



BTO 2017.023 | September 2017

## **BTO** rapport

Hotspots in het  
leidingnet



# BTO

## Hotspots in het leidingnet

BTO 2017.023 | September 2017

### Opdrachtnummer

400554/145

### Projectmanager

dr. E. (Edu) Dorland

### Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Klimaatbestendige  
watersector

### Kwaliteitsborger(s)

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

### Auteur(s)

dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera en dr. Y. (Yuki)  
Fujita

### Verzonden aan

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

**Jaar van publicatie**  
2017

#### 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:

Hittestress, klimaatverandering,  
bodemtemperatuur.



Watercycle  
Research  
Institute

BTO 2017.023 | September 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

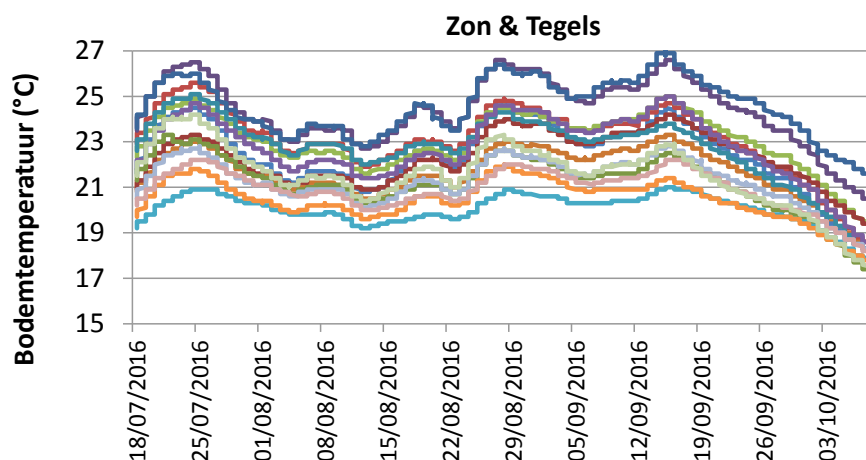
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## *Ondergrondse hittestress – ontbreken van schaduw, aanwezigheid van tegels en antropogene warmtebronnen vergroten kans op hotspots*

**Auteur(s)** dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera en dr. Y. (Yuki) Fujita

Volgens de Drinkwaterwet mag de temperatuur van het drinkwater niet boven 25 °C komen. Sporadisch worden aan de tap watertemperaturen hoger dan 25 °C gemeten, met name in warme zomers. Doordat de drinkwatertemperatuur in belangrijke mate wordt bepaald door de bodemtemperatuur rond het distributienet, is het belangrijk om de bodemtemperatuur in de stad in kaart te brengen. In steden is er, op zogenaamde hotspots in de bodem, sprake van ondergrondse hittestress. In dit project zijn de stedelijke kenmerken en antropogene warmtebronnen geïdentificeerd, die ondergrondse hittestress kunnen veroorzaken. Daarna is gedurende twaalf weken de bodemtemperatuur in Rotterdam continu gemonitord op 42 locaties, om te onderzoeken welke factoren de grootste invloed hebben op de stedelijke bodemtemperatuur. Een paar locaties toonden bodemtemperaturen boven de 25 °C gedurende een aantal weken, het verschil tussen twee locaties kon wel 10 °C zijn. Drie bepalende factoren voor het optreden van hotspots blijken: i) altijd in de zon, ii) onder tegels en iii) met minstens één antropogene warmtebron in de buurt.



Gemeten bodemtemperatuur op 15 locaties onder tegels die altijd in de zon zijn in Rotterdam

**Belang:** steeds hogere bodemtemperatuur laat ook drinkwatertemperatuur stijgen

De drinkwaterwet legt een temperatuurgrens van 25 °C vast voor de levering van drinkwater. De drinkwatertemperatuur aan de tap wordt in belangrijke mate bepaald door de bodemtemperatuur rond het distributienet, dat globaal op 1 meter diepte ligt. Daarom is het belangrijk om de bodemtemperatuur in de stad in

kaart te brengen. Deze temperatuur is niet constant gedurende het jaar. Zij wordt beïnvloed door het weer, bebouwing, bodembedekking, bodemsoort en antropogene warmtebronnen, zoals een warmtenet of elektrische verdeelstations. Een zandbodem onder bestrating – typisch de grond waarin leidingen in een stedelijke omgeving liggen – warmt het snelst op in de zomer. In warme zomers zoals in 2003 en 2006 betekent dit dat de



bodem rond de leidingen gemakkelijk een aantal dagen tot boven 25 °C opwarmt. Verstedelijking, steeds meer warmte-uitstoot uit antropogene bronnen en klimaatverandering zullen ervoor zorgen dat de kans op overschrijden van de temperatuurgrens op hotspotslocaties zal toenemen. Deze wettelijke grens is onder meer relevant omdat watertemperatuur een belangrijke, maar nog onvoldoende onderzochte rol speelt bij de groei van pathogenen in drinkwater.

#### Aanpak: hotspots gelokaliseerd met simulaties, metingen en GIS en invloeden geanalyseerd

Uit literatuuronderzoek en ervaringen van de waterbedrijven zijn vermoedelijke antropogene boven- en ondergrondse warmtebronnen verzameld, zoals elektrische verdeelstations, warmtenetwerken of hoogspanningskabels. Deze bronnen zijn voor Rotterdam Noord in kaart gebracht met GIS. Vijf gebieden met specifieke antropogene bronnen werden geselecteerd om de bodemtemperatuur op 1 meter diepte te monitoren. In totaal werden 42 locaties gemonitord tijdens de maanden juli-oktober 2016. Metingen en simulaties werden gecombineerd om de bodemtemperatuur in de stad beter te begrijpen. Bodemtemperatuursimulaties zijn uitgevoerd voor twee stedelijke configuraties, nl. de gemiddelde stad en hotspots, met aannames over antropogene warmte-uitstoot uit literatuur. Er is ook een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater.

#### Resultaten: oorzaken van hotspots zijn zon, tegels en minstens één antropogene bron in de buurt

Tijdens de meetperiode is een verschil van ca. 10 °C tussen de locaties gemeten. Het bodemtemperatuur-profiel is heel complex en meerdere factoren kunnen een rol spelen. In deze studie zijn bodemtemperaturen boven 25 °C geregistreerd gedurende meerdere weken op twee locaties. De maximale gemeten bodemtemperatuur was 27 °C. Uit deze studie bleken zonconditie en bodembedekking de twee meest bepalende factoren voor het optreden van hotspots. De derde bepalende factor is het aantal antropogene bronnen. Locaties met 2 en 3 bronnen waren

gemiddeld warmer. Ook de invloed van aanwezige diffuse bronnen is aangetoond, die veroorzaken een hogere temperatuur in gebied 1 (industriegebied) ten opzichte van de andere gebieden. Locaties onder gras kunnen ook hogere temperaturen hebben als ze zich bevinden in de zon en in de buurt van antropogene bronnen. Het literatuuronderzoek naar het effect van hogere drinkwatertemperaturen op de groei van opportunistische ziekteverwekkers geeft aan dat hiernaar nader onderzoek nodig is, zie *Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater* (BTO-2017.024).

#### Implementatie: potentiële hotspots voorkomen bij aanleg van leidingen

Drinkwaterbedrijven kunnen bij de aanleg van leidingen het best de drie meest bepalende factoren voor hotspots proberen te vermijden: volle zon, tegels en antropogene bronnen. Ook is het aan te raden actie te ondernemen in bodembeheer om samen met andere partijen de ondergrondse hittestress te beheersen.

Klimaatbestendigheid eist een langetermijnbeleid. Daarom is het belangrijk dat nu maatregelen worden genomen om een klimaatbestendige stad in 2030 of 2050 te bereiken. Afstemmen met andere infrastructuurbedrijven en gemeentes is nodig om de boven- en ondergrond te beheren om het verschijnen van nieuwe hotspots te voorkomen en zo gezamenlijk bij te dragen aan een klimaatbestendige stad.

Daarnaast is het belangrijk meer te weten te komen over de invloed van temperatuur op enkele opportunistische ziekteverwekkers en om tijdens hoge watertemperaturen op de hotspotlocaties monsters te monitoren op deze opportunistische ziekteverwekkers en te vergelijken met referentielocaties.

#### Rapporten

Dit onderzoek is beschreven in de rapporten *Hotspots in het leidingnet* (BTO-2017.023) en *Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater* (BTO-2017.024).

#### 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>1</b> | <b>Inleiding</b>                                                                                            | <b>2</b>  |
| 1.1      | Achtergrond                                                                                                 | 2         |
| 1.2      | Doelen en opbrengsten                                                                                       | 3         |
| 1.3      | Aanpak en leeswijzer                                                                                        | 3         |
| <b>2</b> | <b>Ondergronds Hitte-eilandeffect</b>                                                                       | <b>4</b>  |
| 2.1      | Inleiding                                                                                                   | 4         |
| 2.2      | Warmtebronnen                                                                                               | 4         |
| <b>3</b> | <b>Methode om de hotspots te identificeren</b>                                                              | <b>6</b>  |
| 3.1      | Bodem- en taptemperaturen in Rotterdam                                                                      | 6         |
| 3.2      | GIS-informatie om zonnestraling in de DWDS en potentiële warmtebronnen te schatten en selectie van locaties | 8         |
| 3.3      | Bodemtemperatuurmetingen in Rotterdam                                                                       | 8         |
| <b>4</b> | <b>Resultaten onderzoeksgebied Rotterdam Noord</b>                                                          | <b>11</b> |
| 4.1      | Resultaten bodemtemperatuurmetingen                                                                         | 11        |
| 4.2      | Bereik gemeten bodemtemperaturen                                                                            | 12        |
| 4.3      | Bodemtemperatuur onder invloed van bodembedekking en zonconditie (kwalitatief)                              | 14        |
| 4.4      | Bodemtemperatuur onder invloed van meerdere warmtebronnen                                                   | 14        |
| 4.5      | Locaties dichtbij hotspots uit watertemperatuurmetingen aan de tap                                          | 16        |
| 4.6      | Statistische analyse van 14 september 2016                                                                  | 17        |
| <b>5</b> | <b>Discussie van de aanpak en resultaten</b>                                                                | <b>21</b> |
| 5.1      | Algemene discussie van de aanpak                                                                            | 21        |
| 5.2      | Algemene discussie van de resultaten                                                                        | 21        |
| <b>6</b> | <b>Discussie: klimaatveranderingen, hotspots en drinkwaterkwaliteit</b>                                     | <b>23</b> |
| 6.1      | Drinkwatertemperatuur en drinkwaterkwaliteit                                                                | 23        |
| 6.2      | Gevolgen van klimaatverandering op bodemtemperatuur en op het distributiesysteem                            | 23        |
| 6.3      | Maatregelen: effect, belang en betrokkenen                                                                  | 24        |
| 6.4      | Urgentie                                                                                                    | 24        |
| <b>7</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                                                                          | <b>26</b> |
| 7.1      | Conclusies                                                                                                  | 26        |
| 7.2      | Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek                                                                     | 26        |
| 7.3      | Aanbevelingen voor drinkwaterbedrijven                                                                      | 26        |
| <b>8</b> | <b>Referenties</b>                                                                                          | <b>28</b> |

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In de Drinkwaterwet is een eis aan de temperatuur van het drinkwater aan de tap opgenomen van maximaal 25 °C (Drinkwaterbesluit 2011). De drinkwatertemperatuur in het leidingnet wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond het distributienet, typisch op 1 meter diepte (Blokker en Pieterse-Quirijns 2013). Uit eerder onderzoek naar de temperatuur in de ondiepe ondergrond blijkt dat er ook in de grond een invloed van de stedelijkheid is en dat de bodemtemperatuur op 1 meter diepte in de stad een aantal graden hoger kan zijn dan in het omliggende platteland (Agudelo-Vera et al. 2015). De opwarming is het hoogst bij zogenaamde hotspots (de locaties in het distributienet met de grootste kans op hoge temperaturen). Daarom hebben verschillende gebieden binnen de stad een andere kans om de temperatuurdrempel te overschrijden. De gemiddelde stad en de buitenwijken hebben een lage kans op overschrijding van de temperatuurdrempel. Hotspots tonen echter hogere kansen, nu en in de toekomst.

In warme zomers zoals in 2003 en 2006 betekent dit dat de bodem rond de leidingen gemakkelijk een aantal dagen tot boven de 25°C opwarmt. Deze variaties in bodemtemperatuur kunnen heel lokaal zijn, en hangen vermoedelijk samen met lokale warmte-emissies, warmtebronnen of schaduw/directe instraling van de zon, maar welke factoren nu precies deze hotspots veroorzaken is nog onbekend. Met een snelle toename van het verstedelijkte gebied en toenemende antropogene warmte-uitstoot (Menberg et al. 2013b), in combinatie met toenemende extreme weersomstandigheden als gevolg van klimaatverandering, ligt het in de lijn der verwachting dat de bodemtemperaturen hoger zullen worden. Hiermee neemt het risico dat ook de tapkraanmonsters de temperatuurdrempel kunnen overschrijden verder toe.

Het is niet duidelijk waar de temperatuureis van 25°C in de Drinkwaterwet exact op gebaseerd is, maar is vermoedelijk een combinatie van het effect van hoge temperaturen op de microbiologische waterkwaliteit, en esthetische waterkwaliteit. De gevolgen van ondergrondse hittestress en daardoor relatief warmere watertemperaturen aan de tap in de stad zijn: 1) de kans op overschrijding van de wettelijke grens van 25 °C aan de tap; 2) de "beleving" van de klant (warm/lauw drinkwater is minder lekker) en 3) mogelijk de volksgezondheid (ontwikkeling pathogenen in het distributienet). Met name in stedelijke gebieden, met geconcentreerde bevolking en diverse ondergrondse infrastructuur en bodembedekking, is er behoefte aan het lokaliseren en kwantificeren van de "antropogene" (ondergrondse) bronnen en hun invloed op bodemtemperatuur om locatiespecifieke maatregelen te kunnen implementeren.

Modellering en willekeurige steekproeven zijn elk afzonderlijk niet genoeg om de stedelijke ondergrondse hotspots te identificeren. Nieuwe methoden zijn nodig om de antropogene warmtebronnen die de temperatuur in het drinkwaterdistributiesysteem (DWDS) beïnvloeden te lokaliseren en te beoordelen. On-site metingen van bodemtemperatuur zijn nodig om beter inzicht te krijgen in de thermische interacties in de ondiepe stedelijke ondergrond. Vaststelling van de locatie van de hotspots en kwantificeren van de warmte emissies is cruciaal om de kans op overschrijding van de temperatuurdrempel te beperken.

