

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn

[www.mep.tno.nl](http://www.mep.tno.nl)

T 055 549 34 93  
F 055 549 32 01  
[info@mep.tno.nl](mailto:info@mep.tno.nl)

**TNO-rapport**

**R 2002/241**

***Legionella* risicoanalyse van  
douchewater warmteterugwinning**

Datum	mei 2002
Auteurs	Hans van Wolferen
Projectnummer	31081
Trefwoorden	Legionella risicoanalyse douchewater warmteterugwinning
Bestemd voor	Novem B.V. t.a.v. de heer ing. H.B. van Eck Postbus 8242 3503 RE Utrecht

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

## Samenvatting

In opdracht van Novem heeft TNO een risicoanalyse uitgevoerd voor installaties voor douchewater warmteterugwinning, kortweg DWTW, zoals ontwikkeld en beschreven door Gastec en Germontis. Hierbij zijn de criteria gevolgd zoals gegeven in de Tijdelijk Regeling Legionellapreventie in Leidingwater. Tevens is een aanzet gegeven voor algemene beoordelingscriteria voor uiteenlopende typen DWTW en zijn richtlijnen gegeven voor het inbouwen van deze douchewater warmtewisselaars.

De conclusies t.a.v. de *Legionella*-veiligheid van de besproken typen douchewater warmtewisselaar zijn:

- DWTW als dubbele pijp (inclusief genoemde varianten).  
De risicokwalificatie is neutraal; de DTW is *Legionella*-veilig.  
Hierbij wordt een maximale lengte van de dode einden aan de uiteinden van de warmtewisselaar van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding aanbevolen.
- DWTW als tapspiraal om pijp (inclusief parallelle opstelling).  
De risicokwalificatie is neutraal; de DTW is *Legionella*-veilig.

Hierbij is uitgegaan van een temperatuur van de opstellingsruimte van maximaal 20°C, incidenteel 25°C.

Gezien de te bereiken energiebesparing is het mogelijk dat douchewater warmtewisselaars in toenemende mate worden toegepast. Hierbij kan een uiteenlopend aantal typen in uiteenlopende situaties worden toegepast. Om problemen m.b.t. *Legionella* te voorkomen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- opstellen en toepassen criteria voor het beoordelen van het *Legionella*-risico van douchewarmtewisselaars;
- opstellen en toepassen van richtlijnen voor het inbouwen van deze warmtewisselaars.

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende criteria worden gegeven voor het beoordelen van de hier besproken typen douchewater warmtewisselaars.

*Criteria voor DWTW met volume drinkwater ≤ 1 liter:*

- een maximale lengte van de dode einden tussen de wateraansluiting en het einde van de warmtewisselaar van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding.

*Criteria voor DWTW met volume drinkwater > 1 liter:*

- volume kleiner dan vier liter bij een opwarming tot maximaal 30°C, zoals dat in de zomersituatie kan optreden (hierbij kan aan de watermeter een koudwatertemperatuur van 21 à 22°C continu optreden);
- geen dode einden;
- zeer goede doorstroming, zoals in een tapspiraal.

*Algemeen criterium:*

- geen isolatie aan de buitenzijde zodat het water in rust snel afkoelt naar omgevingstemperatuur.

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende richtlijnen worden gegeven voor het inbouwen van deze douchewater warmtewisselaars:

- Bij voorkeur aansluiten van het voorverwarmde water op zowel de koude poort van een thermostatische douche-mengkraan als op het (hoofd)warmwatertoestel, waardoor een optimale doorstroming wordt verkregen.
- Aansluiten op meerdere afvoerpunten alleen toegestaan bij aansluiting voorverwarmd water op tenminste het warmwatertoestel.
- Geen isolatie aan de buitenzijde zodat het water in rust snel afkoelt naar omgevingstemperatuur. Duidelijke instructie hierover in installatierichtlijn; wellicht als sticker op product.
- De temperatuur in de opstellingsruimte van de DWTW mag niet oplopen tot boven 20°C, incidenteel tot 25°C, tenzij dit door extreem zomerweer wordt veroorzaakt op een wijze die voor de rest van de woning gelijk is. Leidingen of toestellen die continu warmte afgeven, zoals cv-leidingen, circulatieleidingen van warm tapwater, leidingen van collectieve-, blok- of stadsverwarming en warmwatertoestellen, mogen zich niet in de opstellingsruimte bevinden, tenzij aantoonbaar adequate maatregelen zijn genomen om opwarming van de ruimte te voorkomen. Met name in een leidingschacht of meterkast kunnen anders te hoge temperaturen ontstaan.

