



BTO 2018.024 | Februari 2018

## **BTO** rapport

Aanpak om de hotspots  
in het leidingnet terug  
te dringen



# BTO

## Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen

BTO 2018.024 | Februari 2018

### Opdrachtnummer

400554/189

### Projectmanager

dr. ir. A.H. (Arnaut) van Loon

### Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Klimaatbestendige watersector

### Kwaliteitsborger(s)

dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

### Auteur(s)

dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera

### Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.  
Een jaar na publicatie is het openbaar.

### Jaar van publicatie

2018

### Meer informatie

dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera  
T (030 60 69) 587  
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)

### Keywords

Klimaatverandering, ondergrondse hittestress, bodemtemperatuur



Watercycle  
Research  
Institute

BTO 2018.024 | Februari 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

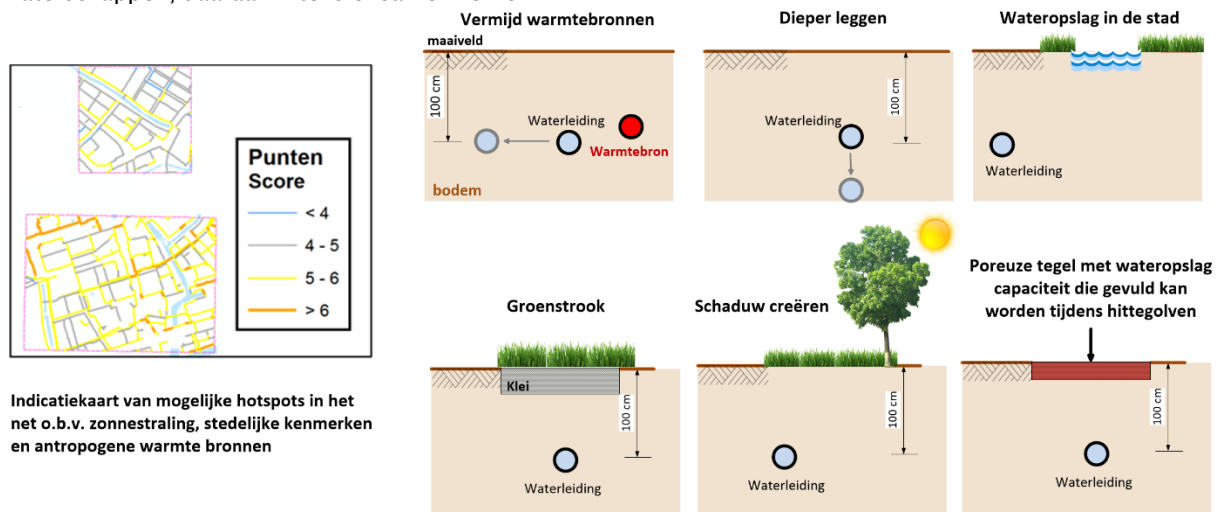
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Ondergrondse hotspots nu al voorkomen en terugdringen, in samenwerking met gemeentes en andere infrastructuurbeheerders

**Auteur(s)** dr.ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera

Hotspots zijn plekken in de drinkwaterinfrastructuur waar op enig moment de temperatuur hoger is dan 25°C. Ondergrondse hotspots kunnen incidenteel de oorzaak zijn voor een watertemperatuur aan de tap boven 25°C, boven het maximum vastgelegd in het Drinkwaterbesluit. Hotspots op 1 m diepte treden vooral op bij een combinatie van veel (in)directe zonnestraling, droge zandbodem, tegels als bodembedekking en antropogene warmtebronnen. Antropogene warmtebronnen zullen in de toekomst vaker voorkomen en het effect van klimaatverandering versterken. Als er geen actie wordt ondernomen, zullen hotspots in 2050 enkele weken per jaar drinkwatertemperaturen boven 25°C veroorzaken. Dat kan de toekomstige drinkwaterkwaliteit negatief beïnvloeden. Alle kleine beetjes helpen, want er is een combinatie van maatregelen nodig om de effecten van de stijging van de bodemtemperatuur af te remmen of de stijging van de drinkwatertemperatuur in het net te voorkomen. Praktische oplossingen voor drinkwaterbedrijven zijn het aanleggen van de leidingen aan de schaduwkant van de straat, het vermijden van warmtebronnen of het dieper leggen van leidingen. Andere, meer integrale oplossingen zijn het vergroenen van steden, meer schaduw creëren en water langer vasthouden in de stad. Het is belangrijk dat er de komende jaren duidelijke richtlijnen komen om het beheer van de ondergrond te stroomlijnen en dat alle infrastructuurbeheerders, zoals water- en energiebedrijven, gemeentes en waterschappen, daaraan intensief samenwerken.



Voorbeeld van een indicatiekaart van mogelijke hotspots in het net en enkele maatregelen om hotspots terug te dringen

**Belang:** ondergrondse hotspots kunnen drinkwatertemperaturen boven 25°C veroorzaken. De drinkwatertemperatuur in het leidingnet wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond de waterleiding, vrijwel altijd op ca. 1 m diepte.

Door hoge bodemtemperatuur rond een drinkwaterleiding kan de temperatuur van het drinkwater oplopen tot boven 25 °C, waardoor het water niet meer voldoet aan de eisen van het Drinkwaterbesluit. Dit komt incidenteel al



plaatselijk voor tijdens warme periodes, maar kan vaker gaan optreden bij een combinatie van droge zandbodem, tegels als bodembedekking en antropogene warmtebronnen. Een langdurige hoge temperatuur beïnvloedt de groei van micro-organismen in het water, met vaak negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit. Door klimaatverandering en de verwachte toename van antropogene warmte-emissies zullen de bodemtemperaturen in de toekomst verder gaan toenemen en zal dus ook de waterkwaliteit meer onder druk komen te staan.

#### Aanpak: inventariseren en kwantificeren van oorzaken, gevolgen en maatregelen voor hotspots

Via een literatuuronderzoek en een brainstormsessie is kennis verzameld over de oorzaken en gevolgen van hotspots en maatregelen om ondergrondse hotspots terug te dringen. De kwalitatieve beschouwing is uitgevoerd met een Bow-Tie analyse. Aanvullende simulaties met het KWR-bodemtemperatuurmodel zijn uitgevoerd om het effect van maatregelen te kwantificeren. Op basis van literatuur is een kosten-batenanalyse gemaakt.

#### Resultaten: een verscheidenheid aan maatregelen, bij vele is samenwerking noodzaak

Er zijn veel oorzaken voor opwarming van de ondergrond in de stad, maar ook veel mogelijkheden om die temperatuur met maatregelen te beheersen. In dit onderzoek zijn tientallen (mogelijke) maatregelen benoemd. De effecten van deze maatregelen zijn ook gekwantificeerd: elke maatregel afzonderlijk heeft een beperkt effect, maar een combinatie van maatregelen kan de hotspots zeker beperken. Er zijn twee maatregelen die drinkwaterbedrijven zelf kunnen implementeren (in overleg met de regisseur van de ondergrond): tracés kiezen aan de schaduwkant of bij warmtebronnen uit de buurt en leidingen dieper leggen. Voor alle andere maatregelen is meer samenwerking met gemeentes en andere infrastructuurbeheerders nodig. Deze kansen om samen te werken met andere partijen zijn geïnventariseerd en bieden ook kansen om mee te liften op huidige en toekomstige klimaatadaptatie-initiatieven van steden. Door maatregelen als meer groen en water vasthouden in de stad vermindert het hitte-eilandeffect en worden

tegelijktijd overstromingen bij extreme regenval tegengegaan.

Veranderingen in de antropogene bronnen, zoals meer warmtedistributienetwerken, kunnen lokaal grote gevolgen hebben voor de bodemtemperatuur. Deze veranderingen zijn gekoppeld aan de energietransitie en daarmee nog zeer onzeker. Indien geen actie wordt ondernomen, zullen de gevolgen van klimaatverandering en de verwachte toename van antropogene warmtebronnen merkbaar worden binnen een aantal decennia. Omdat sommige acties een langere tijdshorizon kennen, zoals vervanging van leidingen, zijn er mogelijkheden om langzaam maar zeker het leidingnet klaar te maken voor de toekomst. Binnen dit onderzoek is daarvoor een hulpmiddel ontwikkeld: een indicatiekaart om ondergrondse hotspots op te sporen. Met een aantal vereenvoudigingen is het mogelijk om op basis van zonnestraling, bodembedekking, antropogene warmtebronnen en stedelijke kenmerken mogelijke hotspots in het huidige net te lokaliseren op een indicatiekaart.

#### Implementatie: adaptatie meewegen bij aanleg- en vervanging, doe mee aan klimaatadaptatie

Een geleidelijke adaptatie vanaf nu zal ervoor zorgen dat er in 2050 geen of weinig hotspots in het net zullen zijn en dat de temperatuur aan de tap onder 25°C kan blijven. Tijdens de implementatie is het mogelijk om maatregelen te faseren en te koppelen aan reguliere onderhouds- en renovatieactiviteiten: dit bespaart tijd en kosten. Waterbedrijven kunnen in de ontwerpfasen en bij vervanging de voorkeur geven aan de schaduwkant van de straat, warmtebronnen vermijden of hun leidingen lokaal dieper of onder vegetatie leggen. Om toekomstige hotspots te voorkomen, is het belangrijk om met gemeentes en andere infrastructuurbeheerders aan de slag te gaan om de ondergrond te beheren op een duurzame manier. Het herinrichten van de stedelijke ondergrond door de energietransitie, met o.a. meer warmtenetten, kan gelijktijdig kansen bieden om de ondergrond beter te organiseren.

#### Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen* (BTO-2018.024).

#### Meer informatie

dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera  
T (030 60 69) 587  
E claudia.agudelo-vera@kwrwater.nl

#### KWR

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

# Inhoud

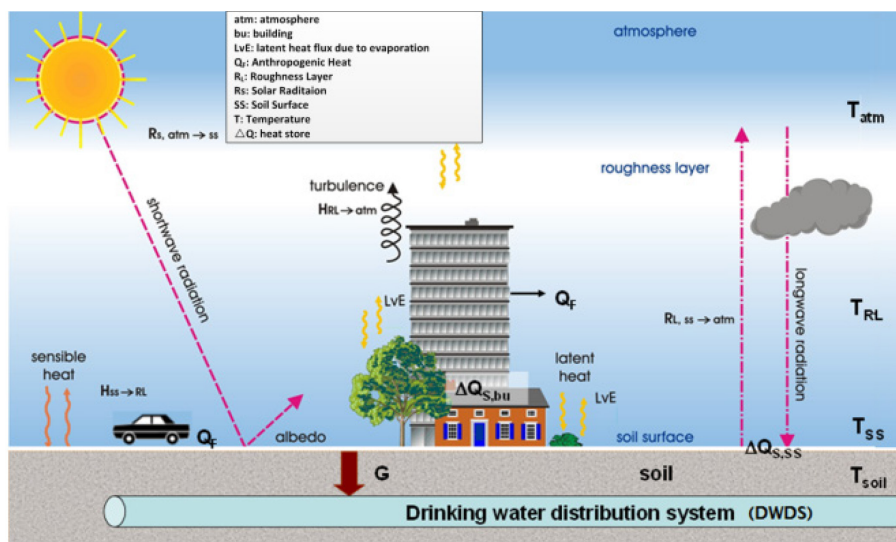
|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Inhoud</b>                                                                                       | <b>2</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                                                                                  | <b>3</b>  |
| 1.1 Achtergrond                                                                                     | 3         |
| 1.2 Doel van het onderzoek                                                                          | 4         |
| 1.3 Aanpak en leeswijzer                                                                            | 4         |
| <b>2 Kwalitatieve beschouwing van processen en maatregelen van/tegen hotspots</b>                   | <b>5</b>  |
| 2.1 Drinkwatertemperatuur in de drinkwaterinfrastructuur van bron tot tap                           | 5         |
| 2.2 Opwarming bodem                                                                                 | 7         |
| 2.3 Inventarisatie van oorzaken, gevolgen en maatregelen                                            | 9         |
| <b>3 Kwantitatieve evaluatie van maatregelen</b>                                                    | <b>16</b> |
| 3.1 Maatregelen binnen de invloedssfeer van drinkwaterbedrijven                                     | 16        |
| 3.2 Maatregelen buiten de invloedssfeer van drinkwaterbedrijven                                     | 19        |
| 3.3 Keuze voor ander bodemtype                                                                      | 21        |
| 3.4 Water in de stad vasthouden                                                                     | 22        |
| 3.5 Voorlichting                                                                                    | 23        |
| 3.6 Waterkoelers distribueren                                                                       | 23        |
| 3.7 Maatregelen om CO <sub>2</sub> - en warmte-emissies te beperken                                 | 23        |
| 3.8 Overzicht van kosten-baten voor de maatregelen                                                  | 23        |
| <b>4 Hulpmiddelen om (toekomstige) hotspots op te sporen</b>                                        | <b>25</b> |
| 4.1 Inleiding                                                                                       | 25        |
| 4.2 Methode om de temperatuur in het net te berekenen en mogelijke hotspotlocaties te identificeren | 26        |
| 4.3 Hulpmiddel toekomstige hotspots                                                                 | 28        |
| 4.4 Handelingsperspectief                                                                           | 30        |
| <b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>                                                                | <b>31</b> |
| <b>6 Referenties</b>                                                                                | <b>32</b> |
| <b>Bijlage I Vergelijken KNMI scenario's</b>                                                        | <b>33</b> |

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat bodemtemperatuur dé bepalende factor voor drinkwatertemperatuur aan de tap is (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2013). De drinkwatertemperatuur in het leidingnet wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond het distributienet, normaal gesproken op 1 meter diepte. In de Drinkwaterwet is een eis opgenomen voor de temperatuur van het drinkwater aan de tap van maximaal 25 °C. Om dit te monitoren nemen drinkwaterbedrijven op reguliere basis monsters aan de tap. Incidenteel in warme perioden wordt de grens van 25°C overschreden. De monsternamen zijn een momentopname en zijn daarom onvoldoende om lokale temperatuurvariaties, die in de ondergrond (en daardoor in het net) kunnen optreden, te kunnen bepalen. Als niet op de warmste dagen en de warmste locaties gemonitord wordt, kunnen de maximale waarden worden gemist.

KWR heeft een eendimensionaal BodemTemperatuurModel (BTM) ontwikkeld (van der Molen et al., 2008; Blokker en Pieterse-Quirijns, 2013). Het BTM bepaalt de bodemtemperatuur o.b.v. bodemtype, lokale kenmerken en meteorologische gegevens. In het BTO 'Toekomstige temperatuur in het distributienet onder invloed van verstedelijking en klimaatverandering' is het BTM uitgebreid met stedelijke kenmerken zoals antropogene warmte, warmteopslag in gebouwen en stedelijke verdamping, (Figuur 1-1). Het uitgebreide BTM is gevalideerd voor drie stedelijke gebieden in Rotterdam, nl. gemiddelde, peri-urbane en hotspotsgebieden (Agudelo-Vera et al., 2015). 'Hotspots', i.h.k.v. dit project, zijn plekken in de drinkwaterinfrastructuur waar op enig moment de temperatuur hoger is dan 25°C. Drie typologieën werden gesimuleerd; voor elk gebied een eigen thermische bodemprofiel, dat wordt bepaald door de bovengrondse stedelijke elementen (hoogte van de gebouwen, bodembedekking), en de ondergrond (bodemtype, grondwaterstand en ondergrondse infrastructuur).



FIGUUR 1-1 SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN HET BTM (AGUDELO-VERA ET AL., 2017)

Met de uitgebreide BTM en KNMI-scenario's (2006 versie) is een indicatie gegeven van hoe vaak overschrijdingen van de 25°C grens te verwachten zijn in 2050. De simulaties met dit model lieten zien dat door klimaatverandering (jaren 2030 en 2050) m.n. in de stad overschrijding van de 25 °C-eis kan optreden. Daarbij werd geconcludeerd dat niet in de hele stad maatregelen nodig zijn, maar voornamelijk in de hotspots.