## 1.2 Doelen en opbrengsten

Het doel van dit onderzoek is 1) de belangrijkste factoren achterhalen die bepalen waar de hotspots zich in de stad bevinden, 2) bepalen welke adaptatiestrategieën mogelijk zijn om deze opwarming tegen te gaan en 3) wat het effect van hotspots is op nagroeiproblemen (e.g. groei van ziekteverwekkers, *Aeromonas*, KG22, dierlijke organismen en/of bruin water, reuk/smaak).

De resultaten zijn weergegeven in twee rapporten. Het rapport BTO.2017.023 *Hotspots in het leidingnet* beschrijft een methode om de antropogene bronnen en hotspots te lokaliseren en de resultaten hiervan. Het rapport BTO.2017.024 *Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater* bevat de resultaten van een literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater.

## 1.3 Aanpak en leeswijzer

Op basis van een literatuuronderzoek en de verzamelde ervaringen van de waterbedrijven zijn de antropogene bronnen geïdentificeerd. Daarna is een methode ontwikkeld, gebaseerd op de locaties van de vermoedelijke warmtebronnen om de hotspots te onderzoeken. Deze methode is in Rotterdam Noord uitgevoerd, en de resultaten geven inzicht in de bijdrage van verscheidene potentiële bronnen aan hoge bodemtemperaturen.

In Hoofdstuk 2 wordt het 'subsurface heat island effect' beschreven met de klemtoon op antropogene warmtebronnen. Hoofdstuk 3 beschrijft de methode om de hotspots in de stad te identificeren gebaseerd op GIS analyse, metingen van de watertemperatuur aan de tap en simulaties en metingen van de bodemtemperatuur. Hoofdstuk 4 toont de resultaten van de toepassing van de methode in Rotterdam Noord. Hoofdstuk 5 bevat de discussie van de aanpak en resultaten en Hoofdstuk 6 bevat de discussie over de impact van klimaatveranderingen en hotspots op de drinkwaterkwaliteit en een beschrijving van maatregelen. Hoofdstuk 7 bevat conclusies en aanbevelingen.



## 2 Ondergronds Hitte-eilandeffect

### 2.1 Inleiding

In steden heeft de bebouwde omgeving een belangrijke invloed op de luchttemperatuur (verandering in de windrichting en snelheid, schaduw en warmteopslag in gebouwen). Daardoor zijn in steden de luchttemperaturen enkele graden warmer dan in de omliggende gebieden. Dit wordt het Urban Heat Island effect genoemd (UHI). De belangrijkste oorzaken van het UHI zijn de absorptie van zonlicht door de in de stad aanwezige materialen en de relatief lage windsnelheden, gepaard met antropogene warmtebronnen zoals auto's. Door het UHI worden problemen tijdens hittegolven, zoals hittestress, verergerd. Stedelijke oppervlakten en de ondergrond tonen ook een temperatuurgradiënt het zogenaamde 'Surface heat island Effect – SUHI' en het 'sub-surface Heat Island Effect – SSUHI'.

Duitse studies, gericht op de ondergrondse hittestress (SSUHI) (Menberg et al. 2013a; Menberg et al. 2013b; Menberg et al. 2014; Benz et al. 2015), hebben een aantal mogelijke (ondergrondse) antropogene bronnen geïdentificeerd. Om de ondergrondse hittestress te kunnen beheersen is het nodig om de oorzaken te identificeren en te beschrijven, d.w.z. de locatie en de intensiteit. Het is duidelijk dat er een relatie is tussen ondergrondse temperaturen en stedelijke ontwikkeling (Grimmond et al. 2010a; Grimmond et al. 2010b). In een bebouwde omgeving liggen waterleidingen typisch in een zandbodem onder bestrating. Verder hebben stedelijke gebieden drainagesystemen waarmee de neerslag weinig kans heeft om te infiltreren. Zand met lage vochtigheid warmt het snelst op in de zomer t.o.v. andere bodemtypes (Blokker en Pieterse-Quirijns 2013). Müller et al. (2014) rapporteerde een SSUHI van 9°C in Duitsland op een diepte van 70 cm onder maaiveld. Agudelo-Vera et al. (2015) rapporteerde 7 °C SSUHI gebaseerd op de temperatuur aan de kraan voor Rotterdam<sup>1</sup> tijdens de zomer van 2012. De resultaten van de temperaturen aan de kraan, suggereren dat het SSUHI-effect varieert binnen de stad. Door de warmteopslag in de bodem en de relatief trage warmteoverdracht (t.o.v. bijv. de lucht) zou je ook kunnen verwachten dat er veel meer lokale invloeden zijn, ook dat bepaalt de schaal waarop je wilt kijken.

### 2.2 Warmtebronnen

Er is echter weinig bekend en gepubliceerd over de warmte-emissies van antropogene bronnen. Tabel 2-1 toont een typisch temperatuurbereik voor een aantal bronnen. Gebaseerd op de ervaringen van de waterbedrijven en een literatuuronderzoek is een overzicht van de vermoedelijke oorzaken van hotspots in de stad gemaakt. Additioneel zijn een aantal locaties bezocht om m.b.v. thermische foto's warmtebronnen te identificeren, zie Bijlage II. Hotspots kunnen worden veroorzaakt door stedelijke kenmerken of door andere infrastructuur, boven of onder maaiveld. Vermoedelijk worden hotspots veroorzaakt door een combinatie van factoren, zie Tabel 2-2.

<sup>1</sup> De drinkwatertemperatuur kan ook in de drinkwaterinstallatie van de woning veranderen. Tijdens doorstroming naar de keukenkraan treedt opwarming op door convectie. Het water bij de keukenkraan kan dan enkele graden warmer zijn dan bij de watermeter. 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, A., E. J. M. Blokker en J. Vreeburg (2014). Het opwarmen van drinkwater in woninginstallaties. [H2O](#). H2O-Online / 19 juni 2014.

TABEL 2-1 OVERZICHT VAN TYPISCH TEMPERATUURBEREIK DIVERSE BRONNEN (MENBERG ET AL. 2013B; REVESZ ET AL. 2016)

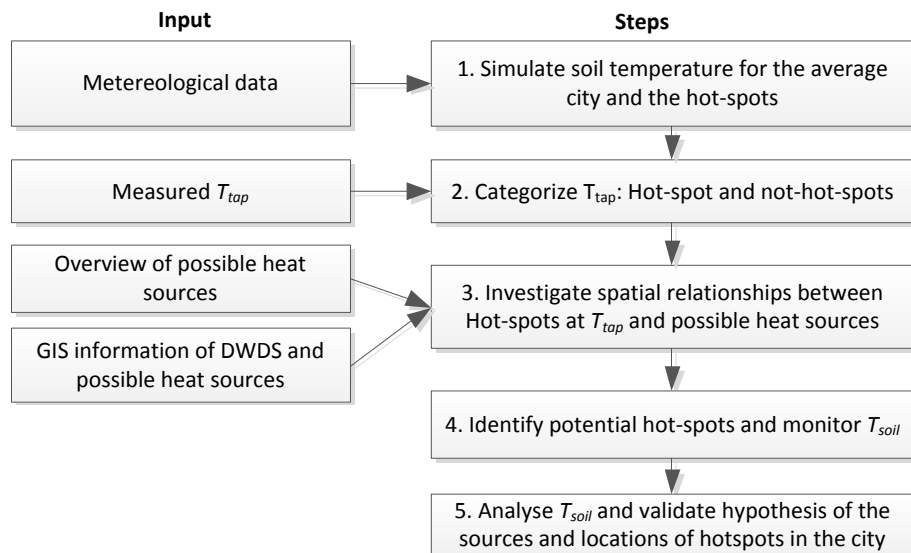
| Bronnen                         | Typisch temperatuurbereik                                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Kelders van gebouwen            | 15-20 °C                                                                   |
| Riolering                       | 12-25°C                                                                    |
| Stadsverwarming                 | Een netwerk met aanvoer en terugvoer: 70/55 °C heeft een verlies van 3-5°C |
| Warmwater her-injectie systemen | 18°-22°C                                                                   |
| Hoogspanningskabels             | Tot 90°C                                                                   |
| Industriële restwarmte          | 35-70°C (Hoog variatie)                                                    |
| Restwarmte gebouwen             | 32-40°C                                                                    |
| Ondergrondse spoorwegen         | Tot 35°C                                                                   |
| Elektrische sub-stations        | 50°C                                                                       |

TABEL 2-2 OVERZICHT VAN KENMERKEN DIE DE STEDELIJK BODEMTEMPERATUUR BEÏNVLOEDEN

| 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                                      |                                     |
|                     |                | Ziekenhuis, wasserette, zwembad, koelhuizen, etc.                                 |              | Hoge dichtheid van gebouwen, reflectie van gebouwen, etc. |                                     |
|                     | Onder maaiveld | Andere infrastructuur - Netwerken                                                 |              |                                                           | Andere infrastructuur (lokaal)      |
|                     |                | Metro, hoogspanningskabels, stadsverwarming, tunnels, spoorwegen, riolering, etc. |              |                                                           | Kelders, parkeergarage, WKO's, etc. |

### 3 Methode om de hotspots te identificeren

Een methode om de hotspots te lokaliseren is toegelicht in Figuur 3-1. Verschillende databronnen zijn gebruikt, gezien de complexiteit van de stad, en de verschillende stappen. Metingen en simulaties zijn gecombineerd om de variaties in de bodemtemperatuur in de stad beter te begrijpen. Modelleren biedt de flexibiliteit om een reeks van stedelijke configuraties te simuleren, terwijl metingen worden gebruikt om de gesimuleerde temperaturen te valideren.



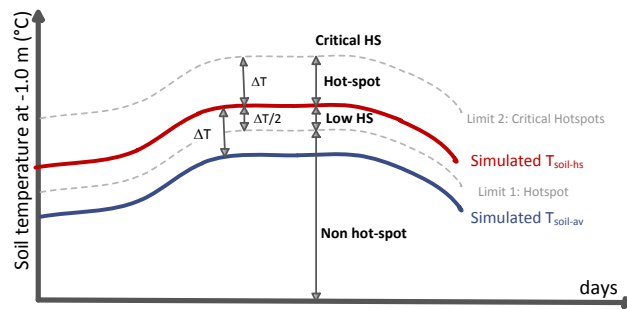
FIGUUR 3-1 METHODE OM ONDERGRONDSE HOTSPOTS IN DE STAD TE LOKALISREN

#### 3.1 Bodem- en taptemperaturen in Rotterdam

Rotterdam Noord is als onderzoeksgebied geselecteerd. Met behulp van het bodemtemperatuurmodel zijn dagelijkse bodemtemperaturen tussen 2000 en 2015 gesimuleerd voor twee scenario's: de gemiddelde bodemtemperatuur ( $T_{soil-av}$ ) en bodemtemperatuur in de hotspots ( $T_{soil-hs}$ ). Daarna zijn de drinkwatertemperaturen aan de tap van 2008 t/m 2015 voor de maanden van mei t/m augustus als volgt, in vier categorieën verdeeld, zie Figuur 3-2:

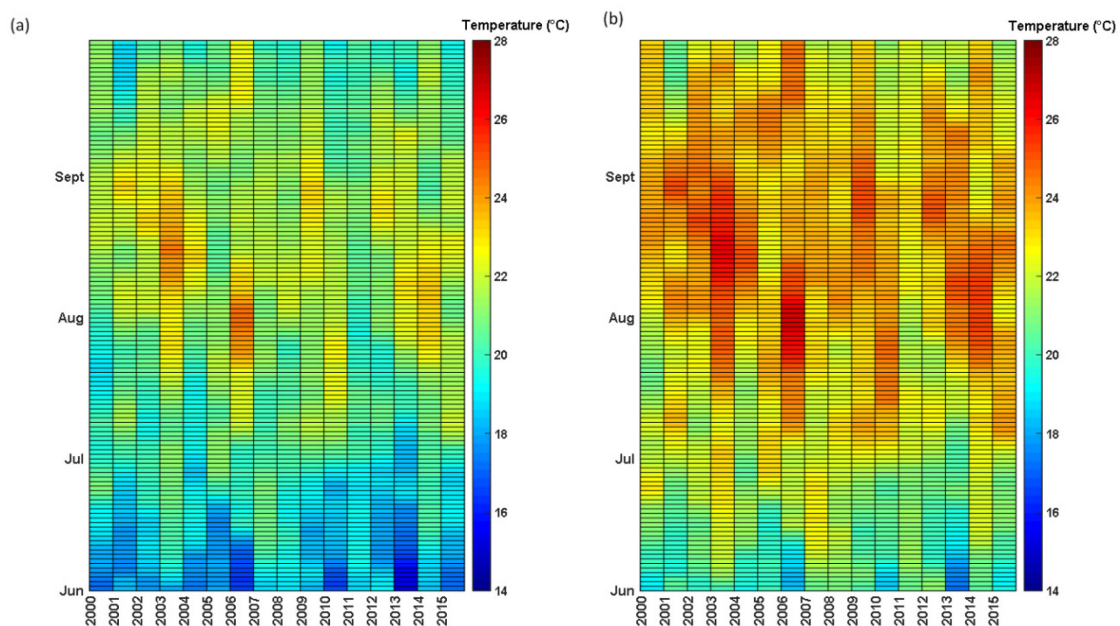
- Non hot-spot:  $T_{tap} < \frac{T_{soil-av} + T_{soil-hs}}{2}$
- Low HS:  $\frac{T_{soil-av} + T_{soil-hs}}{2} \leq T_{tap} < T_{soil-hs}$
- Hot-spot:  $T_{soil-hs} \leq T_{tap} \leq T_{soil-hs} + \Delta T$
- Critical HS:  $T_{tap} > T_{soil-hs} + \Delta T$

Waarin  $\Delta T = T_{soil-hs} - T_{soil-av}$



FIGUUR 3-2 SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN DE HOTSPOTS-CATEGORIEËN

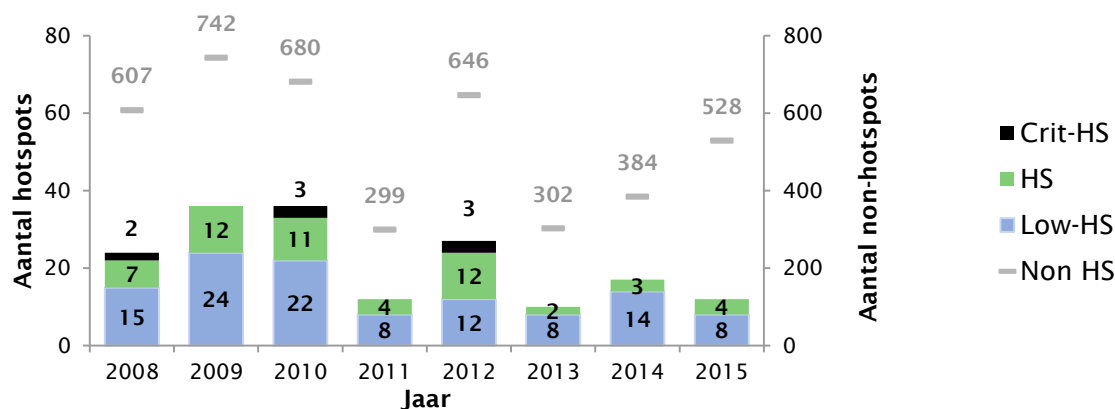
Voor de gemiddelde stad en voor de hotspots is  $T_{soil}$  gesimuleerd vanaf 2000 t/m 2015 gebruik makend van de uurmeetgegevens van het Rotterdam station van de KNMI. Figuur 3-3 toont de resultaten voor de maanden juni, juli, augustus en september. De simulaties voor de gemiddelde stad toonden  $15^{\circ}\text{C} < T_{soil-av} < 25^{\circ}\text{C}$ , terwijl voor de hotspots  $17^{\circ}\text{C} < T_{soil-hs} < 27^{\circ}\text{C}$ . In de gemiddelde stad wordt slechts in zeer hete zomers de  $25^{\circ}\text{C}$  bereikt, figuur 4A. Terwijl in de hotspots de  $25^{\circ}\text{C}$  wordt overschreden in acht van de 16 gesimuleerde jaren, met een totaal van 75 dagen in 16 jaar, figuur 4B. In een koud en nat jaar, 2011, is een maximum  $T_{soil-hs}$  van  $23^{\circ}\text{C}$  gesimuleerd.