Ontwerp- en uitvoeringsrichtlijnen zoals hierboven gegeven kunnen wellicht worden opgenomen in een relevante ISSO/VNI richtlijn.

## Inhoud

Samenvatting.....	2
1. Inleiding.....	5
2. Systeembeschrijving .....	6
2.1 Principe en inpassing in installatie .....	6
2.2 DWTW als dubbele pijp.....	7
2.3 DWTW als tapspiraal om pijp.....	8
3. Risicoanalyse .....	11
3.1 Uitgangspunten en aandachtspunten .....	11
3.2 DWTW als dubbele pijp.....	13
3.3 DWTW als tapspiraal om pijp.....	13
4. Conclusies en aanbevelingen .....	15
5. Referentie.....	17
6. Verantwoording .....	18

## **1. Inleiding**

In opdracht van Novem heeft TNO een risicoanalyse uitgevoerd voor installaties voor douchewater warmteterugwinning, kortweg DWTW, zoals ontwikkeld en beschreven door Gastec [1] en Germontis [2]. Hierbij zijn de criteria gevolgd zoals gegeven in de Tijdelijk Regeling Legionellapreventie in Leidingwater [3]. Tevens is een aanzet gegeven voor algemene beoordelingscriteria voor uiteenlopende typen DWTW en zijn richtlijnen gegeven voor het inbouwen van deze douchewater warmtewisselaars.

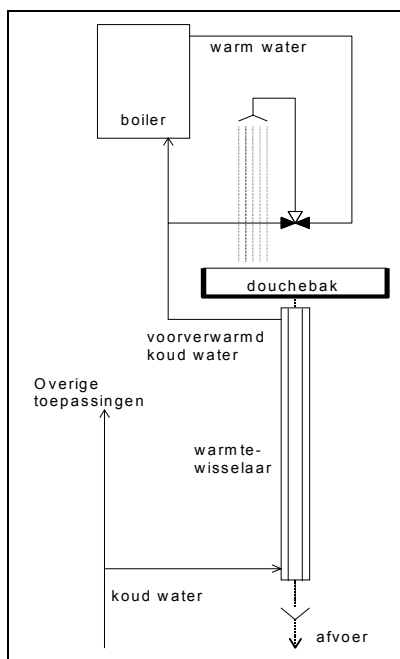
## 2. Systeembeschrijving

### 2.1 Principe en inpassing in installatie

Het principe van warmteterugwinning uit douchewater berust op het opwarmen van koud water met afvoerwater uit de douchebak. De DWTW vervult de rol van voorverwarmer van het koude water. Dit voorverwarmde water kan worden toegevoerd aan zowel het warmwatertoestel als aan de ‘koude poort’ van de douchemengkraan, waar het met warm water wordt gemengd om te worden gebruikt voor het douchen. De meest universele wijze waarop de warmtewisselaar kan worden ingepast in de installatie is gegeven in Figuur 1. Hierbij treedt een balans op tussen de warme en koude waterstroom over de DWTW tijdens het douchen.

Als variant hierop kan de DWTW uitsluitend op het warmwatertoestel of op de koude poort van de douchemengkraan worden aangesloten. Beide varianten veroorzaken een onbalans tussen de warme en koude waterstroom over de DWTW tijdens het douchen waardoor de opbrengst van de DWTW kan verminderen.

Om deze installatie goed te laten werken is een zelfregelende thermostaatkraan voor de douche vereist. In stationair bedrijf zal het warmwaterverbruik van de douche verminderen en het gebruik van (voorverwarmd) koud water toenemen. Toepassing van een DWTW veroorzaakt een grote spreiding in het gevraagd tapvermogen, waardoor toestellen met een (kleine) voorraad of een groot modulatiebereik vereist zijn.