In 2017 is een semi-kwantitatieve analyse uitgevoerd om de bijdrage van verschillende bronnen aan de hotspots in kaart te brengen (Agudelo-Vera en Fujita, 2017). De belangrijkste oorzaken van de hotspots zijn i) een combinatie van thermische eigenschappen van de bodem en bodembedekking (droge zandbodem onder tegels warmt sneller op dan klei onder gras) en ii) antropogene bronnen. Dit onderzoek richt zich op het bepalen van effectieve maatregelen om de huidige en toekomstige ondergrondse hotspots terug te dringen, tegen acceptabele kosten.

### 1.2 Doel van het onderzoek

De doelen van dit onderzoek zijn het inventariseren en kwantificeren van mogelijke oorzaken van hotspots in de stad en het identificeren van maatregelen en hun effectiviteit om hotspots terug te dringen. De randvoorwaarden voor implementatie van de maatregelen worden beschreven samen met een beknopt kwalitatieve kosten-baten analyse van de maatregelen. Een methode is uitgewerkt om een zogenaamde 'indicatiekaart' te maken op basis van GIS-gegevens om mogelijke hotspotlocaties in kaart te brengen.

### 1.3 Aanpak en leeswijzer

Een literatuuronderzoek heeft plaatsgevonden om kennis te verzamelen over maatregelen om bodemtemperatuur terug te dringen. Aanvullende simulaties met het BTM zijn uitgevoerd. Daarnaast heeft op 31 maart 2017 een brainstormsessie plaatsgevonden bij KWR, waarin de resultaten van het onderzoek over de ondergrondse hotspots in de stad werden besproken. Met de deelnemers werden maatregelen geïdentificeerd.

Eerst is een kwalitatieve beschouwing gedaan m.b.t. oorzaken en gevolgen van hotspots middels een bow-tie-analyse (hoofdstuk 2). Vervolgens is een kwantitatieve beschouwing gedaan, deels o.b.v. eerder onderzoek en deels door (nieuwe bedachte) maatregelen door te rekenen met het uitgebreide BTM. Deze maatregelen zijn in het licht van integraal asset management en een kosten-batenanalyse beschouwd met als doel het voorkomen/vermijden van (toekomstige) hotspots (hoofdstuk 3). Om op een snelle manier een grove indicatie te kunnen krijgen waar zich in het huidige net hotspots bevinden is m.b.v. GIS een hulpmiddel ontwikkeld (hoofdstuk 4). Daarbij is aantal vereenvoudigingen doorgevoerd om mogelijke locaties van de (toekomstige) hotspots te identificeren o.b.v. stedelijke kenmerken, zonnestraling analyse en locatie van antropogene warmtebronnen. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen.



## 2 Kwalitatieve beschouwing van processen en maatregelen van/tegen hotspots

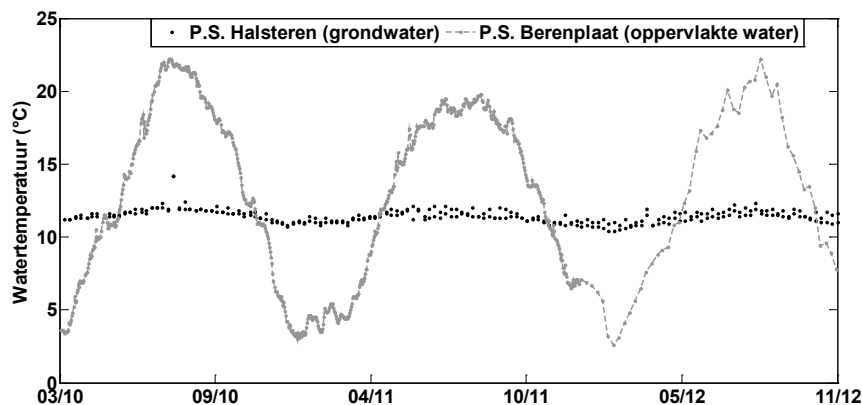
### 2.1 Drinkwatertemperatuur in de drinkwaterinfrastructuur van bron tot tap

#### 2.1.1 Inleiding

De drinkwatertemperatuur in het net wordt maar voor een beperkt deel beïnvloed door de temperatuur die het water heeft wanneer het het productiestation verlaat. Hieronder wordt eerst de temperatuurverandering van bron tot tap beschreven. Daarna worden oorzaken, gevolgen en maatregelen om ongewenste opwarming van drinkwatertemperatuur tegen te houden of te beheren kwalitatief beschreven.

#### 2.1.2 Watertemperatuur op Pompstation (PS)

De watertemperatuur op PS wordt bepaald door de drinkwaterbron. De temperatuur van het geproduceerde water verschilt tussen grond- en oppervlaktewater. Water gezuiverd uit grondwaterbronnen heeft een redelijk constante temperatuur. Water uit oppervlaktewater toont seizoensvariatie in temperaturen. Gegevens van de watertemperatuur van Evides, tonen dat in het geval van PS Halsteren (uit een grondwaterbron) de watertemperatuur het hele jaar door rond de 12°C is. Terwijl in het geval van Berenplaat (oppervlaktewaterbron) de watertemperatuur tijdens de zomer tot 22°C kan stijgen en tijdens de winter tot 3°C afkoelen, zie Figuur 2-1.

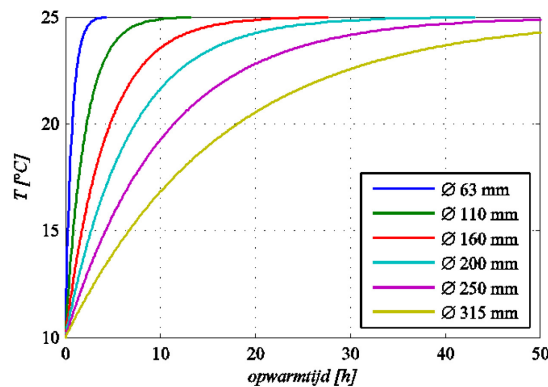


FIGUUR 2-1 WATERTEMPERATUREN OP PS HALSTEREN (GRONDWATER) EN PS BERENPLAAT (OPPERVLAKTEWATER) VANAF MAART 2010 TOT NOVEMBER 2012

#### 2.1.3 Temperatuur in transport-, distributie- en aansluitleidingen

Na het verlaten van het pompstation bevindt het drinkwater zich 24 uur tot 5 dagen (of meer) in het leidingnet. In deze tijd gaat het drinkwater eerst door transportleidingen: leidingen met een grote diameter (meestal 300 mm of groter), die op ongeveer 1,20 m diepte liggen en waar het water relatief snel doorheen stroomt. Vervolgens gaat het door het distributienet: dit zijn leidingen met een kleinere diameter (gemiddeld zo'n 100 mm), die op 1,00 m diepte liggen en waarin het water 's nachts vrijwel stil staat, overdag heen en weer kan pendelen en tijdens de piekwatervraag in de ochtend en avond wat sneller stroomt. Hier

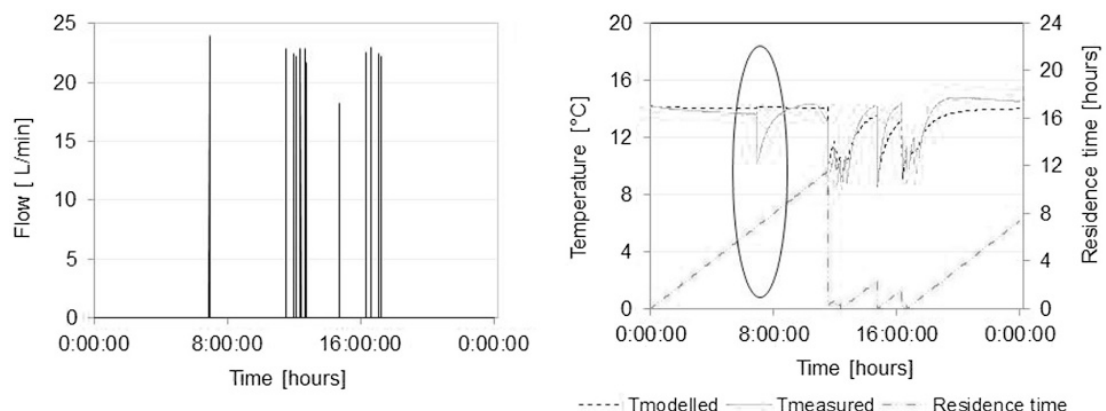
is de verblijftijd langer dan de tijd voor de warmteoverdracht tussen drinkwater en de bodem rond de leidingen, zie Figuur 2-2. Ten slotte gaat het water door de aansluitleidingen naar de watermeter: leidingen van ca. 25 mm die van 0,80 m diepte tot aan maaiveld verlopen en waarin het water stilstaat als er geen kraan geopend wordt of toilet wordt doorgespoeld, maar waarvan de volledige inhoud ververst wordt zodra er wel een substantiële watervraag in de woning is.



FIGUUR 2-2 OPWARMTIJD VAN HET WATER (WANNEER HET WATER 10°C IS EN DE BODEM 25°C) VOOR VERSCHILLENDE LEIDINGDIAMETERS

#### 2.1.4 Watertemperatuur in de drinkwaterinstallatie

De drinkwatertemperatuur kan verder in de drinkwaterinstallatie van de woning veranderen. In de winter zal gestookt worden tot een kamertemperatuur van rond de 20 °C. Het drinkwater dat bij de watermeter binnenkomt is in de winter 5 - 10 °C en zal in de drinkwaterinstallatie en in de stortbak van het toilet opwarmen. Tijdens doorstroming naar de keukenkraan treedt ook opwarming op door convectie. Het water bij de keukenkraan kan dan enkele graden warmer zijn dan bij de watermeter, ook na doorstroming (Figuur 2-3). In de winter is dit effect het grootst omdat dan het verschil tussen de temperatuur van het water uit het leidingnet en de woningtemperatuur het grootst is. In de zomer komt het drinkwater bij de watermeter aan met ca. 15-20 °C. Afhankelijk van de kamertemperatuur zal het water dan nog verder opwarmen, of afkoelen, in de drinkwaterinstallatie (Moerman et al., 2014).

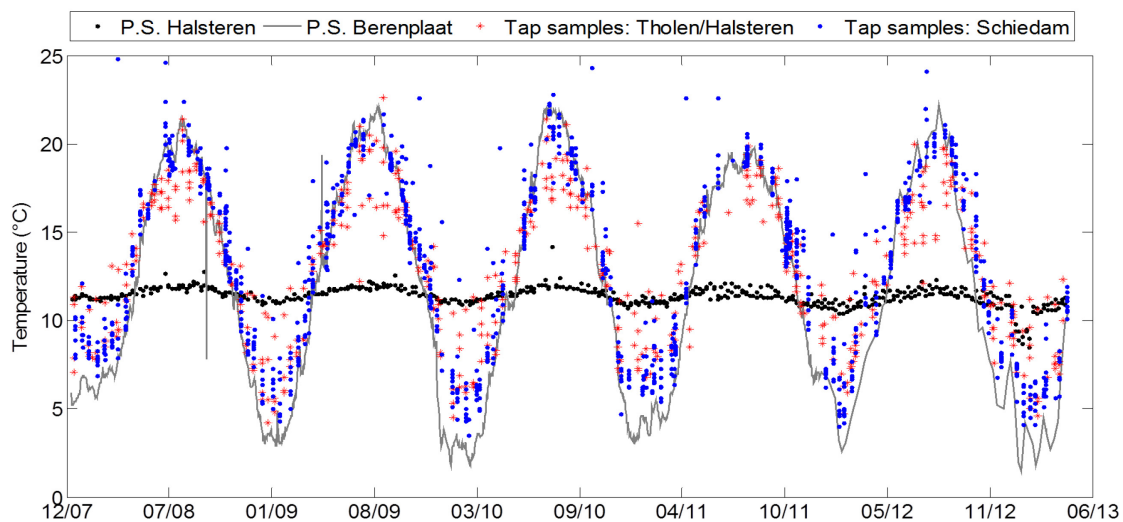


FIGUUR 2-3 LINKS VOLUMESTROOM KEUKENKRAAN, RECHTS: GESIMULEERDE EN GEMETEN WATERTEMPERATUUR EN GESIMULEERDE VERBLIJFTIJD (ZLATANOVIC ET AL., 2017).

### 2.1.5 Praktijkvoorbeeld (1) – Watertemperatuur aan het PS en aan de kraan

Bij de monsternamen wordt “na doorstroming” het water aan het meest gebruikte tappunt bemonsterd. Op deze manier wordt het water uit de distributieleiding bemonsterd en niet het water uit de aansluitleiding. N.B. de drinkwatertemperatuur kan nog wel in de installatie veranderen. Dus de bodemtemperatuur rond de distributieleidingen, op ca. 1,00 m diepte, heeft de grootste invloed op de gemeten temperatuur van het drinkwater (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2010).

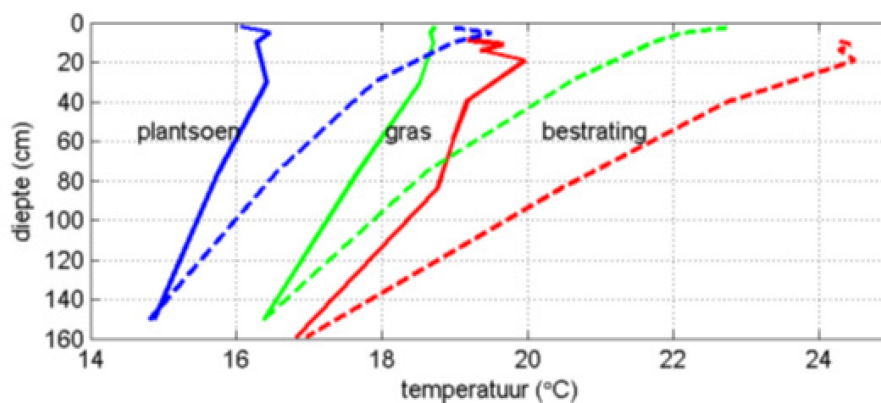
De watertemperatuur aan de kraan van twee gebieden, één voorzien van grondwater en de andere oppervlaktewater, zijn vergeleken in Figuur 2-4. De temperatuur van het geproduceerde water verschilt tussen grondwater (PS Halsteren) en oppervlaktewater (PS Berenplaat). De temperatuur die aan de tap wordt gemeten is echter heel vergelijkbaar in de voorzieningsgebieden van de beide pompstations (Tholen/Halsteren wordt gevoed door PS Halsteren en Schiedam door PS Berenplaat). De gemeten temperatuur aan de kraan is in de winter hoger dan de oppervlaktewatertemperatuur voor de gebieden die met grondwater worden voorzien. Dit komt waarschijnlijk door het hitte eiland effect en door binnenklimaat (§2.1.3), o.a. door gebruik van verwarming tijdens de winter. Andere mogelijkheid is het verschil tussen tappunten die korte een lange verblijftijden hebben in het distributienet.



FIGUUR 2-4 DE TEMPERATUUR VAN HET GEPRODUCEERDE WATER VERSCHILT TUSSEN GRONDWATER (PS HALSTEREN) EN OPPERVLAKTEWATER (PS BERENPLAAT). DE TEMPERATUUR DIE AAN DE TAP WORDT GEMETEN IS ECHTER HEEL VERGELIJKBAAR IN DE VOORZIENINGSGEBIEDEN VAN DE BEIDE POMPSTATIONS (THOLEN/HALSTEREN WORDT GEVOED DOOR PS HALSTEREN EN SCHIEDAM DOOR PS BERENPLAAT)

### 2.2 Opwarming bodem

Bodemtemperatuurmetingen op 1 m diepte toonden in 2016 dat locaties onder tegels gemiddeld ca. 2°C warmer zijn dan onder gras (Agudelo-Vera en Fujita, 2017). Dit heeft te maken met verdamping, nattere bodem en mogelijk andere bodemtypes. Gras heeft een hogere infiltratie dan tegels. Dit betekent dat de bodem onder gras natter is dan onder tegels. Daarnaast wordt voor de vegetatie vaak de oorspronkelijke bodem toegepast. In 2008 heeft (van der Molen et al., 2008) metingen uitgevoerd zie Figuur 2-5.



