij de aanleg én de mogelijkheid om de rioolwarmtewisselaar buiten werking te stellen. De rioolwarmtewisselaar werkt volgens het tegenstroomprincipe: op de grens van afvalwater en het in omgekeerde richting langstromende medium vindt de warmte-uitwisseling plaats (door het temperatuurverschil van het afvalwater en het medium).

**Figuur 4.7** Illustratie van de werking van het riothermiesysteem van zwembad 't Bun op Urk (Bron: Waterschap Zuiderzeeland en gemeente Urk)



De rioolwarmtewisselaar ligt in een ondergrondse betonnen ruimte die altijd toegankelijk is voor onderhouds- of storingswerkzaamheden. De rioolbuis en de rioolwarmtewisselaar zijn met vier afsluiters volledig af te sluiten. De rioolwarmtewisselaar staat in verbinding met een warmte-koudeopslag (WKO). Als het riool in de wintermaanden niet genoeg thermische energie kan leveren, gebruikt het systeem de warmte uit de WKO.

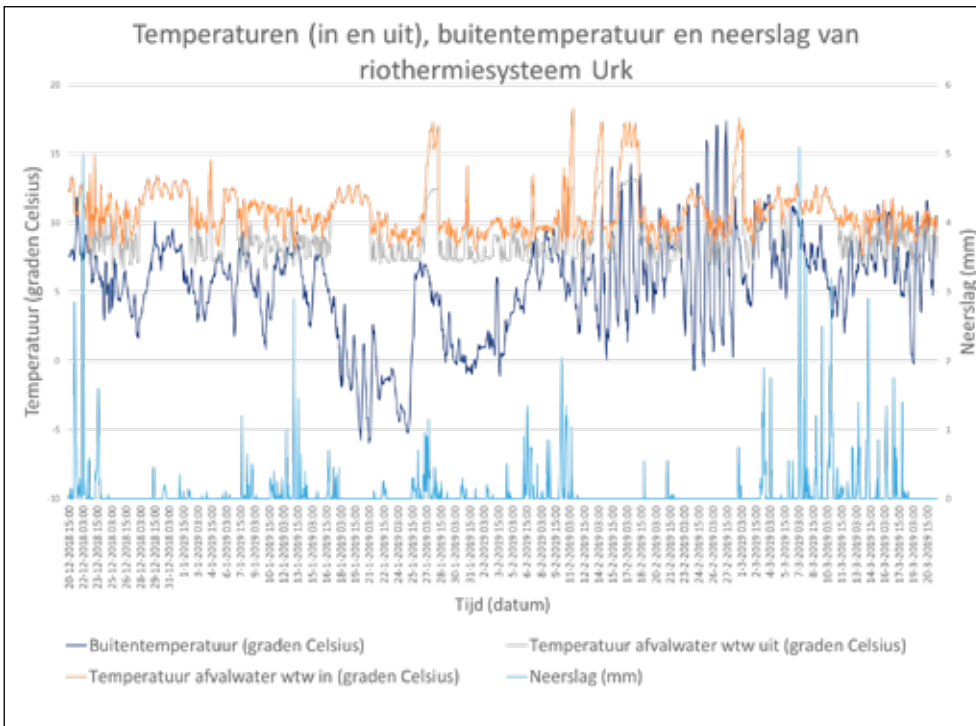
**Figuur 4.8** Schematische weergave van het systeem op Urk, waarbij de warmtewisselaar op een bypass van het riool is aangesloten met een eigen pomp, in het groen de plekken van de temperatuursensoren (Bron: Syntraal)



### Rendementen

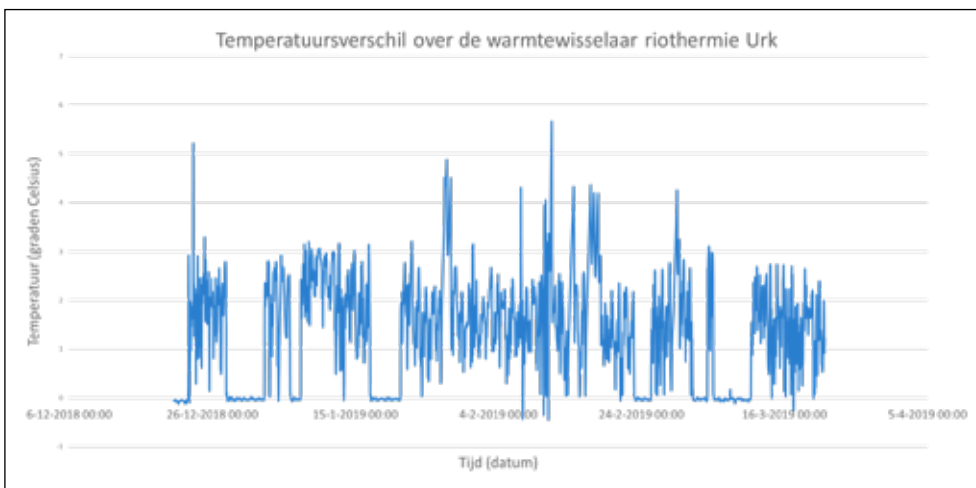
De gebruikte warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 180 kW, de rioolwarmtewisselaar heeft een vermogen van 120 kW. Deze vermogens zijn vergelijkbaar met de vermogens van een traditionele gasketel die voor een dergelijk zwembad het water moet verwarmen en de binnentemperatuur van het gebouw op peil houdt. Het zwembad bespaart jaarlijks ongeveer 165.000 m3 gas. De jaarlijkse CO2-uitstoot van het zwembad vermindert door deze duurzame verwarming met 310 ton (uitgaande van groene stroom). Dit is vergelijkbaar met het rendement van 2.790 zonnepanelen of het gasverbruik van bijna 114 huishoudens.

In figuur 4.9 ziet u het verloop van de temperatuur van het afvalwater dat in de rioolwarmtewisselaar komt en dat uit de rioolwarmtewisselaar gaat, de buitentemperatuur en de neerslag van 20 december 2018 tot en met 21 maart 2019, met een meetfrequentie van één uur. Het verschil in de temperatuur van het inkomende en het uitgaande afvalwater is de winning van thermische energie uit het afvalwater (zie ook figuur 4.10). De buitentemperatuur en neerslaggegevens die we voor figuur 4.9 hebben gebruikt, komen van de KNMI-stations Lelystad en Marknesse. De waarden hebben we gemiddeld in verband met de ligging van Urk aan het IJsselmeer. Bijna de gehele periode is de afvalwatertemperatuur hoger dan de buitentemperatuur. Zichtbaar is dat de dynamiek van het afvalwater niet de dynamiek van de buitentemperatuur volgt.



Figuur 4.9 Temperatuur afvalwater warmtewisselaar (wtw) in en afvalwater wtw uit, de buitentemperatuur en neerslaggegevens voor riothermiesysteem zwembad 't Bun (Bron: Syntraal 2019)

In figuur 4.10 is zichtbaar dat de warmtevraag het riothermiesysteem aanstuurt. Tijdens de jaarwisseling is geen thermische energie gewonnen uit het afvalwater en op zondag is het zwembad gesloten.



Figuur 4.10 Verschil in temperatuur afvalwater rioolwarmtewisselaar in en uit (delta T) riothermiesysteem zwembad 't Bun (Bron: Syntraal)

Tabel 4.3 geeft de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur weer van de buitenlucht, het afvalwater rioolwarmtewisselaar in, het afvalwater rioolwarmtewisselaar uit en de delta T van het riothermiesysteem van 20 december 2018 tot en met 21 maart 2019. De verwachting was dat bij een maximale buitentemperatuur ook de temperatuur van het inkomende afvalwater maximaal is. Dit is niet het geval. Hetzelfde geldt voor de minimale waarden. De gemiddelde delta T is 1,34 graden Celsius. Dit betekent dat over deze periode de afvalwatertemperatuur gemiddeld met 1,34 graden Celsius is gedaald door riothermie.

Temperatuur/ neerslag	Temperatuur afvalwater wtw in (graden Celsius)	Temperatuur afvalwater wtw uit (graden Celsius)	Buiten- temperatuur (graden Celsius)	Neerslag (mm)	Delta T (graden Celsius)
Maximaal	18,33 (midden februari 2019)	13,60 (eind februari 2019)	17,40 (eind februari 2019)	5,10 (begin maart 2019)	5,62 (midden februari 2019)
Minimaal	7,61 (begin januari 2019)	6,35 (midden februari 2019)	-6,00 (eind januari 2019)	0,00	-0,42 (midden februari 2019)
Gemiddeld	10,81	9,47	5,44	0,09	1,34

Tabel 4.3 Buitentemperatuur, afvalwater wtw in, afvalwater wtw uit en delta T riothermiesysteem zwembad 't Bun van 20-12-2018 t/m 21-03-2019

### 4.1.3 Riothermiesysteem van zwembad De Veldkamp

Zwembad De Veldkamp in Wezep bij Zwolle is in 2016 deels gemoderniseerd. In de voorbereiding daarop zijn gesprekken gevoerd over alternatieve manieren van verwarming. Uiteindelijk heeft men besloten gezuiverd industriewater van een aardappelfabriek te gebruiken als warmtebron. Mei 2018 was de officiële ingebruikname van het nieuwe verwarmingssysteem.

De warmtebron die voor dit project gebruikt wordt, is het gezuiverde industriewater van de nabijgelegen aardappelfabriek van CêlaVita. Dit afvalwater zuivert het bedrijf voor in de eigen anaërobe waterzuivering. Dit water heeft na behandeling een temperatuur van circa 35°C. Dit voorgezuiverde water wordt via een normale rioolbuis vanaf CêlaVita naar het zwembad getransporteerd. Het water stroomt hier naar een bufferkelder. Vanuit deze bufferkelder wordt het verwarmde water naar een speciaal ontwikkelde warmtewisselaar gepompt. Drie in cascade opgestelde gasketels zijn nog aanwezig als back-up. De bufferkelders zorgen ervoor dat het zwembad ook gebruik kan maken van de warmtewisselaar in het weekend, als de fabriek niet draait. Nadat de warmte uit het rioolwater is gewonnen, spoelt het weer terug naar de bufferkelder, waarna het vervolgens via het riool naar de communale rwzi stroomt.

De rioolwarmtewisselaar bestaat uit drie in serie geschakelde RVS buizenwarmtewisselaars. In zijn meest eenvoudige vorm is een buizenwarmtewisselaar een buis in een andere buis, ofwel een buis met daaromheen een mantel. Meestal echter zijn er meerdere buizen in een grote mantel. Het ene medium stroomt hierbij door de buis en het andere medium door de mantel.

De kelder heeft vooral voordelen vanwege de koppeling aan de warmtewisselaar. Omdat deze nu min of meer los van elkaar staan, geeft dit de mogelijkheid om de warmtewisselaar tijdelijk uit te schakelen, bijvoorbeeld voor onderhoud, terwijl de waterafvoer door het riool vanaf CêlaVita toch geborgd is.

Het warme afvalwater wordt opgewerkt in een speciale warmtepomp, die ook werkt bij de hoge temperatuur van het effluent. Hierdoor heeft de warmtepomp een extra hoog rendement. Het warme water gaat vanuit de warmtepomp naar een buffer. Vanuit de buffer wordt het water verder gedistribueerd via het distributiesysteem van het oorspronkelijke verwarmingssysteem.

De warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 267 kW. De warmtewisselaar heeft een vermogen van 300 kW. Deze vermogens komen overeen met het vermogen van een traditionele gasketel, die al het water van het zwembad en alle zwembadruimtes moet verwarmen. Per jaar wordt ongeveer 230 duizend kuub gas bespaard en 410 ton CO<sub>2</sub>-uitstoot vermeden. Het gemiddelde gasverbruik van een Nederlands huishouden is jaarlijks 'tussen de 1.000 en 1.500 m<sup>3</sup>, dus dit zwembad bespaart ongeveer evenveel gas als 180 huishoudens.

### 4.2 Praktijkmeting bij het Vellesan College

Voor het Vellesan College zijn in de vrijvervalriolering vier divers geplaatst. Divers zijn dataloggers die meetgegevens over de temperatuur in het rioolstelsel opslaan. Het afvalwater stroomt van diver 1 naar diver 2, van diver 2 naar diver 3 en van diver 3 naar diver 4 (zie figuur 4.11). Deze meetpunten zijn zo gekozen in verband met de afstanden vanaf het riothermiesysteem (maximaal 500-800 meter). Ook is niet overal een diver te plaatsen, bijvoorbeeld omdat een put in een drukke weg zit. De afstanden van de geplaatste divers zijn:

- Diver 1 is het referentiepunt, deze ligt op 0 meter. Hier start de rioolwarmtewisselaar.
- Diver 2 ligt op 66 meter afstand van diver 1. Dit is het eind van de rioolwarmtewisselaar.
- Diver 3 ligt op 276 meter afstand van diver 1 en 210 meter afstand vanaf diver 2.
- Diver 4 ligt op 742 meter afstand van diver 1 en 676 meter afstand vanaf diver 2.

Bij meetpunt 3 komt er een afvalwaterstroom bij van een woonwijk. Dit was niet de bedoeling, maar door extern verkregen foutieve informatie bleek dit helaas wel het geval. Het debiet en de temperatuur van deze bijmenging zijn onbekend. De verwachting is dat diver 3 hogere waarden meet dan diver 2.





Figuur 4.11 Geplaatste divers vrijervalriool Velsen (Bron: Google Maps)

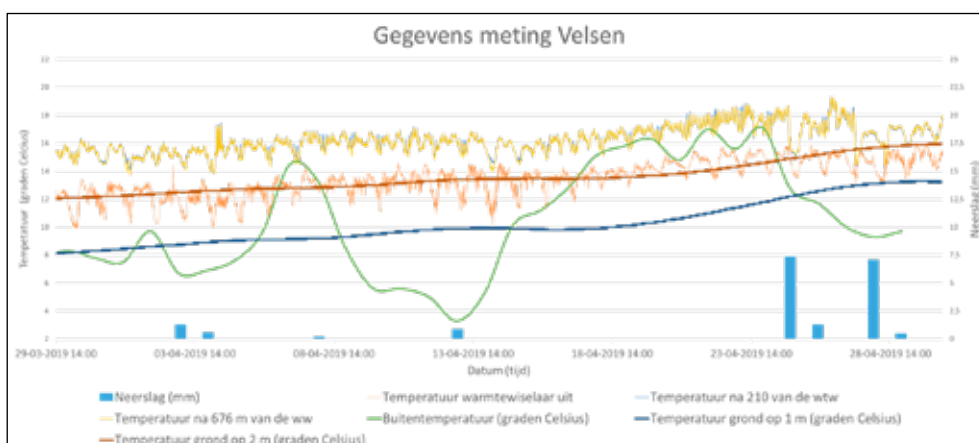
### Meetgegevens en betrouwbaarheid

Gedurende een maand is gemeten. De verzamelde gegevens zijn verwerkt in databestanden, die daardoor een grote hoeveelheid meetgegevens bevatten over de afvalwatertemperatuur op de verschillende meetlocaties.

De divers zijn gekalibreerd en meten met een onnauwkeurigheid van maximaal 0,04 graden Celsius. Dit betekent niet dat de gemeten waarden de werkelijke afvalwatertemperatuur weergeven. De divers hebben in het afvalwater gehangen en er kunnen momenten zijn geweest dat er geen debiet was, waardoor een diver even droog heeft gelegen. Ook kan zich rondom de diver tijdelijk vuil hebben opgehoopt. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid van de gemeten waarden af. Diver 1 geeft gedurende de meetperiode geen betrouwbare gegevens, hier zitten enkele onverklaarbare pieken en dalen in.

### Meetresultaten

In figuur 4.12 ziet u alle meetresultaten, met uitzondering van de data van diver 1 vanwege de onbetrouwbaarheid. De waarden zijn gemeten met een frequentie van 2 minuten, behalve de gegevens van het KNMI-station Wijk aan Zee. De buitentemperatuur en neerslag zijn daggemiddelde waarden.



Figuur 4.12 Meetwaarden Vellesan College diver 2 (wtw uit), diver 3 (210 m van wtw) en diver 4 (676 m van wtw), met gegevens KNMI-station en de bodemtemperatuur op 1 m en van 2 m van de rioolwarmtewisselaar (Bron: Syntraal 2019)

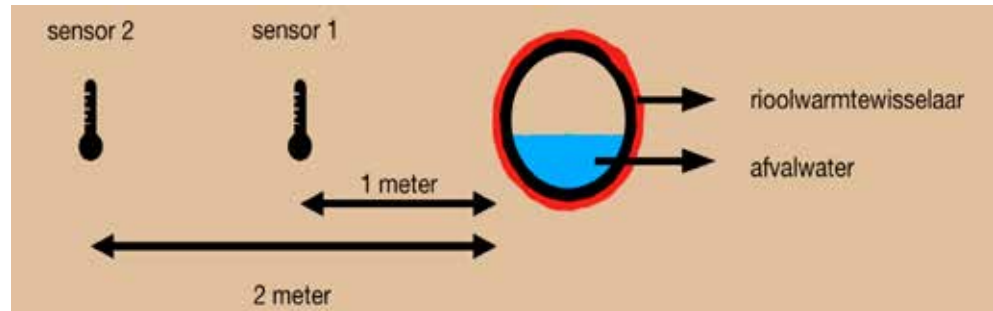
Zichtbaar is dat de gemeten waarden van divers 3 en 4 bijna overeenkomen (de blauwe en gele lijn in figuur 4.12). Gedurende de gehele meetperiode is de afvalwatertemperatuur van diver 2 naar diver 3 gemiddeld met 2,80 graden Celsius toegenomen, van diver 2 naar diver 4 met 2,76 graden Celsius. Ook is de dynamiek van de dag zichtbaar, de pieken en dalen in de grafiek vallen elke dag rond dezelfde tijd.

De gemeten waarden van divers 3 en 4 komen dus nagenoeg overeen. De gemeten waarden van diver 2 en de bodemtemperatuur op 2 meter afstand van de rioolwarmtewisselaar



komen ook overeen. (In figuur 4.13 ziet u hoe de bodemsensoren liggen ten opzichte van de rioolwarmtewisselaar.) Dit betekent dat de rioolwarmtewisselaar ook warmte wint uit de bodem.

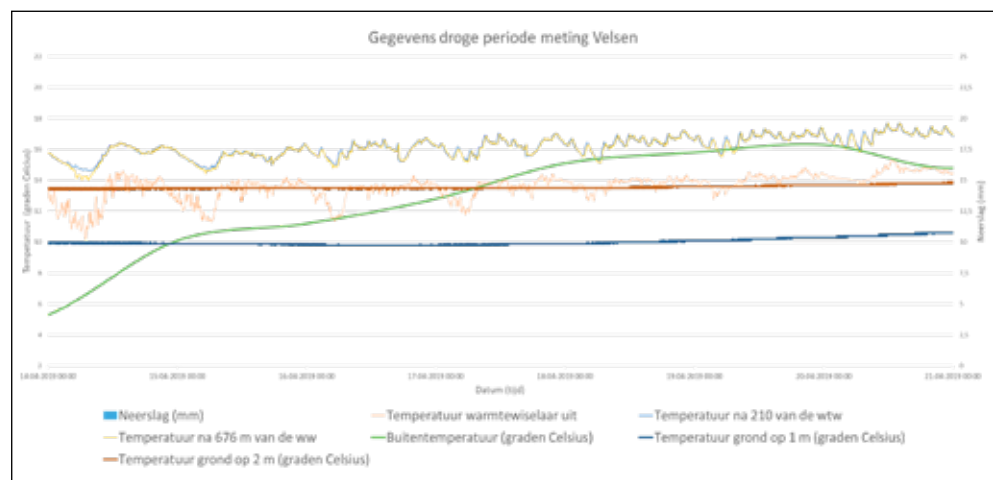
**Figuur 4.13** Plaats bodemsensoren ten opzichte van de rioolwarmtewisselaar  
(Bron: Syntraal)



#### Droge en natte perioden

Figuur 4.14 zoomt in op een droge periode, van 14 tot en met 21 april 2019. Te zien is dat de bodemtemperatuur op 2 meter van de rioolwarmtewisselaar de buitentemperatuur volgt. Maar er is nauwelijks dynamiek zichtbaar in de bodemtemperatuur op 2 meter afstand van de rioolwarmtewisselaar (zie oranje lijn 'Temperatuur grond 2 m').