FIGUUR 3-3 SIMULATIES VAN DE BODEMTEMPERATUUR OP -1M VOOR ROTTERDAM VANAF 2000 T/M 2015 VOOR DE MAANDEN JUNI, JULI, AUGUSTUS EN SEPTEMBER. A) GEMIDDELDE STAD EN B) HOTSPOTS

De metingen (2008-2015) van de temperatuur van het water aan de tap in de maanden juni t/m september zijn gecategoriseerd als: Non HS, Low HS, HS en Crit-HS (Figuur 3-4). Het aantal temperatuur aan de tap metingen die vallen in de categorie hotspots is relatief klein in vergelijking met het aantal metingen die in de categorie niet-hotspots vallen. Verder is er

geen relatie tussen de warmste jaren uit Figuur 3-3 en het aantal monsters boven de simulatietemperatuur. Het is belangrijk te benadrukken dat de huidige bemonstering van de locaties willekeurig is (in locatie en tijd) en niet gericht is op het vinden van de warmste locaties.



FIGUUR 3-4 OVERZICHT VAN DE CATEGORISATIE VAN DE DRINKWATERTEMPERATUREN AAN DE TAP PER JAAR

### 3.2 GIS-informatie om zonnestraling in de DWDS en potentiële warmtebronnen te schatten en selectie van locaties

Eerst zijn de locaties van de vermoedelijke bronnen, zie Bijlage I, in kaart gebracht m.b.v. Arc-GIS. Daarna, gebruikmakend van de hoogte van de gebouwen, zijn stralingsanalyses uitgevoerd om de zonstraling tijdens een bepaalde dag en tijdstip op de plaats van elke leiding te bepalen. De stralingsanalyse is voor 1 juli 2016 uitgevoerd, de schaduw van bomen is niet meegenomen. De temperaturen aan de tap (volgens de categorieën beschreven in §3.1) zijn ook in kaart gebracht. Tot slot is een nabijheidsanalyse uitgevoerd om de relatie tussen de warmtebronnen en de vier hotspots-categorieën te bepalen.

Figuur 3-5 toont een detail van de GIS-analyse, met weergave van de vermoedelijke warmtebronnen, schaduwcondities en categorieën van de temperaturen aan de tap. Met de resultaten van de nabijheidsanalyse kon er geen directe relatie tussen de geanalyseerde warmtebronnen en de tapwaterhotspots worden aangetoond. Deze analyse voegde dus weinig toe en daarom is het in de toekomst niet echt nodig deze analyse te herhalen voor het vinden van hotspots. Dit kan deels worden verklaard door het feit dat de locaties waar  $T_{tap}$  gemeten worden, random geselecteerd zijn en niet op de hotspots gericht. Andere verklaringen zijn: bronnen die nog niet geïdentificeerd zijn, fouten in de GIS-data en of de taptemperatuurdata. Verder nam de nabijheidsanalyse slechts de afstand tot de dichtstbijzijnde bron, maar door de verschillende type bronnen is deze indicator wellicht niet de meest geschikte. De grafische weergave (Figuur 3-5) van de locatie van de metingen van de watertemperatuur aan de kraan laat zien dat er geen clustering van warme of koude metingen is, maar dat de hot- en coldspots verspreid zijn over het gebied. Verder zijn er locaties waar hot- en coldspots naast elkaar liggen, wat er op wijst dat lokale veranderingen in de bodemtemperatuur in de stad optreden.

### 3.3 Bodemtemperatuurmetingen in Rotterdam

Er zijn, in afstemming met Evides, vijf gebieden geselecteerd in Rotterdam Noord, gebaseerd op de GIS-analyse. Daarna zijn in totaal 48 locaties geselecteerd, Figuur 3-6. Op deze locaties is de bodemtemperatuur voor een aantal weken continu geregistreerd. In Nederland worden leidingen geïnstalleerd onder de stoep, d.w.z. onder tegels, daarom zijn de

metingen gericht op locaties met tegels. Een aantal metingen zijn onder gras uitgevoerd als controlepunten. Een detail van de meetopstelling is te zien in Figuur 3-7. Het is belangrijk om de metingen op een uniforme manier uit te voeren en omgevingsdata te registreren, zie Tabel 4-1.

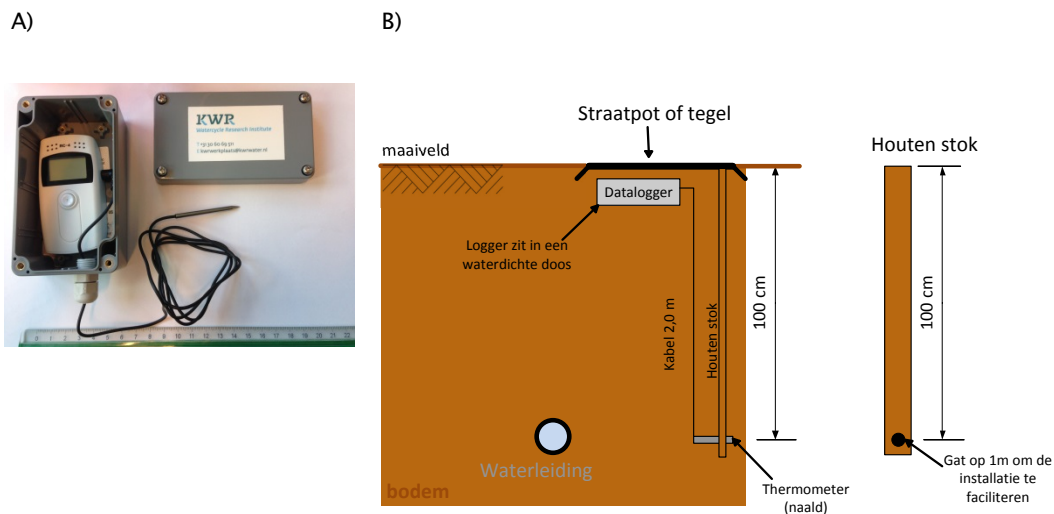


FIGUUR 3-5 DETAIL VAN DE GIS-ANALYSE



FIGUUR 3-6 LOCATIE VAN DE BODEMTEMPERATUURMETINGEN PER GEBIED, DE VIJF GEBIEDEN ZIJN GEIDENTIFICEERD MET EEN KLEUR





FIGUUR 3-7 A) DETAIL VAN DE THERMOMETER EN DATALOGGER. DE DATALOGGER ZIT IN EEN WATERDICHT DOOS VAN 11.5 CM X 6.3 CM X 5.5 CM. EN B) SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE SET-UP VOOR DE BODEMTEMPERATUURMETINGEN.

Tijdens de plaatsing van de thermometers bleken vier locaties niet geschikt: bij 3 locaties zaten er betonelementen in de ondergrond waardoor plaatsing niet is gelukt en op één van de locaties was sierbestrating (marmer) aanwezig die niet open mocht. In totaal zijn er op 44 locaties thermometers geplaatst. De temperaturen werden na het uit de bodem halen van de thermometers met datalogger uitgelezen en de meetwaarden van de thermometers werden gekalibreerd. Eén van de thermometers was beschadigd na de extractie en kon niet gekalibreerd worden (Sensor # 44 locatie). In drie sensoren (sensoren # 4, 23 en 46) is vocht geconstateerd (locaties met gras), maar toonden geen afwijkende data. Eén van de vochtige sensoren (#23) heeft data geregistreerd tot 23-08-2016 en is daarom niet meegenomen in de analyse. In de volgende secties worden de metingen van de 42 thermometers tijdens de periode van 17 juli tot 8 oktober 2016 geanalyseerd. Bijlage III en Bijlage IV tonen de foto's en aanvullende informatie van de locaties.

TABEL 3-1 ITEMS DIE GEREISTREERD (MOETEN) WORDEN BIJ HET PLAATSTING VAN DE TEMPERATUURSENSOREN

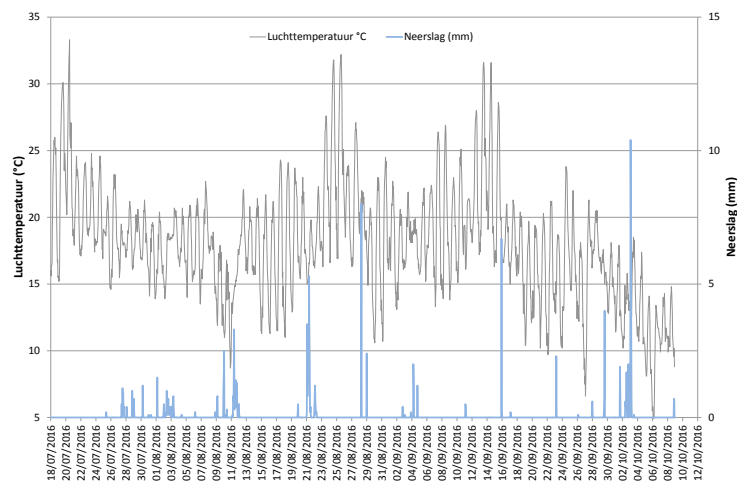
| Gegevens                                        | Opmerkingen / Aanvulling                                                                               |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Thermometer-id</b>                           |                                                                                                        |
| <b>Locatie/datum</b>                            |                                                                                                        |
| Meetpunt id (bv. G1-4: Gebied 1 - meetpunt # 4) | Gebied: # ____ Meetpunt # ____                                                                         |
| Locatie (x, y, z)                               |                                                                                                        |
| Adres                                           |                                                                                                        |
| Datum installatie                               |                                                                                                        |
| <b>Omgevingsdata</b>                            |                                                                                                        |
| Grondsoort                                      | <input type="checkbox"/> zand <input type="checkbox"/> klei <input type="checkbox"/> anders: _____     |
| Meetpunt in grondwater (tijdens installatie)    | <input type="checkbox"/> Nee <input type="checkbox"/> Wisselend <input type="checkbox"/> Ja            |
| Type verharding / bestrating                    | <input type="checkbox"/> Grass <input type="checkbox"/> Tegels <input type="checkbox"/> Bomen/struiken |
| Bijzonderheden tijdens installatie              | <input type="checkbox"/> Werkzaamheden aan de straat                                                   |
|                                                 | <input type="checkbox"/> Aanpassingen van gegevens coördinaten                                         |
|                                                 | <input type="checkbox"/> Anders:                                                                       |

## 4 Resultaten onderzoeksgebied Rotterdam Noord

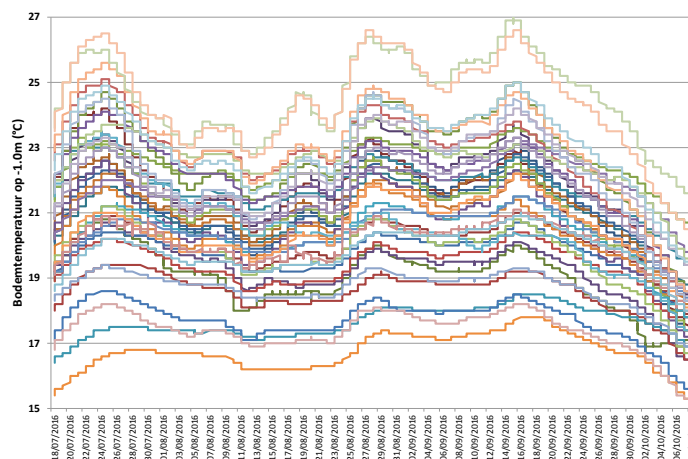
### 4.1 Resultaten bodemtemperatuurmetingen

Tijdens de meetperiode waren er drie dagen met luchttemperaturen boven de 30°C, geregistreerd door het KNMI-station, en een totale neerslag van 143 mm, zie Figuur 4-1A. De bodemtemperatuur is elke 10 min geregistreerd. De maximale variatie op uurbasis was 0.1°C en de maximale variatie op dagbasis was 0.9°C. Het gemeten Max. temperatuurbereik van de bodem tijdens de meetperiode varieert tussen 17.8°C en 27°C. De dag dat de maximale temperatuur is gemeten, verschilt per locatie, Figuur 4-1B.

A)



B)



FIGUUR 4-1. A) OVERZICHT VAN DE LUCHTTEMPERATUUR EN NEERSLAG VOOR HET KNMI-MEETSTATION ROTTERDAM OP BASIS VAN UURGEGEVENS VOOR DE PERIODE 18 JUL – 10 OKT 2016 EN B) OVERZICHT VAN DE METINGEN VAN DE BODEMTEMPERATUUR VOOR DE 42 LOCATIES.

#### 4.2 Bereik gemeten bodemtemperaturen

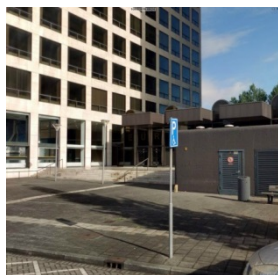
De vijf hoogste temperaturen zijn geregistreerd in gebied 1, zie Tabel 4-1 en Figuur 4-2. Alle vijf locaties bevonden zich onder tegels, in zand en hadden minstens één warmtebron. De koudste locatie is gevonden in gebied 2, meetpunt G2-7 – deze locatie bevindt zich in een park: in de schaduw, bodemtype klei en bodembedekking is gras (sensor # 31) en er waren geen antropogene bronnen aanwezig in deze locatie. Figuur 4-3 toont de metingen per gebied.

