

BTO 2020.015 | December 2020

## **BTO** rapport

Maatregelen tegen ongewenste opwarming van  
het drinkwater in het leidingnet



## Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet

**BTO 2020.015 | December 2020**

### Opdrachtnummer

402045/090

### Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

### Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Distributie

### Auteur(s)

dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera, dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, dr. C. (Claudia) Quintiliani

### Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

### Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

### Keywords

drinkwatertemperatuur, hotspots in het net, risico, klimaat, bodemtemperatuur

Jaar van publicatie  
2020

#### Meer informatie

dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera  
T +31 30 606 9587  
E [Claudia.Agudelo-Vera@kwrwater.nl](mailto:Claudia.Agudelo-Vera@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

December 2020 ©

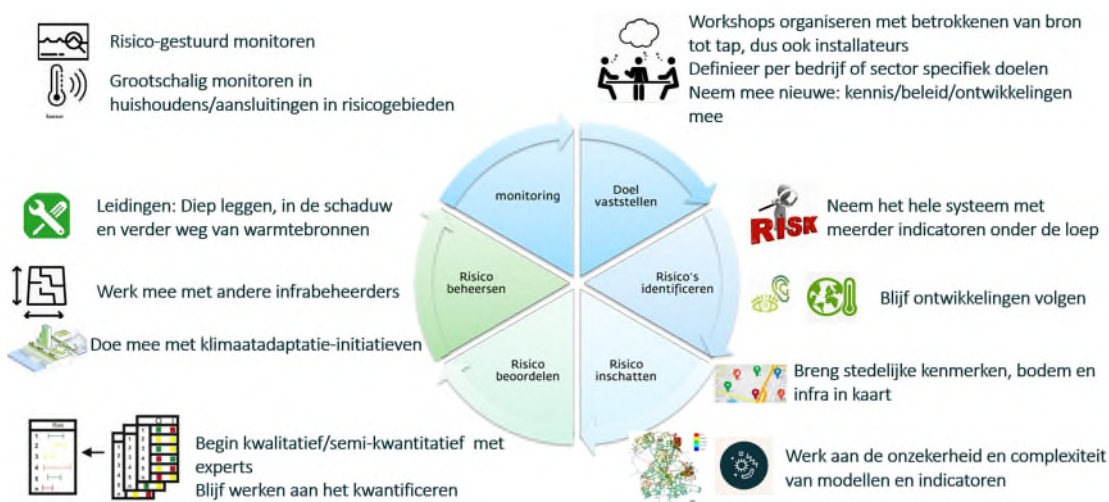
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Risicomanagement voor ongewenste opwarming van het drinkwater in het net

**Auteur(s)** dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera, dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, dr. C. (Claudia) Quintiliani.

Door een risicobenadering te volgen met betrekking tot opwarming van drinkwater in het distributienet worden de verschillende onderdelen – van kwalitatieve inschatting tot beoordeling en definiëren van beheersmaatregelen – expliciet gemaakt (zie figuur). Dit leidt tot inzicht in oorzaken, effecten, maatregelen en onderzoeksbehoeften. De risicoanalyse toont aan dat onderbouwing nodig is voor risicobeoordeling en dat maatregelen maatwerk zijn. In de laatste jaren is in het kader van BTO, DPWE en TKI gewerkt aan meerdere stappen, maar er blijven nog vragen open staan om maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet te bepalen. De drinkwatertemperatuur verandert tijdens transport en distributie in het leidingnet. Opwarming van drinkwater is een actueel vraagstuk en zal dat de komende jaren ook zijn. Drinkwater warmt namelijk verder op door respectievelijk hogere temperaturen (klimaat), verstedelijking, en meer bovengrondse en ondergrondse warmtebronnen (warmtenetten of zwaardere elektriciteitskabels als onderdeel van de energietransitie). In dit rapport wordt de kennis tot nu toe samengevat en worden voorbeelden uitgewerkt om het risico in te schatten met behulp van risicocriteria. Ook is een aantal maatregelen tegen het licht gehouden, evenals kennisleemtes die kunnen worden aangepakt om de analyses te verscherpen.



*Aanbevelingen voor risicomanagement gerelateerd aan drinkwatertemperatuur in het net*

**Belang: opwarming van drinkwater is een actueel vraagstuk en zal dat de komende jaren ook zijn**

Als gevolg van klimaatverandering, verstedelijking en de energietransitie (toename warmtenetten en elektriciteitskabels) komt de drinkwatertemperatuur

aan de tap tijdens warme zomers incidenteel boven de wettelijk toegestane 25 °C. Naar verwachting zal dit door de genoemde ontwikkelingen steeds vaker optreden. Hoewel al goed bekend is welke factoren de kans op een hoge temperatuur beïnvloeden, is

nog niet goed in kaart gebracht welke locaties of onderdelen in het proces van opwarming het meest bijdragen aan het risico: gaat het vooral om relatief lange aansluitleidingen met grote diameters, om distributieleidingen die dichtbij ondergrondse warmtebronnen liggen of is het gehele leidingnet in de bebouwde omgeving en woonkernen een probleem met het klimaatscenario van 2050?

### Aanpak: risicobenadering voor evaluatie van maatregelen op netwerkniveau

Om risicolocaties voor opwarming van het drinkwater te kunnen bepalen is in dit onderzoek zowel aandacht geschonken aan de risicocriteria als het kader vanuit welke monitoringsdoelen de risicoanalyse wordt uitgevoerd. Gestart werd met het beschrijven van een risicobenadering met voorbeelden aan de hand van de huidige kennis. Vervolgens is met fysieke netwerken onderzocht of met behulp van GIS en temperaturen aan de tap lokale warmtebronnen ofwel 'hotspots' zijn op te sporen. Tot slot is met een netwerkmodel een aantal fictieve hotspots gemodelleerd voor het kwantificeren van de gevolgen voor temperatuur en de groei van micro-organismen. Op basis van deze resultaten zijn maatregelen geëvalueerd.

### Resultaten: behoefte aan robuuste indicatoren voor waterkwaliteit in het net

Er zijn drie casestudies geanalyseerd met GIS op basis van temperatuur aan de tap en andere indicatoren, zoals lengte aansluitleiding en verblijftijd. Omdat er relatief weinig temperatuurmetingen worden uitgevoerd aan de tap, is het niet mogelijk om hotspots te vinden. Door het invoeren van een risicogestuurd monitoringsprogramma - dat wil zeggen: meer meten en op zorgvuldig geselecteerde locaties - zou dit wel moeten kunnen. In een leidingnet met her en der lokale warmtebronnen is sprake van een dynamisch proces van opwarmen en afkoelen. Om dit goed in beeld te brengen gebruiken we een hydraulisch netwerkmodel, gecombineerd met een temperatuurmodel.

Het blijkt dat taptemperatuur of verblijftijd geen robuuste indicatoren voor waterkwaliteit zijn. Ook het verloop van de watertemperatuur vanaf het productiebedrijf tot aan de tap is van belang. Uit de hydraulische analyse komt naar voren dat kleine hotspots (op korte leidingen tot ca. 100 m) weinig effect hebben op netwerkniveau. Grotere hotspots d.w.z. leidingen met een lengte van 100 meter of meer hebben vooral een lokale impact. Hoewel deze grotere hotspots een beperkt aantal aansluitingen benedenstrooms beïnvloeden, is van belang om na te gaan of kritische/gevoelige klanten hieraan worden blootgesteld, zoals ziekenhuizen of aansluitingen met veel inwoners (hoge gebouwen). Meervoudige hotspots zijn een reëel scenario voor stedelijke gebieden, maar de locaties en aantallen hiervan zijn nog onbekend.

Het goede nieuws is dat tools beschikbaar zijn om de temperatuur in het net te beschrijven. Wel moet nog worden gewerkt aan het verzamelen van belangrijke ontbrekende data (bijvoorbeeld locaties van hotspots en diepte van leidingen). Omdat temperatuur aan de tap geen goede indicator is voor de waterkwaliteitsverandering tussen bron en tap, moet bepaald worden wat een betere indicator is, en wat daar de maximale waarde van mag zijn.

### Toepassing: risicobenadering helpt bij het bepalen van lokale en dus heel specifieke maatregelen

Het is van belang dat waterbedrijven het risicokader toepassen voor het identificeren van doelen, lokale kansen en bedreigingen. Veel kennis is aanwezig maar nog niet samengebracht. Bepalen wat wel of niet toelaatbaar is en op basis van welke indicator(en) het effect van maatregelen kan worden geëvalueerd, is noodzakelijk om de cyclus van de risicobenadering rond te krijgen. Vanuit klein beginnen moet worden toegewerkt naar complexiteit.

### Het Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet* (BTO-2020.015).



# Inhoud

<i>BTO Managementsamenvatting</i>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## Inhoud3

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	De drinkwatertemperatuur en de waterkwaliteit aan de tap	5
1.2	Invloedsfactoren op de drinkwatertemperatuur	6
1.3	Aanpak: risicomanagement	7
1.4	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Risicogestuurde benadering</b>	<b>9</b>
2.1	Doel vaststellen, context schetsen	9
2.2	Risico's identificeren	9
2.3	Risico inschatten	10
2.3.1	Methodieken voor het inschatten van het risico	10
2.3.2	Resultaten van berekeningen voor risico-inschatting	12
2.4	Risico beoordelen	14
2.5	Risico beheersen	15
2.6	Monitoring	16
<b>3</b>	<b>Methode voor het kwantificeren van het effect van opwarming op netwerk niveau</b>	<b>17</b>
3.1	Invoerparameter en modelaannames	17
3.2	Scenario's	18
3.3	Netwerk	18
3.4	Resultaten	18
3.4.1	Baseline maximale watertemperatuur voor 2 bodemtemperaturen	18
3.4.2	Resultaten voor baseline scenario met bodemtemperatuur van 24°C	19
3.4.3	Scenario's met één hotspot	20
3.4.4	Scenario's met meerdere hotspots: meerdere leidingen met een wandtemperatuur van 30°C	21
3.4.5	Scenario's met meerdere hotspots: meerdere leidingen met een wandtemperatuur van 40°C	22
3.5	Samenvatting resultaten effect-inschatting (Epanet MSX)	22
<b>4</b>	<b>Risicobeoordeling</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Effect van maatregelen</b>	<b>24</b>

5.1	Mogelijke maatregelen (voorkomen hoge drinkwatertemperatuur)	24
<b>6</b>	<b>Discussie, aanbevelingen en conclusies</b>	<b>27</b>
6.1	Over de risicomanagementaanpak	27
6.2	Over het kwantificeren van het risico op netwerkniveau	27
6.3	Handelingsperspectief	28
6.4	Toekomstige onderzoek	29
<b>I</b>	<b>Bijlage – Opportunistische pathogenen</b>	<b>30</b>
<b>II</b>	<b>Bijlage – Bepalen van zonnestraling op leidingen</b>	<b>31</b>
<b>III</b>	<b>Bijlage Identificatie van hotspots op basis van metingen</b>	<b>34</b>
<b>IV</b>	<b>Bijlage – Aanvullende toetsen</b>	<b>36</b>
<b>V</b>	<b>Samenvatting van de workshop gehouden bij Waternet op 21-11-2019 - BTO kennisuitwisseling drinkwaterdistributie en temperatuur in een stedelijke omgeving</b>	<b>38</b>
	<b>References</b>	<b>41</b>

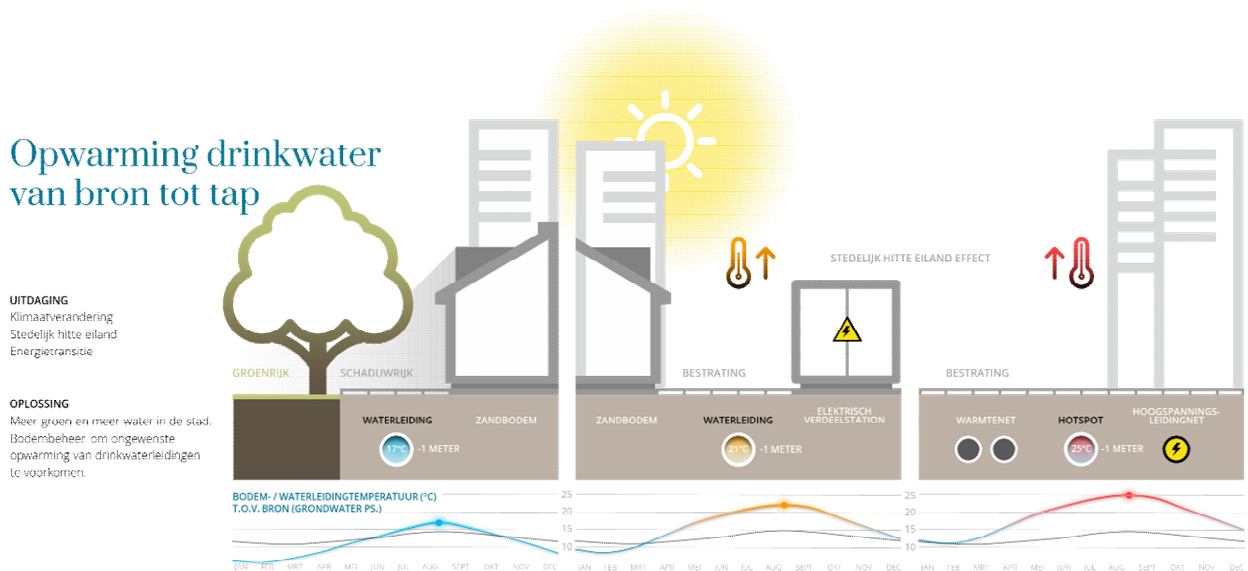


# 1 Inleiding

## 1.1 De drinkwatertemperatuur en de waterkwaliteit aan de tap

In Nederland geldt een maximaal toegestane temperatuur van het drinkwater aan de tap van 25 °C. In het verleden is sporadisch een hogere temperatuur aan de tap gemeten. Naar verwachting neemt de kans hierop toe, door klimaatverandering en verstedelijking. Waar de eis van 25 °C exact op gebaseerd is, is niet te achterhalen gebleken. De drinkwatertemperatuur is met name van invloed op de (smaak-, geur-) beleving van de klant en op de microbiologische waterkwaliteit. Dit laatste aspect wordt niet alleen bepaald door de temperatuur aan de tap, maar ook door de temperatuur tussen productielocatie en de tap, d.w.z. de temperatuur die het drinkwater onderweg aanneemt, en de temperatuur van de biofilm waar het drinkwater langs stroomt.

Er is nog niet exact bekend hoe de temperatuur de microbiologische risico's beïnvloedt. Onderzocht moet worden in hoeverre de microbiologische risico's bepaald worden door de temperatuur van het drinkwater gedurende het verblijf in het leidingnet, door de temperatuur van de biofilm en de uitwisseling tussen biofilm en waterfase. Wanneer maatregelen nodig zijn om de microbiologische waterkwaliteit te garanderen, zal de oplossing zich wel moeten richten op het beperken van te hoge temperaturen in het leidingnet. Maatregelen die alleen gericht zijn op het beperken van te hoge temperaturen aan de tap (of de gevolgen hiervan) zijn mogelijk niet voldoende; ook maatregelen om te hoge temperaturen in het leidingnet te beperken (of de gevolgen daarvan) zijn mogelijk noodzakelijk.



Figuur 1-1. Invloed van weer, bodem, boven- en ondergrondse warmtebronnen op de drinkwatertemperatuur en (mogelijke) oplossingen hiervoor.

Onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat de drinkwatertemperatuur voor een belangrijk deel wordt bepaald door de bodemtemperatuur rond de distributieleidingen (Figuur 1-1, (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013; Molen, Kooij, Smulders, & Heijman, 2008), zie verder § 1.2. De bodemtemperatuur op ca. 1 meter diepte (waar de meeste leidingen liggen) is niet constant over het jaar en kan in Nederland de 25 °C overschrijden. Daarnaast zijn er ook plekken waar de temperatuur beduidend hoger is, de zogenaamde hotspots.

## 1.2 Invloedsfactoren op de drinkwatertemperatuur

Drinkwaterbedrijven meten de temperatuur aan de tap via bemonstering aan de meest gebruikte kraan, typisch de keukenkraan. Daarbij wordt de kraan geopend met een volumestroom van ca. 100 l/h, de temperatuur wordt gemeten en wanneer de temperatuurmeting is gestabiliseerd wordt de temperatuur afgelezen en geregistreerd. De reden is dat verondersteld wordt dat een stabiele temperatuurmeting bereikt wordt wanneer het water uit het distributienet gemeten wordt, en de invloed van de drinkwaterinstallatie en de aansluitleiding verwaarloosbaar zijn.

De bodemtemperatuur beïnvloedt de drinkwatertemperatuur; de warmteoverdracht vindt vooral plaats door conductie. Dat betekent dat zowel de contacttijd (verblijftijd van het water in een leiding) als de stroomsnelheid van belang zijn. Een hydraulische model waaraan een model voor warmteoverdracht is toegevoegd is bij KWR getoetst voor distributieleidingen (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013). Dit is in wezen een eendimensionaal drinkwatertemperatuurmodel (1D-WTM) over de lengte van het leidingnet. Uit dit model blijkt dat de temperatuur van het water aan de tap vrijwel gelijk zal zijn aan de bodemtemperatuur op 1 meter diepte. Dit wordt veroorzaakt doordat de invloed van de temperatuur af pompstation en de opwarming in transportleidingen van beperkt belang zijn. Ook de invloed van typische huishoudelijke aansluitleidingen is beperkt.

De verblijftijd (tot enkele dagen) in het distributienet is typisch langer dan de opwarmtijd (enkele uren voor distributieleidingen van  $\varnothing 60$  –  $\varnothing 150$  mm, zie Figuur 1-2). De bodemtemperatuur rond distributieleidingen (DL) wordt bepaald door (de recente geschiedenis van) het weer en de bodemsoort (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013) en lokale warmtebronnen. De invloed van heel lokale ondergrondse antropogene bronnen (puntbronnen, kruisende leidingen) zal beperkt zijn, omdat de contacttijd van het stromende drinkwater met de hotspot kort is en ook als het drinkwater wel (beperkt) opwarmt zal het vervolgens benedenstrooms weer afkoelen. De invloed van ondergrondse lijnbronnen (langsliggende warmteleiding of elektriciteitskabel) of vlakbron (grote oppervlakte, zoals ondergrondse parkeergarage) is wel van invloed op de bodemtemperatuur rond distributieleidingen doordat er een langere contacttijd is (C.M. Agudelo-Vera, Blokker, van der Wielen, & Raterman, 2015).