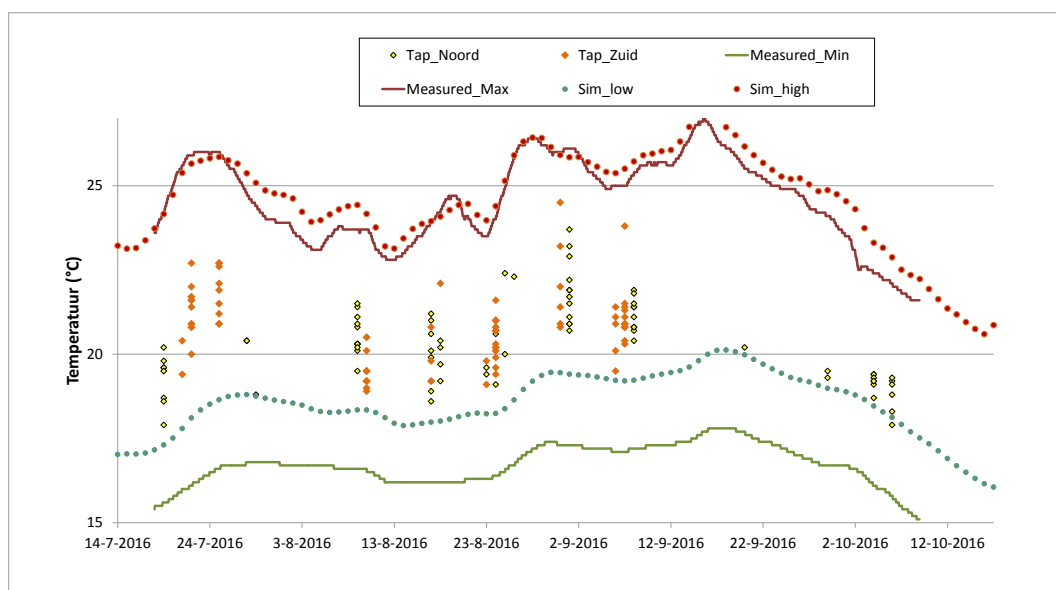
FIGUUR 2-5 GEMIDDELDE BODEMTEMPERATUUR OVER DE DIEPTE TIJDENS DE GEHELE MEETPERIODE VAN 26 JUNI T/M 29 SEPTEMBER 2008 (GETROKKEN LIJNEN) EN TIJDENS DE WARME PERIODE VAN 23 JULI T/M 3 AUGUSTUS (ONDERBROKEN LIJNEN) VOOR DRIE VERSCHILLENDE BODEMBEDEKKINGEN (VAN DER MOLEN ET AL., 2008)

### 2.2.1 Praktijkvoorbeeld (2) – Bodemtemperatuur in de stad metingen en simulaties

In Rotterdam zijn 42 locaties gemonitord gedurende 10 weken om de ondergrondse hittestress en de bijdrage van verschillende factoren in kaart te brengen. Tijdens de meetperiode is een maximaal verschil van 10°C gemeten tussen de verschillende locaties, Figuur 2-6. Uit deze studie bleken zonconditie en bodembedekking de twee meest bepalende factoren voor het optreden van hotspots. Onder tegels waren de temperaturen ca. 2°C hoger dan onder gras. Locaties in de zon waren ca. 2,5°C warmer dan locaties in de schaduw. De derde bepalende factor is het aantal antropogene bronnen. Locaties met 2 en 3 bronnen waren gemiddeld 1,5 tot 2,5 °C warmer dan locaties met geen of één antropogene bron. Er is ook een effect gevonden van diffuse bronnen, met een gemiddelde hogere temperatuur in gebied 1 (industriegebied) t.o.v. de andere gebieden. Locaties met gras kunnen ook hoge temperaturen (hotspots) hebben wanneer ze zich in de zon en in de buurt van meerdere antropogene bronnen bevinden.

Stedelijke condities kunnen heel lokaal variëren, denk aan locaties in de schaduw en in de zon, maar ook op locaties met gras of onder tegels kan de temperatuur snel veranderen. Verder spelen het type warmtebron en hun intensiteit een rol. De bronnen kunnen onderverdeeld worden in punt-, lijn- en diffuse bronnen (zie §. 1.1.1).

De gemeten bodemtemperaturen zijn vergeleken met: 1) de gemeten temperaturen aan de tap uitgevoerd door Evides in Rotterdam Noord en Zuid en 2) de gesimuleerde temperaturen (met het bodemtemperatuurmodel van KWR), zie Figuur 2-6. De metingen van de temperatuur aan de tap bevestigen de variatie van de metingen van de bodemtemperatuur. De metingen aan de tap waren op 'random' locaties, en dus niet gericht op hotspots. Daarom zijn de hoogste temperaturen niet altijd gemeten aan de tap. Verder tonen de resultaten van de simulaties dat met het model de variatie in de bodemtemperatuur van de stad kan worden beschreven. De hoogste simulatie is gelijk aan de hoogste meting. De laagste simulatie is voor een peri-urbaan gebied in de zon op zandbodem met antropogene bronnen. Daarom is deze hoger dan de controlemeting in het park op klei en in de schaduw. De metingen van de temperatuur aan de tap laten de trend en de variaties tussen locaties op een dag zien, bv. op 2 september zijn in Rotterdam Noord 10 locaties gemeten met een bereik van 20.7°C tot 23.7°C, maar er zijn geen metingen uitgevoerd tijdens de warmste dagen.



FIGUUR 2-6 OVERZICHT VAN DE BODEMTEMPERATUURMETINGEN, BODEMTEMPERATUURSIMULATIES EN WATERTEMPERATUURMETINGEN AAN DE TAP.

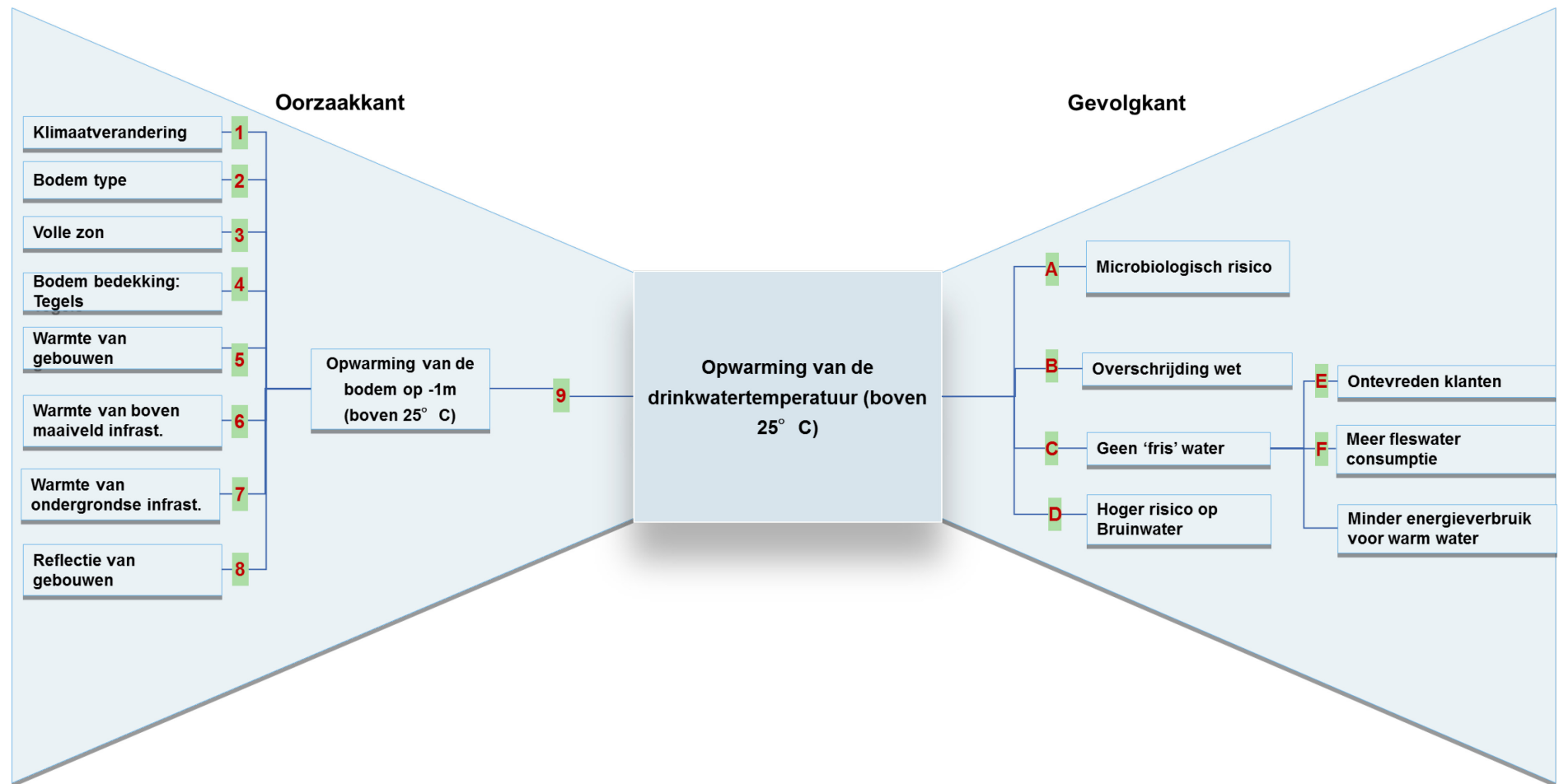
## 2.3 Inventarisatie van oorzaken, gevolgen en maatregelen

### 2.3.1 Bow-Tie

Het is niet goed te traceren waar de temperatuureis van 25°C<sup>1</sup> in de Drinkwaterwet op gebaseerd is. De drinkwaterbedrijven veronderstellen dat het deels te maken heeft met de klantbeleving en deels met het effect op de microbiologie. Om een overzicht te krijgen van de oorzaken en gevolgen van de opwarming van het drinkwater en om maatregelen te kunnen identificeren is de Bow-Tie methode gebruik. De Bow-Tie-methode is een kwalitatieve risicoanalysemethode waarmee op een systematische en efficiënte wijze een beeld kan worden verkregen van de risico's en van de preventieve en correctieve maatregelen die hierop (kunnen) worden ingezet. Het Bow-Tie concept is gebaseerd op de definitie van een centrale gebeurtenis: in dit geval de opwarming van drinkwatertemperatuur tot >25°C. Links van de centrale gebeurtenis worden de oorzaken geïdentificeerd en rechts van de centrale gebeurtenis de gevolgen, zie Figuur 2-7. De Bow-Tie is gevoed met kennis uit onderzoek, m.b.t. 1) oorzaak (hotspots en algemeen) & effecten van maatregelen en 2) gevolgen (en met een brainstorm zijn ook de randvoorwaarden voor implementatie in kaart gebracht). De Bow-Tie biedt een overzicht van de complexiteit van factoren die de opwarming veroorzaken, maar toont ook dat er een breed scala aan mogelijke oplossingen is om oorzaken en gevolgen aan te pakken.

<sup>1</sup> Aanbeveling WHO is ook 25°C.





FIGUUR 2-7 BOW TIE ANALYSE VOOR DE DRINKWATERTEMPERATUUR > 25°C. DE NUMMERS EN LETTERS ZIJN DE GEÏDENTIFICEERDE MAATREGELEN, ZIE TABEL 2-2.

### 2.3.2 Oorzaken

De hoofdoorzaak van opwarming van drinkwater is opwarming van de bodem. De twee hoofdoorzaken van het opwarmen van de bodem zijn verstedelijking en klimaatverandering. Gerelateerd aan verstedelijking zijn er meerdere oorzaken geïdentificeerd. Hotspots kunnen worden veroorzaakt door stedelijke bovengrondse kenmerken of door antropogene bronnen, boven of onder maaiveld. Vermoedelijk worden hotspots veroorzaakt door een combinatie van factoren, zie Tabel 2-1 (Agudelo-Vera en Fujita, 2017).

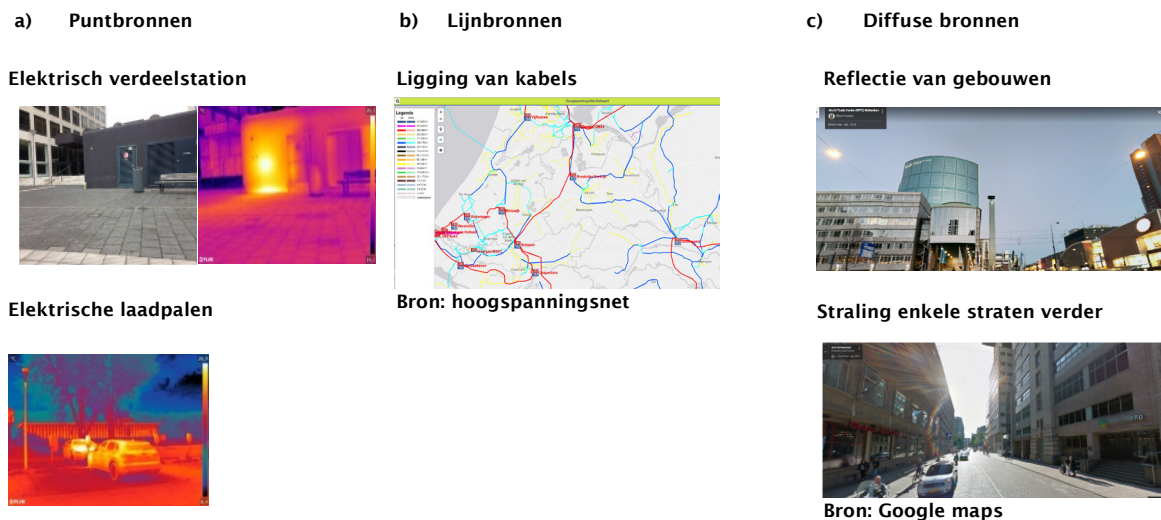
TABEL 2-1 OVERZICHT VAN KENMERKEN DIE DE STEDELIJK BODEMTEMPERATUUR BEÏNVLOEDEN (AGUDELO-VERA EN FUJITA, 2017)

| Schaduwconditie     |                | Zon                                                                               | Half schaduw | Schaduw                                                   |                                           |
|---------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Stedelijk type      |                | Residentieel                                                                      | Industrie    | Plein                                                     | Park                                      |
| Bodembedekking      |                | Gras                                                                              | Tegels       | Asfalt                                                    |                                           |
| Antropogene bronnen | Boven maaiveld | Restwarmte uit specifieke gebouwen                                                |              | Stedelijke kenmerken                                      | Andere infra                              |
|                     |                | Ziekenhuis, wasserette, zwembad, koelhuizen, etc.                                 |              | Hoge dichtheid van gebouwen, reflectie van gebouwen, etc. | Elektrische sub-stations, laadpalen, etc. |
|                     | Onder maaiveld | Andere infrastructuur - Netwerken                                                 |              |                                                           | Andere infrastructuur (lokaal)            |
|                     |                | Metro, hoogspanningskabels, stadsverwarming, tunnels, spoorwegen, riolering, etc. |              |                                                           | Kelders, parkeergarage, WKO's, etc.       |

De omvang van de hotspots is afhankelijk van het type oorzaken. Drie type antropogene warmtebronnen kunnen worden onderscheiden: puntbronnen, lijnbronnen en diffuse bronnen. Een puntbron is een in één punt geconcentreerde warmte-uitstoot, zoals een elektrisch verdeelstation, WKO, wasserette. Specifieke gebouwen kunnen een antropogene warmtebron zijn, denk aan ICT-gebouwen of supermarkten met koelingsfaciliteiten. 'Scatter' puntbronnen kunnen bijv. de laadpalen in een parkeergarage zijn. Een lijnbron is een geconcentreerde bron die een lijnvorm heeft zoals metro, stadsverwarming, hoogspanningskabelnetten. Er zijn veel bronnen van dit type in de ondergrond met verschillende warmte-uitstoot. Het is nog niet mogelijk om een effectradius te bepalen. Dit wordt onderzocht in 2018 in het TKI-project 'Warmte-overdracht drinkwaterleidingen'. Diffuse bronnen zijn bronnen die niet eenduidig op een bepaalde plek hun oorsprong hebben, maar over een groter gebied verspreid zijn, bv. reflectie van gebouwen, warmteopslag in grote gebouwen, gebouwen met veel warmte-uitstoot bv. ziekenhuis, kassen. Voorbeelden van dit type bronnen staan in Figuur 2-8.

