

## **Effecten van de Douchewarmtewisselaars op de waterketen**

S.M.C. van Schaick

**Datum**

14 juni 2016

**Versie**

1

Korte Ouderkerkerdijk 7  
Amsterdam  
Postbus 94370  
1090 GJ Amsterdam  
T 0900 93 94  
F 020 608 39 00  
KvK 41216593

[www.waternet.nl](http://www.waternet.nl)

10 juni 2016



# Effecten van douchewarmtewisselaars op de waterketen

**De waterketen heeft een hoge (thermische) energie potentie. In hoeverre kunnen we deze terugwinnen met douchewarmtewisselaars en wat zijn hiervan dan de gevolgen op de waterketen?**

Auteur: S.M.C. van Schaick  
Studentnummer: 0868783  
E-mailadres: Sjoerdvanschaick93@gmail.com  
Afstudeerscriptie

Opleiding: Watermanagement  
Organisatie: Hogeschool Rotterdam  
Stagebegeleider: Ir. S. Mol  
Stefan.Mol@waternet.nl  
Stagedocent: B. van Eck  
l.c.j.van.eck@hr.nl  
2e lezer: N. Plomp  
n.plomp@hr.nl

Afstudeerperiode: februari tot en met juni 2016  
Amsterdam, 14 juni 2016

## Lezersbeheer

Naam	Datum
S. Mol	1-7-16
B. van Eck	1-7-16
N. Plomp	1-7-16
A. Koomen	1-7-16
G. de Wit	12-7-16
H. Jansen	26-7-16

## Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Opmerking
1	1-4-16	Concept	Tussenverslag
2	14-6-16	Definitief	Verslag voor Hogeschool Rotterdam
3	30-7-16	Definitief	Verslag voor KNW en publicatie

## Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'De effecten van de douchewarmtewisselaar op de waterketen'. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Watermanagement aan de Hogeschool Rotterdam. Het onderzoek naar de douchewarmtewisselaar is uitgevoerd voor Waternet in samenwerking met Duwo, Dutch Solar Systems en Schouten Techniek.

Vanuit Waternet had ik een vrije rol in dit project waarbij ik zelf de keuzes mocht maken en zelf initiatief moest nemen. Vanuit deze rol kon ik gemakkelijk bedrijven en instellingen benaderen. Naar mijn mening heeft dit het onderzoek goed gedaan. In deze vrije rol was er altijd voldoende ondersteuning van de stagebegeleider, Stefan Mol. Samen zijn we tot verschillende hypothesen gekomen. Na uitvoerig kwantitatief onderzoek zijn deze hypothesen ontkracht of bevestigd. Vanuit de opleiding stond Bart van Eck klaar om dit kwantitatief onderzoek op het scherpst van de snede te krijgen. Beide begeleiders konden mijn vragen beantwoorden waardoor ik door kon met het onderzoek. Mede hierdoor sta ik volledig achter wat ik heb opgeleverd.

Bij dezen wil ik graag mijn begeleiders bedanken, eigenlijk heb ik nooit een moment gehad dat ik geen uitweg meer zag. De fijne benadering met Stefan en discussies heb ik zeer gewaardeerd en dit heeft me verder geholpen in het proces van het afstuderen. Daarnaast wil ik de samenwerkingspartners Duwo en Dutch Solar Systems bedanken voor hun openheid en ondersteuning.

Tevens wil ik ook de collega's van Waternet bedanken van onderzoek en advies voor de fijne samenwerking. Vooral Michel Colin en Peter Wind wil ik bedanken, zonder jullie hulp had ik weinig resultaten kunnen opleveren.

Tot slot een eervolle vermelding voor mijn grootvader Joop van Schaick. Met grote interesse volgde hij de ontwikkeling rondom mijn onderzoek. Verschillende inzichten over de douchewarmtewisselaars ontstonden vanuit zijn meedenken. Helaas hebben we 15 februari jl. afscheid van hem moeten nemen en zijn zijn hypothesen helaas ontkracht noch bevestigd. Echter hebben zijn wijsheid en motiverende woorden mij geholpen deze scriptie tot een goed eind te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Sjoerd van Schaick

Amsterdam, 14 juni 2016

## Samenvatting

Naar aanleiding van de ontwikkeling van douchewarmtewisselaars en de mogelijke potentie van douchewarmtewisselaars heeft Waternet een stimulerende rol aangenomen. Moet deze rol in de toekomst worden doorgezet? Er is tot nu toe onvoldoende inzicht en onderbouwing over de effecten van de douchewarmtewisselaar. Met de samenwerkingspartners (Duwo, Dutch Solar Systems en Schouten Techniek) is in 2014 een pilot project gestart in Amstelveen. Hiermee is uiteindelijk een standpunt geadviseerd voor Waternet over de douchewarmtewisselaar. Dit is gedaan door de volgende hoofdvraag te beantwoorden.

***Welke onderbouwde standpunten dient Waternet in te nemen met betrekking tot de douchewarmtewisselaars gekeken naar; het rendement, drinkwaterveiligheid, kosten-baten, CO<sub>2</sub> reductie, wet- en regelgeving en de thermische gevolgen op de waterketen?***

---

De douchewarmtewisselaar is onderzocht aan de hand van een proefopstelling en een praktijkopstelling. In de praktijkopstelling zijn 100 douchewarmtewisselaars geïnstalleerd in een studentenflat, hiervan zijn er 10 gemonitord. De validatie van de monitoring vond plaats door middel van de proefopstelling. Daarnaast zijn verschillende experts bevraagd en is er literatuuronderzoek uitgevoerd in combinatie met een deskresearch. Deze methode hebben tot de onderstaande resultaten geleid.

Het rendement van de douchewarmtewisselaars is bepaald aan de hand van een proefopstelling en een praktijkopstelling. Hieruit blijkt dat de drinkwatertemperatuur een grote invloed heeft op de efficiëntie. In de praktijkopstelling is het drinkwater al opgewarmd door de omgevingstemperatuur. Het rendement van de verticale douchewarmtewisselaar is op jaarbasis 53%. Daarnaast is de jaarlijkse energiebesparing van de wooneenheden 40%.

Het effect op de (drinkwater)installatie is met betrekking tot de warmtapwaterbereider nihil. De warmtapwaterbereider in de praktijkopstelling is een warmtewisselaar die is aangesloten op een warmtenet. Hier is geen merkbaar verlies op efficiëntie. Daarnaast is de risicoveiligheid met betrekking tot legionella neutraal. Het risico op een legionella besmetting is gelijk aan een installatie zonder douchewarmtewisselaar.

Het effect op de RWZI lijkt beperkt te zijn. De douchewarmtewisselaar zorgt voor een lagere temperatuur van het afvalwater. Het afvalwater koelt normaal gesproken af tot een evenwichtstemperatuur. Deze is waarschijnlijk afhankelijk van de grondwatertemperatuur.

De douchewarmtewisselaar bespaart tot 50 euro per persoon per jaar. De aanschafkosten zijn 475 euro voor de verticale douchewarmtewisselaar en een aanpassing aan de huishoudelijke installatie zijn ongeveer 125 euro. Hiermee is de terugverdientijd bij gebruik door één persoon 12 jaar. Bij gebruik door twee personen is de terugverdientijd 6 jaar, etc.

De installatie van de douchewarmtewisselaar geeft het beste rendement wanneer deze is aangesloten op de mengkraan en de warmtapwaterbereider. Daarnaast is het mogelijk om de gehele drinkwatervraag in badkamer aan te sluiten op de douchewarmtewisselaar. Hiermee wordt stilstaand water voorkomen. Op het rendement heeft dit geen invloed.

De douchewarmtewisselaar heeft op jaarbasis in de praktijkopstelling gemiddeld 180 kg/CO<sub>2</sub> bespaard. De douchewarmtewisselaar heeft een bewezen resultaat. De negatieve effecten zijn nihil. In het kader van circulair handelen accepteert Waternet de douchewarmtewisselaar, hierbij zal Waternet de douchewarmtewisselaar actief gaan promoten.

De basis van het onderzoek is de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar. Vanuit de efficiëntie zijn meerdere aspecten onderzocht. Allereerst door de data-analyse, deze is gevalideerd met de proefinstallatie en ter controle zijn de gegevens van het energieverbruik vergeleken in een vergelijkingsonderzoek. Alle drie de verschillende methodes kwamen op dezelfde resultaten uit. Hierbij is de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar ongeveer gelijk aan 50%. Daarnaast zijn verschillende partijen benaderd in de vorm van een deskresearch, deze partijen hebben input gegeven aan het onderzoek. Zo zijn er door deze partijen bijvoorbeeld twijfels geuit over de sensoren die zijn gebruikt. Dit is verder onderzocht in de proefopstelling. Daarnaast zijn er ook twijfels over de legionella veiligheid; bij een incidentele test zijn geen schadelijke bacteriën aangetroffen. Wanneer deze testen herhaaldelijk uitgevoerd worden, kan er een gevalideerde uitspraak worden gedaan. Echter lijkt dit niet noodzakelijk, de kans op een legionella besmetting is zeer klein.

Het effect op de (drinkwater)installatie is met betrekking tot de warmtapwaterbereider nihil. De warmtapwaterbereider is in de praktijkopstelling een warmtewisselaar die is aangesloten op een warmtenet. Hier is geen merkbaar verlies op efficiëntie. Het effect op de RWZI lijkt beperkt te zijn. De douchewarmtewisselaar zorgt voor een lagere temperatuur van het afvalwater. Het afvalwater koelt normaal gesproken ook af tot een evenwichtstemperatuur. Deze is waarschijnlijk afhankelijk van de grondwatertemperatuur.

De vervuiling van een douchewarmtewisselaar is lastig te bepalen, omdat de temperatuurfactoren die de efficiëntie bepalen eigenlijk nooit gelijk zijn. Om de vervuiling te meten dienen deze factoren precies gelijk te zijn. Wanneer er meerdere jaren is gemeten kan dit naar verwachting wel. Echter blijft de vraag of er dan wel vervuiling optreedt.

Om de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar te bewijzen, kan deze in meerdere woontypes worden geïnstalleerd en gemonitord. Hierbij is het van belang om een grotere populatie te nemen om zo onderlinge verschillen te voorkomen. In dit onderzoek is de populatie van 100 douchewarmtewisselaars geanalyseerd. Deze zelfde hoeveelheid is relevant voor bijvoorbeeld rijtjeshuizen, hoekwoningen etc.

## Woordenlijst

<b>omschrijving</b>	<b>betekenis</b>
Tappunt	Aansluiting van op een drinkwaterleiding, bijvoorbeeld een kraan.
Praktijkopstelling	proeflocatie bij bewoners thuis
Proefopstelling	proeflocatie in een hal
Wooneenheid	een woning in een groter geheel
Rioolvreemd water	afvalwater wat niet in het riool hoort te zijn
Warmtewisselaar	warmtapwaterbereider voor een warmtenet
Warmtapwaterbereider	maakt van drinkwater warmtapwater
Douche-pijp wtw	douche-pijp warmtewisselaar
Douche-bak wtw	douche-bak warmtewisselaar
Douche-goot wtw	douche-goot warmtewisselaar
Thermische energie	Energie in de vorm van warmte
EPC	energie prestatie coëfficiënten
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
D-wtw	douchewarmtewisselaar
<b>Energie</b>	
PJ	Petajoule gelijk aan 1000 TJ
TJ	Terajoule gelijk aan 1000 GJ
GJ	Gigajoule gelijk aan 1000 MJ
MJ	Megajoule gelijk aan 1000 KJ
KJ	Kilojoule gelijk aan 1000 J
J	Joule, officiële eenheid van energie
Efficiëntie (%)	Vermogen dat teruggewonnen wordt, gedeeld door het theoretisch maximum
<b>Benaming voor water</b>	
Drinkwater	water met de temperatuur vanaf het drinkwaternet
Afvalwater	water met de temperatuur van 35 °C
Voorverwarmd water	water met de temperatuur van 27 °C Afkomstig van de douchewarmtewisselaar
Douchewater	water met de temperatuur van 40 °C
Warmtapwater	water met de temperatuur van 55 °C

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1	Aanleiding voor Douchewarmtewisselaar	11
1.1.1	Warmteverlies douchebeurt	11
1.1.2	Warmteterugwinning	12
1.1.3	Het principe	13
1.1.4	Geschiedenis van thermische warmte terugwinning	13
1.1.5	Energie prestatie	14
1.2	Relevantie voor onderzoek	14
1.3	Leeswijzer	15
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>16</b>
2.1	Doelstelling	17
2.2	Onderzoeksvragen	18
2.3	Afbakening	19
<b>3</b>	<b>Theoretisch kader</b>	<b>20</b>
3.1	Nationale en internationale klimaat afspraken	20
3.1.1	Klimaatakkoord Parijs	20
3.1.2	Energieakkoord voor duurzame groei	20
3.1.3	EPC-normen	21
3.2	Beleid waterschappen omtrent klimaatverandering	21
3.2.1	Waternet en klimaatneutraal	22
3.3	Aanwezige thermische energie	22
3.3.1	Thermische energie in de waterketen	22
3.3.2	Thermische energie in wooneenheden Uilenstede	23
3.3.3	Thermische energie tijdens het douchen	24
3.4	De douchewarmtewisselaar	25
3.4.1	Werking	25
3.4.2	Aansluiting voorverwarmd drinkwater	25
3.4.3	Soorten douchewarmtewisselaars	27
3.4.4	Verwacht rendement	29
<b>4</b>	<b>Methode en materiaal</b>	<b>30</b>
4.1	Onderzoeksmethode	30
4.1.1	Literatuur onderzoek	30
4.1.2	Data analyse	30
4.1.3	Deskresearch	31
4.1.4	Vergelijkingsonderzoek	31
4.1.5	Focusgroepinterview	31
4.2	Proefopstelling	31
4.3	Praktijkopstelling	32
<b>5</b>	<b>Efficiëntie douchewarmtewisselaar</b>	<b>34</b>
5.1	Installatie Uilenstede	34
5.2	Wat is een douchebeurt	35



5.3	Validatie metingen Uilenstede	36
5.4	Resultaten efficiëntie	38
5.4.1	Resultaten proefopstelling	38
5.4.2	Resultaten praktijkopstelling	39
5.4.3	Drinkwatertemperatuur bij wooneenheden	40
5.4.4	Maximale en minimale efficiëntie	41
5.4.5	Afname efficiëntie	41
5.4.6	Deelconclusie efficiëntie douchewarmtewisselaar	42
<b>6</b>	<b>Effecten op huishoudelijke installatie</b>	<b>43</b>
6.1	Waterverbruik en temperatuur overdracht	43
6.2	Afvalwater temperatuur wooneenheden	44
6.3	Drinkwatertemperatuur	46
6.3.1	Legionella	46
6.3.2	Efficiëntie warmtapwaterbereider	47
6.3.3	Deelconclusie effecten op huishoudelijk installatie	48
<b>7</b>	<b>Effecten op de waterketen</b>	<b>49</b>
7.1	Huidige temperaturen in de waterketen	49
7.2	Effecten daling afvalwater op RWZI	51
7.3	Deelconclusie effecten op de waterketen	52
<b>8</b>	<b>Voor- en nadelen douchewarmtewisselaar</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Financieel overzicht</b>	<b>54</b>
9.1	Directe besparing douchewarmtewisselaar	54
9.2	Directe besparing wooneenheden	56
9.2.1	Deelconclusie financiën	56
<b>10</b>	<b>Kansen voor douchewarmtewisselaar</b>	<b>57</b>
10.1	Kansen voor warmteterugwinning	57
10.2	Installatie van de douchewarmtewisselaar	57
10.3	Implementatie douchewarmtewisselaar	58
10.4	EPC-normering	58
<b>11</b>	<b>Conclusie</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Discussie</b>	<b>60</b>
<b>13</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>61</b>
<b>14</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>62</b>
<b>15</b>	<b>Bijlage 1: Waterverbruik</b>	<b>63</b>
<b>16</b>	<b>Bijlage 2: HWL Legionella onderzoek</b>	<b>64</b>



# 1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt duidelijk wat de aanleiding is van het onderzoek. Daarnaast wordt het onderzoek afgebakend en wordt de relevantie bepaald. Hieruit volgen de doelstelling, probleemstelling en onderzoeksvragen. Daarna wordt de opzet van het onderzoek duidelijk en tot slot vindt u in dit hoofdstuk de leeswijzer voor het vervolg van deze scriptie.

## 1.1 Aanleiding voor Douchewarmtewisselaar

In september 2010 kwam de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA met het rapport: "energie in de waterketen". De STOWA heeft hierin uitgebreid onderzoek gedaan naar onder andere de verschillende vormen van energie in afvalwater. De hoeveelheid energie in het Nederlandse afvalwater bedraagt ongeveer 88 Peta Joules (PJ) per jaar. Hiervan is 65 PJ thermische energie die wordt geloosd door huishoudens en bedrijven (Blom et al., 2010). Deze thermische energie gaat verloren in de afvalwaterketen of wordt geloosd met het effluent van de zuivering. STOWA suggereert dat het mogelijk is om met de douchewarmtewisselaars tot 31 PJ per jaar terug te winnen.

Het verband tussen thermische energie en de mogelijke CO<sub>2</sub> besparing is snel gelegd. Vanuit Waternet is er een programma om CO<sub>2</sub> neutraal te zijn in 2020: K2020. Waternet stoot op jaarbasis 50 kiloton CO<sub>2</sub> uit (Waternet, z.j.). Om dit terug te dringen heeft Waternet zichzelf een eis opgelegd. Dit wil zeggen dat de totale CO<sub>2</sub> uitstoot gelijk staat aan de CO<sub>2</sub> besparing. Dit kan op verschillende manieren. Enkele voorbeelden hiervan zijn; zonnepanelen op de zuivering, dienstauto's op zelfopgewekt biogas en koude levering uit een drinkwatertransportleiding voor de bloedbank. Via het K2020 is er ook ruimte voor kleinere innovatieve projecten (Waternet, z.j.). Er kan dus geld worden vrijgemaakt voor projecten die bijdragen aan CO<sub>2</sub> reductie. De douchewarmtewisselaar is één van deze projecten waarin Waternet investeert.

### 1.1.1 Warmteverlies douchebeurt

Een gemiddelde douchebeurt duurt ongeveer 10 minuten en hierbij wordt gemiddeld 49 liter verwarmd water gebruikt (Vitens, z.j.). Het verwarmde water stroomt met een gemiddelde temperatuur van 35 °C naar de riolering. Hiermee gaat de warmte verloren die eerder door de

Temperatuur afvalwater (2015)	liter	Temperatuur afvoer (°C)
Bad	2,5	30
Douche	49	35
Wastafel	5	22
Toiletspoeling	34	18
Kleding wassen, hand	1	30
Kleding wassen, machine	14	30
Afwassen, hand	3	30
Afwassen, vaatwasmachine	3	35
Voedselbereiding	2	50
Koffie en thee	1	37
Water drinken	0,5	37
Overig keukenkraan	5	15
totaal	120	28

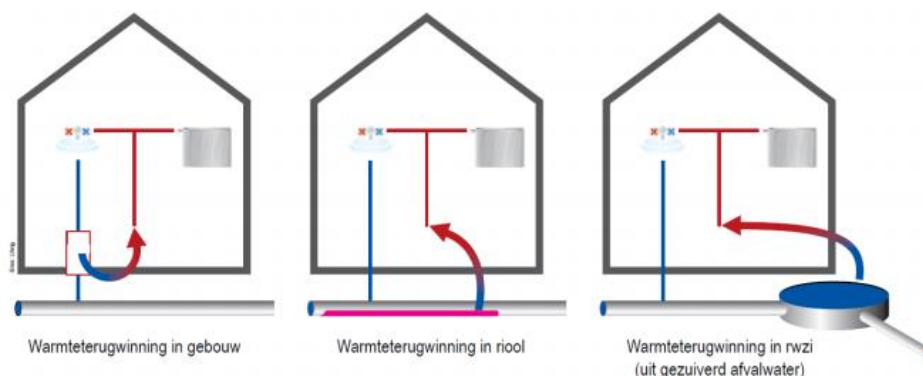
Figuur 1: Thermische energie in afvalwater van huishoudens

warmtapwaterbereider aan het drinkwater is toegevoegd. De douche is hierdoor verantwoordelijk voor het grootste verlies van thermische energie in huis, zoals te zien in figuur 1: Thermische energie in afvalwater voor huishoudens.

### 1.1.2 Warmteterugwinning

Het is nu duidelijk dat er in afvalwater winbare thermische energie (31 PJ) zit. Daarnaast kunnen er met terugwinning van thermische energie kosten bespaard worden. Ook is duidelijk geworden dat de meeste thermische energie afkomstig is van het douchegebruik (zie figuur 1). Er zijn verschillende mogelijkheden om thermische energie terug te winnen. In deze paragraaf worden de mogelijkheden voor warmteterugwinning kort beschreven. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen kwaliteit, kwantiteit en locatie.

De thermische energie kan op drie punten worden teruggewonnen (Tauw & Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2010). Dit kan zijn in het gebouw zelf, in het riool of bij de zuivering zoals te zien is in figuur 2 (Tauw & Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2010). Elk punt kent een eigen verhouding tussen de kwaliteit en kwantiteit van de terug te winnen thermische energie.



**Figuur 2: Overzicht warmteterugwinning**

Een voorbeeld van die verhouding is een kleine hoeveelheid meteen hoge temperatuur of een grote hoeveelheid met een lage temperatuur. Dit maakt het terugwinnen van thermische energie lastig.