**Figuur 4.14** Droge periode 14-04-2019 t/m 21-04-2019 casus Vellesan College  
(Bron: Syntraal)

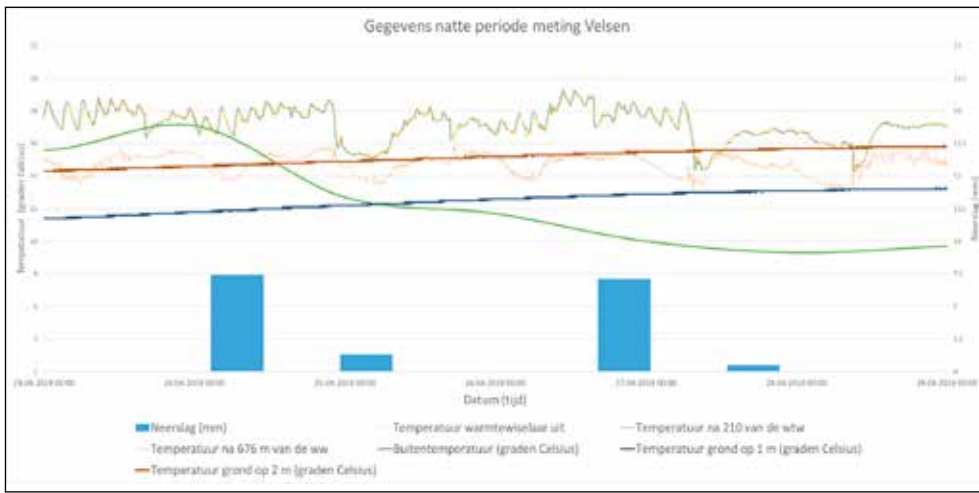


Tijdens de natte periode (zie figuur 4.15) is in de gemeten waarden van divers 3 en 4 meer variatie zichtbaar ten opzichte van de droge periode. De waarden zijn gemeten met een frequentie van 2 minuten, alleen de neerslag en buitentemperatuur zijn daggemiddelden. Hierdoor is het gevolg van neerslag niet direct zichtbaar en zijn de dalen niet direct verklaarbaar.

### 4.3 Praktijkmeting bij zwembad 't Bun

De persleiding van Urk ligt langs een weg op 3,2 m beneden maaiveld. Voor de praktijkmeting is op deze persleiding een clamp-on-meter geplaatst op ongeveer 650 meter vanaf het einde van de rioolwarmtewisselaar (zie figuur 4.16).

Een clamp-on-meter is als het ware een klem om de leiding die de temperatuur meet. Rondom de meter zit isolatiemateriaal, zodat het grondwater zo min mogelijk invloed heeft op de gemeten waarden. De clamp-on-meter is gekalibreerd en geeft met een vertraging door het materiaal van de persleiding (pvc) de waarde weer van de afvalwatertemperatuur. Er is elke 2 minuten gemeten. Een op afstand uitleesbare datalogger heeft de meetgegevens opgeslagen.



Figuur 4.15 Natte periode 23-04-2019 t/m 29-04-2019 casus Vellesan College (Bron: Syntraal)



Figuur 4.16 Overzicht van de situatie op Urk met de locatie van de warmtewisselaar en de clamp-on-temperatuurmeter (Bron: Google Maps)

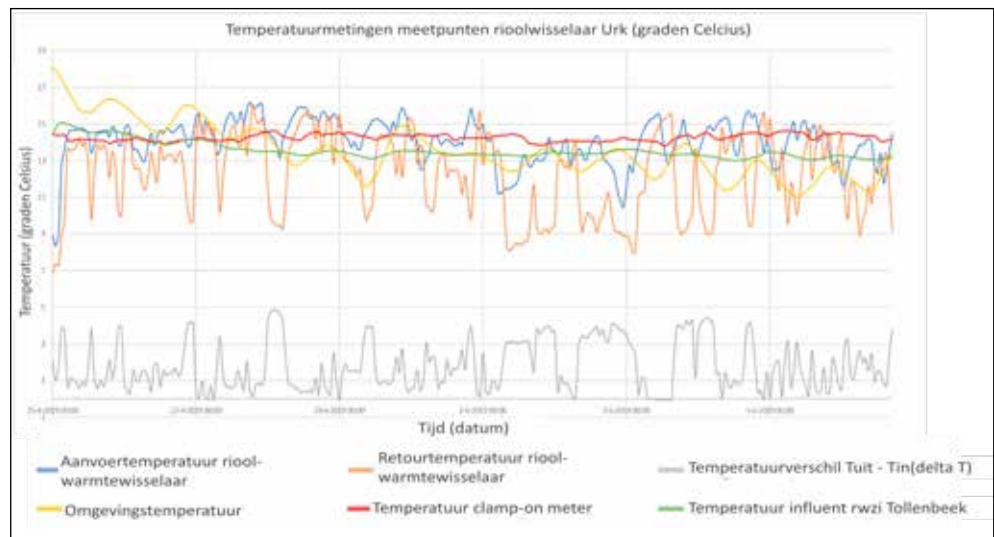
## Meetresultaten

In figuur 4.17 ziet u de gemeten waarden over twee weken (25 april 2018 tot en met 6 mei 2018). Ook geeft de figuur de temperaturen van de rioolwarmtewisselaar in (aanvoertemperatuur) en rioolwarmtewisselaar uit (retourtemperatuur), de omgevingstemperatuur en de influenttemperatuur weer. Alle waarden zijn uurwaarden.

De verwachting was dat de clamp-on-meter de dynamiek zou volgen van de retourtemperatuur van de rioolwarmtewisselaar, maar dan iets afgevlakt door de invloed van de bodem op de afvalwatertemperatuur en de afstand die het afvalwater moet afleggen. Ook werd verwacht dat de influenttemperatuur van rwzi Tollebeek nog meer zou zijn afgevlakt ten opzichte van de waarden van de clamp-on-meter. Wederom door de invloed van de bodem op de afvalwatertemperatuur en de afstand die het afvalwater moet afleggen.

In figuur 4.17 is te zien dat de temperatuur van zowel de clamp-on-meter als de influenttemperatuur redelijk constant is. Over het grootste gedeelte van de periode daalt de afvalwatertemperatuur vanaf de clamp-on-meter naar de rwzi. De bodemtemperatuur in deze periode is onbekend, waardoor de invloed van de bodem niet zichtbaar is. De gemeten waarden van de clamp-on-meter zijn meer afgevlakt dan verwacht. Dit kan komen door de vertraging waarmee de meter door het materiaal van de persleiding meet (warmtegeleiding van het materiaal en de dikte van de leidingwand).

**Figuur 4.17 Meetwaarden clamp-on-meter Urk**  
(Bron: Syntraal)



#### 4.4 Praktijkmeting zwembad De Veldkamp in Wezep

De metingen voor het systeem bij zwembad De Veldkamp in Wezep verschillen van de metingen van de twee casussen in paragrafen 4.2 en 4.3. Bij het systeem in Wezep wordt onderzocht wat het effect is van een groot temperatuurverschil tussen bodem en afvalwater op het temperatuurverloop van het afvalwater. Het afvalwater van CêlaVita in Wezep wordt over 850 meter door een ongeïsoleerde pvc-buis getransporteerd met een temperatuur van 35,5 graden Celsius. De bodemtemperatuur is op dat moment 15 graden Celsius.

##### Meetopzet

Figuur 4.18 geeft de meetpunten weer. Meetpunt 1 is bij het lozingspunt bij CêlaVita, meetpunt 2 bij het zwembad De Veldkamp waar het afvalwater aankomt. De buis die het afvalwater transporteert, heeft een diameter van 315 mm en ligt voornamelijk in een zandbodem boven grondwaterniveau. De meetperiode is ongeveer een week.

**Figuur 4.18 Overzicht leiding van CêlaVita naar zwembad De Veldkamp met daarin twee meetpunten**  
(Bron: Syntraal 2019)

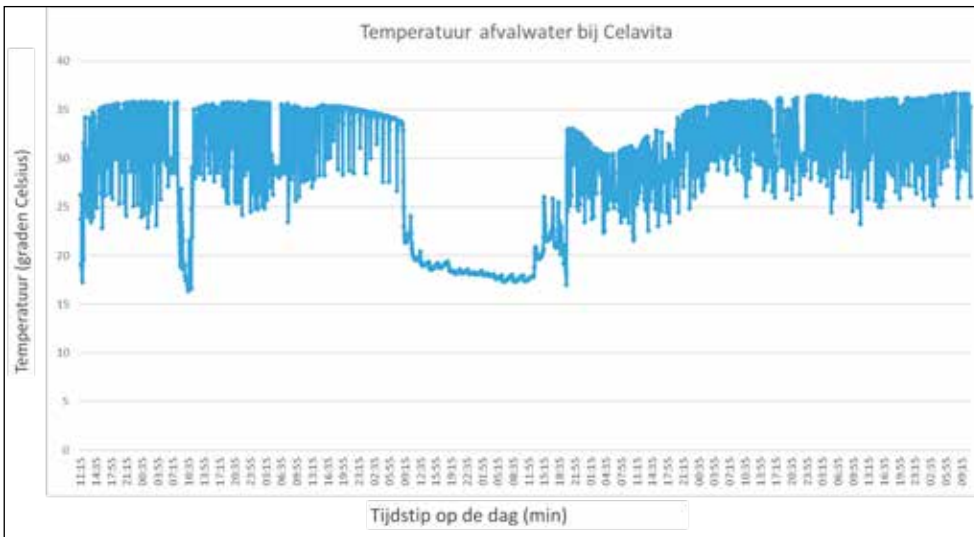


##### Meetresultaten

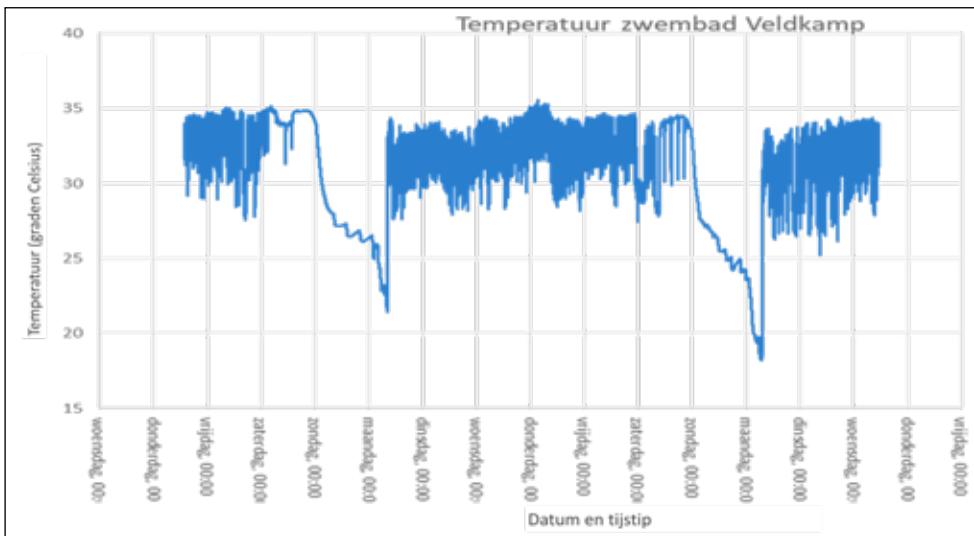
Bij meetpunt 1 (zie figuur 4.19) en meetpunt 2 (zie figuur 4.20) is tegelijkertijd gemeten. Omdat het tijdsinterval verschilt, staan de meetwaarden per meetpunt in een aparte figuur.

Op doordeweekse dagen loost CêlaVita het afvalwater met een gemiddelde temperatuur van circa 35,5 graden. In het weekend loost het bedrijf veel minder afvalwater. Hierdoor komt de meter uit de afvalwaterstroom en geeft deze niet de juiste temperatuur weer. Dit is te zien in de metingen van zaterdag tot maandag. Op doordeweekse dagen is het gemiddelde debiet circa 50 tot 70 m<sup>3</sup> per uur. De temperatuur daalt in de leiding met 1 tot 1,5 graden Celsius tot rond de 34 graden Celsius bij aankomst bij zwembad De Veldkamp (zie

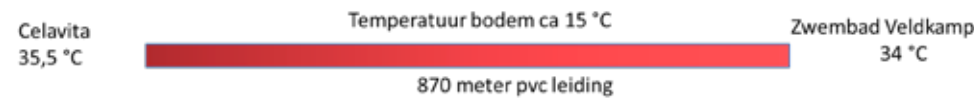




**Figuur 4.19**  
Afwalwatertemperatuur (graden Celsius) bij CêlaVita over 1 week (meetpunt 1) (Bron: Syntaal)



**Figuur 4.20**  
Afwalwatertemperatuur (graden Celsius) over ruim 2 weken na 850 meter bij zwembad De Veldkamp (meetpunt 2) (Bron: Syntraal)



**Figuur 4.21**  
Temperatuurverloop afvalwater casus Wezep (Bron: Syntraal)

figuur 4.21). De bodemtemperatuur op 1,5 meter diepte is 15 graden Celsius, de bodemtemperatuur direct om de buis is naar verwachting hoger.

Deze meting geeft weer dat het afvalwater over een lengte van 850 meter maar maximaal 1,5 graden Celsius daalt, bij een temperatuurverschil tussen riool en bodem van 20,5 graden Celsius. Hoewel de leiding niet geïsoleerd is, is het temperatuurverlies naar de bodem gering. Dit betekent dat de bodem hier een goede isolator is en dat de bodemtemperatuur het afvalwater nauwelijks beïnvloedt.

#### 4.5 Conclusie

De praktijkmetingen hebben nog te weinig data opgeleverd voor een gegronde conclusie, daarvoor zijn meer meetgegevens nodig. Voorlopig kunnen we met de bevindingen uit de literatuur in hoofdstuk 3 concluderen dat de afvalwatertemperatuur maar beperkt invloed ondervindt van de bodem. Dit is ook te zien in de praktijkmeting van Wezep. Vooral bij grotere volumestromen is dit het geval.

Als de afvalwatertemperatuur door een rioolwarmtewisselaar afneemt, zal de temperatuur zich langzaam herstellen door de invloed van externe factoren zoals de bodem. Maar dit is een traag proces. Is de temperatuur hersteld voordat het rioolwater de rwzi bereikt? En hoeveel tijd heeft het rioolwater nodig om te herstellen? Om deze vragen te beantwoorden, hebben we een modelberekening gemaakt (zie hoofdstuk 5).

## 5 Stromingsmodel afvalwater

Om de voorlopige conclusie uit hoofdstuk 4 te toetsen, hebben we een zogenaamd stromingsmodel gebouwd, een CFD-model (Computational Fluid Dynamics-model). Met CFD-modellen kun je complexe stromingspatronen uitrekenen, die niet of nauwelijks analytisch kunnen worden bepaald. De zuiveringswereld gebruikt vaak CFD-modellen om met complexe stromingsberekeningen de optimale instellingen voor het zuiveringsproces te bepalen. In dit onderzoek gaat het vooral om de vraag: hoe verloopt de temperatuur van het afvalwater in een bepaald type riool nadat een warmtewisselaar het afvalwater een aantal graden heeft afgekoeld? Kan de temperatuur zich herstellen?

In paragraaf 5.1 staan de uitgangspunten van het model, de invoergegevens en welke berekeningen we in het model hebben gemaakt. Vervolgens komen in paragraaf 5.2 de modelresultaten voor Velsen en Urk aan bod. Tot slot vindt u in paragraaf 5.3 de conclusies.

Het model is een simulatiemodel thermisch verloop afvalwater (STEVAL). In bijlage 2 van dit rapport vindt u de theoretische achtergrond van dit model.

### 5.1 Uitgangspunten, invoergegevens en berekeningen STEVAL

Belangrijk voor de resultaten in paragraaf 5.2 zijn de factoren die we wel én niet hebben meegenomen in het model.

De factoren die we wel hebben meegenomen in STEVAL:

- Buitentemperatuur: meegenomen in de temperatuur van het maaiveld.
- Warmtegeleiding van bodemmaterialen: meegenomen door het bodemtype mee te nemen.
- Eigenschappen van de rioolleiding: het materiaal, de diameter en vullingsgraad.
- Afstand die het afvalwater aflegt: op meerdere afstanden is gekeken naar de temperatuurverandering van het afvalwater.

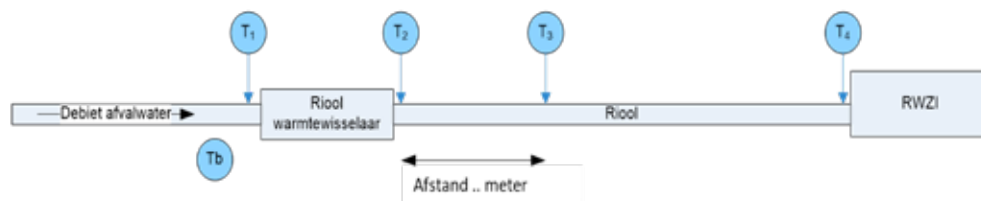
De volgende factoren hebben we niet meegenomen, omdat we uitgaan van een vergelijkbare standaard situatie waarbij geen bijmenging van het rioolwater is meegenomen:

- Neerslag.
- Veranderingen in temperatuur, volume en stroomsnelheid door bijmengende afvalstromen.

#### Invoergegevens en te berekenen temperaturen

Figuur 5.1 geeft de invoergegevens en de door het model te berekenen temperaturen schematisch weer.

Figuur 5.1 Schema invoergegevens en te berekenen temperaturen (Bron: Syntraal)



De invoergegevens voor het model zijn:

T1 : Afvalwatertemperatuur voordat de warmtewisselaar het water afkoelt.

T2 : Afvalwatertemperatuur na de wisselaar.

T2 - T1 is de delta T, het temperatuurverschil.

De temperaturen die het model berekent, zijn:

Tb : Bodemtemperatuur, deze bepaalt het model aan de hand van de tijd van het jaar.

T3 : Afvalwatertemperatuur op verschillende afstanden na de rioolwarmtewisselaar.

T4 : Afvalwatertemperatuur bij de rwzi.