### 2.3.3 Gevolgen

De temperatuur van het drinkwater is één van de factoren die van invloed kunnen zijn op de microbiologie in het distributiesysteem en kan daardoor een rol spelen bij eventuele nagroeiproblemen, zoals groei van opportunistische ziekteverwekkers zoals *Legionella pneumophila* in de biofilm van het distributienet. Langdurige watertemperaturen (> 7 dagen achtereenvolgend) boven 28°C verhoogt het risico op groei van *L. pneumophila* (Agudelo-Vera et al., 2015). Daarnaast kunnen temperatuurverhogingen een invloed hebben op de wettelijke parameters voor *Aeromonas* en KG22 (van der Wielen, 2017).



FIGUUR 2-8 VOORBEELDEN VAN A) PUNT-, B) LIJN- EN C) DIFFUSE ANTROPOGENE WARMTEBRONNEN

In eerder onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd (van Bel, 2017) om de kennis over de invloed van temperatuur op groei van opportunistische ziekteverwekkers in drinkwater in kaart te brengen. De (optimale) groeitemperatuur van *Legionella pneumophila*, *Legionella anisa*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus Fumigatus* en *Stenotrophomonas maltophilia* is voor zover bekend in kaart gebracht. Deze opportunistische ziekteverwekkers komen in Nederland niet of slechts in een klein deel van het drinkwater in lage aantallen voor. Verder kunnen zij alleen ziekte bij mensen met een verzwakt immuunsysteem (kleine subpopulatie) veroorzaken en bovendien worden zij ook verspreid via andere blootstellingsroutes die waarschijnlijk belangrijker zijn dan drinkwater. Uit de literatuur blijkt dat nog onvoldoende onderzoek is gedaan om de grootte van die rol te kunnen bepalen.

Naast de invloed op micro-organismen zijn er ook esthetische aspecten. Water met een hogere temperatuur ( $> 25^{\circ}\text{C}$ ) vinden mensen vooral 's zomers minder lekker om te drinken dan koeler water. Er blijkt ook een relatie te bestaan tussen hoge temperaturen en een hoger risico op bruin water uit de kraan. Het mechanisme hierachter is nog niet geheel duidelijk (Blokker en Schaap, 2015; Vonk en Vries, 2016).

In het BTO (TG Microbiologische activiteit) loopt in 2015-2017 een project naar het modelleren van nagroei in het distributienet waarin onderzocht wordt onder welke omstandigheden de nagroei in biofilm en waterfase, en de uitwisseling tussen biofilm en water worden bevorderd. Temperatuur is hierin een belangrijk aspect. Voor de nagroei in het distributienet geldt dat temperatuur een belangrijk aspect is (Blokker, 2017). Aan de ene kant is er bij een hogere temperatuur een snellere stofwisseling en kan er meer groeien; aan de andere kant is er bij een hogere temperatuur en dezelfde hoeveelheid substraat (AOC bijv.) een limitering in de "maintenance" fase van de biofilm en kan een deel van de biofilm afsterven en in het drinkwater komen. Hier is sprake van een exponentiële relatie tussen temperatuur en groei van organismen in de biofilm aan de ene kant en een lineaire relatie tussen temperatuur en diffusie aan de andere kant. De exacte relatie tussen temperatuur en groei van de organismen in de biofilm en de diffusie tussen drinkwater en de biofilm, en de consequentie voor de nagroei in het distributienet moet nog verder worden onderzocht.

#### 2.3.4 Maatregelen

Met betrekking tot de oorzaken en gevolgen kunnen specifieke maatregelen worden geïdentificeerd. Deze maatregelen zorgen er voor dat de kans dat een kritieke gebeurtenis

ontstaat, beperkt of voorkomen wordt, of mocht deze toch ontstaan de gevolgen minimaal zijn. Tabel 2-2 toont de geïnterviewde maatregelen tijdens de brainstormsessie. Deze maatregelen zijn algemeen. Sommige kunnen alleen geïmplementeerd worden op landelijk niveau, bijvoorbeeld de maatregelen gerelateerd aan klimaatverandering. Voor de volledigheid zijn hier alle mogelijke maatregelen meegenomen. Hotspots kunnen worden veroorzaakt door boven- of ondergrondse bronnen, dus in sommige gevallen kunnen klimaatadaptatie-initiatieven, die luchttemperatuur verminderen, ook helpen om ondergrondse hotspots aan te pakken. In volgende secties zijn de maatregelen verder beschreven en geanalyseerd.

TABEL 2-2 OVERZICHT VAN MAATREGELEN

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

In DPW (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2012), TKI (Blokker et al., 2014) en SPO voor Brabant Water (Blokker en Mesman, 2014) is gekeken naar maatregelen om in de zomer de drinkwatertemperatuur aan de tap te beperken (los van de hotspots). Maatregelen aan het leidingnet (diameter, materiaalkeuze – inclusief extra isolatie, configuratie van het net, extra spuien) zijn niet effectief. Maatregelen waarmee de bodemtemperatuur rond de leiding wordt beperkt zijn wel effectief, mits de maatregelen voor een groot deel van het leidingnet

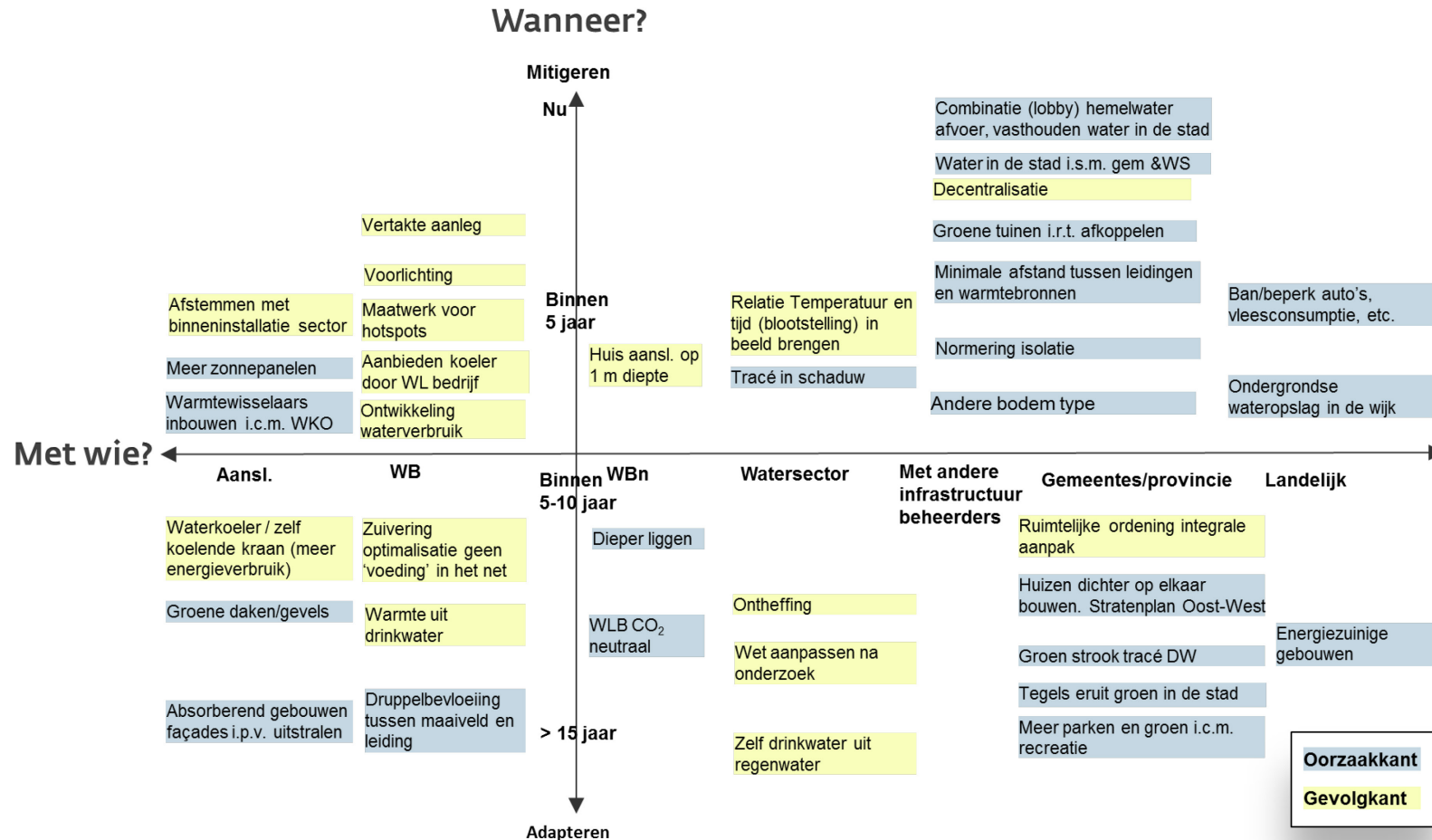
gelden, lokale oplossingen zijn (meestal) niet effectief wanneer het hele leidingnet in een te warme bodem ligt. Effectieve maatregelen zijn het (hele) leidingnet dieper leggen, vegetatie toepassen of leidingen in klei in plaats van zand leggen. Niet alle effectieve maatregelen zijn even praktisch uitvoerbaar. Voor hotspots kunnen lokale oplossingen wel effectief zijn.

Niet alle gevolgen zijn negatief, gemiddelde warmere watertemperatuur kan betekenen dat er minder energie nodig is voor het bereiden van warm water of dat mogelijkheden om energie te winnen uit drinkwaterleidingen toenemen (Moerman en Agudelo-Vera, 2016).

De geïdentificeerde maatregelen zijn in een assenstelsel met de (potentiële) samenwerkingspartners op de horizontale as en de tijdindicatie van uitvoering op de verticale as geplaatst. Figuur 2-9 toont verschillende mogelijkheden op verschillende niveaus en tijdshorizon aan zowel de oorzaakkant als aan de gevolgkant (blauw/geel). De klant kan bijv. zelf een waterkoeler installeren, nu of wanneer de temperatuur echt te hoog wordt naar zijn smaak. Het is mogelijk om het drinkwaternet vanaf nu aan de schaduwkant te leggen, maar dit is afhankelijk van vervangingen/renovaties. De wet aanpassen om de temperatuurgrens te verhogen duurt lang, want er is onderzoek nodig. Vergroening van de stad kan op gebouwniveau en ligt buiten de invloedssfeer van de waterbedrijven. Op grotere schaal kunnen waterbedrijven samenwerken met gemeentes, waterschappen, etc.

Eerder is al aangetoond dat een combinatie van maatregelen nodig is. Een klimaatbestendig drinkwaternet vereist een integrale oplossing, inclusief het herinrichten van (delen van) de stad. Er is een breed scala aan maatregelen mogelijk op verschillende niveaus (vanaf tappunt of aansluiting t/m landelijk) en met verschillende partijen. Samenwerking en strategische bondgenootschappen met andere partijen, zoals andere infrastructuurbeheerders, gemeentes en waterschappen, is noodzakelijk.

Om stedelijke gebieden daadwerkelijk klimaatbestendig te maken is meer nodig dan praktische maatregelen aan bestaande gebouwen, infrastructuur en gebieden. Het gaat hierbij zowel om technische wijzigingen – ook wel harde maatregelen genoemd (hoe moeten we steden gaan plannen en bouwen) – als procesmatige wijzigingen – ook zachte maatregelen genoemd (wat moet veranderen om dit te kunnen regelen).



FIGUUR 2-9 OVERZICHT VAN MET WIE EN WANNEER DE MAATREGELEN KUNNEN WORDEN GEÏMPLEMENTEERD. IN BLAUW MAATREGELEN AAN DE OORZAAKKANT (LINKS IN DE BOW-TIE) EN IN GEEL MAATREGELEN AAN DE GEVOLGKANT (RECHTS IN DE BOW-TIE). AANSL: AANSLUITING LEVEL – KLANT, WB: WATERBEDRIJF EN WBN: WATERBEDRIJVEN

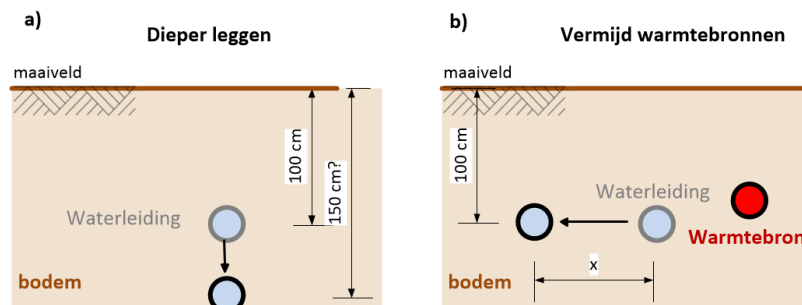


## 3 Kwantitatieve evaluatie van maatregelen

### 3.1 Maatregelen binnen de invloedssfeer van drinkwaterbedrijven

#### 3.1.1 Inleiding

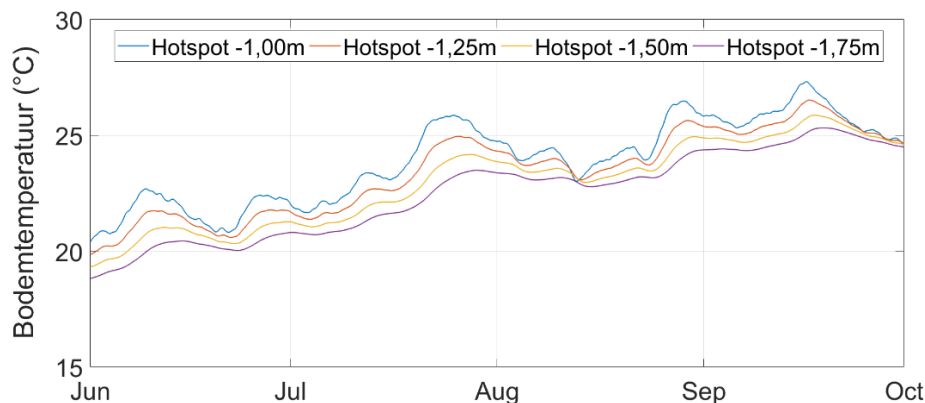
In het algemeen vallen binnen de invloedssfeer van de waterbedrijven twee opties: i) dieper leggen van leidingen en/of ii) ander tracé om de leiding in de schaduw te leggen of verder van warmtebronnen (Figuur 3-1). In dit hoofdstuk worden de maatregelen geëvalueerd.



FIGUUR 3-1 MAATREGELEN BINNEN DE INVLOEDSSFEER VAN DE DRINKWATERBEDRIJVEN

#### 3.1.2 Dieper leggen

Dit is een maatregel die het waterbedrijf zelfstandig zou kunnen doorvoeren. De maatregel heeft effect, maar als de 25 °C niet mag worden overschreden, is een behoorlijke diepte nodig (> 1,5 m). Voor de casestudie van Rotterdam (jaar 2016) zijn simulaties uitgevoerd om het effect van dieper leggen te kwantificeren. Figuur 3-2 toont de simulatie voor de maanden juni t/m september 2016 voor verschillende dieptes op een hotspotlocatie. Tabel 3-1 toont het overzicht van de maximale temperatuur en het aantal dagen met bodemtemperaturen boven 25°C. In dit geval is de aanname dat het bodemtype niet verandert met de diepte. In de praktijk kan dit anders zijn, hoe dieper hoe natter (i.v.m. grondwaterstand), d.w.z. dat hoe dieper hoe minder groot de bodemopwarming is.