TABEL 4-1 OVERZICHT VAN DE SPECIFICATIES EN WARMTEBRONNEN VAN DE 5 WARMSTE LOCATIES EN DE KOUDSTE LOCATIE

| id    | Sensor # | Zonconditie (Z/S) | stedelijke type* |       |      | Bodembedekking (T/G) | Antropogene bronnen |       |           |                        | Max Temp (°C) |
|-------|----------|-------------------|------------------|-------|------|----------------------|---------------------|-------|-----------|------------------------|---------------|
|       |          |                   | Industriegebied  | plein | Park |                      | HS-kabel            | Metro | Warmtenet | Elektrische substation |               |
| G1-12 | 47       | Z                 | x                |       |      | T                    |                     |       |           | x                      | 27            |
| G1-10 | 50       | Z                 | x                |       |      | T                    | x                   |       | x         |                        | 26.6          |
| G1-6  | 43       | Z                 |                  | x     |      | T                    |                     | x     |           |                        | 25.6          |
| G1-14 | 33       | S                 | x                |       |      | T                    |                     | x     |           |                        | 25.1          |
| G1-9  | 49       | Z                 | x                |       |      | T                    | x                   |       |           |                        | 25.8          |
| G2-7  | 31       | S                 |                  |       | x    | G                    |                     |       |           |                        | 17.8          |

Z: zon; S: Schaduw of deels schaduw; T:tegels, G:gras

A) G1-12 Galvanistraat 15



B) G1-10 Marconistraat



C) G1-06 Marconiplein 22



D) G1-14 Schiedamseweg 280



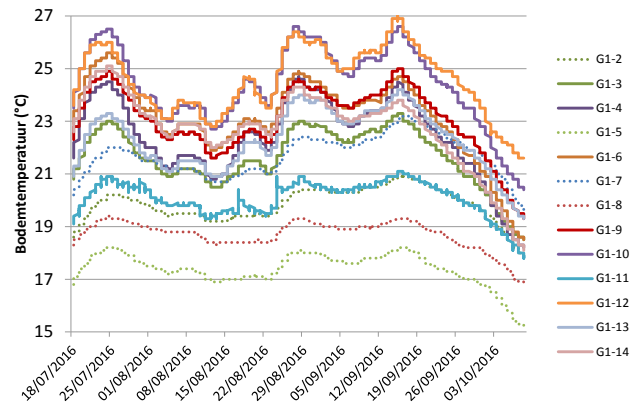
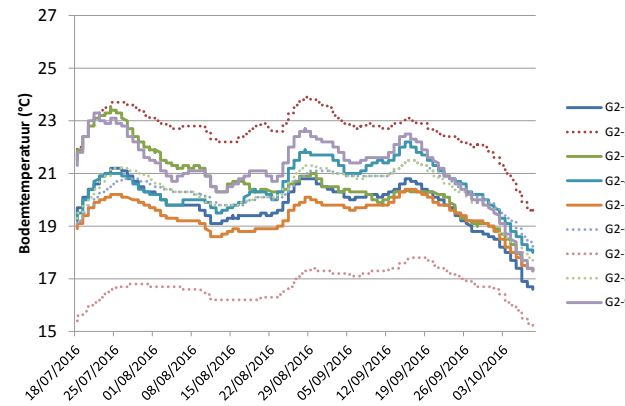
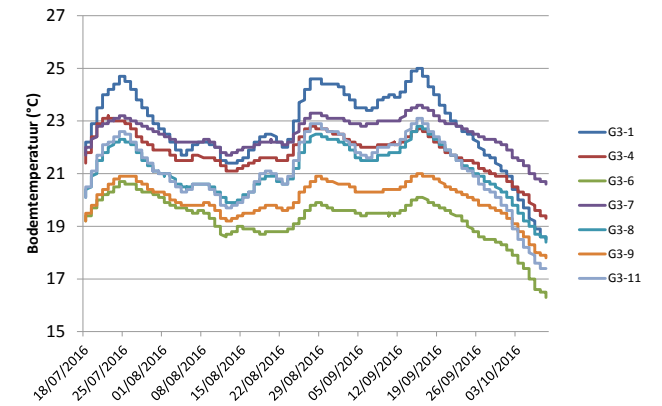
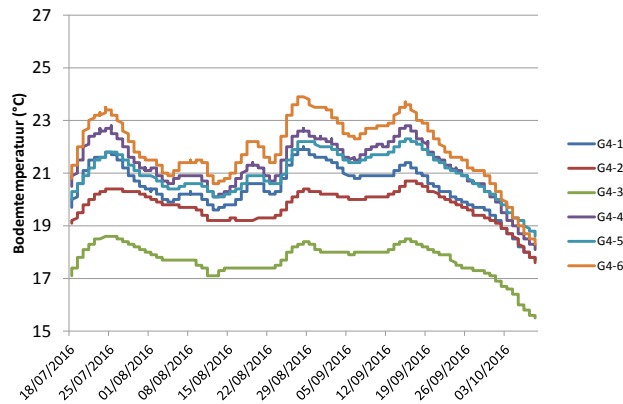
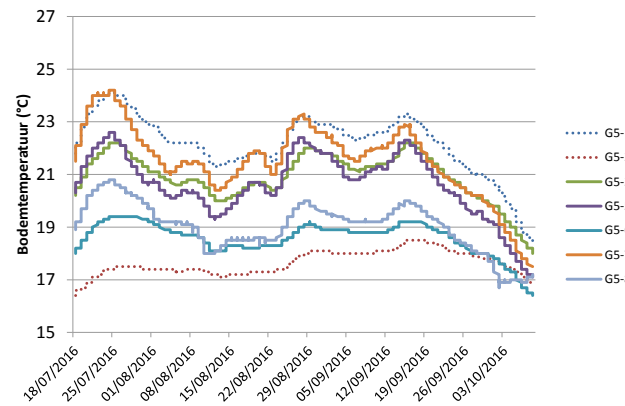
E) G1-09 Marconistraat 33



F) G2-7 Het Park



FIGUUR 4-2 A T/M E) FOTO'S VAN DE 5 WARMSTE LOCATIES EN F) DE KOUDSTE LOCATIE

Gebied 1,  $T_{\max} = 27^{\circ}\text{C}$  op 15/09, ca.  $10^{\circ}\text{C}$  variatieGebied 2,  $T_{\max} = 23.9^{\circ}\text{C}$  op 28/08, ca.  $7^{\circ}\text{C}$  variatieGebied 3,  $T_{\max} = 25^{\circ}\text{C}$  op 16/09, ca.  $5^{\circ}\text{C}$  variatieGebied 4,  $T_{\max} = 23.9^{\circ}\text{C}$  op 28/08, ca.  $4^{\circ}\text{C}$  variatieGebied 5,  $T_{\max} = 24.2^{\circ}\text{C}$  op 25/07, ca.  $7^{\circ}\text{C}$  variatie

FIGUUR 4-3 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN PER GEBIED – ONDERBROKEN LIJNEN ZIJN LOCATIES ONDER GRAS EN LIJNEN ZIJN LOCATIES ONDER TEGELS

Er zijn duidelijke variaties per gebied. Gebied 1 is het warmste en gebied 2 en 4 zijn het koudst, Figuur 4-3. De variaties binnen de gebieden zijn niet voor alle gebieden even groot. In gebieden 1, 2 en 5, met metingen onder gras, zijn de maximale variaties tussen metingen het grootst: 7-10°C. In de gebieden 3 en 4, waar geen metingen in gras mogelijk waren, is het maximale verschil tussen locaties 4-5°C. Opvallend is dat in gebied 2 (G2-2) en 5 (G5-1) locaties in gras de maximale temperatuur tonen. De relatie bodembedekking en zonconditie wordt beschreven in §4.3 en §4.6. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat het percentage groen redelijk klein is t.o.v. de omgeving, Figuur 4-4. Locatie G2-2 is dichtbij het ziekenhuis waar waarschijnlijk ondergrondse infrastructuur aanwezig is die niet geïnventariseerd is in de GIS analyse. Locatie G5-1 is dichtbij de metro, het zwembad en stadsverwarmingsnet.

A) Locatie G2-2



B) Locatie G5-1



FIGUUR 4-4 LOCATIES ONDER GRAS MET OPVALLENDE WARME TEMPERATUREN

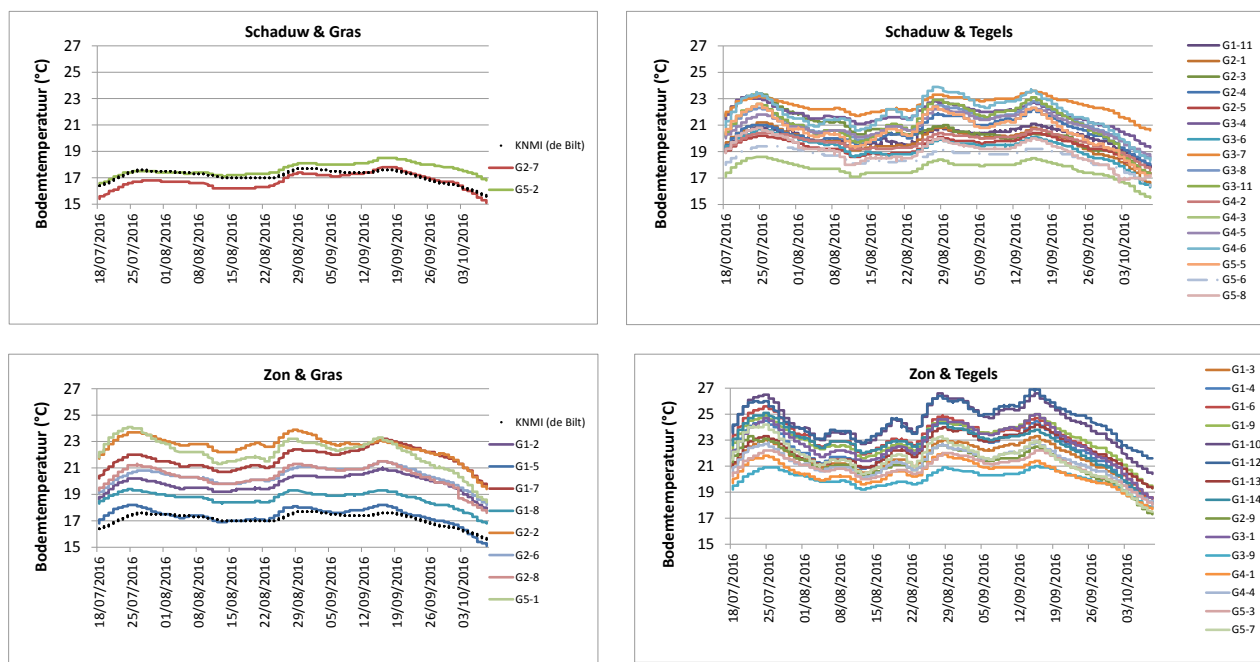
#### 4.3 Bodemtemperatuur onder invloed van bodembedekking en zonconditie (kwalitatief)

De locaties zijn geclusterd in vier groepen per bodembedekking en zonconditie (zon of schaduw). De zonconditie wordt bepaald aan de hand van de foto's en Google-Maps. Indien een locatie altijd in de zon is, is het gelabeld met 'Zon'; indien de locatie altijd of soms in de schaduw ligt is het gelabeld als 'schaduw'. Dit is later gekwantificeerd zie §4.6. Figuur 4-5 toont het overzicht van deze clusters. De figuren tonen dat in schaduw en onder gras de laagste temperaturen worden gemeten terwijl in zon en onder tegels de hoogste temperaturen worden gemeten. De bodemtemperatuurmetingen zijn ook vergeleken met bodemtemperatuurmetingen van het KNMI op -1m in de Bilt onder gras en in de zon (zwarte stippellijn). Opvallend is dat de locaties onder gras en in de schaduw in Rotterdam vergelijkbare temperaturen toonden.

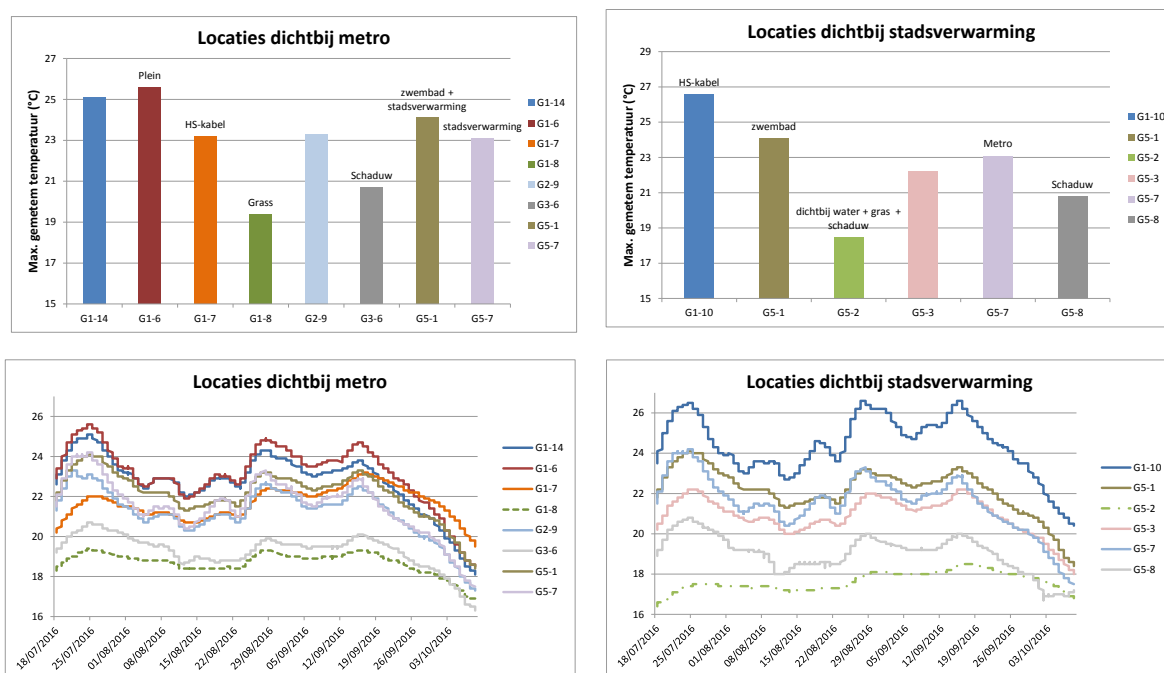
#### 4.4 Bodemtemperatuur onder invloed van meerdere warmtebronnen

Op een aantal locaties zijn meerdere warmtebronnen aanwezig. De Figuur 4-6 toont de maximale bodemtemperatuur voor een aantal locaties dichtbij metrolijnen en stadsverwarming. De relatie tussen de bronnen en de temperatuur is moeilijk te leggen, want er is onzekerheid over de exacte afstand tussen de meetlocatie en de bron (vooral door onzekerheid over de diepte van de bron) en de intensiteit van de bron. Er is geconstateerd dat in het algemeen op de locaties onder gras of met schaduw lagere maximale temperaturen worden geregistreerd.