## 5.2 Resultaten STEVAL-modelberekeningen

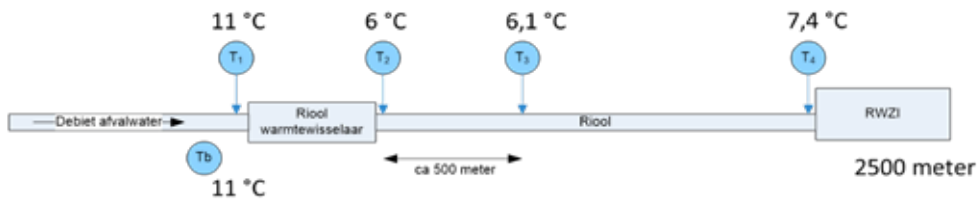
Voor de modelberekeningen hebben we de casussen van Velsen en Urk gebruikt. Hierbij gaat het om twee verschillende typen riolen van verschillend materiaal. STEVAL heeft een aantal situaties doorgerekend. In bijlage 2 van dit rapport vindt u alle modelresultaten. Deze paragraaf gaat in op twee situaties die van belang zijn voor de afvalwatertemperatuur in de winter: een betonnen vrijvervalrioolbuis zoals in Velsen en een pvc-persleiding zoals in Urk.

### Modelberekeningen Velsen

De invoergegevens voor de betonnen vrijvervalrioolbuis zijn:

Type leiding:	Vrijverval
Materiaal:	Beton
Diepteligging:	1,80 -mv
Buitendiameter:	1.250 mm
Bodem:	Zand en water (de buis ligt in het grondwater)
Debiet:	90 m <sup>3</sup> per uur
Lengte tot aan de rwzi:	2.325 m

Figuur 5.2 geeft de temperaturen weer zoals het model deze heeft bepaald na een delta T van 5 graden Celsius. In dit geval koelt de rioolwarmtewisselaar het afvalwater met 5 graden Celsius af. De bodemtemperatuur is 11 graden Celsius.



Figuur 5.2  
Temperatuurverloop  
afvalwater casus Velsen  
(Bron: Syntraal 2019)

Na 500 meter is de afvalwaterstroom nauwelijks opgewarmd. Bij de rwzi (na 2.500 meter) is de afvalwatertemperatuur hersteld tot 7,4 graden Celsius. In tabel 5.1 ziet u de temperaturen bij verschillende afstanden en verschillende deltatemperaturen. De tijd in uren geeft weer na hoeveel uur het water de bepaalde afstand heeft bereikt. Bij 2.500 m bereikt het afvalwater de rwzi, dit is dan volgens de modelberekening de influenttemperatuur.

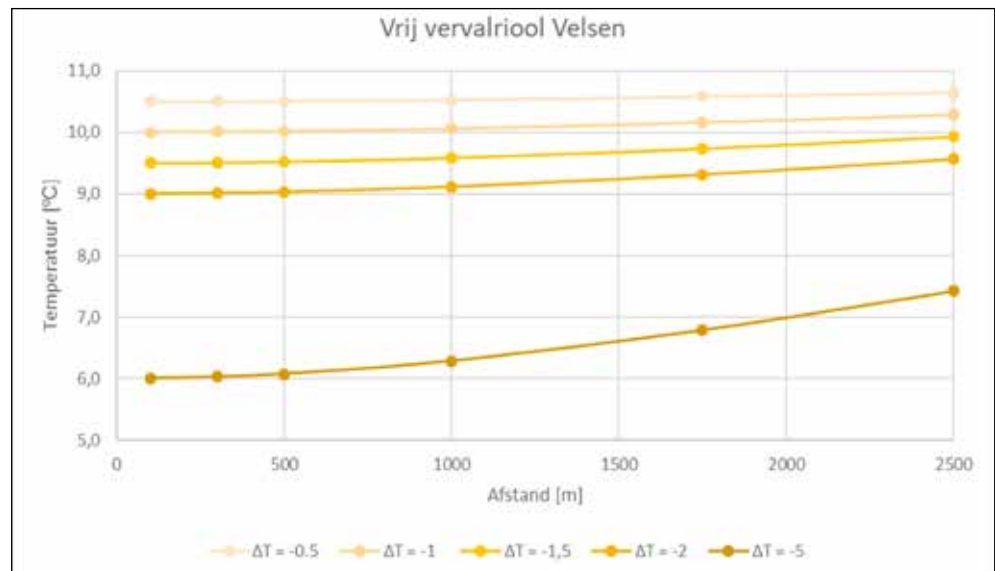
Afstand	m	0	100	300	500	1.000	1.750	2.500
Tijd in riool	uren	0,0	0,2	0,3	0,6	1,0	1,9	4,8
$\Delta T = -0,5$	°C	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6
$\Delta T = -1$	°C	10,0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,2	10,3
$\Delta T = -1,5$	°C	9,5	9,5	9,5	9,5	9,6	9,7	9,9
$\Delta T = -2$	°C	9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,3	9,6
$\Delta T = -5$	°C	6,0	6,0	6,0	6,1	6,3	6,8	7,4

Tabel 5.1 Modelberekening  
temperatuurverloop  
afvalwater

In figuur 5.3 bereikt het afvalwater binnen 2.500 meter niet dezelfde temperatuur als de bodem (11 graden Celsius). Bij het maximale temperatuurverschil van 5 graden Celsius stijgt de afvalwatertemperatuur met 1,4 graden Celsius.



**Figuur 5.3** Verloop afvalwatertemperatuur bij verschillende delta T bij een vrijvervalriool (Bron: Syntraal)



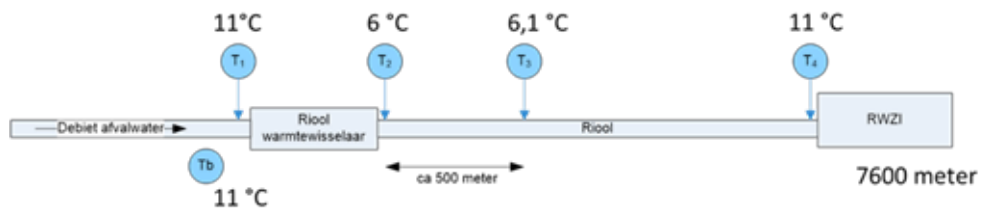
### Modelberekeningen Urk

De invoergegevens van de persleiding zijn:

- Type leiding: Persleiding
- Materiaal: Pvc
- Diepteligging: 1,90 -mv
- Buitendiameter: 500 mm
- Binnendiameter: 471 mm
- Bodem: Zand en water (de buis ligt in het grondwater)
- Debiet: 60 m<sup>3</sup> per uur
- Lengte tot aan de rwzi: 7.766 m

Figuur 5.4 geeft de temperaturen weer zoals het model deze heeft bepaald na een delta T van 5 graden Celsius. In dit geval koelt de warmtewisselaar het afvalwater met 5 graden Celsius af.

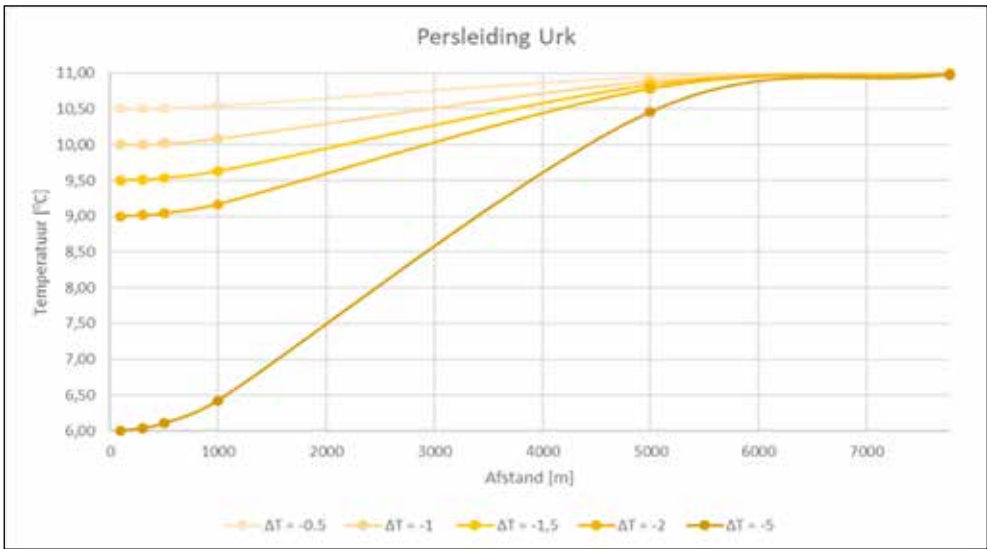
**Figuur 5.4** Temperatuurverloop afvalwater casus Urk (Bron: Syntraal)



Doordat de persleiding 100% gevuld is, is het contact met de omgeving (bodem) groter dan bij een vrijvervalleiding. De herstelperiode is hier langer dan in Velsen doordat de afstand groter is en het debiet kleiner. In tabel 5.2 en figuur 5.5 ziet u het temperatuurverloop van het afvalwater in de persleiding. Tabel 5.2 geeft aan na hoeveel uur het water de bepaalde afstand heeft bereikt. Bij 7.766 m bereikt het afvalwater de rwzi, dit is dan volgens de modelberekening de influenttemperatuur.

**Tabel 5.2** Modelberekening temperatuurverloop afvalwater Urk

Afstand	m	0	100	300	500	1.000	5.000	7.766
Tijd in riool	uren	0,0	0,3	0,9	1,5	3,0	14,8	23,0
ΔT = -0,5	°C	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,9	11,0
ΔT = -1	°C	10,0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,9	11,0
ΔT = -1,5	°C	9,5	9,5	9,5	9,5	9,6	10,8	11,0
ΔT = -2	°C	9,0	9,0	9,0	9,0	9,2	10,8	11,0
ΔT = -5	°C	6,0	6,0	6,0	6,1	6,4	10,5	11,0



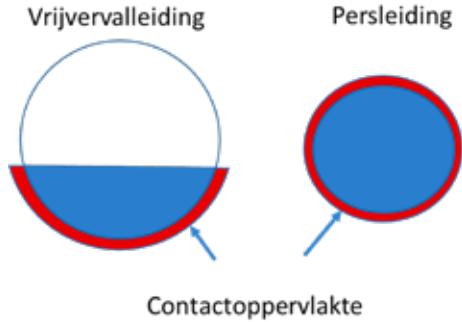
Figuur 5.5 Verloop afvalwatertemperatuur bij verschillende delta T bij een persriool (Bron: Syntraal)

Volgens de modelberekening bereikt het afvalwater binnen 7.766 meter dezelfde temperatuur als de bodem.

**Verschillen warmte-uitwisseling type riool**

De temperatuur in de persleiding neemt sneller toe dan in de vrijvervalleiding. Na 2.500 meter is de temperatuur van een vrijvervalleiding opgewarmd tot 7,4 graden Celsius, bij een persleiding is dit 8 graden Celsius. Hiervoor zijn twee oorzaken aan te wijzen:

- Het grootste verschil ontstaat door het contactoppervlak. Bij de persleiding is met dezelfde volumestroom het contactoppervlak met de bodem groter dan bij de vrijvervalrioolbuis. Hierdoor is meer uitwisseling met de bodem mogelijk en zal de temperatuur zich sneller herstellen.



Figuur 5.6 Contactoppervlak warmte-uitwisseling met de bodem: bij dezelfde volumestroom is het contactoppervlak bij een vrijvervalleiding kleiner dan bij een persleiding (Bron: Syntraal)

- Daarnaast zorgt het materiaal voor een opwarmingsverschil: een betonnen buis is een betere isolator dan een pvc-buis.

Een andere belangrijke parameter bij warmte-uitwisseling is de stroomsnelheid. Bij een vrijvervalriool is de stroomsnelheid afhankelijk van het volume en het hoogteverschil, bij een persleiding van de volumestroom (pompvolume) en de buisdiameter.

**Constance omgevingsfactoren**

De invloed van de omgeving van de rioolbuis is in het model constant gehouden. De bodemsamenstelling heeft invloed op de warmteoverdracht. Droog zand heeft een lage geleidingscoëfficiënt en is daarmee een goede isolator. Als de rioolbuis in het grondwater ligt, is de warmtegeleiding ruim zes keer hoger en zal de temperatuur sneller oplopen.

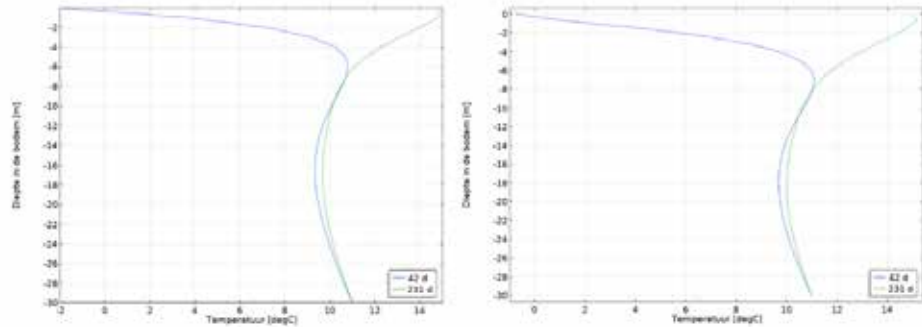
	Geleidingscoëfficiënt (W/m.K)
Droog zand	0,300
Klei	1,000
Nat zand	1,400
Zand in grondwater	1,900

Tabel 5.3 Geleidingscoëfficiënt bodemsamenstelling

### Constante bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur is in het model ook constant gehouden. Als het afvalwater continu afkoelt, beïnvloedt dit langzamerhand de bodem. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de bodemsamenstelling en de diepteligging van de rioolbuis. Voor elke grondsoort is een temperatuurgradiënt (stijging of daling per lengte-eenheid) samen te stellen afhankelijk van de tijd van het jaar. Figuur 5.7 geeft de temperatuurgradiënten weer van de bodem in Velsen (rechts in de figuur) en Urk (links in de figuur). In beide gevallen ziet u de gradiënt van de laagste bodemtemperatuur in de winter (dag 42, 11 februari) en de hoogste bodemtemperatuur in de zomer (dag 231, 19 augustus).

**Figuur 5.7**  
Bodemtemperatuurgradiënt na een simulatie van 4 jaar voor Urk (links) en voor Velsen (rechts) voor dag 42 van het jaar (11 februari, blauwe lijn) en dag 231 van het jaar (19 augustus, groene lijn) (Bron: TAUW, 2019)



In figuur 5.7 is te zien dat de bodemtemperatuur op 8 meter diepte ongeveer het hele jaar door gelijk is. Boven de 8 meter loopt het verschil op naar circa 15 tot 17 graden Celsius op maaiveld. De diepteligging van het riool in de bodem is erg bepalend voor de omgevingstemperatuur. Een diepteverschil van 1 meter kan 4 graden Celsius temperatuurverschil opleveren in de bodem.

### 5.3 Conclusie

De modelberekening ondersteunt de voorzichtige conclusie uit hoofdstuk 4 dat het afvalwater na afkoeling door een warmtewisselaar tijd nodig heeft om te herstellen. De tijd is uit te drukken in afstand tot een rwzi. De volgende parameters hebben invloed op de snelheid waarmee het afvalwater opwarmt en zich kan herstellen:

- Contactoppervlak van het afvalwater met de bodem. Een groter contactoppervlak zorgt voor een betere warmteoverdracht. Het verschil in contactoppervlak bepaalt vooral het verschil in opwarming tussen een persriool en vrijvervalleiding. Bij eenzelfde volumestroom heeft afvalwater in een persriool een groter contactoppervlak met de bodem dan in een vrijvervalriool.
- Materiaal van de rioolbuis. Het materiaal en de dikte van de rioolbuis bepalen mede de warmteoverdracht.
- Stroomsnelheid. De stroomsnelheid bepaalt hoelang het afvalwater zich in het riool bevindt en daarmee de tijd waarin het zich kan opwarmen (wintersituatie). Daarnaast bepaalt de stroomsnelheid de turbulentie van het afvalwater (laminair of turbulent). Turbulentie bepaalt ook de mate waarin afvalwater en omgeving warmte overdragen. Overigens is de stroming van afvalwater gemiddeld bijna altijd een turbulente stroming.
- Bodemsamenstelling. De bodemsamenstelling bepaalt de warmteoverdracht van de bodem naar het afvalwater. Droog zand heeft een lage geleidingscoëfficiënt en is daarmee een goede isolator. Als de rioolbuis in het grondwater ligt, is de warmtegeleiding ruim zes keer hoger en zal de temperatuur sneller oplopen.
- Bodemtemperatuur. De bodemtemperatuur rondom de rioolbuis is afhankelijk van de buitentemperatuur en de diepteligging van de buis. Voor elke bodemsamenstelling is een temperatuurgradiënt te bepalen. De diepteligging van het riool is erg bepalend voor de omgevingstemperatuur van het riool.

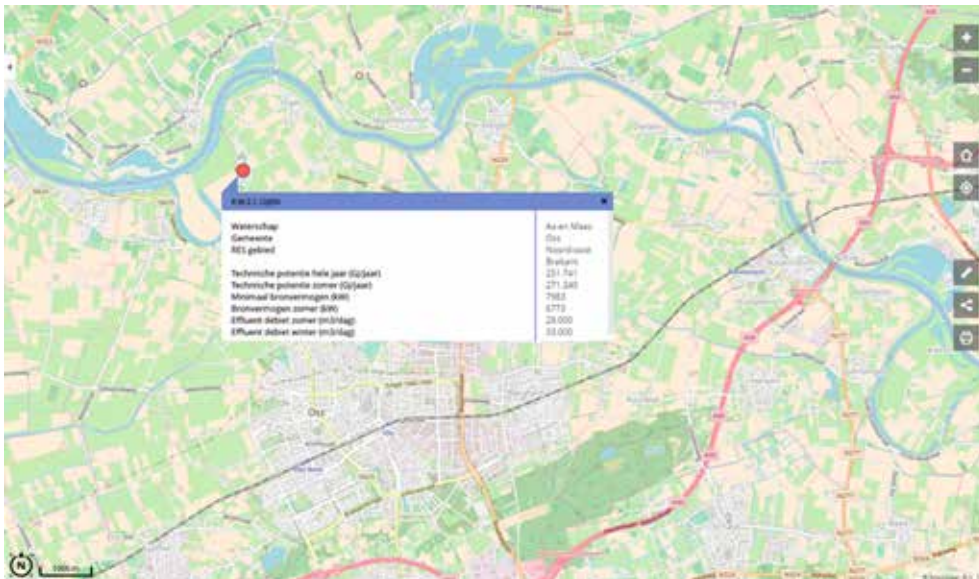
Samengevat geeft het model goed inzicht in het temperatuurverloop van afvalwater bij verschillende uitgangsparameters. Met een zekere mate van onnauwkeurigheid kan het model aangeven wat het effect is op de influenttemperatuur op een bepaalde afstand vanaf de rioolwarmtewisselaar na de warmteonttrekking uit het afvalwater. Om de betrouwbaarheid te verhogen, moet het model met meer praktijkdata worden gevalideerd.

## 6 Gevoeligheidsanalyse waterzuivering

Hoofdstuk 3 toont een direct verband aan van de influenttemperatuur met de bacteriologische activiteit (nitrificatie/denitrificatie) op de zuivering. De temperatuurafhankelijkheid is te zien in het stikstofgehalte (N-totaal) van het rwzi-effluent. Maar hoe gevoelig is N-totaal voor afname van de influenttemperatuur? Hiervoor hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van een fictieve warmteonttrekking uit het riool van een bestaande rwzi om een nieuwbouwwijk duurzaam te gaan verwarmen. Deze situatie zal zich de komende jaren in Nederland veel voordoen.