Figuur 1 Principeschema inpassing douchewater warmteterugwinning.

## 2.2 DWTW als dubbele pijp

In deze uitvoering bestaat de warmtewisselaar uit een dubbele, concentrische pijp. Het warme afvoerwater stroomt door de binnenste pijp omlaag en staat hierbij zijn warmte af aan het koude water dat tussen binnen en buitenpijp omhoog stroomt.

De binnenpijp loopt leeg na gebruik van de douche. De ruimte tussen binnen en buitenpijp is continu gevuld met water onder de normale systeemdruk. De warmtewisselaar is niet geïsoleerd. In Figuur 2 is een doorsnede gegeven van de door Gastec ontwikkelde uitvoering in kunststof. Gastec heeft experimenten uitgevoerd met warmtewisselaars van zowel kunststof als koper.

De hoofdafmetingen van de warmtewisselaars zijn:

materiaal	kunststof	koper
lengte (m)	2,5	2,5
buiten/binnendiameter binnenste pijp (mm)	32 x 27,2	35 x 32,4
buiten/binnendiameter buitenste pijp (mm)	40 x 34	42 x 39,2
koudwaterinhoud pijp (l)	0,26	0,6

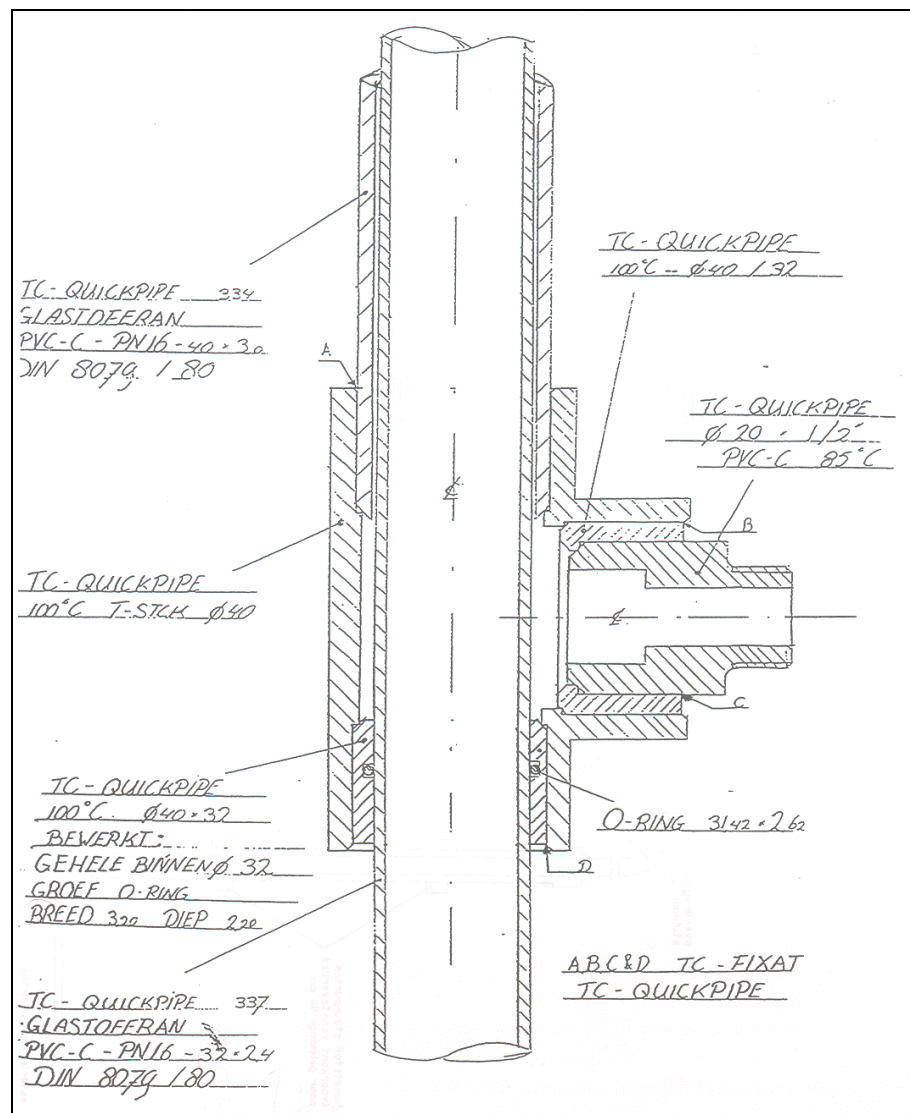
Op dit systeem zijn een aantal varianten mogelijk. De belangrijkste zijn:

