

**Invloed stedelijk
oppervlaktewater op
omgevingstemperatuur**





Invloed stedelijk oppervlaktewater op omgevingstemperatuur

Reinder Brolsma
Efthymia Foka
Govert Verhoeven

Dit onderzoekproject werd uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl).
Dit onderzoekprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van VROM.

1200473-000

Titel

Invloed stedelijk oppervlaktewater op omgevingstemperatuur

Opdrachtgever

Kennis voor Klimaat

Project

1200473-000

Kenmerk

1200473-000-ZWS-0011

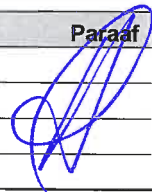
Pagina's

39

Samenvatting

In dit onderzoek is het effect van oppervlaktewater op de omgevingstemperatuur onderzocht op basis van metingen en ondersteund met modelberekeningen. Het onderzoek valt binnen het kader van het Kennis voor Klimaat project "Hittestress in Rotterdam" (HSRR-05).

De meetcampagne heeft plaatsgevonden in augustus 2010. Hierin zijn geen zeer warme ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) windstille dagen geweest, waardoor de gemeten effecten beperkt zijn gebleven. Het effect is voor verschillende schaalniveaus bepaald (wijk-, straat- en microniveau), waartussen duidelijke verschillen te zien zijn. Het effect van oppervlaktewater is het meest duidelijk zichtbaar op het laagste schaalniveau (micro). Dit komt doordat de effecten van andere "verstorende" factoren als schaduwwerking en uitstraling van gebouwen minimaal zijn. Hierbij is de temperatuur vlak boven het water $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ lager dan de temperatuur op 0.5 m boven het water. De temperatuur vlak boven het water wordt hoofdzakelijk beïnvloed door het water en de temperatuur op 0.5 m hoogte vooral door de temperatuur in de omgeving. Ook blijkt dat de opwarming van het water tot een gemiddelde opslag van 75 Wm^{-2} (10% van inkomende straling) leidt. De metingen op het schaalniveau van de straat tonen dat temperatuurverschillen tussen metingen boven de straat en boven het water klein zijn (orde $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Deze verschillen komen overeen met resultaten van het micro-meteorologisch model (Envi-met). Op wijkniveau zijn de temperatuurverschillen overdag op de drie warmste dagen gemiddeld tussen 0.3 en $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 's nachts tussen 0.1 en $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. De temperatuur gemeten op straat- en wijkniveau worden sterk beïnvloed door effecten van schaduw, uitstraling van gebouwen en geometrie van de straat. Ook zijn de metingen uitgevoerd op een hoogte van ongeveer 5 m waardoor horizontale en verticale uitwisseling het effect van oppervlaktewater vertroebelen. De mate van het effect en de ruimtelijke omvang van het effect van oppervlaktewater op de omgevingstemperatuur zijn op deze schaalniveaus hierdoor niet eenduidig te bepalen. Het micro-meteorologisch model laat zien dat de invloedssfeer beperkt blijft tot het gebied tussen de bebouwing langs de Westersingel.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2010	R.J. Brolsma		F.H.M. van de Ven		A.G. Segeren	
		G.F. Verhoeven					
	mrt. 2011	R.J. Brols		F.H.M. van de Ven		A.G. Segeren	
		G.F. Verhoeven					

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Aanpak	2
2	Uitvoering metingen stedelijk open water	3
2.1	Meettechniek	3
2.2	Meetlocatie	4
2.3	Meetopstelling	5
2.3.1	DTS metingen	5
2.3.2	Individuele puntmetingen	8
3	Meetresultaten	11
3.1	Metingen en periodes	11
3.2	Wijkniveau	12
3.3	Straatniveau	16
3.4	Micro schaalniveau	19
4	Klimaatmodel	25
4.1	Temperatuur verloop gedurende de dag.	26
4.2	Invloed oppervlakte water	28
4.3	Temperatuurverschil op 5 m versus leefniveau	29
5	Conclusies	31
6	Referenties	33
	Bijlage(n)	
A	Kalibratie meetapparatuur	35
B	Instellingen micro-klimaatmodel Envi-met	39

1 Introductie

1.1 Aanleiding

De gemeente Rotterdam werkt aan de klimaatbestendigheid van de stad. Hierbij wordt gestreefd Rotterdam zo goed mogelijk voor te bereiden op en aan te passen aan de te verwachten klimaatsveranderingen. De toename van hittestress is één van de aspecten van klimaatverandering waar Rotterdam aan werkt en op wil anticiperen. Hittestress uit zich in maatschappelijke problemen en gezondheidsrisico's als verminderde arbeidsproductiviteit, slechte nachtrust (TNO, 2011) leidend tot irritatie en een verhoging van het aantal sterftegevallen (TNO, 2010). Hittestress wordt versterkt door het 'hitte-eilandeffect' of 'Urban Heat Island effect' (UHI). Dit is het fenomeen dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld aanzienlijk hoger is dan in het omliggende landelijke gebied.