In de riolering heeft het pas nut om warmteterugwinning bij een systeem waarop minimaal 6.000 inwoners zijn aangesloten (Hartman & Bloemendal, 2016). Dit komt door natuurlijke afkoeling in het riool. Het afvalwater heeft dan voldoende volume voor economische haalbaarheid. Daarnaast is het mogelijk om warmte

Warmteterugwinning	In gebouw	In riool	In rwzi
Kwaliteit (temperatuur afvalwater)	●	●	●
Kwantiteit (debiet)	●	●	●
Locatie (afstand tot consument)	●	●	●

**Figuur 3: Vergelijking warmteterugwinning**

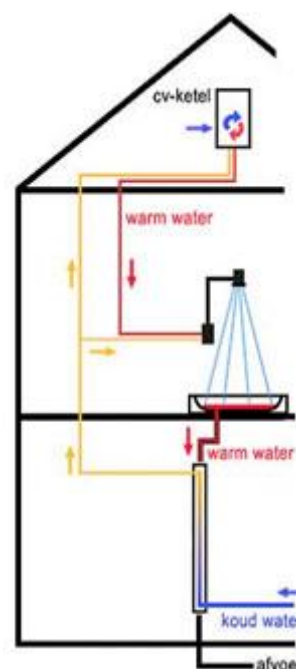
terug te winnen bij de zuivering. De factor locatie is van belang: zuiveringen zijn vaak afgelegen en de warmte die is teruggewonnen moet wel afgezet worden. Kortom, het is heel goed mogelijk om warmteterugwinning te doen in het riool en op de zuivering, echter zijn de systemen van warmteterugwinning altijd maatwerk. De douchewarmtewisselaar biedt uitkomst in het terugwinnen van warmte in het gebouw. De thermische energie in afvalwater kan direct worden teruggewonnen en hergebruikt. De hoeveelheid afvalwater is dan wel klein maar de kwaliteit van de thermische energie (de temperatuur) is hoog (zie figuur 3: Vergelijking warmteterugwinning). Daarbij is de locatie waar de warmte terugwinning plaats vindt gunstig. In de volgende paragraaf meer over de douchewarmtewisselaar.

### 1.1.3 Het principe

De douchewarmtewisselaar zorgt ervoor dat de restwarmte uit afvalwater direct wordt teruggewonnen. De teruggewonnen warmte wordt overgedragen aan het nog koude drinkwater. Dit drinkwater wordt hierdoor voorverwarmd voordat de warmtapwaterbereider het drinkwater verder opwarmt naar de gewenste (55 °C) temperatuur. Daarnaast kan het voorverwarmde water ook worden aangesloten op het douchewatertappunt (de douchekraan). Beide aansluitingen zorgen voor een kosten besparing, de combinatie van de aansluitingen geeft de hoogste efficiëntie, zoals is weergegeven in figuur 4: Principe douchewarmtewisselaar.

Om de restwarmte over te dragen aan het drinkwater is een gelijktijdige stroom nodig tussen afvalwater en drinkwater. Dit gebeurt via het tegenstroom principe, zodat de warmte zo goed mogelijk wordt overgedragen.

De door Waternet onderzochte douchewarmtewisselaar is door Bries energietechniek in 2001 ontwikkeld. De verticale douchewarmtewisselaar is in de loop der jaren doorontwikkeld tot een hoogwaardig product dat volgens het KIWA (in vergelijking met andere types) het hoogste rendement haalt. Het gaat hier dan om de besparing ten opzichte van het normaal verbruik tijdens een douchebeurt. Het KIWA heeft onderzocht wat het rendement is aan de hand van NEN7120+C2. Hieruit blijkt dat het rendement van de douchewarmtewisselaar (in proefopstelling) 63,7% is (De Wit, z.j.). De warmtapwaterbereider hoeft dus 63,7% minder warmtapwater te produceren ten opzichte van de situatie zonder douchewarmtewisselaar.



Figuur 4: Principe douchewarmtewisselaar

### 1.1.4 Geschiedenis van thermische warmte terugwinning

De eerste warmtewisselaars waarbij warmteterugwinning plaats vond zijn gerealiseerd in Zwitserland. Dit gebeurde op grote schaal rond de jaren tachtig van de vorige eeuw. In de riolering werden systemen geplaatst waarmee warmte is teruggewonnen. Dit gebeurt mede doordat de bereiding van warmtapwater is gedaan met stookolie. De kosten van het verwarmen op stookolie zijn vele malen hoger dan de kosten (voor aardgas) die in Nederland nodig zijn. De investering die nodig waren om het systeem aan te leggen betaalde zich eenvoudig terug.

Rond de jaren zestig van de vorige eeuw werden gasvelden gevonden bij Slochteren en werd binnen 10 jaar massaal warmtapwater bereid met gasgestookte installaties. De kosten voor gas waren op dat moment zo laag dat een investering in warmteterugwinning niet rendabel was. In de loop van de tijd is er rondom de gasgestookte installaties veel veranderd. De komst van onder andere hoogrenderende cv-ketels (HR+), driedubbel glas, isolatie van gebouwen, oplopende gasprijzen als gevolg van afnemende productie in Slochteren hebben gezorgd voor hogere kosten en een hoger bewustzijn van bewoners en bedrijven. Net als in Zwitserland is het nu aantrekkelijker om te investeren in warmteterugwinning.

### **1.1.5 Energie prestatie**

Naast dat het aantrekkelijk is om te investeren in de douchewarmtewisselaar zijn er ook eisen gesteld vanuit de overheid. Hiermee probeert de overheid duurzame ontwikkelingen te realiseren. Dit gebeurt door middel van eisen in het bouwbesluit. Energie prestatie coëfficiënten (EPC) normen zijn opgenomen in het bouwbesluit (RVO, 2013). Dit betekent dat ontwikkelaars bij nieuwbouw verplicht zijn energiebesparende maatregelen te nemen. Aan de verschillende maatregelen zijn punten toegekend volgens de NEN7120. De douchewarmtewisselaar heeft op dit moment een waardering van 0,07 (RVO, 2013). Alle maatregelen bij elkaar moeten in totaal een waardering hebben van 0,6 om zo de norm van 0,4 te behalen. Er kunnen meerderde maatregelen worden getroffen naast de douchewarmtewisselaar. Voorbeelden hiervan zijn: HR+ ketel, driedubbel glas en isoleren.

Tot voor kort was het mogelijk om met eenvoudige ingrepen de duurzaamheidsnorm te behalen. De epc-norm is echter steeds verder aangescherpt. Hierdoor is het niet meer mogelijk de EPC-norm met eenvoudige maatregelen te behalen. Aanpassingen zoals PV-panelen, zonneboilers en douchewarmtewisselaars zijn nodig om de EPC-norm te behalen. Echter zijn deze investeringen vrij kostbaar en niet altijd haalbaar. De douchewarmtewisselaar is daar een uitzondering op, omdat de investeringskosten vrij laag zijn. Daarnaast zijn er verschillende varianten op de markt gebracht zodat er voor iedere situatie wel geschikte een variant is.

## **1.2 Relevantie voor onderzoek**

Waternet is het enige waterbedrijf in Nederland dat zich richt op de hele cyclus: het zuiveren van afvalwater, het maken van drinkwater en het oppervlaktewater schoon en op peil houden (Waternet, z.j.). Daarnaast heeft Waternet de doelstelling om in 2020 CO<sub>2</sub> neutraal te zijn. Er moet dan voor de gehele CO<sub>2</sub> uitstoot compensatie plaats vinden. Dit kan in de vorm van zonnepanelen, biogas uit slibbehandeling en door kleinere project. De douchewarmtewisselaar is een van deze kleinere projecten.

Waternet doet onderzoek naar de douchewarmtewisselaar omdat de inpassing van de douchewarmtewisselaar mogelijk gevolgen heeft op diensten/producten die waternet levert. Maar ook omdat er nog geen praktisch gericht onderzoek is gedaan. Het rendement van de douchewarmtewisselaar in een proefopstelling zal waarschijnlijk afwijken van het rendement van een daadwerkelijke opstelling in een woning. Het resultaat kan bijdragen aan een verdere implementatie van dou-

chewarmtewisselaar. Hiervoor is uitgebreid onderzoek gedaan naar de mogelijke gevolgen van de douchewarmtewisselaar.

Waternet is verantwoordelijk voor het leveren van hoge kwaliteit drinkwater tot aan het tappunt. In de huidige situatie is het risico op besmetting zeer klein (Van Wolferen, 2002). Echter door de douchewarmtewisselaar is het drinkwater voorverwarmd tot een temperatuur van ongeveer 30 graden (De Wit, z.j.). Bij deze temperatuur is het van belang om de drinkwaterkwaliteit te waarborgen en te controleren. De laboratoriumtesten wijzen uit dat er geen besmetting plaatsvindt op, rond of in de douchewarmtewisselaar. Ook hier geldt dat de proefopstelling zal afwijken van de daadwerkelijke opstelling in een woning, dit kan alleen worden uitgesloten door middel van onderzoek.

Daarnaast is de temperatuur van het afvalwater dat bij de rioolwaterzuivering aankomt (influent) van belang, hierbij gaat het om de verblijftijd in de zuivering. Een afnemende temperatuur kan dus invloed hebben op de zuiveringen van Waternet. Mocht de effecten van de douchewarmtewisselaar negatief zijn zullen er aanvullende maatregelen nodig zijn, om zo de douchewarmtewisselaar breed te implementeren en dus kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot tegen te gaan. Mochten de kosten voor een maatregel niet opwegen tegen de baten dan is het mogelijk dat de douchewarmtewisselaar ontmoedigd wordt.

De douchewarmtewisselaar bevindt zich op dit moment in een fase waarin deze steeds vaker wordt geïmplementeerd. Echter is er nog onvoldoende inzicht in de praktijkresultaten van de douchewarmtewisselaar. Wanneer de praktijk-resultaten helder zijn, worden deze vertaald naar de mogelijke effecten op de waterketen. Onderzoek in een proefopstelling vergaart informatie aan de hand van vooraf opgestelde randvoorwaarde. Deze randvoorwaarde zijn echter slechts een benadering van de praktijk. De werkelijke effectiviteit van de douchewarmtewisselaar kan dus afwijken van de proefopstellingen. Onderzoek naar de douchewarmtewisselaar is dus nodig en zeer relevant.

### 1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk komt eerst de probleemstelling aan bod, gevolgd door de doelstelling, onderzoeksvragen en afbakening. Daarna volgt het theoretisch kader waarin meer diepgang wordt gegeven in het nationaal en internationaal klimaatakkoord, welk beleid de waterschappen voeren, de aanwezig thermische energie in afvalwater en tot slot de werking en soorten douchewarmtewisselaars. Na het theoretisch kader wordt de methode en de proefopstelling beschreven. Onderstaande figuur is tot slot de leidraad voor het rapport. Het rapport wordt afgesloten met een conclusie, discussie en aanbevelingen.



**Figuur 5: Structuurbeschrijving**

## 2 Probleemstelling

In dit hoofdstuk wordt de probleemstelling besproken. Onderdelen van de probleemstelling zijn de doelstelling en de onderzoeksvragen. Vanuit het probleem volgt de doelstelling om vervolgens te eindigen met de onderzoeksvragen.

In eerste instantie is de douchewarmtewisselaar ontwikkeld om thermische energie terug te winnen uit afvalwater. Hiermee wordt kostbare warmte hergebruikt in plaats van weggegooid. Door de douchewarmtewisselaar wordt dus energie bespaard. In de huidige tendens waarin klimaatveranderingen gestopt moeten worden (Milieucentraal, z.j.) kan de douchewarmtewisselaar dus een bijdrage leveren. Tijdens de klimaatconferentie in Parijs in 2015 zijn verschillende afspraken gemaakt om de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden (United Nations, 2015)). Daarnaast heeft het ministerie van economische zaken in 2015 het energieakkoord gepresenteerd. Ook hierin zijn afspraken gemaakt om de klimaatveranderingen te beperken (United Nations, 2015). Volgens de eerste officiële metingen kan er op een douchebeurt tot 63,5% op het energieverbruik worden bespaard (Kiwa, 2012).

Door het verscherpen van de EPC-norm is er vraag naar energie besparende maatregelen. De douchewarmtewisselaar heeft potentie om energie te besparen. Echter is nog niet duidelijk wat de douchewarmtewisselaar exact voor rendement heeft. In diverse proefopstellingen is het rendement berekend aan de hand van vooraf opgestelde parameters. Dit is een goede methode om de douchewarmtewisselaars onderling te vergelijken. Helaas er is onvoldoende tot geen praktijkervaring omtrent de douchewarmtewisselaar. Daarnaast heeft de douchewarmtewisselaar effect op de waterketen. Drinkwater is voorverwarmd en afvalwater koelt af. Of dit effect heeft op de waterketen is nog onbekend. In de waterketen worden de processen die te maken hebben met temperatuur bekeken. Zowel bij het tappunt van drinkwater bij een hogere temperatuur als bij de effluentlozing bij een lagere temperatuur.

***Kortom is er onvoldoende inzicht in het daadwerkelijk rendement en de effecten op de waterketen.***

---



## 2.1 Doelstelling

Dit onderzoek biedt inzicht in de mogelijk gevolgen van de douchewarmtewisselaar. Hierbij worden diverse aspecten onderzocht. Uiteindelijk zal er een advies worden uitgebracht rondom de interpretatie van de douchewarmtewisselaar.

Een uitgebreid onderzoek naar de douchewarmtewisselaar verschaft inzicht in de mogelijk gevolgen van het gebruik ervan. Hierbij staat centraal dat de negatieve effecten goed in beeld moeten zijn om een onderbouwd advies te kunnen geven. Voorverwarmd water zal onder bepaalde omstandigheden kunnen leiden tot de ontwikkeling van legionella. De kwaliteit van het geleverde drinkwater kan in het geding komen. In een uiterst geval kan het schade hebben voor de volksgezondheid. Onderzocht is of deze eisen voldoende zijn om de drinkwaterkwaliteit te waarborgen daarnaast kunnen metingen van de drinkwaterkwaliteit uitsluitend geven.

Verder heeft het onderzoek als doel het inzichtelijk krijgen van het rendement van de douchewarmtewisselaar. Het gaat hier om het rendement van douchewarmtewisselaars die zijn geïnstalleerd in woningen. Deze praktijkgerichte informatie is gebruikt om te controleren of het rendement in de proefopstelling daadwerkelijk is gehaald in de praktijk.

Het afkoelen van het huishoudelijk afvalwater heeft direct gevolgen op de aanwezige thermische energie in het afvalwater. Echter is nog onvoldoende inzichtelijk of deze afkoeling ook daadwerkelijk effect heeft op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Verschillende processen tijdens het zuiveren van afval water zijn afhankelijk van temperatuur. Het doel is om vroegtijdig de mogelijke negatieve effecten op de temperatuur in kaart te brengen en te beoordelen.

Tot slot is het inzichtelijk maken van kosten en baten, deze is grotendeels gekoppeld aan de besparing van CO<sub>2</sub>. Immers is de energiebesparing zowel om te rekenen in CO<sub>2</sub> reductie als in kostenbesparing. Daarnaast heeft de douchewarmtewisselaar bepaalde kosten voor productie, transport en installatie. Uiteindelijk is het doel om inzicht te krijgen in de terugverdientijd. Daarnaast is wet- en regelgeving van belang met het eventueel verscherpen van de drinkwaterkwaliteit. Ook is bewustwording van de mogelijke gevolgen en de controle die hier op wordt uitgevoerd een belangrijk punt. Daarnaast heeft wet- en regelgeving invloed op de maten waarin duurzaamheid is verplicht, zijn de EPC-normen, die nu zijn toegekend aan de douchewarmtewisselaar, voldoende onderbouwd.

***Kortom, dit onderzoek heeft als doel om inzichtelijk te krijgen wat voor effecten de douchewarmtewisselaar heeft. Voor de volgende aspecten is meer inzicht noodzakelijk om een duidelijk standpunt in te kunnen nemen: CO<sub>2</sub> afname, drinkwaterveiligheid, het rendement, zuiveringsefficiëntie van de RWZI, kosten-baten, wet- en regelgeving.***

---

## 2.2 Onderzoeksvragen

In deze paragraaf worden de onderzoeksvragen behandeld met de daarbij behorende informatiebehoefte en onderzoeksmethode. Aansluitend worden hier de verwachte antwoorden geschetst. Deze antwoorden vormen als input voor de discussie in hoofdstuk 12. De onderzoeksmethode wordt uitgebreid behandeld in hoofdstuk 4. Allereerst de hoofdvraag van het onderzoek.

Uit de probleemstelling en doelstelling komt de volgende onderzoeksvraag:

***Welke onderbouwde standpunten dient Waternet in te nemen met betrekking tot de douchewarmtewisselaars gekeken naar; het rendement, drinkwaterveiligheid, zuivering efficiëntie van de RWZI, kosten-baten, CO<sub>2</sub> afname en wet- en regelgeving?***

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld. Deze staan beschreven in de onderstaande tabel.

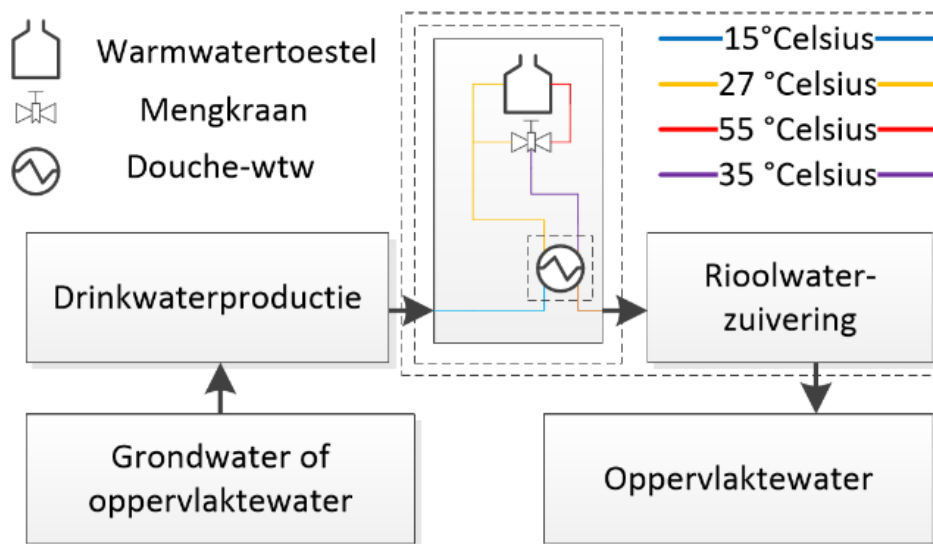
Onderzoeksvraag	Informatie behoefte	Onderzoeksmethode	Verwacht antwoord
Hoe efficiënt zijn de douchewarmtewisselaars zoals deze nu ontwikkeld zijn?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bepalingsmethode achterhalen</li> <li>Theoretische efficiëntie</li> <li>Werkelijke efficiëntie van de douchewarmtewisselaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatuur onderzoek</li> <li>Data analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rendement tussen de 45% en de 60% voor de horizontale d-wtw</li> </ul>
Welke effecten heeft de douchewarmtewisselaar op de warmtapwaterbereider?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effecten van voorverwarmd water op warmtapwaterbereider</li> <li>Effecten van afname warmtapwater vraag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatuur onderzoek</li> <li>Deskresearch</li> <li>Vergelijkingsonderzoek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleine afname van rendement tot maximaal 10% op HR-ketel</li> <li>Nihil effect op het warmtenet</li> </ul>
Wat zijn de effecten op de waterketen (drinkwater en afvalwater) specifiek voor Waternet en Amsterdam?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wat zijn de gevolgen van een lagere afvalwater temperatuur</li> <li>Wat zijn de gevolgen van een tijdelijk hogere drinkwater-temperatuur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatuur onderzoek</li> <li>Data analyse</li> <li>Deskresearch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extra belasting (nitraat verwijdering) op RWZI door temperatuur daling</li> <li>Verhoogde kans op Legionella besmetting</li> </ul>
Wat is de best toepasbare uitvoering (financieel gezien) van een douche-warmtewisselaar in een huishouden?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoeveel bespaard de d-wtw daadwerkelijk in een praktijk-situatie</li> <li>Welke vorm van aansluiten is het beste voor het rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data analyse</li> <li>Beschrijvend onderzoek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besparing van 30 euro (p.p.p.j.)</li> <li>Aansluiten van d-wtw op de mengkraan en de warmtapwaterbereider</li> </ul>
Voor en nadelen van de douchewarmtewisselaar voor Waternet en voor de klanten van Waternet?	<ul style="list-style-type: none"> <li>De CO<sub>2</sub> afnamen bij implementatie</li> <li>Bepalen van de terugverdientijd</li> <li>EPC-norm voor duurzaam bouwen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data analyse</li> <li>Deskresearch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afnamen van 0,7 ton CO<sub>2</sub> (p.p.p.j.)</li> <li>Terugverdientijd van 15 jaar (1 persoonshuishouden)</li> <li>Meest toegankelijk EPC bijdrage bij nieuwbouw</li> </ul>
Waar liggen de kansen voor de douchewarmtewisselaar (thermische	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thermische energierecuperatie</li> <li>Kansen voor verduurzamen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatuur onderzoek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>D-wtw is een juiste vorm van terugwinnen van thermische energie</li> </ul>

### 2.3 Afbakening

Het onderzoek naar de douchewarmtewisselaar is uitgevoerd op drie verschillende niveaus:

1. De douchewarmtewisselaar en het rendement in de praktijk.
2. De gevolgen van de douchewarmtewisselaar in de woning en de installatie in het huishouden.
3. De waterketen is onderzocht op de gevolgen van de douchewarmtewisselaar. De focus ligt in dit niveau op de drinkwaterproductie tot rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Uiteindelijk zullen de drie niveaus bijdragen aan de eindconclusie rondom de douchewarmtewisselaar. In onderstaand figuur 8: afbakening van het onderzoek, zijn de niveaus weergegeven. De niveaus zijn omrand met een stippellijn.