- Horizontale plaatsing van de warmtewisselaar.
- Verticale en horizontale warmtewisselaar in serie.
- Aansluiting van meerdere waterafvoerpunten op de warmtewisselaar, bijvoorbeeld van de wastafel en de wasmachine. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren in oudere woningen waar de warmtewisselaar in de bestaande installatie wordt ingepast.
- Combinaties van bovenstaande varianten.

Uit onderzoek van Gastec [1] is gebleken dat het water tot maximaal 25°C wordt opgewarmd in stationair bedrijf bij een douchewatertemperatuur van 40°C. Alleen bij een leidingwatertemperatuur van 15°C en twee in serie geplaatste warmtewisselaars wordt een temperatuur van 28°C bereikt. Deze stationaire situatie is bij gangbare debieten na 2 minuten bereikt.

De maximaal te verwachten temperatuur van een enkele DWTW bedraagt 30°C, bij een stationaire koudwatertemperatuur aan de watermeter van 21 à 22°C zoals die 's zomers bereikt kan worden [5].

Itho ontwikkelt momenteel een DWTW die vergelijkbaar is met het door Gastec ontwikkelde model. De uitvoering is in koper.



Figuur 2 Doorsnede kunststof warmtewisselaar en detail wateraansluiting [lit. 1].

### 2.3 DWTW als tapspiraal om pijp

In deze uitvoering bestaat de warmtewisselaar uit een enkele verticale pijp, waar een dunne koperen buis als een tapspiraal omheen is gewonden. Het warme afvoerwater stroomt door de binnenste pijp omlaag en staat hierbij zijn warmte af aan het koude water dat door de tapspiraal omhoog stroomt (Figuur 3). De binnenpijp loopt leeg na gebruik van de douche. De tapspiraal is continu gevuld met water onder de normale systeemdruk. De warmtewisselaar is niet geïsoleerd.

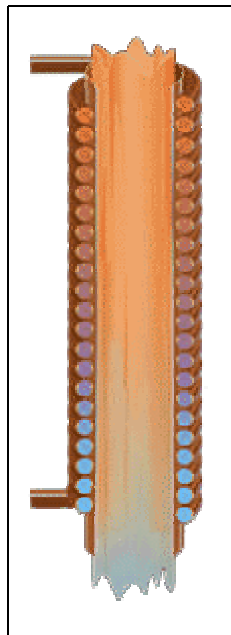


De hoofdafmetingen van de warmtewisselaar zijn (mondelinge opgave):

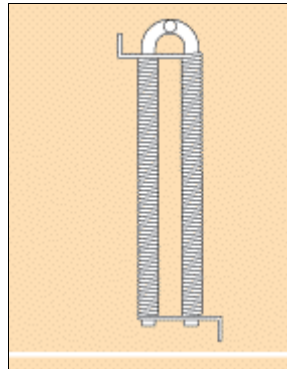
materiaal	koper
lengte (m)	~ 1,7
buiten/binnendiameter afvoerpijp (mm)	80/78
buiten/binnendiameter tapspiraal (mm)	15/13
koudwaterinhoud pijp (l)	3 à 4
max. capaciteit (l/min)	10

Als een grotere capaciteit vereist is kunnen meerdere warmtewisselaars parallel geplaatst worden (Figuur 4 Schets dubbele DWTW in parallelstelling).