Twee van de belangrijkste oorzaken voor het bestaan van het UHI zijn:

- De structuur van de stad en met name gebouwen, waarbij veel straling van de zon wordt ingevangen en door lage uitwisseling met de hogere atmosfeer veel warmte wordt vastgehouden.
- Het relatief kleine oppervlak aan groen en oppervlaktewater in de stad door de aanwezigheid van een veel verhard oppervlak, leidt tot een gebrek aan verkoeling door verdamping.

Water heeft naar verwachting een duidelijk effect op de temperatuur in de stad (Robitu, 2004, Salcedo Rahola, 2009). Er is echter nog weinig bekend over de grootte van het effect van oppervlaktewater op de omgevingstemperatuur en de mogelijke invloed van het (aanleggen van) stedelijk oppervlaktewater op het UHI effect. Om deze aspecten beter te kunnen kwantificeren is een meetcampagne gehouden in Rotterdam in de zomer van 2010 en zijn modelberekeningen uitgevoerd met het microschaal klimaatmodel Envi-met. Dit onderzoek valt binnen het kader van het Kennis voor Klimaat project "Hittestress in Rotterdam" (HSRR-05), waarin de gemeente Rotterdam in samenwerking met een aantal consortiumpartijen onderzoek naar het UHI effect in Rotterdam.

In 2009 is, ter voorbereiding op de hier gerapporteerde meetcampagne, een meetexperiment uitgevoerd waarin het koelende effect van een kunstmatig waterreservoir is onderzocht met een nieuwe meettechniek genaamd Distributed Temperature Sensing (DTS). Daarnaast zijn de thermische processen die een rol spelen bij het verkoelend effect van water nader onderzocht. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de gemeente Rotterdam en gerapporteerd in: Deltares, 2011. Het in dit rapport beschreven onderzoek bouwt hierop voort.

1.2 Doel

Het doel van deze studie is te bepalen hoe effectief water bijdraagt aan de verkoeling in de stad. Binnen dit onderdeel van het onderzoek zijn de volgende subdoelen gedefinieerd:

- Inzicht krijgen in het effect van oppervlaktewater in de stad op de omgevingstemperatuur voor een locatie in het centrum van Rotterdam op basis van metingen.

- Bepalen van het potentiële effect op de luchttemperatuur van extra open water in de stad als verkoelende maatregel.

1.3 Aanpak

In de zomer van 2010 is een meetcampagne uitgevoerd waarbij de temperatuur rondom stedelijk oppervlaktewater gedurende een langere periode is gemeten. De luchttemperatuur is gemeten met behulp van een glasvezelkabel, hetgeen een relatief nieuwe meettechniek is. Doordat op elke meter van de glasvezelkabel en hoogfrequent de temperatuur wordt geregistreerd kan een gedetailleerd beeld verkregen worden zowel in de ruimte als in de tijd van de temperatuur boven en rondom het oppervlaktewater. Zo kan aan de hand van de meetresultaten worden na gegaan hoe het open water de temperatuur beïnvloedt, zowel overdag als 's nachts. Aanvullend zijn puntmetingen uitgevoerd met traditionele temperatuursensoren.

De invloed van het oppervlaktewater is op drie schaalniveaus onderzocht:

- Microniveau, hierbij het temperatuurverloop in en vlak boven het water in beeld gebracht.
- Straatniveau, hierbij is de temperatuur binnen de straat ruimtelijk in beeld gebracht.
- Wijkniveau, hierbij is de temperatuur op grotere afstand van het oppervlaktewater in beeld gebracht.

2 Uitvoering metingen stedelijk open water

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de gebruikte technieken en meetopstelling.