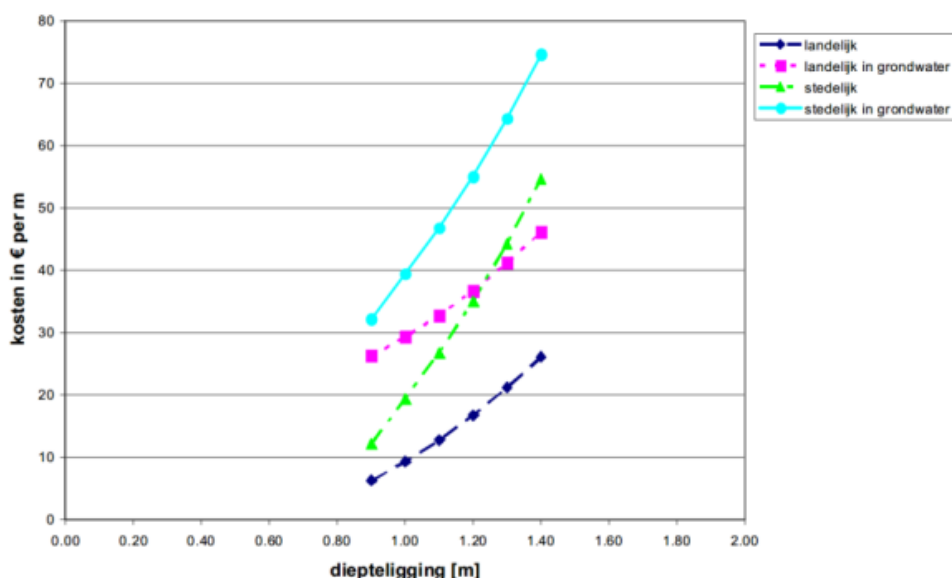


FIGUUR 3-2 GESIMULEERDE BODEMTEMPERATUUR OP DE HOTSPOTLOCATIES, OP VERSCHILLENDE DIEPTES

TABEL 3-1 GESIMULEERDE MAX. BODEMTEMPERATUUR EEN AANTAL DAGEN VOOR VERSCHILLENDE DIEPTES OP DE HOTSPOTLOCATIES IN HET JAAR 2016

| Diepte  | Hotspots - Jaar 2016 |           |
|---------|----------------------|-----------|
|         | # dagen >25°C        | Max. temp |
| -1,00 m | 43                   | 27,3      |
| -1,25 m | 32                   | 26,5      |
| -1,50 m | 15                   | 25,9      |
| -1,75 m | 8                    | 25,3      |

Pieterse-Quirijns et al. (2011) hebben de kosten van dieper leggen geschat. In Figuur 3-3 zijn de kosten ter illustratie weergegeven. Er zijn alleen gegevens beschikbaar bij een diepteligging van 0,90 tot 1,40 m. Figuur 3-3 laat zien dat de kosten toenemen met de diepte. Dit heeft o.a. te maken met de grondwaterstand.

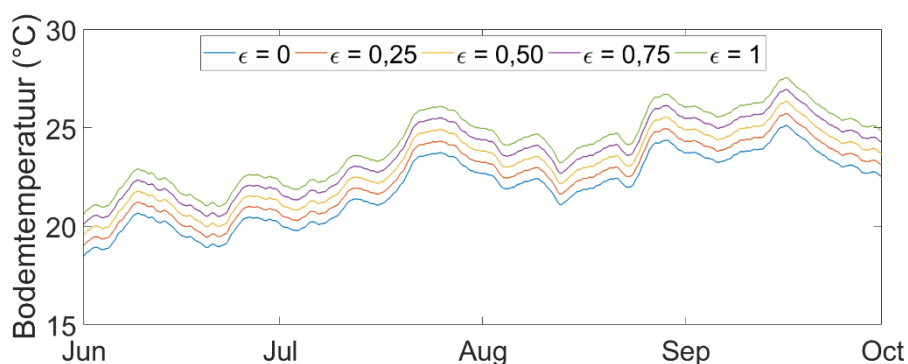


FIGUUR 3-3 GRAFISCHE WEERGAVE VAN DE GRAAFKOSTEN ALS INDICATIE VOOR DE AANLEG- EN BEHEERKOSTEN IN € PER METER SLEUFLENGTE OP VERSCHILLENDE DIEPTES IN LANDELIJK EN STEDELIJK GEBIED IN AAN- EN AFWEZIGHEID VAN GRONDWATER. BRON: (PIETERSE-QUIRIJNS ET AL., 2011).

Uit Figuur 3-3 blijkt dat de kosten in stedelijk gebied ongeveer twee keer zo hoog liggen als in landelijk gebied. Bovendien blijkt dat het effect van grondwater op de graafkosten relatief het grootst is bij kleinere diepten. Het grootste effect in de graafkosten wordt verkregen als bijvoorbeeld ter voorkoming van opwarming een grotere diepteligging wordt gekozen dan de huidige, waarbij de leidingen in het grondwater komen te liggen. In landelijk gebied kunnen de graafkosten dan toenemen van €9,35 op 1 meter naar €41,26 op 1,30 meter diepte, als daarbij de leiding in grondwater terecht komt. Dit is een toename van de kosten met een factor 4. Hierbij moet opgemerkt worden dat de kosten voor bronbemaling per diepte misschien wel gelijk is, maar dat bij grotere diepten extra kosten verwacht kunnen worden, bijvoorbeeld voor de afvoer van het water. Bij kleinere diepten is het wellicht mogelijk om het grondwater met een kleinere pomp weg te pompen en is bronbemaling niet nodig (Pieterse-Quirijns et al., 2011)

### 3.1.3 Leidingen in de straat verleggen om warmtebronnen of zonnestraling te vermijden

Schaduw kan worden gecreëerd in de stedelijke omgeving door (het plaatsen van) elementen zoals gebouwen, daken, bomen, etc. In het geval van bomen neemt ook verdamping toe wat een additioneel verkoelend effect heeft. Met het uitgebreide BTM is het effect van schaduw gemodelleerd door de  $\varepsilon$ -waarde ( $\varepsilon$  is een parameter gerelateerd aan de bewolgingsgraad) aan te passen. Figuur 3-4 toont de simulaties voor verschillende  $\varepsilon$ -waarden. Er is ca. 2°C verschil tussen de locaties in de zon ( $\varepsilon=1$ ) en de locaties in de volledige schaduw ( $\varepsilon=0$ ), wat in overeenstemming is met de bodemmetingen uitgevoerd in 2016 in Rotterdam (Agudelo-Vera en Fujita, 2017). In het algemeen zal het leggen aan de schaduwkant van de straat niet veel extra kosten met zich mee brengen. Indien schaduw moet worden gecreëerd is afstemming met andere partijen nodig en zullen kosten variëren per locaties, lengte, etc. Meeliften met andere adaptatiestrategieën, zoals vergroening van de stad, is aanbevolen om kosten te beperken en integrale oplossingen te verkrijgen.



FIGUUR 3-4 GESIMULEERDE BODEMTEMPERATUUR OP 1M DIEPTTE IN VOLLE ZON ( $\varepsilon = 1$ ), HALFSCHADUW ( $\varepsilon: 0,25 - 0,75$ ) EN SCHADUW ( $\varepsilon = 0$ )

### 3.1.4 Overige maatregelen gericht op 'oorzaakkant'

Een aantal maatregelen zijn eerder onderzocht voor het hele net in bodem met te hoge temperatuur:

#### Vergroten van het verbruik/spuien

In een eerder onderzoek is op twee manieren onderzocht of het vergroten van het verbruik een effectief middel is om de temperatuur bij de aansluiting te verlagen: (1) door simultaan spuien modelmatig te benaderen en (2) het verbruik op de aansluitingen te verhogen. Er is in deze scenario's gerekend met een verbruik dat maximaal geleverd kan worden door het distributienet zonder dat er negatieve drukken ontstaan. Het voordeel van deze maatregelen is dat ze niet leiden tot extra investeringen. Het vergroten van verbruik leidt echter op geen van beide manieren tot een temperatuurverlaging van het drinkwater bij de aansluiting. Daarmee is het verhogen van verbruik het minst effectief vergeleken met de andere onderzochte opties. Voor hotspots zou het wel kunnen werken maar lokaal de volumestroom sterk verhogen is wellicht niet eenvoudig.

#### Koelen aan het begin van het distributienet

Het koelen van het water af PS aan het begin van het distributienet heeft geen effect op de temperatuuroverschrijding bij de aansluiting. De bodemtemperatuur is dermate van invloed op de watertemperatuur dat het effect van koeling op PS of in het transportleidingnet op de temperatuur niet meer zichtbaar is bij het allergrootste deel van de aansluitingen (Blokker et al., 2014).

### **Netwerkconfiguratie**

In het TKI-project Calorics is het leidingnet van Volendam als testcase genomen. Bij vervanging (43% tussen 2015 en 2050) zal het tertiaire net als een zelfreinigend net worden aangelegd. Dit betekent een net met kleinere diameters en kortere leidinglengtes. Voor de temperatuur aan de tap maakt de diameter geen verschil; hoewel de verblijftijd korter is, is de opwarmingstijd bij kleine diameters evenredig korter en daarmee is de temperatuur dus gelijk. Dat geldt ook voor hotspots, diameter aanpassen helpt nooit. De eindtemperatuur aan de tap zal dan nog steeds de bodemtemperatuur bereiken. Doordat er ook sprake is van kortere leidinglengtes (de maas wordt niet gesloten) zal de verblijftijd verder afnemen, maar de verblijftijd is nog steeds zodanig lang dat het drinkwater nog altijd de bodemtemperatuur bereikt. Het verkorten van de verblijftijd (door kleine diameters en kortere lengtes) betekent wel een kortere tijd voor eventuele nagroei. In het kader van de waterkwaliteit, gerelateerd aan temperatuur, blijft de aanbeveling aan alle waterbedrijven om zelfreinigende netten te blijven aanleggen (Blokker et al., 2014).

### **Isolatie van de drinkwaterleidingen**

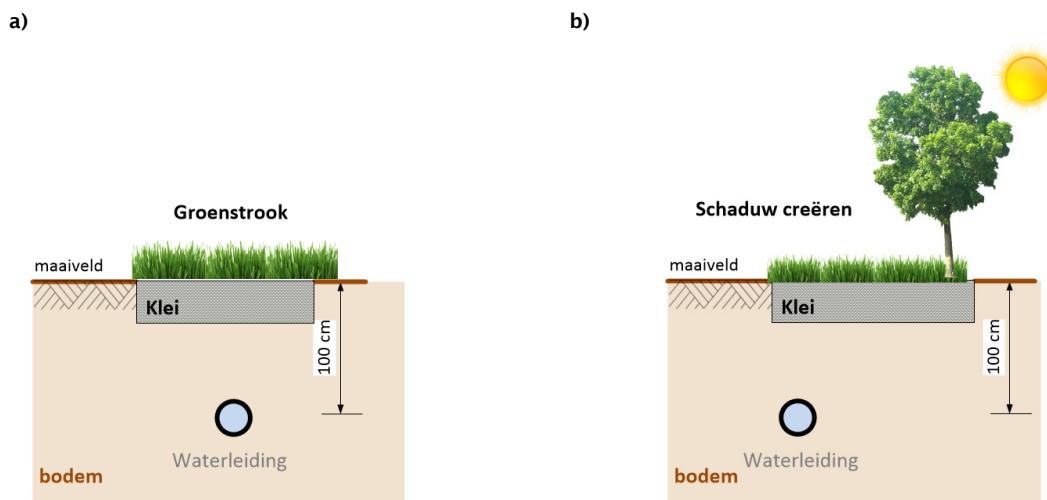
In een BTO-speerpunt onderzoek voor Brabant Water is het vergroten van de opwarmtijd door het isoleren van de drinkwaterleidingen uitgebreid geëvalueerd voor wanneer leidingen minder diep worden gelegd. Uit dit onderzoek bleek dat er wel vertraging kan worden gerealiseerd, maar niet voldoende om opwarming  $>25^{\circ}\text{C}$  te voorkomen. Een isolatiemateriaal met hoge isolatiewaarde is PUR; er blijkt een grote PUR-laag nodig te zijn (tot zelfs enkele male de inwendige diameter van de leiding) om een substantieel verschil te maken (Blokker et al., 2014). Dit betekent dat in de praktijk geen ondiepere sleuf gegraven wordt. Afhankelijk van de grootte van de hotspot (lengte) zal het verkorten van de verblijftijd in de hotspot wel effectief zijn en ook de verlenging van de opwarmtijd. Dus lokaal isoleren, volumestroom vergroten of koelen kan voor sommige hotspots effectief zijn.

## **3.2 Maatregelen buiten de invloedssfeer van drinkwaterbedrijven**

### **3.2.1 Andere bodembedekking gebruiken**

#### **3.2.1.1 Vegetatie**

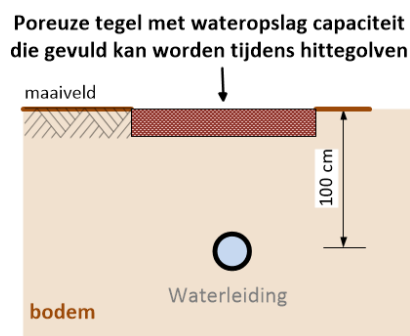
Een maatregel is het verhogen van de evapotranspiratie waardoor energie wordt gebruikt voor verdamping in plaats van voor opwarmen van de bodem. Door gras aan te brengen in plaats van asfalt, klinkers of tegels wordt de bodemtemperatuur op 1 meter diepte in de zomer lager. Struiken en bomen hebben ten opzichte van gras nog een extra positief effect door de schaduwwerking (Figuur 3-5). Boomwortels kunnen echter de integriteit van leidingen aantasten, daarom verdient gras de voorkeur, maar een breed scala van materialen, technieken en ontwerpoplossingen om dit op te lossen zijn beschreven in de publicatie 'Combineren van onder- en bovengronds infrastructuur met bomen' (CROW, 2012). Het aanbrengen van vegetatie op maaiveld boven de leiding is niet iets dat het waterbedrijf zelfstandig kan besluiten. Daarbij is samenwerking met de gemeente vereist. Openbaar gras wordt vaak onderhouden door de gemeentes, maar kan ook door bewoners worden onderhouden. Onduidelijk is hoe dicht bij de leiding vegetatie aanwezig moet zijn om de bodemtemperatuur rond de leiding voldoende te verlagen. Tijdens een droge periode is van belang dat genoeg water beschikbaar is om te verdampen, d.w.z. dat irrigatie nodig is om het maximale koelende effect te bereiken. Additioneel is er een visuele bate.



FIGUUR 3-5 VOORBEELDEN VAN VEGETATIE (EN KLEILAGEN §3.3.1)

### 3.2.1.2 Waterdoorlatende bodembedekking

Waterdoorlatende en waterpasserende bodembedekking heeft diverse voordelen: het regenwater kan in de bodem wegzakken, het grondwater aanvullen en het regenwater of gemengd riool wordt ontlast. Waterdoorlatende verhardingen bestaan uit poreus materiaal waar water doorheen kan gaan, (Figuur 3-6). Waterpasserende verhardingen bevatten of creëren open gedeelten waar het water langs kan infiltreren. Voor dergelijke verhardingen zijn alle doorlatende en gedeeltelijk open materialen zeer geschikt. Te denken valt aan toepassing van graskeien, grasbetontegels, houtspaanders, schelpen of grind als bestrating. Het hemelwater kan dan zonder noemenswaardige belemmering direct in de bodem infiltreren; het percentage openingen varieert van ongeveer 15 tot 40%. Dit soort bestrating kan bijvoorbeeld worden toegepast bij voetpaden, speelplaatsen, brandweerwegen, in (midden)bermen, voor de beluchting rond bomen, als opsluiting voor bestrating en in privétuinen. Waterdoorlatende verhardingsmaterialen kunnen niet worden toegepast bij intensief gebruikte wegen en parkeerplaatsen vanwege het vervuilingrisico en omdat deze materialen niet zo belastbaar zijn (Groenblauw, 2017).