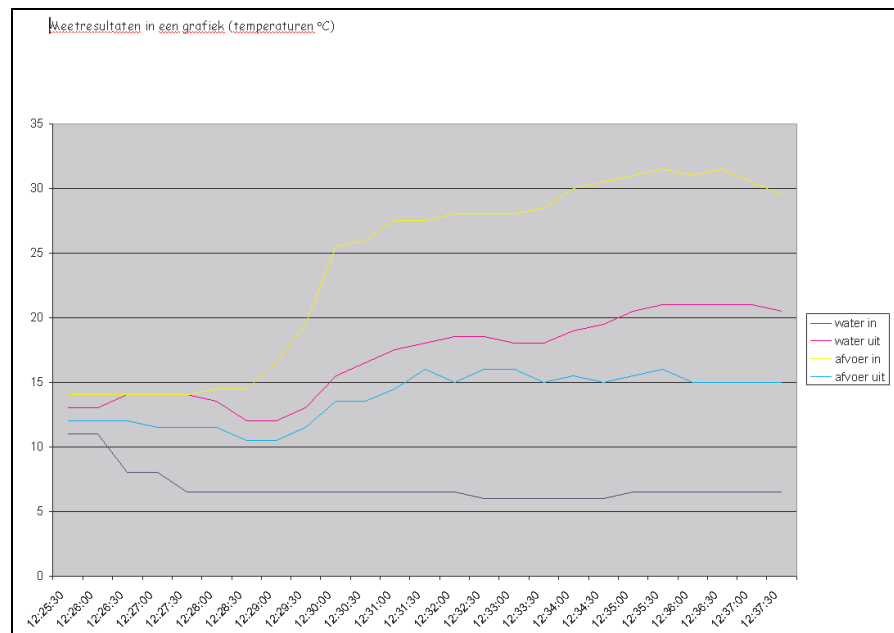
Uit eigen onderzoek van Germontis is gebleken dat het water tot maximaal 25°C wordt opgewarmd in stationair bedrijf bij een douchewatertemperatuur van 40°C (Figuur 5). De maximaal te verwachten temperatuur bedraagt 30°C, bij een stationaire koudwatertemperatuur van 21 à 22°C zoals die 's zomers bereikt kan worden [5].



*Figuur 3 Schets DWTW als tapspiraal om pijp (bron: Germontis).*



Figuur 4 Schets dubbele DWTW in parallelstelling.



Figuur 5 Temperatuurverloop tijdens een tapping (bron: Germontis).

### 3. Risicoanalyse

#### 3.1 Uitgangspunten en aandachtspunten

Uitgangspunt voor de risicoanalyse is het systeem en de twee uitvoeringen hiervan, zoals hiervoor beschreven. In de warmtewisselaar kunnen de volgende bedrijfsomstandigheden optreden:

- Situatie na langdurige stilstand (geen tapping).  
Het water in de buitenpijp heeft de omgevingstemperatuur aangenomen.
- Begin douche tapping.  
Het water in de buitenpijp stroomt en wordt langzaam opgewarmd, omdat de afvoer nog niet op temperatuur is. Deze periode duurt ongeveer 2 minuten.
- Stationair bedrijf tapping.  
De warmte van het afvoerwater wordt overgedragen aan het koude water. Hierbij wordt een temperatuur van maximaal 25 tot 30°C bereikt aan de uitlaat van de warmtewisselaar, afhankelijk van de koudwater temperatuur, die continu maximaal 21 à 22° bedraagt in de zomer.
- Einde tapping.  
Aan het einde van een tapping staat het koude water in de warmtewisselaar reeds stil terwijl er nog warm water naar de afvoer stroomt. Hierdoor kan een bescheiden verdere opwarming van het koude water optreden, met name aan de bovenzijde van de warmtewisselaar. Hiervan zijn geen gegevens bekend.
- Afkoeling na tapping.  
De ongeïsoleerde pijp koelt vrij snel af t.g.v. de geringe waterinhoud en het grote buitenoppervlak. Hiervan zijn geen meetgegevens bekend maar verwacht mag worden dat na maximaal 2 uur de omgevingstemperatuur is bereikt.