**Figuur 8: Afbakening van het onderzoek**

### 3 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zijn de begrippen en reeds bekende theorieën omschreven. Het theoretisch kader vormt de basis van de hoofdstuk 5 t/m 10. In deze hoofdstukken worden de deelvragen beantwoord. In het theoretisch kader worden de volgende onderdelen behandeld: klimaat afspraken, beleid van waterschappen, thermische energie en werken en soorten douchewarmtewisselaars.

#### 3.1 Nationale en internationale klimaat afspraken

Op 12 december 2015 spraken 195 landen (inclusief Nederland) af om samen de opwarming van de aarde te beperken tot 2,0 graden Celsius met een streven naar 1,5 graden Celsius (United Nations, 2015)). Eerder, op 6 september 2013 zijn er afspraken gemaakt met de Nederlandse overheid en ruim veertig organisatie in het energieakkoord voor duurzame groei (SER, 2013). In deze paragraaf vindt u de belangrijkste onderdelen van deze afspraken met betrekking tot de douchewarmtewisselaar.

##### 3.1.1 Klimaatakkoord Parijs

De Verenigde Naties hebben gezamenlijk een akkoord gesloten in Parijs waarin wordt gestreefd naar maximaal 2,0 graden Celsius opwarming. In de overeenkomst wordt getracht de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5 graden Celsius. Alle landen dienen hiervoor inspanningen te verrichten, waarbij minder ontwikkelde landen worden ontzien. In de verschillende artikelen wordt beschreven hoe deze opwarming te beperken. Artikel 10.5 uit het adoption of the Paris agreement (2015) schrijft voor dat: *“Accelerating, encouraging and enabling innovation is critical for an effective, long-term global response to climate change and promoting economic growth and sustainable development”* (p.26). Hierin wordt dus geschetst dat innovatie nodig is om klimaat verandering effectief tegen te gaan. Verder in het artikel wordt de situatie geschetst dat partijen in vroege stadia moeten participeren. Zowel financieel, door middel van onderzoek en door samenwerking.

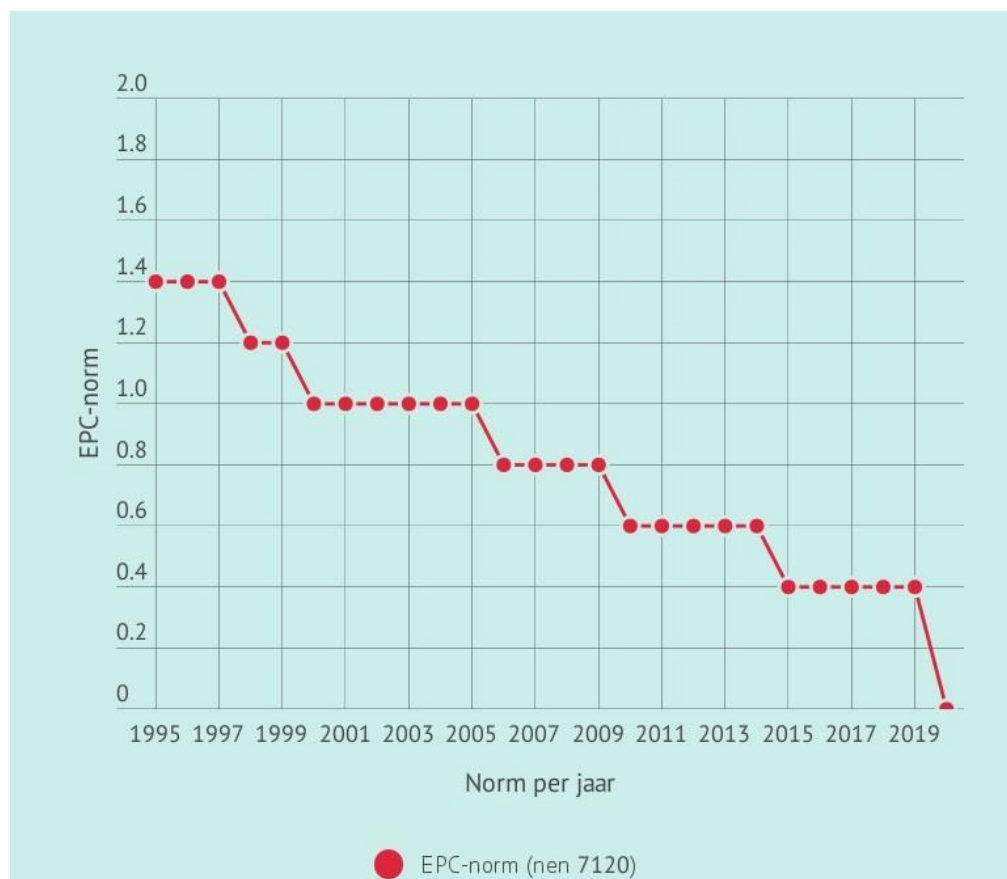
Op 7 november 2013 is het projectvoorstel ondertekend voor verder onderzoek naar de douchewarmtewisselaar. Het projectteam dat werd opgesteld bestaat uit: gemeente Amstelveen, DUWO, Ursem, Schouten Techniek, Dutch Solar Systems en Waternet. Deze samenwerking en wijze van onderzoek is te vergelijken met artikel 10.5 waarin staat beschreven dat deze vorm gehanteerd dient te worden.

##### 3.1.2 Energieakkoord voor duurzame groei

De Sociaal Economische Raad (SER) heeft in opdracht van het ministerie van economische zaken het Energieakkoord opgesteld. Hierin wordt verwacht dat de aangesloten partijen 100 Petajoule besparen per 2020. Dit is gedaan door tien pijlers op te stellen. De eerste pijler is energie besparing, deze pijler sluit het beste aan bij de douchewarmtewisselaar. In paragraaf 1.1 staat beschreven dat er 31 Petajoule kan worden teruggewonnen uit het afvalwater. Dit is in potentie dus een groot onderdeel van de 100 Petajoule die voor 2020 bespaard dient te worden. Daarnaast zijn er verschillende afspraken gemaakt met waterschappen, hier meer over in paragraaf 3.2. In het Energieakkoord wordt ook ingegaan op de percentage duurzame energie t.o.v. het geheel. De douchewarmtewisselaar heeft alleen toegevoegde waarde op de energiebesparing.

### 3.1.3 EPC-normen

Door de Nederlandse overheid zijn eisen gesteld aan de energieprestatie in de vorm van certificaten (EPC), deze certificaten worden toegekend aan energiebesparende maatregelen. Op deze manier kunnen energiebesparende maatregelen met elkaar vergeleken worden. Daarnaast is het mogelijk om met EPC-normen -bij woningbouw- energiebesparende maatregelen te verplichten. Deze normen en de wijze van berekening zijn vastgelegd in de NEN 7120+C2, Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode. De huidige norm (2015) die wordt gesteld in het bouwbesluit voor nieuwbouw van woningen is 0,4 zoals te zien in figuur 8: EPC-normen voor nieuwbouw woningen. Voor woningbouw geldt dan dat er 25 kWh/m<sup>2</sup>.jr energiebehoefte is, 25 kWh/m<sup>2</sup>.jr primair energieverbruik en in totaal moet 50% hernieuwbare energie zijn (RVO,2013).



**Figuur 9: EPC-normen voor nieuwbouw woningen**

De douchewarmtewisselaar geeft een besparing op de warmtapwaterbereider. De douchewarmtewisselaar van DSS (verticaal) heeft een EPC-aftrek van 0,07 en heeft voornamelijk invloed op het primaire energiegebruik (De wit, z.j.). Hieronder valt het bereiden van warm tapwater.

### 3.2 Beleid waterschappen omtrent klimaatverandering

Het beleid bij waterschappen is er op gericht op de klimaatverandering zo veel mogelijk tegen te gaan. Doordat waterschappen verantwoordelijk zijn voor dijken en watersysteem is het van belang hier zelf geen schade aan toe te brengen. Zo blijft Nederland veilig en leefbaar. Waterschappen hebben bijgedragen aan het energieakkoord en hierin is afgesproken dat ze gaan werken aan: 30% minder

energiegebruik, 40% zelfvoorzienend, 30% minder uitstoot van broeikasgassen en 100% duurzame inkoop. Dit alles dient voor 2020 gerealiseerd te zijn. Waterschappen beschikken over rioolwaterzuivering waar een actief energie- en grondstoffenbeleid wordt gevoerd. Zo gebruiken zij afvalstoffen als grondstoffen en gaan zij op zoek naar energiebronnen zoals warmtelevering uit afvalwater, biogas uit actief slib en zonne-energie op de relatief grote zuiveringen.

### 3.2.1 Waternet en klimaatneutraal

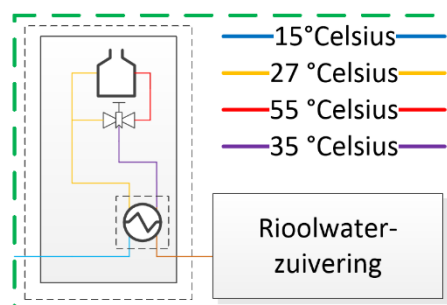
De taken van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) zijn in uitvoering bij Waternet. Vanuit het energieakkoord heeft Waternet de taak om voor 2020 te verduurzamen. Echter heeft Waternet een grotere ambitie en streeft het naar een klimaat neutrale organisatie. Hiervoor is het K2020 programma opgesteld met als doel: klimaatneutraal door circulair handelen (KCH). Om de klimaatneutraal te worden zijn verschillende pijlers opgesteld. Een van de pijlers is: nieuw maatschappelijk nut. Met deze pijler wil Waternet CO<sub>2</sub> reductie realiseren bij de inwoners van het verzorgingsgebied. De douchewarmtewisselaar past goed onder deze pijler. De besparing van de douchewarmtewisselaars zijn voornamelijk bij de inwoners.

### 3.3 Aanwezige thermische energie

In de gehele afvalwaterketen is thermische energie aanwezig. In deze paragraaf wordt de hoeveelheid thermische energie welke aanwezig is in de afvalwaterketen inzichtelijk. Dit gebeurt in de vorm van een energiebalans. Daarnaast wordt de energiebalans van een huishouden opgesteld om tot slot de energiebalans te bepalen van een douchebeurt. Uit de energiebalansen komt naar voren hoe groot de potentie is van de douchewarmtewisselaar. Deze potentie is nodig voor de volgende paragraaf waarin de werking van de douchewarmtewisselaar wordt uitgewerkt.

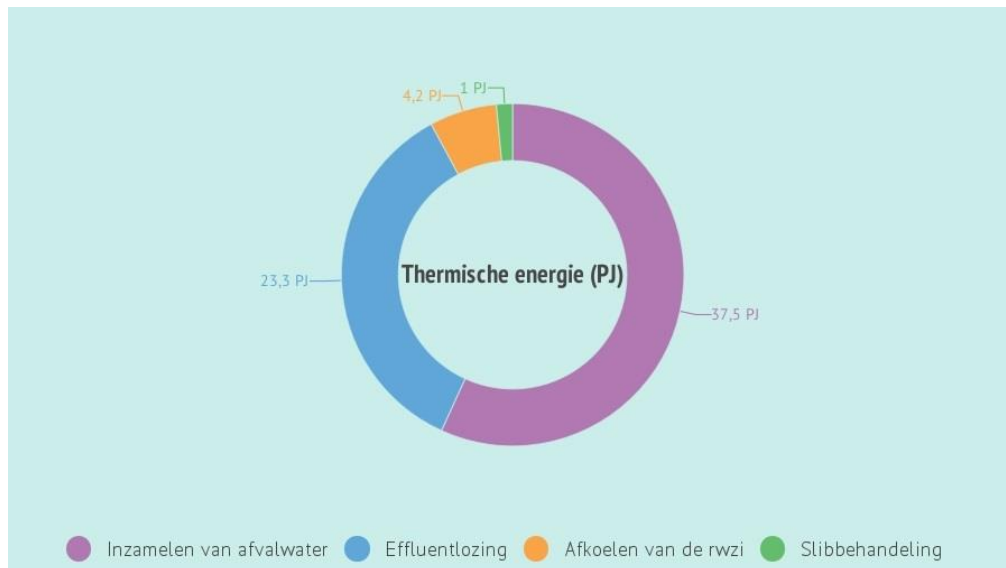
#### 3.3.1 Thermische energie in de waterketen

Zoals eerder te lezen in de inleiding heeft Stowa onderzocht gedaan naar de thermische energie in de waterketen. Hieruit blijkt dat er naar schatting 65 Petajoule per jaar de waterketen in gaat. (Blom et al., 2010). Driekwart van de thermische energie is afkomstig van huishoudens, dat is gelijk aan 49 PJ. In figuur 10 is de afgebakende waterketen weergegeven.



Figuur 10: De waterketen

De thermische energie gaat verloren door afkoeling of door lozing van afvalwater. Daarnaast gaat een klein deel verloren via de slibbehandeling en door afkoeling van de rwzi. De verliezen zijn gevisualiseerd in figuur 11: verloren thermische energie in de afvalwaterketen.

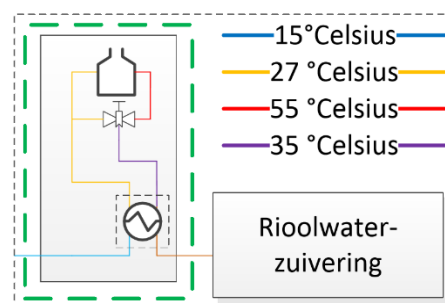


**Figuur 11: Verloren thermische energie in de afvalwaterketen**

Uiteindelijk kan volgens Stowa 31 PJ per jaar worden teruggewonnen door middel van de douchewarmtewisselaar. Één petajoule (PJ) is gelijk aan 278 duizend MWh. Het verbruik van een huishouden is gemiddelde 3.300 kWh. Dit houdt in dat volgens het Stowa in totaal genoeg energie aanwezig is om ongeveer negentienduizend huishoudens van energie te kunnen voorzien.

### 3.3.2 Thermische energie in wooneenheden Uilenstede

Uit de vorige paragraaf is duidelijk geworden wat de thermische energie is in de gehele afvalwaterketen. In deze paragraaf wordt de thermische energie geanalyseerd die aanwezig is in het afvalwater van de wooneenheden in Uilenstede (zie figuur 12). Dit wordt gedaan door de afvalwaterstromen in kaart te brengen en te kwantificeren. In de volgende tabel (figuur 13?) wordt weergegeven wat het watergebruik is en wat de daarbij behorende temperatuur is.



**Figuur 12: Wooneenheden Uilenstede**

Het waterverbruik in Amsterdam is te vergelijken met het waterverbruik in Uilenstede, er wordt alleen meer gedoucht. Douche heeft grootste kostenlasten het waterverbruik en op het energieverbruik zoals te zien in figuur 13: Gemiddeld waterverbruik Nederland.

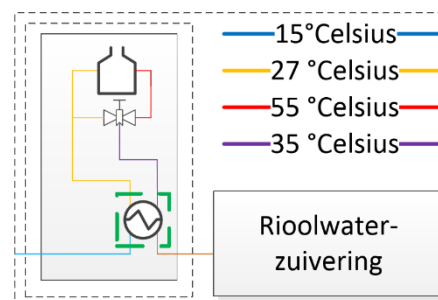
Gemiddelde Nederland	Waterverbruik	Temperatuur afvoer (°C)
Bad	2,5	30
Douche	49	35
Wastafel	5	22
Toiletspoeling	34	18
Kleding wassen, hand	1	30
Kleding wassen, machine	14	30
Afwassen, hand	3	30
Afwassen, vaatwasmachine	3	35
Voedselbereiding	2	50
Koffie en thee	1	37
Water drinken	0,5	37
Overig keukenkraan	5	15
totaal	120	28

**Figuur 13: Gemiddeld waterverbruik Nederland**

### 3.3.3 Thermische energie tijdens het douchen

Om daadwerkelijk de besparing van de douchewarmtewisselaar te kunnen bepalen is in deze paragraaf de thermische energie van het douchen in kaart gebracht. Het gaat hierbij om de temperatuur in de drinkwaterleidingen.

Naar verwachting warmt de douchewarmtewisselaar het drinkwater op tot 27 °C. De gemiddelde drinkwatertemperatuur is dan 15 °C. De douchewarmtewisselaar verwarmt het drinkwater voor met 12 °C. Hierna stroomt het voorverwarmde drinkwater naar zowel de thermostatische mengkraan als de warmtapwaterbereider. Op de thermostatische mengkraan wordt het water gemengd tot 39 °C, dit douchewater koelt af tot 35 °C en stroomt dan de douchewarmtewisselaar in waar de thermische energie is overgedragen (zie figuur 14: douchewarmtewisselaar).



**Figuur 14: douchewarmtewisselaar**

Op basis van bovenstaande gegevens haalt de douchewarmtewisselaar van Dutch Solar Systems een rendement van 63,7%. In de volgende paragraaf vindt u een uitgebreide beschrijving van de douchewarmtewisselaar.



### 3.4 De douchewarmtewisselaar

In deze paragraaf wordt verder ingegaan op de werking van de douchewarmtewisselaar. In de proef- en praktijkopstelling zijn douchewarmtewisselaars geïnstalleerd van Dutch Solar Systems (DSS). De producten van DSS zijn gepatenteerd door Bries Energietechniek. Naast DSS zijn er nog andere douchewarmtewisselaars te koop. Deze zijn vaak net iets anders maar het principe is vaak wel hetzelfde. De andere ontwerpen verschillen dan op kleine onderdelen zoals materialen of aansluitingen. Allereerst is de werking omschreven en daarna de varianten voor warmteterugwinning. Tot slot wordt door de leverancier bij de verkoop van het product het rendement beschreven .

#### 3.4.1 Werking

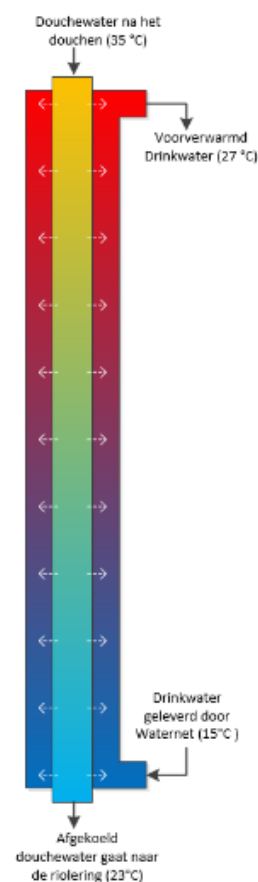
De douchewarmtewisselaar zorgt ervoor dat de restwarmte uit afvalwater direct wordt teruggewonnen. De teruggewonnen warmte wordt overgedragen aan het nog koude drinkwater. Dit gebeurt via een tegenstroom; hierdoor is de overdracht optimaal. In figuur 15: werking douchewarmtewisselaar, is de warmteoverdracht zichtbaar door middel van de witte pijlen. Daarnaast is de tegenstroom zichtbaar.

#### 3.4.2 Aansluiting voorverwarmd drinkwater

Het voorverwarmde drinkwater kan op drie verschillende manieren zijn aangesloten. De drie volgende situaties zijn uitwerkt in een heldere visualisatie. Deze visualisatie is een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

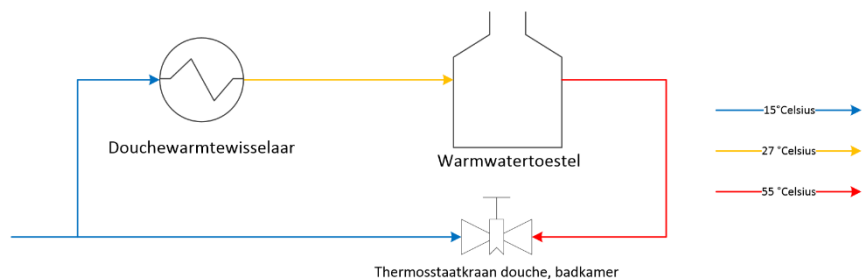
*Een belangrijk kanttekening is dat de douche op de eerste verdieping dient te staan om voldoende ruimte over te houden voor de verticale douchewarmtewisselaar.*

Allereerst is het voorverwarmde water op de mengkraan (de douchekraan) aangesloten, zoals te zien in figuur 16: aansluiting op mengkraan. Gemiddeld is het koude drinkwater voorverwarmd van ongeveer 15 °C tot 27 °C. Het voorverwarmde drinkwater zorgt ervoor dat er minder warm tapwater nodig is om bij te mengen tot douchewater (39 °C).