Er waren slechts drie locaties waar grondwater aanwezig was tijdens de plaatsing van de thermometers: G1-2, G1-3 en G2-8. Deze locaties tonen geen lagere temperaturen dan andere locaties waar geen grondwater is geregistreerd. Er was één locatie met klei als bodemsoort: G2-7 en er waren 6 locaties met zand/klei: G1-2, G2-2, G2-6, G2-8 en G5-2 en G5-3 en verder dus 35 met zand. Er zijn geen grote afwijkingen geconstateerd t.o.v. de locaties met zand als bodemsoort.



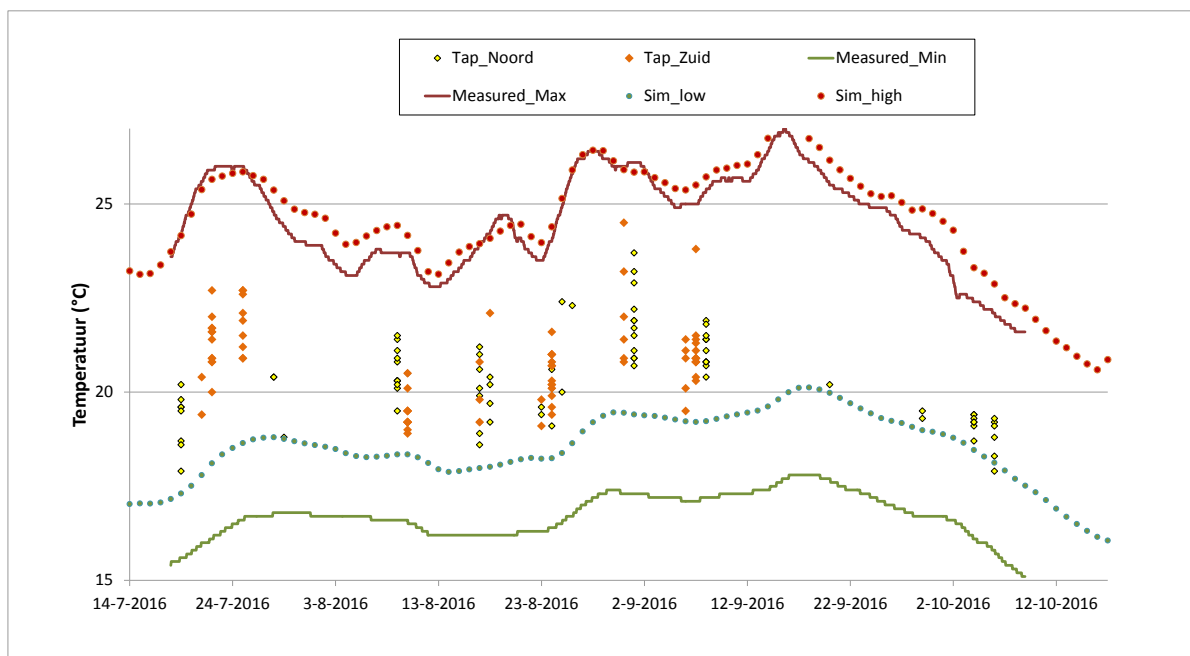
FIGUUR 4-5 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN GECLUSTERD PER BODEMBEDEKKING EN ZONCONDITIE. VOOR DE LOCATIES ONDER GRAS WERD OOK DE BODEMTEMPERATUUR DIE IN DE BILT GEREГИСТРЕERD WERD OOK OP EEN METER DIEPTE ONDER GRAS IN DE ZON.



FIGUUR 4-6 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VOOR LOCATIES DICHTBIJ METRO EN STADSVERWARMING.



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 4-7. 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 in 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 4-7 OVERZICHT VAN DE BODEMTEMPERATUURMETINGEN, BODEMTEMPERATUURSIMULATIES EN WATERTEMPERATUURMETINGEN AAN DE TAP.

#### 4.5 Locaties dichtbij hotspots uit watertemperatuurmetingen aan de tap

Dichtbij 10 meetlocaties (van de 42) zijn tapwaterhotspots geïdentificeerd (zie §3.1). Dichtbij kan betekenen tot ca. 50 meter afstand van het adres en dus is er slechts een indicatie van de temperatuur in dat gebied en niet per se op het gegeven adres. Uit de simulaties blijkt dat de maximale temperatuur in de gemiddelde stad 23,4 °C is en voor de hotspots in de stad 27,3 °C. Tabel 4-2 laat zien dat van de 10 adressen, 4 locaties gemiddeld hogere temperaturen hebben dan de gesimuleerde temperatuur voor de gemiddelde stad op die specifieke dag. Tijdens de gemonitorde periode zijn geen watertemperatuurmetingen uitgevoerd in of dichtbij deze locaties.

TABEL 4-2 OVERZICHT VAN DE MAXIMALE TEMPERatuur IN DE LOCATIES DICHTBIJ HOTSPOTS UIT WATERTEMPERATUURMETINGEN AAN DE TAP (IN ROOD TEMPERatuur HOGER DAN GEMIDDELDE)

| id    | HS - tapmonster      | Gemeten Max bodemtemp. (°C) |
|-------|----------------------|-----------------------------|
| G1-4  | Marconistraat 105    | 24,7                        |
| G1-12 | Galvanistraat 15     | 27                          |
| G2-6  | Parkhaven 22         | 21,5                        |
| G3-4  | Aert van Nesstraat 4 | 23,2                        |
| G3-7  | Oppert 17            | 23,6                        |
| G3-8  | Kruisstraat 2        | 22,3                        |
| G3-9  | Kruisstraat 2        | 21                          |
| G4-3  | Heer Bokelweg 125    | 18,5                        |
| G4-5  | Noordsingel 117      | 22,3                        |
| G4-6  | Zomerhofstraat 71    | 23,9                        |

#### 4.6 Statistische analyse van 14 september 2016

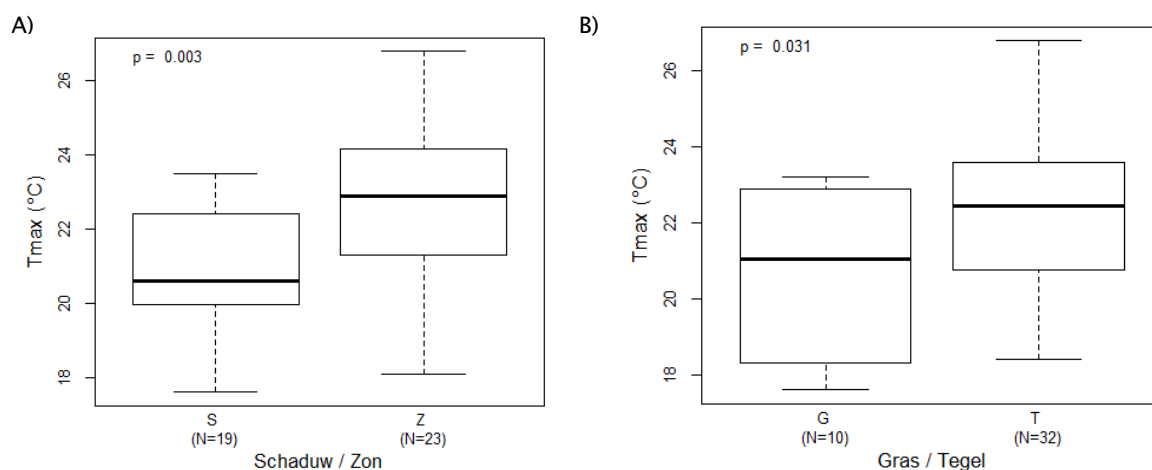
Zoals eerder benoemd varieert de dag met de maximale gemeten temperatuur per locatie. Daarom zijn de bodemtemperaturen van 14 september 2016 (als een dag met bijzonder hoge luchttemperaturen) geselecteerd om statistische relaties tussen de verschillende factoren te analyseren. De gemeten bodemtemperaturen zijn vergeleken met verscheidene factoren/variabelen. De sterkte van de relaties is statistisch getoetst (met t-test voor categorische variabelen ('*categorical variables*') met 2 factoren (bijv. Schaduw/Zon, Gras / Tegels, Hoogspanningskabels, Metro, stadsverwarming). Spearmans rangcorrelatie<sup>2</sup> is gebruikt voor categorische variabelen met meer dan 2 levels (d.w.z. aantal bronnen) en de correlatiecoëfficiënt (Pearson's correlation) voor continue variabelen (d.w.z. zonnestraling, afstand tot de dichtstbijzijnde bron).

Figuur 4-8 toont de resultaten voor de zonconditie en de bodembedekking. Zon en Tegels zijn significante factoren, met een p-waarde<sup>3</sup> < 0.05. De boxplot toont de mediaan, minimum en maximum en de 25 en 75 percentielen. De spreiding van de resultaten op locaties in de zon en onder tegels varieert tussen 18°C - 27°C. terwijl locaties in de schaduw of in gras altijd onder 24°C zijn.

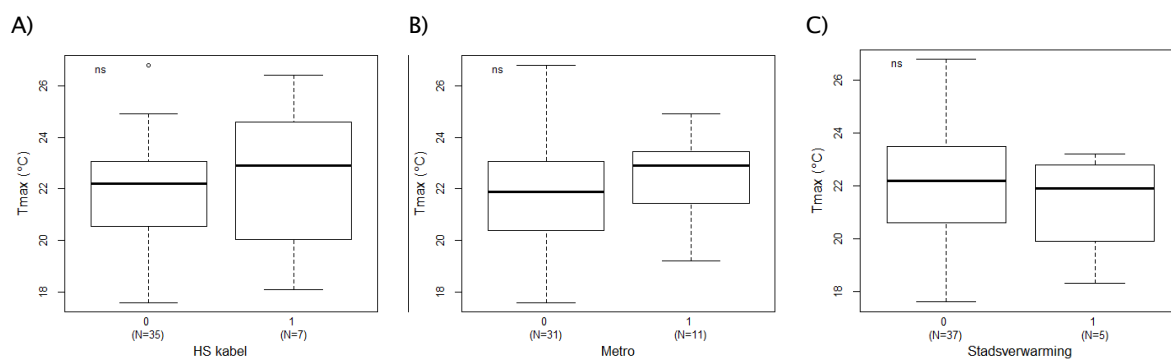
Figuur 4-9 (A-C) toont de relaties van de bodemtemperatuur met specifieke bronnen en met het aantal bronnen. De relatie met specifieke bronnen was niet significant (ns). Dit komt waarschijnlijk door het beperkte aantal metingen per bron, want zonconditie en bodembedekking hebben een sterkere verklarende waarde. Figuur 4-10A toont de relatie met het aantal bronnen.  $T_{max}$  is matig positief gecorreleerd met het aantal bronnen ( $\rho = ca. 0.3$ ). Deze relatie is wel significant en toonde dat: hoe meer warmtebronnen hoe warmer. Het maximaal aantal bronnen geïdentificeerd per locatie was 3. Hier kunnen wel 'fouten' ontstaan door het missen van bronnen die niet zijn geïdentificeerd. Daarna is een analyse uitgevoerd om de invloed van het gebied te evalueren.

<sup>2</sup> Spearmans rangcorrelatiecoëfficiënt, of kortweg Spearmans  $\rho$  (rho), is in de statistiek de correlatiecoëfficiënt gebaseerd op de rangnummers van de data in plaats van op de data zelf. Het is daarmee een verdelingsvrije maat voor correlatie, ook geschikt voor data die slechts op ordinale schaal gemeten zijn. Rho varieert tussen -1 (perfect negative correlation) en +1 (perfect positive correlation).

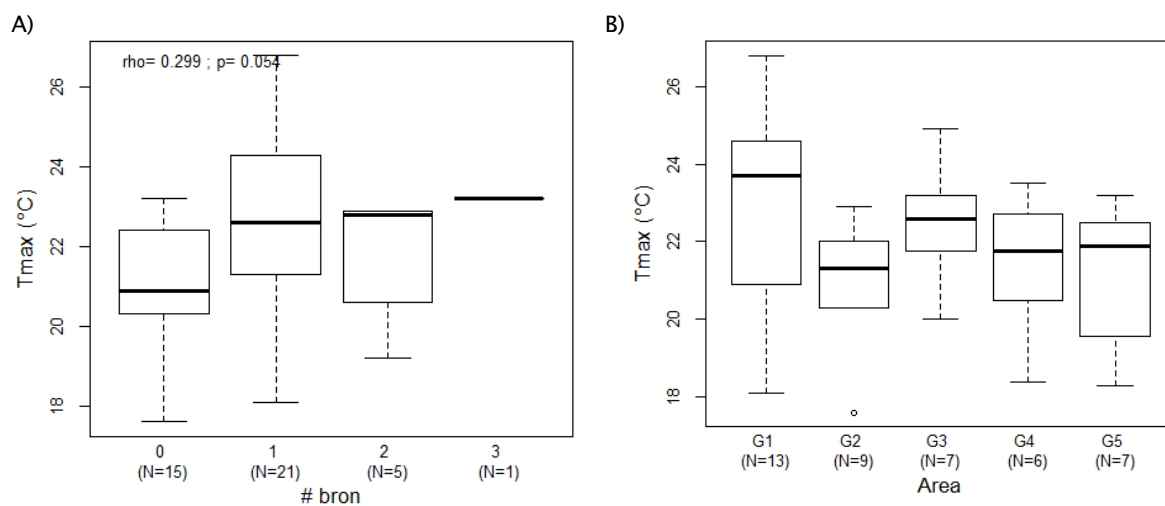
<sup>3</sup> In de praktijk worden waarden van 5% en 1% aangehouden als grens; is de p-waarde kleiner, dan spreekt men van een significante, resp. sterk significante uitkomst.