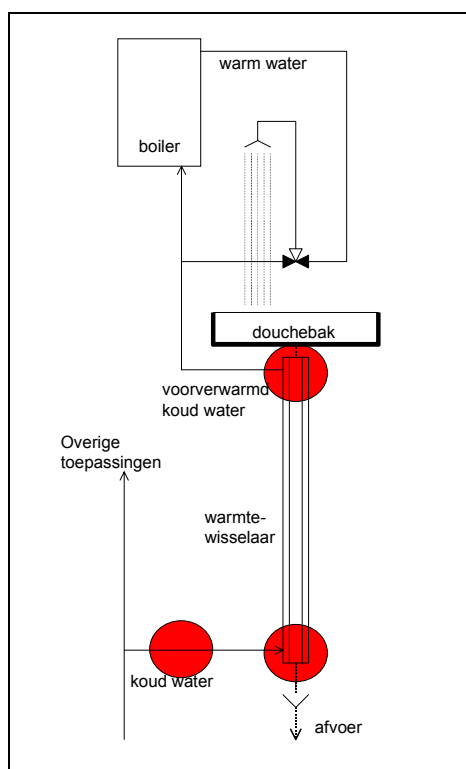
Deze bedrijfsomstandigheden worden mede bepaald door de condities in de opstellingsruimte van de DWTW. De temperatuur mag hierin niet oplopen tot boven 20°C, incidenteel tot 25°C, tenzij dit door extreem zomerweer wordt veroorzaakt op een wijze die voor de rest van de woning gelijk is. Leidingen of toestellen die continu warmte afgeven, zoals cv-leidingen, circulatieleidingen van warm tapwater, leidingen van collectieve-, blok- of stadsverwarming en warmwatertoestellen, mogen zich niet in de opstellingsruimte bevinden, tenzij aantoonbaar adequate maatregelen zijn genomen om opwarming van de ruimte te voorkomen. Met name in een leidingschacht of meterkast kunnen anders te hoge temperaturen ontstaan, waardoor een *Legionella*-risico ontstaat.

Onder genoemde voorwaarde voor de opstellingsruimte zal gedurende de gehele bedrijfscyclus de watertemperatuur slechts kortstondig boven 25°C zijn. Tijdens de tapping is er een goede doorstroming en korte verblijftijd, waardoor aanhech-

ting en/of groei van *Legionella* onwaarschijnlijk is. Na de tapping is er sprake van stilstand en een langere verblijftijd, maar de temperatuur daalt snel.

Bij de ‘dubbele pijp’ uitvoering zijn de uiteinden van de warmtewisselaar (Figuur 6) een punt van aandacht. Als de aansluitingen zich op enige afstand van de uiteinden bevinden kan hier geen doorstroming optreden en kan zich, met name aan de onderzijde, bezinsel verzamelen dat als voedingsbodem voor biofilm en *Legionella* dient. Het gaat hier om een klein volume met aan de onderzijde een lage temperatuur (instromend koud water). In ISSO 55.1 [4] wordt als vuistregel voor de lengte van dode einden maximaal 5 maal de diameter van de hoofdleiding gegeven. Omdat de situatie bij deze warmtewisselaar constructief en qua resulterende stroming anders ligt verdient het aanbeveling een goede aansluiting zonder dode einden aan de uiteinden te maken. Een maximale lengte van de dode einden van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding wordt aanbevolen. Uit detailtekeningen (Figuur 2) blijkt dat de door Gastec beproefde warmtewisselaar aan deze eis voldoet.

Voor de ‘tapspiraal om pijp’ uitvoering speelt dit probleem niet omdat de tapspiraal direct aansluit op de toe- en afvoer.



Figuur 6 Aandachtspunten risicoanalyse douchewater warmteterugwinning.

Een tweede punt van aandacht is de mogelijkheid dat water uit de warmtewisselaar terugstroomt naar de hoofdleiding. Dit kan met name optreden direct na het einde van een tapping als er enige naverwarming optreedt, waardoor het koude

water verder uitzet. In praktijk zal het effect vrij gering zijn, gezien het kleine watervolume van de warmtewisselaar en de bescheiden naverwarming. Een terugslagklep met overstort lijkt daarom niet nodig.