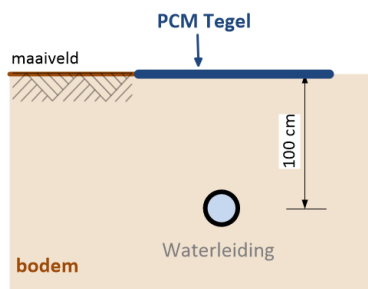


FIGUUR 3-6 VOORBEELDEN VAN WATERDOORLATENDE BODEMBEDEKKING

### 3.2.2 Isolerende materialen als bodembedekking

*Phase Change Materials* (PCMs ofwel faseovergangsmateriaal - FOM) bieden de mogelijkheid om thermische energie op te slaan bij een specifieke temperatuur. Een PCM bestaat uit een

samenstelling van o.a. paraffine, zout, water, glycol en alcohol en wordt gebruikt om energie in op te slaan. Zoals de naam van deze materialen reeds doet vermoeden, is deze temperatuur gelijk aan de temperatuur waarop het materiaal smelt dan wel stolt, of verdampt dan wel condenseert. PCMs worden toegepast voor isolatie doeleinden in gebouwen. Direct gebruik van PCM in leidingen is niet gewenst door de restrictie aan materialen die in contact kunnen komen met drinkwater. De mogelijkheden voor het gebruiken van PCM als bodembedekking moeten nog worden onderzocht, Figuur 3-7. Daarmee zou de warmteoverdracht naar de onderliggende bodem kunnen worden vertraagd. Dit is nog niet op deze manier toegepast, maar mogelijk interessant om verder te onderzoeken.

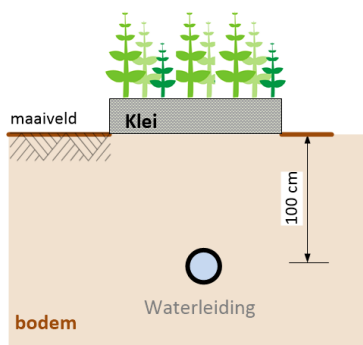


FIGUUR 3-7 ALTERNATIEVE OPLOSSINGEN VOOR BODEMBEDEKKING: TEGELS VAN PCM – NOG TE ONDERZOEKEN

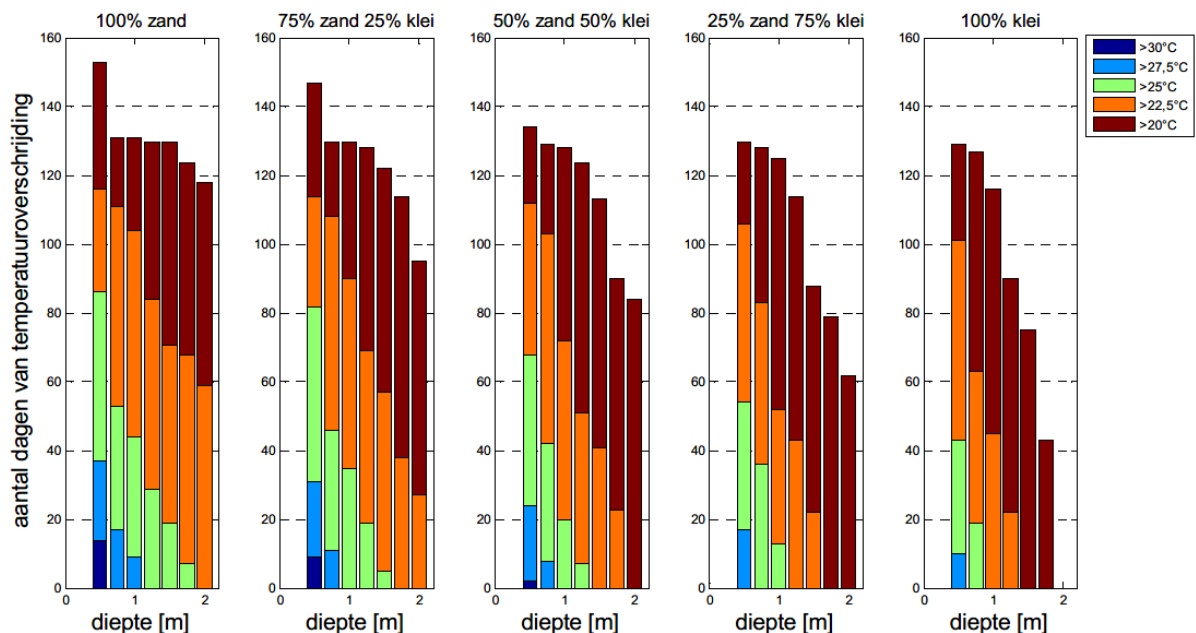
### 3.3 Keuze voor ander bodemtype

#### 3.3.1 Klei i.p.v. zand

Droge zandbodem warmt het snelst op in vergelijking met andere bodemtypen. De bodem zou minder opwarmen indien klei i.p.v. zand zou worden gebruikt. Blokker en Pieterse-Quirijns (2012) berekenden het aantal dagen dat de bodemtemperatuur bepaalde temperatuurgrenzen zou overschrijden, voor verschillende bodemcombinaties, zie Figuur 3-9. Klei is niet doorlatend en minder gewenst in de sleuf. Een optie is om een laag klei boven het zand te plaatsen, of bijvoorbeeld een 'extra' diepte te creëren door een extra laag klei te plaatsen. Dit zijn opties die heel lokaal toegepast kunnen worden, zie Figuur 3-5.



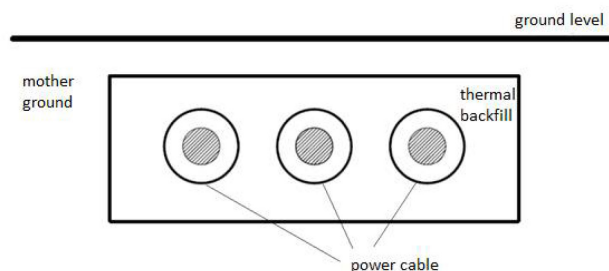
FIGUUR 3-8 VOORBEELDEN VAN KLEILAGEN EN VEGETATIE



FIGUUR 3-9 HET AANTAL DAGEN PER JAAR DAT DE BODEMTEMPERATUUR OP ELKE DIEPTE BOVEN 20°C, 22,5°C, 25°C, 27,5°C EN 30°C KOMT IN COMBINATIES VAN ZAND EN KLEI (BLOKKER EN PIETERSE-QUIRJINS, 2012)

### 3.3.2 Thermal back fill voor antropogene bronnen

In het geval van ondergrondse hoogspanningskabels is het effect onderzocht van andere bodemvulling op de kabeltemperatuur (Rerak en Ocłóń, 2017). Door variaties in de thermische eigenschappen van de 'thermal back fill' wordt de temperatuur van de kabel verlaagd. Er moet nog worden onderzocht of dat een mogelijkheid is in de omgeving van drinkwaterleidingen, zie Figuur 3-10 Figuur 3-5.



FIGUUR 3-10 SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN DE ANALYSES VOOR DE HOOGSPANNINGSKABELS (RERAK EN OCŁOŃ, 2017)

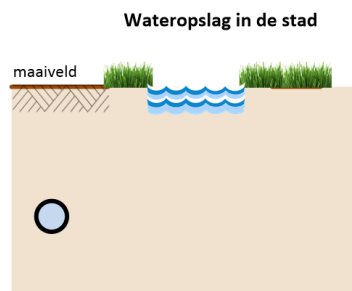
## 3.4 Water in de stad vasthouden

### 3.4.1 Wadi's

Een wadi is een met grind en zand gevulde greppel of sloot, die water zowel kan vasthouden als infiltreren Figuur 3-11. Natte bodem warmt minder snel op dan droge bodem. Doordat wadi's beplant zijn, passen ze goed in groengebieden en groenstroken (Boogaard et al., 2006). Groene infrastructuur brengt onderhoudskosten met zich mee, maar is wel flexibel, want tijdens warmere perioden kunnen deze infrastructuren geïrrigeerd worden om een maximaal koelend effect te bereiken. Een wadi is beloopbaar, maar niet zwaar belastbaar,



dus het is beperkt toepasbaar. Ook hier geldt dat niet bekend is hoe ver (horizontaal) de invloed reikt.



FIGUUR 3-11 VOORBEELDEN VAN VASTHOUDEN WATER IN DE STAD

### 3.5 Voorlichting

Kosten van voorlichting variëren afhankelijk van de media: per brief, landelijke/lokale krant of TV-zender, radio. Voorlichting kan helpen om imagoschade te voorkomen. Bijvoorbeeld, indien bewoners gewaarschuwd zijn dat incidenteel, tijdens warme perioden minder koel water of bruin water kan worden verwacht, zullen zij mogelijk minder snel klagen. Met voorlichting kan ook worden uitgelegd dat tariefstijging nodig is om dit te voorkomen.

### 3.6 Waterkoelers distribueren

De kosten van waterkoelers varieert tussen €50 en €200. Deze kunnen worden gedistribueerd op zeer specifieke locaties en /of situaties. Als die alleen tijdens de warme perioden in de zomer gebuikt worden, zullen de gebruikskosten voor de klant, niet voor de drinkwaterbedrijven, niet substantieel zijn.

### 3.7 Maatregelen om CO<sub>2</sub>- en warmte-emissies te beperken

Het effect varieert per maatregel. De kosten/baten zijn zeer case-specifiek en liggen buiten de invloedssfeer van de drinkwaterbedrijven. Denk aan maatregelen op gebouwniveau, bijvoorbeeld door landelijke en gemeentelijke eisen aan gebouwen zoals betere gebouwisolatie en/of installatie van groene daken, of regenwateropvang op het perceel. Andere opties zijn maatregelen op regionaal of landelijk niveau door restricties/beperking van het gebruik van (vervuiling) auto's of door duurzame consumptie aan te moedigen, bijvoorbeeld beperk vleesconsumptie. Deze maatregelen kunnen niet door de watersector worden geïmplementeerd, maar de watersector kan wel lobbyen en maatregelen ondersteunen zodat hittestress in de stad beperkt blijft.

### 3.8 Overzicht van kosten-baten voor de maatregelen

Van veel maatregelen is nog onvoldoende bekend wat het effect is en kan ook verschillen per schaalgrootte. Voor een aantal vormen van groene infrastructuur worden kosten gerapporteerd, maar deze zijn locatiespecifiek. Deze groene infrastructuren hebben onderhoud nodig en vaak is onbekend wat de gerelateerde kosten zijn. Bovendien is ook de levensduur van deze infrastructuren afhankelijk van de mate van onderhoud. Groene infrastructuur en meer water in de stad hebben ook extra voordelen voor gezondheid, recreatie en leefbaarheid. Daarom is een semi-kwantitatieve analyse uitgevoerd, zie Tabel 3-2. Kosten en baten zijn niet alleen drinkwater gerelateerd, maar kunnen breder zijn, bijvoorbeeld maatschappelijke kosten. De evaluatie van deze kosten moet nog worden onderzocht.

Een lange termijn kosten-batenanalyse is nog niet mogelijk. Er zijn geen kosten toegekend aan hittestress. In het algemeen is klimaatadaptatie voordeliger dan niets doen. Een

uitgebreide maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) is aanbevolen voor een paar maatregelen om de specificaties van delen van kosten en meerdere baten (zoals waterberging tijdens zware regenbui) en voorkomen van schade in kaart te brengen.

TABEL 3-2 SAMENVATTING VAN KOSTEN-BATEN ANALYSE HOTSPOTS SPECIFIEK.

| Maatregel                                                           | Kosten                                                                                                                                                                                                                         | Baten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Afstemming met                                                              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Dieper leggen                                                       | In stedelijk gebied:<br>- 25 cm dieper → 2x tot 3x meer graafkosten<br>- 50 cm dieper → 3x tot 4x meer graafkosten<br>Meer belasting door de bovengrond.                                                                       | Langdurig effect.<br>Afname van de schade door graafwerkzaamheden. Lokaal toepasbaar, specifiek voor de hotspots.                                                                                                                                                                                                                                                                      | AIB en gemeentes                                                            |
| Tracé Schaduw i.p.v. zon                                            | Hetzelfde voor graaf en onderhoud, evt. langere leidingen                                                                                                                                                                      | WB kunnen zelf beslissen, lagere temperaturen door zonnestraling te vermijden                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Zoals gewoonlijk                                                            |
| Afstand tussen antropogene bronnen en drinkwaterleidingen vergroten | Geen extra kosten indien op dezelfde hoogte, evt. langere leidingen. Indien dieper gaan leggen zie eerste maatregelen.<br>Er kunnen extra kosten zijn door extra voorbereidingstijd.                                           | Duidelijkheid over de inrichting van de ondergrond                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | AIB en gemeente                                                             |
| Andere bodembedekking                                               | Afhankelijk van de bodem of materiaal en de mate van het gebied om dit uit te voeren.                                                                                                                                          | Langdurig effect. Kan worden geïntegreerd met andere klimaatadaptatie initiatieven. Nog te onderzoeken per materiaal.                                                                                                                                                                                                                                                                  | AIB en gemeente                                                             |
| Andere bodemtype                                                    | Afhankelijk van het oppervlak en het bodem/materiaal.                                                                                                                                                                          | Lokaal toepasbaar, specifiek voor de sleuf op de hotspotlocaties.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | AIB en gemeente                                                             |
| Groenstroken                                                        | Aanlegkosten:<br>Grasveld € 5 - € 10/ m <sup>2</sup> , Bepanting € 10 - € 30/ m <sup>2</sup> (hoveniers) + vergunningen en andere voorbereidingskosten + onderhoudskosten<br>Kosten kunnen worden gedeeld met andere partijen. | Langdurig effect, verbetert de luchttemperatuur en staat infiltratie en verdamping toe. Visuele voordelen door meer groen in de stad.<br>Tijdens een warme periode kan worden geïrrigeerd om hogere temperaturen te voorkomen.<br>Kan worden geïntegreerd met andere klimaatadaptatie initiatieven voor verbetering van luchtkwaliteit, biodiversiteit, lokale voedsel productie, etc. | Gemeente                                                                    |
| Meer water in de stad                                               | Afhankelijk van de maatregelen en de grootte van de hotspot.                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Gemeente, bewoners, makelaars.                                              |
| Wadi                                                                | € 5,17/m <sup>2</sup> (aanleg) + € 0,37/m <sup>2</sup> (onderhoud). (prijspeil 2005) (Boogaard et al., 2006)                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                             |
| Voorlichting                                                        | Afhankelijk van de media.                                                                                                                                                                                                      | De klant zou minder snel klagen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | AIB en gemeente                                                             |
| Maatregelen om CO <sub>2</sub> en warmte emissies te dalen          | Varieert per maatregel.                                                                                                                                                                                                        | Meerdere doelen kunnen worden bereikt. Samenwerking met de overheid kan kosten besparen                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Overheden                                                                   |
| Warmte uitstoot van gebouwen verminderen                            | Varieert per gebouwtype en functie.                                                                                                                                                                                            | Lokaal toepasbaar, specifiek voor de gebouwen dichtbij hotspotlocaties.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Bedrijven, eigenaren van de gebouwen. Landelijke en gemeentelijke overheid. |
| Waterkoelers                                                        | Kosten van waterkoelers zijn 50 tot 200 €.                                                                                                                                                                                     | Toepasbaar in heel specifieke gebieden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Bewoners                                                                    |

AIB: andere infrastructuurbeheerders

## 4 Hulpmiddelen om (toekomstige) hotspots op te sporen

### 4.1 Inleiding

Het onderzoek van de afgelopen jaren (incl. dit onderzoek) heeft laten zien welke factoren van invloed zijn op hoge temperatuur aan de tap en welke factoren bijdragen aan zogenaamde hotspots. Toch is het niet evident waar zich de hotspots in het huidige leidingnet bevinden. Dit hoofdstuk beschrijft enkele hulpmiddelen om (huidige) hotspots op te sporen.

Wanneer huidige hotspots bekend zijn, kunnen deze extra 'punten' krijgen voor leidingsanering, waarbij dan ook maatregelen worden getroffen. Op basis van metingen en het BTM is een voorstel gemaakt voor het opstellen van een indicatie kaart.

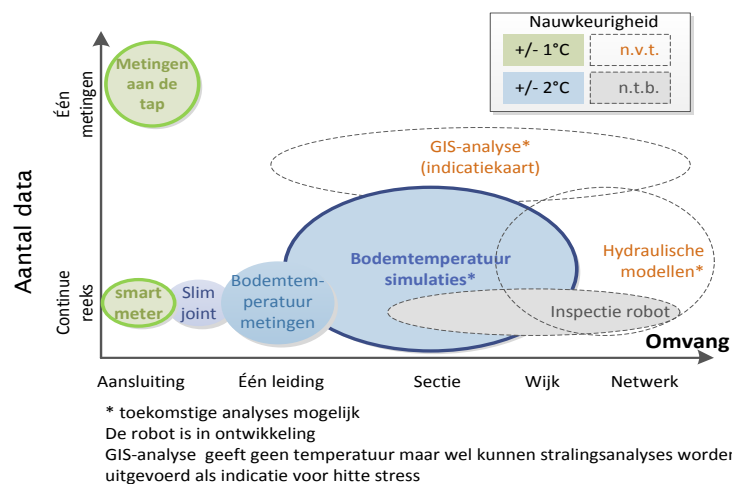
Alle steden hebben potentiële hotspotlocaties door verharding, zand en antropogene warmtebronnen. Er zijn heel veel maatregelen mogelijk, zowel preventief als reactief, die kunnen worden toegepast. Het merendeel van de maatregelen vereist echter samenwerking en een langere termijnvisie.