FIGUUR 4-8 BOX-WHISKER PLOT VOOR SCHADUW (S)/ZON (Z) EN GRAS (G)/TEGEL (T)



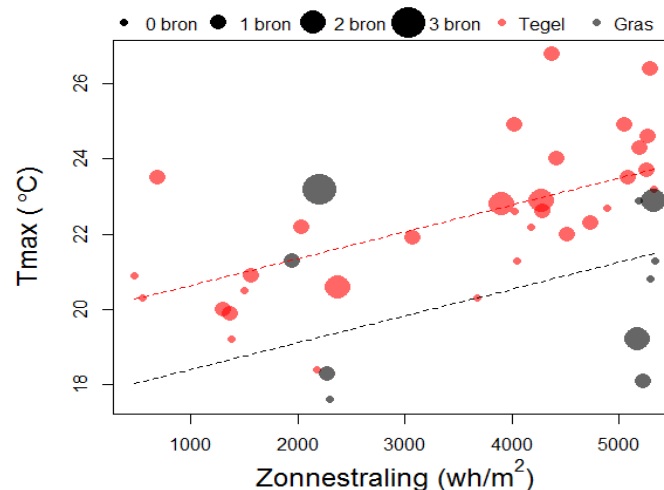
FIGUUR 4-9 RELATIES MET SPECIFIEKE BRONNEN 0: BRON NIET AANWEZIG, EN 1: BRON AANWEZIG. A) HOOGSPANNISKABEL, B) METRO EN C) STADVERWARMING. NS: NIET SIGNIFICANT



FIGUUR 4-10 RELATIE VAN DE BODEMTEMPERatuur MET A) HET AANTAL BRONNEN EN B) HET GEBIED

Figuur 4-10B toont de relatie van de bodemtemperatuur i.r.t. het gebied. Uit de analyse blijkt dat gebied 1 (G1) warmer is dan de andere. Dit komt mogelijk door geïdentificeerde - en diffuse bronnen. Dit gebied heeft ook weinig schaduw en weinig vegetatie.

Om de zonconditie nauwkeuriger te beschrijven is de zonnestralingsanalyse uit ArcGIS gebruikt om de zonnestraling ( $\text{Wh/m}^2$ ) per locatie te berekenen voor een zomerse dag (1 juli 2016) met een resolutie van  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ . Hierin is de schaduw van de gebouwen wel meegenomen, maar niet die van de bomen. Voor de locaties met bomen is de directe straling gecorrigeerd met een factor van 0,835. Figuur 4-11 toont de relatie van zonnestraling en bodemtemperatuur. De locaties zijn ingedeeld per bodembedekking, d.w.z. in rood locaties onder tegels en in zwart onder gras. In het algemeen waren de locaties onder gras ca.  $2^\circ\text{C}$  kouder dan locaties onder tegels (afstand tussen de twee lijnen). Verder geeft de grootte van de cirkel het aantal bronnen aan. De stippellijnen geven de lineaire fit weer voor locaties onder tegels en gras. Uit de vergelijking van de twee stippenlijnen blijkt dat meetpunten onder tegels ca.  $2^\circ$  warmer zijn dan meetpunten onder gras.

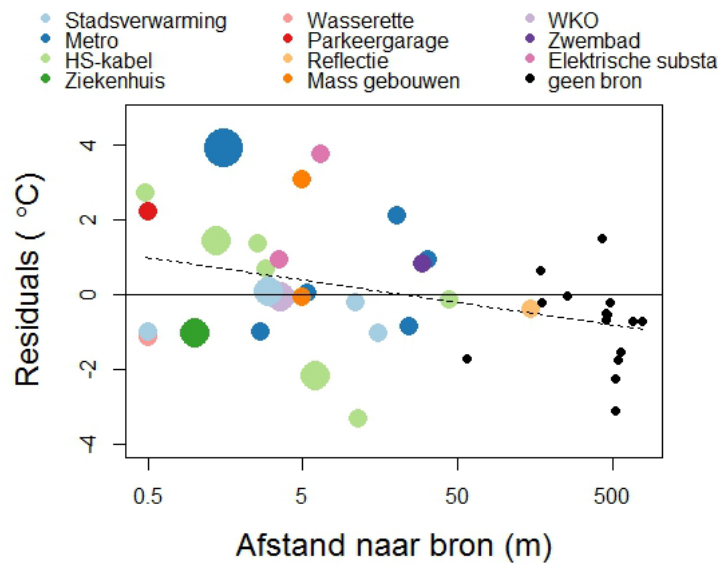


FIGUUR 4-11 A) RELATIE TUSSEN ZONNESTRALING EN  $T_{\text{max}}$  VOOR TWEE TYPES BODEMBEDEKKING: TEGELS (IN ROOD) EN GRAS (IN ZWART). DE GROOTTE VAN DE CIRKEL GEEFT HET AANTAL BRONNEN AAN. DE STIPPELLIJNEN GEVEN DE LINEAIRE FITTING WEER.

Additioneel is gekeken naar de (horizontale) afstand tot de geïdentificeerde bronnen. Voor locaties met meerdere bronnen is de afstand naar de meeste nabije bron gebruikt. Figuur 4-12 toont de relatie met afstand tot de bron en het aantal bronnen. Het regressiemodel is niet erg sterk: de afstand tot de bronnen verklaart 15% van de variatie (d.w.z.  $R^2 = 0,15$ ), maar de verhouding temperatuur – afstand tot de bron is wel statistisch significant ( $p = 0,01$  F-test). Dus, met dit regressiemodel, kun je zeggen dat de onverklaarde variatie van  $T_{\text{max}}$  (door tegels / gras en zonnestraling) negatief is gecorreleerd aan de kortste afstand tot de bronnen. Met andere woorden, hoe korter de afstand tot de dichtstbijzijnde bron, hoe hoger  $T_{\text{max}}$  is. De stippellijn geeft de lineaire fitting weer. Als de afstand tussen de meetlocatie en de meest nabije bron groter is dan 50m dan is het label 'geen bron' gebruikt, behalve voor reflectie van gebouwen. Voor reflectie is de aanname 150m.

Het nadeel van het gebruik van enkel de afstand naar de bron is dat het aggregatie-effect van bronnen en de eigenschappen per type bronnen niet worden meegenomen. De bronnen

kunnen onderverdeeld worden in punt-, lijn- en of diffuse bronnen. Elk type heeft zijn eigenschappen en heeft een andere invloed op de bodemtemperatuur. Indicatoren zijn nodig om de dichtheid van de bronnen beter in kaart te brengen.



FIGUUR 4-12 RELATIE TUSSEN OPWARMING EN DE AFSTAND TOT DE DICTSTBIJZIJNDE BRON. DE GROOTTE VAN DE CIRKEL GEEFT HET AANTAL BRONNEN AAN. ZWARTE MARKERS GEVEN AAN LOCATIES ZONDER ANTROPOGENE BRONEN. DE STIPPELIJNEN GEEFT DE LINEAIRE FITTING WEER. GEEN BRON BETEKEN: GEEN BRON IN EEN RADIUS VAN 50M (BEHALVE VOOR HET GEVAL VAN REFLECTIE, AANNAME IS 150M).

## 5 Discussie van de aanpak en resultaten

### 5.1 Algemene discussie van de aanpak

De verschillende gebruikte methodes vullen elkaar goed aan. Simulaties en metingen van de bodemtemperatuur tonen lokale ondergrondse hittestress aan. De metingen valideren het bodemtemperatuurmodel en dit betekent dat de bodemtemperatuur goed kan worden voorspeld m.b.v. meteorologische (KNMI-)data. GIS-analyses geven inzicht in het aantal antropogene bronnen en hun locaties. Door een geo-spatiale analyse van de watertemperatuurmetingen aan de tap, werd duidelijk dat er grote lokale variaties in temperatuur kunnen zijn. Om het bodemtemperatuurprofiel te begrijpen en te beschrijven is een combinatie van methoden nodig: bodemtemperatuursimulaties, GIS-analyse en metingen. Uit de analyse bleek dat random metingen aan de tap niet geschikt zijn om de hotspots te lokaliseren. Een meer gerichte selectie van de locaties kan wel de bodemtemperatuurmetingen en simulaties valideren. Tabel 5-1 toont een overzicht van eigenschappen van de verschillende methoden. Met het gekalibreerde model kunnen toekomstige scenario's en een aantal maatregelen gekwantificeerd worden.

TABEL 5-1 OVERZICHT VAN EIGENSCHAPPEN VAN DE VERSCHILLENDE METHODEN

| Watertemperatuurmetingen aan de tap                 | Bodemtemperatuurmetingen op -1.0m                         | Bodemtemperatuursimulaties                                                                            |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Werkelijke watertemperatuur                         | Werkelijke bodemtemperatuur                               | Goede schatting van de temperatuur voor een gebied op verschillende dieptes                           |
| Één momentopname                                    | Continue metingen (hangt van meetopstelling af)           | Continue gegevens voor meerdere jaren                                                                 |
| Niet op hotspots gericht, random locaties           | Nodig om het model te valideren voor een specifiek gebied | Historische bodemtemperatuur                                                                          |
| De hoogste temperatuurpieken (kunnen) worden gemist | Arbeidsintensieve methode                                 | Mogelijkheid om voorspellingen te maken op korte of lange termijn gebaseerd op weersvoorspellingen    |
|                                                     | Niet op alle locaties kan worden gemeten                  | Continue beschrijving van de bodemtemperatuur                                                         |
|                                                     |                                                           | Maximum temperatuur kan worden geschat                                                                |
|                                                     |                                                           | Scenario's kunnen geanalyseerd worden, bv. om het effect van maatregelen te evalueren (kwantificeren) |

### 5.2 Algemene discussie van de resultaten

In drukke stedelijke gebieden, met veel ondergrondse infrastructuur, kunnen verscheidene warmtebronnen bij het bepalen van maatregelen om stedelijke hittestress te voorkomen buiten beschouwing worden gelaten. De metingen van de bodemtemperatuur bevestigen de resultaten van eerder onderzoek, nl. dat alleen in specifieke locaties maatregelen nodig zijn.



Waterbedrijven willen (en kunnen) zich voorbereiden op klimaatverandering. Er wordt een toename van de bodemtemperatuur verwacht en daarmee een hogere drinkwatertemperatuur. Niet alleen klimaatverandering speelt een rol, maar ook antropogene warmtebronnen dragen bij en kunnen in sommige locaties hotspots veroorzaken.

In dit onderzoek zijn in de stad duidelijke 'cold'- en 'hotspots' gevonden. Tijdens de meetperiode is een maximaal verschil van 10°C gemeten tussen de verschillende locaties. 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. 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. Het is nodig gegevens te verzamelen over de diepte en de intensiteit van de bronnen om een meer gedetailleerde kwantitatieve analyse uit te voeren en het effect van maatregelen te kunnen kwantificeren. Aanbevolen wordt om in de GIS-bestanden warmtebronnen te identificeren en additionele indicatoren te ontwikkelen voor het karakteriseren van de verschillende type bronnen om gebieden beter te kunnen onderscheiden, gebaseerd op de beschikbare GIS-informatie.

Stedelijke condities kunnen heel lokaal variëren, denk aan locaties in de schaduw en in de zon, maar ook in 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 of diffuse bronnen. Elke type heeft zijn eigen eigenschappen en heeft een andere invloed op de bodemtemperatuur. Deze informatie kan ook tijdens de planningsfase voor de installatie / vervanging van nieuwe leidingen worden gebruikt om de locatie en diepte te bepalen, rekening houdend met de bestaande stedelijke infrastructuur en de mogelijke toename van de temperatuur als gevolg van klimaatverandering.

## 6 Discussie: klimaatveranderingen, hotspots en drinkwaterkwaliteit

### 6.1 Drinkwatertemperatuur en drinkwaterkwaliteit

Het is niet goed te traceren waar de temperatuureis van 25°C 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, al is dit niet verder onderbouwd. De temperatuur van het drinkwater is één van de factoren die van invloed kunnen zijn op de microbiologie in het distributiesysteem en daardoor een rol spelen bij eventuele nagroeiproblemen, zoals groei van opportunistische ziekteverwekkers zoals *Legionella pneumophila*. Daarnaast kunnen temperatuurverhogingen een invloed hebben op de wettelijke parameters *Aeromonas* en KG22 (Blokker et al. 2017). Naast de invloed op micro-organismen zijn er ook esthetische aspecten. Water met een hogere temperatuur (> 25 °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).

Het compagnon rapport BTO.2017.204(s) (Bel 2017) bevat het literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater. Gerapporteerde (optimale) groeitemperatuur van *Legionella pneumophila*, *Legionella anisa*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus Fumigatus* en *Stenotrophomonas maltophilia* is in kaart gebracht. Deze opportunistische ziekteverwekkers komen niet of in klein deel van 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. De drinkwaterbedrijven onderschrijven echter het voorzorgprincipe en doen daarom aanvullend onderzoek naar dit onderwerp.

### 6.2 Gevolgen van klimaatverandering op bodemtemperatuur en op het distributiesysteem

De bodemtemperatuurmodellen, gebaseerd op de metingen, tonen aan dat er in een warmere periode locaties in de stad zijn die de temperatuurnorm voor drinkwater kunnen overschrijden. Dit heeft als gevolg dat klanten minder fris water krijgen, maar ook dat opportunistische pathogenen kunnen profiteren van deze gunstige temperaturen om te groeien. Verder blijkt uit de simulaties van de hotspots voor meerdere jaren (Figuur 3-3) dat in de hotspots de bodemtemperatuur op 1 m diepte tussen juni en september boven 14°C is. Om het werkelijke risico te evalueren is meer onderzoek nodig. Agudelo-Vera et al. (2015) toonden, m.b.v. 2006 KNMI-scenario's, aan dat in het meest extreme klimaatscenario (W+), in een warm jaar, rond 2050, in de stedelijke hotspots de drinkwatertemperatuur gedurende ruim 2 maanden boven de 25°C uitkomt en gedurende meer dan 7 dagen boven de 28°C. Onder het klimaatscenario "W+" is er mogelijk dus een risico op groei van *L. pneumophila* in het distributiesysteem op hotspotlocaties. Van andere organismen is de invloed van de watertemperatuur op de groei op dit moment minder goed bekend. Onderzoek zal alleen gedaan worden voor organismen die in het drinkwater kunnen voorkomen en die ook tot infecties kunnen leiden bij de mens.

### 6.3 Maatregelen: effect, belang en betrokkenen

Uit de metingen bleek dat ca. 2 graden reductie in de bodemtemperatuur optreedt door andere bodemdekking: gras i.p.v. tegels. Dit laat zien dat verdamping een beperkt effect heeft. Het effect van gedeeltelijke schaduw is nog te kwantificeren: de koudste locatie was een combinatie van gras, klei en schaduw en geen antropogene bron. Schaduw vermindert de directe straling op het oppervlak, op locaties kunnen één of meerdere antropogene bronnen mede de oorzaak zijn van hittestress. Voor de kritische hotspots is waarschijnlijk een combinatie van maatregelen nodig.