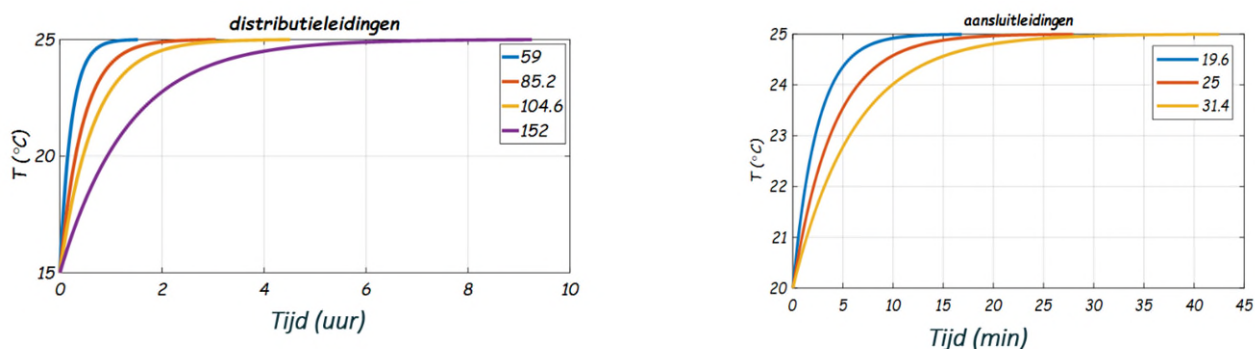
De verblijftijd in transportleidingen is vaak korter dan de opwarmtijd doordat aan de ene kant de verblijftijd relatief kort is (enkele uren) door een hoge stroomsnelheid en aan de andere kant de opwarmtijd relatief lang is (meer dan 24 uur) doordat sprake is van grote leidingdiameters.

De verblijftijd in aansluitleidingen (tijdens doorstroming) is ook vaak korter dan de opwarmtijd doordat aan de verblijftijd beperkt is (enkele minuten) door een kleine diameter en korte lengte in vergelijking met een wat langere opwarmtijd (enkele uren), die door de kleine leidingdiameter nog steeds relatief kort is. Voor wat grotere diameters kan de invloed van aansluitleidingen (AL) wel van belang zijn. Tijdens de bemonstering (t.b.v. het meten van de temperatuur aan de tap) kan het water in zulke AL nog opwarmen, en ook in de drinkwaterinstallatie kan nog opwarming plaatsvinden (Moerman, 2013; Moerman, Blokker, Vreeburg, & van der Hoek, 2014). De invloed van de AL illustreren we aan de hand van een voorbeeld:

- We gaan uit van een  $\varnothing 40$  PE (binnendiameter 30.4 mm) van 10 m lengte en een volumestroom van 100 l/h. De verblijftijd in deze AL is bijna 5 minuten.
- We veronderstellen dat de bodemtemperatuur op 1 meter diepte gelijk is aan 20 °C en dat de temperatuur van het drinkwater aan het begin van de AL deze temperatuur van 20 °C heeft bereikt. De bodemtemperatuur rond de AL is hoger, bijvoorbeeld omdat de AL minder diep ligt, en onder tegels in de zon. We nemen aan dat de bodemtemperatuur rond de AL 25 °C is.
- Figuur 1-2 laat zien dat in 5 minuten het drinkwater van 20 °C naar 22,5 °C opwarmt. In een half uur is het drinkwater in de AL opgewarmd tot 25 °C.
- Wanneer een monsternemer maximaal 1 minuut wacht voordat de stabiele temperatuur wordt geregistreerd (en voordat de monsternemer kwam is de kraan meer dan een half uur niet gebruikt) wordt de gemeten temperatuur aan de tap volledig door de AL bepaald en zal een temperatuur van 25 °C worden gemeten. Wanneer de monsternemer meer dan 5 minuten wacht voordat de stabiele

temperatuur wordt geregistreerd, wordt een temperatuur van 22,5 °C gemeten. Dit is dus ook niet de temperatuur van het drinkwater in de distributieleiding (die was 20 °C).

Wanneer heel lokaal bij de aansluitleiding nog (antropogene) warmtebronnen aanwezig zijn (bijv. elektrische verdeelstations, hele dag door instraling van de zon) wordt de temperatuur aan de tap dus ook door heel lokale factoren beïnvloed.

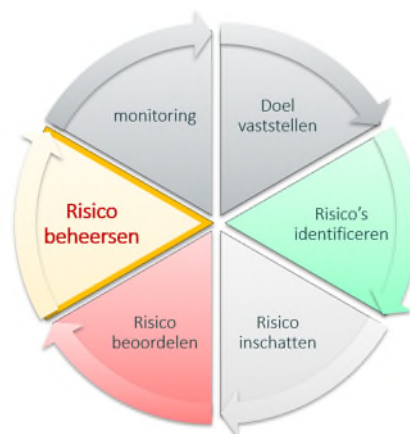


Figuur 1-2. Typische opwarmtijden voor (links) distributieleidingen en (rechts) aansluitleidingen. De verschillende curves representeren verschillende leidingdiameters (binnendiameter in mm).

### 1.3 Aanpak: risicomanagement

Het lijkt zinvol om met betrekking tot de opwarming van drinkwater een risicobenadering te volgen. Op deze manier worden de verschillende onderdelen, van kwalitatieve inschatting tot beoordeling tot definiëren van beheersmaatregelen, expliciet gemaakt. In dit rapport wordt onderstaande indeling aangehouden, waarbij de figuur ook duidelijk maakt dat risicomanagement een continu verbeterproces is.

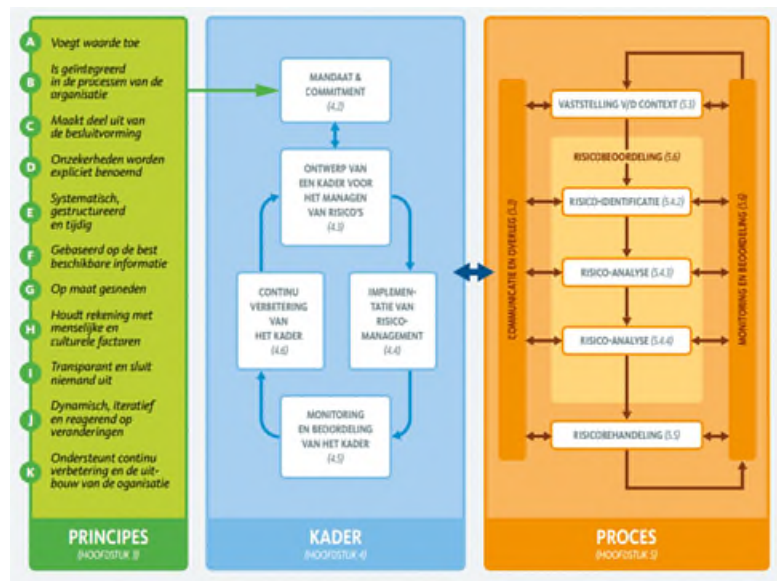
1. Doel vaststellen
2. Risico's identificeren
3. Risico inschatten (kans x gevolg)
4. Risico beoordelen (wat is acceptabel)
5. Risico beheersen:
  - a. **Reacties:**
    - i. Vermijden / voorkomen
    - ii. Beheersen / verminderen
    - iii. Overdragen / uitbesteden
    - iv. Accepteren
  - b. **Maatregelen:**
    - i. Preventief (kans aanpakken)
    - ii. Repressief / correctief (gevolg aanpakken)
6. Monitoring - early warning indicatoren



Figuur 1-3 Denkraam voor risicobeheer (bron: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Risicobeheer> d.d. 26 feb 2020)

Het is ook mogelijk om de opzet van de ISO31000 te volgen. De methodiek is grotendeels hetzelfde, maar er worden iets andere terminologie gebruikt. De terminologie is ook wat verwarrend omdat er op twee plekken over risicoanalyse en over beoordeling wordt gesproken, terwijl er iets anders bedoeld wordt.

- 1 Communicatie en overleg
- 2 Context vaststellen
- 3 Risicobeoordeling:
  - Risico-identificatie
  - Risicoanalyse (risk analysis)
  - Risicoanalyse (risk evaluation)
- 4 Risicobehandeling
- 5 Monitoring en beoordeling



Figuur 1-4 Denkraam voor risicomanagement (bron ISO 31 000, Nederlandse vertaling 2019).

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 introduceert de risicogestuurde benadering m.b.t. drinkwatertemperatuur op netwerkniveau. Hoofdstuk 3 toont hoe de drinkwatertemperatuur in het net kan worden ingeschat m.b.v. een hydraulische model en een aantal aannames van bodemtemperatuur. Hoofdstuk 4 licht de risicobeoordeling toe. Hoofdstuk 5 gaat over de evaluatie van maatregelen om risico's te verlagen. Hoofdstuk 6 bevat de discussie, aanbevelingen en conclusies.

## 2 Risicogestuurde benadering

### 2.1 Doel vaststellen, context schetsen

Het doel van drinkwaterbedrijven is om drinkwater te leveren van een goede kwaliteit, volgens de normen van het Drinkwaterbesluit. En met als uitgangspunt dat de gezondheid en betrouwbaarheid van het drinkwater niet worden bedreigd.

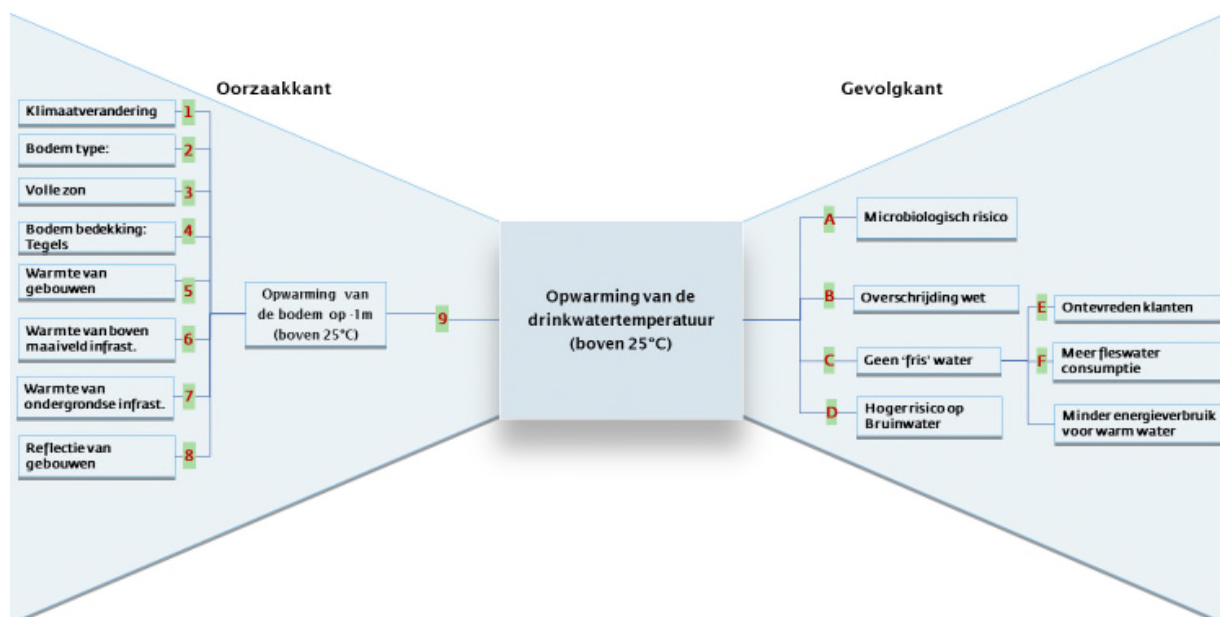
### 2.2 Risico's identificeren

In deze stap worden de risico's kwalitatief benoemd. Hiervoor wordt een bowtie-analyse gebruikt m.b.t. de toename van de drinkwatertemperatuur (Figuur 2-1).

Een hogere drinkwatertemperatuur is één van de aspecten die de genoemde doelen bedreigen, met als mogelijke gevolgen (gevolgkant van Figuur 2-1):

- overschrijding van de in het Drinkwaterbesluit voorgeschreven grenswaarde. In het drinkwaterbesluit wordt een grenswaarde van 25 °C aan de tap genoemd;
- negatieve klantbeleving: klanten willen graag fris water kunnen drinken.
- Er zijn aanwijzingen dat het risico op bruinwaterproblemen groter is bij hogere temperaturen.
- De microbiologische stabiliteit van het drinkwater wordt beïnvloed door de temperatuur. Bij te hoge temperaturen kan de microbiologische kwaliteit mogelijk niet langer voldoen.

De oorzaak dat drinkwater opwarmt ligt met name in het feit dat de bodem rond het distributienet warmte overdraagt op het drinkwater in de leiding (Claudia Agudelo-Vera et al., 2020; E. J. M. Blokker & I. Pieterse-Quirijns, 2013). De bodemtemperatuur wordt beïnvloed door het weer (directe en indirecte straling, temperatuur, wind), door de warmteoverdracht in de bodem (en dus door bodemsoort en de diepte), door eventuele warmteafgifte naar de atmosfeer (door begroeiing) en door (antropogene) warmtebronnen bovengronds en ondergronds. Hogere temperaturen treden met name op als er een combinatie is van verschillende aspecten die aan de oorzaakkant van Figuur 2-1 staan genoemd: hoge buitentemperatuur, een leiding die ligt in een bodem van droog zand, in de zon (geen schaduw), onder tegels (geen begroeiing), in een stedelijke omgeving met gebouwen die warmte uitstralen, en auto's, elektriciteitsverdeelstations, waar warmtenetten in de ondergrond liggen en waar gebouwen met veel glas ook de directe instraling van de zon nog eens kunnen vergroten, en waar de leiding niet dieper ligt dan 1 meter.



Figuur 2-1. Bowtie-analyse voor de opwarming van drinkwater (C.M. Agudelo-Vera, 2018). De genoemde oorzaken leiden vooral tot hogere temperaturen. De rode nummers en letters in de groene blokjes maken verwijzing in de tekst eenvoudiger, bijv. om maatregelen te benoemen. N.B. In Figuur 2-1 is ook een positief gevolg opgenomen, namelijk minder energiegebruik voor het verwarmen van drinkwater t.b.v. douchen, afwas, was, etc. Dit aspect wordt hier verder buiten beschouwing gelaten.

## 2.3 Risico inschatten

### 2.3.1 Methodieken voor het inschatten van het risico

In deze stap worden de risico's die in de vorige stap geïdentificeerd zijn gekwantificeerd. Het risico van een hoge drinkwatertemperatuur wordt bepaald door de kans dat een bepaalde norm wordt overschreden (gevolg, of effect). De kans zou berekend kunnen worden op basis van:

- de hoeveelheid klanten die per keer worden geraakt (per voorzieningsgebied, of per wijk bijvoorbeeld);
- hoe vaak (per jaar bijvoorbeeld) dit voorkomt.

Het effect zou kunnen worden berekend op basis van

- de hoogte van de temperatuur of de overschrijding van de 25 °C-norm aan de tap (aansluitend bij B in Figuur 2-1);
- de hoogte van de temperatuur of de overschrijding van de 25 °C-norm in het leidingnet, bovenstrooms van de tap;
- het consumentenvertrouwen bij verschillende temperaturen aan de tap (aansluitend bij C, E en F in Figuur 2-1);
- het effect op het bruinwater risico bij verschillende temperaturen in het leidingnet, bovenstrooms van de tap (aansluitend bij D in Figuur 2-1);
- het effect van hogere temperatuur bij verschillende temperaturen in het leidingnet, bovenstrooms van de tap, op (potentiële) nagroei van (opportunistische) pathogenen in het drinkwater (aansluitend bij A in Figuur 2-1);
- het effect van hogere temperatuur bij verschillende temperaturen in de biofilm, bovenstrooms van de tap, op (potentiële) nagroei van (opportunistische) pathogenen die in de biofilm kunnen groeien (aansluitend bij A in Figuur 2-1).

Er zijn verscheidene numerieke modellen ontwikkeld die ingezet kunnen worden om het risico te kwantificeren:

- 1) Een eendimensionaal bodemtemperatuurmodel (1D-BTM) waarmee de temperatuur op verschillende dieptes kan worden berekend onder invloed van het weer, begroeiing/tegels en de bodem (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013), en van de stedelijke omgeving (C. M. Agudelo-Vera, Blokker, de Kater, & Lafort, 2017). Het 1D-BTM is gevalideerd voor verschillende omstandigheden.
- 2) Een tweedimensionaal bodemtemperatuurmodel (2D-BTM) waarmee de temperatuur op verschillende dieptes kan worden berekend onder invloed van ondergrondse (warmte)bronnen zoals warmtenetten, elektriciteitskabels en drinkwaternetten [TKI-Engine]. De invloed van het weer en begroeiing/tegels wordt meegenomen door als randvoorwaarden van het 2D-BTM de uitkomsten van het 1D-BTM te gebruiken. Het 2D-BTM moet nog verder worden gevalideerd.
- 3) Een eendimensionaal watertemperatuurmodel (1D-WTM) waarmee de temperatuur in een leiding kan worden berekend onder invloed van de bodemtemperatuur en hydraulica in het leidingnet (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013). Dit kan via EPANET-MSX ook worden toegepast op een heel leidingnet. De bodemtemperatuur die als randvoorwaarde wordt meegegeven is een uitkomst van ofwel het 1D-BTM ofwel het 2D-BTM (in welk geval we soms spreken van het 1D-WTM-corr, zie kader hieronder). Het 1D-WTM is gevalideerd voor kleinere diameters leidingen; het 1D-WTM-corr moet (voor grotere leidingen) verder gevalideerd worden.
- 4) Het 1D-WTM is ook verder ontwikkeld om de temperatuur aan de tap onder invloed van temperatuur rond de aansluitleiding en de drinkwaterinstallatie (ruimtetemperatuur van de woning) inzichtelijk te maken (Hillebrand, 2019; Moerman, 2013). Er is een verschil in temperatuur aan de tap vlak na openen van de kraan, en na doorstroming. Het is dus belangrijk om vast te stellen welke temperatuur aan de tap bedoeld wordt.
- 5) Aansluitend op het EPANET-MSX-model kan ook gerekend worden aan groei van (al dan niet fictieve) micro-organismen in het leidingnet (E. J. M. Blokker, Pieterse-Quirijns, Vogelaar, & Sperber, 2014). Het model voor micro-organismen is kwalitatief vergeleken met enkele metingen van *Aeromonas*, en lijkt een valide aanpak. Nog onbekend is welke parameters (groeisnelheid, afhankelijk van de temperatuur) voor verschillende (opportunistische) pathogenen gehanteerd moeten worden.
- 6) Er is geen model dat de groei van verschillende (opportunistische) pathogenen in de biofilm onder invloed van de temperatuur kan berekenen. Ook het risico van groei in de biofilm, namelijk de kans dat de pathogenen de biofilm verlaten en in het drinkwater komen en het gevolg daarvan voor de klant, is nog niet in beeld. Wel zijn er aanwijzingen dat de samenstelling van de biofilm verandert bij hogere temperaturen (Prest, Hammes, van Loosdrecht, & Vrouwenvelder, 2016).