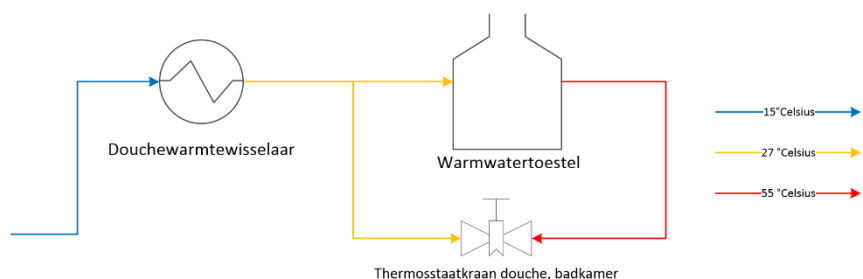


**Figuur 15: Werking douchewarmtewisselaar**

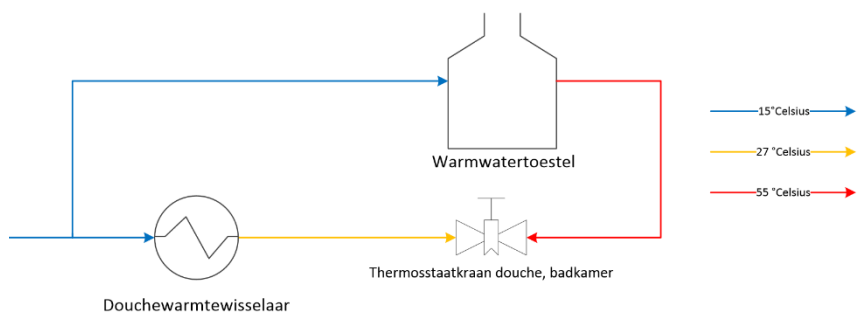
**Figuur 16: Aansluiting op mengkraan**



Daarnaast is het mogelijk om de douchewarmtewisselaar alleen aan te sluiten op de warmtapwaterbereider, zoals te zien in figuur 16: aansluiting op warmwatertoestel. Hierdoor hoeft de warmtapwaterbereider minder energie te gebruiken om het warmtapwater op te warmen tot 55 °C. In de situatie zonder douchewarmtewisselaar is het drinkwater 15 °C en dit wordt opgewarmd door de warmtapwaterbereider tot 55 °C. De douchewarmtewisselaar zorgt er dus voor dat het drinkwa-



ter niet van 15 C°, maar van 27 C° naar 55C° moet worden opgewarmd van 25-30 °C naar 55 °C is opgewarmd. In deze situatie wordt dus ook bespaard. In de derde situatie is het drinkwater voorverwarmd voordat de warmtapwaterbereider het drinkwater verder opwarmt naar de gewenste (55 °C) temperatuur. Daarnaast is het voorverwarmde water ook aangesloten op het mengkraan. De combinatie van de aansluitingen, zoals te zien in figuur 18: aansluiting op meng-



kraan en warmwatertoestel, geeft de hoogste efficiëntie.

### 3.4.3 Soorten douchewarmtewisselaars

Nu het duidelijk is wat de verschillende aansluitmogelijkheden zijn, wordt er in deze paragraaf gekeken naar de verschillende warmte terugwin mogelijkheden. In het algemeen geeft de verticale douchewarmtewisselaar de hoogste efficiëntie. Echter zijn er situaties waarin het aansluiten van een verticale douchewarmtewisselaar niet mogelijk is. Het douchen op de begaande grond is een voorbeeld, ook bij ruimtegebrek kan een verticale douchewarmtewisselaar niet mogelijk zijn. Hiervoor zijn twee alternatieve warmtewisselaars ontworpen welke nog steeds voldoende rendement halen. Hier later meer over. Er zijn drie soorten douche-

#### **Figuur 18: Aansluiting op mengkraan en warmwatertoestel**

warmtewisselaars ontworpen door DSS en Bries energietechniek die in deze paragraaf behandeld worden.

### Douche-pijp warmtewisselaar

De verticale douchewarmtewisselaar is in de loop der jaren doorontwikkeld tot een hoogwaardig product dat volgens het KIWA (in vergelijking met andere types) het hoogste rendement haalt. De douche-pijp warmtewisselaar is weergegeven in figuur 21: verticale douchewarmtewisselaar.

### Douche-bak warmtewisselaar



**Figuur 20: Douche-bak warmte- mteterugwinning terugwinning**

De douche-bak warmteterugwinning is bedoeld voor de installatie waarbij de douche op de begane vloer is of omdat er geen ruimte onder de douche is voor een verticale douchewarmtewisselaar. De spiraal in de douchebak-warmtewisselaar is in principe de koudwater leiding die wordt voorverwarmd, zoals te zien in figuur 19: warmteterugwinning door spiraal. Hierna kan het voorverwarmde drinkwater aangesloten zijn op zowel de mengkraan als de warmtapwaterbereider.

### Douche-goot warmtewisselaar

De douche-goot heeft de zelfde werking als de douchebak, deze is alleen uitgevoerd in een douche-goot versie. Verder heeft de spiraal één omwenteling meer.



**Figuur 21: Verticale douchewarmtewisselaar**

### 3.4.4 Verwacht rendement

Het rendement van alle douchewarmtewisselaar zijn bepaald door middel van de NEN 7120+C2. Hierin staan de uitgangspunten waarmee de douchewarmtewisselaar getest wordt. Het KIWA heeft de efficiëntie bepaald van de douchewarmtewisselaars. Het gaat hier dan om de energie besparing ten opzichte van het normaal energieverbruik tijdens een douchebeurt. Doordat het KIWA deze testen uitvoert is het mogelijk om de douchewarmtewisselaars te onderscheiden. Deze efficiëntie is slechts een indicatie van de douchewarmtewisselaars. Het KIWA geeft aan in de rapportages dat het resultaat tot 5% kan afwijken door afkoeling van het douche-water tussen de douchekop en de douchewarmtewisselaar (Kiwa, 2012). Het resultaat van de verschillende douchewarmtewisselaars is weergegeven in de onderstaande figuur 22.

D-wtw	Efficiëntie	CW-klasse	Efficiëntie met afkoeling
Douche-pijp	63,7 %	4 (9,2 l/min)	58,7 %
Douche-bak	48,3 %	4 (9,2 l/min)	43,3 %
Douche-goot	49,1 %	4 (9,2 l/min)	44,1 %

**Figuur 22: Efficiëntie douchewarmtewisselaars**

## **4 Methode en materiaal**

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksmethode en gebruikte materialen behandeld. Als eerste wordt de methode wordt beschreven en onderbouwd. Daarna worden de materialen die zijn gebruikt voor het onderzoek omschreven. Tot slot worden de proefopstelling en de praktijkopstelling in Uilenstede beschreven.

### **4.1 Onderzoeksmethode**

De douchewarmtewisselaar is een doorontwikkeld product dat zich langzaam in de markt aan het profileren is. In het verleden zijn al veel onderzoeken gedaan naar efficiëntie, veiligheid, etc. Nu is de douchewarmtewisselaar op een punt waarop data uit de praktijk kan worden geanalyseerd. Daarnaast worden verschillende onderzoeksmethode gebruikt om de effecten van de douchewarmtewisselaar te bepalen. Dit gebeurt op basis van de praktijkdata. Het onderzoek is kwantitatieve van aard en er wordt dus vooral met datareeksen gewerkt.

#### **4.1.1 Literatuur onderzoek**

Aan de hand van een datareeks worden uitspraken gedaan over voornamelijk temperatuurveranderingen. Veel van deze veranderingen zijn tot op heden onbekend. Echter zijn de gevolgen van temperatuursverandering wel inzichtelijk. Voornamelijk zal literatuuronderzoek worden uitgevoerd voor: Thermische energie, Legionella veiligheid en nitraat afbraak in de RWZI.

#### **4.1.2 Data analyse**

Nadat de mogelijke gevolgen van de temperatuursverandering inzichtelijk zijn is het van belang om de daadwerkelijke temperatuursverandering te bepalen. Dit gebeurt door middel van data-analyse. In totaal worden er rond de duizend douchebeurten bestudeerd en geanalyseerd. Hieruit kan het gemiddelde temperatuur overdracht worden bepaald en dus het gemiddelde rendement.

Naast de duizend douchebeurten die worden geanalyseerd zullen er ook metingen worden verricht in een proefopstelling. Vanuit de proefopstelling komt data die wordt gebruikt voor het bepalen van de efficiëntie van de d-wtw. Deze data wordt naast de gegevens van de leverancier te gelegd.

Daarnaast wordt de data analyse gebruikt om de effecten op de zuivering inzichtelijk te krijgen. Over een periode van een aantal jaar zullen de effecten van temperatuur op de zuivering beschreven worden. Hierbij gaat het om de temperatuur van grondwater, drinkwater en afvalwater. Daarnaast wordt als referentie de omgevingstemperatuur gebruikt, dit zal een weerstation van het KNMI zijn. Om de effecten op de zuivering te bepalen wordt de concentratie nitraat (mg/L) in het effluent geanalyseerd. Dit alles zal een overzicht geven van de gevolgen van de temperatuursverandering.

### 4.1.3 Deskresearch

Om data-analyse te doen zal sommige informatie gezocht worden bij externe partijen of werknemers bij Waternet. Dit gebeurt door middel van deskresearch. Daarnaast zijn verschillende bronnen zoals het CBS en STOWA bekeken. Hierbij is voornamelijk gekeken naar het gasverbruik en het watergebruik. Verder worden er nog verschillende bestaande bronnen onderzocht zoals de efficiëntie van de warmtapwaterbereider, temperatuur drinkwater met betrekking tot drinkwaterveiligheid en CO<sub>2</sub> uitstoot van huishoudens.

### 4.1.4 Vergelijkingsonderzoek

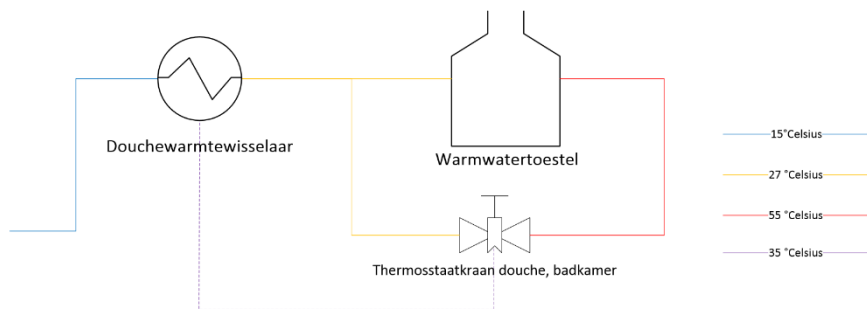
Een groot deel van de validatie gebeurt d.m.v. een vergelijkingsonderzoek. Vanuit de praktijkopstelling in Uilenstede komt data over de besparing. Echter geeft dit onvoldoende zekerheid om deze berekende besparing als waarheid te aanschouwen. Deze besparing wordt vergeleken met de meterstanden van de wooneenheden. Hiermee wordt de totale energievraag van de wooneenheden bepaald. Deze zal een aantal GigaJoule (GJ) lager zijn dan wooneenheden zonder douchewarmtewisselaar. Via deze vergelijking kan het effect van de douchewarmtewisselaar op de energierekening worden bepaald.

### 4.1.5 Focusgroepinterview

Een focusgroepinterview is een vorm van interviewen waarbij er maar één onderwerp besproken wordt. De focusgroep kent verschillende experts en niet-experts. De onderwerpen die besproken worden in de focusgroep zijn: effecten van douchewarmtewisselaar op de zuivering en effecten van douchewarmtewisselaar op drinkwaterveiligheid. Het doel van de focusgroep is om een duidelijk inzichtelijk antwoord te krijgen op de vraag..... Hierbij zijn de randvoorwaarde gegeven en dienen de experts hun interpretatie te geven.

## 4.2 Proefopstelling

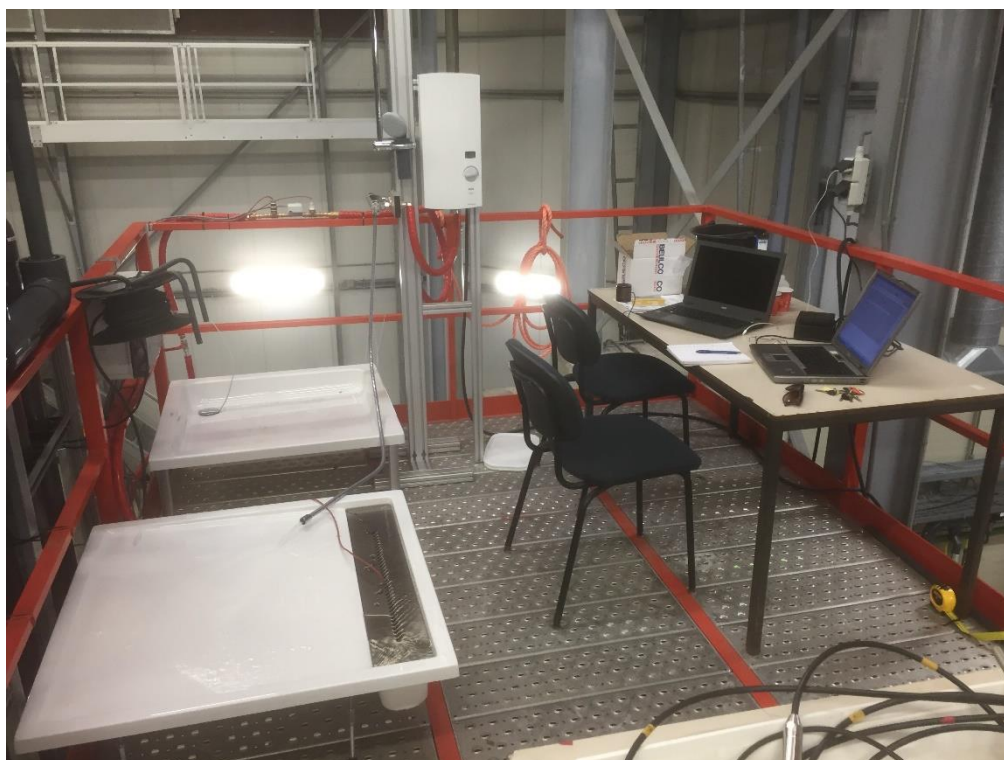
In deze paragraaf wordt de proefopstelling behandeld, gebouwd in de proefhal van drinkwaterzuivering Weesperkaspel (zie figuur 23). Op dit moment staan hier de verticale douchewarmtewisselaar (douchepijp-wtw) en de douchebak warmtewisselaar (douchebak-wtw). Deze opstellingen zijn gebouwd met het doel om specifieke metingen te doen. Het is niet haalbaar om bepaalde metingen bij de bewoners te doen, in verband met de overlast en kosten van de meting. In de proefopstelling ondervindt niemand hinder en zijn de kosten voor water en elektriciteit



**Figuur 23: Schematische weergave proefopstelling**

gedekt.

In sommige praktijkopstellingen is het niet mogelijk om direct in de waterstroom de watertemperatuur te meten. Deze vorm van meten is niet verantwoord voor de drinkwaterkwaliteit. Het is echter wel mogelijk maar de kosten hieraan verbonden wegen niet op tegen resultaten. Hiervoor is de proefopstelling een ideale uitkomst,



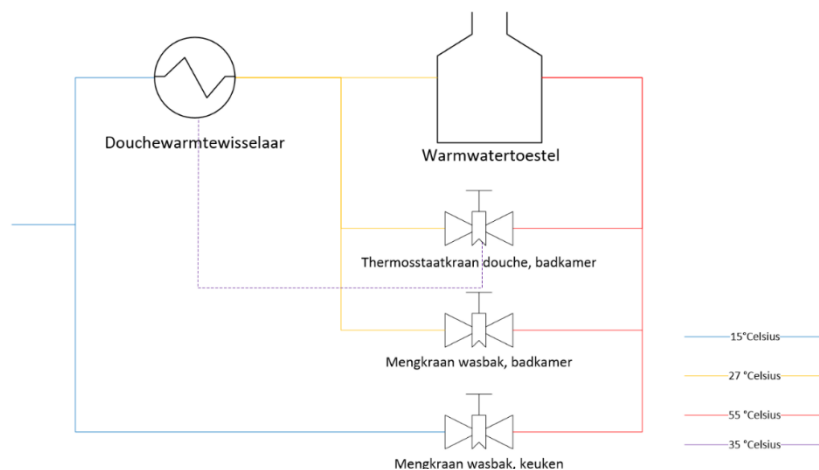
**Figuur 24: Proefopstelling Weesperkaspel**

waar deze metingen wel verricht zijn, zoals te zien in figuur 24: proefopstelling Weesperkaspel.

De proefopstelling is bedoeld om de data uit de praktijkopstelling te verbeteren en/of te valideren.

### 4.3 Praktijkopstelling

In deze paragraaf wordt de praktijkopstelling behandeld, deze is gerealiseerd in de nieuwbouw van Uilenstede. In samenwerking met DUWO, DSS en Schouten techniek zijn hier bij wijze van proef, 100 verticale douchewarmtewisselaars geplaatst.

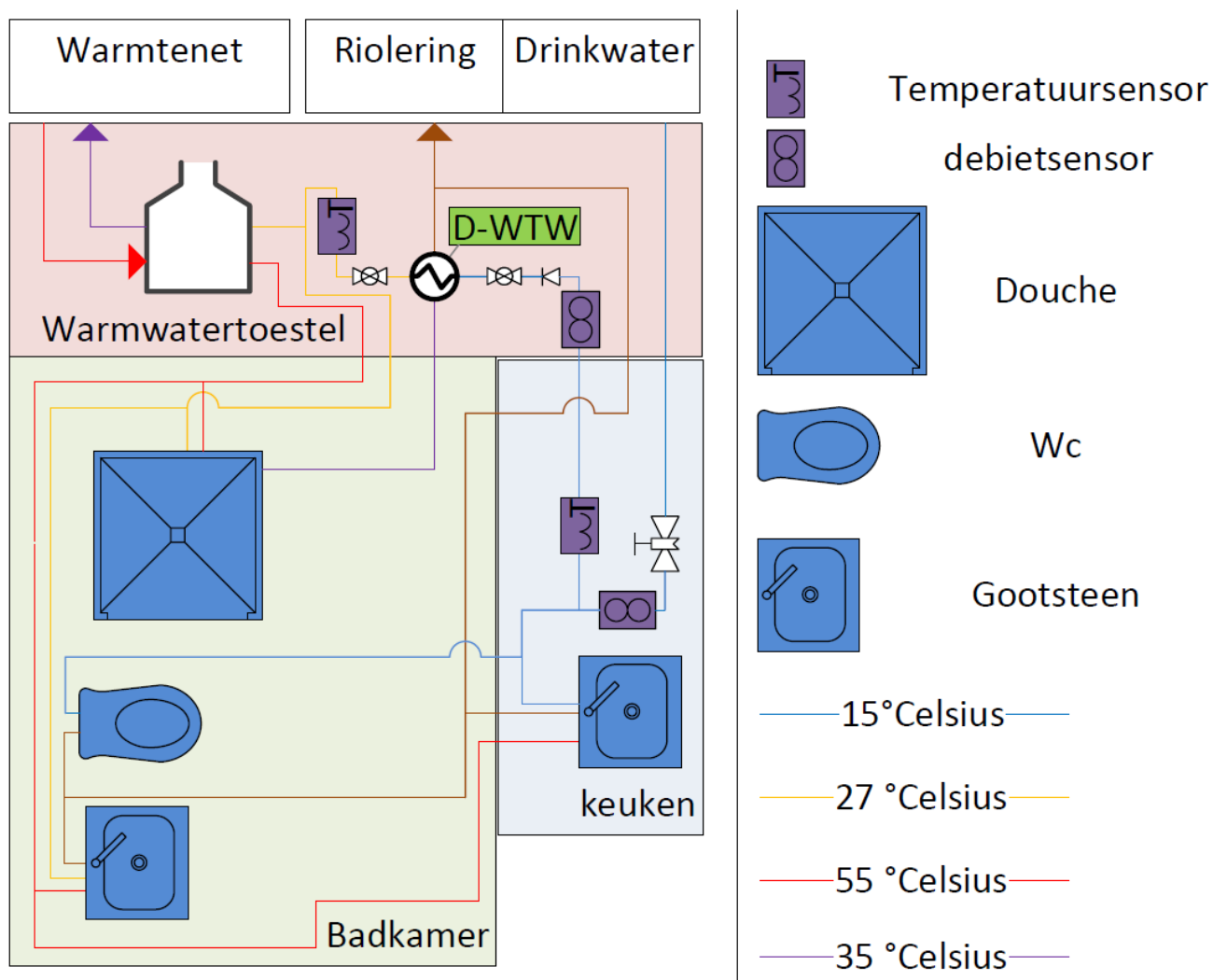


**Figuur 25: Praktijkopstelling Uilenstede**



Hiervan zijn er 10 uitgevoerd met sensoren. De sensoren meten het waterverbruik, drinkwatertemperatuur en voorverwarmde drinkwatertemperatuur. Met deze waarden is de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar bepaald. De opstelling in Uilenstede is weergegeven in figuur 25: praktijkopstelling Uilenstede.

In de praktijkopstelling zijn ook horizontale douchewarmtewisselaars geïnstalleerd (zie figuur 26: plattegrond Uilenstede), echter zijn de resultaten ontoereikend. De praktijkopstelling is verder omschreven in het volgende hoofdstuk. De materialen die zijn gebruikt zijn in de praktijkopstelling komen overeen met de materialen in de proefopstelling.



**Figuur 26: Plattegrond Uilenstede**

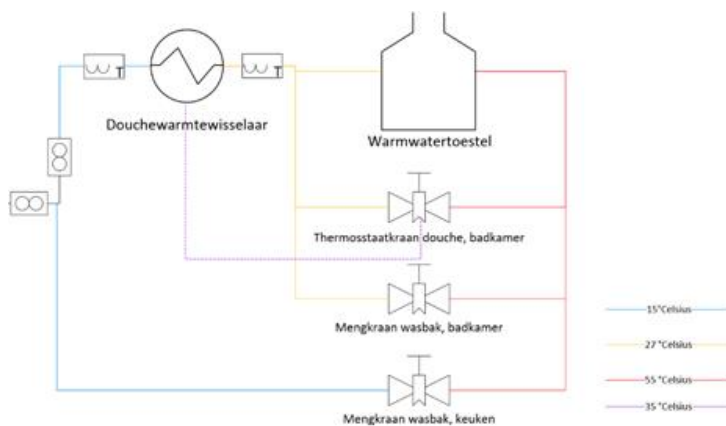
## 5 Efficiëntie douchewarmtewisselaar

In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoordt hoe efficiënt de douchewarmtewisselaar is. In paragraaf 3.4 is te lezen hoe de douchewarmtewisselaar werkt en wat de efficiëntie is volgens het KIWA-rapport. In dit hoofdstuk wordt het rendement van de douchewarmtewisselaar in de praktijk duidelijk. De validatie vindt plaats door middel van de proefopstelling. Allereerst is de installatie in Uilenstede beschreven. Daarna wordt bepaald aan welke eisen een douche voldoet voordat deze is geanalyseerd om tot slot de efficiëntie te bepalen.