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, configuratie van het net, extra spuien) zijn niet effectief. Lokale oplossingen zijn (meestal) 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. Effectieve maatregelen zijn verder ook: bij tracé keuze zon/schaduw effecten meenemen, het (hele) leidingnet dieper leggen, vegetatie toepassen of leidingen in klei in plaats van zand leggen. Niet alle effectieve maatregelen zijn even praktisch uitvoerbaar.

De bodemtemperatuur in stedelijke gebieden is belangrijk voor verschillende aspecten; b.v. om infrastructuurprestaties te voorspellen, zoals duurzaamheid van bestrating (Diefenderfer et al. 2006), efficiëntie van gekoppelde warmtepompen (Garcia Gonzalez et al. 2012) of warmtenetwerken (De Pasquale et al. 2017) en voor het bepalen van de drinkwatertemperatuur (Blokker en Pieterse-Quirijns 2013). Het inrichten van een klimaatbestendig drinkwaternet vereist een integrale oplossing, inclusief het herinrichten van (delen van) de stad. Beheerders van één specifieke infrastructuur kunnen niet de vereiste maatregelen implementeren die vaak bij stedelijke planning zijn betrokken, denk aan meer groen in de stad of maatregelen om water in de stad vast te houden of het beheer van de ondiepe ondergrond. Voor de implementatie van veel maatregelen is samenwerking vereist met diverse actoren zoals (verschillende afdelingen binnen een) gemeente, netwerkbeheerders en bedrijven. Wanneer waterbedrijven coalities vormen met de gemeentes en andere infrastructuurbeheerders kunnen gezamenlijk ambities worden gedefinieerd en vastgelegd in een integraal plan voor het beheren van de ondergrondse hittestress.

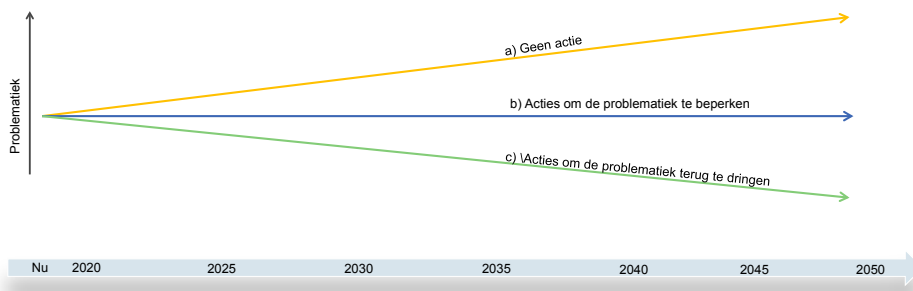
### 6.4 Urgentie

In de afgelopen jaren is slechts een enkele keer een tapkraanmonster van boven de 25°C gemeten. Dit onderzoek toont aan dat er naar alle waarschijnlijkheid locaties in de stad zijn waar tijdens warme zomers en herfst de tapwatertemperatuur boven de 25 graden uit kan komen, maar daar is (toevallig) niet gemeten. In de komende decennia zal de bodemtemperatuur door klimaatverandering en toenemende antropogene warmtebronnen verder stijgen. Verwacht wordt dat overschrijding van de temperatuureis zal toenemen, indien geen maatregelen worden genomen. Omdat klimaatverandering een geleidelijk proces is en de opwarming t.g.v. nieuwe antropogene warmtebronnen, zoals ondergrondse hoogspanningskabels of warmtenetten, ook verspreid over een aantal jaren zal plaatsvinden, is er tijd om maatregelen te nemen. Niettemin zal het een aantal jaren/decennia duren om maatregelen te implementeren en een impact te bewerkstelligen. Kortetermijnmaatregelen, zoals spuien of lokaal koelen, werken niet. Maatregelen die een grotere impact hebben,

vergen een langere termijn, zoals het herinrichten van de stad met meer groen of het vasthouden van water.

Het bouwen en/of aanleggen van (ondergrondse) infrastructuur heeft een zogenaamde “Padafhankelijkheid”<sup>4</sup>. Dus beslissingen van vandaag bepalen de bodemtemperatuur in de toekomst. Onzekerheden over de toekomst spelen ook een rol. In de komende decennia zal een energietransitie in Nederland plaatsvinden. Dit zal invloed hebben op de stedelijke (ondergrondse) infrastructuur, met meer laadpalen voor elektrische auto’s, het verdwijnen van het gasnet en een toenemend aantal warmtenetwerken. Door nieuwe infrastructuur kunnen meer hotspots in de stad ontstaan.

Klimaatbestendigheid eist een langetermijnbeleid. Kennis over de oorzaken en mogelijke maatregelen kan helpen om de maatregelen te faseren en te koppelen aan reguliere onderhouds- en renovatieactiviteiten om tijd en kosten te besparen, bijvoorbeeld bij aanleg van nieuwe netten of renovatie van netten. Steden zijn continu aan het vernieuwen / veranderen. Deze transitie bieden kansen aan de gemeente om de stad her in te richten met als doel een klimaatbestendige stad. Deze transitie treden op in tijdschalen van decennia. Daarom is het belangrijk om nu maatregelen door te voeren om een klimaatbestendige stad in 2030 of 2050 te bereiken, Figuur 6-1. Intussen is letten op de drinkwatertemperatuur in de DWDS een noodzaak om drinkwaterkwaliteitsproblemen tijdens hittegolven te voorkomen, vooral in de hotspots, bv. door het voorspellen van de bodemtemperatuur op basis van weersvoorspelling van het KNMI.



FIGUUR 6-1 SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN DE TOEKOMSTIGE SITUATIE

Om effect te verkrijgen in 2050 is het nodig om op korte termijn te beginnen met het doorvoeren van maatregelen en dus is nu kennis nodig. Er is wel urgentie om een aantal vragen te beantwoorden zoals, bv. wat is de minimale afstand tot bepaalde bronnen? en/of welke maatregelen leveren het meeste effect? Gezien de aankomende energietransitie (bv. meer warmtenetten en hoogspanningskabels uit windmolenparken (op zee)) die plaats zal vinden op de korte termijn, is deze kennis nodig om de stedelijke ondergrond te beheren.

<sup>4</sup> Padafhankelijkheid is het proces waarbij gebeurtenissen of keuzes uit het verleden van invloed zijn op de loop van latere ontwikkelingen, vooral doordat bepaalde keuzemogelijkheden moeilijk of uitgesloten zijn.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Anno 2017 is er ondergrondse hittestress geconstateerd bij locaties in de stad, in de zogenaamde 'hotspots'. De belangrijkste oorzaken van de hotspots zijn zonconditie, bodembedekking en antropogene warmtebronnen. Indien er geen maatregelen worden geïmplementeerd zal, door klimaatverandering en toenemende drukte in de stedelijke ondergrond (o.a. antropogene warmtebronnen), de hittestress toenemen. Met dit onderzoek zijn de bodemtemperatuursimulaties gevalideerd. Hierdoor is de uitslag van de simulaties sterker geworden. Deze bodemtemperatuursimulaties lieten al zien dat voor de gemiddelde stad ook in het W+ KNMI-scenario de bodemtemperatuur boven de 25°C kan uitkomen. Dus zijn maatregelen om de bodemtemperatuur te beheren zeker een aandachtspunt voor drinkwaterbedrijven.

Een klimaatbestendig drinkwaternet vereist een integrale oplossing, inclusief het herinrichten van (delen van) de stad. Door het in kaart brengen van de antropogene warmtebronnen en hun eigenschappen, ondersteund met bodemtemperatuursimulaties, kunnen gerichte maatregelen worden geselecteerd. Om het aantal en de intensiteit van de hotspots te verminderen, zijn samenwerking en strategische bondgenootschappen met andere partijen, zoals andere infrastructuurbeheerders, gemeentes en waterschappen, fundamenteel. Bodemtemperatuurbeheer is niet alleen belangrijk voor drinkwater, maar ook voor de prestatie van andere infrastructuren. Het BTO-onderzoek richt zich in 2017 op het kwantificeren van het effect van de belangrijkste maatregelen en hoe plannen voor adaptatie en de saneringsbehoefte kunnen worden afgestemd.

### 7.2 Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Om de stedelijke ondergrond te beheren is het belangrijk om de warmte-emissies per bron verder te onderzoeken. Aanbevolen wordt methode(s) vast te stellen om het effect van elk type bron (punt, lijn, diffuse) voor toekomstig onderzoek te kwantificeren, bv. een twee-dimensioneel model om het thermisch profiel van de grond te bepalen. Aandacht moet ook worden gegeven aan de aanwezigheid van meerdere bronnen.

Een twee-dimensioneel model kan het beantwoorden van de volgende vragen ondersteunen:

- wat is de minimale afstand tot bepaalde bron(nen)? Om een richtlijn over minimale afstand van bronnen tot waterleiding i.c.m. maximale afgifte warmtebron op te stellen.
- welke maatregelen leveren het meeste effect op?

De hotspots kunnen lokaal of langs andere infrastructuur optreden. Er wordt aanbevolen om prioriteit te geven aan antropogene lijnbronnen, zoals stadsverwarming of hoogspanningskabels, die zich in de ondergrond bevinden en vaak naast / parallel aan drinkwaterleidingen.

### 7.3 Aanbevelingen voor drinkwaterbedrijven

Zonconditie en bodembedekking zijn de twee meest bepalende factoren voor het optreden van hotspots, gevolgd door de aanwezigheid van antropogene warmtebronnen, zoals hoogspanningskabels, warmtenetwerken en elektrische sub-stations. Aanbevolen wordt om tijdens de planningsfase van (nieuwe ) leidingen:

- voorkeur te geven aan het installeren van de waterleidingen aan de schaduwkant van de straat;
- zodra geen minimaal benodigde afstand tussen bronnen en waterleidingen bekend is, afstand te houden tussen de waterleiding en ondergrondse warmtebronnen, zoals warmtenetwerken en hoogspanningskabels, en bovengrondse bronnen zoals elektrische verdeelsubstations. Hier heeft een waterbedrijf weinig directe invloed op. Waterbedrijven kunnen hier wel met ondergrondbeheerder en andere netbeheerders betere afspraken over maken.

## 8 Referenties

- 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. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.012.
- Bel, N. (2017). Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater.BTO.2017.024.
- Benz, S. A., P. Bayer, K. Menberg, S. Jung en P. Blum (2015). "Spatial resolution of anthropogenic heat fluxes into urban aquifers." Science of the Total Environment **524-525(0)**: 427-439.
- 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., A. Moerman en C. M. Agudelo-Vera (2017). Drinkwatertemperatuur, bedreigingen en kansen. TVVL: 16-18.
- 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.
- 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 bruinwaterrisico. Nieuwegein, KWR.KWR 2015.091.
- De Pasquale, A. M., A. Giostri, M. C. Romano, P. Chiesa, T. Demeco en S. Tani (2017). "District heating by drinking water heat pump: Modelling en energy analysis of a case study in the city of Milan." Energy **118**: 246-263.
- Diefenderfer, B. K., I. L. Al-Qadi en S. D. Diefenderfer (2006). "Model to predict pavement temperature profile: Development en validation." Journal of Transportation Engineering **132(2)**: 162-167.
- Drinkwaterbesluit. (2011). "Drinkwaterbesluit." 2013, from [http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/geldigheidsdatum\\_25-02-2013](http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/geldigheidsdatum_25-02-2013).
- Garcia Gonzalez, R., A. Verhoef, P. L. Vidale, B. Main, G. Gan en Y. Wu (2012). "Interactions between the physical soil environment en a horizontal ground coupled heat pump, for a domestic site in the UK." Renewable Energy **44**: 141-153.



Grimmond, C. S. B., M. Blackett, M. J. Best, J. Barlow, J. J. Baik, S. E. Belcher, S. I. Bohnenstengel, I. Calmet, F. Chen, A. Dandou, K. Fortuniak, M. L. Gouvea, R. Hamdi, M. Hendry, T. Kawai, Y. Kawamoto, H. Kondo, E. S. Kravenhoff, S. H. Lee, T. Loidan, A. Martilli, V. Masson, S. Miao, K. Oleson, G. Pigeon, A. Porson, Y. H. Ryu, F. Salamanca, L. Shashua-Bar, G. J. Steeneveld, M. Tombrou, J. Voogt, D. Young en N. Zhang (2010a). "The international urban energy balance models comparison project: First results from phase 1." Journal of Applied Meteorology en Climatology **49**(6): 1268-1292.

Grimmond, C. S. B., M. Roth, T. R. Oke, Y. C. Au, M. Best, R. Betts, G. Carmichael, H. Cleugh, W. Dabberdt, R. Emmanuel, E. Freitas, K. Fortuniak, S. Hanna, P. Klein, L. S. Kalkstein, C. H. Liu, A. Nickson, D. Pearlmutter, D. Sailor en J. Voogt (2010b). Climate en more sustainable cities: Climate information for improved planning en management of cities (Producers/Capabilities Perspective).

Menberg, K., P. Bayer, K. Zosseder, S. Rumohr en P. Blum (2013a). "Subsurface urban heat islands in German cities." Science of the Total Environment **442**: 123-133.

Menberg, K., P. Blum, B. L. Kurylyk en P. Bayer (2014). "Observed groundwater temperature response to recent climate change." Hydrology en Earth System Sciences **18**(11): 4453-4466.

Menberg, K., P. Blum, A. Schaffitel en P. Bayer (2013b). "Long-term evolution of anthropogenic heat fluxes into a subsurface urban heat island." Environmental Science en Technology **47**(17): 9747-9755.

Moerman, A., E. J. M. Blokker en J. Vreeburg (2014). Het opwarmen van drinkwater in woninginstallaties. H2O.

Müller, N., W. Kuttler en A.-B. Barlag (2014). "Analysis of the subsurface urban heat island in Oberhausen, Germany " Climate research **58**: 247-256.

Revesz, A., I. Chaer, J. Thompson, M. Mavroulidou, M. Gunn en G. Maidment (2016). "Ground source heat pumps en their interactions with underground railway tunnels in an urban environment: A review." Applied Thermal Engineering **93**: 147-154.