---

## 1D-WTM-corr

Er is thermische uitwisseling tussen drinkwater en bodem. In de zomer warmt het drinkwater op en koelt de bodem rond de drinkwaterleiding dus een beetje af<sup>1</sup>. Doordat de drinkwaterleiding zeker langer dan enkele weken tot maanden (de ordegrrootte van de tijd die nodig is om een evenwichtssituatie te bereiken in de bodemtemperatuur) in de bodem ligt, kan de invloed op de omringende bodemtemperatuur significant zijn, vooral bij leidingen met een grote diameter (groot volume water, met grote warmtecapaciteit). De “ongestoorde bodemtemperatuur” refereert aan de bodemtemperatuur (op installatiediepte) zonder invloed van de drinkwaterleiding. Modelmatig betekent dat voor de bodemtemperatuur die als randvoorwaarde wordt opgelegd in het 1D-WTM, dat deze ofwel op de buitenkant van de leiding wordt opgelegd waarbij een correctie plaatsvindt ten opzichte van de ongestoorde bodemtemperatuur (in de zomersituatie typisch moet worden verlaagd), ofwel dat deze gelijk is aan de ongestoorde bodemtemperatuur maar waarbij de randvoorwaarde wordt opgelegd op de buitenkant van de leiding plus een extra isolatielaag die door de bodem gevormd wordt. Er wordt in dit geval gesproken van 1D-WTM-corr. Wanneer de aangevoerde drinkwatertemperatuur het hele jaar door en over de gehele dag gelijk is (bijv. vlak bij een waterproductiebedrijf met grondwater) is de correctie voor het 1D-WTM relatief eenvoudig te bepalen met het 2D-BTM. Echter voor situaties waar de drinkwatertemperatuur varieert over het jaar, en bijv. ook over de dag (tijdens de ochtendpiek in waterverbruik is de verblijftijd kort en is de drinkwatertemperatuur nog minder dicht de bodemtemperatuur genaderd; tijdens de nacht is de verblijftijd lang en is de drinkwatertemperatuur gelijk aan de bovenstroomse bodemtemperatuur), is het nog niet zo eenvoudig om de correctie goed te bepalen. De dynamiek van de bodemtemperatuur (variatie door seizoenen, op 1 meter diepte maximaal 1 °C verschil per dag) en de dynamiek van de drinkwatertemperatuur (variatie door seizoenen, maximaal ca. 0.2 °C verschil per dag; en variatie met de stroomsnelheid, maximaal ca. 5-10 °C verschil per uur) zijn zodanig verschillend dat ze lastig in één model onder te brengen zijn. Er is nog een validatie nodig van het 2D-BTM met drinkwaterleiding in combinatie met het 1D-WTM-corr.

---

### 2.3.2 Resultaten van berekeningen voor risico-inschatting

Met het 1D-BTM kan de bodemtemperatuur voor verschillende omgevingen en over de jaren heen worden berekend, en met behulp van de transformatietool van het KNMI kan ook een berekening worden gedaan voor een toekomstig jaar bij een bepaald klimaatscenario. Dit geeft daarmee zicht op hoe vaak bepaalde bodemtemperaturen worden overschreden, en wanneer voldoende geografische informatie beschikbaar is ook op hoeveel plekken. Op deze wijze, en ondersteund door metingen in de stad Rotterdam, is bepaald dat:

- op een willekeurige de bodemtemperatuur op een meter diepte tot 10 °C kan verschillen, afhankelijk van de bodembedekking, zon/schaduw en aanwezigheid van antropogene bronnen;
- in 2012 in een gemiddelde stedelijke omgeving en in buitenwijken de bodemtemperatuur op 1 meter diepte niet boven de 25 °C uitkwam, maar in een stedelijke omgeving met veel antropogene bronnen dat op 9 dagen wel het geval was (C.M. Agudelo-Vera et al., 2015). In 2050 zouden in het G respectievelijk het W+ scenario<sup>2</sup> de bodemtemperatuur op 1 meter diepte de 25 °C overstijgen op 0 respectievelijk 7 dagen voor de gemiddelde stad en op 49 respectievelijk 83 dagen voor de stedelijke omgeving met veel antropogene bronnen. In het W+ scenario zou de bodemtemperatuur op 1 meter diepte zelfs de 28 °C overstijgen op 22 dagen voor de stedelijke omgeving met veel antropogene bronnen (C.M. Agudelo-Vera et al., 2015), Figuur 2-2.

---

<sup>1</sup> In de zomer kan het drinkwater van een oppervlaktewaterbedrijf ook afkoelen.

<sup>2</sup> KNMI-scenario's versie 2006



	Tijdens een jaar met een (verwachte) hittegolf in de zomer					
	Aantal dagen Temp. drinkwater >25°			Aantal dagen Temp. drinkwater >28°		
	2012	2050 (G)	2050 (W+)	2012	2050 (G)	2050 (W+)
Peri-urbane wijken	0	0	0	0	0	0
Gemiddeld stad	0	0	7	0	0	0
Hot-spots in de stad	9	49	83	0	0	22

*Aantal dagen dat de drinkwatertemperatuur 25°C en 28°C overschrijdt voor drie stedelijke gebieden in een Nederlandse stad, gebaseerd op bodemtemperatuursimulaties op 1m diepte voor een zomer met een hittegolf in 2012 en volgens klimaatscenario's G en W+ voor 2050.*

*Figuur 2-2. Gemodelleerde overschrijdingen van drinkwatertemperatuur in verschillende gebieden en klimaatscenario's (C.M. Agudelo-Vera et al., 2015).*

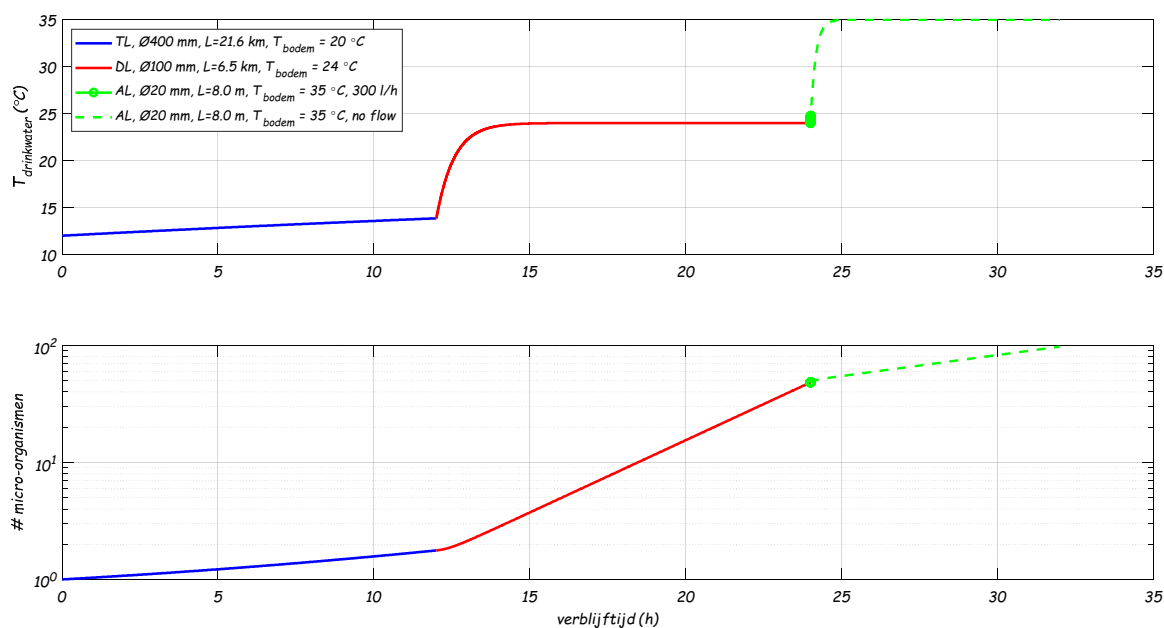
Met het 2D-BTM kan de bodemtemperatuur rond drinkwaterleidingen onder invloed van bovengrondse omstandigheden (1D-BTM) én van ondergrondse warmtebronnen (bijv. warmtenet of elektriciteitskabel) én de drinkwaterleiding zelf worden bepaald. Metingen en modellen laten zien dat de bodem rond warmtenetten flink kan opwarmen, en dat tot 5 meter afstand nog een 1 °C hogere bodemtemperatuur gevonden wordt dan zonder warmteleiding (van den Bos, 2020).

Met EPANET-MSX kan de drinkwatertemperatuur, en eventueel het aantal micro-organismen in het gehele leidingnet en aan de tap worden berekend. Hiermee wordt het effect verder gekwantificeerd, en ook de hoeveelheid locaties in het leidingnet met overschrijdingen wordt zo bepaald. Als voorbeeld is gerekend aan het volgende eenvoudige systeem:

- Drinkwater vertrekt met 12 °C van het waterproductiebedrijf, en stroomt door
- een transportleiding (21,6 km, Ø400 mm binnendiameter, stroomsnelheid van 0,5 m/s, ofwel 226 m<sup>3</sup>/h), met een omringende bodemtemperatuur van 20 °C (N.B. dit is de temperatuur die opgelegd is als randvoorwaarde op de wand van de leiding, deze is niet gelijk aan de bodemtemperatuur zonder de aanwezigheid van een drinkwaterleiding),
- een distributieleiding (6,5 km, Ø100 mm binnendiameter, stroomsnelheid van 0,15 m/s, ofwel 4,2 m<sup>3</sup>/h), met een omringende bodemtemperatuur van 24 °C,
- en een aansluitleiding (8,0 m, Ø20 mm binnendiameter, stroomsnelheid van 0,26 m/s, ofwel 300 l/h), met een omringende bodemtemperatuur van 35 °C. En als alternatief dezelfde aansluitleiding maar zonder watervraag, met een verblijftijd van 8 uur.

In dit systeem is de drinkwatertemperatuur over de verblijftijd berekend; en er is gerekend aan de groei van een fictief micro-organisme dat in de waterfase kan groeien. Het fictieve micro-organisme groeit in 24 uur bij 15,7 °C van 1 tot 10, bij 19,3 °C van 1 tot 100 en bij 25 °C van 1 tot 1000 (en bij 34,4 °C van 1 tot 10). Ter vergelijking *Aeromonas* groeit in ca. 48 uur bij 25 °C van 1 tot 1000.

Figuur 2-3 laat zien dat de temperatuur in de transportleiding maar langzaam toeneemt; dat de temperatuur in de distributieleiding al snel de bodemtemperatuur bereikt en dat de temperatuur in de aansluitleiding bij doorstroming nauwelijks toeneemt (de groene cirkels) en bij stilstaand water relatief snel de bodemtemperatuur ter plekke bereikt. N.B. in een echt leidingnet is de verblijftijd in het distributienet vaak veel langer dan 12 uur. De groei van het micro-organisme vindt vooral plaats bij temperaturen rond 25 °C, en dus in het distributienet. De verblijftijd in de aansluitleiding is tijdens doorstroming te kort om nog veel groei te laten zien. Wanneer het water in de aansluitleiding stilstaat groeit het micro-organisme wel verder door. In dit geval wel langzaam, omdat de drinkwatertemperatuur flink boven de optimale groeitemperatuur is uitgekomen.



Figuur 2-3. Voorbeeld van (boven) temperatuurverloop en (onder) groei van een fictief micro-organisme van bron tot tap. Het water stroomt via een transportleiding (12 uur verblijftijd in Ø400 mm binnendiameter, omringende bodemtemperatuur is 20 °C), via distributienet (12 uur verblijftijd in Ø100 mm leiding, omringende bodemtemperatuur is 24 °C) en aansluitleiding (tijdens doorstroming maximaal 30 seconde verblijftijd en tijdens stilstand 8 uur verblijftijd in Ø20 mm, omringende bodemtemperatuur is 35 °C), tot aan de tap. Het fictief micro-organisme groeit in 24 uur bij 15,7 °C van 1 tot 10, bij 19,3 °C van 1 tot 100 en bij 25 °C van 1 tot 1000.

Het effect van lokale hotspots is niet in een figuur weergegeven, maar kan op basis van het bovenstaande beredeneerd worden. Wanneer een hotspot wordt gedefinieerd als een lokale hoge temperatuur rond een drinkwaterleiding betekent dit dat de lengte van een hotspot beperkt is (bijv. maximaal 100 m), en daarmee de verblijftijd ook kort is tijdens doorstroming. In een grote (transport)leiding is de verblijftijd dan te kort om een significante invloed op de drinkwatertemperatuur te veroorzaken; in het distributienet kan de temperatuur wel toenemen, maar zal benedenstreams van de hotspot ook weer afnemen; in de aansluitleiding kan de verblijftijd wel zo lang zijn dat de drinkwatertemperatuur significant toeneemt. Voor het fictieve micro-organisme geldt dat een hotspot in het distributienet kan leiden tot tijdelijk een hogere temperatuur, en daarmee tot tijdelijk een snellere groei. Wanneer benedenstreams het drinkwater weer afkoelt, neemt de groeisnelheid weer af, maar het aantal micro-organismen neemt niet af. Op deze manier leidt een hotspot altijd tot een iets hoger aantal micro-organismen; en meerdere hotspots onderweg kunnen waarschijnlijk tot een meetbaar verschil leiden.

## 2.4 Risico beoordelen

In deze stap wordt bepaald of een risico acceptabel is of niet. Dat betekent dat aan de aspecten uit §2.3.1 een norm moet worden toegekend. Het drinkwaterbesluit geeft een kwantitatieve eis, als indicator / bedrijfstechnische parameter (tabel IIIa), voor de temperatuur van 25 °C aan de tap, en voor *Aeromonas* van 1000 kve/100 ml.

Indien het drinkwater niet voldoet aan gestelde eis, dan verlangt de wet dat het waterbedrijf

- de toezichthouder informeert en onderzoek verricht naar de oorzaak en de mogelijke nadelige gevolgen voor de volksgezondheid;
- de in het belang van de volksgezondheid noodzakelijke en passende herstelmaatregelen neemt waardoor het drinkwater alsnog voldoet aan de eisen, tenzij de toezichthouder van oordeel is dat de normoverschrijding geen nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid van de consumenten en voor de aan hen toebehorende goederen;
- de consumenten en andere afnemers informeert over het niet voldoen aan de eisen en hen adviseert omtrent de maatregelen die zij kunnen nemen om nadelige gevolgen voor de gezondheid te voorkomen, tenzij de toezichthouder van oordeel is dat de normoverschrijding geen nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid van de consumenten en voor de aan hen toebehorende goederen.

In de huidige praktijk betekent dit dat de toezichthouder wordt geïnformeerd over overschrijdingen. Bij langdurige overschrijdingen worden oorzaken onderzocht (bijv. een aansluitleiding die dicht bij een warmtenet ligt) en maatregelen genomen (verleggen van de aansluitleiding; spuien om *Aeromonas* te verwijderen), wat suggereert dat de “tenzij”-clausule hier niet van toepassing is. Het informeren van consumenten over overschrijdingen van de norm voor temperatuur en *Aeromonas* gebeurt vrijwel niet, wat suggereert dat de “tenzij”-clausule hier wel van toepassing is.

De temperatuur van drinkwater levert geen direct gevaar voor de volksgezondheid, tenzij de temperatuur zo hoog is dat deze tot verbranding kan leiden. Ook hoge aantallen *Aeromonas* leveren geen gevaar voor de volksgezondheid (P. van der Wielen, 2015). Beide parameters moeten meer gezien worden als indicator voor mogelijke afwijkingen van de waterkwaliteit, maar onduidelijk is wat de relatie is met de mogelijke nadelige gevolgen voor de volksgezondheid. *Aeromonas* lijkt geen relatie te hebben met andere waterkwaliteitsparameters, en is dus niet heel geschikt als een indicator voor potentiële gezondheidsproblemen (P. van der Wielen, 2015). Ook is niet duidelijk welke temperatuur tot een zorg zou moeten leiden. Dit moet verder onderzocht worden (Claudia Agudelo-Vera et al., 2020). Dat onderzoek zou dan tevens moeten leiden tot additionele indicatoren aansluitend bij de aspecten uit §2.3.1. Overigens heeft Paul van der Wielen (2020) in een recenter onderzoek aangetoond dat een verhoging van de watertemperatuur in het drinkwaterdistributiesysteem tot boven 25°C kan leiden tot een hoger aantal opportunistische ziekteverwekkers. Dit is vastgesteld voor de soorten *P. aeruginosa*, *M. kansasii*, en *A. fumigatus*. Voor *L. pneumophila* is dit waargenomen bij een verhoging vanaf 28°C. Hogere aantallen van deze opportunistische ziekteverwekkers in het drinkwater het gezondheidsrisico verhoogt van mensen met een verzwakt immuunsysteem. Van der Wielen adviseert derhalve de huidige norm voor de drinkwatertemperatuur (25°C) te handhaven.