### 5.1 Installatie Uilenstede

In deze paragraaf wordt de praktijkopstelling in Uilenstede besproken, nu met aanwezige sensoren, zoals te zien in figuur 27: schematisch overzicht Uilenstede + sensoren. Bij honderd wooneenheden is de douchewarmtewisselaar geïnstalleerd. De installatie komt overeen met variant 3 die omschreven staat in hoofdstuk 3.4. Het gaat hier om de variant waarbij de douchewarmtewisselaar zowel op de warmtapwaterbereider is aangesloten als op de mengkraan van de douche. Daarnaast is in deze situatie ook de gootsteen in de badkamer aangesloten op de douchewarmtewisselaar.

In het figuur hieronder zijn ook de sensoren aangegeven, van links naar rechts, totaal debiet, debiet d-wtw, temperatuur drinkwater, temperatuur voorverwarmd drinkwater.



**Figuur 27: Schematisch overzicht Uilenstede + sensoren**

In Uilenstede is de proef gestart vanuit Waternet en Duwo. Hierbij zijn ook verschillende andere partijen betrokken, zoals eerder al genoemd. Een tiental wooneenheden zijn voorzien van sensoren. Van deze tiental wooneenheden is dagelijks het waterverbruik en de energieoverdracht doorgestuurd naar een database. Vanuit deze database kan de informatie worden gehaald die nodig is om de efficiëntie te bepalen.

Dat gebeurt door middel van de volgende berekening:

$$Q_t = c * m * (T_{\text{voorverwarmd}} - T_{\text{Drinkwater}})$$

$$Q_b = c * m * (T_{\text{Doucher}} - T_{\text{Drinkwater}})$$

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_b}$$

### Vergelijking 1: Berekening efficiëntie douchewarmtewisselaar

De symbolen zoals weergegeven in de bovenstaande formules worden verder omschreven in figuur 28: Tabel bij vergelijking 1

Symbol	Omschrijving	Gebruikt eenheid
$Q_t$	Totaal teruggewonnen warmte	Joules
$Q_b$	Totaal benodigd warmte	Joules
$c$	Energieconstante water	4160 Joules die nodig zijn om één kilogram water één graad kelvin op te warmen (J/kg·°k)
$m$	De massa van het water	Kilogram
$T_{\text{drinkwater}}$	Temperatuur van het drinkwater	Tussen 5 en 20 °C
$T_{\text{voorverwarmd}}$	Temperatuur van het drinkwater na de douchewarmtewisselaar	Tussen 15 en 35 °C
$T_{\text{douche}}$	Temperatuur waarmee is gedoucht	40 °C

**Figuur 28: Tabel bij vergelijking 1**

## 5.2 Wat is een douchebeurt

Zoals de bovenstaande formule omschrijft zijn er verschillende parameters die de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar bepalen. Echter is het belangrijk om vooraf vast te stellen wat een douchebeurt definieert voordat deze wordt geanalyseerd. De volgende uitgangspunten (zie figuur 29) zijn opgenomen in de analyse.

Eenheid	Uitgangspunt	Verantwoording
Warmteoverdracht	Minimaal verschil van 3 °C	Aansluiting gootsteen geeft kleine warmteoverdracht
Debiet	Minimaal 360 l/h	Komt overeen met CW3 klasse (laagste klasse) warmtapwaterbereider
$T_{\text{douche}}$	40°C	Komt overeen met NEN7120
Tijd	1 minuut	Minimaal gestelde douchetijd

**Figuur 29: Uitgangspunten douchebeurt**

### 5.3 Validatie metingen Uilenstede

Om de metingen van Uilenstede te controleren en ook te onderbouwen is er een proefopstelling gebouwd waarin verschillende extra metingen gedaan zijn. Allereerst is gekeken of de temperatuur sensor voldoet aan de hoogste normen. De gebruikte temperatuur sensor in Uilenstede is de Siemens QAD2012, deze sensor wordt op de drinkwaterleiding geplaatst.

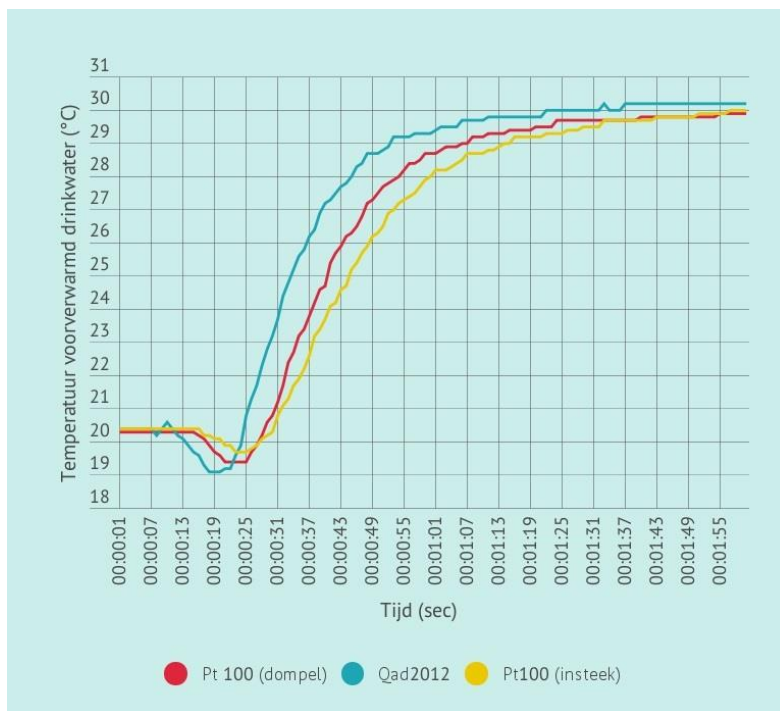
In de proefinstallatie zijn Pt100 sensoren geplaatst. De Pt100 sensoren zijn gemaakt van platina en hebben een meetbereik van -200 °C tot 850 °C. De temperatuur afwijking is bij dit type is 0,5 °C. De sensoren zijn in reeks geplaatst om de verschillen te meten. In onderstaand figuur 30 is weergegeven hoe de meters zijn geïnstalleerd.



**Figuur 30: Opstelling validatie meting**

Van links naar rechts, de dompelbuis met Pt100, Qad2012 en insteek Pt100.

Uit de metingen blijkt dat de gemiddelde afwijking 0,06 °C is in de evenwichtssituatie, zoals te zien in figuur 31: verschillen in meetsensoren. Dit is significant minder dan de opgegeven maximale afwijking van 0,5 C°



**Figuur 31: Verschillen in meetsensoren**

Duidelijk is dat temperatuur die gemeten is binnen de foutmarges valt. De metingen die gedaan zijn in Uilenstede zijn voldoende valide om een uitspraak te doen over de efficiëntie.

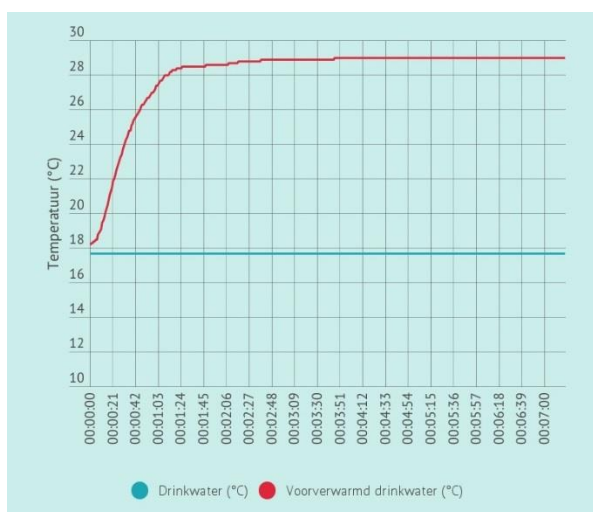
Daarnaast is in de proefopstelling een aantal metingen gedaan over de afkoeling van het afvalwater. Voor het bepalen van de efficiëntie heeft de afkoeling in deze situatie geen invloed. Dit omdat de efficiëntie is bepaald aan de hand van het voorverwarmde drinkwater. In de EPC-norm is de afkoeling bepaald en is dus van toepassing op de berekening. De afkoeling van het douchewater tot doucheputje bedraagt 4 °C. Nadat deze meting is uitgevoerd is de temperatuur van de doucheputje gebruikt om de efficiëntie te bepalen van de douchewarmtewisselaar. De temperatuur in het doucheputje is ingesteld op 35 °C.

## 5.4 Resultaten efficiëntie

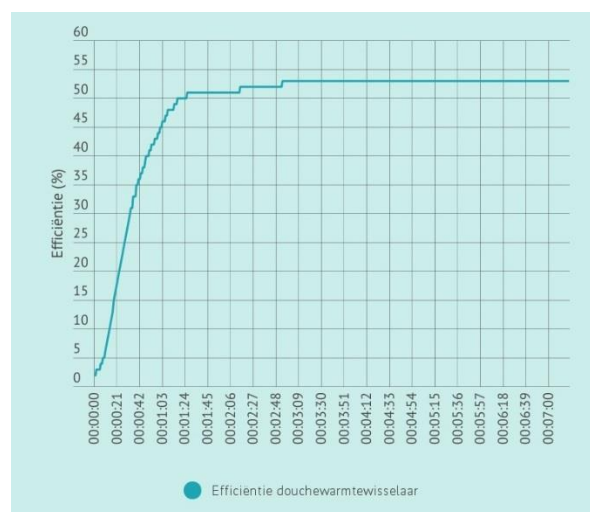
Aan de hand van de beschikbare data van Uilenstede is de efficiëntie berekend. Om de metingen te valideren zijn er verschillende testen gedaan op de proefinstallatie. De resultaten van de proefinstallatie zijn eerst weergegeven gevolgd door de resultaten van de praktijkinstallatie in Uilenstede. Hierbij zijn enkele verhelderende grafieken toegevoegd over: de opstart periode van de douche, een winter situatie en een zomer situatie.

### 5.4.1 Resultaten proefopstelling

De resultaten van de proefopstelling zijn in de onderstaande figuren weergegeven. Er zijn verschillende metingen gedaan met verschillende temperaturen. De onderstaande resultaten zijn tot stand gekomen onder een omgevingstemperatuur van 22,6 °C en een douche temperatuur van 40 °C. De figuren 32 en 33 zijn op basis van de verticale douchewarmtewisselaar. Uiteindelijk stabiliseert de warmte overdracht op 11,7 °C (zie figuur 32) met een rendement van 53% (zie figuur 33).



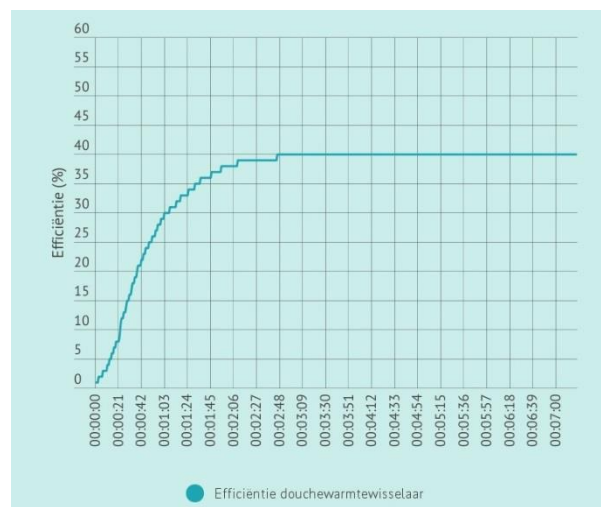
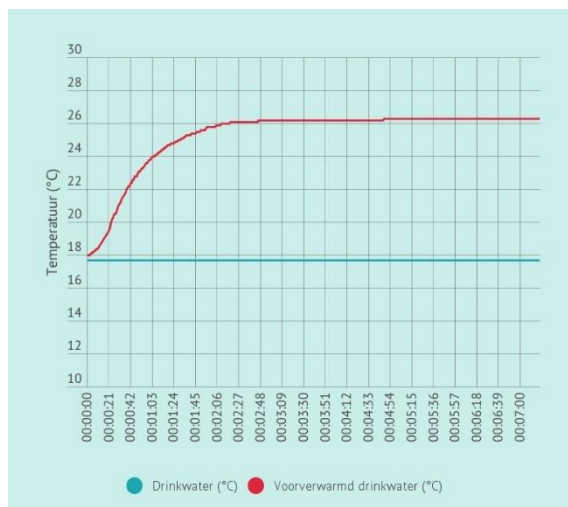
Figuur 32: Werking douchewarmtewisselaar (°C)



Figuur 33: Werking douchewarmtewisselaar (%)

De drinkwatertemperatuur bij deze proef is relatief hoog ten opzichte van de uitgangssituatie van 10 °C. Echter is het in de proefinstallatie niet mogelijk om de drinkwatertemperatuur te koelen. De metingen zijn dus verricht met een temperatuur van 17,7 °C. De efficiëntie van de verticale douchewarmtewisselaar stabiliseert op 53%.

Naast de verticale douchewarmtewisselaar (douchepijp-wtw) is ook de horizontale douchewarmtewisselaar (douchebak-wtw) getest.

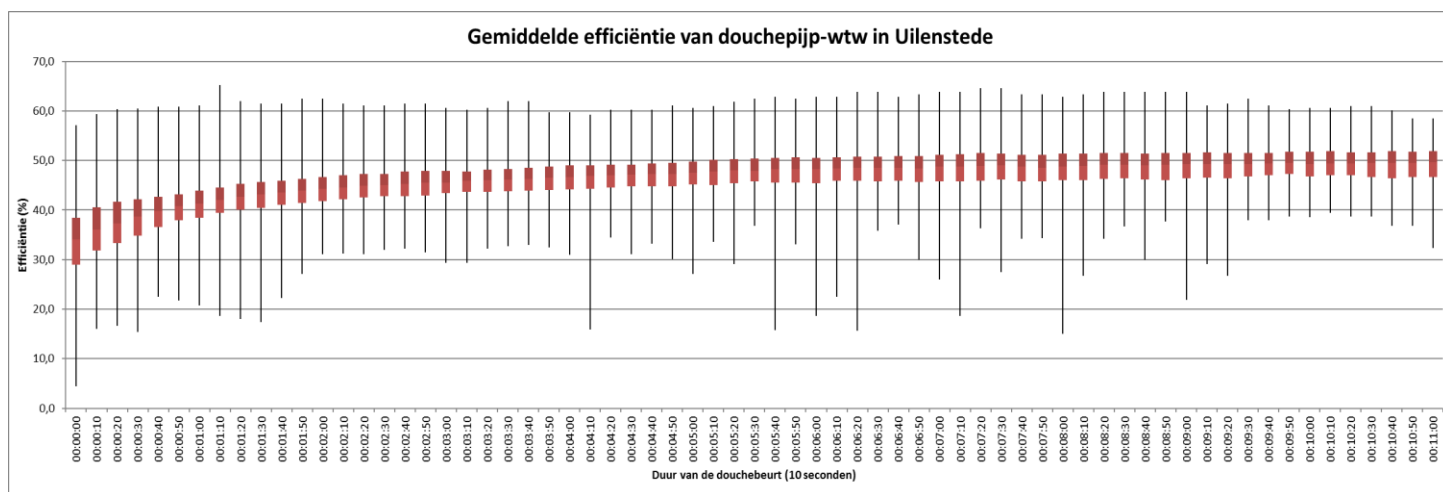


**Figuur 34: Werking douc****Figuur 35: Werking douchewarmtewisselaar (%)**

De horizontale douchewarmtewisselaar stabiliseert op 40%, zoals te zien is in figuur 35. Ook hier is de drinkwatertemperatuur 17,7 °C, zoals te zien is in figuur 34. Uit de praktijkopstelling is geen valide data te halen voor horizontale douchewarmtewisselaar. De douchewarmtewisselaar is niet verder onderzocht omdat de resultaten uit de praktijkopstelling ontoereikend zijn.

### 5.4.2 Resultaten praktijkopstelling

Uit de beschikbare data zijn de douchebeurten (zie paragraaf 5.2) gefilterd door middel van data-analyse. In totaal zijn 1.000 douchebeurten geanalyseerd. Hieruit volgt de figuur 36, waarin de efficiëntie van de verticale douchewarmtewisselaar staat omschreven. Het figuur is opgebouwd met minimale en maximale gemeten rendementen, waarbij het maximale rendement behaald wordt in de winter periode en het minimum in de zomer periode. Daarnaast is in kleur het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartiel weergegeven, het gaat hierbij dus om 50% van de metingen.



**Figuur 36: Efficiëntie douchewarmtewisselaar**



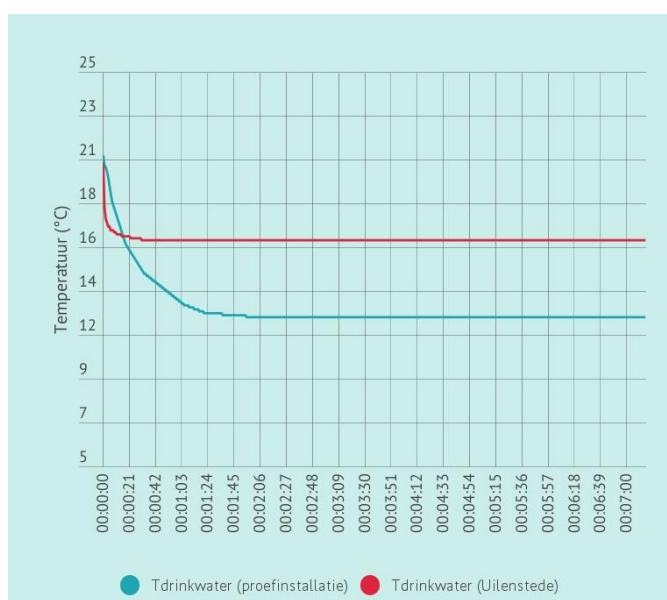
De resultaten komen overeen met de metingen in de proefinstallatie. Echter zijn er een aantal onderdelen verschillend.

- In de praktijkopstelling duurt het langer voordat het rendement stabiliseert. Een verschil van ongeveer 150 seconden.
- De maximale efficiëntie in de praktijkopstelling komt tot 64%, dit is boven de opgegeven efficiëntie. Een verschil van ongeveer 0,5%.

De bovenstaande punten zijn in de volgende paragrafen beschreven. Verder is in de proefopstelling een nieuwe douchewarmtewisselaar getest. In de praktijksituatie kan er vervuiling van de data optreden.

### 5.4.3 Drinkwatertemperatuur bij wooneenheden

Wanneer een douchebeurt begonnen is, zijn er verschillende processen die worden opgestart. Allereerst schakelt de warmtapwaterbereider aan en start met het leveren van warm water, zoals te zien in figuur 38: temperatuurverloop proefinstallatie. In Uilenstede is de afstand tussen warmtapwaterbereider en de douche minder dan vier meter. Dit proces vraagt drinkwater van het drinkwaternet. Echter is de afstand tot de hoofdaansluiting van het gebouw verschillend per wooneenheid. Dit kan verschillen van 14 meter voor de eerste wooneenheid tot 120 meter voor laatste wooneenheid. De wooneenheden die voorzien zijn van sensoren bevinden zich tussen de 80 en 92 meter vanaf de hoofdaansluiting. Het gebouw is op een constante temperatuur en hier vindt dus opwarming plaats van het drinkwater. Het duurt tot ongeveer 1 minuut voordat het drinkwater in zijn geheel is afgekoeld, zoals te zien in figuur 38: vergelijking drinkwatertemperaturen. Daarna duurt het tot 3 minuten tot de douche stabiliseert op de douchetemperatuur. Dit is de verklaring voor het feit dat het verschil in stabiliseren 150 seconden is.