### 6.1 Fictieve casus

In de fictieve casus worden 2.000 nieuwbouwwoningen gebouwd volgens de BENG-norm<sup>1</sup> (Bijna Energie Neutraal Gebouw). Deze wijk wordt verwarmd met een collectief systeem en warmtenetwerk, waarbij een riothermiesysteem de warmte direct onttrekt uit een stamriool van de rwzi. Als voorbeeld wordt het stamriool naar de rwzi in de gemeente Oss (rwzi Oijen) genomen (zie figuur 6.1). Syntraal heeft in samenwerking met waterschap Aa en Maas een casus doorgerekend voor deze rwzi, dus alle data zijn beschikbaar. Daarnaast is de rwzi Oijen een goed draaiende middelgrote rwzi, die representatief is voor veel rwzi's in Nederland. In deze casus is 2018 het voorbeeldjaar, het gemiddelde effluentdebiet in de wintermaanden is 33.000 m<sup>3</sup>/dag, het gemiddelde stikstofgehalte is 3,5 mg/liter.



Figuur 6.1 Ligging rwzi Oijen, waterschap Aa en Maas (Bron: Aquathermieviewer STOWA 2020)

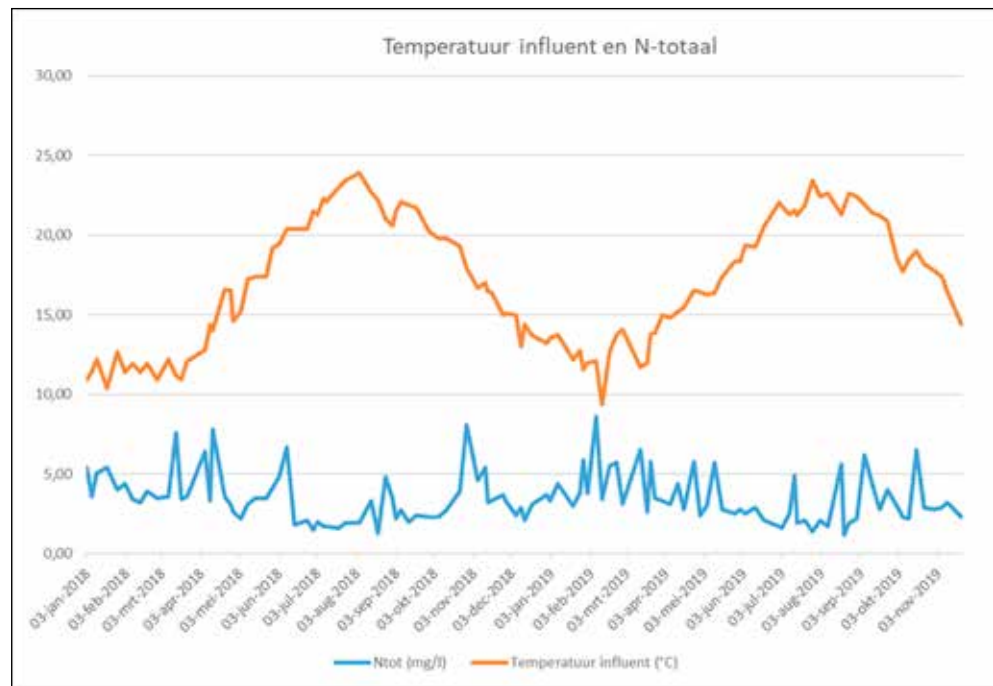
In figuur 6.2 ziet u de invloed van de influenttemperatuur op het stikstofgehalte in het effluent van rwzi Oijen in 2018 (en een groot deel van 2019).

Het stikstofgehalte is deels afhankelijk van de afvalwatertemperatuur. Daarnaast zijn er andere oorzaken die pieken geven in het stikstofgehalte. Vaak blijkt een grotere hemelwateraanvoer de oorzaak. Mogelijk zijn ook andere oorzaken aan te wijzen in het zuiveringsproces.

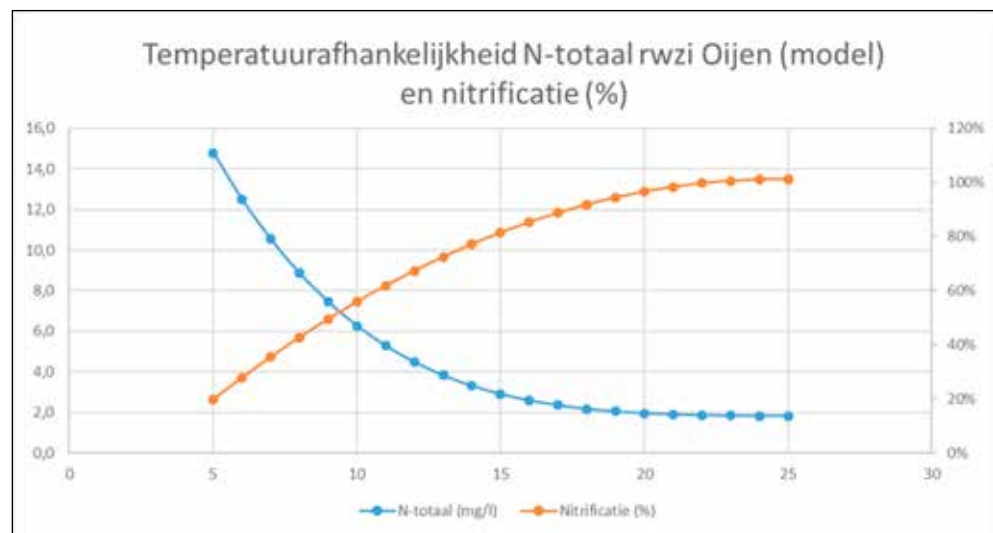
De stikstofverwijdering in het afvalwater is afhankelijk van de nitrificatie (zie hoofdstuk 3IF). Deze afhankelijkheid is beschreven in een modelfunctie die is afgeleid uit de praktijkdata van de rwzi Oijen (zie figuur 6.3).

<sup>1</sup> Details over de BENG-norm vindt u op de RVO-site BENG-energieprestatie 2020 ([www.rvo.nl](http://www.rvo.nl)).

**Figuur 6.2**  
De influenttemperatuur (oranje lijn) en het gemeten stikstofgehalte in het effluent (blauwe lijn)  
(Bron: waterschap Aa en Maas 2019)



**Figuur 6.3** Afhankelijkheid stikstof van de nitrificatie voor rwzi Oijen (Bron:Syntraal)

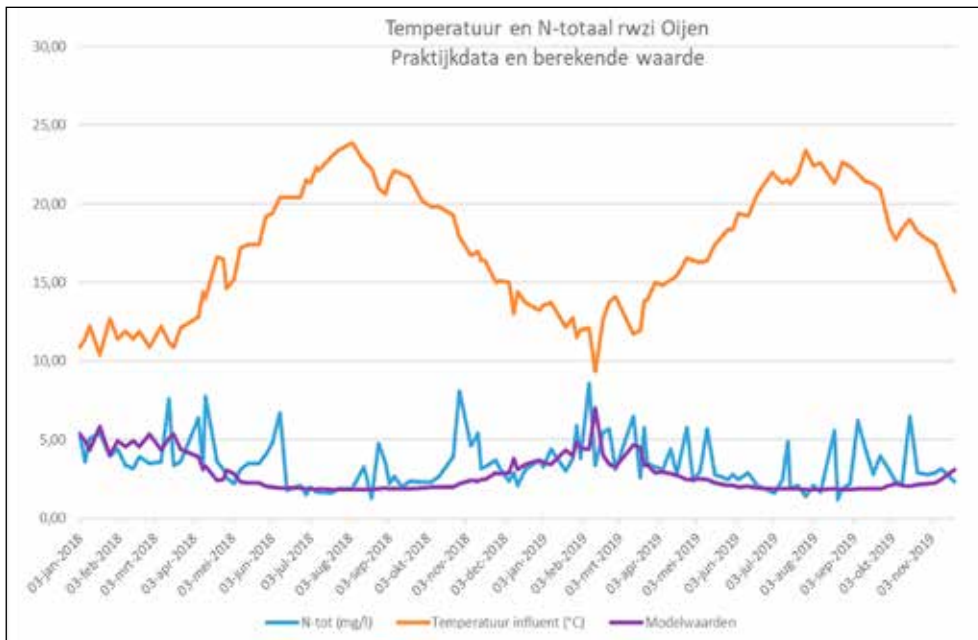


In figuur 6.3 ziet u in welke mate het stikstofgehalte (N-totaal) in het effluent afhankelijk is van de influenttemperatuur (blauwe lijn) bij rwzi Oijen. Daarnaast laat de figuur de nitrificatie (%) zien in relatie tot de influenttemperatuur (oranje lijn).

De in figuur 6.3 gegeven afhankelijkheid is om te zetten in een model die het stikstofgehalte (N-totaal) bij elke temperatuur kan berekenen. Als we de praktijktemperatuur van de rwzi Oijen in het model invoeren, dan berekent het model daaruit het stikstofgehalte. In figuur 6.4 hebben we het berekende stikstofgehalte (paarse lijn) uitgezet tegenover het in de praktijk gemeten stikstofgehalte (blauwe lijn).

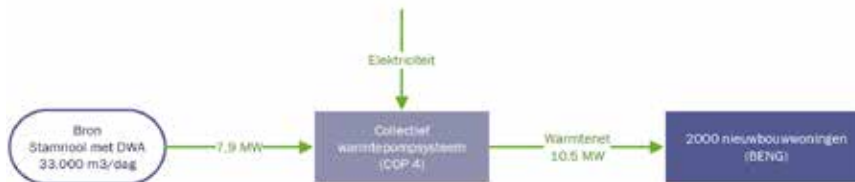
In figuur 6.4 is goed te zien dat de afhankelijkheid van de influenttemperatuur niet de enige afhankelijkheid is voor het gehalte N-totaal. Het debiet van het influent is ook bepalend voor het stikstofgehalte in het effluent. De pieken in de blauwe lijn (praktijkwaarden stikstofgehalte) laten zien dat het stikstofgehalte vooral bij hogere influentdebieten (regenafvoer) hoger uitkomt. Maar om inzicht te krijgen in de effecten van een temperatuurdaling, is alleen de afhankelijkheid van de influenttemperatuur bepalend voor het stikstofgehalte in het effluent. Deze afhankelijkheid hebben we gebruikt om het effect op het gehalte N-totaal te bepalen voor de casus van 2.000 woningen.





**Figuur 6.4** Praktijkwaarden N-totaal (blauw) ten opzichte van de berekende waarden (modelwaarden, paarse lijn) voor rwzi Oijen (Bron: Syntraal)

In de voorbeeldcasus worden 2.000 BENG-nieuwbouwwoningen volgens het vereenvoudigde schema in figuur 6.5 verwarmd.



**Figuur 6.5** Verwarmingsschema 2.000 BENG-nieuwbouwwoningen (Bron: Syntraal)

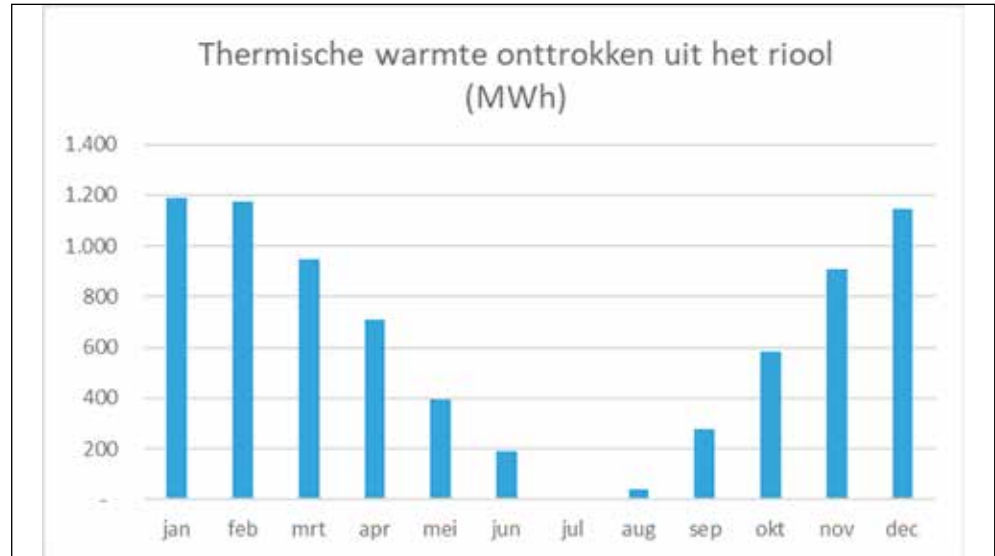
Om 2.000 nieuwbouwwoningen te kunnen verwarmen, is een warmtecapaciteit van 10,5 MW (megawatt) nodig. (Hierin hebben we de gelijktijdigheidsfactor en het warmteverlies van het warmtenetwerk niet meegenomen, omdat deze twee factoren elkaar min of meer opheffen en het hier gaat om een vereenvoudigd model.) Een warmtevraag van 10,5 MW betekent een gevraagd thermisch vermogen uit de bron van 7,9 MW, aangenomen dat de warmtepomp een COP (coefficient of performance) van 4 heeft (standaardwaarde voor een efficiënte warmtepomp). De 7,9 MW is een piekvermogen, dus als een warmtepomp op volle toeren (‘vollast’) draait. Volgens het schema in tabel 6.1 zijn voor een BENG-woning per jaar gemiddeld 959 vollasturen nodig.

Maand	Vollasturen	Vollasturen (%)
jan	151	16%
feb	149	16%
mrt	120	13%
apr	90	9%
mei	50	5%
jun	24	3%
jul	1	0%
aug	5	1%
sep	35	4%
okt	74	8%
nov	115	12%
dec	145	15%
<b>Totaal</b>	<b>959</b>	

**Tabel 6.1** Gemiddeld aantal vollasturen voor een BENG-woning (Bron: Indicatietabel warmtepomp RVO, [www.warmtepompweetjes.nl](http://www.warmtepompweetjes.nl))

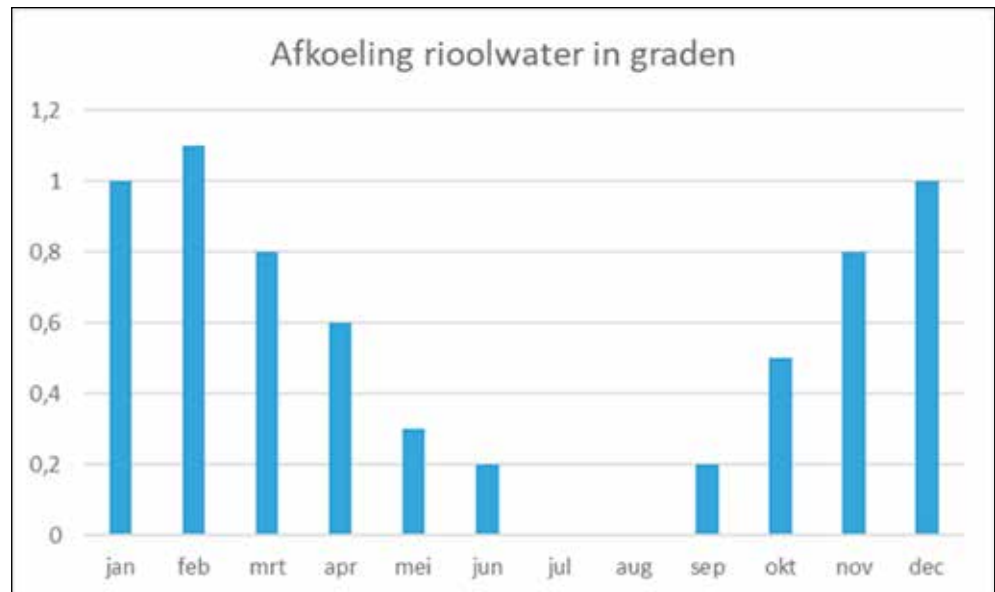
Jaarlijks wordt voor de 2.000 nieuwbouwwoningen 10.000 MWh aan warmte opgewekt, dat is gelijk aan 1.147.000 m<sup>3</sup> aardgasequivalenten. Het riothermiesysteem onttrekt jaarlijks 7.556 MWh uit het riool, in figuur 6.6 ziet u de energiewinning per maand.

**Figuur 6.6** De warmteonttrekking uit het riool voor 2.000 nieuwbouwwoningen per maand (Bron: Syntraal)



Voor het riool betekent dit dat het riothermiesysteem in januari 4,9 uur per dag verdeeld over 20 uur op volledig vermogen draait. Ervan uitgaand dat de 33.000 m<sup>3</sup>/dag in 20 uur door het riool stroomt, staat het riool 4 uur per dag droog. Tijdens een vollastuur onttrekt het riothermiesysteem uit 33.000 m<sup>3</sup>/dag dwa 4,1 graden Celsius. Van de 20 uur per dag onttrekt de warmtepomp in januari 4,9 uur een temperatuur van 4,1 graden Celsius. Dit betekent dat in januari gemiddeld over één dag de temperatuur van het rioolwater 1 graad Celsius afkoelt. Figuur 6.7 geeft de afkoeling voor alle maanden weer.