### 3.2 DWTW als dubbele pijp

Volgens de Tijdelijke Regeling ([3]) is voor alle volumes < 1 liter altijd sprake van een neutrale risicokwalificatie. In de concept Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB, opvolger van de Tijdelijke Regeling) wordt hierbij aangetekend dat het om goed doorstroomde volumes dient te gaan.

Aan beide voorwaarden wordt voldaan. Volgens de geldende criteria is de warmtewisselaar *Legionella*-veilig.

Hierbij wordt een maximale lengte van de dode einden aan de uiteinden van de warmtewisselaar van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding aanbevolen.

Voor de verschillende varianten wordt hieronder een aanvullende risicoanalyse gegeven.

#### *Horizontale plaatsing van de warmtewisselaar.*

Deze opstellingswijze heeft geen wezenlijke invloed op de temperaturen in de warmtewisselaar. De rol van de dode einden als plaats waar bezinksel kan neerslaan wordt in deze opstelling geringer. De risicokwalificatie is neutraal, vergelijkbaar met de basisconfiguratie.

#### *Verticale en horizontale warmtewisselaar in serie.*

Bij deze opstelling kunnen hogere temperaturen optreden in de tweede warmtewisselaar. Deze treden met name op tijdens en kort na de tapping. De risicokwalificatie is neutraal, vergelijkbaar met de basisconfiguratie.

*Aansluiting van meerdere waterafvoerpunten op de warmtewisselaar, bijvoorbeeld van de wastafel en de wasmachine. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren in oudere woningen waar de warmtewisselaar in de bestaande installatie wordt ingepast.*

Als dit gebeurt bij een inpassing conform Figuur 1 zullen geen bijzondere verschillen in bedrijfscondities optreden, in vergelijking met de aansluiting op alleen de doucheafvoer.

### 3.3 DWTW als tapspiraal om pijp

Voor grotere volumes dan 1 liter met een temperatuur onder 25°C is de risicokwalificatie neutraal. Ook hierbij wordt in de concept AMvB aangetekend dat het om goed doorstroomde volumes dient te gaan.

Voor grotere volumes dan 1 liter met een temperatuur boven 25°C is de risico-kwalificatie neutraal met de beperking dat deze temperatuur maximaal 2 dagen achtereen mag optreden. Deze beperking geldt eveneens als over langere tijd deze periode cumulatief overschreden worden. Na overschrijding van deze termijn dient (thermische) desinfectie te worden toegepast.

Voor de risicobeoordeling dient te worden overwogen dat:

- alleen het bovenste deel van de tapspiraal boven 25°C komt, waarvan het volume rond de 1 liter ligt;
- temperaturen boven 25°C alleen in de zomer te verwachten zijn;
- in de tapspiraal een zeer goede doorstroming optreedt.

Volgens de geldende criteria en gezien de overwegingen is de warmtewisselaar *Legionella*-veilig. Parallele plaatsing van meerdere warmtewisselaars is niet van invloed op de *Legionella*-veiligheid.

## 4. Conclusies en aanbevelingen

De conclusies t.a.v. de *Legionella*-veiligheid van de besproken typen douchewater warmtewisselaar zijn:

- DWTW als dubbele pijp (inclusief genoemde varianten).  
De risicokwalificatie is neutraal; de DTW is *Legionella*-veilig.  
Hierbij wordt een maximale lengte van de dode einden aan de uiteinden van de warmtewisselaar van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding aanbevolen.
- DWTW als tapspiraal om pijp (inclusief parallelle opstelling).  
De risicokwalificatie is neutraal; de DTW is *Legionella*-veilig.

Hierbij is uitgegaan van een temperatuur van de opstellingsruimte van maximaal 20°C, incidenteel 25°C.

Gezien de te bereiken energiebesparing is het mogelijk dat douchewater warmtewisselaars in toenemende mate worden toegepast. Hierbij kan een uiteenlopend aantal typen in uiteenlopende situaties worden toegepast. Om problemen m.b.t. *Legionella* te voorkomen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- opstellen en toepassen criteria voor het beoordelen van het *Legionella*-risico van douchewarmtewisselaars;
- opstellen en toepassen van richtlijnen voor het inbouwen van deze warmtewisselaars.