## 2.5 Risico beheersen

Zolang onduidelijk is of een risico acceptabel is of niet, is het niet goed mogelijk om een besluit over risicobeheersing te nemen. Wel kan geschetst worden wat mogelijke beheersmaatregelen zijn. Figuur 1-3 schetst op hoofdlijnen de verschillende soorten acties. Hieronder wordt per soort actie een voorbeeld gegeven voor het risico van te hoge drinkwatertemperatuur:

- o Reacties: dit zijn acties die worden uitgevoerd wanneer de overschrijding plaatsvindt, dat wil zeggen operationele maatregelen die kunnen worden genomen.
  - Vermijden / voorkomen: hier gaat het om operationele maatregelen die de (acute) oorzaak van de hoge temperatuur wegnemen. Wanneer de oorzaak een hotspot is, dan zou deze moeten worden verwijderd, of moet de drinkwaterleiding worden verlegd. Een hotspot die plotseling ontstaat is bijvoorbeeld een lekkende warmteleiding; het lek kan worden opgespoord en gerepareerd. Een hotspot ten gevolge van een continu aanwezige antropogene bron (warmtenet, spiegelend gebouw, etc.) betekent in de huidige situatie meestal dat de drinkwater(aansluit)leiding verlegd wordt. Wanneer de oorzaak niet lokaal, maar in het gehele bovenstroomse leidingnet ligt zijn operationele maatregelen (in de praktijk) niet mogelijk.
  - Beheersen / verminderen: hier gaat het om operationele maatregelen die de temperatuur verlagen. Door (plaatselijk) de verdamping te stimuleren door te sproeien kan meer warmte uit de bodem worden afgevoerd waardoor de drinkwaterleiding in minder warme grond ligt. Ook kan gedacht worden aan het dieper leggen van een leiding (dit is alleen een operationele maatregel als deze op kleine schaal wordt toegepast, bijv. in de buurt van een specifieke warmteleiding). Het verlagen van de temperatuur door het verkorten van de verblijftijd door middel van extra verbruik op brandkranen (spuien) lijkt geen goede oplossing te zijn; er moet zoveel worden gespuid dat er onvoldoende druk is op het pompstation om dit te kunnen realiseren (E.J.M.

- Blokker & Pieterse-Quirijns, 2012). Spuien kan wel helpen om een eventueel bruinwaterprobleem op te lossen als gevolg van hoge temperaturen (onderdeel D uit Figuur 2-1).
- Overdragen / uitbesteden: hier gaat het om operationele maatregelen die de oplossing bij een andere partij leggen. Te denken valt aan het koelen (onderdeel C uit Figuur 2-1) of het koken (onderdeel A uit Figuur 2-1) van het drinkwater voor consumptie of het gebruik van fleswater (onderdeel F uit Figuur 2-1) om respectievelijk frisser water of microbiologisch veiliger drinkwater te krijgen. Hierbij wordt het risico overgedragen aan de consument of gebouwbeheerder.
  - Accepteren: wanneer een risico acceptabel is, zijn geen maatregelen nodig. Wel zou het dan kunnen dat de norm (op termijn) wordt aangepast (onderdeel B uit Figuur 2-1), of dat ontevreden klanten worden gecompenseerd (onderdeel E uit Figuur 2-1).
- o Maatregelen: dit zijn acties die worden uitgevoerd voordat de overschrijding plaatsvindt, en dus meer als investering gezien worden.
- Preventief: hier gaat het om grootschalige maatregelen die de kans op overschrijding verlagen. Aansluitend bij Figuur 2-1 staan verschillende opties tot de beschikking binnen de invloedssfeer van een waterbedrijf: het dieper leggen van leidingen (9), leidingen aan de schaduwkant van de straat installeren (3), voldoende afstand tot warmtenetten en andere warmtebronnen bewaren (7), leidingen onder gras of struiken/bomen (4) of in een klei (2) installeren. De meeste maatregelen leiden individueel tot een temperatuurverlaging van ca. 2 °C (E.J.M. Blokker & Pieterse-Quirijns, 2012; van Vossen, Stofberg, & Agudelo-Vera, 2019). Aspecten die aangepakt kunnen worden, maar die buiten de invloedssfeer van een waterbedrijf staan zijn het tegengaan van klimaatverandering (1), en het beperken van het stedelijk hitte-eilandeffect (5, 6, 8).
  - Repressief / correctief: hier gaat het om grootschalige maatregelen die het gevolg van overschrijding verlagen. Gedacht zou kunnen worden aan het onttrekken van thermische energie uit het drinkwater. Deze energie zou nuttig ingezet kunnen worden; om een koelend effect (onderdeel C uit Figuur 2-1) te hebben zijn wel veel warmtewisselaars nodig (E. J. M. Blokker, Horst, Moerman, Mol, & Wennekes, 2014). Zorgen voor een goed spuiprogramma of het aanleggen van zelfreinigende netten is een maatregel gericht op het verlagen van het bruinwaterisico (onderdeel D uit Figuur 2-1). Het aspect van de microbiologische veiligheid moet verder worden onderzocht, maar een maatregel zou kunnen zijn extra zuivering of nadesinfectie (onderdeel A uit Figuur 2-1).

## 2.6 Monitoring

In het risicobeheer kan monitoring bijdragen aan een aantal van bovengenoemde stappen.

- o Monitoring t.b.v. risico-identificatie:
  - Warmtebeelden door drones kunnen mogelijke (nieuwe) warmtebronnen identificeren.
  - Het onderzoeken van de waterkwaliteit i.c.m. drinkwatertemperatuur kan mogelijk een parameter voor de volksgezondheid identificeren die samenhangt met hoge temperaturen.
- o Monitoring t.b.v. risico-inschatting:
  - Aan het kwantificeren van het risico kan monitoring ook bijdragen. Voor het risico van hoge drinkwatertemperaturen ligt er geen monitoringsmethode voor de hand, omdat er over tijd en plaats zoveel variatie kan optreden en er zo veel verschillende invloedsfactoren zijn.
- o Monitoring t.b.v. risicobeheersing:
  - Er moet op veel grotere schaal worden gemeten, wil monitoring kunnen bijdragen aan risicobeheersing. De reden is dat lokaal en over de tijd heen veel variatie optreedt. Monitoring kan door mensen zelf te laten meten aan de kraan (human sensor), of door gebruik te maken van een temperatuursensor op een digitale watermeter. Belangrijk is wel dat de condities waaronder gemeten wordt (na doorstroming of stilstand, bijvoorbeeld) goed bekend zijn (Claudia Agudelo-Vera & Blokker, 2016; Kirstein, 2020).

## 3 Methode voor het kwantificeren van het effect van opwarming op netwerk niveau

In dit hoofdstuk ligt de focus op stap 3: Risico inschatten. Voor het kwantificeren van het risico zijn een aantal keuzes gemaakt. De casestudie gaat vooral om de methodologie en welke indicatoren kunnen worden gebruikt om de gevolgen van hotspots en het effect van maatregelen te evalueren. Dus een aantal 'relevante' scenario's worden uitgewerkt ter illustratie. Risico is gelijk aan kans maal effect. Hier richten wij ons op het effectdeel, d.w.z. 'wat zijn de gevolgen op het water in het net van plausibele bodemtemperaturen tijdens de zomer op één meter diepte (20°C en 24°C) en aanwezigheid van hotspots'. Het effect wordt gekwantificeerd o.b.v. een hydraulische netwerkmodel m.b.v. Epanet Multi Species Extension (Epanet-MSX, (Shang & Uber, 2008).

Drie indicatoren zijn gebruikt: 1) verblijftijd, 2) maximale drinkwatertemperatuur en 3) maximale aantal micro-organismen. Voor het berekenen van het maximale aantal micro-organismen zijn drie soorten gemodelleerd. Elke soort met een andere optimale groeitemperatuur, d.w.z. (0-15 °C, 5-25 °C en 10-30 °C). Voor aanvullende informatie over het drinkwatertemperatuurmodel zie (E. J. M. Blokker & I. Pieterse-Quirijns, 2013; Jacobs, Botha, & Blokker, 2018), voor de groei van micro-organismen zie (E.J.M. Blokker & Pieterse-Quirijns, 2012).

### 3.1 Invoerparameter en modelaannames

De volgende waarden voor invoerparameters zijn gekozen en aannames gedaan:

- a) Ingaande drinkwatertemperatuur is constant en gelijk aan 15°C, wat representatief is voor de zomer voor een grondwaterbron.
- b) De temperatuur aan de wand ( $T_{wall}$ ) is gelijk aan de bodemtemperatuur op -1.0m ( $T_{soil}$ ) voor twee situaties/condities: 20°C en 24°C. Alle leidingen zijn geplaatst op een diepte van één meter.
- c) Lokale hotspots zijn gemodelleerd door wandtemperatuurwaarden ( $T_{wall}$ ) te verhogen tot 30°C of 40°C op specifieke leidingen, nl. leidingen met een lengte tussen 100 en 250m. Preliminair toetsen lieten zien dat leidingen korter dan 50 m nauwelijks effect hadden in omliggende gebieden.
- d) Alleen knopen met watervraag zijn meegenomen in de analyse.
- e) Initieel aantal micro-organismen in elk knooppunt van het systeem van  $1 [1/cm^3] = [1/ml]$ . Voor de drie soorten werd een optimale groeisnelheid van  $4,0 \cdot 10^{-5} [1/s]$  gebruikt. Deze laatste waarde komt overeen met een groei van 1 tot 1000 micro-organismen in 48 uur. In het gebruikte model wordt ter vereenvoudiging aangenomen dat de groei van de bacterie alleen afhankelijk is van de temperatuur.
- f) De tijdstap voor de watertemperatuur en de kwaliteitstijdstap zijn ingesteld op 1 minuut. De simulatietijd was 72 uur, maar alleen de resultaten van de laatste 24 uur zijn genomen voor de analyse, om er zeker van te zijn dat er een stabiele situatie werd bereikt in het hydraulische en waterkwaliteitsmodel.
- g) De aangenomen bodemlaag rondom de drinkwaterleiding waar de temperatuur beïnvloed wordt door watertemperatuur is 0.20 m.
- h) Drie soorten micro-organismen. Elke soort met een andere optimale groeitemperatuur, nl.
  - Nmol: Number of microorganisme type I met optimale groeitemperatuur tussen 0-15 °C
  - Nmoll: Number of microorganisme type II met optimale groeitemperatuur tussen 5-25 °C
  - Nmolll: Number of microorganisme type III met optimale groeitemperatuur tussen 10-30 °C.

## 3.2 Scenario's

Op basis van expertkennis zijn een aantal scenario's gedefinieerd. De acht gemodelleerde scenario's zijn beschreven in Tabel 3-1. Twee baseline scenario's zonder hotspots zijn gemodelleerd (sce 1 & 2), daarna zijn 3 'enkele hotspots'-scenario's gemodelleerd en ten sloten vier scenario's met meerdere hotspots ('multi-hotspots'). Voor de hotspotssimulatie is de T<sub>wall</sub> van de buizen die overeenkomt met de hotspotbron verhoogd (30°C of 40°C), terwijl de T<sub>wall</sub> die aan de rest van de buizen is toegewezen blijven zoals in de referentie baseline scenario.

Tabel 3-1 Gemodelleerde scenario's

Sc.	Beschrijving	T <sub>water,ingang</sub>	T <sub>bodem</sub>	Temp. Hotspots
0	Baseline – gem. zomer	15°C	20°C	n.v.t.
1	Baseline warme zomer	15°C	24°C	n.v.t.
2	Enkele hotspot	15°C	24°C	30°C
3	Enkele hotspot	15°C	20°C	30°C
4	Enkele hotspot	15°C	24°C	50°C
5	Multi hotspots	15°C	24°C	30°C
6	Multi hotspots	15°C	24°C	40°C
7	Multi hotspots	15°C	20°C	40°C

## 3.3 Netwerk

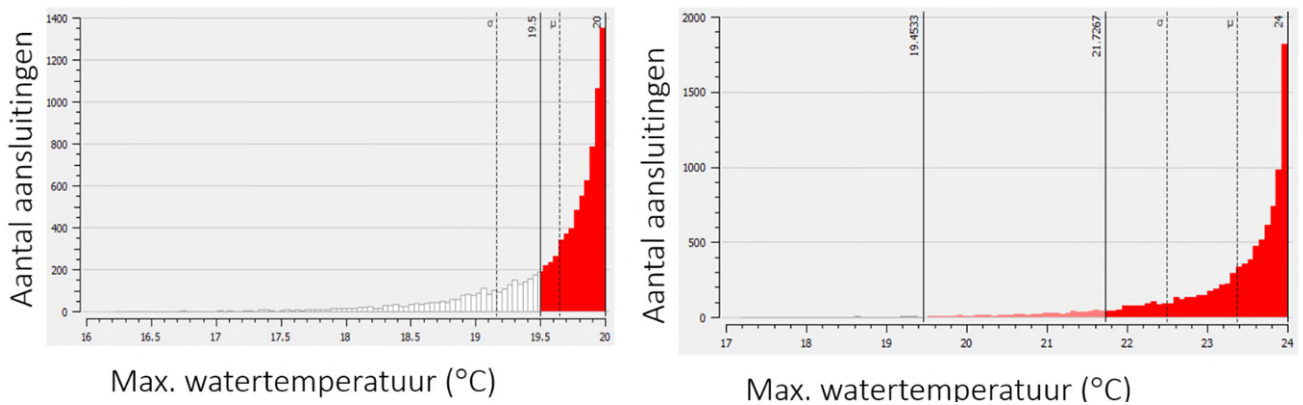
Het gebruikte DWDN model van Almere bestaat uit 716 km leiding. Er zijn ca. 75.000 aansluitingen, voornamelijk huishoudelijk. Er zijn twee pompstations. Behandeld water wordt van ongeveer 20 km afstand naar deze pompstations getransporteerd. Typische ingang temperaturen van het drinkwater zijn 10°C in de winter en 15°C in de zomer (E. J. M. Blokker, van Osch, Hogeveen, & Mudde, 2013). Invoerparameter en modelaannames zijn beschreven in §3.1.

## 3.4 Resultaten

De resultaten worden gepresenteerd door middel van kaarten, waarbij de temperatuur van het water en de microbiële activiteit van micro-organisme I, II en III op elk knooppunt in het netwerk van Almere na 48 uur worden weergegeven: X/X<sub>0</sub>, dus genormaliseerd op de beginwaarde.

### 3.4.1 Baseline maximale watertemperatuur voor 2 bodemtemperaturen

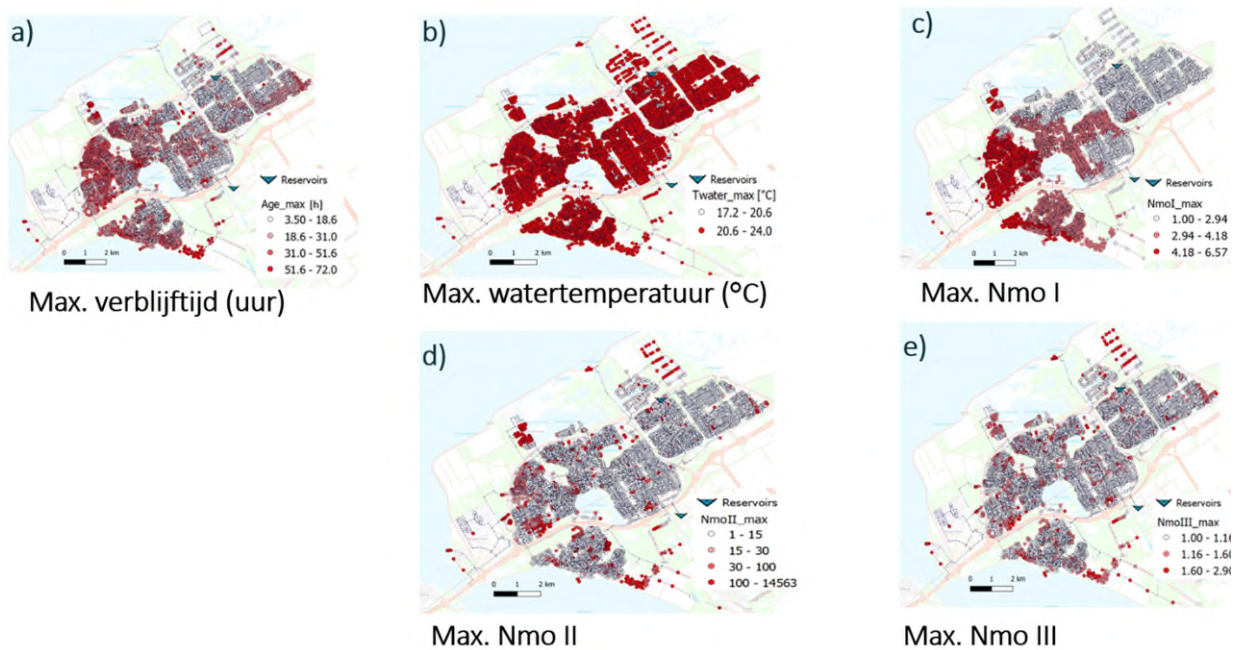
De maximale watertemperatuur, die in de meeste knopen van het netwerkmodel wordt bereikt (in beide geanalyseerde baseline scenario's – zonder hotspots), is gelijk aan de bodemtemperatuur, respectievelijk 20°C en 24°C (zie verdeling in Figuur 3-1). De verkregen resultaten in het geval van T<sub>wall</sub> 24°C zijn geïllustreerd in de kaarten: o.b.v. maximale watertemperatuur Figuur 3-2 en maximale aantallen micro-organismes voor de 3 soorten.



Figuur 3-1 Histogram maximale temperatuur op de knooppunten, baseline scenario (a) Twall 20°C en (b) Twall 24°C

**3.4.2 Resultaten voor baseline scenario met bodemtemperatuur van 24°C**

Figuur 3-2 toont de resultaten van vijf indicatoren voor de baseline scenario met bodemtemperatuur van 24°C. De maximale verblijftijd (Figuur 3-2a) is constant voor alle scenario's, de hydraulische randvoorwaarden zijn immers ongewijzigd. De verblijftijd in het systeem varieert tussen 3,5 uur en 72 uur, dit laatste getal voornamelijk in de knooppunten zonder watervraag (die niet worden meegenomen in de analyse van de resultaten) of met een zeer lage vraag (bijna nul), zie Figuur 3-2a. De hoogste waterleeftijd wordt vooral bereikt in het westelijk deel van het netwerk, terwijl in de regio's dicht bij de bronnen de waterleeftijd onder de 24 uur blijft. Maximale watertemperatuur per knoop (Figuur 3-2b) laat weinig variatie zien in het hele net, Figuur 3-1. De maximale aantallen micro-organismen type I, II en III tonen daarentegen grotere verschillen, niet alleen in de aantallen per organisme, maar ook in de locaties waar meer groei verwacht wordt (Figuur 3-2c tot Figuur 3-2e).