Een cruciale vraag is of de prioriteit ligt bij:

- a) Het lokaliseren en aanpakken van de huidige hotspots  
Of
- b) Het vermijden van toekomstige hotspots (die worden verder toegelicht in hoofdstuk 4.3).

Afhankelijk van de gekozen prioriteit (a of b), de gewenste schaal en de beschikbare data zijn er andere tools nodig, Figuur 4-1. Voor optie 'a', kunnen waterbedrijven een aanpak volgen zoals beschreven door Agudelo-Vera en Fujita (2017). In dat geval worden simulaties van de bodemtemperatuur gecombineerd met watertemperatuurmetingen en GIS-analyses om hotspots te lokaliseren en de maximale temperaturen te bepalen. In deze studie introduceren wij een indicatiekaart om leidingen of gebieden te prioriteren.

De beschikbaarheid van informatie en datasets is in de laatste jaren toegenomen. Er is ook software op de markt zoals Hydrus en COMSOIL waarmee 2- of 3-dimensionele analyses kunnen worden uitgevoerd. Hun toepasbaarheid voor het modeleren van de stedelijke bodem met meerdere randvoorwaarden, een met één of meerdere ondergrondse warmtebronnen moet nog onderzocht worden. Er wordt meer en meer aandacht gegeven aan het modeleren van de temperatuur in het net. Softwarepakketten zoals Synergy bieden sinds kort mogelijkheden voor hydraulische modellering en berekeningen. In de toekomst wordt verwacht dat in het ontwerp al rekening kan worden gehouden met waterkwaliteitsaspecten. Temperatuur is daarin één van de aspecten die nog verder onderbouwd moeten worden. De prioritering van de leidingen van de indicatiekaart kan bijvoorbeeld als een risicofactor worden meegenomen bij de optimalisatie en/of ontwerp. Verder kan de locatie van de hotspots (indicatiekaart) worden gebruikt als input voor de prioritering van leidingen voor vervanging als een surrogaat parameter voor waterkwaliteit.



FIGUUR 4-1 OVERZICHT VAN TOOLS EN HUN OMVANG, RESOLUTIE EN NAUWKEURIGHEID OM BODEM- OF WATERTEMPERATUUR TE BEPALEN OF MONITOREN.

## 4.2 Methode om de temperatuur in het net te berekenen en mogelijke hotspotlocaties te identificeren

### 4.2.1 Inputgegevens voor het bodemtemperatuurmodel (BTM )

Sinds 2008 wordt in het BTO aan een BTM aan gewerkt. Dit model is een uni-dimensioneel model op basis van KNMI data. Het model kan verschillende scenario's berekenen. In deze studie werd het model gebruikt om het effect van maatregelen te kwantificeren. De maatregelen die kunnen worden berekend zijn: schaduwconditie, veranderingen in het bodemtype en in de thermische eigenschappen van de bodem bv. door vochtigheid.

Het BTM is gekalibreerd voor Rotterdam (jaar 2016). De inputgegevens uit Tabel 4-1 zijn aanbevolen voor het berekenen van drie verschillende stedelijke gebieden in een stad: nl. peri-urbane gebieden, gemiddelde stad en hotspots. Het model kan ook voor het platteland de bodemtemperatuur modeleren.

TABEL 4-1 OVERZICHT VAN INPUTGEGEVENS VOOR HET UITGEBREIDE BTM

| Variabele               | Eenheid                            | Type gebied          |                 |          |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------|----------|
|                         |                                    | Peri-urbane gebieden | Gemiddelde stad | hotspots |
| $\lambda_{soil}$        | W/m.K                              | 0.7                  | 1.2             | 2.6      |
| $\rho_{soil} \times Cp$ | J/m <sup>3</sup> .K                | $2 \times 10^6$      |                 |          |
| $\alpha$                | 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s | 0.6                  | 0.6             | 1.3      |
| G1                      | mm/s                               | 14.97                | 14.97           | 11.54    |
| $z_0$                   | m                                  | 0.95                 | 0.95            | 0.95     |
| $h_{RL}$                | m                                  | 10                   | 10              | 25       |
| QF                      | W/m <sup>2</sup>                   | 50                   | 100             | 150      |
| $a_1$                   | [-]                                | 0.3                  | 0.8             | 0.8      |
| $a_2$                   | [s]                                | 6 <sup>a</sup>       | 30              | 42       |
| $-a_3$                  | W/m <sup>2</sup>                   | 90                   | 100             | 120      |

<sup>a</sup> Value is fitted using data. Values differ from values given in Agudelo-Vera et al, 2015, due to the difference in the time step of simulation.  $\alpha = \lambda_{soil} / \rho_{soil} \cdot Cp$ . Where:  $\lambda_{soil}$ : Thermal conductivity [W/m.K],  $\rho_{soil}$ : soil density [kg/m<sup>3</sup>] en  $Cp$ : soil heat capacity [J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>].  $a_1$ ,  $a_2$  en  $a_3$  values are fitted using data of measurements conducted in 2012 in Rotterdam.

#### 4.2.2 Indicatiekaart ondergrondse hittestress

Op basis van een aantal basisgegevens, die beschikbaar zijn of kunnen worden ingebracht in GIS, is een indicatiekaart van de locatie van de hotspots samengesteld. Een voorbeeld van de kaart staat in Figuur 4-2.

De kaart voorspelt op basis van een combinatie van een aantal gegevens of een locatie een verhoogde kans op ondergrondse hittestress heeft. De gecombineerde gegevens zijn A) directe zonnestraling, B) bodembedekking, C) stedelijkheid o.b.v. omgevingsadressendichtheid (oad) en aanwezigheid van lijnwarmtebronnen D) hoogspanningskabels en E) warmtenetwerken. Voor een overzicht van de opbouw van de kaart, zie Tabel 4-2. Het principe van de kaart werkt is: voor elk van de 6 factoren worden er punten toegekend aan elk leidingsegment. De som van de punten geeft een totaalscore. Om de totaalscore te beoordelen zijn er vier categorieën gedefinieerd: < 4 is geen ondergrondse hittestress, tussen 4-5 is er een gemiddelde ondergrondse hittestress, tussen 5-6 is er een bovengemiddelde hittestress, een score hoger dan 6 is een indicatie voor een mogelijk hotspotlocatie. Dit puntensysteem is toegepast op de meetlocaties in Rotterdam.

Beschouwing: in de praktijk wordt schaduw veroorzaakt door bomen, gebouwen i.c.m. de stand van de zon, en dus hebben de tijd van de dag en het jaar een invloed op de schaduw en daardoor op ε. Voorstel: bereken de straling op elke leiding voor een zomerse dag (bv. 1 juli) met GIS en ken punten toe o.b.v. de maximum straling (tabel 5-3).

Het blijkt dat er nog aspecten zijn te verbeteren voordat dit een werkbare methode is, namelijk:

- i) de afstand tussen de hoogspanningskabels moet niet alleen gebaseerd zijn op x, y coördinaten, maar ook rekening houden met de diepte.
- ii) in deze analyse zijn de warmtenetwerken geanalyseerd o.b.v. het percentage van aansluitingen op het systeem, maar idealiter moet de afstand tussen water- en warmteleidingen mee worden genomen o.b.v. het tracé van de warmtenetwerken.
- iii) puntbronnen zoals elektrische verdeelstations of elektrische laadpalen moeten ook in kaart worden gebracht.

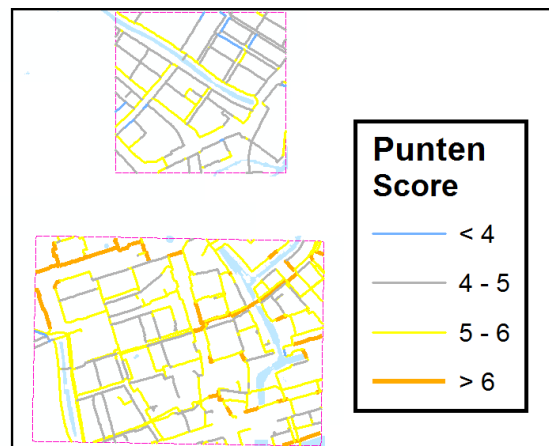
De gevolgen van maatregelen kunnen ook worden meegenomen, gebruikmakend van aftrekpunten, denk aan dieper leggen of andere type bodembedekking. Met de indicatiekaart zouden toekomstige scenario's ook kunnen worden geanalyseerd. Denk aan scenario's zoals toenemende antropogene bronnen bv. warmtenetwerken of hoogspanningskabels.

TABEL 4-2 OVERZICHT VAN PUNTENTOEKENNING VOOR DE INDICATIEKAART (GETEST OP MEETLOCATIES ROTTERDAM)

| Factoren                                                    | Punten   |          |         |        |         |
|-------------------------------------------------------------|----------|----------|---------|--------|---------|
|                                                             | 0        | 0,5      | 1       | 1,5    | 2,0     |
| A. % van de maximale straling*                              | 0        | 25       | 50      | 75     | 100     |
| B. Bodembedekking / bodemtype<br>(% of leiding onder tegel) | 0        | 25       | 50      | 75     | 100     |
| C. Correctie factor o.b.v. Oad                              | <2000    | 3500     | 5000    | 6500   | >8000   |
| D. Horizontaal afstand op hoogspanningskabels **            | 15 - 20m | 10 - 15m | 5 - 10m | 1 - 5m | 0 - 1 m |
| E. % penetratie van warmtenetwerken                         | 25       | 50       | 75      | 100    | %       |
| F. Industrie                                                |          |          | G2-G5   | G1     |         |
| Totaal                                                      | < 4      | 4 - 5    | 5 - 6   | > 6    |         |

\* Toegepast op GIS analyse voor een zomerse dag, in dit geval 1 juli.

\*\* Dit moet verfijnd worden na toekomstig onderzoek, van 2D naar 3D.



FIGUUR 4-2 VOORBEELD VAN EEN INDICATIE KAART VOOR TWEE GEBIEDEN IN ROTTERDAM O.B.V. TABEL 4-2

De kaart en het afwegingskader zijn een startpunt voor het maken van gestructureerde afwegingen door de drinkwaterbedrijven. Er zijn meer gegevens beschikbaar die kunnen helpen bij de voorspelling van de locatie van de hotspots:

- Tracé van warmtenetwerken;
- Locatie van elektrische verdeelstations en elektrische laadpalen ;
- Schaduw van bomen;
- De Kadastrale Kaart met het type gebouw waarmee ligging van specifieke gebouwen kan worden geïdentificeerd;

Verdere ontwikkeling en toetsing van de indicatiekaart houdt o.a. in toetsen in andere gebieden, gedetailleerde (3D of 4D ) GIS analyses uitvoeren, rekening houdend met diepte van bronnen, tracé van warmtenetwerken, schaduw van bomen, locatie van elektrische verdeelstations en laadpalen en UHI bovengronds, en verblijftijd van water in het net. Verder kan het bodemtemperatuurmodel worden gekoppeld aan GIS voor 3D of 4D visualisaties van het bereik van de bodemtemperatuur samen met gegevens van temperatuur aan de tap. Op deze manier kunnen de reguliere monsters aan de tap worden beoordeeld en is het mogelijk om meer informatie uit de metingen te halen. Met zulke analyses kunnen '*near real time*' analyses worden uitgevoerd, maar ook korte en lange termijn prognoses en retrospectieve analyses. Deze ruimtelijke en meerjaren GIS-analyses kunnen het ontwikkelen van een gerichtere en efficiëntere bemonstering ondersteunen.

### 4.3 Hulpmiddel toekomstige hotspots

Om de hotspots aan te pakken, moet daar idealiter zo snel mogelijk mee begonnen worden, wil er in 2050 voldoende resultaat geboekt zijn. Het is cruciaal om adaptatiemaatregelen af te stemmen met assetmanagementmaatregelen. Klimaatadaptatie is leidend, pas sanering en nieuwbouw daarop aan. Waterbedrijven kunnen bij ontwerp en aanleg leidingen dieper, onder vegetatie of aan de schaduwkant leggen. Het leggen van leidingen in de schaduw of onder gras i.p.v. tegels kan alleen geleidelijk worden bereikt. Indien de waterbedrijven nu beginnen met klimaatadaptatiemaatregelen, zal in 2050 ca. 33% van het net vervangen zijn waardoor mogelijke hotspots worden vermeden, rekening houden met een vervanging van 1% per jaar.

Neem bij vervanging in een hotspot waterkwaliteit in de sanerings-overweging mee, kies bv. leg leiding dieper of verder van antropogene bronnen. Waterbedrijven moeten klaar zijn om met meerdere trendbreuken te kunnen omgaan. Bijvoorbeeld de transitie naar 'gasloze' steden waardoor de ondergrond zal veranderen. Daarnaast de toenemende WKO's en andere ondergrondse infrastructuur die komt met de energietransitie. Waterbedrijven wordt aanbevolen om mee doen aan klimaatadaptatie initiatieven om ook ondergrondse hittestress aan te pakken. Bij samenwerking met derden worden kosten verdeeld en ontstaan win-win situaties.

#### 4.3.1 KNMI-Klimaatscenario's

De recente wetenschappelijke inzichten in het nieuwste IPCC-rapport, waarop KNMI'14 is gebaseerd, verschillen in beperkte mate van die in het vorige IPCC-rapport, waarop KNMI'06 is gebaseerd. Daarom lijken de algemene klimaatveranderingen in de KNMI'14-scenario's sterk op de algemene veranderingen in de KNMI'06-scenario's, zie Bijlage I. De KNMI'06 scenario's zijn nog steeds mogelijke scenario's voor klimaatverandering in Nederland.

Door vergelijking van de KNMI'06-scenario's met de KNMI'14-scenario's voor de zomer, zien wij dat de KNMI'14 veel gedetailleerder zijn. De wereldwijde temperatuurstijging van 1°C voor de G-scenario's (gematigd) en van 2°C voor de W-scenario's (Warm) is behouden. Verder voorspellen de nieuwe scenario's een 0,5°C lagere gemiddelde temperatuur en een 0,5°C koudere warmste zomerdag per jaar voor het extreme scenario in 2050 ( $W_+$  in 2006 en  $W_H$  in 2014). De scenario's zijn vertaald naar een aantal weerstations.

De KNMI'14 scenario's voorspellen dat de zonnestraling met 6,5% zal toenemen. Verder zal de potentiële verdamping 11% zijn i.p.v. 15%. Er worden ook veranderingen verwacht in de grondwaterstand. Omdat de hoeveelheid neerslag verandert, kan de grondwaterstand in het toekomstige klimaat mogelijk ook veranderen. Ingenieursbureau Amsterdam heeft voor een testlocatie berekend dat in de droogste zomers van het  $G_L$ -scenario de laagste grondwaterstand aan het einde van deze eeuw ongeveer 5 cm hoger zal staan dan nu. In het  $W_H$ -scenario, dat langere droogteperiodes kent, zal de grondwaterstand gelijk blijven of juist 5 cm lager staan.

#### 4.3.2 Antropogene bronnen

In de laatste decennia zijn de antropogene warmtebronnen toegenomen. De trend is dat dit zich blijft ontwikkelen, Figuur 4-3. De stedelijke bodem verandert continu, door werkzaamheden aan huidige netwerken of nieuwe aanleg van infrastructuur. Daardoor kunnen er nieuwe warmtebronnen bijkomen en huidige bronnen verdwijnen. De verwachting in Nederlandse steden is dat de aanleg van warmteleidingen en elektriciteitskabels in de ondergrond sterk zal toenemen samen met de sterke groei van Warmte-koude opslag (WKO) in verband met de geplande energietransitie. Dus de hotspotlocaties nu zijn niet gelijk aan de hotspotlocaties van de toekomst.