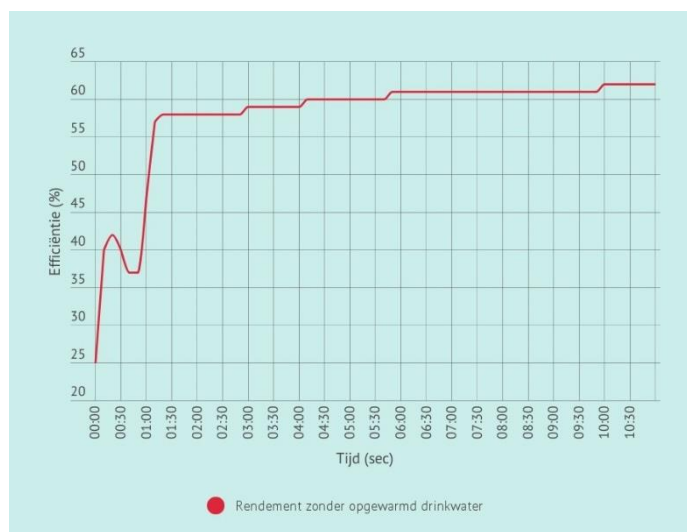
**Figuur 37: Temperatuurverloop proefinstallatie** **Figuur 38: Vergelijking drinkwatertemperaturen**



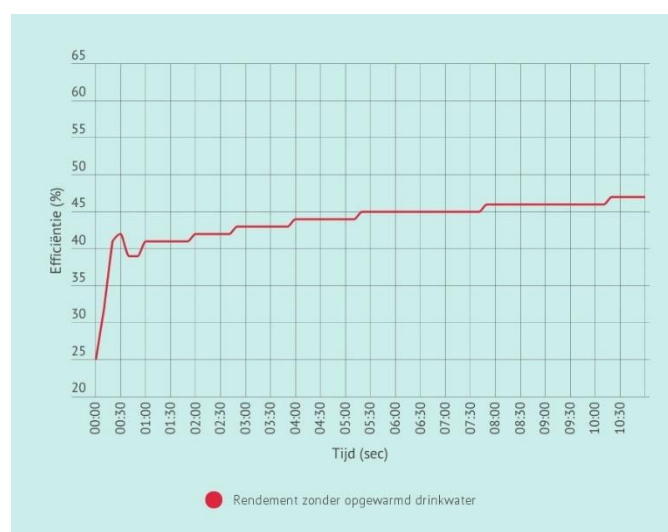
#### 5.4.4 Maximale en minimale efficiëntie

De efficiëntie is dus sterk afhankelijk van de drinkwatertemperatuur. In deze paragraaf is gezocht naar uitersten in de dataset. Hierbij is een douchebeurt geanalyseerd waarbij het drinkwater in de leidingen al is afgekoeld, dit kan zijn doordat er vlak voor de douchebeurt drinkwater is gebruikt. Het gaat hierbij om waterverbruik bij een andere wooneenheid.

Het maximale rendement is behaald bij een temperatuur van 8 °C zoals te zien in onderstaand figuur 39: Efficiëntie drinkwatertemperatuur (8°C). Daarnaast is minimale rendement te zien bij 18 °C in figuur 40: Efficiëntie drinkwatertemperatuur (18°)



Figuur 39: Efficiëntie drinkwatertemperatuur (8°C)



Figuur 40: Efficiëntie drinkwatertemperatuur (18°C)

Een verklaring voor de zigzag in het rendement zoals te zien na 30 seconden; Het drinkwater is in de douchewarmtewisselaar tot kamertemperatuur opgewarmd. Bij waterverbruik lijkt het dus alsof het rendement van de douchewarmtewisselaar afneemt na 30 seconden. Dit komt doordat er wel koud drinkwater is gemeten voor de douchewarmtewisselaar, maar dit koude drinkwater nog niet door de douchewarmtewisselaar heen is. Hierna is het douchewater opgewarmd en is er thermische warmte overdracht naar het koude drinkwater. Dit geldt ook voor de zomer situatie alleen is deze sterk afgevlakt.

#### 5.4.5 Afname efficiëntie

In de praktijkopstelling is het mogelijk om 'vervuiling' te meten. De vervuiling zal invloed hebben op de efficiëntie en is dus zichtbaar zijn in verloop van tijd. In de onderstaande grafiek zijn januari 2015 en januari 2016 met elkaar vergeleken. De drinkwatertemperaturen waren in deze maanden nagenoeg gelijk. De douchewarmtewisselaar sterk afhankelijk van deze drinkwatertemperatuur en hier zal dus een kleine foutmarge aanwezig zijn. In figuur 41 is de mogelijke vervuiling weer gegeven.



**Figuur 41: Efficiëntie vergelijking na 1 jaar**

Op een douchebeurt van 8 minuten is het rendement gemiddeld 3% lager. Echter is deze afname niet volledig te verklaren door middel van vervuiling. De gemiddelde drinkwater temperatuur in beide maanden is vrijwel gelijk. Het effect van de opwarming in het gebouw kan in het januari 2016 groter zijn geweest dan in januari 2015. Daarnaast omschrijft het KNMI januari 2015 als: Zacht, nat en normale hoeveelheid zon. En januari 2016 als: Zacht, nat en aan de zonnige kant. De gemiddelde temperatuur van beide maanden verschilt met 0,8 °C. Het rendement is sterk afhankelijk van de drinkwatertemperatuur en is het dus niet mogelijk om de 3% afnamen volledig toe te wijden aan vervuiling.

Daarnaast is het rendement de eerste 3 minuten gelijk. In de eerste 3 minuten is het drinkwater nog voorverwarmd door het gebouw. Deze temperaturen zijn vrijwel gelijk. Hierin is dus ook geen vervuiling te zien.

#### **5.4.6 Deelconclusie efficiëntie douchewarmtewisselaar**

Het rendement van de douchewarmtewisselaars is bepaald aan de hand van een proefopstelling en een praktijkopstelling. Hieruit blijkt dat de drinkwatertemperatuur een grote invloed heeft op het rendement. In de praktijkopstelling is het drinkwater al opgewarmd door de omgevingstemperatuur. Het rendement van de verticale douchewarmtewisselaar is op jaarbasis 53%.

## 6 Effecten op huishoudelijke installatie

Nu duidelijk is wat de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar is, is gekeken naar de effecten op de huishoudelijke installatie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de temperatuursverandering van afvalwater en de efficiëntie van de warmtapwaterbereider. Daarnaast zijn de mogelijk kansen op legionella ontwikkeling beschreven.

### 6.1 Waterverbruik en temperatuur overdracht

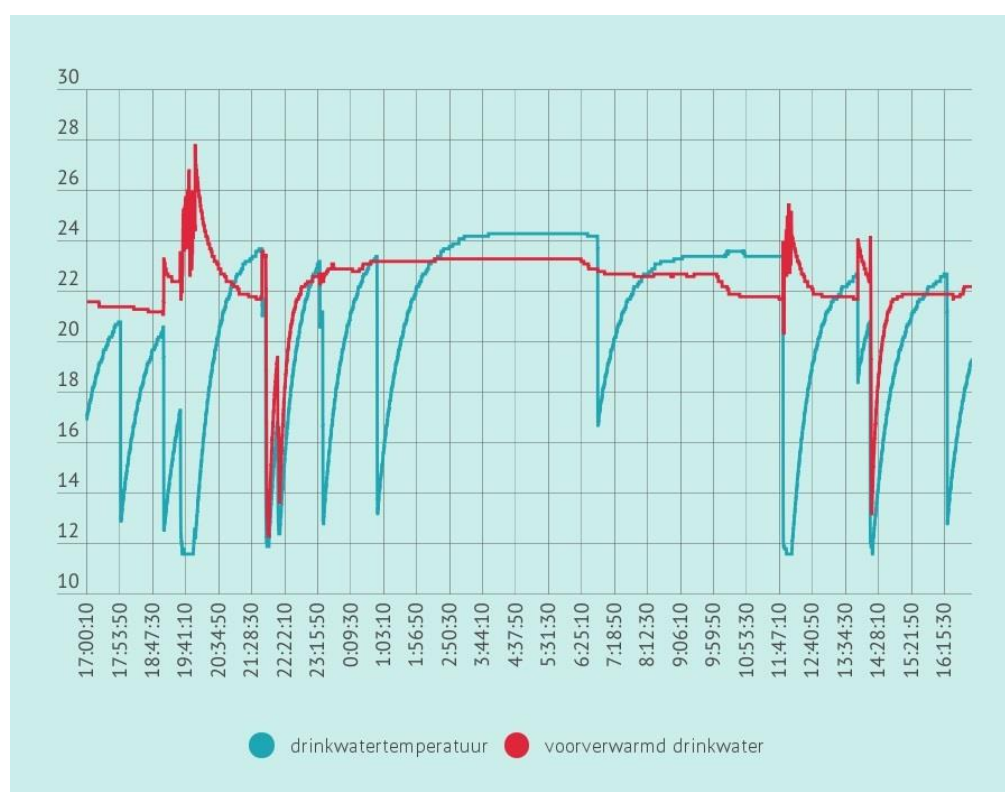
Allereerst wordt ingegaan op het waterverbruik en temperatuur in de voorverwarmde leiding. Dit geeft een inleiding voor de rest van het hoofdstuk. Om inzichtelijk te krijgen wat het waterverbruik is zijn 24-uurs metingen uitgevoerd. De volgende 24-uurs meting geeft een goed beeld van het gemiddelde waterverbruik.



Figuur 42: Drinkwaterverbruik (24-uurs meting)

Als toelichting op bovenstaand figuur is in bijlage 1: drinkwaterverbruik, een gedetailleerde beschrijving gegeven. Met daarbij de daadwerkelijke watervraag in liters. Hierbij is een onderscheid te maken tussen douche, wc, badkamer en keuken. De badkamer en keuken worden beide verschillend gebruikt voor bijvoorbeeld afwas, drinken, voedselbereiding en handen wassen. Hier is in de tabel geen rekening mee gehouden.

Om uiteindelijk het effect (van de douchewarmtewisselaar) op de huishoudelijke installatie te bepalen is de temperatuur van het drinkwater noodzakelijk. In de volgende figuur 43 is de temperatuur overdracht weergegeven.



**Figuur 43: Temperatuur verloop in drinkwaterleiding**

Hierin is te zien dat bij iedere vorm van waterverbruik het inkomende drinkwater temperatuur daalt (blauwe lijn). Daarnaast geeft de rode lijn weer wat de temperatuur is na de douchewarmtewisselaar dit is dus het voorverwarmde water. Hierin is meer variatie te zien. Bij doorstroming van warm afvalwater stijgt de temperatuur (na de douchewarmtewisselaar) van het drinkwater. Daarnaast is te zien dat de douchewarmtewisselaar in deze situatie ook gelijk kan zijn aan het inkomende drinkwater temperatuur, hierbij is er sprake van een koude stroom douchewarmtewisselaar bijvoorbeeld bij het tandenpoetsen. Tevens is ook de gootsteen aangesloten op de douchewarmtewisselaar. Dit is terug te zien in de grafiek, hier zijn piekjes zichtbaar rond 22:18 en rond 13:30.

## 6.2 Afvalwater temperatuur wooneenheden

De douchewarmtewisselaar draagt de thermische energie in afvalwater over naar het drinkwater. De temperatuur van het huishoudelijk afvalwater daalt dus na de

Uilenstede	Waterverbruik (liters)	Temperatuur afvoer (°C)
Douche	69	35
Wastafel	6	22
Toiletspoeling	24	18
Afwassen, hand	5	30
Voedselbereiding	2	50
Koffie en thee	1	37
Water drinken	1	37
Overig keukenkraan	4	15
totaal	112	30

installatie van een douchewarmtewisselaar. Op de volgende pagina is figuur 45 weergegeven met daarin de afvalwatertemperaturen met douchewarmtewisselaar. Om dit juist te kunnen vergelijken is er ook een tabel toegevoegd met de waarde zonder douchewarmtewisselaar (zie figuur 44: waterverbruik Uilenstede).

**Figuur 44: Waterverbruik Uilenstede**

Uit de figuren valt af te lezen dat de temperatuur van het huishoudelijk afvalwater daalt met ongeveer 8 tot 10 graden. Dit geldt specifiek voor de situatie in Uilenstede. Er geldt dat de temperatuur van het huishoudelijke afvalwater daalt met ongeveer 8 graden. De verhoogde afname ten opzichte van het gemiddelde verbruik komt doordat er in de wooneenheden voornamelijk studenten wonen. De studenten douchen langer en het effect van de douchewarmtewisselaar is dus groter. Met deze informatie en de informatie uit paragraaf 6.1 kan een nieuwe balans worden opgemaakt. In figuur 45 is het waterverbruik met de bijbehorende temperatuur weergegeven. Hierbij is de douchewarmtewisselaar nog niet verwerkt.

De gemiddelde uitgaande temperatuur is ongeveer 30 °C. Dit is iets hoger dan het landelijk gemiddelde van 28 °C, zoals eerder genoemd is dit te verklaren doordat de studenten langer douchen. De effecten van de douchewarmtewisselaar op de afvalwater temperatuur is weergegeven in de volgende figuur: Waterverbruik Uilenstede met douchewarmtewisselaar.

Uilenstede met douchewarmtewisselaar	Waterverbruik	Temperatuur afvoer (°C)
Douche na wtw	69	20
Wastafel	6	22
Toiletspoeling	24	18
Afwassen, hand	5	30
Voedselbereiding	2	50
Koffie en thee	1	37
Water drinken	1	37
Overig keukenkraan	4	15
totaal	112	21

**Figuur 45: Waterverbruik Uilenstede met douchewarmtewisselaar**

De temperatuur van het afvalwater neemt met 9 °C af tot 21 °C. Voor de huishoudelijke installatie heeft dit geen invloed. Deze temperatuurdaling is meegenomen in hoofdstuk 7: Effecten op de waterketen.

### **6.3 Drinkwatertemperatuur**

Naast een temperatuurdaling van het afvalwater gebeurt er meer in de huishoudelijke installatie. Zo brengt de verandering van drinkwatertemperatuur mogelijk risico's rondom legionella met zich mee. Deze risico's zijn in deze paragraaf onderzocht. Tevens is inzichtelijk gemaakt wat de gevolgen zijn van voorverwarmd drinkwater op de warmtapwaterbereider.

#### **6.3.1 Legionella**

Een legionellabesmetting ontstaat door het inademen van waterdamp met daarin de bacterie. Er zijn verschillende soorten legionella, maar de legionella pneumophila is verantwoordelijk voor de meeste besmettingen. Bij het inademen van de bacterie kan legionellagriep en veteranenziekte veroorzaken. De legionellagriep is vaak van korte duur, de veteranenziekte is chronisch. De groep die gevoelig is voor besmetting is mensen met een verminderde weerstand, ouderen en stevige rokers (legionella.nl, z.j.).

Legionella is aanwezig in het drinkwaternetwerk, echter heeft het hier meestal geen kans om zich te ontwikkelen. Onder bepaalde omstandigheden kan de bacterie zich toch ontwikkelen. Hierbij zijn bepaalde groeifactoren nodig. Zo groeit de bacterie alleen in water, moet er voldoende voeding en zuurstof zijn. Daarnaast groeit de bacterie in een warme omgeving van 25°C tot 55 °C met een optimum van 37°C. Tot slot heeft de bacterie een vestgingsplaats nodig.

Om legionella te voorkomen zijn er eisen gesteld aan de drinkwaterinstallatie dit om de groeifactoren weg te nemen. Dit is opgenomen in het drinkwaterbesluit. Met betrekking tot legionella zijn de voornamelijk de volgende eisen van belang: maximale temperatuur van 25 °C, legionella koloniegetal van 100 kve/ml (100 kolonie vormende eenheden per 100 milliliter (Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, 2011).

Met de douchewarmtewisselaar komt de temperatuur van het drinkwater kortstondig boven de 25 °C. Daarnaast is de omgevingstemperatuur van de schachten in Uilenstede rond de 22 °C, dit komt door de aanwezigheid van het warmtenet. Het drinkwater heeft hierdoor een waarde rond de 25 °C zoals te zien in figuur 43: drinkwatertemperaturen (zie paragraaf 6.1). Het gaat hier wel om de minimale temperatuur die nodig is om eventuele vorming van de bacterie mogelijk te maken.

Zoals al eerder aangegeven zijn er meer groeifactoren nodig. Het volgend belangrijk onderdeel is de hoeveelheid voeding in het water. Legionella ontwikkelt zich niet in een omgeving waarin maar 1 liter water beschikbaar is. De douchewarmtewisselaar is voorzien van een terugstroomventiel. Er is dus geen uitwisseling met voeding van voor de douchewarmtewisselaar.

In theorie kan de bacterie zich ontwikkelen, maar het risico is zeer gering. Naast de theoretische benadering zijn er in Uilenstede 14 waterkwaliteitsmonsters genomen. Het nemen van waterkwaliteitsmonster is één momentopname van de drinkwaterinstallatie. Er is getracht de metingen goed te verspreiden door het gebouw, dit is echter beperkt door de aanwezigheid van de bewoners.

Uit de metingen van een gecertificeerd bedrijf blijkt dat er minder dan 100 kve/l aanwezig zijn. Daarnaast is de parameter *Aeromonas* onderzocht een algemene indicator voor schoon drinkwater. Hiervoor is een eis van 1000 kve/100ml. In de monsters zijn tot 43 kve/100 ml aangetroffen. Ook dit is beneden de gestelde eisen voor drinkwaterkwaliteit. Het gehele resultaat van de waterkwaliteitsmonsters zijn terug te vinden in bijlage 2:HWL Legionella onderzoek

Uit onderzoek, van Hans van Wolferen voor het TNO, blijkt dat de douchewarmtewisselaar risicokwalificatie neutraal heeft (Wolferen, 2002). Hierbij is gesteld dat de drinkwatertemperatuur niet hoger mag zijn dan 20 °C. In de situatie Uilenstede is de temperatuur echter wel hoger dan 20 °C. Uit de eerste indicatie blijkt dat ook hier geen legionella is aangetroffen.

### **6.3.2 Efficiëntie warmtapwaterbereider**

De risicokwalificatie van legionella is niet groter met of zonder douchewarmtewisselaar. Echter heeft het voorverwarmde water ook invloed op de warmtapwaterbereider. In deze paragraaf wordt duidelijk wat de effecten zijn op de warmtapwaterbereider.

Bij het bereiden van warmtapwater is de efficiëntie afhankelijk van de type installatie. Daarnaast is het van belang dat het verschil in temperatuur zo groot mogelijk is. De gemiddelde installatie is ontworpen om koud drinkwater (10 °C) op te warmen tot ongeveer 60 °C. Het rendement wat behaald wordt met Hr-ketels ligt boven de 100%. Dit komt omdat er met de warme luchtstroom uit de Hr-ketel extra warmte is overgedragen aan het koude drinkwater. Dit is de condensatiewarmte waarmee het rendement tot 11% kan oplopen.

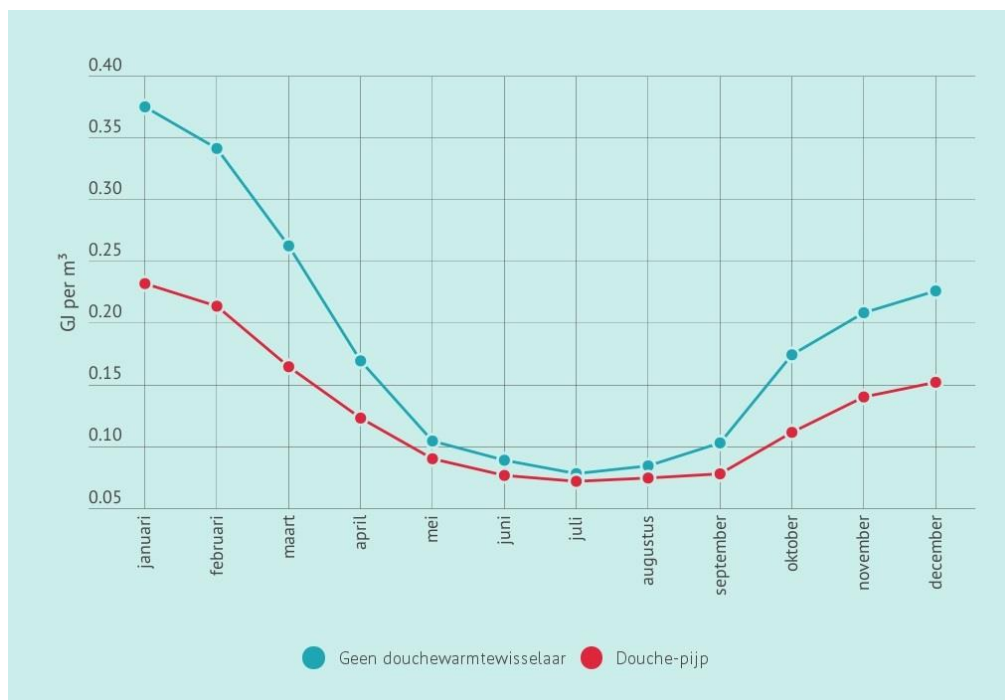
Bij voorverwarmd drinkwater is de warmtewinst door condensatie van waterdamp in theorie dus lager. Het rendement kan dus maximaal 11% teruglopen.

Uit eerder onderzoek van Hans van Wolferen blijkt dat bij een te hoge retourtemperatuur het rendement met gemiddeld 5% afneemt. De retourtemperatuur van de centrale verwarming is de temperatuur wat de Hr-ketel instroomt. De centrale verwarming pompt het water rond en zorgt zo voor verwarming in het huishouden.

In de situatie van Uilenstede is er echter geen Hr-ketel maar een warmtewisselaar tussen het warmtenet en de huishoudelijke installatie. In deze variant is er geen direct rendement verlies bij de warmtewisselaar omdat hier geen condensatiewarmte gebruikt wordt.

Deze theorie wordt bevestigd door het vergelijkingsonderzoek. Hieruit valt niet op te maken dat er een verlies is op het rendement van de warmtewisselaar en de totale energiebesparing. De totale besparing van de douchewarmtewisselaar komt overeen met de daadwerkelijke besparing van de wooneenheden in Uilensteden.

Om de effecten op de warmtewisselaar inzichtelijk te maken is gekeken naar de hoeveel GJ die nodig is om één m<sup>3</sup> op te warmen, zoals te zien in figuur 46.



**Figuur 46: Energieverbruik Uilenstede**

In de zomer is de drinkwatertemperatuur hoger dan de in de winter, hierdoor kan de douchewarmtewisselaar nog maar weinig thermische energie overdragen. In de winter is het verschil groter en kan er dus wel thermische energie worden overgedragen. Op basis van deze energiedata is het niet mogelijk om het efficiëntie verlies van de warmtapwaterbereider te bepalen.

Zoals uit bovenstaand figuur blijkt, lijkt de warmtapwaterbereider geen nadeel te ondervinden van de verandering in temperatuur, veroorzaakt door de warmtewisselaar. Meer over het energiegebruik in hoofdstuk 8: Financieel overzicht.