Figuur 3-2 a) Maximale verblijftijd, b) maximale watertemperatuur, c) maximale aantal micro-organisme type I, d) maximale aantal micro-organisme type II, en e) maximale aantal micro-organisme type III. voor baseline scenario met Twall 24°C

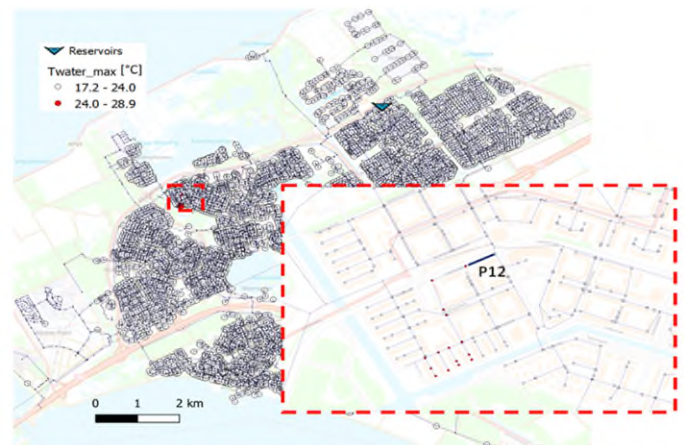
### 3.4.3 Scenario's met één hotspot

De simulatie met één hotspot toont aan dat het effect in dit geval zeer lokaal is en dat in sommige gevallen een temperatuur die nagenoeg gelijk is aan  $T_{HS}$  niet bereikt wordt. Verder laten de simulaties zien dat de locatie en hydraulica van belang zijn om het effect van de hotspot te bepalen.

Figuur 3-3 toont, als voorbeeld, het effect van twee scenario's met één hotspot. In dit geval is  $T_{wall}$  24°C en de temperatuur van de hotspot is 30°C. De hotspot wordt gesimuleerd in leiding P13 voor het eerste scenario en inleiding P12 voor het tweede. Beide leidingen hebben een diameter van 103 mm. Leiding P13 heeft een lengte van 220 m en leiding P12 een kortere lengte, 77m. In deze vergelijking heeft de kortere leiding een groter effect, namelijk eenhogere temperatuur (tot 28.9 °C bijna de toegepaste  $T_{HS}$ ) aan de tap bij een groter aantal aansluitingen (met  $T > 25^\circ\text{C}$ ) dan de langere leiding, maar het effect blijft beperkt tot de maximale afstand van 430 m benedenstrooms van de hotspot. In het eerste geval treedt het effect ( $T > 25^\circ$ ) tot een afstand van 900 m van de hotspot op. Voor beide scenario's wordt in de rest van het systeem een maximale watertemperatuur van 24°C waargenomen.



Leiding P13:  $L = 220 \text{ m}$ ,  $\varnothing 103 \text{ mm}$   
 Max. watertemp = 25°C  
 Max afstand effect 900 m vanuit hotspot



P12: length = 77 m and a  $\varnothing$  of 103 mm.  
 Max. watertemp = 28.9°C  
 Max afstand effect 430 m vanuit hotspot



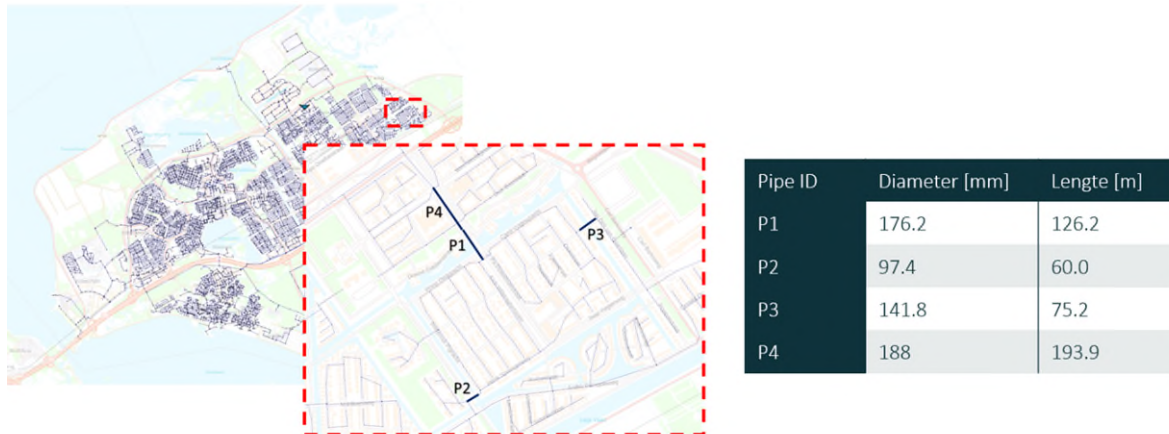
Figuur 3-3 Maximale watertemperaturen aan de tap voor de hotspots P12 en P13; in rood aansluitingen met temperatuur hoger dan 25°C.



### 3.4.4 Scenario's met meerdere hotspots: meerdere leidingen met een wandtemperatuur van 30°C

Een meer realistisch scenario is de aanwezigheid van meerdere hotspots. Figuur 3-4a toont de locaties en eigenschappen van de leidingen die geselecteerd zijn voor het simuleren van de hotspots in de multi-hotspot scenario's. Figuur 3-4b toont de resultaten voor maximale watertemperatuur en Figuur 3-4c-e tonen de maximale aantal micro-organismen type I, II en III.

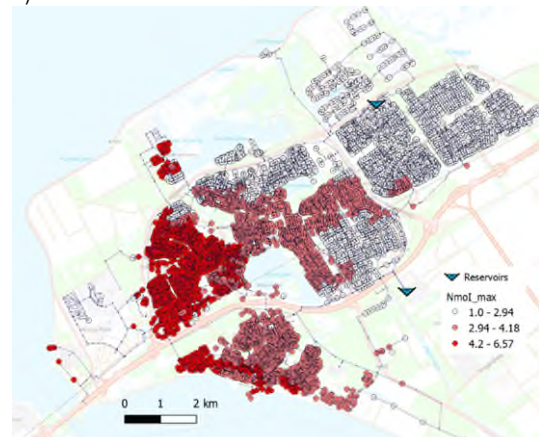
a)



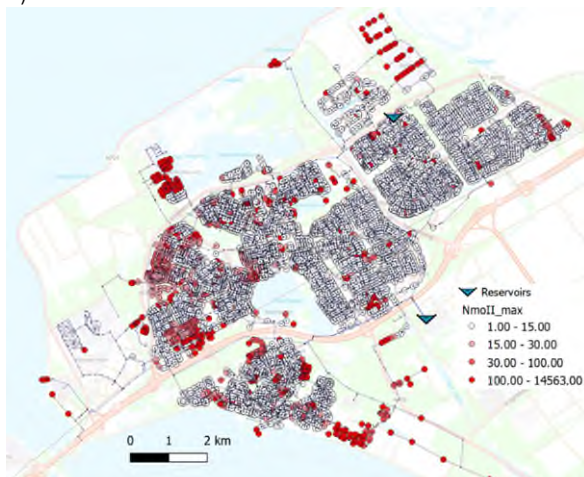
b)



c)



d)



e)



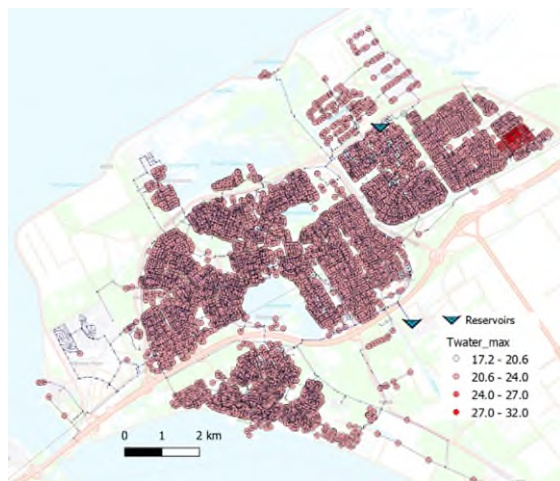
Figuur 3-4 a) Locatie van hotspots en eigenschappen van de leidingen, b) maximale watertemperatuur, c) maximaal aantal micro-organismen type I, c) maximaal aantal micro-organismen type II, en d) c) maximaal aantal micro-organismen type III voor multi-hotspot-scenario.

### 3.4.5 Scenario's met meerdere hotspots: meerdere leidingen met een wandtemperatuur van 40°C

Indien de hotspot een temperatuur van 40°C zou bereiken, blijven de effecten lokaal, Figuur 3-5. De effecten in dit voorbeeld zijn een hogere maximale temperatuur tot 32°C en groter aantal micro-organismen type III.

De effecten van de temperatuurstijging van de hotspots zijn zichtbaar in de kaart in Figuur 3-5a voor de maximale watertemperatuur en voor de Nmoll in Figuur 3-5b. De groeivoorspelling van de andere micro-organismen verandert niet (ten opzichte van die beschreven en getoond in paragraaf 3.4.4/figuur 3-5) omdat hun optimale groeitemperatuur altijd in het systeem wordt bereikt.

a)



b)



Figuur 3-5 a) maximale watertemperatuur en b) maximaal aantal micro-organismen type III voor multi-hotspot-scenario THS=40°C

## 3.5 Samenvatting resultaten effect-inschatting (Epanet MSX)

De resultaten van de berekeningen met de netwerkmodel van Almere kunnen als volgt worden samengevat:

- Kleine hotspots (in korte leidingen met een grens bij ongeveer 100 m) hebben weinig effect, maar hotspots in leidingen van ca. 100 m kunnen invloed op temperatuur en aantallen micro-organismen hebben op netwerkniveau.
- Een enkele hotspot heeft vooral lokale effecten op temperatuur en effecten op aantallen micro-organismen benedenstrooms. Deze lokale effecten zijn van belang voor kritische/kwetsbare klanten, denk aan ziekenhuizen of aansluitingen met veel inwoners (hoge gebouwen). Daarom is modelleren van belang.
- Het is reëler uit te gaan van een scenario meer meerdere hotspots, maar de locatie en aantal zijn nog onbekend. Binnen het project TKI Engine worden scenario's uitgewerkt voor stadsverwarming.
- Aanname van optimale groeitemperatuur van micro-organismen is van belang. Het is ook belangrijk om meerdere soorten te modelleren als een groot bereik van temperaturen te verwachten is, bijvoorbeeld door seizoensvariabiliteit.
- Hydraulische analyse is belangrijk. Gevalideerde modellen zijn een randvoorwaarde om een goede inschatting van opwarming en groei van micro-organismen in het net te maken.

## 4 Risicobeoordeling

In deze stap wordt bepaald of een risico acceptabel is of niet. Voor de geanalyseerde indicatoren zijn er nog geen toelaatbare grenzen bepaald. Meerdere keuzes moeten worden gemaakt. *Figuur 4-1* toont een voorbeeld risicomatrix; hierin worden de keuzes expliciet gemaakt. In dit geval gaat het over het aantal dagen per jaar boven een bepaalde temperatuur o.b.v. bodemtemperatuurmodellen voor drie verschillende stedelijke typologieën voor drie klimaatscenario's, nl. 2012, 2050G en 2050W+ . De grenzen van toelaatbaarheid, hieronder aangegeven met kleuren, zijn in deze eerste opzet gekozen o.b.v. expert kennis. Door het doorlopen van de risicomanagementcyclus, kunnen de (keuze van) risicocriteria en deze waarden aangescherpt worden.

Omdat temperatuur aan de tap geen goede indicator is voor de waterkwaliteitsverandering tussen bron en tap, moet bepaald worden wat een betere indicator is, en wat daar de maximale waarde van mag zijn. Risicobeoordeling valt buiten de scope van deze studie. Een van de in de projectgroep participerende bedrijven heeft de risicomanagementkader doorgelopen tijdens een BTO-workshop eind 2019, zie Bijlage V.

**Waar?**  
**Hoe lang?**  
**Hoe warm? → Absoluut of relatief**  
**Hoe vaak en onder welke omstandigheden?**  
**Welke tijdshorizon?**  
**Welke antropogene warmtebronnen?**  
**Hoeveel aansluitingen? (schaal)**  
**Wie is betrokken?**

	Tijdens een jaar met een (verwachte) hittegolf in de zomer					
	Aantal dagen Temp. drinkwater >25°			Aantal dagen Temp. drinkwater >28°		
	2012	2050 (G)	2050 (W+)	2012	2050 (G)	2050 (W+)
Peri-urbane wijken	0	0	0	0	0	0
Gemiddeld stad	0	0	7	0	0	0
Hot-spots in de stad	9	49	83	0	0	22

*Figuur 4-1 Voorbeeld van risicotabel met expliciete vragen*

## 5 Effect van maatregelen

### 5.1 Mogelijke maatregelen (voorkomen hoge drinkwatertemperatuur)

Het verdient aanbeveling om maatregelen te definiëren aan de hand van een bowtie-analyse (Figuur 2-1). Daarbij kan zowel naar de oorzaak worden gekeken (hoe wordt te grote opwarming voorkomen, bijv. “4” door gras in plaats van tegels als bodembedekking te gebruiken of “9” de leidingen dieper leggen) als naar de gevolgen (bijv. “A” hoe kan het microbiologisch risico als gevolg van hoge temperaturen worden beperkt of “B” hoe kan de wet worden aangepast). Een oplossing voor de lange termijn moet toch worden gezocht in de aanpak van de oorzaak en/of de gevolgen.

Figuur 2-1 gaat expliciet over de temperatuur van drinkwater boven de 25 °C. Een dergelijke bowtie-analyse kan ook worden gedaan voor microbiologische risico's. Naar verwachting is de meest kansrijke oplossingsrichting van onaanvaardbare microbiologische risico's t.g.v. te hoge temperatuur het voorkomen van de te hoge temperatuur. Ook al is nog niet exact bekend hoe de temperatuur de microbiologische risico's beïnvloedt, wordt daarom toch al onderzocht welke maatregelen effectief kunnen zijn. Naast de aanpak van de bodemtemperatuur rond de leidingen kunnen ook maatregelen gewenst zijn m.b.t. de waterkwaliteit af pompstation, de verblijftijd van het water in het leidingnet, en de uitwisseling tussen biofilm en waterfase.

Er moet in gedachten worden genomen dat er mogelijk nu reeds hotspots zijn (anno 2020, in het bestaande net), en dat in de toekomst ook nieuwe hotspots kunnen ontstaan (in nog aan te leggen leidingnetten en met veranderend klimaat en nieuwe infra, o.a. warmtenetten).

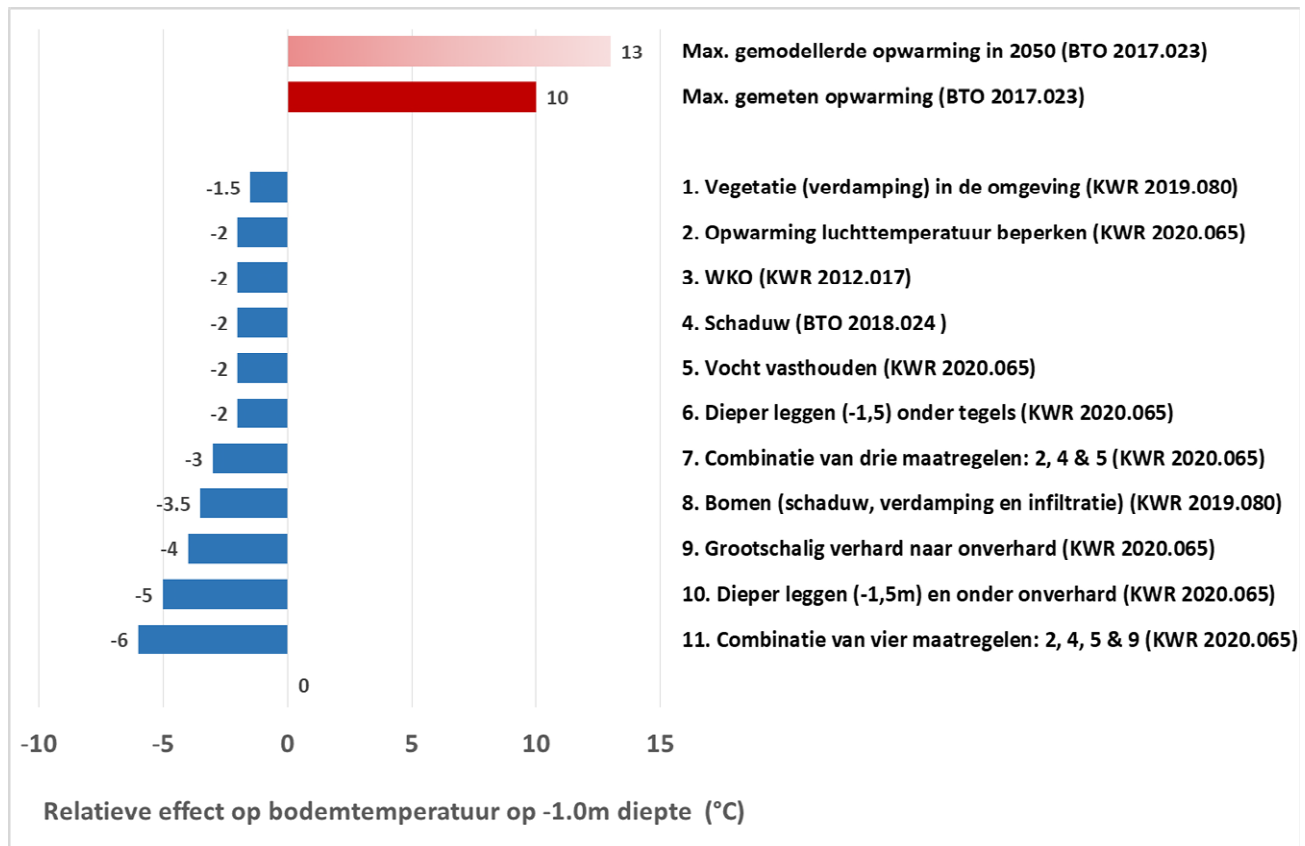
- Voor de huidige hotspots zijn lokale maatregelen mogelijk; hiervoor is het nodig de hotspots te lokaliseren. Mogelijke maatregelen: wijzigen in (aansluit)leidingen omleggen (dieper, in de schaduw, grotere afstand van antropogene bronnen), saneringsbeslissing op basis van hotspots.
- Voor de toekomstige (dreigende) hotspots is het mogelijk om rekening te houden met klimaatverandering, verstedelijking etc. en het ontwerp en aanleg van het leidingnet anders in te richten. Mogelijke maatregelen: dieper leggen van leidingen, in de schaduw leggen, onder groenstroken leggen.