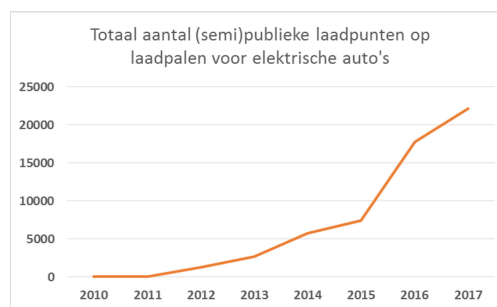
Veranderingen in de antropogene bronnen, zoals meer warmtedistributienetwerken, kunnen lokaal grote gevolgen hebben voor de bodemtemperatuur. Deze veranderingen zijn gekoppeld aan de energietransitie en daarmee nog zeer onzeker. Er wordt ook verwacht dat de toenemende antropogene bronnen grotendeels de 0,5 °C lagere gemiddelde luchttemperatuur die nu door de KNMI is voorspeld, zullen compenseren. Daarom zijn de gerapporteerde simulaties in Agudelo-Vera et al. (2015), o.b.v. de transformatie van een warm jaar (2006) naar 2050, nog geldig, Tabel 4-3. Eigenlijk zal toename van antropogene bronnen de effecten van klimaatveranderingen lokaal versterken tijdens warmere perioden.



a)



b)



FIGUUR 4-3 VOORBEELDEN VAN TOENEMENDE ANTROPOGENE WARMTEBRONNEN IN DE STAD A) THERMISCHE FOTO VAN ELEKTRISCHE LAADPALEN EN B) AANTAL (SEMI)PUBIEKE LAADPUNTEN IN NEDERLAND (BRON: [HTTPS://KLIMAATMONITOR.DATABANK.NL/JIVE](https://klimaatmonitor.databank.nl/jive))

TABEL 4-3 GESIMULEERD AANTAL DAGEN MET TEMPERATUREN BOVEN 25°C EN 28°C TIJDENS EEN WARM JAAR NU EN IN 2050 O.B.V. KNMI'06 SCENARIO'S

|                      | 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        |

#### 4.4 Handelingsperspectief

Kennis van de risico's, oorzaken en mogelijke maatregelen kunnen helpen om de maatregelen te faseren en te koppelen aan reguliere onderhouds- en renovatieactiviteiten om tijd en kosten te besparen. In de komende decennia zal een energietransitie in Nederland plaatsvinden. Verder zijn steden continu aan het vernieuwen. Waterbedrijven kunnen tijdens verschillende fases ook rekening houden met maatregelen om de waterkwaliteit in de toekomst te garanderen.

Het effect van de maatregelen is afhankelijk van het type bronnen (punt, lijn of diffuse bron), intensiteit (warmte uitstoot) en locatie (zowel x en y, maar ook z). Het kwantificeren van het effect van de maatregelen is nog niet volledig uitgevoerd. Twee-dimensionele modellen zijn nodig om het effect van maatregelen langs hoogspanningskabels of warmtenetwerken te kunnen kwantificeren. Dit wordt onderzocht in 2018 in het TKI-project 'Warmte-overdracht drinkwaterleidingen'.

Aanbevolen wordt om een reeks van weergegevens, bv. van 2000-2017, te transformeren in de KNMI'14 scenario's ( $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$ ). Vervolgens deze reeksen dan door te rekenen met het BTM, inclusief scenario's met veranderingen van antropogene bronnen en daar dan het aantal dagen boven de 25°C en 28°C uit te halen.

Bedrijven kunnen met basisinformatie, zoals GIS-analyse van zonstraling, gegevens over bodembedekking, stedelijk type (industrieel/residentieel), omgevingsadressendichtheid (oad) en aanwezigheid bomen, een indicatiekaart maken om gebieden te prioriteren. Samenwerking met andere partijen is nodig om precies te weten welke antropogene bronnen er zijn en waar ze zich bevinden (of zullen bevinden).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de belangrijkste oorzaken van ondergrondse hittestress zonnestraling, soort bodembedekking, bodemtype en aanwezigheid van antropogene warmtebronnen zijn. In dit project zijn deze verder gekwantificeerd en is ook het effect van maatregelen gekwantificeerd. Met de hier ontwikkelde 'indicatiekaart' kunnen mogelijke locaties van hotspots worden geïdentificeerd.

Drinkwatertemperatuur zal met verstedelijking en klimaatverandering toenemen; als eerste met name op de zogenaamde hotspots. Om oorzaken en gevolgen van hotspots te voorkomen zijn maatregelen benoemd en gekwantificeerd. Huidige hotspots kunnen mogelijk m.b.v. een indicatiekaart worden opgespoord en een hogere score voor sanering krijgen. Toch kunnen hotspots worden vermeden door bijvoorbeeld het vasthouden van water en /of vergroenen van de stad gezamenlijk met gemeentes.

Het herinrichten van de stedelijke ondergrond door de energietransitie, met o.a. meer warmtenetten, kan kansen bieden om de ondergrond beter te organiseren. Daarbij is belangrijk om de minimale afstand tussen de drinkwaterleidingen en hoogspanningskabels en warmtenetwerk te weten. Dit wordt in 2018 onderzocht. Om toekomstige hotspots te voorkomen is het belangrijk om met gemeentes en andere infrastructuurbeheerders aan de slag te gaan om de bodem te beheren op een duurzamere manier.

Indien geen actie wordt ondernomen, zullen de gevolgen van klimaatverandering merkbaar worden binnen een aantal decennia. Een geleidelijke adaptatie vanaf nu, kan ervoor zorgen dat er in 2050 geen of een beperkt aantal hotspots in het net zullen zijn. Sommige acties, zoals vervanging van leidingen, kennen ook een lange tijdshorizon. Dus er zijn mogelijkheden genoeg om langzaam maar zeker het leidingnet klaar te maken voor de toekomst o.b.v. temperatuur. Andere gevolgen van klimaatverandering, zoals overstroming, moeten nog worden onderzocht. Aanbevolen is om een Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse (MKBA) uit te voeren om de maatschappelijke kosten en baten beter te kunnen kwantificeren. Het advies voor waterbedrijven, gemeentes en andere infrastructuurbeheerders is: "neem 'klimaatadaptatie' mee in alle beslissingen en doe mee aan klimaatadaptatie initiatieven".

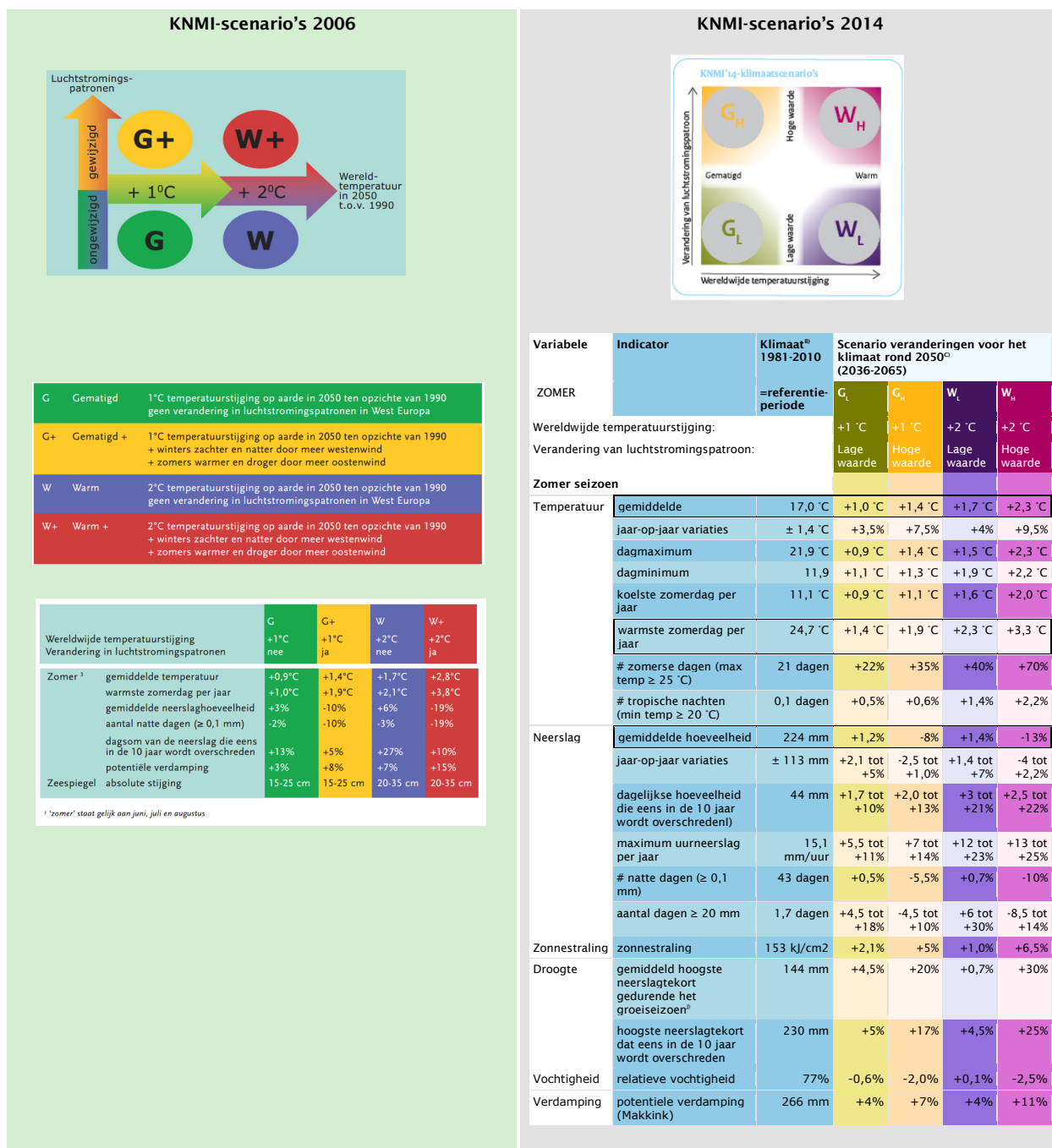
Tijdens de implementatie is het mogelijk om de maatregelen te faseren en te koppelen aan reguliere onderhouds- en renovatieactiviteiten om zo tijd en kosten te besparen. Waterbedrijven kunnen in de ontwerpfase en bij vervanging voorkeur geven aan de schaduwkant van de straat, het vermijden van warmtebronnen of het lokaal dieper of onder vegetatie plaatsen (rekening houdend met acceptabele beplanting).

## 6 Referenties

- Agudelo-Vera, C., M. Blokker, H. De Kater en R. Lafort (2017). "Identifying (subsurface) anthropogenic heat sources that influence temperature in the drinking water distribution system." DWES 10: 83-91.
- Agudelo-Vera, C. en Y. Fujita (2017). Hotspots in het leidingnet Nieuwegein. KWR. BTO 2017.023.
- Agudelo-Vera, C. M., E. J. M. Blokker, P. W. J. J. van der Wielen en B. Raterman (2015). Drinking water temperature in future urban areas. KWR. BTO 2015.012.
- Blokker, E. J. M. (2017). Modelling growth in the distribution network. Nieuwegein. KWR. BTO 2017.077.
- Blokker, E. J. M., P. Horst, A. Moerman, S. Mol en R. Wennekes (2014). Haalbaarheid van maatregelen tegen ongewenste opwarming van drinkwater in het leidingnet. Nieuwegein. KWR. TKI Project Calorics. KWR 2014.057.
- Blokker, E. J. M. en G. A. M. Mesman (2014). Benodigde materiaaleigenschappen voor ondiepere ligging leidingen. Nieuwegein. KWR. BTO 2014.029.
- Blokker, E. J. M. en E. J. Pieterse-Quirijns (2012). Scenariostudies voor beperken invloed klimaatveranderingen op temperatuur en kwaliteit drinkwater in het net. Nieuwegein. KWR Watercycle Research Institute. KWR 2012.017.
- Blokker, E. J. M. en I. Pieterse-Quirijns (2010). Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet. H2O. 43: 46-49.
- Blokker, E. J. M. en I. Pieterse-Quirijns (2013). "Modeling temperature in the drinking water distribution system." AWWA 105: E19-E28.
- Blokker, E. J. M. en P. G. Schaap (2015). Effecten van temperatuur op bruinwaterisico. Nieuwegein. KWR. KWR 2015.091.
- Boogaard, F., G. Bruins en R. Wentink (2006). Wadi's - Aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer. Ede. Stichting RIONED.
- CROW (2012). Combineren van onder- en bovengronds infrastructuur met bomen. Ede. CROW publicatie 280.
- Groenblauw, a. (2017). "<http://www.groenblauwenetwerken.nl/measures/porous-paving-materials/>."
- Moerman, A. en C. M. Agudelo-Vera (2016). Energiepotentie drinkwaternet Dunea. KWR 2016.096
- Moerman, A., E. J. M. Blokker en J. Vreeburg (2014). Het opwarmen van drinkwater in woninginstallaties. H2O.
- Pieterse-Quirijns, I., R. de Groot, Y. de Rijck en K. Ruijg (2011). Diepteligging van leidingen. Nieuwegein. KWR. KWR 2011.022.
- Rerak, M. en P. Ocioń (2017). The effect of soil and cable backfill thermal conductivity on the temperature distribution in underground cable system. E3S Web of Conferences.
- van Bel, N. (2017). Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater. BTO.2017.024.
- van der Molen, M., H. Kooij, E. F. P. A. H. Smulders en S. G. J. Heijman (2008). Warmteindringing in de bodem. Nieuwegein. KWR. BTO 2008.053.
- van der Wielen, P. W. J. J. (2017). Waarde KG22 en Aeromonas als wettelijke parameters nagroei Nieuwegein. KWR. BTO-2017.028.
- Vonk, E. en D. Vries (2016). Datamining voor assetmanagement – inventarisatie en voorbeelden uit de watersector. Nieuwegein. KWR. KWR 2016.007.
- Zlatanovic, L., A. Moerman, J. P. van der Hoek, J. Vreeburg en M. Blokker (2017). "Development and validation of a drinking water temperature model in domestic drinking water supply systems." Urban Water Journal 14(10): 1031-1037.

# Bijlage I    Vergelijken KNMI scenario's

TABEL 6-1 VERGELIJKING KNMI-SCENARIO'S 2006 VS. 2014



TABEL 6-2 GEMIDDELD AANTAL WARME, ZOMERSE EN TROPISCHE DAGEN PER JAAR IN DE REFERENTIEPERIODE 1976-2005 EN EEN INDICATIE VAN HET AANTAL DAGEN IN DE VIER KLIMAATSCENARIO'S ROND 2020, OP BASIS VAN GETRANSFORMEERDE TIJDREEKSEN (BRON: KNMI).

|                 | Locatie   | 1976-2005 | G    |      |      | G+   |      |      | W    |      |      | W+   |      |      |
|-----------------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 |           |           | 2020 | 2050 | 2100 | 2020 | 2050 | 2100 | 2020 | 2050 | 2100 | 2020 | 2050 | 2100 |
| Zomerse dagen   | De Kooy   | 8         | 9    | 11   | 16   | 11   | 14   | 25   | 11   | 16   | 29   | 14   | 25   | 56   |
|                 | De Bilt   | 24        | 28   | 31   | 39   | 30   | 36   | 50   | 31   | 39   | 57   | 36   | 50   | 87   |
|                 | Eindhoven | 30        | 34   | 38   | 46   | 36   | 42   | 58   | 38   | 46   | 67   | 42   | 58   | 95   |
| Tropische dagen | De Kooy   | 1         | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 5    | 1    | 2    | 6    | 2    | 5    | 15   |
|                 | De Bilt   | 4         | 5    | 7    | 10   | 6    | 9    | 15   | 7    | 10   | 17   | 9    | 15   | 33   |
|                 | Eindhoven | 5         | 7    | 8    | 12   | 8    | 11   | 19   | 8    | 12   | 21   | 11   | 19   | 39   |

Bron: <http://www.klimaatsscenarios.nl/knmi06/gegevens/temperatuur/index.html>