**Figuur 6.7** Afkoeling rioolwater in graden Celsius aan de hand van de vollasturen per dag (Bron: Syntraal)

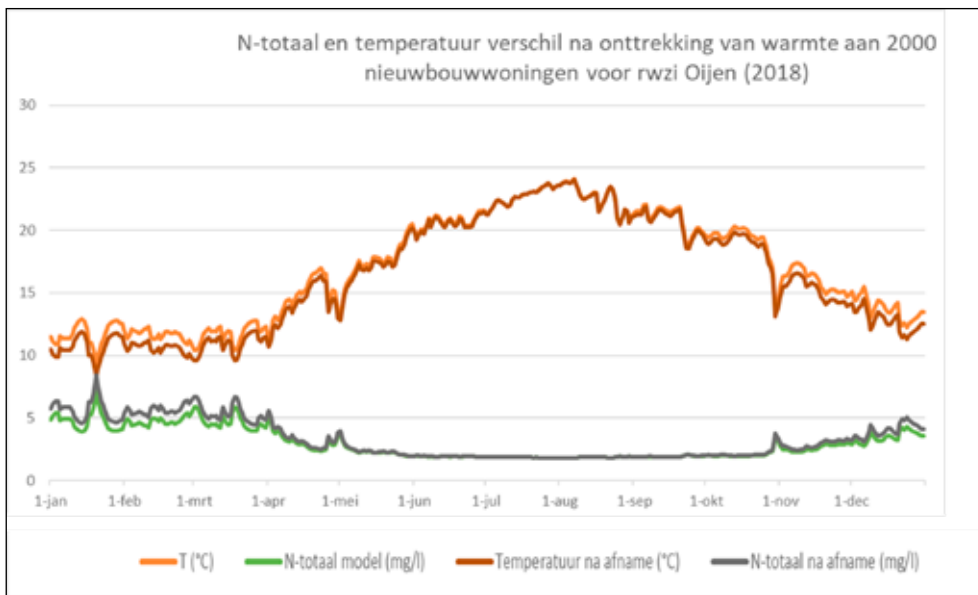


#### Worstcasescenarioberekening

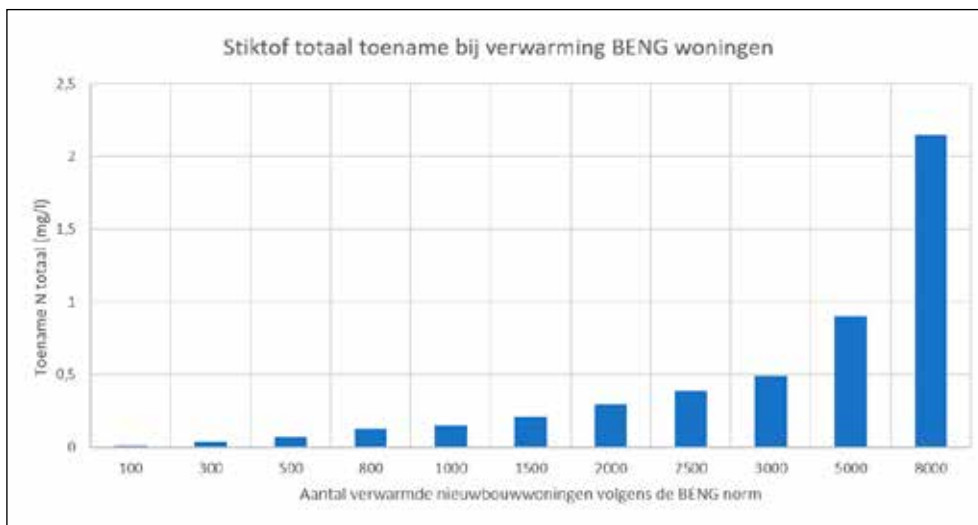
Het rioolwater warmt in het laatste deel van het riool beperkt op nadat het is afgekoeld (zie hoofdstuk 5). Voor deze casus zijn we ervan uitgegaan dat het rioolwater niet opwarmt tot aan de rwzi. Daarmee berekenen we dus een zogenaamd worstcasescenario.

Figuur 6.8 geeft het verschil in influenttemperatuur en N-totaal weer zonder en met warmtelevering aan 2.000 nieuwbouwwoningen. Te zien is dat het stikstofgehalte in beide gevallen in de winter iets toeneemt doordat de influenttemperatuur daalt. Over een jaar is het totale stikstofgehalte met warmtelevering gemiddeld toegenomen van 2,95 mg/l naar 3,26 mg/l. Dat is een relatieve toename van 0,3 mg/l.

Figuur 6.9 zet het aantal BENG-nieuwbouwwoningen af tegen de toename van het stikstofgehalte in het rwzi-effluent.



**Figuur 6.8**  
Influenttemperatuur en N-totaal zonder en met verwarming van 2.000 nieuwbouwwoningen (Bron: Syntraal)



**Figuur 6.9** Toename N-totaal in het effluent per aantal nieuwbouwwoningen die worden verwarmd met het influent (Bron: Syntraal)

Tot de verwarming van 3.000 nieuwbouwwoningen is de stikstoftoename in het effluent nog geen 0,5 mg/l. Voor een gemeente als Oss met circa 40.000 huishoudens is dit bijna 8% van de woningvoorraad. Hierbij is het effect van opwarming door de bodem in het riooldeel naar de zuivering weggelaten.

## 6.2 Conclusies

Uit de analyse blijkt dat nieuwbouwwoningen een beperkte warmtevraag hebben en dat de warmte in relatief korte tijd wordt opgewekt (4,9 vollasturen verdeeld over 20 uur). In de overige uren koelt het rioolwater niet of nauwelijks af. Hierdoor is de gemiddelde temperaturdaling op de zuivering veel minder groot dan bij een continu volledige capaciteit (20 vollasturen). Als een rwzi gemiddeld goed draait, is het gevolg van de verwarming van 2.000 nieuwbouwwoningen beperkt. Het gehalte N-totaal in het rwzi-effluent stijgt over een jaar genomen met 0,3 mg/l. Dat is het worstcasescenario, waarbij we ervan zijn uitgegaan dat de afvalwatertemperatuur niet meer stijgt nadat deze na de warmteonttrekking is gedaald.

De voorzichtige conclusie is dus dat rwzi Oijen beperkte gevolgen ondervindt van de stikstoftoename in het effluent als thermische warmte uit het afvalwater in het laatste deel van het riool wordt gebruikt voor 2.000 nieuwbouwwoningen.

Ten opzichte van de warmtevraag van het aantal nieuwbouwwoningen is de toename van het stikstofgehalte beperkt. Of deze toename aanvaardbaar is en in welke mate een toename aanvaardbaar is, is onderwerp van discussie. We hebben de casus toegepast voor één rwzi en deze is dus niet representatief voor alle rwzi's in Nederland. Elke rwzi heeft een eigen capaciteit en optimalisatie ten opzichte van de stikstofverwijdering. Uiteindelijk moet vervolgonderzoek uitwijzen wat een aanvaardbare warmteonttrekking voor een rwzi is, waarbij gekeken wordt naar het gemiddelde N-totaal per jaar en het dwa-debiet.

## 7 Conclusies

De voorlopige eindconclusie is dat het winnen van thermische energie uit het rioolstelsel invloed heeft op de influenttemperatuur bij de rwzi. Hoe groot de invloed van riothermie op de zuivering precies is, hangt af van veel factoren. Meerdere daarvan liggen in het beheergebied van de gemeente, zoals de diepteligging van het riool, de stroomsnelheid van het afvalwater en het materiaal van de rioolbuis. Dus om het enorme potentieel aan riothermie te kunnen benutten, moeten waterschappen en gemeenten samen optrekken. Een afname van de influenttemperatuur zorgt voor een kleine stijging van het stikstofgehalte in het rwzi-effluent. Uiteindelijk is het stikstofgehalte in het effluent de belangrijkste parameter voor de werking van de zuivering en niet de influenttemperatuur.

### Literatuuronderzoek

De belangrijkste conclusies uit het literatuuronderzoek zijn:

- De influenttemperatuur heeft een directe relatie met de gemiddelde buitenluchttemperatuur.
- In het laatste deel van het rioolstelsel, dat het verzamelde afvalwater transporteert naar de zuivering en in beheer is bij het waterschap, is het temperatuurverloop minimaal. Met andere woorden, daar is de invloed van de omgeving minimaal. Dit is ook het gedeelte waarbij het economisch het meest interessant is om warmte te winnen.
- De influenttemperatuur heeft invloed op het nitrificatieproces op de zuivering en daarmee op het gehalte N-totaal in het rwzi-effluent.
- De influenttemperatuur heeft geen directe invloed op het energieverbruik van de zuivering.

### Praktijkmetingen

De praktijkmetingen hebben nog te weinig data opgeleverd voor een gegronde conclusie. Wel is te zien – vooral in de casus van Wezep – dat de afvalwatertemperatuur in zandgrond weinig invloed ondervindt van de bodemtemperatuur.

### Modelberekeningen

De modelberekeningen hebben inzicht gegeven in de belangrijkste factoren die invloed hebben op het temperatuurverloop in het riool als op een bepaald punt warmte wordt onttrokken. Het afvalwater heeft na de afkoeling tijd nodig om weer tot de begintemperatuur te komen. De tijd is uit te drukken in afstand tot een rwzi. De parameters die invloed hebben op de snelheid waarmee het afvalwater opwarmt en zich weer kan herstellen, zijn:

- Het contactoppervlak van het afvalwater met de bodem. Een groter contactoppervlak zorgt voor een betere warmteoverdracht. Het verschil in contactoppervlak bepaalt vooral het verschil in opwarming tussen een persriool en vrijvervalleiding. Bij eenzelfde volumestroom heeft afvalwater in een persriool een groter contactoppervlak met de bodem dan in een vrijvervalriool.
- Het materiaal van de rioolbuis. Het materiaal en de dikte van de rioolbuis bepalen mede de warmteoverdracht.
- De stroomsnelheid van het afvalwater. De stroomsnelheid bepaalt de tijd waarin het afvalwater zich in het riool bevindt en daarmee de tijd waarin het zich kan opwarmen. Daarnaast bepaalt de stroomsnelheid de turbulentie van het afvalwater (laminair of turbulent). Turbulentie bepaalt ook in hoeverre het afvalwater warmte overdraagt aan de omgeving. Overigens is de stroming van afvalwater gemiddeld bijna altijd een turbulente stroming.
- De bodemsamenstelling. De bodemsamenstelling bepaalt de warmteoverdracht van de bodem naar het afvalwater. Droog zand heeft een lage geleidingscoëfficiënt en is daarmee een goede isolator. Als de rioolbuis in het grondwater ligt, is de warmtegeleiding ruim zes keer hoger en zal de temperatuur sneller oplopen.
- De bodemtemperatuur. De bodemtemperatuur is afhankelijk van de buitentemperatuur en de diepteligging van de buis in de bodem. Voor elke bodemsamenstelling is een temperatuurgradiënt te bepalen.
- Neerslag. Hiermee is in het model geen rekening gehouden. Neerslag is onvoorspelbaar, maar heeft wel invloed op zowel de afvalwaterstroom (volume) als de bodem.

- Bijmenging van stromen. Bij het bijmengen van stromen veranderen temperatuur, volume en stroomsnelheid van het afvalwater en daarmee de warmteoverdracht. Ook hiermee is in het model geen rekening gehouden.

### Gevoeligheidsanalyse zuivering

Nieuwbouwwoningen hebben een beperkte warmtevraag en de warmte wordt in relatief korte tijd opgewekt (4,9 vollasturen per dag, verdeeld over 20 uur). In de overige uren koelt het rioolwater niet of nauwelijks af. Hierdoor is de gemiddelde temperatuuurdaling van het influent bij de zuivering veel minder groot dan bij een continu volledige capaciteit (20 vollasturen). Als een rwzi gemiddeld goed draait, is het gevolg van de verwarming van 2.000 nieuwbouwwoningen beperkt. Het gehalte N-totaal in het effluent stijgt over een jaar genomen met 0,3 mg/l. Daarbij is uitgegaan van een worstcasescenario, waarbij de afvalwatertemperatuur niet meer stijgt nadat deze na de warmteonttrekking is gedaald.

Ten opzichte van de warmtevraag van het aantal nieuwbouwwoningen is de toename van het stikstofgehalte in het rwzi-effluent beperkt. Of deze toename aanvaardbaar is en in welke mate een toename aanvaardbaar is, is onderwerp van discussie. De casus is toegepast voor één rwzi en dus niet representatief voor alle rwzi's in Nederland. Elke rwzi heeft een eigen capaciteit en optimalisatie ten opzichte van de stikstofverwijdering.



## 8 Aanbevelingen

### Rekenmodel

Om het rekenmodel betrouwbaarder te maken, moet het gevalideerd worden met meer praktijkdata. De komende tijd moeten meer gegevens worden verzameld van de huidige én nieuwe aan te leggen riothermiesystemen.

Als het rekenmodel betrouwbaar genoeg is, moet het vereenvoudigd worden naar een matrix die de gevoeligheid per parameter weergeeft. Deze matrix kunnen de waterschappen gebruiken om per project een eerste indruk te krijgen van de effecten op de influenttemperatuur op de rwzi.

### Informatie over efficiëntie van systemen

In Europa zijn al langere tijd riothermiesystemen operationeel, de resultaten hiervan worden nauwelijks gedeeld en/of er wordt niet gemonitord. Hierdoor is over de efficiëntie van een rioolwarmtewisselaar weinig bekend, terwijl die informatie zowel in de voorbereiding op de aanleg als tijdens de warmtewinning zelf essentieel is. Het is dus belangrijk dat meer informatie over de efficiëntie van rioolwarmtewisselaars wordt verzameld.

Bij elk riothermiesysteem zou monitoring moeten plaatsvinden. Hierdoor ontstaat inzicht in het temperatuurverloop van het afvalwater en de efficiëntie van de rioolwarmtewisselaar.

### Betrokkenheid waterschappen

Waterschappen moeten te allen tijde betrokken blijven bij projecten waarbij warmte wordt gewonnen uit vooral het laatste gedeelte van het gemeentelijk riool.

Om een beter beeld te krijgen van de gevolgen voor het stikstofgehalte (N-totaal) bij het zuiveringsproces door een lagere effluenttemperatuur, moeten meer voorbeeld-rwzi's worden uitgewerkt.

### Riothermie en de energietransitie

De warmte uit het riool is een heel constante en directe warmtebron, die uitstekend past in de energietransitie waarvoor Nederland staat. Per project moeten waterschappen en gemeenten een afweging maken in de voor- en nadelen van riothermie voor het maatschappelijk belang.

## 9 Definities, begrippen en afkortingen

### A

#### Afvalwater

Al het water waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen. *(Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2019a)*

#### Afvalwaterketen

De weg die het afvalwater aflegt, van de lozing tot en met het zuiveringsproces op de rwzi.

#### Aquathermie

Winnen van thermische energie uit water. De energie kan afkomstig zijn uit drie soorten waterbronnen: oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED).

*(Drinkwaterplatform, 2018)*

### B

#### Beluchtingsenergie

De energie die nodig is om zuurstof aan het zuiveringsproces van een rwzi toe te voegen.

#### Biofilm

Biologische aanslag op een oppervlakte.

#### Bypass

Een omleiding, in dit onderzoek een omleiding van een rioolleiding.

### C

#### Clamp-on-meter

Een meter die als het ware om een rioolbuis wordt geklemd en zo de temperatuur van het afvalwater in de buis kan meten.

#### Computational Fluid Dynamics-model (CFD-model)

Een rekenmodel dat een simulatie maakt van het temperatuurverloop van het afvalwater over een bepaalde afstand.

#### Corrosie

De vorming van roest.

### D

#### Debiet

De hoeveelheid water die een bepaald punt per tijdseenheid passeert. *(Ensie, 2019a)*

#### Diffusie

Diffusie is het proces waarbij opgeloste stoffen in een waterig milieu zich verplaatsen (diffunderen) van een gebied met een hoge concentratie opgeloste stoffen naar een gebied met een lage concentratie opgeloste stoffen. *(Biologielessen, 2019)*

#### Diver

Een meetapparaat dat in een peilbuis of riool de afvalwatertemperatuur en de waterhoogte kan meten.

#### Dimensioneren

Het afstellen van de rioolwarmtewisselaar of warmtepomp van een riothermiesysteem op basis van de technische informatie van de leverancier.

### E

#### Effluent

Het schone water dat overblijft na het zuiveringsproces op een rwzi.

*(Waterschap De Dommel, 2019)*

## I

### Influent

Het afvalwater dat bij een rwzi terecht komt om gezuiverd te worden. (Aquafin, 2019)

## N

### Nitrificatie

Het proces waarbij ammonium wordt omgezet in nitraat. (Microbiologie, 2019)

### Nitrificeerders

Bacteriën die een belangrijke rol spelen in de biologische waterzuivering, de bacteriën zetten ammonium om in nitraat. (Microbiologie, 2019)

## O

### Omgevingswarmtebronnen

Alle bronnen die warmte bevatten in de omgeving, zoals het riool, de bodem, het oppervlaktewater en het asfalt op de weg. (Syntraal, 2018)

## R

### Rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi)

Een rwzi zuivert het afvalwater van onder andere bewoners en bedrijven uit een of meerdere gemeente(n). (Noorderzijlvest, 2019)

### Riothermie

Warmte en/of koude (terug)winnen uit het afvalwater in het riool en uit de omliggende bodem en de (terug)gewonnen thermische energie hergebruiken voor verwarming en/of koeling en/of warm tapwater. (Arnhem, Riothermie, 2016)

### Riothermiesysteem

Systeem om thermische energie uit de riolering terug te winnen. Het riothermiesysteem bestaat uit allerlei installaties die ervoor zorgen dat een object uiteindelijk verwarmd of gekoeld kan worden, of dat warm tapwater kan worden gemaakt. (Bies, 2016)

## T

### Temperatuur rioolwarmtewisselaar in

Temperatuur van het afvalwater direct vóór de rioolwarmtewisselaar.

### Temperatuur rioolwarmtewisselaar uit

Temperatuur van het afvalwater direct na de rioolwarmtewisselaar.

## W

### Winterperiode

De winterperiode loopt volgens de astronomische kalender van 21 december tot en met 21 maart. Dit is de kalender die wordt aangehouden in dit onderzoek. Dit is ook de koudste periode in een jaar. (KNMI, 2019)

## Z

### Zuiveringsproces

Met het zuiveringsproces wordt het zuiveren van afvalwater op de rwzi bedoeld. (Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2019b)

## Afkortingen

bvo	Brutovloeroppervlak
CFD-model	Computational Fluid Dynamics-model
m-mv	Meter beneden maaiveld
rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
SPF	Seasonal Performance Factor
STEVAL	Simulatiemodel thermisch verloop afvalwater
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
WKO	Warmte- en koudeopslag
wtw	Rioolwarmtewisselaar

# 10 Literatuur

- 10 voor biologie. (2019, juni 5). *Bladafbraak*. Opgehaald van 10 voor biologie: <https://www.10voorbiologie.nl/index.php?cat=3&id=632>
- Alurvs. (2019, maart 18). 554. Opgehaald van Alurvs: <https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/554/>
- Aqua info. (2019, juni 5). *Ammoniak naar nitriet = nitrificatie*. Opgehaald van Aquainfo: <https://www.aquainfo.nl/ammoniak-naar-nitriet-nitrificatie/>
- Aquafin. (2019, februari 7). *Influent*. Opgehaald van Aquafin: <https://www.aquafin.be/nl-be/wat-doen-we/influent>
- Arnhem, H. v. (2016). *Riothermie*. Frank.
- Arnhem, H. v. (2016). *Riothermie*. Frank GmbH.
- Bies, A. (2016, januari 11). *Riothermiesysteem in Urk wint warmte terug uit riolering*. Opgehaald van Duurzaam bedrijfsleven: <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/11887/riothermiesysteem-in-urk-wint-warmte-terug-uit-riolering>
- Biologielessen. (2019, april 16). *Diffusie*. Opgehaald van Biologielessen: <https://biologielessen.nl/index.php/dna-3/787-diffusie>
- Bloemendal, M., Moerman, A., Hofman, J., Blokker, M., & Agudelo-Vera, C. (2015). *Terugwinnen energie uit leidingen*. Nieuwegein: BTO/ KWR.
- Brandenburger. (2019, maart 18). *Downloads flyer BBheatliner*. Opgehaald van Brandenburger-liner: <https://www.brandenburger-liner.com/de/downloads-infos/downloads/>
- Brandenburger liner. (2019, maart 21). *Eigenschappen*. Opgehaald van Branderburger-liner: <https://www.brandenburger-liner.com/de/produkte-leistungen/bb-heatliner/eigenschappen/>
- Brauw, H. d. (2011). *Quick scan Riothermie*. Amsterdam: TAUW.
- Buunen, Clevering-Loeffen, Leusden, V., Opijnen, V., & Wiegant. (2017). *Handboek stikstof- en fosfaatverwijdering uit communaal afvalwater op RWZI's*. Amersfoort: Stowa.
- Compendium voor de Leefomgeving. (2019, april 16). *Oppervlaktewater in Nederland*. Opgehaald van CLO: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1401-oppervlaktewater-in-nederland>
- Cornelis, E., & Van Esch, L. (2014). *Opmaak kanskaart riothermie voor Antwerpen*. Mol: VITO NV.
- Drinkwaterplatform. (2018, november 25). *Aquathermie: warmte uit water*. Opgehaald van Drinkwaterplatform: <https://www.drinkwaterplatform.nl/aquathermie-warmte-uit-water/>
- Eco-Logisch. (2019, maart 7). *Kennisbank Milieu en Duurzaamheid*. Opgehaald van Eco-Logisch: <https://www.eco-logisch.nl/kennisbank-Milieu-en-duurzaamheid-246>
- Ensie. (2019, februari 18). *Hoogheemraadschap van Rijnland debiet*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/hoogheemraadschap-van-rijnland/debiet>
- Ensie. (2019a, februari 18). *Hoogheemraadschap van Rijnland debiet*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/hoogheemraadschap-van-rijnland/debiet>
- Ensie. (2019b, maart 26). *Empirisch onderzoek*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/redactie-ensie/empirisch-onderzoek>
- Frank gmbh. (2019, maart 14). *PKS-Profilkanalrohrsystem*. Opgehaald van Frank gmbh: <https://www.frank-gmbh.de/nl/Produktgruppen/Abwasser-Umwelt/PKS-Profilkanalrohrsystem.php>
- Ik leef groen. (2019, maart 12). *Warmtewisselaar*. Opgehaald van Ik leef groen: [www.ikleefgroen.nl/verwarming/warmtewisselaar/](http://www.ikleefgroen.nl/verwarming/warmtewisselaar/)
- Klimaatakkoord. (2019, februari 7). *Over het klimaatakkoord*. Opgehaald van Klimaatakkoord: <https://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord>
- Kluck, J., Van den Bulk, J., Flameling, T., & De Brauw, H. (2011). *Thermische energie uit afvalwater in Zwolle*. Amersfoort: STOWA.
- KNMI. (2011). *Handboek Waarnemingen; 11. Bodemtemperatuur*. KNMI.
- KNMI. (2019, februari 14). *Uitleg winter*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/winter>
- Loosdrecht, M. v. (2019, juni 6). *Fosfaat van verwijdering naar terugwinning*. Opgehaald van Nemo Kennislink: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/fosfaat-van-verwijdering-naar-terugwinning/>
- Lorenz Puff. (2019, maart 14). *Rabtherm*. Opgehaald van Lorenz-puff: <https://www.lorenz-puff.com/rabtherm.html>
- Meddeler, B. (2019). *Riothermie kanskaart gemeente Haarlem (R001-1320619DDE-V01-ygl-NL)*. Deventer: Syntraal.