N.B. voor nieuwe aanleg geldt mogelijk dat de antropogene bron van de toekomst nog niet bekend is (er al ligt, of tegelijk wordt aangelegd met de drinkwaterleiding). Ook in dat geval kunnen al maatregelen worden overwogen om de bodemtemperatuur rond de drinkwaterleidingen te beperken.

De maatregelen, geïdentificeerd door C Agudelo-Vera en Fujita (2017), worden in Tabel 5-1 geëvalueerd t.o.v. het effect op de gekozen indicatoren in deze studie. Zoals gezien tijdens het kwantificeren van het effect van de hotspots, zijn de exacte locatie van de maatregelen en de omvang (maat) van belang om de temperatuur na de implementatie van de maatregelen te bepalen. Tabel 5-1 toont dat niet alle maatregelen helpen om bijvoorbeeld de groei van micro-organismen te beperken. Het effect op micro-organismen is vooral gerelateerd aan het verlagen van de maximale temperatuur. Een kanttekening hierbij is dat temperatuurverlaging in meerdere of mindere mate een gunstig effect zal hebben afhankelijk van de betreffende soort. Figuur 5-1 toont de relatieve effect van maatregelen op bodemtemperatuur op 1 meter diepte (C; Agudelo-Vera & van Summeren, 2020). Deze gegevens kunnen worden gebruikt als vuistregels voor toekomstige modellering van drinkwatertemperatuur in het net.

Tabel 5-1 Maatregelen en hun effect op de geanalyseerde indicatoren: ↓ verlaagd, g: geringe verlaging, geen symbol: geen effect. Maatregelen van 1 tot 9 zijn aan de gevolgtanten maatregelen van A tot E zijn aan de oorzaakkant, zie figuur X.

Maatregelen	Max Temp aan de tap	Micro-organisme groei
1 <b>Klimaatverandering:</b> Ruimtelijke ordening – Integrale aanpak incl. ecologie/hydrologie langs leidingstroken. a. Groene daken/gevels b. Water in de stad i.s.m. gemeentes en waterschappen c. Tegels eruit, groen in de stad d. Meer parken en groen i.c.m. recreatie e. mitigatie van klimaatverandering door de maatschappij f. WLB CO <sub>2</sub> neutraal	↓	↓
2 <b>Bodemtype (Droge zandbodem)</b> g. Andere bodemvulling, bv. klei i.p.v. zand h. Combinatie hemelwaterafvoer, vasthouden water in de stad i. Ondergrondse wateropslag in de wijk j. Druppelbevloeiing tussen maaiveld en leiding	↓	↓
3 <b>Volle zon</b> k. Tracé in de schaduw l. Huizen dicht op elkaar bouwen. Stratenplan Oost-West	↓	↓
4 <b>Bodembedekking: tegels</b> m. Tracé DW in groenstrook n. Groene tuinen	↓	↓
5 <b>Warmte van gebouwen</b> o. Groene daken/gevels p. Energiezuinige gebouwen	↓	↓
6 <b>Warmte van boven maaiveld infrastructuur</b> q. Normering isolatie r. Samen met gemeente werken aan inrichten van steden	↓	↓
7 <b>Warmte van ondergrondse infrastructuur</b> s. Normering isolatie t. Bepalen eisen voor minimale afstand	↓	↓
8 <b>Reflectie van gebouwen</b> u. Absorberen i.p.v. uitstoten	↓	↓
9 <b>Barrière tussen bodem en drinkwater</b> v. Lokale koeling (evt. nuttig in te zetten in WKO) w. Snellere doorstroming (kortere contacttijd) x. Isolerende leidingen y. Lokaal dieper leggen	↓	↓
A) <b>Microbiologisch risico</b> 1) Zuivering optimaliseren, geen voedingsstoffen in het water af pompstation	-	↓
B <b>Overschrijding wet</b> 2) Ontheffing 3) Wet aanpassen (na onderzoek)	-	-
C <b>Geen 'fris' water</b> 4) Drinken via koeler	-	-
D <b>Hoger risico op bruinwater</b> 5) Vertakte aanleg (Zelfreinigende netten) 6) (Tijdig) spuien	g	g
E <b>Ontevreden klanten / meer fleswater</b> (maatwerk per hotspots) 7) Zelfkoelende kraan 8) Voorlichting	-	-



Figuur 5-1 Relatieve effect van maatregelen op bodemtemperatuur op 1 meter diepte

## 6 Discussie, aanbevelingen en conclusies

In de laatste jaren is in het kader van het BTO, DPWE en TKI gewerkt aan meerdere stappen van de risicoanalyse omtrent opwarming, maar nog niet alle vragen m.b.t. de mechanismen of de effectiviteit van maatregelen beantwoord zijn. In dit rapport is de tot nu toe opgebouwde kennis samengevat in hoofdstuk 2 en zijn voorbeelden uitgewerkt om het risico in te schatten m.b.v. risicocriteria. Verder zijn een aantal maatregelen en kennisleemtes tegen het licht gehouden die kunnen worden aangepakt om de analyses te verscherpen.

### 6.1 Over de risicomanagementaanpak

Risicomanagement is een continu verbeterproces. Figuur 6-1 geeft mogelijke verbetering in de aanpak tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het net voor de verschillende stappen van de geïntroduceerde kader aan. Bepalen wat toelaatbaar is en wat niet en o.b.v. welke indicator(en) om het effect van maatregelen te kunnen evalueren, is noodzakelijk om de cyclus van de risicobenadering af te sluiten. Belangrijk is te benadrukken dat waterbedrijven bepalen wat wel en wat niet acceptabel is. Deze discussie moet nog gevoerd worden, en de risicoaanpak helpt daarbij. Je moet klein beginnen, daarna werken aan de complexiteit.



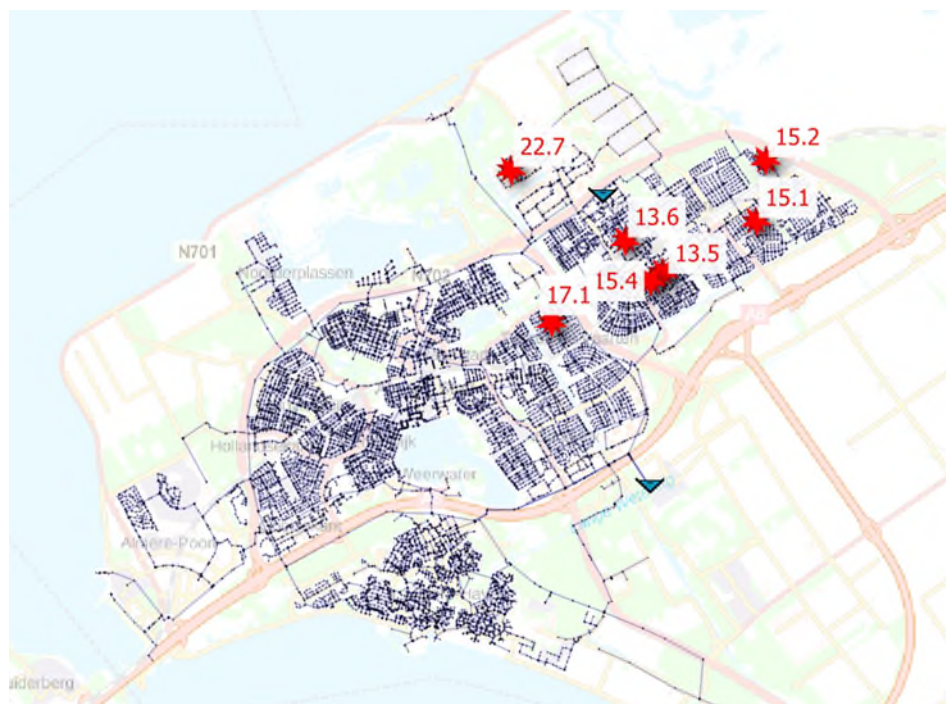
Figuur 6-1 Aanbevelingen voor risicomanagement gerelateerd aan de drinkwatertemperatuur in het net

### 6.2 Over het kwantificeren van het risico op netwerkniveau

Risicolocaties worden bepaald als functie van gekozen indicatoren en grenswaarden. Daarom is in deze studies niet alleen aandacht gegeven aan de risicocriteria, maar ook aan het kader voor risicoanalyse, d.w.z. vanuit doelen vaststellen tot monitoren. Enkel taptemperatuur of verblijftijd zijn geen robuuste indicatoren voor waterkwaliteit. Het bepalen van de temperatuur in het net kan niet alleen worden uitgevoerd op basis van GIS-data en random monsterring aan de tap. Hydraulische berekeningen zijn ook noodzakelijk om de gebieden benedenstrooms te kunnen identificeren.

De aanname van een constante bodemtemperatuur in een stedelijk gebied is niet realistisch. Er zijn hotspots door variaties in schaduwconditie, bodemtype en aanwezigheid van antropogene warmtebronnen. Verder zijn drinkwaterleidingen niet altijd op -1,0 m aangelegd. Deze informatie is van belang om een nauwkeurige berekening te maken. Dit geldt vooral voor kritische gebieden in steden, d.w.z. gebieden die veel in de volle zon liggen, met lage bodemvochtigheid en/of met kwetsbare/speciale klanten, denk aan ziekenhuizen, maar ook gebieden met bedrijven die een bepaald drinkwatertemperatuurbereik nodig hebben voor hun productie. Verder bevatten data van warmtebronnen en/of bodemeigenschappen onzekerheden. Bij de casestudie van Evides zijn de temperaturen van de warmwaterleidingen ook een onzekere parameter. Locatie en tijdstap, zowel als kwaliteit van de gegevens van de temperatuur aan de tap, hebben ook beperkingen getoond voor de analyse van hotspots in het net. Beschikbaarheid en kwaliteit van data zijn struikelblokken, daarom is voor een modelmatige benadering gekozen.

In stedelijke gebieden kunnen simulaties zonder hotspots een onjuist beeld geven van de drinkwatertemperatuur en groei van micro-organismen in het net. Uit eerdere metingen weten wij dat in een stad een verschil in watertemperatuur aan de tap, in het net van 10°C kan ontstaan tussen locaties (voor Almere, Figuur 6-2). Die variaties kunnen lokaal voor significante micro-organismegroei zorgen en daarmee doorslaggevend zijn om maatregelen te nemen tijdens langdurige warme perioden.



Figuur 6-2 beschikbare temperatuur metingen aan de tap voor één dag

### 6.3 Handelingsperspectief

Voor het identificeren van hotspots o.b.v. zonnestraling is een methodiek beschreven aan de hand van eerdere analyses voor enkele wijken in Rotterdam, zie bijlage II. Waterbedrijf Groningen heeft deze getest. De analyse op grote schaal met een fijnere ruimtelijke resolutie die nauwkeurig kan aangeven welke leidingen een deel van de dag in de zon liggen vergt veel computercapaciteit.

De nadruk lag op de methode om de effecten te modelleren. Het goede nieuws is dat gevalideerde tools beschikbaar zijn om de temperatuur in het net te voorspellen. Er moet nog gewerkt worden aan zowel het verzamelen van belangrijke data die nog ontbreekt, zoals de locatie van hotspots en diepte van leidingen, als ook het bepalen van toelaatbare grenzen.



Lopende onderzoeksprojecten (TKI-Engine en Warming-Up) werken aan het valideren en aanscherpen van invoerparameters van de modellen.

De vastgestelde methode, gepresenteerd in hoofdstuk 2, kan worden gebruikt tijdens discussies met warmteleveranciers. Met deze methode kunnen tracés en hun effecten op het drinkwaternet worden geëvalueerd.

Tabel 6-1 Opties voor handelingsperspectief.

#	Data	tools	uitkomst	handelingsperspectief
1	Met KNMI-data (historisch)	(nog te ontwikkelen) online bodemtemperatuurmodel	vergelijk met monsternames kun je bepalen waar mogelijk hotspots zitten	kun je deze hotspots mogelijk oplossen (leiding verleggen horizontaal of verticaal)
2	Met KNMI-data (historisch + voorspelling aantal dagen vooruit)	(nog te ontwikkelen) online bodemtemperatuurmodel	kun je voorspellen wanneer potentieel probleem optreedt	kun je mogelijk infiltreren, schaduw aanbrengen of andere tijdelijke maatregelen treffen
3	Met KNMI-data (historisch + transformatietool klimaatscenario's)	bodemtemperatuurmodel	kun je bepalen hoe vaak overschrijdingen gaan plaatsvinden	kun je besluiten om ander ontwerp/aanleg van je leidingnet na te streven
4	Met data over locatie leidingen + locatie antropogene (boven/ondergrondse) bronnen+ bodembedekking + zon/schaduw	bodemtemperatuurmodel + MSX-model	kun je bepalen hoe je het leidingnet beter kunt ontwerpen / aanleggen (afstand tot warmtenet bijv. – TKI Engine)	kun je in overleg met andere beheerders van de ondergrond

## 6.4 Toekomstige onderzoek

Toekomstig onderzoek zou zich moeten richten op:

1. risico-gestuurd monitoren om de hotspots te kunnen lokaliseren o.b.v. tapmonsters, smartsensoren, etc.;
2. valideren van aannames bv.:
  - typische warmte van (ondergrondse) antropogene warmtebronnen;
  - het effect van onbekende diepte van leidingen;
  - aantal hotspots per km<sup>2</sup> bepalen o.b.v. landelijke gegevens;
3. evaluatie van onzekerheden i.v.m. energietransitie en klimaatveranderingen;
4. ontwikkelen van robuuste indicatoren en meetplannen voor waterkwaliteit en monitoren van biofilm in vermoedelijke hotspots; o.a. meer permanente temperatuurmeetpunten plaatsen en onderhouden.
5. richtlijnen voor risicobeoordeling gerelateerd aan drinkwatertemperatuur in het net.

# I Bijlage – Opportunistische pathogenen

Opportunistische pathogenen hebben elk hun eigen niche in de biofilm. Of ze kunnen groeien in de biofilm hangt af van de aanvoer van voedingsstoffen (AOC in het water, en metabolisatie-processen in de biofilm), en de temperatuur in de biofilm. Een hotspot betekent dat er lokaal in de leiding een biofilm is met een hogere temperatuur dan boven- en benedenstrooms, en de duur van deze omstandigheden is afhankelijk van de oorzaak van de hotspot. Een hotspot als gevolg van weersomstandigheden kan enkele dagen aanhouden; een hotspot als gevolg van een antropogene warmtebron kan permanent zijn. Onder normale omstandigheden is er een soort evenwicht in de biofilm en is er weinig uitwisseling van micro-organismen tussen water en biofilm. Een plotselinge verandering (in tijd) van bijvoorbeeld de schuifspanning (door een hoge stroomsnelheid), een plotselinge verandering van aangevoerde voedingsstoffen of temperatuur kan het evenwicht in de biofilm worden verstoord en kunnen er m.o. in het water komen.

Potentieel kan dan iedere consument benedenstrooms van deze hotspot worden blootgesteld aan de vrijgekomen m.o. Maar ook de duur van de verstoring heeft een invloed op de hoeveelheid mensen die wordt blootgesteld. Als de verstoring slechts kort duurt, is er maar een beperkt volume water waarin zich m.o. bevinden, en dit volume water wordt dan slechts aan een beperkt aantal mensen geleverd (bijv. 1000 liter water in 1 uur wordt door gemiddeld 200 mensen gebruikt (voor douchen, wc doorspoelen, consumptie – 120 liter per persoon per dag is gemiddeld 5 liter per uur per persoon – dus 1000 liter is 200 personen). De concentratie m.o. (aantal per liter) wordt bepaald door de dikte van de biofilm, het oppervlak van de biofilm ( $A = \pi * D_{leiding} * L_{leiding}$ ) en volume van het water ( $V = \pi * (D_{leiding}/2)^2 * L_{leiding}$ ).

Omdat nog veel onbekend is, zoals

- hoeveel m.o. (van een specifieke opportunistische pathogeen) per mm<sup>2</sup> leidingwand zich ergens bevinden (en wat is effect van AOC, leidingmateriaal, ...);
- waar in het leidingnet de hotspot is (dicht bij het pompstation, dicht bij de klant, elders);
- welke verstoring optreedt en hoe lang deze duurt;
- hoeveel m.o. er vrijkomen in het water,

is het ook lastig om het risico te kwantificeren.

Wat wel mogelijk is nu, is een heel grove benadering. Daarbij wordt het risico:

- niet afhankelijk van de concentratie (dus ieder m.o. leidt tot een risico) – dan zijn leidingdiameter, leidingmateriaal, duur en grootte van de verstoring allemaal niet van belang;
- wel afhankelijk van het aantal klanten benedenstrooms.

## II Bijlage – Bepalen van zonnestraling op leidingen

This memo describes the methods to identify ‘hotspots’ on water pipes using ArcGIS (Spatial Analyst Toolbox is needed). The analysis consists of several steps:

1. compute solar radiation of 1 day (in summer) for the area of interest, based on height of the buildings;
2. overlay solar radiation data with water pipes. Choose a threshold value of solar radiation;
3. identify parts of water pipes which are exposed to a high level of solar radiation;
4. calculation of solar radiation of specific segments of water pipes.

Below, the procedures of the analysis are described for each step. Just for information, the used arcGIS tools are indicated in blue. The words in double quotations are the name of GIS files (for internal use only).

The required input data are:

- A shapefile of buildings (polygon features)
- Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) (raster)
  - o AHN data can be downloaded from PDOK. See instruction <http://www.ahn.nl/binaries/content/assets/ahn-nl/downloads/handleiding-ahn-downloaden-via-pdok.pdf>. Select the dataset ‘Raster maaiveld, 0.5 meter, niet opgevuld’
- A shapefile of water pipes (line features)

### II.1 Compute Solar radiation

1. Convert the polygons of building height into a grid data of 1x1 m. The cells with ‘NoData’ were filled with 0

[Toolbox/ConversionTools/ToRaster/Polygon to Raster](#)  
[Toolbox/SpatialAnalyst/MapAlgebra/RasterCalculation](#)  
 Con(IsNull("x"),0,"x")

2. Calculate the actual height of the buildings by summing up AHN en the building height. Clip the grid data into the area of interest.
3. Calculate solar radiation for a specific period of time. The output is a grid data with the same resolution as the input data (i.e. 1x1 m). The unit of solar radiation is WH/m<sup>2</sup>.