### 6.3.3 Deelconclusie effecten op huishoudelijk installatie

Het effect op de (drinkwater)installatie is met betrekking tot de warmtapwaterbereider nihil. De warmtapwaterbereider is de praktijkopstelling is een warmtewisselaar die is aangesloten op een warmtenet. Hier is geen merkbaar verlies op efficiëntie. Daarnaast is de risicoveiligheid met betrekking tot legionella neutraal. Het risico op een legionella besmetting is gelijk aan een installatie zonder douchewarmtewisselaar.



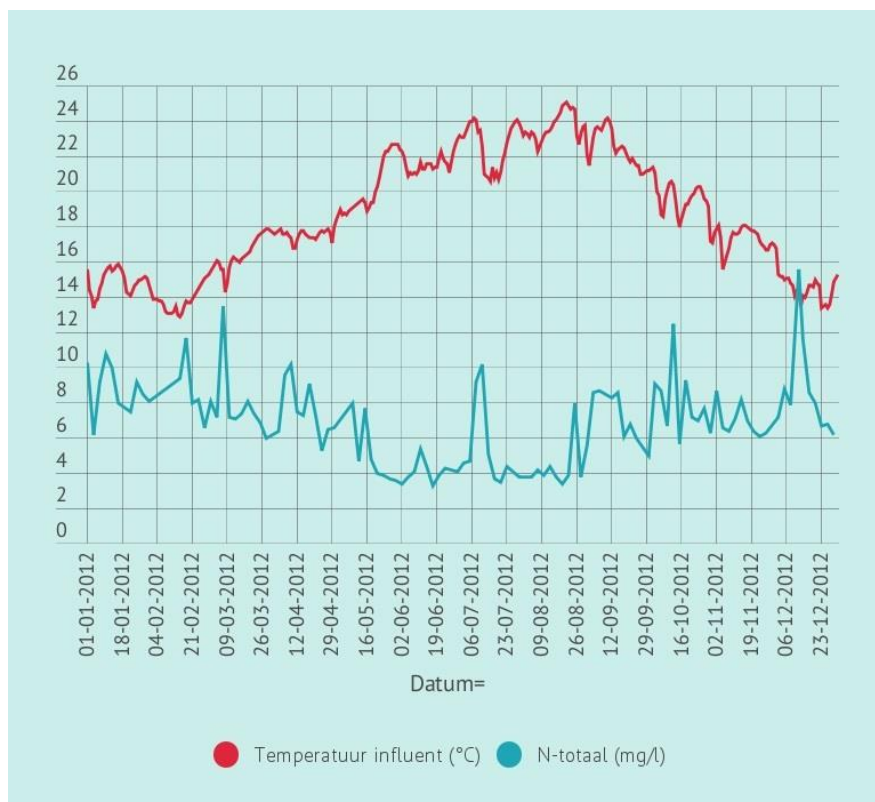
## 7 Effecten op de waterketen

In voorgaande hoofdstukken werd beschreven wat het rendement is van de douchewarmtewisselaar en welke invloeden dit heeft op de huishoudelijke installatie. Hieruit is gebleken dat de temperatuur van het huishoudelijke afvalwater afneemt met ongeveer 8 °C. Wat is het effect van 8 °C temperatuur daling bij de huishoudens op het riool en vervolgens op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)? In dit hoofdstuk zien we wat de gevolgen zijn van een lagere afvalwater temperatuur (influent) op (afval)waterketen. Daarnaast wordt een schatting gedaan van de temperatuurdaling van het afvalwater, en tot slot is er een schatting gedaan van de effecten van een lagere temperatuur op de zuivering.

### 7.1 Huidige temperaturen in de waterketen

Het belangrijkste proces waar de afvalwater temperatuur invloed op heeft is het verwijderen van stikstof. Daarnaast is duidelijk wat de minimum temperatuur kan zijn zonder dat dit schadelijk is. Om nu een goed overzicht te geven wordt eerst de temperatuur van het afvalwater behandeld en daarna de belangrijkste invloed factoren van deze temperatuur.

In de volgende grafiek is de temperatuur van het afvalwater weergegeven en de stikstofconcentratie in het effluent. De stikstof concentratie wordt uitgedrukt in N-totaal waarin alle stikstofverbinding gemeten worden.



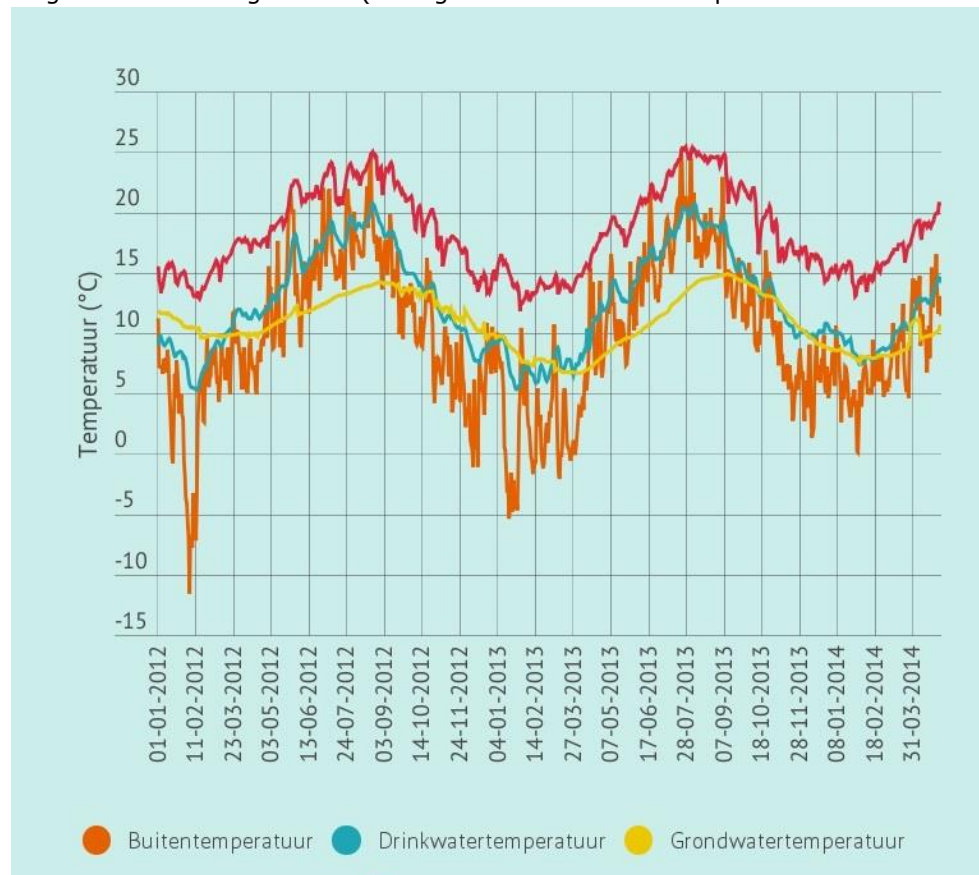
**Figuur 47: Zuiveringsefficiëntie N-totaal**

Het jaargemiddelde van 2012 was 6,8 mg/l en de rwzi voldoet dus in dit jaar aan de gestelde eisen. De norm van 10 mg/l is over het jaargemiddelde niet over-

schreden. Voornamelijk bij lage temperaturen en bij plotselinge temperatuurdaling is de concentratie stikstof boven de 10 mg/l.

De afvalwatertemperatuur is bepaald door de afkoeling in het rioolstelsel. Dit kan zijn door: rioolvreemd water, instroom van regenwater en warmte uitwisseling met omgeving. Daarnaast is in figuur 48 te zien dat de temperatuur van het afvalwater een jaarlijks patroon van seizoenen heeft.

Om een goed inzicht te geven van de huidige temperatuur in de waterketen is het volgende overzicht gemaakt (zie Figuur 48: overzicht temperaturen in de waterke-



**Figuur 48: Overzicht temperaturen in de waterketen**

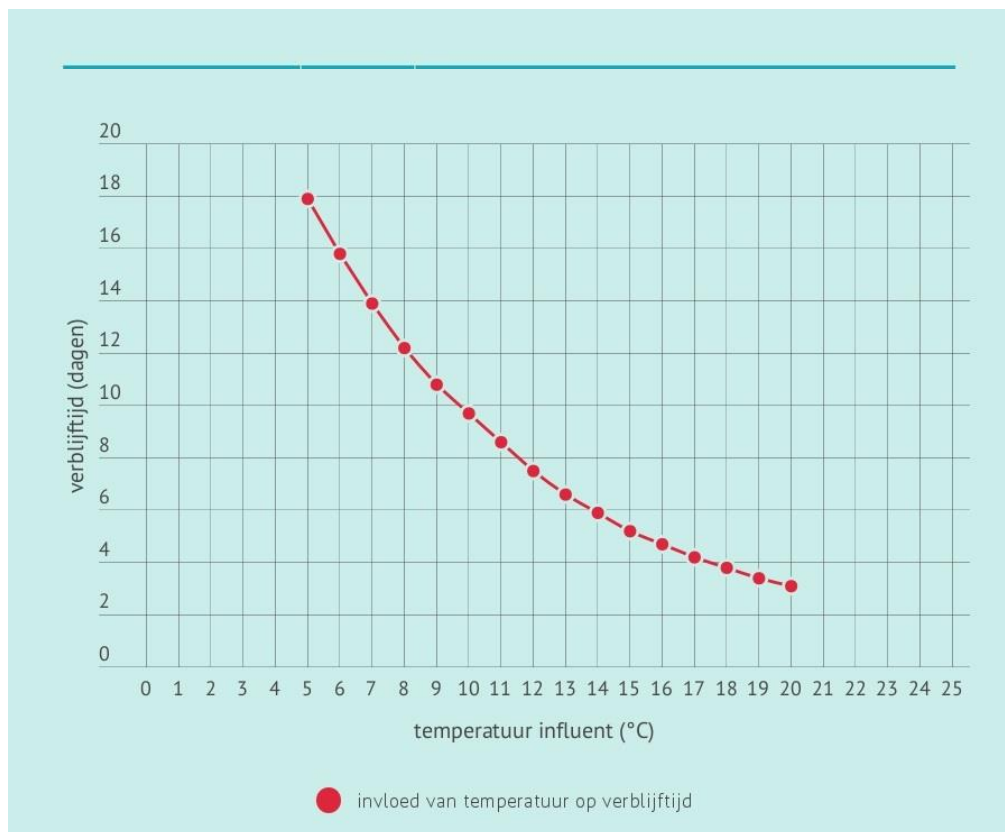
ten). In het figuur zijn de temperaturen weergegeven van de volgende onderdelen: drinkwater, grondwater, afvalwater en buitentemperatuur.

Naast afvalwater heeft ook drinkwater en grondwater dit terugkerende patroon. De riolering is grotendeels in het grondwater aangelegd. Dat betekent is dat er uitwisseling plaatst vindt, van warmte tussen het grondwater en het afvalwater. Hiervoor is het temperatuurverschil belangrijk voor de overdracht. Hoe groter het verschil, hoe meer warmte is overgedragen. Hoe kleiner het verschil, hoe minder er is overgedragen.

Daarnaast is er te zien dat het afvalwater afkoelt tot een minimum van 13 °C. Dit geeft een marge van 1 °C ten opzichten van de ontwerpcriteria van 12 °C.

## 7.2 Effecten daling afvalwater op RWZI

In deze paragraaf wordt duidelijk wat de effecten zijn van de afvalwatertemperatuur op de zuivering. Daarnaast worden de processen inzichtelijk waar de temperatuur invloed op heeft. Om te beginnen de eisen die worden gesteld aan effluent van de zuivering. Het effluent is de lozing van het gezuiverde afvalwater op een watersysteem. De gestelde eisen worden omschreven in figuur 49: lozingseisen RWZI.



Voor de afbraak van BZV en CZV is vooral het zuurstof gehalte in de zuivering van belang. Bij een voldoende hoeveelheid opgelost zuurstof zullen deze organische en chemische stoffen verwijderd worden uit het afvalwater. Daarnaast wordt het fosfaat (P) in RWZI verwijderd door gebruik van ijzer en/of aluminiumchloride. Het restproduct is onbruikbaar en er worden methodes gezocht om het fosfaat in de vorm van strufiet terug te winnen. Op de bovengenoemde processen heeft de temperatuur van het afvalwater geen c.q. nauwelijks negatieve effecten.

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 en bij overschrijving kan deze in de zomer periode gecompenseerd worden. Het gaat bij de stikstofverwijdering om het jaargemiddelde wat niet overschreden mag worden. Dit komt doordat de gevolgen van stikstof niet direct effect hebben op de waterorganismes. Echter kunnen deze op termijn wel sterk gaan groeien wat ten koste kan gaan van andere waterorganismes, het kan dus de biodiversiteit aantasten.

Stikstof is verwijderd door middel van verschillende processen. Dit gebeurt met nitrificatie en denitrificatie. Hierbij wordt ammonium eerst omgezet naar nitriet en

daarna wordt het nitriet omgezet in nitraat. Nitraat verdwijnt uit het water in de vorm van stikstofgas. Bij een lagere temperatuur vertragen deze processen en is een langere verblijftijd van het afvalwater nodig. (zie figuur 48: verblijftijd RWZI) Een langere verblijftijd heeft invloed op de grote van de zuivering. RWZI West (waternet) is gedimensioneerd op een influent temperatuur van 12 °C, dit houdt in dat het maximale verblijf tijd rond de 7,5 dag is. Dit is sterk afhankelijk van neerslag. Bij hevige neerslag zal de verblijftijd sterk afnemen en is de kans op uitspoeling van fosfaat groter.

### **7.3 Deelconclusie effecten op de waterketen**

Het afvalwater komt niet onder de 13 graden en het verschil tussen drinkwater en afvalwater varieert tussen de 4 °C en 6 °C. RWZI West verwerkt het afvalwater van de stad Amsterdam. Deze RWZI is gedimensioneerd om een minimum van 12 °C volgens senior medewerker zuiveringsbeheer P. Piekema en S. Tee. Volgens deze normen kan het afvalwater 's winters nog 1 °C dalen. Echter blijkt uit diverse focusgroepen dat bij volledige interpretatie van de douchewarmtewisselaar deze ene graad niet tot nauwelijks behaald zal worden.

De onderbouwing hiervoor is dat:

1. Het afvalwater toch al afkoelt voordat het bij de zuivering is.
2. Een van de belangrijkste invloeden op de temperatuur is het grondwater temperatuur en niet de temperatuur van het huishoudelijk afvalwater.

### **Figuur 50: Verblijftijd RWZI**

## **8 Kosten en baten van douchewarmtewisselaars**

In het volgende hoofdstuk is een opsomming gemaakt van de voor- en nadelen van de douchewarmtewisselaar. Hierbij zijn voor- en nadelen uit voorgaande hoofdstukken meegenomen.

Uit voorgaande hoofdstukken is gebleken dat de douchewarmtewisselaar geen nadelen heeft voor de huishoudelijke installatie en op de waterketen. Daarnaast bespaart de douchewarmtewisselaar tot 50 euro op de energiekosten. De besparing is voor één persoon op jaarbasis. De aanschafkosten voor de verticale douchewarmtewisselaar bedragen 475 euro (losse verkoop). Dit zijn kosten voor alleen de douchewarmtewisselaar. Verder zijn er aansluitkosten op het systeem afhankelijk van de situatie. Als er vooraf rekening is gehouden met de douchewarmtewisselaar zijn de kosten niet meer dan 150 euro. Het gaat hierbij om de drinkwaterleiding naar de mengkraan en het warmwatertoestel. Daarnaast is het van belang dat het douchewater via een aparte riolering naar de douchewarmtewisselaar is gebracht.

Voor de situatie van Uilenstede zijn de kosten beperkt doordat er weinig aanpassingen nodig waren. De terugverdientijd is ongeveer 15 jaar.

De douchewarmtewisselaar bespaart in de kosten doordat het energieverbruik afneemt. Een direct gevolg van een lager energieverbruik is dat er minder fossiele brandstof nodig is. Het energieverbruik voor een GJ is gelijk aan 56,5kg CO<sub>2</sub> (Zijlema, 2015). In totaal is per douchewarmtewisselaar gemiddeld 180kg CO<sub>2</sub> bespaard. Voor alle 100 douchewarmtewisselaars is op jaarbasis 18 ton CO<sub>2</sub> uitstoot voorkomen.

Het plaatsen van een douchewarmtewisselaar in bestaande bouw is een lastige opgave. Ten eerste moet er voldoende ruimte zijn, op een geringe afstand van de douche. Daarnaast moet de douchewarmtewisselaar aangesloten worden. Ook dit is een lastige opgave voor de bestaande bouw.

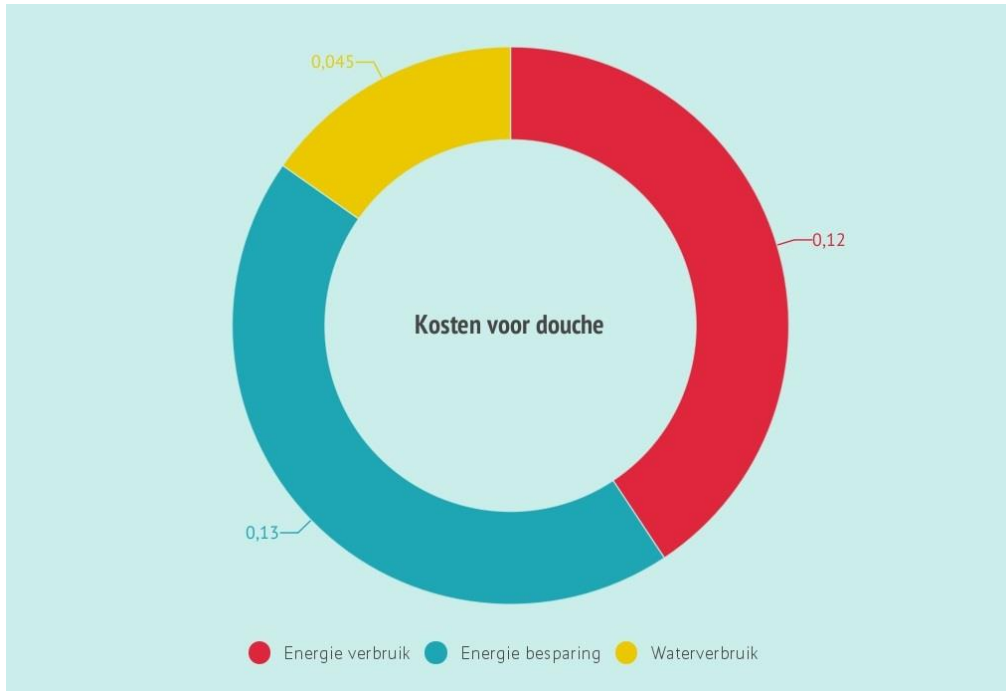
## 9 Financieel overzicht

In voorgaande hoofdstukken is duidelijk geworden wat de efficiëntie is en welke effecten die heeft op de huishoudelijke installatie en de op de waterketen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de daadwerkelijk kostenbesparing. Dit wordt gedaan door de energiebesparing van de douchewarmtewisselaar om te rekenen naar euro's. Daarnaast is het energieverbruik van de wooneenheden omgerekend tot euro's.

### 9.1 Directe besparing douchewarmtewisselaar

Zoals eerder te lezen is het gemiddelde rendement van de douchewarmtewisselaar sterk afhankelijk van het seizoen. Het jaarrendement is rond de 50%. In totaal bespaart de douchewarmtewisselaar op jaarbasis rond de 45 euro per persoon per jaar.

Een douchebeurt van 69 liter kost 0,29 euro (Nibud, z.j.). Hiervan zijn de kosten voor het waterverbruik ongeveer 0,045 euro (Waternet, z.j.). De energiekosten die per douchebeurt overblijven zijn 0,245 euro, zoals te zien in figuur 51. Als die worden verrekend per jaar komen de energiekosten voor het douchen ongeveer op 90 euro per persoon per jaar. Met een gemiddeld rendement van 53% betekent dit een besparing van 45 euro op jaarbasis voor de bewoners van Uilenstede. Hierbij zit nog een kleine marge van 5% op het verlies van thermische energie (NEN7120+C2, 2012). Het gebruik van de douchewarmtewisselaar heeft in deze situatie geen invloed op het waterverbruik.

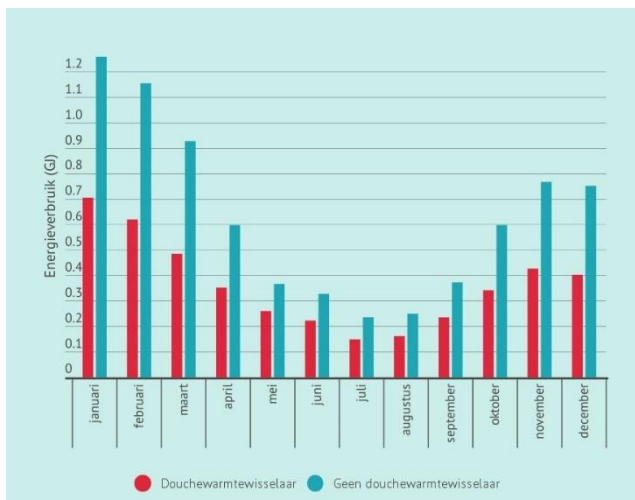


**Figuur 51: Verandering in kosten douchebeurt**

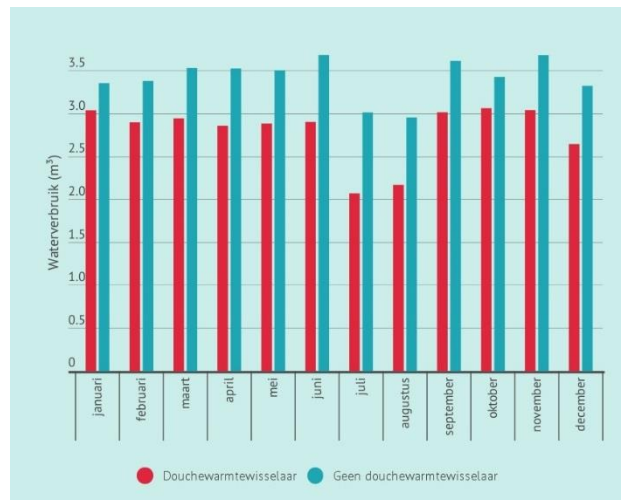


## 9.2 Directe besparing wooneenheden

Naast dat de energiebesparing die de douchewarmtewisselaar oplevert is de besparing ook berekend aan de hand van het energieverbruik van de wooneenheden. In onderstaand figuur 52 is het energieverbruik per maand weergegeven.