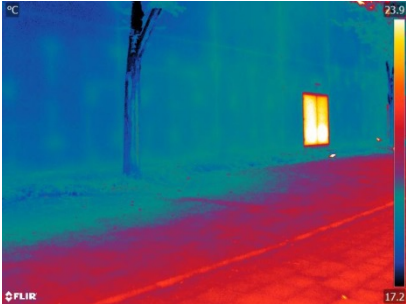
## Bijlage I Data overzicht – GIS analyse

TABEL 8-1 DATAOVERZICHT EN BRONEN

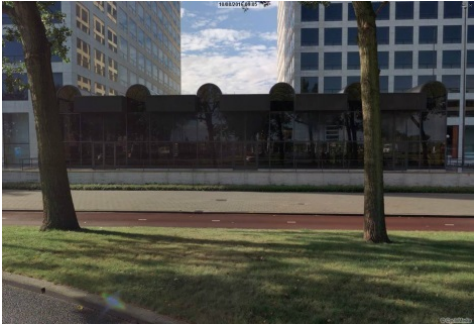
| vermoedelijke oorzaken van hotspots                                                             | Databron (jaar)                              | Link  | Uitgever / Eigenaar            | Data type               | Openbaar (Ja/Nee)                 | Omvang van analysis       | Opmerking                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Boven maaiveld:</b>                                                                          |                                              |       |                                |                         |                                   |                           |                                                                                 |
| Volle zon/geen of weinig schaduw (stoep en asfaltwegen) ('Solar Radiation analysis' met ArcGIS) | Gebouw hoogte t.o.v. maaiveld (2014)         |       | Gemeente Rotterdam             | Vector (shapefile)      | Ja                                | Rotterdam Noord           | Geen gegevens voor 'Bedrijvenpark Rotterdam Noord-West'                         |
|                                                                                                 | Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2; 2013) | [1]   | RWS, provincies, waterschappen | Raster (TIF, 1 m x 1 m) | Ja                                | Rotterdam                 |                                                                                 |
| Hoge dichtheid en reflectie van gebouwen                                                        |                                              |       |                                |                         |                                   |                           |                                                                                 |
| Restwarmte uit speciale gebouwen: zwembaden, koelhuizen + ICT                                   | Zwembaden (2016) & koelhuizen                | [2]   | SIZO                           | Vector (XY coörd.)      | Nee €0.54/loc.                    | Rotterdam                 |                                                                                 |
|                                                                                                 | ICT                                          | [3,4] | RVO                            | Vector (XY coörd.)      | Ja                                | Rotterdam                 |                                                                                 |
| <b>Onder maaiveld:</b>                                                                          |                                              |       |                                |                         |                                   |                           |                                                                                 |
| (oude) warmtenetten                                                                             | % van aangesloten woningen per buurt (2012)  | [5]   | RVO                            | Vector (shapefile)      | Ja                                | Rotterdam                 |                                                                                 |
|                                                                                                 | aanleg van warmte leidingen                  | [6]   | Kadaster                       | png                     | Nee. €21.5/ polygoon (2.5x2.5 km) | (mogelijk) hele Rotterdam | Gegevens van Kralingen zijn aangevraagd op 20160428.                            |
| Hoogspanningskabels                                                                             | HoogspanningsNet Netkaart V5.0               | [7]   | HoogspanningsNet               | kmz                     | Ja                                | Rotterdam                 | Alleen ondergrondse kabels zijn geselecteerd                                    |
| Kelders/Parkeergarage                                                                           |                                              |       |                                |                         |                                   |                           | Parkeergarage data is beschikbaar, maar geen scheiding tussen boven-/ondergrond |
| Tunnels (Metrolijn)                                                                             | OpenStreetMap (gedownload op 17-maart 17)    | [8]   | OpenStreetMap                  | Vector (shapefile)      | Ja                                | Rotterdam                 | Alleen ondergrondse deels zijn geselecteerd (met informatie van RET)            |
| Riolering                                                                                       | (2015?)                                      |       | Gemeente Rotterdam             | Vector (Sufhyd)         | Ja                                | Rotterdam                 |                                                                                 |
| WKO's en andere warme ondergrondse infra.                                                       |                                              |       |                                |                         |                                   |                           | Wachten op respons van Charles vd Pijl (ODH)                                    |

[1] <http://pdokviewer.pdok.nl>, [2] <https://www.sizohandelsregister.nl> [3] <http://agentschapnl.kaartenbalie.nl> [4] <https://maps.google.com>, [5] <http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/>, [6] <https://www.kadaster.nl>, [7] <http://www.hoogspanningsnet.com/google-earth/standaardnetkaart/>, [8] <http://www.geofabrik.de/>

## Bijlage II Thermische foto's

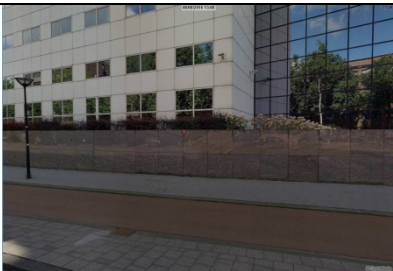
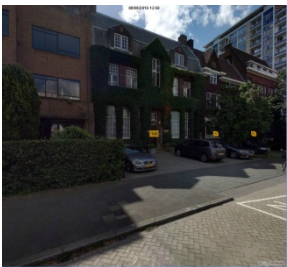
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Zwembad                                                                             |                                                                                      |
|    |    |
| Elektrisch substation                                                               |                                                                                      |
|   |   |
| Ondergrondse hoogspanningskabels                                                    |                                                                                      |
|  |  |
| Oplaadpalen                                                                         | Vervoer (auto's en tram)                                                             |
|  |  |

## Bijlage III Foto's van de locaties

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| G1-1 Marconistraat achterkant Galvanistraat 15.                                     | G1-2 Galileistraat hoek Keileweg                                                     |
|    |    |
| G1-3 Galileistraat hoek Keileweg                                                    | G1-4 Marconistraat 105                                                               |
|   |   |
| G1-5 Marconistraat 105                                                              | G1-6 Marconiplein 22                                                                 |
|  |  |



|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| G1-7 Spaanse Bocht 134                                                              | G1-8 Spaanse Bocht 134                                                               |
|    |    |
| G1-9 Marconistraat 33                                                               | G1-10 Marconistraat 33.JPG                                                           |
|   |   |
| G1-11 Baardsestraat 13.                                                             | G1-12 Galvanistraat 15                                                               |
|  |  |
| G1-13 Galvanistraat 15.                                                             | G1-14 Schiedamseweg 280                                                              |
|  |  |

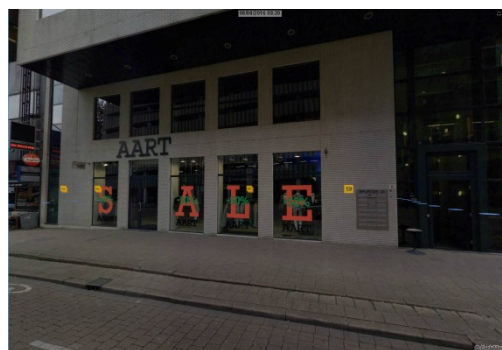
|                                                                                                                                           |                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>G2-1 Rochussenstraat 34</b><br>                       | <b>G2-2 Westzeedijk 345</b><br>                 |
| <b>G2-3 Westzeedijk 140</b><br>                          | <b>G2-4 Nieuwe Binnenweg 205</b><br>            |
| <b>G2-5 Nieuwe Binnenweg 200</b><br>                    | <b>G2-6 Parkhaven 22</b><br>                   |
| <b>G2-7 Parkhaven 22 Park</b><br>                      | <b>G2-8 Museumpark 32 (parkeergarage)</b><br> |
| <b>G2-9 Rochussenstraat 85 hoek Breitnerstraat</b><br> |                                                                                                                                   |



G3-1 Blaak 329 hoek Keizerstraat



G3-4 Aert van Nesstraat 25



G3-6 Blaak 40



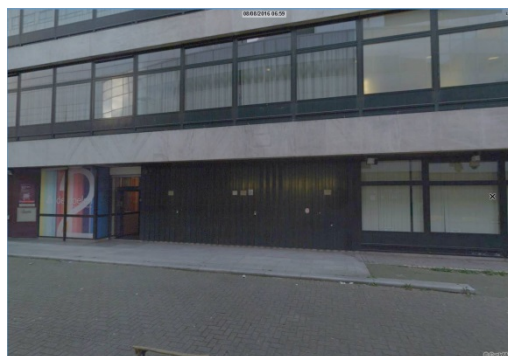
G3-7 Oppert 17



G3-8 Kruisplein 26



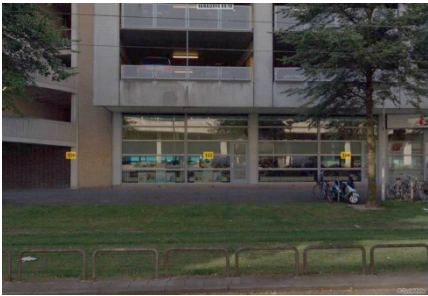
G3-9 Kruisstraat 2 to 13



G3-11 Delftse Poort Stationsplein 25





|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| G4-1 Heer Bokelweg hoek Almondestraat                                               | G4-2 Heer Bokelweg 100                                                               |
|    |    |
| G4-3 Heer Bokelweg 10                                                               | G4-4 Noordsingel 1                                                                   |
|    |   |
| G4-5 Noordsingel 117                                                                | G4-6 Zomerhofstraat 71                                                               |
|  |  |

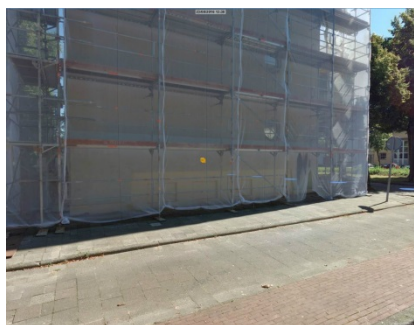
G5-1 Slaak 15



G5-2 Vredenoordkade plantsoen



G5-3 Vredenoordkade thv 137



G5-4 Gerdesiaweg 482 zwembad



G5-5 Hoge Boezem 17



G5-6 Vredenoordlaan 58



G5-7 Witte Hertstraat 1



## Bijlage IV Overzicht van de 42 locaties

| id    | Zon conditie<br>Z/S | Bodembedekking<br>T/G | Antropogene bronnen |       |            |            |               |           |               |     |         |                 | Sensor #    | Grondsoort | Grondwater | T <sub>max</sub> op<br>14 sept |
|-------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|------------|------------|---------------|-----------|---------------|-----|---------|-----------------|-------------|------------|------------|--------------------------------|
|       |                     |                       | HS-kabel            | Metro | Ziekenhuis | Wasserette | Parkeergarage | Reflectie | Mass gebouwen | WKO | Zwembad | Stadsverwarming |             |            |            |                                |
| G1-2  | Z                   | G                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 42              | zand/klei   | ja         | 20.8       |                                |
| G1-3  | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 41              | zand        | ja         | 23.2       |                                |
| G1-4  | Z                   | T                     | x                   |       |            |            |               |           |               |     |         | 44              | zand        | nee        | 24.3       |                                |
| G1-5  | Z                   | G                     | x                   |       |            |            |               |           |               |     |         | 45              | zand        | nee        | 18.1       |                                |
| G1-6  | Z                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     |         | 43              | zand        | nee        | 24.6       |                                |
| G1-7  | Z                   | G                     | x                   | x     |            |            |               |           |               |     |         | 35              | zand        | nee        | 22.9       |                                |
| G1-8  | Z                   | G                     | x                   | x     |            |            |               |           |               |     |         | 38              | zand        | nee        | 19.2       |                                |
| G1-9  | Z                   | T                     | x                   |       |            |            |               |           |               |     |         | 49              | zand        | nee        | 24.9       |                                |
| G1-10 | Z                   | T                     | x                   |       |            |            |               |           |               |     |         | 50              | zand        | nee        | 26.4       |                                |
| G1-11 | S                   | T                     | x                   |       |            |            |               |           |               |     |         | 39              | Zand        | nee        | 20.9       |                                |
| G1-12 | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     | x       | 47              | Zand        | nee        | 26.8       |                                |
| G1-13 | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     | x       | 48              | Zand        | nee        | 24         |                                |
| G1-14 | Z                   | T                     |                     | x     | x          |            |               |           |               |     |         | 33              | Zand        | nee        | 23.7       |                                |
| G2-1  | S                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     |         | 34              | zand        | nee        | 20.6       |                                |
| G2-2  | Z                   | G                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 40              | zand/klei   | nee        | 22.9       |                                |
| G2-3  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 36              | zand        | nee        | 20.3       |                                |
| G2-4  | S                   | T                     |                     |       |            | x          |               |           |               |     |         | 37              | zand        | nee        | 22         |                                |
| G2-5  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 27              | zand        | nee        | 20.3       |                                |
| G2-6  | Z                   | G                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 32              | zand/klei   | nee        | 21.3       |                                |
| G2-7  | S                   | G                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 31              | klei        | nee        | 17.6       |                                |
| G2-8  | Z                   | G                     |                     |       |            |            |               | x         |               |     |         | 30              | zand/klei   | ja         | 21.3       |                                |
| G2-9  | Z                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     |         | 28              | zand        | nee        | 22.3       |                                |
| G3-1  | Z                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     |         | 15              | zand/Reepak | nee        | 24.9       |                                |
| G3-4  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           | x             |     |         | 17              | zand        | nee        | 22.6       |                                |
| G3-6  | S                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     |         | 16              | zand        | nee        | 20         |                                |
| G3-7  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           | x             |     |         | 22              | zand        | nee        | 23.5       |                                |
| G3-8  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 9               | zand/puin   | nee        | 22.6       |                                |
| G3-9  | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 10              | zand        | nee        | 20.9       |                                |
| G3-11 | S                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               | x   |         | 3               | zand        | nee        | 22.9       |                                |
| G4-1  | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 25              | zand        | nee        | 21.3       |                                |
| G4-2  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 20              | zand        | nee        | 20.5       |                                |
| G4-3  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 26              | zand        | nee        | 18.4       |                                |
| G4-4  | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 8               | zand        | nee        | 22.7       |                                |
| G4-5  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 7               | zand        | nee        | 22.2       |                                |
| G4-6  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           | x             |     |         | 6               | zand        | nee        | 23.5       |                                |
| G5-1  | Z                   | G                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     | x       | 29              | zand        | nee        | 23.2       |                                |
| G5-2  | S                   | G                     |                     |       |            |            |               |           |               |     | x       | 24              | zand/klei   | nee        | 18.3       |                                |
| G5-3  | Z                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     | x       | 18              | zand/klei   | nee        | 21.9       |                                |
| G5-5  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 23              | zand        | nee        | 22.2       |                                |
| G5-6  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     |         | 21              | zand        | nee        | 19.2       |                                |
| G5-7  | Z                   | T                     |                     | x     |            |            |               |           |               |     | x       | 4               | zand        | nee        | 22.8       |                                |
| G5-8  | S                   | T                     |                     |       |            |            |               |           |               |     | x       | 5               | zand        | nee        | 19.9       |                                |

Z: zon; S: Schaduw of deels schaduw; T:tegels, G:gras