[Toolbox/SpatialAnalyst/SolarRadiation/AreaSolarRadiation](#)

For our analysis, we have calculated solar radiation for July 1<sup>st</sup> (= an arbitrarily chosen summer day) from 0h to 24h, with sky size 200. Note that a larger skysize is recommended for an analysis of 1-day interval (see <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/area-solar-radiation.htm>). However, we used a smaller sky size because otherwise it took too long time to run. Since the computation time was still very long (e.g. 16 hours for the half of the area), the analysis was done separately for 3 sub-areas (i.e. upper half, lower half, en the middle). Bands of 100m width on edges were excluded to avoid calculation error of radiation on fringes. The 3 sub-areas were then merged (“areasol\_merge”). **It is advisable to first conduct the analysis with a small area, in order to estimate computation time required. Be sure to keep the record of your solar radiation analysis (e.g. date of simulation, skysize), so that the analysis results are reproducible!**

4. Set solar radiation of the built areas (=under the buildings) as 0.  
[Toolbox/SpatialAnalyst/MapAlgebra/RasterCalculation](#)  
`Con(IsNull("RotGebouw_raster"),"areasoal_merge",0) → "SolWH_RotN"`

## II.II Overlay solar radiation data with water pipes

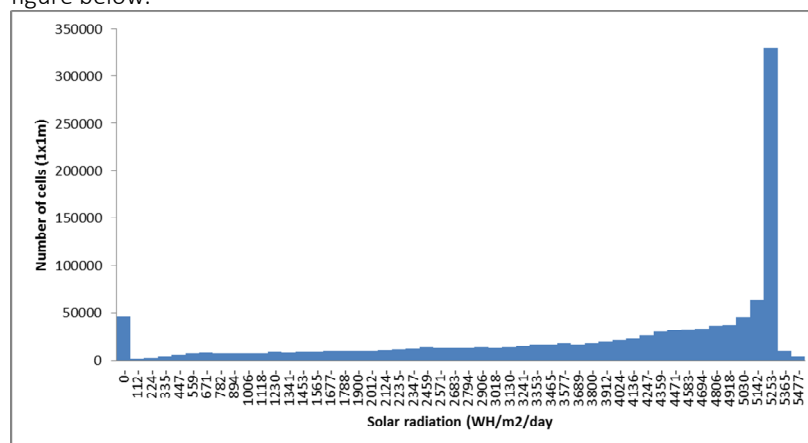
5. Convert the line feature of water pipes into grid file of 1x1 m.  
[Toolbox/ConversionTools/ToRaster/Polyline to Raster](#) → "waterpipe\_raster"
6. Assign the value of solar radiations to the cells on which the water pipes run

[Toolbox/SpatialAnalyst/MapAlgebra/RasterCalculation](#)

`Con(IsNull("waterpipe_raster"),"waterpipe_raster"," SolWH_RotN") → "waterpipe_raster2"`

7. Decide threshold value, by checking distribution of solar radiation on the water pipes.  
[Toolbox/SpatialAnalyst/Reclass/Slice](#)  
 Input raster: waterpipe\_raster2, Number of output zones: 20, Slice method: EQUAL\_INTERVAL  
[Toolbox/SpatialAnalyst/Zonal/Zonal statistics as Table](#)

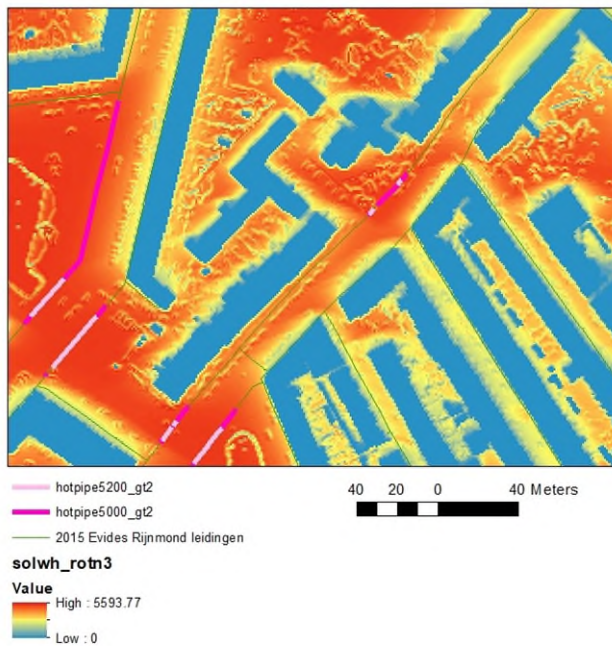
In our case, we chose a threshold value of 5000 WH/m<sup>2</sup> (and we additionally tested 5200 WH/m<sup>2</sup>), as it is approximately the value above which the peak of the solar radiation (=exposed to full sun) occurs. See figure below.



## II.III Identify 'hot' pipes

8. Make polygons of the cells which has a larger value than 5000 WH/m<sup>2</sup>  
[Toolbox/SpatialAnalyst/MapAlgebra/RasterCalculation](#)  
`SetNull("solwh_nrot3"<5000,1) → "WH>5000_polygon"`  
[Conversion Tool/From Raster/Raster to polygon](#) → 'WH>5000\_polygon'
9. Make line features of hot pipes by intersecting water pipes en 'hot' area  
[Intersect "waterleidingen" & "WH>5000\\_polygon"](#)
10. remove lines shorter than 2m  
[calculate geometry \(length\) -> select length>2](#)

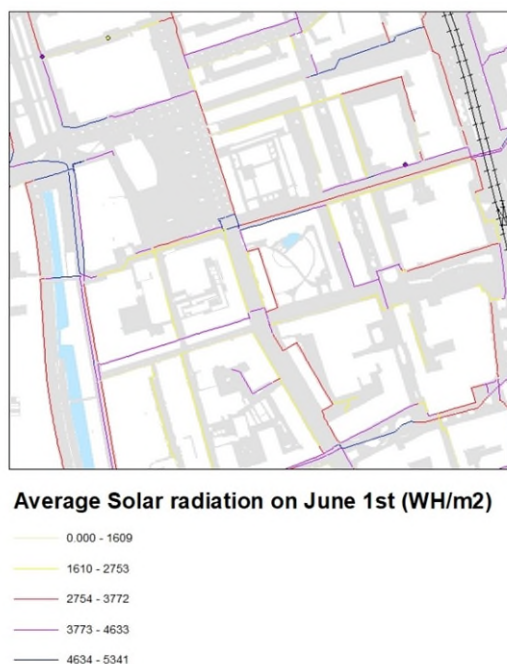
Below is an example of resulting GIS map. Grid data is solar radiation values (WH/m<sup>2</sup>/24h). Green lines represent water pipes. The Water pipes are highlighted with pink when >5000 WH/n<sup>2</sup>, with light pink when >5200 WH/m<sup>2</sup>.



## II.IV Calculation solar radiation of specific segments of water pipes

11. Calculate mean solar radiation of cells on which each segment of water pipes runs through.  
[ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Statistics as Table](#)
12. Merging mean solar radiation values to the shape file of water pipes.

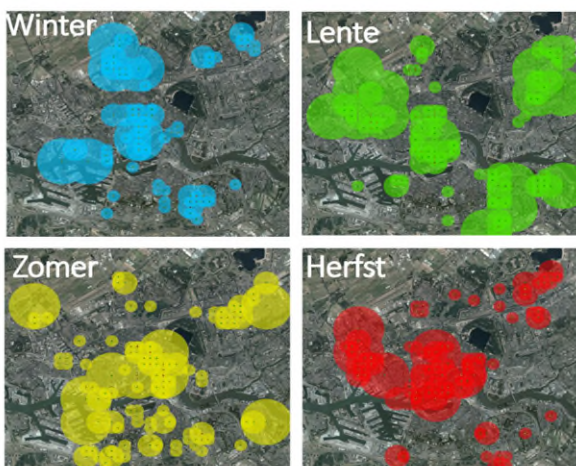
Below is an example of map in which each segment of water pipes are colored according to its mean value of solar radiation.



### III Bijlage Identificatie van hotspots op basis van metingen

In 2019 zijn 3 casestudies geanalyseerd met GIS o.b.v. temperatuur aan de tap en andere indicatoren zoals lengte aansluitleiding, verblijftijd. Er was helaas niet voldoende informatie wat betreft diepte van leidingen, genoeg gegevens van temperatuur aan de tap in een bepaald gebied (deze zijn verspreid in het gebied en gedurende het hele jaar) of gegevens van de warmtebronnen. De belangrijkste conclusies zijn dat: a) risico-gestuurd monitoren nodig is om de hotspots te lokaliseren o.b.v. tapmonsters, b) hydraulisch modelleren nodig is om de dynamieken van opwarming/afkoeling afhankelijk van de volumestroom en watervraag in het net te kunnen voorspellen/kwantificeren, en c) de huidige casussen niet voldoende (gedetailleerde) data hebben. Daarom is ervoor gekozen de vervolgstappen uit te voeren met een voorbeeld netwerk. Deze cases zijn gerapporteerd in PowerPoint presentatie en een MSc. Thesis (van den Bos, 2020). Hieronder een impressie van de resultaten. De presentaties zijn beschikbaar via BTO-net.

~  
Taptemperatuur  
RDT - Evides



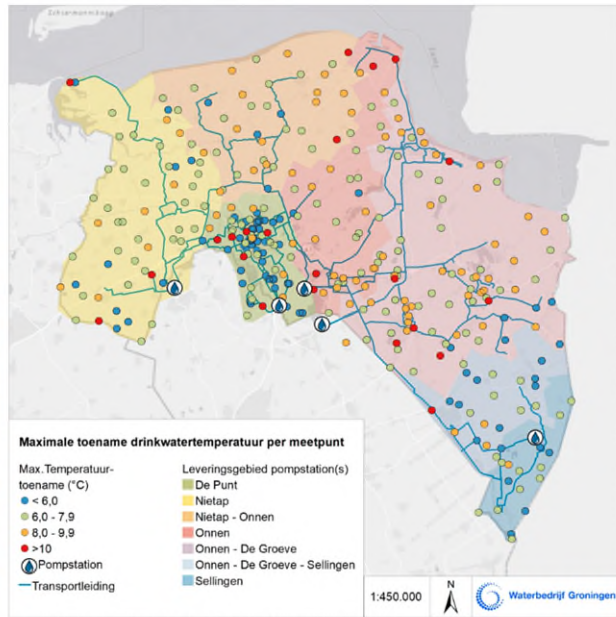
#### Bevindingen

1. Rotterdam centrum meest significant
2. Niet genoeg resolutie om kleine hittebronnen te identificeren
3. Er wordt niet overal gemeten

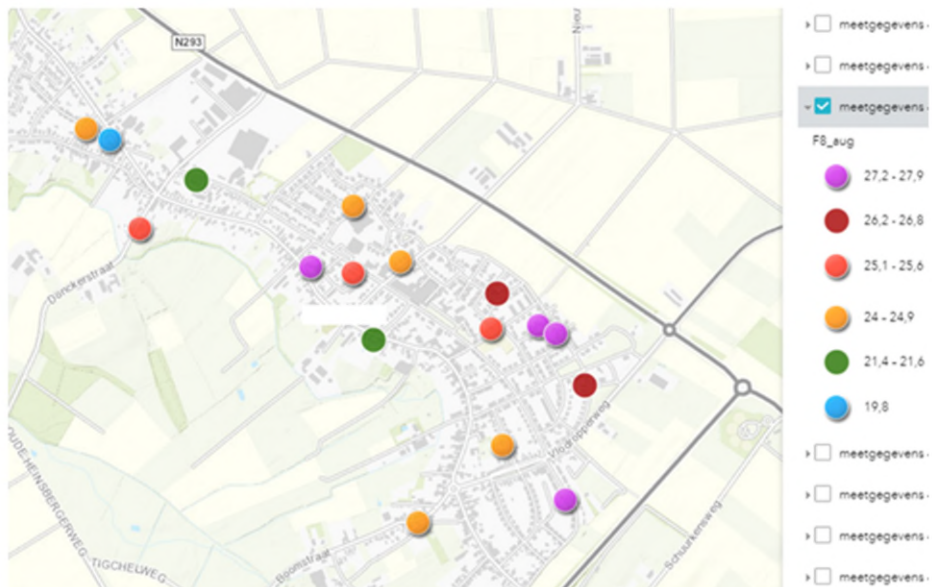
Bron: Thesis Laurens

## Taptemperatuur RDT - Groningen

Criteria	Hoogkerk, Fabriekslaan 12	Groningen, Woonschepenhaven
Max temperatuur (zomer)	26,3	25
Min temperatuur (winter)	0-5	0-5
Lengte aansluitleiding	364	9-226
Diameter aansluitleiding	110	25
Diameter distributieleiding	200	110
Verblijftijd	27,48	37,14 - 115,99
NAP hoogte aansluiting	0,415864	1,824
NAP verloop aansluitleiding (m/m)	0,00	-0,03
Grondsoort	bebouwd gebied	bebouwd gebied
Dijken	nee	ja
Grondwater hoog	0,8 - 1 m onder mv	1 - 1,5 m
Grondwater laag	1,5 - 2 m onder mv	1,5 - 2 meter
Hiltestress		
% begroeid terrein aansluitleiding	0	73
% begroeid terrein distributieleiding	0	73
ligging aansluitleiding	vrij open	vrij open
% schaduw aansluitleiding	60	25
% schaduw leiding	10	50
Warmtenet binnen 1m vd aansluitleiding	Nee	Nee
Warmtenet 100m leiding	Nee	Nee
Electra kabels / verdeelkast binnen 1m vd AL	Nee	LV dwars
Electra kabels / verdeelkast 100m leiding	100m MV langs	67m LV langs
Overige omgevingsfactoren	Zeer industriële omgeving, 9% vd leiding is overboud	(lengte AN+DN bij elkaar opgeteld om % te bepalen)



## Gerichte bemonstering van taptemperatuur (Risico-gestuurde monitoring)

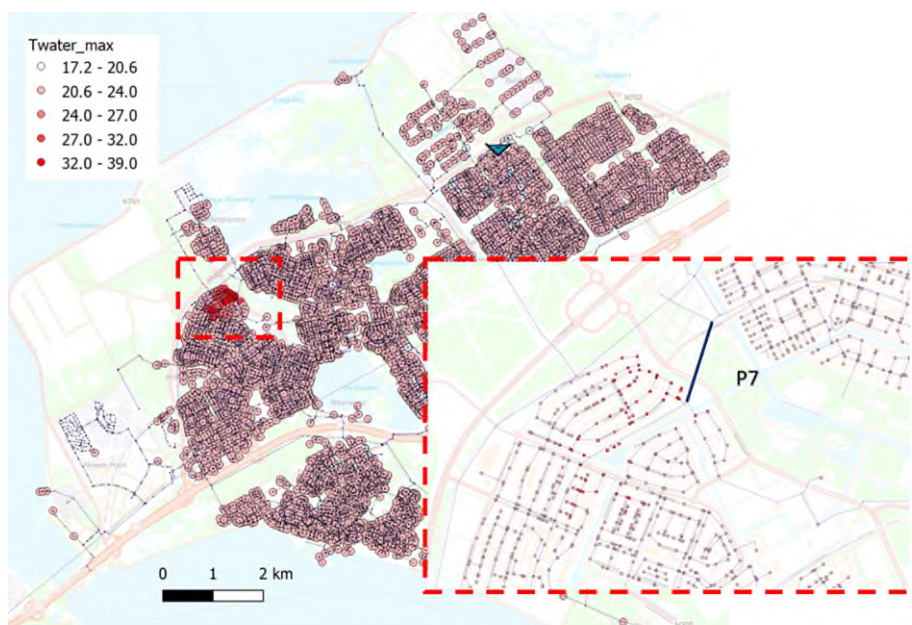


## IV Bijlage – Aanvullende toetsen

### IV.I Hotspot van 50°C

Some additional scenarios were defined in order to test the correct functioning of the model.

One of the scenarios is represented by considering the simulation of a single hotspot (pipe P7) with a  $T_{HS}$  of 50°C. As expected, with a significant increase of the  $T_{HS}$  also the max temperature reached in the water increases significantly.

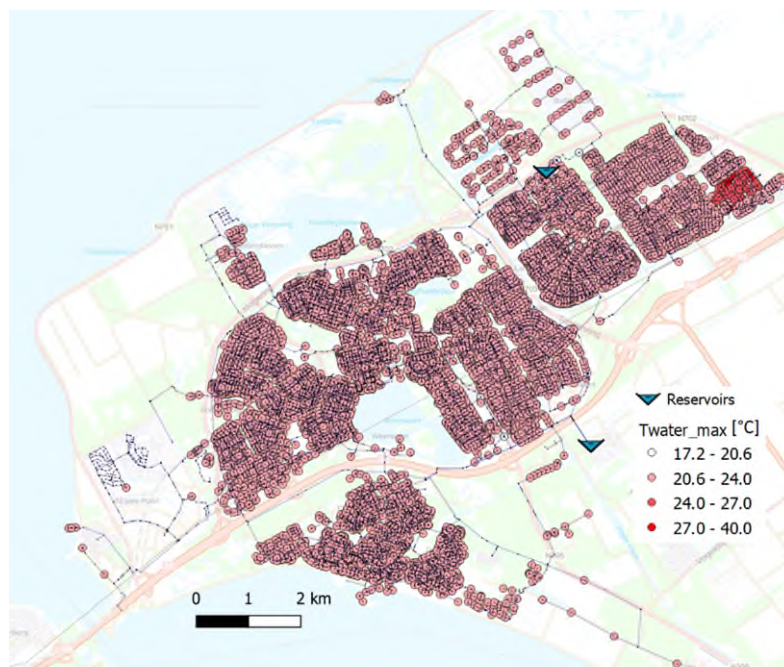


Figuur 6-3  $T_{water\_max}$  results for the hotspot located in P7

### IV.II Zero penetration depth

A second scenario was represented by the multi hotspots selection already described before (with  $T_{wall}$  24°C en  $T_{HS}$  40°C), but this time considering an extreme situation in which the influence of the water temperature inside the pipe towards the surrounding soil (called penetration depth in the model) is zero. As expected, by setting the effect of cooling down of the water in the pipe due to exchange with the soil to zero, the maximum water temperature reached in the area influenced by the hotspots is higher (around 8°C) than the case where a minimum penetration depth is considered.