- Microbiologie. (2019, februari 18). *Kweekomstandigheden*. Opgehaald van Microbiologie: <http://www.microbiologie.info/Kweekomstandigheden.html>
- Milieufocus, J. v. (2008, november 18). *Kristallisatie*. Opgehaald van Milieufocus: <http://www.milieufocus.nl/factsheets/k/kristallisatie.html>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Handboek Immissietoets 2016*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ministerie van Landbouw, de Gasunie, TNO, overheden, bedrijven en kennisinstellingen. (2009). *De Bosatlas van Ondergronds Nederland*. Noordhoff.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2004). *CIW Beoordelingssystematiek warmtelozingen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Noorderzijvest. (2019, februari 14). *RWZI Garmerwolde*. Opgehaald van Noorderzijvest: <https://www.noorderzijvest.nl/ons-werk/beheer-onderhoud/beheer-bouwwerken/rioolwaterzuivering/rwzi-garmerwolde/>
- PCA Water treatment. (2019, februari 18). *Nitrificatie en denitrificatie*. Opgehaald van PCA water: <https://pcawater.com/nl/technologieen/biologische-waterbehandeling/nitrificatie-en-denitrificatie>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015, juli). *Best Practice Selectie en conditiebewaking warmtewisselaars*. Opgehaald van RVO: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/07/Best%20Practic%20Selectie%20en%20conditiebewaking%20warmtewisselaars.pdf>
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2019, februari 14). *Wet Milieubeheer begrippen*. Opgehaald van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/wet-milieubeheer/begrippen-wm/#hb6b3bd7c-ccc9-47e8-abb-70f7a93f015a>
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2019a, februari 14). *Wet Milieubeheer begrippen*. Opgehaald van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/wet-milieubeheer/begrippen-wm/#hb6b3bd7c-ccc9-47e8-abb-70f7a93f015a>
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2019, februari 14). *Wanneer zijn rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) vergunningplichtig?* Opgehaald van InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/toelichting-bor/vergunningplicht/industrie/bijlage-bor/wanneer-rwzi/>
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2019b, februari 14). *Wanneer zijn rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) vergunningplichtig?* Opgehaald van InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/toelichting-bor/vergunningplicht/industrie/bijlage-bor/wanneer-rwzi/>
- Sukkar, R., Palsma, B., & Boswinkel, A. (2011). Een verkenning van de warmtehuishouding in de afvalwaterketen. *H2O*, pp. 12-14.
- Syntraal. (2018, oktober 10). *Omgevingswarmte BV*. Opgehaald van Syntraal: <https://www.syntraal.nl/over-syntraal/samenwerkingsverbanden/omgevingswarmte-bv/>
- TAUW. (2018, oktober 2). *Projecten TEA viewer*. Opgehaald van STOWA: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PROJECTEN/Projecten%202018/449005%20TEA/TEA%20viewer%20v2.pdf>
- Tessel, P., & Pijl, P. v. (2006). *Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in RWZI's*. Utrecht: STOWA.
- Tessel, P., & Van der Pijl, P. (2006). *Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in RWZI's*. Utrecht: STOWA.
- Thermische Installaties. (2019, maart 21). *T.I. Deel 4 Bevuiling van warmtewisselaars*. Opgehaald van T.I. Deel 4 : <https://users.ugent.be/~mdpeape/Thermisch%20Installaties/T.I.Deel1H4.pdf>
- Uhrig. (2019, maart 14). *References-information*. Opgehaald van Uhrig-bau: <https://www.uhrigbau.eu/en/energy-from-wastewater/references-information/>
- Van Dale. (2019, februari 18). *Betekenis empirisch*. Opgehaald van Van Dale: <https://www.van-dale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/empirisch#.XGp5S0xFzZk>
- Vlaamse overheid. (2019, april 16). *Over CIW*. Opgehaald van Integraal waterbeleid: <http://www.integraalwaterbeleid.be/nl/over-ciw>
- VNG. (2019, februari 14). *Begrip Duurzaam*. Opgehaald van Juridisch woordenboek: <https://www.juridischwoordenboek.nl/zoek/duurzaam>
- Wanner, O. (2006, juli). Eawag news. *Biofilms*, pp. 31-32.
- Wastewater connect. (2019, februari 7). *The Effects of Temperature in Biological Nutrient*



*Reduction of Wastewater.* Opgehaald van Wastewater Connect: <http://wastewaterconnect.co.za/wastewater-info-hub-entry?id=15>

Waterschap De Dommel. (2019, maart 7). *Woordenlijst Waterschap De Dommel.* Opgehaald van Eyclo: <http://www.encyclo.nl/lokaal/10924>

Waterschap Noorderzijlvest. (2019, april 7). *Zuiveringsproces.* Opgehaald van Noorderzijlvest: <https://www.noorderzijlvest.nl/ons-werk/afvalwater-zuiveren/zuiveringsproces/>

Waterschap Zuiderzeeland. (2019, mei 16). *Eerste zwembad.* Opgehaald van Zuiderzeeland: <https://www.zuiderzeeland.nl/@25397/eerste-zwembad/>

# Bijlage 1 Influenttemperatuur rwzi Velsen en rwzi Tollenbeek

Deze bijlage gaat in op de influenttemperatuur van rwzi's Velsen en Tollenbeek vóór en na realisatie van een riothermiesysteem.

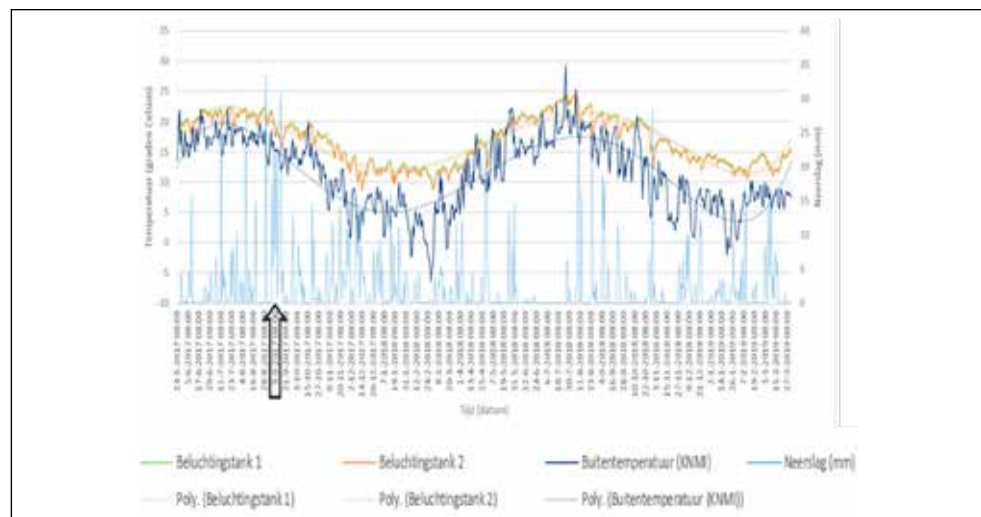
## B1.1 Influenttemperatuur van rwzi Velsen

Voor de influenttemperatuur van rwzi Velsen is de temperatuur van de beluchtingstank(s) gebruikt, omdat bij deze rwzi helaas geen meetgegevens over de influenttemperatuur beschikbaar zijn. In de beluchtingstank(s) wordt het influent gemengd met actief slib. Figuur B1.1 geeft de temperatuur in de beluchtingstanks weer van 24 mei 2017 tot en met 27 maart 2019, samen met de buitentemperatuur en neerslaggegevens van KNMI-station Wijk aan Zee. Beluchtingstank 2 komt in het zuiveringsproces na beluchtingstank 1, waardoor de temperatuur daar lager is. Alle waarden in figuur B1.1 zijn dagwaarden.

### Resultaten

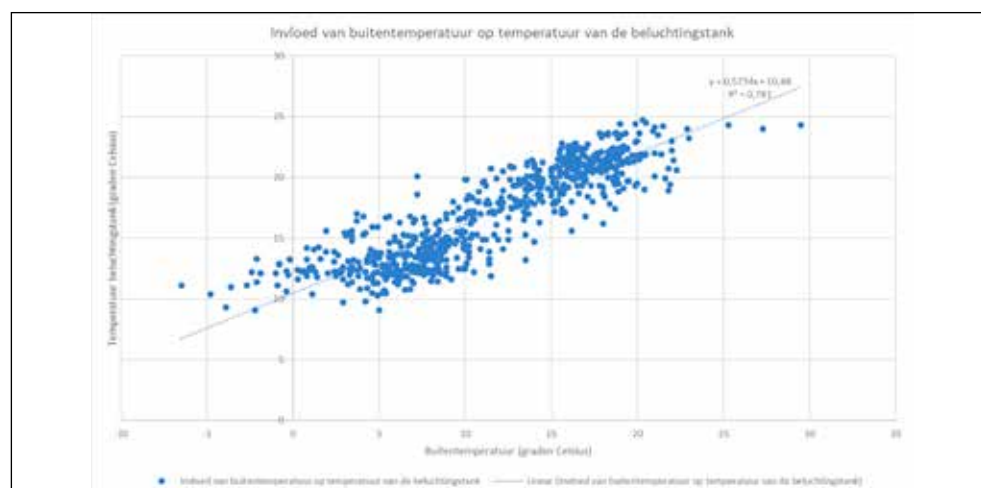
Het riothermiesysteem is sinds september 2017 operationeel (zie de pijl in figuur B1.1). De verwachting was dat vóór en na realisatie van het riothermiesysteem geen verschil in influenttemperatuur te zien zou zijn vanwege bijmenging en de invloed van de bodem. Over de periode september 2017 tot en met 27 maart 2019 is inderdaad geen verschil te zien in de temperatuur van de rwzi-beluchtingstank(s) vergeleken met de periode hiervoor. In de grafiek is zichtbaar dat de temperatuur van de beluchtingstank(s) de dynamiek volgt van de buitentemperatuur, weliswaar met een vertraging. De dynamiek van de beluchtingstank(s) is afgevlakt ten opzichte van de dynamiek van de buitentemperatuur.

**Figuur B1.1** Temperatuur beluchtingstank(s) van 24-05-2017 tot en met 27-03-2019, met de buitentemperatuur en neerslaggegevens van het KNMI-station Wijk aan Zee (Bron: Syntraal)

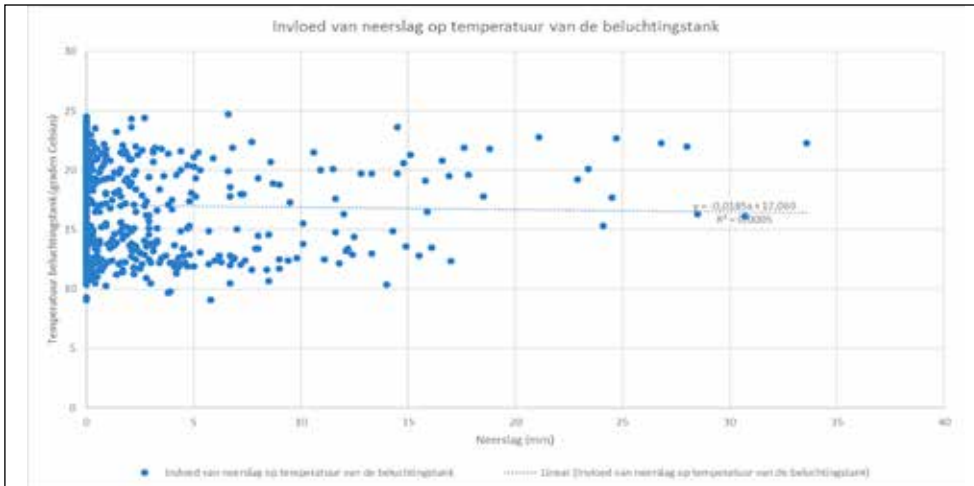


In figuur B1.2 is duidelijk een verband zichtbaar tussen de buitentemperatuur en de temperatuur van beluchtingstank 1. De buitentemperatuur heeft dus invloed op de temperatuur van de beluchtingstank.

**Figuur B1.2** Invloed buitentemperatuur op temperatuur beluchtingstank 1 (casus Vellesan College) (Bron: Syntraal)



In figuur B1.3 is geen verband zichtbaar tussen neerslag en de temperatuur van de beluchtingstank. De neerslag oefent dus niet direct invloed uit op de temperatuur van de beluchtingstank.



Figuur B1.3 Invloed neerslag op temperatuur beluchtingstank 1 (casus Vellesan College) (Bron: Syntraal)

Het gebruikte KNMI-station voor de casus Vellesan College is Wijk aan Zee, dit is het dichtstbijzijnde KNMI-station. Het KNMI beschikt in Nederland over meetstations die de temperatuur van de buitenlucht volautomatisch meten. In stedelijke gebieden ligt de buitenluchttemperatuur enkele graden boven de gemeten KNMI-temperatuur. Tabel B1.1 geeft de maximale en minimale temperaturen weer van rwzi Velsen van 24 mei 2017 tot en met 27 maart 2019, met hieraan gekoppeld de buitentemperatuur en hoeveelheid neerslag over dezelfde periode. De verwachting was dat bij een maximale buitentemperatuur ook de influenttemperatuur (in dit geval de temperatuur van de beluchtingstank) maximaal is. Dezelfde verwachting gold voor de minimale waarden. De maximale waarden (van beluchtingstank 1 en 2 en de buitentemperatuur) zijn inderdaad bereikt in dezelfde periode: begin augustus 2018. Hetzelfde geldt voor de minimale waarden: eind februari 2018.

Temperatuur/ neerslag	Beluchtingstank 1 (graden Celsius)	Beluchtingstank 2 (graden Celsius)	Buitemtemperatuur (graden Celsius)	Neerslag (mm)
Maximaal	24,7 (begin augustus 2018)	24,4 (begin augustus 2018)	29,5 (begin augustus 2018)	33,6 (eind augustus 2017)
Minimaal	9,1 (eind februari 2018)	8,6 (eind februari 2018)	-6,5 (eind februari 2018)	0

Tabel B1.1 Maximale en minimale waarden temperatuur/neerslag van rwzi Velsen

## B1.2 Influenttemperatuur van rwzi Tollebeek

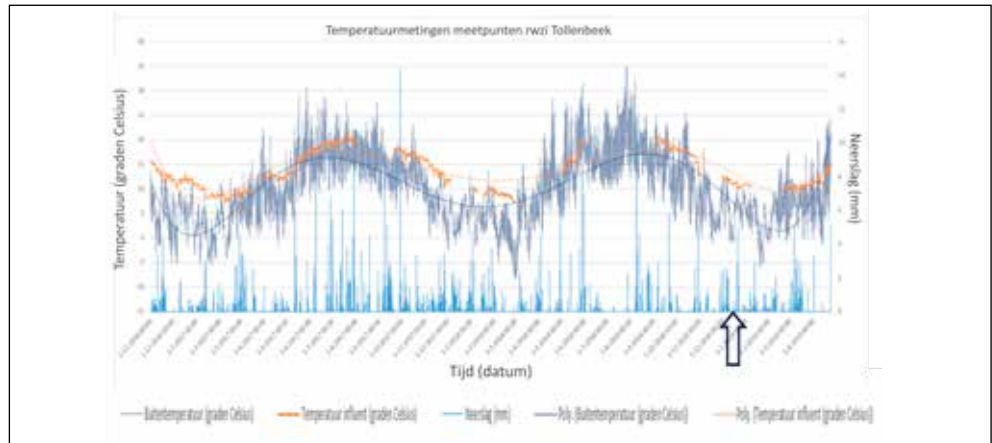
Het riothermiesysteem in Urk is sinds december 2018 operationeel (zie de pijl in figuur B1.4). De verwachting was dat vóór en na realisatie van het riothermiesysteem geen verschil in influenttemperatuur te zien zou zijn vanwege bijmenging en de invloed van de bodem. Figuur B1.4 geeft de influenttemperatuur weer van 1 november 2016 tot en met 1 april 2019, met de buitentemperatuur en neerslaggegevens gemiddeld van KNMI-stations Lelystad en Marknesse. Alle waarden zijn uurwaarden.

### Resultaten

In figuur B1.4 is zichtbaar dat de influenttemperatuur de dynamiek volgt van de buitentemperatuur, weliswaar met een vertraging. De dynamiek van het influent is afgevlakt ten opzichte van de dynamiek van de buitentemperatuur. De dynamiek van de influenttemperatuur volgt de seizoensdynamiek van de buitentemperatuur.