Figuur 52: Energieverbruik Uilenstede



Figuur 53: Waterverbruik Uilenstede

Het totale energieverbruik komt met een douchewarmtewisselaar 3,25 GJ lager uit dan met douchewarmtewisselaar. De grootste besparing is behaald in de winterperiode. De prijs van één gigajoule is 22,64 euro (ACM, 2014). De totale besparing is dus net geen 74 euro. Dit is vele malen hoger dan de directe kosten besparing een douchebeurten. Dit komt mede doordat het waterverbruik van de wooneenheden met douchewarmtewisselaar lager is (zie figuur 53). Door een lager waterverbruik zijn waarschijnlijk ook de energiekosten lager.

In totaal is het waterverbruik 18% lager bij het gebruik van een douchewarmtewisselaar. Deze 18% staat gelijk aan 8m<sup>3</sup> water op jaarbasis. Deze 8m<sup>3</sup> hoeft dus ook niet opgewarmd te worden, ook dit heeft een flinke besparing tussen de 0,5 en 1 GJ.

Wanneer het waterverbruik gediscoteerd is aan het energieverbruik is de besparing van de douchewarmtewisselaar 51 euro. Dit neemt niet weg dat de daadwerkelijke besparing rond de 75 euro is. Hieruit valt op te maken dat circa 2/3 van de besparing door warmteterugwinning komt en 1/3 door een vermindering van de warmtestroom. Echter blijkt wel uit navraag dat de bewoners niet tevreden zijn met kracht van de douchekop.

### 9.2.1 Deelconclusie financiën

De douchewarmtewisselaar bespaart tot 50 euro per persoon per jaar. De aanschafkosten zijn 475 euro voor de verticale douchewarmtewisselaar en een aanpassing aan de huishoudelijke installatie zijn ongeveer 125 euro. Hiermee is de terugverdientijd bij gebruik door één persoon 14 jaar. Bij gebruik door twee personen is de terugverdientijd 7 jaar, etc.



## **10 Kansen voor douchewarmtewisselaar**

In dit hoofdstuk zijn de kansen beschreven die de douchewarmtewisselaar heeft. Hierin is opnieuw ingegaan op de thermische warmteterugwinning en op de installatie van de douchewarmtewisselaar. Verder is ingegaan de implementatie van de douchewarmtewisselaar en de EPC-normering.

### **10.1 Kansen voor warmteterugwinning**

Warmteterugwinning in het gebouw is een gunstige techniek, gekeken naar de kwaliteit, kwantiteit en locatie. In voorgaande hoofdstukken is dit uitvoerend behandeld. De mogelijkheden voor warmteterugwinning in het riool en op de zuivering zijn nog steeds aanwezig. Uit hoofdstuk 7, waarin de effecten op de waterketen zijn behandeld, blijkt dat de douchewarmtewisselaar amper invloed heeft op de afvalwatertemperatuur bij de zuivering. Warmteterugwinning in het riool en op de zuivering zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit. Het blijft maatwerk om deze vormen van warmteterugwinning toe te passen.

### **10.2 Installatie van de douchewarmtewisselaar**

Bij het installeren van de douchewarmtewisselaar is het van belang een hoge efficiëntie te bereiken. Belangrijke onderdelen van de efficiëntie zijn: afstand tot douchewarmtewisselaar, soort douchewarmtewisselaar en manier van aansluiten. Zelfs bij het "slecht" aansluiten is de efficiëntie nog toereikend om te investeren. Bij een douchebak (rendement 40%) die alleen is aangesloten op de douche kraan is de EPC-aftrek nog steeds 0,02. Bij een eventuele aanpassing aan de installatie kan het warmwatertoestel altijd nog worden toegevoegd. In deze situatie stijgt de EPC-aftrek met 0,022 tot 0,042. Wanneer de installatie is gebouwd met meer uitbreidingskansen is het voor meer huishoudens haalbaar om op termijn een douchewarmtewisselaar aan te schaffen.

Daarnaast is de doorspoeling van de douchewarmtewisselaar van groot belang om legionella te voorkomen. De situatie van Uilenstede (waarbij ook de gootsteen in de badkamer is aangesloten) toont aan dat er geen negatieve gevolgen zijn wanneer de gootsteen is aangesloten. Vanuit het standpunt legionella preventie is het dus van toegevoegde waarde om de gehele badkamer aan te sluiten op de drinkwaterkant van de douchewarmtewisselaar. Voor de riolering is dat echter niet het geval in verband met extra vervuiling van bijvoorbeeld tandpasta.

Tot slot is in de situatie van Uilenstede de douchewarmtewisselaar gecompartmenteerd is om zo warmteoverdracht van het warmtenet naar de drinkwaterleiding te voorkomen. Deze maatregel is ontoereikend om warmteoverdracht tegen te gaan. Het effect van warmteoverdracht op de drinkwaterleiding is ook van toepassing wanneer er geen douchewarmtewisselaar is geïnstalleerd. Deze maatregel lijkt dus overbodig te zijn. Het is aan de installateur om de situatie in te schatten en hier professioneel advies over te geven.

### **10.3 Implementatie douchewarmtewisselaar**

Amsterdam heeft in 2015 iets meer dan 820.000 inwoners (Amsterdam in cijfers, 2016). Op basis van de metingen in Uilenstede bespaart de douchewarmtewisselaar 180 kg/CO<sub>2</sub> per persoon per jaar. De douchewarmtewisselaars zijn in verschillende soorten verkrijgbaar en in principe dus overal toepasbaar, al dan niet in een vorm waarin de efficiëntie lager uitvalt. Wanneer 50% van de Amsterdamse bevolking een douchewarmtewisselaar heeft wordt er in totaal tot 70 kiloton CO<sub>2</sub>. Dit is meer dan de gestelde 50 kiloton besparing die Waternet als doelstelling heeft.

De implementatie zal vooral via de woningbouwcoöperatie moeten gaan. De helft van de woningen in Amsterdam is op deze manier verhuurd. Daarnaast is een kwart koopwoning en een kwart particulier verhuur. De douchewarmtewisselaar heeft veel potentie om grootschalig geïmplementeerd te worden. De douchewarmtewisselaar kan een stevige plek krijgen in de woningbouw. Het is wel van belang dat de inwoners en coöperatie correct en voldoende zijn geïnformeerd.

### **10.4 EPC-normering**

De douchewarmtewisselaar heeft nu een EPC-aftrek van 0,07. Deze aftrek is in goed verband met wat de douchewarmtewisselaar daadwerkelijk bespaart. De EPC-norm is vooral een stimuleringsmiddel om energiebesparing in woning te realiseren. De douchewarmtewisselaar wordt nu vaak ingezet om de totale EPC-norm te behalen. Dit komt vooral omdat de douchewarmtewisselaar de goedkoopste EPC-besparing oplevert. Daarnaast is deze binnen een relatief korte tijd terug verdiend.

## 11 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de conclusies puntsgewijs beschreven. Hierbij staan de onderzoeksvragen centraal. Uiteindelijk wordt de hoofdvraag beantwoord. Voordat de conclusies zijn beschreven een terugblik op de hoofdvraag.

*Welke onderbouwde standpunten dient Waternet in te nemen met betrekking tot de douchewarmtewisselaars gekeken naar; het rendement, drinkwaterveiligheid, zuivering efficiëntie van de RWZI, kosten-baten, CO<sub>2</sub> afname en wet- en regelgeving?*

---

Het rendement van de douchewarmtewisselaars is bepaald aan de hand van een proefopstelling en een praktijkopstelling. Hieruit blijkt dat de drinkwatertemperatuur een grote invloed heeft op het rendement. In de praktijkopstelling is het drinkwater al opgewarmd door de omgevingstemperatuur. Het rendement van de verticale douchewarmtewisselaar is op jaarbasis 53%. Daarnaast is de jaarlijkse energiebesparing van de wooneenheden 40%.

Het effect op de (drinkwater)installatie is met betrekking tot de warmtapwaterbereider nihil. De warmtapwaterbereider is in de praktijkopstelling een warmtewisselaar die is aangesloten op een warmtenet. Hier is geen merkbaar verlies op efficiëntie. Daarnaast is de risicoveiligheid met betrekking tot legionella neutraal. Het risico op een legionella besmetting is gelijk aan een installatie zonder douche-warmtewisselaar. Het effect op de RWZI lijkt beperkt te zijn. De douchewarmtewisselaar zorgt voor een lagere temperatuur van het afvalwater. Het afvalwater koelt normaal gesproken ook af tot een evenwichtstemperatuur. Deze is waarschijnlijk afhankelijk van de grondwatertemperatuur.

De douchewarmtewisselaar bespaart tot 50 euro per persoon per jaar. De aanschafkosten zijn 475 euro voor de verticale douchewarmtewisselaar en een aanpassing aan de huishoudelijke installatie zijn ongeveer 125 euro. Hiermee is de terugverdientijd bij gebruik door één persoon 12 jaar. Bij gebruik door twee personen is de terugverdientijd 5 jaar, etc.

De installatie van de douchewarmtewisselaar geeft het beste rendement wanneer deze is aangesloten op de mengkraan en de warmtapwaterbereider. Daarnaast is het mogelijk om de gehele drinkwatervraag in badkamer aan te sluiten op de douchewarmtewisselaar. Hiermee wordt stilstaand water voorkomen. Op het rendement heeft dit geen invloed.

De douchewarmtewisselaar heeft op jaarbasis in de praktijkopstelling gemiddeld 180 kg/CO<sub>2</sub> bespaard.

Het standpunt dat waternet dient in te nemen is dat de douchewarmtewisselaar een bewezen resultaat heeft. De negatieve effecten zijn nihil. In het kader van circulair handelen, accepteert Waternet de douchewarmtewisselaar, hierbij zal Waternet de douchewarmtewisselaar actief gaan promoten.

## 12 Discussie

In dit hoofdstuk wordt de discussie op de methode behandeld en de discussie op de resultaten. De discussie vormt de basis voor de aanbevelingen.

### 12.1 Validatie onderzoeksofzet

De basis van het onderzoek is de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar. Vanuit de efficiëntie zijn meerdere aspecten onderzocht. Het bepalen van de efficiëntie is dus cruciaal voor het gehele onderzoek. Dit is op verschillende manieren bepaald. Allereerst door de data-analyse, deze is gevalideerd met de proefinstallatie en ter controle zijn de gegevens van het energieverbruik vergeleken in een vergelijkingsonderzoek. Alle drie de verschillende methoden kwamen op de zelfde resultaten. Hierbij is de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar ongeveer gelijk aan 50%.

Daarnaast zijn verschillende partijen benaderd in de vorm van een deskresearch, deze partijen hebben input gegeven aan het onderzoek. Zo zijn er twijfels over de sensoren die zijn gebruikt. Dit is verder onderzocht in de proefopstelling. Er zijn ook twijfels over de legionellaveiligheid; uit een incidentiele test is gebleken dat er geen schadelijke bacteriën zijn aangetroffen. Wanneer deze testen herhaald uitgevoerd worden, kan er daadwerkelijk een uitspraak worden gedaan. Echter lijkt dit niet noodzakelijk, de kans op een legionella besmetting is zeer klein.

Waar bepaalde vragen niet te beantwoorden waren met boven genoemde methode zijn deze vragen binnen focusgroep interviews beantwoord. Hierbij is één specifieke vraag gesteld aan verschillende personen, en werden de Legionella en de efficiëntie RWZI besproken. De focusgroep legionella was voornamelijk kritisch op de installatie en niet op de douchewarmtewisselaar zelf. De gemiddelde temperatuur in de drinkwaterleidingen bij stilstaand water is net onder de 25 °C. Hier zijn geen gevaren voor een besmetting maar de temperatuur is wel aan de hoge kant voor een drinkwaterinstallatie. De focusgroep efficiëntie RWZI is unaniem over de gevolgen van de douchewarmtewisselaar op de zuivering. De gevolgen zijn nihil en als deze merkbaar heeft dit geen invloed op de werking van de RWZI.

Tot slot is de onderbouwing gezocht in de literatuur. Vooral tijdens het deskresearch is veel verwezen naar bestaande literatuur. Hierin is ook literatuur beschikbaar gesteld die niet openbaar is. Het deskresearch heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoek.

Het was de bedoeling om zowel de verticale als horizontale douchewarmtewisselaar te onderzoeken, echter zijn de metingen in Uilenstede niet voldoende om uitspraak te doen over de horizontale douchewarmtewisselaars. In totaal zijn hier maar vier horizontale douchewarmtewisselaars aangesloten. Het vergelijkingsonderzoek en de data-analyse zijn niet valide genoeg. Wat overblijft, is de proefopstelling, echter is de insteek van het onderzoek om te achterhalen wat de efficiëntie in de praktijk is.

## 12.2 Discussie op resultaten

De douchewarmtewisselaar is breed te interpreteren door de verschillende soorten, horizontaal en verticaal is warmteterugwinning mogelijk. De metingen en dus resultaten zijn gebaseerd op een studentenflat. De studentendouche gemiddelde 10 minuten, echter zijn ze gemiddeld 5 dagen in de week aanwezig. Het waterverbruik is dus ongeveer gelijk aan het gemiddeld verbruik in de Nederland.

In Uilenstede is de afstand tussen de douchewarmtewisselaar, de warmtapwaterbereider en de douche vrij kort. In een doorsnee rijtjeshuis zijn deze afstanden groter, hierbij is het energieverlies op het voorverwarmde water groter. Dit neemt niet weg dat Uilenstede een goede indicatie is voor de besparing van energie. Iedere situatie zal een andere efficiëntie met zich meebrengen. De douchewarmtewisselaar is in grote lijnen te vergelijken met zonnepanelen. De ideale omstandigheden zijn lastig te behalen (oriëntatie, hellingshoek, etc.). Dit is bij de douchewarmtewisselaar niet anders (afstand tot douche, soort materiaal in douche, drinkwatertemperatuur, installatie, etc.). Het behalen van 65% warmteterugwinning is dus mogelijk als alle factoren ideaal zijn. In de situatie van uitstede is de efficiëntie 53%. Hierbij is de drinkwatertemperatuur aan de hoge kant en is er zelden gebruik gemaakt van een douchescherm.

## 13 Aanbevelingen

Vanuit de conclusie en de discussie zijn drie aanbevelingen naar voren gekomen.

Allereerst is het effect van voorverwarmd water op de warmtapwaterbereider in Uilenstede bepaald, het gaat hierbij om een warmtenet met warmtewisselaar. Er is een diversiteit aan warmtapwaterbereiders waarbij het effect niet is bepaald. Hiervoor zijn een aantal warmtapwaterbereiders in proefopstelling nodig, de warmtapwaterbereider kan getest worden op een temperatuur van 10 tot 15 graden en op een temperatuur van 25 tot 30 graden. De verwachting is dat het rendement van de warmtapwaterbereider afneemt bij een hogere drinkwatertemperatuur. Het theoretisch verlies is maximaal 11%. De verwachting dat het rendement met 5% afneemt kan alleen worden bewezen in een proefopstelling.

De vervuiling van een douchewarmtewisselaar is lastig te bepalen, dit omdat de temperatuur factoren die de efficiëntie bepalen eigenlijk nooit gelijk zijn. Om de vervuiling te meten dienen deze factoren precies gelijk te zijn. De data uit de praktijksituatie is te beperkt om gemiddelde te krijgen waarin de temperatuur factoren aan elkaar gelijk zijn. Wanneer er meerdere jaren is gemeten kan dit naar verwachting wel. Echter blijft de vraag aanwezig of er wel vervuiling optreedt.

Om de efficiëntie van de douchewarmtewisselaar te bewijzen, kan deze in meerdere woontypes worden geïnstalleerd en gemonitord. Hierbij is het van belang om een grotere populatie te nemen om zo onderlinge verschillen te voorkomen. In dit onderzoek is de populatie van 100 douchewarmtewisselaars geanalyseerd. Deze zelfde hoeveelheid is relevant voor bijvoorbeeld rijtjeshuizen, hoekwoningen, etc.

## 14 Literatuurlijst

- Blom, J. J., Telkamp, P., Sukkar, G. F. J., & De Wit, G. J. (2010). *Energie in de waterketen* (Stowa 2010-35). Geraadpleegd van [www.stowa.nl/upload/publicaties/STOWA%202010%2035%20LR.pdf](http://www.stowa.nl/upload/publicaties/STOWA%202010%2035%20LR.pdf)
- De Wit, G. J. (z.j.). DSS douchepijp-warmtewisselaar. Geraadpleegd van [http://www.dutchsolarsystems.com/douche\\_wtw/index.php](http://www.dutchsolarsystems.com/douche_wtw/index.php)
- Hartman, E., & Bloemendal, M. (2016, 19 februari). Warm rioolwater: thermische energie met potentie [Persbericht]. Geraadpleegd van <http://www.vakbladriolering.nl/nieuwsverder.php?idnieuws=48076>
- Kiwa. (2012). *Decleration regarding the efficiency of a shower heat recovery unit*. Geraadpleegd van [http://www.dutchsolarsystems.com/douche\\_wtw/downloads/Kwaliteitsverklaring%20DSS%20douchepijp-WTW%20TDW%203%20standaard\(2012\).pdf](http://www.dutchsolarsystems.com/douche_wtw/downloads/Kwaliteitsverklaring%20DSS%20douchepijp-WTW%20TDW%203%20standaard(2012).pdf)
- Legionella.nl. (z.j.). Legionella. Geraadpleegd van <http://legionella.nl/>
- Milieucentraal. (z.j.). Klimaatverandering. Geraadpleegd van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- Nibud. (z.j.). Kosten van douchen. Geraadpleegd op 5 juni, 2016, van <https://www.nibud.nl/consumenten/wassen-douchen-en-bad/>
- RVO. (2013, 20 december). Energieprestatie - EPC [Persbericht]. Geraadpleegd van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energieprestatie>
- RVO. (2013). *Aanscherpingsstudie, EPC woningbouw en utiliteitsbouw 2015*. Geraadpleegd van <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/01/Aanscherpingsstudie%20EPC%20woningbouw%20en%20utiliteitsbouw%202015.pdf>
- SER. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Geraadpleegd van <http://www.energieakkoordser.nl/energieakkoord.aspx>
- Tauw, & Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer. (2010). *Energie uit afvalwater*. Geraadpleegd van [http://www.tauw.nl/fileadmin/downloads/expertise/Brochure\\_Energie\\_uit\\_afvalwater\\_\\_Rijksoverheid\\_\\_Tauw.pdf](http://www.tauw.nl/fileadmin/downloads/expertise/Brochure_Energie_uit_afvalwater__Rijksoverheid__Tauw.pdf)
- United Nations. (2015, 12 december). ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT. Geraadpleegd van <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>
- Vitens. (z.j.). Waterverbruik. Geraadpleegd van <https://www.vitens.nl/vragen/Paginas/Wetenswaardigheden-Hoeveel-water-verbruiken-we-per-dag.aspx>
- Waternet. (z.j.). Klimaatneutraal. Geraadpleegd van <http://www.innovatie.waternet.nl/programma/klimaatneutraal/>
- Waternet. (z.j.). Over Waternet. Geraadpleegd van <https://www.waternet.nl/over-waternet/>
- Waternet. (2013, 20 december). Energieprestatie - EPC. Geraadpleegd van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energieprestatie>
- Wolferen, H. van. (2002). *Legionella risicoanalyse van douchewater warmteterugwinning* (241). Geraadpleegd van [http://www.technea.nl/uploads/documents/tno\\_rapport\\_douche\\_wtw\\_is\\_l Legionella\\_veilig.pdf](http://www.technea.nl/uploads/documents/tno_rapport_douche_wtw_is_l Legionella_veilig.pdf)

## 15 Bijlage 1: Waterverbruik

Tijdstip waterverbruik	hoeveelheid (liters)	Gebruik
17:55	3,8	Wc
18:33	0,2	Keuken
19:05	1,6	Wc
19:06	0,2	badkamer
19:32	105	douche
19:56	1	badkamer
21:34	0,4	keuken
21:45	0,4	badkamer
21:46	0,6	badkamer
21:49	0,7	badkamer
21:50	15,1	keuken
22:10	9,8	keuken
23:19	0,4	keuken
23:20	0,4	keuken
23:25	4,3	wc
23:26	0,4	badkamer
0:52	4,3	wc
6:51	4,3	wc
11:52	4,3	wc
11:52	70	douche
12:57	0,4	keuken
12:57	0,4	keuken
12:59	0,3	keuken
13:54	0,4	badkamer
14:14	17,4	keuken
14:14	4,3	wc
16:20	4,3	wc

## **16 Bijlage 2: HWL Legionella onderzoek**

Niet openbaar i.v.m. privacy van bewoners. Op navraag beschikbaar bij de auteur.