Figuur 6-4 Maximum water temperature for the multi hotspots scenario with  $T_{wall}$  24°C,  $T_{HS}$  40°C en zero penetration depth

# V Samenvatting van de workshop gehouden bij Waternet op 21-11-2019 - BTO kennisuitwisseling drinkwaterdistributie en temperatuur in een stedelijke omgeving

Auteurs: Marco Dignum en Joost Louter (waternet)

Op 21 november 2019 hebben KWR en Waternet een workshop gehouden om kennis uit te wisselen over drinkwaterdistributie en temperatuur in een stedelijke omgeving. Aan deze workshop namen diverse medewerkers van Waternet en onderzoekers van KWR deel. De belangrijkste conclusie uit deze workshop was dat meer aandacht nodig is voor de opwarming van drinkwater als gevolg van de aanleg van warmtenetten en andere warmtebonnen, in combinatie met opwarming van het klimaat. Aanwezigen zijn van mening dat deze aandacht zich moet richten op:

1. meer kennis op beleidsmatig niveau van de opwarming van drinkwater;
2. meer onderzoek om beter inzicht te krijgen in de wijze waarop opwarming plaatsvindt en welke beheermaatregelen effectief zijn;
3. een voorlopig handelingsperspectief voor medewerkers van Waternet, dat wordt aangevuld op basis van lopende en te starten onderzoeken;
4. een standpunt hoe het verdedigen van het drinkwaterbelang zo goed mogelijk aansluit bij andere initiatieven die Waternet onderneemt met oog op energietransitie en klimaatadaptatie.

Bovenstaande punten zijn hieronder nader uitgewerkt. Middels deze notitie willen wij binnen Waternet aandacht vragen voor de risico's van een toenemende temperatuur van drinkwater.

## Inleiding

In het Drinkwaterbesluit (tabel IIIa 'Indicatoren - Bedrijfstechnische parameters') is vastgelegd dat de temperatuur van drinkwater maximaal 25°C mag zijn. Klimaatverandering en de energietransitie geven aanleiding tot de vraag hoe de drinkwaterbedrijven hier in de toekomst aan kunnen voldoen. De opwarming kan plaatsvinden in transportleiding, distributienet, aansluitleiding, leveringspunt, collectief leidingnet of binneninstallatie.

Overschrijdingen van de norm treden nu incidenteel op, waarbij effectieve beheersmaatregelen meestal niet voorhanden zijn. Het drinkwaterbedrijf is niet verantwoordelijk voor veranderingen die in collectief leidingnet of binneninstallatie plaatsvinden. Wel melden beheerders van prioritaire instellingen dat de temperatuur van het drinkwater op het leveringspunt de 25°C-norm nadert, waardoor zij niet kunnen voldoen aan het verplichte Legionellabeheersplan. Daarnaast kunnen vaker organoleptische klachten binnenkomen, d.w.z. dat te warm drinkwater als niet comfortabel wordt ervaren. Klanten kunnen het vertrouwen in leidingwater verliezen en meer (gekoeld) flessen water gaan gebruiken.

## **Uitvoering/praktijk: Hoe nemen we temperatuurverandering van het drinkwater effectief mee in inrichtingsplannen?**

We zien dat de aanleg van warmte- en elektriciteitsnetten in de stad vanwege de energietransitie sterk toeneemt, terwijl de ruimte in de ondergrond beperkt is. Dit levert belangenconflicten met beheerders en uitvoerders van deze infrastructuur. De indruk is dat het op dit moment ontbreekt aan goed onderbouwde afspraken om de drukte in de ondergrond beheersbaar te houden. Stadsverwarming kan ook leiden tot opwarming in de meterkast. Moderne huizen zijn beter geïsoleerd en hebben vaak lage temperatuur vloerverwarming, waardoor in pandig geen koelere omgeving meer aanwezig is. Om in de toekomst te kunnen (blijven) voldoen aan de norm zullen toetsbare praktijkrichtlijnen voor inrichting van ondergrond (NEN7171), meterkast (NEN 2768) en binnenhuisinstallatie (NEN1006) opgesteld dienen te worden. Ook wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en

hoogspanningssystemen (NEN3654) is relevant. Wanneer deze normen beschikbaar komen zijn opleiding en/of instructie gewenst, zodat toezicht en handhaving uniform worden gedaan. Met name voor de aansluitleidingen en het leveringspunt (meterkast) ontbreken nog richtlijnen. Voor distributienetten zijn toetsbare praktijkrichtlijnen beschikbaar, nieuwe inzichten tonen aan dat deze beter onderbouwd dienen te worden. Hierbij is echter geen rekening gehouden met klimaatverandering en de (toenemende) aanwezigheid van antropogene warmtebronnen (bijvoorbeeld warmtenetten) in de bodem of aan het bodemoppervlak (bijvoorbeeld laadpalen voor elektrische auto's). Voor specifieke situaties kunnen berekeningen met warmteoverdrachtsmodellen en metingen in de praktijk worden ingezet. Voor hotspots zullen haalbare maatregelen moeten worden gedefinieerd, denk aan afstand tussen drinkwater- en warmteleidingen, diepteligging, schaduw, bodembedekking, bereikbaarheid, etcetera. Binneninstallaties bij prioritaire instellingen staan onder toezicht van I&M. Legionellabeheerplannen zijn voorgeschreven. De daarin voorgestelde beheermaatregelen werken niet altijd goed (chloor, thermisch reinigen, UV, Zilver). Legionella pneumophila kan bij temperaturen hoger dan 25°C ook bij het leveringspunt al aangetroffen worden, wie is dan verantwoordelijk?

### **Onderzoek: Kunnen we de wisselwerking tussen omgevings- en drinkwatertemperatuur betrouwbaar meten en voorspellen?**

Diverse onderzoeken naar toename van de temperatuur van drinkwater vinden plaats in het BTO, DPWE, TKI en bij de drinkwaterbedrijven zelf. In de workshop hebben onderzoekers van KWR en Waternet een samenvatting gegeven van de uitkomsten (zie samenvatting van de Waternet presentaties in bijlage 1). De toenemende kennis wordt opgenomen in warmteoverdrachtmodellen, klimaatscenario's, inventarisatie van maatregelen en risicomatrices. Hiermee is het mogelijk om de effecten van warmtebronnen op de watertemperatuur en de impact op de waterkwaliteit te beoordelen. Met behulp van deze modelmatige aanpak is het mogelijk de impact van verschillende toekomstbeelden op de warmte van drinkwater te bepalen. Dit draagt bij aan een betrouwbare inschatting van toekomstige opwarming van de bodem, effectiviteit van maatregelen en onderbouwing van de praktijkrichtlijnen. Belangrijke stappen zijn nog een goede validatie van de warmteoverdracht vanuit de bodem naar het drinkwater in de leidingen en onderbouwde veilige afstanden tussen de verschillende leidingtypen.

Verder is niet duidelijk welke effecten overschrijding van de 25°C-norm hebben op de volksgezondheid. Op dit moment wordt in het BTO-bedrijfsonderzoek bepaald wat de relatie is tussen temperatuur en groei van opportunistische ziekteverwekkers. Vanuit de risicoperceptie lijkt Legionella het belangrijkste. Onderzoeksvragen zijn verder: toepassing leidingmateriaal in relatie tot nagroei, welk effect heeft opwarming van bron tot tap op de microbiologische veiligheid van het drinkwater bij de klant, welke risico-beperkende maatregelen zijn er en wat is de effectiviteit ervan (leidingontwerp en omgeving).

### **Beleid/strategie: Hoe richten we de stad in zodat de invloed van klimaatverandering op hygiëne van drinkwatervoorziening acceptabel blijft?**

De effecten van klimaatverandering zijn inmiddels merkbaar en voor zowel klimaatadaptatie als klimaatmitigatie zijn grootschalige veranderingen van de stedelijke omgeving ingezet. Klimaatverandering en de energietransitie en zijn twee ontwikkelingen die een negatieve impact kunnen hebben op de kwaliteit van drinkwater, en kunnen het voor Waternet moeilijk maken om te voldoen aan de wettelijke drinkwaternorm. De wijze waarop opwarming zich zal voordoen (de mate, de locatie en de gevolgen voor de volksgezondheid), alsmede de impact van beheermaatregelen zijn onvoldoende bekend. Dit plaatst medewerkers van Waternet in een lastige positie, namelijk:

- Hoe is de wettelijke taak te behartigen in gebieden waar warmtenetten worden aangelegd?
- Hoe zich op te stellen ten opzichte van andere partijen die verantwoordelijk zijn voor opwarming in woningen, als de temperatuur van leidingwater niet aan de wettelijke eis voldoet?
- Hoe mee te denken en samenwerkingspartners vinden op strategisch niveau over maatregelen voor klimaatadaptatie en energietransitie als impact en beheermaatregelen niet zijn te kwantificeren?

Strategische doelen zijn: het voorkomen van aan drinkwater gerelateerde infectieziekten en het behoud van consumentenvertrouwen. Het is daarom nodig te anticiperen op klimaatprogramma's en invloed uit te oefenen op ruimtelijke inrichtingsplannen. Waternet is aangesloten bij klimaatadaptatieprogramma's (klimaat tafels, Rainproof, Aardgasvrij) en heeft een eigen Onderzoek- en Innovatieprogramma op deze gebieden. Het is de vraag is of het

drinkwaterbelang voldoende op de agenda staat, bijvoorbeeld in de regionale energiestrategieën lijkt dit niet het geval. Welke rol wil Waternet spelen? Dit kan bijvoorbeeld zijn: toezicht houden, handhaven, lobbyen, zelf energieleverancier worden, centraal/decentraal. Opwarming vormt een bedreiging, maar ook een kans. Welke uitgangspunten zijn er voor verder beleid? Dit kan bijvoorbeeld zijn: focus op de wettelijke taak, ad hoc aanpak van hotspots, focus op risico's. Wat is in de toekomst acceptabel? Een andere strategie zou kunnen zijn te lobbyen voor verandering van het Drinkwaterbesluit. In de vigerende versie van de Europese Drinkwaterrichtlijn blijkt de watertemperatuur als parameter niet te zijn opgenomen met een grenswaarde. Is Nederland roomser dan de paus? Er ontstond discussie over de optie om over te gaan van een drinkwaternet naar een leidingwaternet. Dit raakt aan de kerntaak van Waternet.

## **Bijlage 1. Samenvatting van de presentaties vanuit Waternet**

### **Temperatuurmetingen in de praktijk (Marco Dignum)**

De tweede hittegolf van 2019 heeft de records gebroken. Zowel temperatuurmetingen als modellen zijn nodig voor de weersverwachting, zo ook voor klimaatverandering. Het gaat om waarnemen (datagedreven) versus voorspellen (modelstudie). Het is lastig goede praktijkmetingen te doen. Er zijn veel variabelen (bodembedekking, bodemsoort, diepteligging, grondwater, leidingdiameter, type warmteleiding, langsligging/kruising, stroomsnelheid). Je bent eigenlijk altijd te laat (het project is al gestart op het moment dat de WION melding komt, de uitvoeringsdatum is flexibel, en uiteindelijk zijn de meetgegevens pas beschikbaar op het moment dat de straat weer hersteld is). Het is belangrijk goed te bedenken wat het doel is van de metingen (toezicht houden, controlemeting, model valideren). Bij het Gentiaanplein in Amsterdam-Noord zijn metingen verricht aan een kruising van een GN100 drinkwaterleiding met 70-40°C warmte- en retourleidingen. Bij de start van de warmtelevering in februari 2019 steeg de temperatuur onder de warmteleiding met 3-4°C, de meting in de grond halverwege drinkwater- en warmteleiding 1-2°C. De sensor op de drinkwaterleiding na de kruising met de warmteleiding had een afwijking van 0,3°C. Tijdens de hittegolf liep de temperatuur onder de warmteleiding op tot 28°C en halverwege tot 26,5°C. Er is geen effect op temperatuur van de drinkwaterleiding aangetoond.

### **Klimaatatlas – opwarming drinkwater (Lisette Beets)**

Op de klimaatatlas website is nu ook een kaart te vinden met de (potentiële) opwarming van drinkwaterleidingen. Belangrijke factoren die de temperatuur beïnvloeden zijn schaduw, begroeiing en bodemsoort. Kaartlagen met landgebruik, schaduw (loodrecht) en bomen zijn daarom gecombineerd in de hittestresskaart. Vervolgens zijn daaraan kaartlagen met het nationaal wegen bestand en drinkwaterleidingen van Waternet gecombineerd tot de opwarming drinkwaterkaart. De ligging van de drinkwaterleidingen is om veiligheidsredenen gebufferd en verplaatst. Dit kan worden vergeleken met meetpunten. De routinemeetpunten (DAM-DN) lijken wat overlap met de opwarming drinkwaterkaart te geven, maar er zijn ook verschillen.

### **Gevolgen van temperatuurverhoging (Marco Dignum)**

Geur en smaak zijn subjectief en relatief. Wettelijke normen zijn arbitrair. Het belangrijkste zijn de risico's voor de volksgezondheid. Daarbij heeft Legionella de hoogste prioriteit. Het aantal meldingen van in Nederland opgelopen longontsteking neemt nog toe (niet per se via drinkwater). Legionella vermeerdert zich in de biofilm in amoebes, een soort eencellige diertjes. De gevaarlijkste soort, Legionella pneumophila, groeit tussen 25-45°C in praktijksituaties, bij een temperatuur lager dan 25°C wordt deze verteerd door amoeben. Tussen 25-30°C is de expressie van virulentiefactoren het hoogst, dus is de bacterie het meest besmettelijk. Pas boven 60°C is een veilige temperatuur voor warmwatersystemen. Andere opportunistische pathogenen komen incidenteel voor drinkwater. De relatie met temperatuur is nog niet duidelijk, dit is onderwerp van het huidige bedrijfsonderzoek. Aeromonas soorten die voorkomen in drinkwater zijn niet pathogeen. Deze zijn wel gevoelig voor temperatuur en kunnen daarom worden gebruikt als bedrijfstechnische parameter, daar is ook een wettelijke norm voor. Een groot deel van de toename van Aeromonas in de zomer vindt al in de zuivering plaats. Bij hogere temperatuur groeit Aeromonas sneller, maar sterft ook sneller af.

## References

- Agudelo-Vera, C., Avvedimento, S., Boxall, J., Creaco, E., de Kater, H., Di Nardo, A., . . . Blokker, M. (2020). Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges en Opportunities. *Water*, 12(4), 1049.
- Agudelo-Vera, C., & Blokker, E. J. M. (2016). *Ontwerp secundair net aangescherpt, evaluatie na vijf jaar praktijkervaring* Nieuwegein, Nederland.
- Agudelo-Vera, C., & Fujita, Y. (2017). *Hotspots in het leidingnet* (BTO 2017.023). Nieuwegein.
- Agudelo-Vera, C., & van Summeren, J. (2020). *Effectiviteit maatregelen klimaatadaptatie* (KWR 2020.065). Nieuwegein.
- Agudelo-Vera, C. M. (2018). *Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen* (BTO 2018.024). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55650341>
- Agudelo-Vera, C. M., Blokker, E. J. M., van der Wielen, P. W. J. J., & Raterman, B. (2015). *Drinking water temperature in future urban areas* (BTO 2015.012). Nieuwegein.
- Agudelo-Vera, C. M., Blokker, M., de Kater, H., & Lafort, R. (2017). Identifying (subsurface) anthropogenic heat sources that influence temperature in the drinking water distribution system. *Drink. Water Eng. Sci.*, 10(2), 83-91. doi:10.5194/dwes-10-83-2017
- Blokker, E. J. M., Horst, P., Moerman, A., Mol, S., & Wennekes, R. (2014). *Haalbaarheid van maatregelen tegen ongewenste opwarming van drinkwater in het leidingnet - TKI Project Calorics* (KWR 2014.057). Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., & Pieterse-Quirijns, E. J. (2012). *Scenariostudies voor beperken invloed klimaatveranderingen op temperatuur en kwaliteit drinkwater in het net*. Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., & Pieterse-Quirijns, E. J. (2013). Modeling temperature in the drinking water distribution system. *Journal - American Water Works Association*, 105(1), E19-E29.
- Blokker, E. J. M., Pieterse-Quirijns, E. J., Vogelaar, A., & Sperber, V. (2014). *Bacterial growth model in the drinking water distribution system. An early warning system* (PREPARED 2014.023). <http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?FileInfoid=594>
- Blokker, E. J. M., & Pieterse-Quirijns, I. (2013). Modeling temperature in the drinking water distribution system. *AWWA*, 105, E19-E28. doi:<http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2013.105.0011>
- Blokker, E. J. M., van Osch, A. M., Hogeveen, R., & Mudde, C. (2013). Thermal energy from drinking water en cost benefit analysis for an entire city. *Journal of Water en Climate Change*, 4(1), 11-16.
- Hillebrand, B. (2019). *Modellering van de opwarming van drinkwater in drinkwaterinstallaties* (KWR 2019.120). Nieuwegein.
- Jacobs, H., Botha, B., & Blokker, M. (2018). *Household Hot Water Temperature—An Analysis at End-Use Level*. Paper presented at the WDSA/CCWI Joint Conference Proceedings.
- Kirstein, J. K. (2020). Data-driven water distribution system analysis—exploring challenges en potentials from smart meters en beyond.
- Moerman, A. (2013). *Drinking water temperature modeling in domestic systems*. Nieuwegein.
- Moerman, A., Blokker, E. J. M., Vreeburg, J., & van der Hoek, J. P. (2014). *Drinking water temperature modelling in domestic systems*. Paper presented at the 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA.
- Molen, M. v. d., Kooij, H., Smulders, E. F. P. A., & Heijman, S. G. J. (2008). *Warmteindringing in de bodem*. Nieuwegein. KWR.
- Prest, E. I., Hammes, F., van Loosdrecht, M. C. M., & Vrouwenvelder, J. S. (2016). Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, en Challenges. *Frontiers in microbiology*, 7, 45-45.
- Shang, F., & Uber, J. G. (2008). *EPANET Multi-species extension user's manual*. (EPA/600/S-07/021). Cincinnati, OH:
- van den Bos, L. (2020). *Quantifying the effects of anthropogenic heat sources on the water temperature in the drinking water distribution system*. Delft: Delft University of Technology.
- van der Wielen, P. (2015). Waarde Aeromonas en KG22 als wettelijke parameters nagroei.
- van der Wielen, P. (2020). *Invloed van temperatuur op groei van opportunistische ziekteverwekkers in drinkwater*, KWR Nieuwegein (BTO 2020.036). Nieuwegein.
- van Vossen, J., Stofberg, S. F., & Agudelo-Vera, C. M. (2019). *Effectiviteit maatregelen tegen opwarming drinkwater in leidingen* (KWR 2019.080). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/60527073>