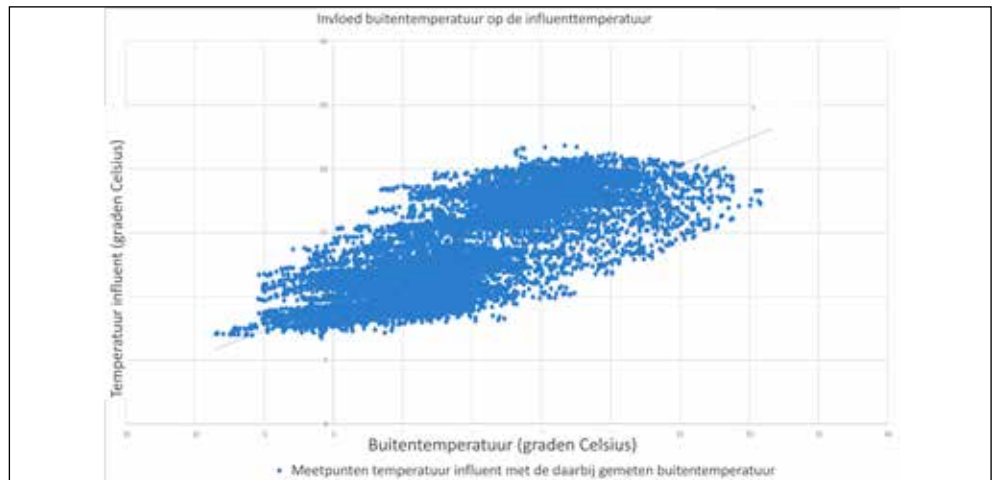
Voor de influenttemperatuur van rwzi Tollebeek over deze periode zijn data gebruikt die zijn aangeleverd in verschillende perioden. Helaas ontbreken gegevens, die ook niet zijn opgeslagen bij rwzi Tollebeek. Toch is geen duidelijk verschil zichtbaar in de influenttemperatuur vóór en na realisatie van het riothermiesysteem. Dit komt overeen met de verwachting.

**Figuur B1.4**  
**Influenttemperatuur van**  
**01-11-2016 tot en met 01-04-**  
**2019, met de**  
**buitentemperatuur en**  
**neerslaggegevens gemiddeld**  
**van KNMI-stations Lelystad en**  
**Marknesse (Bron: Syntraal)**



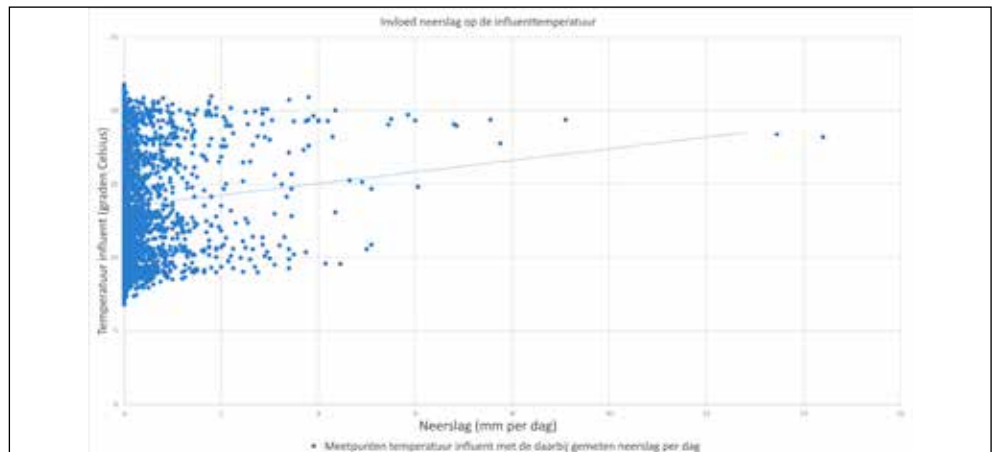
Figuur B1.5 geeft de invloed van de buitentemperatuur op de influenttemperatuur van rwzi Tollebeek weer. Hierin is een verband zichtbaar, maar geen direct verband door de spreiding van veel waarden.

**Figuur B1.5** Invloed  
 buitentemperatuur op  
 influenttemperatuur (casus  
 zwembad 't Bun)  
 (Bron: Syntraal)



In figuur B1.6 is geen verband zichtbaar tussen neerslag en de influenttemperatuur van rwzi Tollebeek. De neerslag oefent dus niet direct invloed uit op de influenttemperatuur.

**Figuur B1.6** Invloed neerslag  
 op influenttemperatuur (casus  
 zwembad 't Bun)  
 (Bron: Syntraal)



Tabel B1.2 geeft de maximale en minimale temperaturen weer van de rwzi van 1 november 2016 tot en met 1 april 2019, met hieraan gekoppeld de buitentemperatuur en hoeveelheid neerslag over dezelfde periode. De verwachting was dat bij een maximale buitentemperatuur ook de influenttemperatuur maximaal is. Dezelfde verwachting gold voor de minimale waarden. Voor beide geldt dat die verwachting niet uitkomt, zowel de maximale als de minimale waarden vallen niet in dezelfde periode.

**Tabel B1.2** Maximale en  
 minimale waarden  
 temperatuur/neerslag rwzi  
 Tollebeek

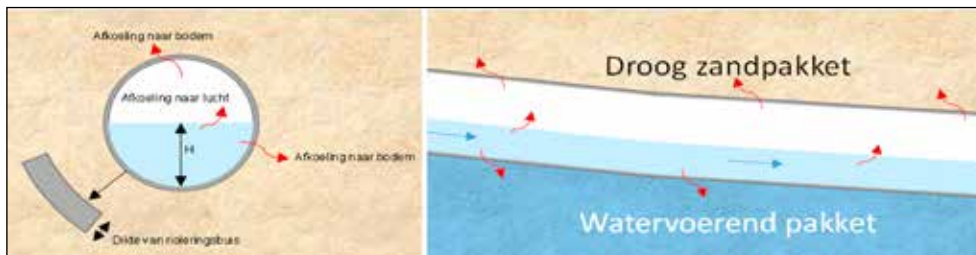
Temperatuur/ neerslag	Temperatuur influent (graden Celsius)	Buitentemperatuur (graden Celsius)	Neerslag (mm)
Maximum	21,81 (eind juli 2017)	34,70 (eind juli 2018)	14,40 (eind september 2017)
Minimum	6,79 (begin februari 2017)	-8,45 (eind februari 2018)	0,00

## Bijlage 2 Theoretische achtergrond STEVAL en modelresultaten

Deze bijlage schetst de theoretische achtergrond van het model dat we voor de berekeningen in hoofdstuk 5 hebben gebruikt en bevat alle resultaten. Aan bod komen de toegepaste rekenregels en formules, de gebruikte invoergegevens en de modelresultaten voor de casus van het Vellesan College in Velsen en de casus van zwembad 't Bun in Urk.

### B2.1 Algemene rekenregels

Warmteoverdracht in de afvalwaterketen vindt onder meer plaats door de temperatuurverschillen tussen het afvalwater, de eventuele bovenstaande lucht in het riool en de bodem (zie figuur B2.1). Om een schatting te maken van het temperatuurverloop in de afvalwaterketen, hebben we voor elke casus de algemene rekenregels gebruikt. De dikte en het materiaal van de rioolbuis bepalen de snelheid waarmee het afvalwater warmte naar de bodem overdraagt. De vullingsgraad van het riool bepaalt hoe groot het contactoppervlak van het afvalwater met de rioolwand en de lucht is.



Figuur B2.1 Schematische weergave afkoeling afvalwater in riolering door bodem en lucht (Bron: TAUW)

De hoeveelheid thermische energie die het afvalwater opneemt van of afgeeft aan de bodem, hangt af van het temperatuurverschil tussen het afvalwater en de bodem en de warmtegeleiding van de bodem en rioolbuis. De formule die hiervoor gebruikt is, is:

$$\varphi = U (T_w - T_b)$$

$$U = 1/(R_p + R_b)$$

$\varphi$  = de opgenomen energie [W/m]

$U$  = mate van warmtegeleiding [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$T_w$  = temperatuur van het afvalwater [K]

$T_b$  = temperatuur van de bodem [K]

$R_p$  = warmtegeleidingsweerstand van het riool [ $m \cdot K/W$ ]

$R_b$  = warmtegeleidingsweerstand van de bodem [ $m \cdot K/W$ ]

De formules voor de warmtegeleidingsweerstand van het riool en bodem zijn:

$$R_p = 1/(2\pi\lambda_p) \ln D_o/D_i$$

$$R_b = 1/(2\pi\lambda_b) \ln 4Z/D_o$$

$R_p$  = warmtegeleidingsweerstand van het riool [ $m \cdot K/W$ ]

$R_b$  = warmtegeleidingsweerstand van de bodem [ $m \cdot K/W$ ]

$\lambda_p$  = soortelijke warmtecoëfficiënt van het riool [ $W/m \cdot K$ ]

$\lambda_b$  = soortelijke warmtecoëfficiënten van de bodem [ $W/m \cdot K$ ]

$D_o$  = buitendiameter van het riool [mm]

$D_i$  = binnendiameter van het riool [mm]

$Z$  = diepteligging van het riool ten opzichte van het maaiveld [m]



Met  $\varphi$  wordt het temperatuurverschil tussen het afvalwater en de bodem:

$$\Delta T = (\varphi \cdot L) / (Q \cdot \rho \cdot C_p)$$

$L$  = lengte van het riool [m]

$Q$  = debiet [ $\text{m}^3/\text{uur}$ ]

$\rho$  = dichtheid van water,  $998,2 \text{ kg/m}^3$  bij 20 graden Celsius

$C_p$  = warmtecapaciteit van water,  $4.186 \text{ J/kg.K}$

De dichtheid en soortelijke warmtecapaciteit van water variëren met de temperatuur. Deze variaties zijn in deze berekening klein en buiten beschouwing gelaten.

## B2.2 Input voor STEVAL

Voor de modelberekeningen moesten meerdere gegevens worden aangeleverd of bepaald.

Voor de volgende gegevens hebben we aannames gedaan:

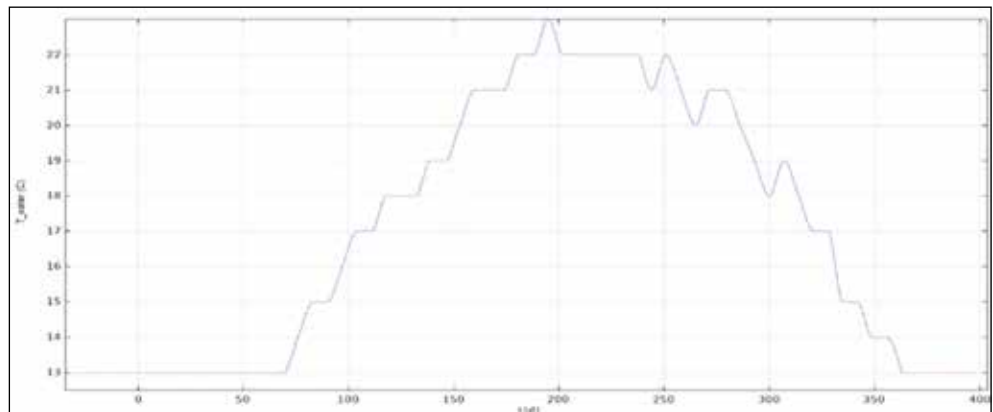
- Influenttemperatuur voor een dag in de winterperiode en een dag in de zomerperiode.
- Temperatuurdaling door riothermie.
- Vullingsgraad riool.

### Influenttemperatuur winter en zomer

De meeste rwzi's registreren de influenttemperatuur periodiek. Voor de modelberekeningen zijn temperatuurgegevens van rwzi Almere van Waterschap Zuiderzeeland gebruikt. Het rioolstelsel dat het afvalwater aanvoert, ligt net als in Urk en Velsen in verzadigde grond. Het rioolstelsel (persleidingen) is vergelijkbaar met dat van Urk. Het rioolstelsel van Velsen is een vrijvervalrioel, maar om de temperatuurverandering van beide systemen goed met elkaar te kunnen vergelijken, hebben we eenzelfde influenttemperatuur aangehouden.

In figuur B2.2 is de influenttemperatuur tegen alle 365 dagen in 2011 uitgezet. De influenttemperatuur varieert tussen de 13 en 23 graden Celsius en is seizoensafhankelijk. In STEVAL hebben we gekeken naar de zomer- en winterperiode. Op dag 231 van het jaar 2011 (zomerperiode) is de influenttemperatuur 22 graden Celsius. Op dag 42 van het jaar 2011 (winterperiode) is de influenttemperatuur 13 graden Celsius. Doordat in de Flevopolder betrekkelijk weinig verhard oppervlak afstroomt naar het riool, zal in de wintermaanden ook weinig smeltwater afstromen. (Mede) hierdoor is de influenttemperatuur in de wintermaanden betrekkelijk hoog. Daarom zijn we bij de schatting in de winterperiode uitgegaan van 11 graden Celsius.

**Figuur B2.2**  
Influenttemperatuur rwzi  
Almere van Waterschap  
Zuiderzeeland in 2011  
(Bron: Waterschap  
Zuiderzeeland)



### Daling influenttemperatuur door riothermie

In de winterperiode is de influenttemperatuur waarmee we in STEVAL hebben gerekend dus 11 graden Celsius. Door de winning van thermische energie daalt de afvalwatertemperatuur. In STEVAL hebben we gerekend met een temperatuurafname van 0,5/ 1,0/ 1,5/ 2,0 en 5,0 graden Celsius ten opzichte van de referentietemperatuur (11 graden Celsius).

### Vullingsgraad

Voor persleidingen (casus zwembad 't Bun) is de vullingsgraad 100%, voor het vrijvervalrioel (casus Vellesan College) hebben we 20% aangenomen.

## Materiaaleigenschappen

Om de temperatuurverandering van het afvalwater te bepalen, zijn per materiaal (water, lucht, bodem en riool) de thermische geleidbaarheid (k), dichtheid ( $\rho$ ) en warmtecapaciteit ( $C_p$ ) nodig. Deze staan in tabel B2.1.

Materiaal	k [W/(m.K)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	C <sub>p</sub> [J/(kg.K)]
Verzadigde grond	2,2	1.890	1.323
Betonnen rioolbuis	1,8	2.300	880
Pvc-rioolbuis	0,19	1.400	1.375
Water	0,594	999,62	4.186,9
Lucht	0,0258	1,188	1.005

Tabel B2.1 Thermische geleidbaarheid (k), dichtheid ( $\rho$ ) en warmtecapaciteit  $C_p$  voor materialen die energie uitwisselen in het rioolstelsel (bron: CFD model)

## Eigenschappen riolering

In tabel B2.2 staan de eigenschappen van het vrijvervalriool in Velsen en de persleiding in Urk. Voor het debiet van de casus van het Vellesan College hebben we een gemiddelde aangenomen, gemeten in de periode van 9 mei 2018 tot 8 juni 2018. Het gemiddelde debiet in deze periode is 25,2 l/s, dit komt overeen met 90,72 m<sup>3</sup>/uur. Voor het debiet van de casus zwembad 't Bun hebben we data gebruikt van het gemaal vóór de rioolwarmtewisselaar (gemaal Urk-Kern) over de periode van 12 december 2018 tot en met 1 april 2019. Gemiddeld is de draaitijd van de pomp over die periode 14,83 uur per dag. Het debiet komt gemiddeld uit op 943,41 m<sup>3</sup>/dag, dit zou een debiet zijn van 63,61 m<sup>3</sup>/uur. In verband met het dagritme van de mens hebben we het debiet over de dag gedeeld door 16 uur. Het debiet komt dan neer op 58,96 m<sup>3</sup>/uur.

Eigenschap	Eenheid	Casus zwembad 't Bun	Casus Vellesan College
Buismateriaal	-	Pvc	Beton
Buitendiameter buis	mm	1.250	500
Binnendiameter buis	mm	1.050	471
Lengte riolering	m	7.766	2.500
Diepteligging riolering	m	1,9	1,8 - 3,2
Type bodem	-	verzadigde grond	verzadigde grond
Debiet	m <sup>3</sup> /uur	58,96	90,72
Vullingsgraad	%	100	20

Tabel B2.2 Riooleigenschappen voor casus zwembad 't Bun en casus Vellesan College

## Bodemtemperatuur

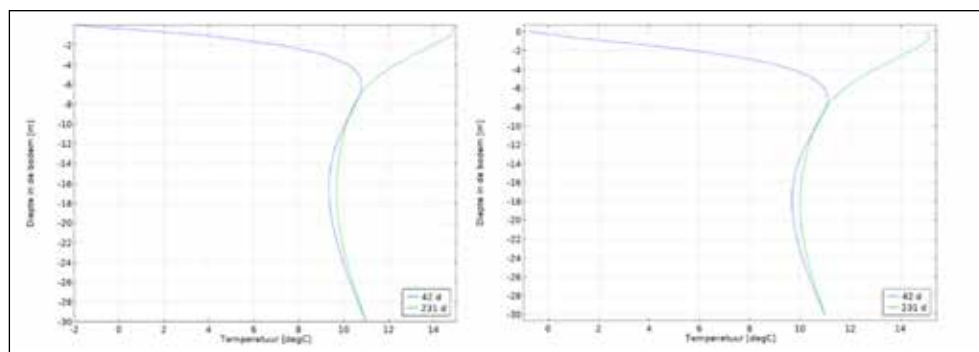
De bodemtemperatuur hebben we bepaald aan de hand van de temperatuurgradiënt in de bodem voor een koud jaar: 2012. In het model hebben we rekening gehouden met een strenge winterperiode. Dit is de minst gunstige situatie, de afvalwatertemperatuur zal sneller dalen dan als het minder koud is.

Voor de berekening van de bodemtemperatuur hebben we aangenomen dat het maaiveld dezelfde temperatuur heeft als de lucht. Op 30 meter diepte is de temperatuur van het grondwater in ongebouwd Nederland vrijwel overal ongeveer 11 graden Celsius (Ministerie van Landbouw, de Gasunie, TNO, overheden, bedrijven en kennisinstellingen, 2009). Deze temperatuur hebben we daarom op 30 meter diepte aangehouden.

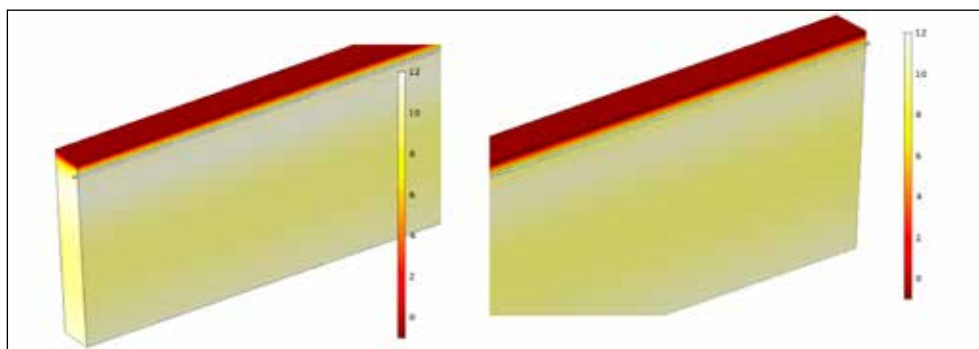
Tussen het maaiveld (0 meter) en 30 meter diepte hebben we de temperatuur berekend. Als startwaarde hebben we een lineaire gradiënt van 3 graden Celsius aan het maaiveld tot 11 graden Celsius op 30 meter diepte ingevoerd. Vervolgens hebben we een periode van 4 jaar gesimuleerd met buitentemperaturen van het jaar 2012 en stromend water. De berekening hebben we voor beide casussen apart uitgevoerd om het effect van het type riolering op de bodemtemperatuur mee te nemen.