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende criteria worden gegeven voor het beoordelen van de hier besproken typen douchewater warmtewisselaars.

*Criteria voor DWTW met volume drinkwater ≤ 1 liter:*

- een maximale lengte van de dode einden tussen de wateraansluiting en het einde van de warmtewisselaar van éénmaal de diameter van de aangesloten leiding.

*Criteria voor DWTW met volume drinkwater > 1 liter:*

- volume kleiner dan vier liter bij een opwarming tot maximaal 30°C, zoals dat in de zomersituatie kan optreden (hierbij kan aan de watermeter een koudwatertemperatuur van 21 à 22°C continu optreden);
- geen dode einden;
- zeer goede doorstroming, zoals in een tapspiraal.

*Algemeen criterium:*

- geen isolatie aan de buitenzijde zodat het water in rust snel afkoelt naar omgevingstemperatuur.

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende richtlijnen worden gegeven voor het inbouwen van deze douchewater warmtewisselaars:

- Bij voorkeur aansluiten van het voorverwarmde water op zowel de koude poort van een thermostatische douche-mengkraan als op het (hoofd)warmwatertoestel, waardoor een optimale doorstroming wordt verkregen.
- Aansluiten op meerdere afvoerpunten alleen toegestaan bij aansluiting voorverwarmd water op tenminste het warmwatertoestel.
- Geen isolatie aan de buitenzijde zodat het water in rust snel afkoelt naar omgevingstemperatuur. Duidelijke instructie hierover in installatierichtlijn; wellicht als sticker op product.
- De temperatuur in de opstellingsruimte van de DWTW mag niet oplopen tot boven 20°C, incidenteel tot 25°C, tenzij dit door extreem zomerweer wordt veroorzaakt op een wijze die voor de rest van de woning gelijk is. Leidingen of toestellen die continu warmte afgeven, zoals cv-leidingen, circulatieleidingen van warm tapwater, leidingen van collectieve-, blok- of stadsverwarming en warmwatertoestellen, mogen zich niet in de opstellingsruimte bevinden, tenzij aantoonbaar adequate maatregelen zijn genomen om opwarming van de ruimte te voorkomen. Met name in een leidingschacht of meterkast kunnen anders te hoge temperaturen ontstaan.

Ontwerp- en uitvoeringsrichtlijnen zoals hierboven gegeven kunnen wellicht worden opgenomen in een relevante ISSO/VNI richtlijn.



## 6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Novem B.V.  
t.a.v. de heer ing. H.B. van Eck  
Postbus 8242  
3503 RE Utrecht

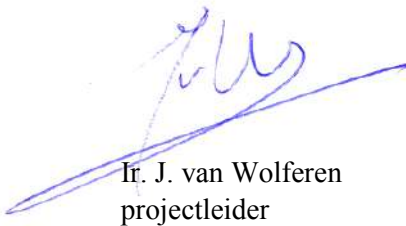
Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. J. van Wolferen

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

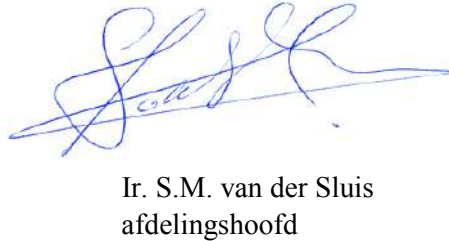
februari – mei 2002

Ondertekening:



Ir. J. van Wolferen  
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. S.M. van der Sluis  
afdelingshoofd

## 5. Referentie

- [1] Het terugwinnen van douchewaterwarmte in woningen  
drs. P.W.E. Peereboom, J.C. Visser  
Gastec, Apeldoorn, juli 1997
- [2] Diverse productinformatie Germontis, o.a. site: [www.germontis.nl](http://www.germontis.nl)
- [3] Tijdelijke Regeling *Legionella* preventie in leidingwater  
VROM, Den Haag, oktober 2000
- [4] ISSO 55.1 – Handleiding *Legionella* preventie in leidingwater  
ISSO, Rotterdam, september 2000
- [5] Onderzoek koudwatertemperatuur aan tappunten  
IWACO, mei 1997