Figuur B2.3 geeft voor de winter- en zomerperiode (respectievelijk dag 42 en dag 231) de bodemgradiënten voor beide casussen weer. Het gaat hier dus om de invloed van de maai- veldtemperatuur op de bodemtemperatuur. De seizoenen hebben invloed tot ongeveer 8 meter diepte. In figuur B2.4 ziet u voor de casus van zwembad 't Bun de 3D-simulatie.

**Figuur B2.3**  
Bodemtemperatuurgradiënt  
gesimuleerd over een periode  
van 4 jaar voor casus  
zwembad 't Bun (links) en  
voor casus Vellesan College  
(rechts) (Bron: TAUW)



**Figuur B2.4**  
Bodemtemperatuur in graden  
Celsius voor casus zwembad 't  
Bun op een koude dag (dag  
42), links begin van de  
riolering en rechts het einde  
(Bron: TAUW)



### Warmtegeleidingsweerstand

In tabel B2.3 ziet u de berekening van de totale warmtegeleidingsweerstand per casus. Voor de casus van het Vellesan College is de totale weerstand lager dan voor de casus van zwembad 't Bun. Dit betekent dat riool en bodem in Velsen relatief meer warmte overdragen dan in Urk.

**Tabel B2.3** Berekening  
warmtegeleidings-  
weerstand voor Velsen en  
Urk

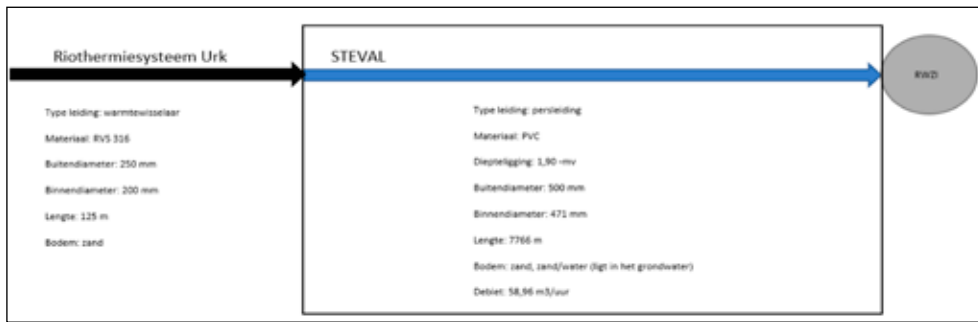
Omschrijving		Casus Vellesan College	Casus zwembad 't Bun
Buismateriaal	-	Beton	Pvc
Buitendiameter buis	mm	1.250	500
Binnendiameter buis	mm	1.050	471
Lengte riolering	m	2.500	7.766
Diepteligging riool	m	1,8	1,9
Warmtegeleidingsweerstand riool $R_p$	m.K/W	0,015	0,05
Warmtegeleidingsweerstand bodem $R_b$	m.K/W	0,13	0,20
<b>Totale warmtegeleidingsweerstand R</b>	<b>m.K/W</b>	<b>0,145</b>	<b>0,25</b>

### Alle invoergegevens per casus

In figuur B2.5 staan alle gegevens die we voor de casus van het Vellesan College hebben meegenomen in STEVAL, in figuur B2.6 de ingevoerde gegevens voor de casus van zwembad 't Bun.

**Figuur B2.5** Ingevoerde  
gegevens STEVAL casus  
Vellesan College  
(Bron: Syntraal)





**Figuur B2.6** Ingevoerde gegevens STEVAL casus zwembad 't Bun (Bron: Syntraal)

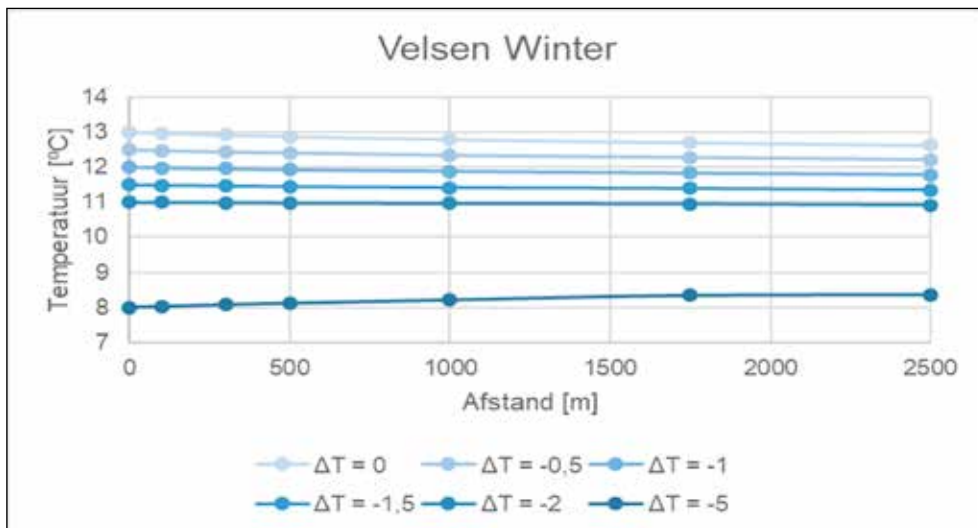
## B2.3 Resultaten STEVAL casus Vellesan College

### Winterperiode

In STEVAL hebben we dus gerekend met een afvalwatertemperatuur van 13 graden Celsius. De bodemtemperatuur rond de rioolbuis is in de winterperiode circa 11 graden Celsius. Doordat de afvalwatertemperatuur hoger is dan de bodemtemperatuur, zal het afvalwater thermische energie afgeven aan de bodem. De resultaten voor de winterperiode staan in tabel B2.4 en figuur B2.7. Alleen bij een afvalwatertemperatuur van 8 graden Celsius stijgt de temperatuur met 0,4 graden Celsius na 2.500 meter.

Afstand	m	0	100	300	500	1.000	1.750	2.500
Tijd	uur	0	0,12	0,6	1,0	1,9	3,3	4,8
$\Delta T = 0$	°C	13,0	13,0	12,9	12,9	12,8	12,7	12,6
$\Delta T = -0,5$	°C	12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	12,3	12,2
$\Delta T = -1$	°C	12,0	12,0	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8
$\Delta T = -1,5$	°C	11,5	11,5	11,5	11,5	11,4	11,4	11,4
$\Delta T = -2$	°C	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	10,9
$\Delta T = -5$	°C	8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,3	8,4

**Tabel B2.4** Modelresultaten afvalwatertemperatuur vrijvervalriool casus Vellesan College in de winterperiode (dag 42)



**Figuur B2.7** Modelresultaten afvalwatertemperatuur vrijvervalriool casus Vellesan College in de winterperiode (dag 42) (Bron: Syntraal)

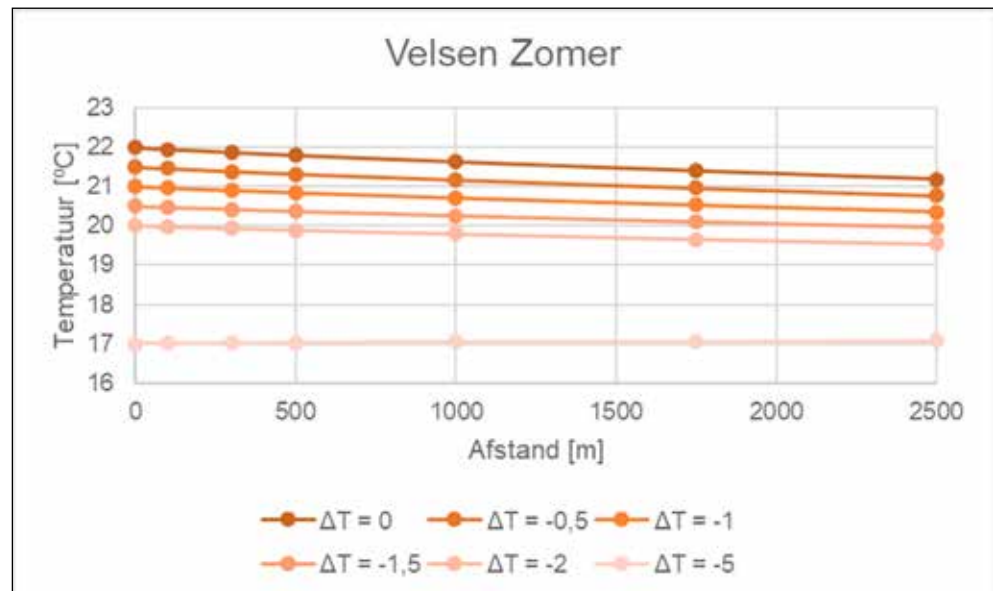
### Zomerperiode

De bodemtemperatuur rond de rioolbuis is in de zomerperiode circa 19 graden Celsius. De afvalwatertemperatuur is maximaal 22 graden Celsius. Alleen als de afvalwatertemperatuur 5 graden daalt, zal deze toenemen onder invloed van de bodem. De resultaten voor de zomerperiode staan in tabel B2.5 en figuur B2.8.

**Tabel B2.5 Modelresultaten afvalwatertemperatuur vrijvervalriool casus Vellesan College in de zomerperiode (dag 231)**

Afstand	m	0	100	300	500	1.000	1.750	2.500
Tijd	uur	0	0,12	0,6	1,0	1,9	3,3	4,8
$\Delta T = 0$	°C	22,0	22,0	21,9	21,8	21,6	21,4	21,2
$\Delta T = -0,5$	°C	21,5	21,5	21,4	21,3	21,2	21,0	20,8
$\Delta T = -1$	°C	21,0	21,0	20,9	20,8	20,7	20,5	20,4
$\Delta T = -1,5$	°C	20,5	20,5	20,4	20,4	20,3	20,1	20,0
$\Delta T = -2$	°C	20,0	20,0	19,9	19,9	19,8	19,7	19,5
$\Delta T = -5$	°C	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,1	17,1

**Figuur B2.8 Modelresultaten afvalwatertemperatuur vrijvervalriool casus Vellesan College in de zomerperiode (dag 231) (Bron: Syntraal)**



### Conclusie

Uit de modelberekeningen voor het Vellesan College blijkt dat hoe groter het verschil tussen de afvalwatertemperatuur en de bodemtemperatuur is, hoe meer de afvalwatertemperatuur af- of toeneemt. Dit was ook de verwachting. Binnen een afstand van 2.500 meter bereikt de afvalwatertemperatuur nergens de bodemtemperatuur. Ook in de praktijkmeting (zie hoofdstuk 4) is te zien dat de afvalwatertemperatuur van meetpunt 3 naar meetpunt 4 nauwelijks is veranderd.

## B2.4 Resultaten STEVAL casus zwembad 't Bun

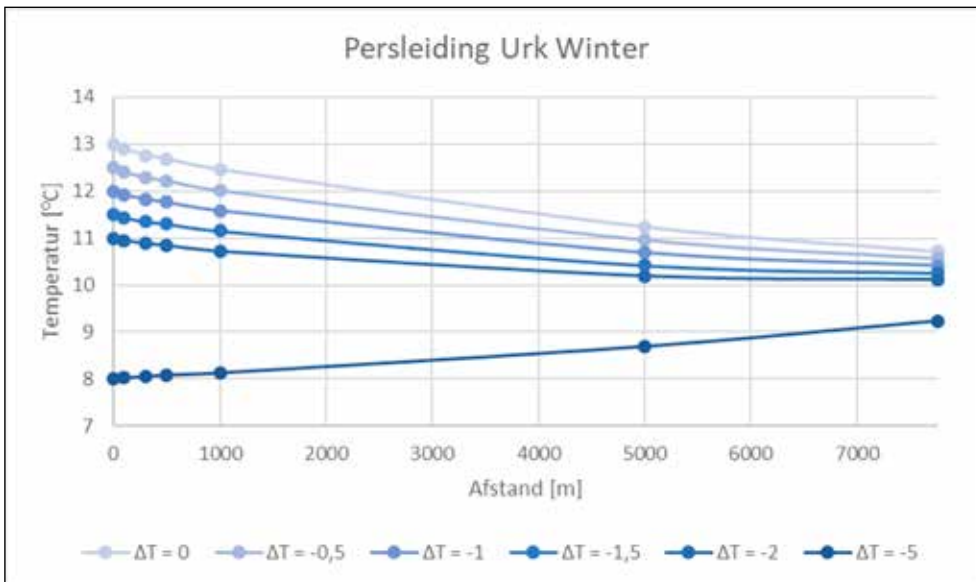
### Winterperiode

Ook hier hebben we in STEVAL gerekend met een afvalwatertemperatuur van 13 graden Celsius. De bodemtemperatuur rond de rioolbuis is in de winterperiode circa 11 graden Celsius. Doordat de afvalwatertemperatuur hoger is dan de bodemtemperatuur, zal het afvalwater thermische energie afgeven aan de bodem. De resultaten voor de winterperiode staan in tabel B2.6 en figuur B2.9.

**Tabel B2.6 Modelresultaten afvalwatertemperatuur persleiding casus zwembad 't Bun in de winterperiode (dag 42)**

Afstand	m	0	100	300	500	1.000	5.000	7.766
Tijd in riool	uren	0,0	0,3	0,9	1,5	3,0	14,8	23,0
$\Delta T = 0$	°C	13,0	12,9	12,8	12,7	12,5	11,2	10,7
$\Delta T = -0,5$	°C	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,0	10,6
$\Delta T = -1$	°C	12,0	11,9	11,8	11,8	11,6	10,7	10,4
$\Delta T = -1,5$	°C	11,5	11,4	11,4	11,3	11,2	10,4	10,3
$\Delta T = -2$	°C	11,0	11,0	10,9	10,8	10,7	10,2	10,1
$\Delta T = -5$	°C	8,0	8,0	8,1	8,1	8,1	8,7	9,2





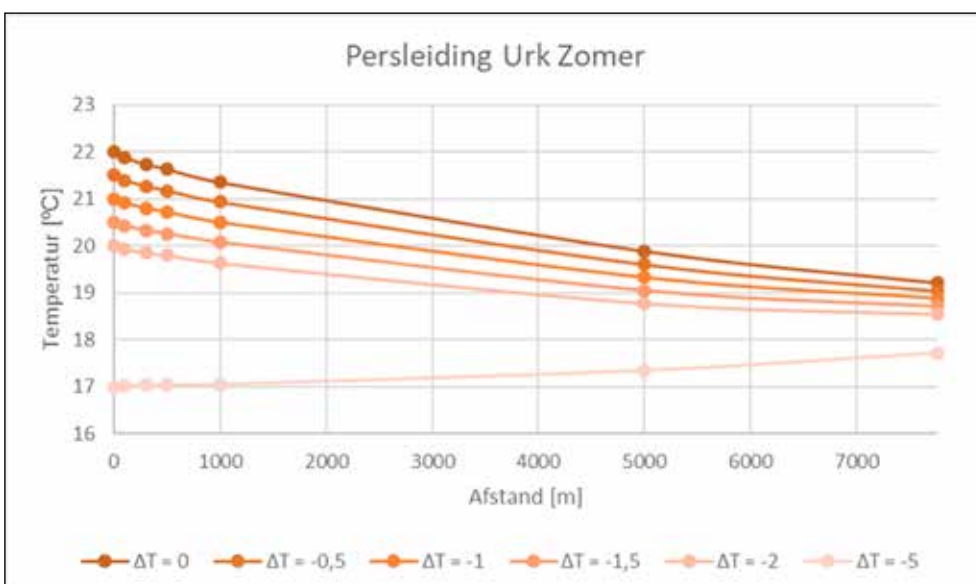
Figuur B2.9 Modelresultaten afvalwatertemperatuur persleiding casus zwembad 't Bun in de winterperiode (dag 42) (Bron: Syntraal)

### Zomerperiode

In de zomerperiode is de bodemtemperatuur rond de rioolbuis circa 19 graden Celsius. De afvalwatertemperatuur is maximaal 22 graden Celsius. Alleen als de afvalwatertemperatuur met 5 graden afneemt, zal deze toenemen onder invloed van de bodem. De resultaten voor de zomerperiode staan in tabel B2.7 en figuur B2.10.

Afstand	m	0	100	300	500	1.000	5.000	7.766
Tijd in riool	uren	0,0	0,3	0,9	1,5	3,0	14,8	23,0
$\Delta T = 0$	°C	22,0	21,9	21,7	21,6	21,4	19,9	19,2
$\Delta T = -0,5$	°C	21,5	21,4	21,3	21,2	20,9	19,6	19,0
$\Delta T = -1$	°C	21,0	20,9	20,8	20,7	20,5	19,3	18,9
$\Delta T = -1,5$	°C	20,5	20,4	20,3	20,3	20,1	19,1	18,7
$\Delta T = -2$	°C	20,0	19,9	19,9	19,8	19,6	18,8	18,5
$\Delta T = -5$	°C	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,3	17,7

Tabel B2.7 Modelresultaten afvalwatertemperatuur persleiding casus zwembad 't Bun in de zomerperiode (dag 231)



Figuur B2.10 Modelresultaten afvalwatertemperatuur persleiding casus zwembad 't Bun in de zomerperiode (dag 231) (Bron: Syntraal)

### Conclusie

De afvalwatertemperatuur in de persleiding is zelfs na toepassing van riothermie hoger dan de bodemtemperatuur. Onder invloed van de bodem koelt het afvalwater dus verder af terwijl het door het riool stroomt. Maar dat geldt niet als de afvalwatertemperatuur door riothermie met 5 graden afneemt.

## STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

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

© 2021 Stichting RIONED en STOWA

*Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.*

### *Disclaimer*

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

<i>Titel</i>	Onderzoeksrapport Invloed riothermiesystemen op de afvalwaterzuivering
<i>Auteur</i>	Barry Meddeler en Lieke Noij
<i>Uitgevoerd door</i>	Syntraal
<i>Projectnummer</i>	435.027
<i>Aantal pagina's</i>	69 (exclusief bijlagen)
<i>Datum</i>	9 maart 2021
<i>ISBN</i>	978.90.5773.927.9

### *Begeleidingscommissie*

Ghada Sukkar	Waterschap Vallei en Veluwe
Marlies Verhoeven	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Christophe Meijer	Gemeente Urk
Bernadette Lohmann	Waterschap Zuiderzeeland
Richard van Hardeveld	Gemeente Velsen
Coert Petri	Waterschap Vallei en Veluwe
Bert Palsma	STOWA
Melanie Kuiper	Waterschap Drents Overijsselse Delta

### *omslagfoto*

© Erik Liefthing

### *vormgeving*

Marieke Eijt, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

### *druk*

Drukkerij Modern, Bennekom





De ontwikkelingen in het gebruik van warmte uit ruw-afvalwater zijn in volle gang. Op dit moment zijn in Nederland tien riothermiesystemen in bedrijf en verwacht wordt dat dit aantal de komende jaren zeker zal verdubbelen. Een te lage temperatuur van het influent is echter nadelig voor de stikstofverwijdering op de RWZI. Op basis van literatuur, praktijkmetingen, modelberekeningen en een rwzi-gevoeligheidsanalyse, zijn in dit onderzoek de gevolgen van warmtewinning uit de riolering op het waterzuiveringsproces verkend.