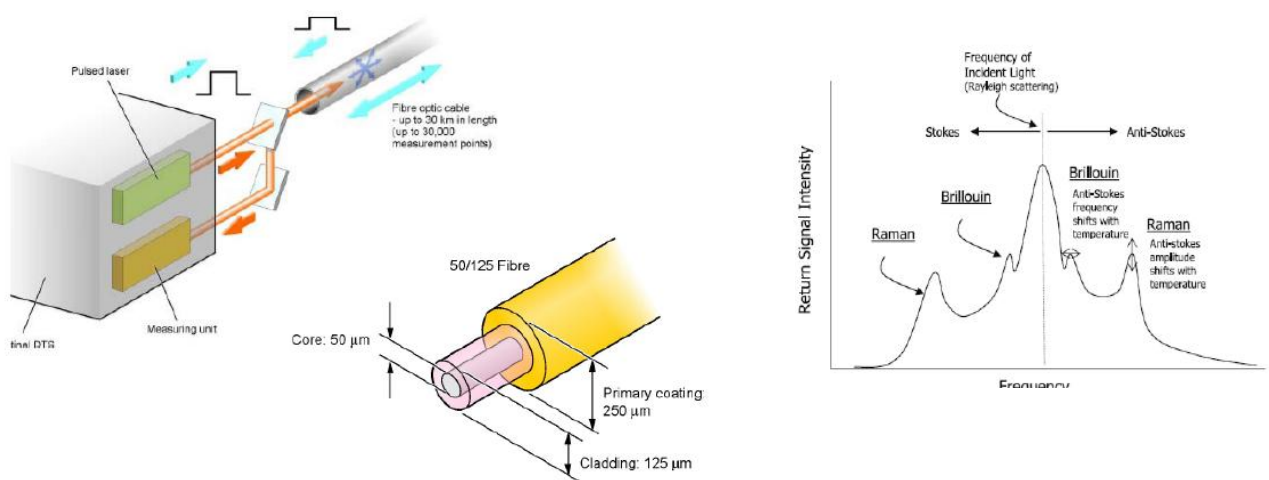
2.1 Meettechniek

Voor het meten van de lucht en water temperatuur rond de Westersingel zijn twee methodes gebruikt:

- Metingen langs een tracé met behulp van Distributed Temperature Sensing (DTS).
- Puntmetingen met behulp van Tidbits temperatuursensoren geplaatst in weerhutten.

De DTS methode maakt gebruik van glasvezelkabel voor het meten van temperatuur. Tegenwoordig wordt deze glasvezelkabel veel toegepast voor temperatuurmetingen en zo ook in het veld van de hydrologie en waterbeheer (Selker, 2006). Dit type glasvezel kabel is hetzelfde als dat gebruikt wordt voor telecommunicatie. De glasvezelkabel bestaat uit een dunne streng glasvezel omhult met twee lagen coating. De kabel is flexibel, hoewel een te strakke bocht het lichtsignaal dat door de kabel beweegt beïnvloedt. Het principe van DTS is gebaseerd op non-elastische backscattering (terug weerkaatsing door verstrooiing), of meer specifiek Raman backscattering van licht.

Een laser unit (ORYX SensorNet) wordt gebruikt om een optische puls (licht) te verzenden door de glasvezelkabel en het terugontvangen signaal dat door backscattering is beïnvloedt te registreren. Het signaal dat terugkomt met een lagere frequentie dan het originele signaal heet de Antistokes backscatter en het signaal dat terugkomt met een hogere frequentie heet Stokes backscatter. Hierbij is de hoeveelheid Antistokes backscatter afhankelijk van de temperatuur van de kabel. Hierdoor kan uit de ratio tussen beiden de temperatuur worden afgeleid.



Figuur 2.1 DTS glasvezel techniek. Signaal Oryx, links; Glasvezelkabel, midden; signaal, rechts

Voor het registreren van de temperatuur op puntlocaties is gebruik gemaakt van Tidbit temperatuursensoren. Deze sensoren registreren temperatuur met een resolutie van $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een nauwkeurigheid van $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Om het effect van zonnestraling op de temperatuurmeting te beperken, zijn de Tidbits in weerhutten geplaatst.

De kalibratie van de DTS en de Tidbits staat beschreven in Bijlage A.

2.2 Meetlocatie

In overleg met Gemeentewerken Rotterdam is gekozen voor de locatie Westersingel (Figuur 2.2 en Figuur 2.3). De Westersingel loopt van noord naar zuid tussen het Centraal Station Rotterdam en de Maas. Ter hoogte van het bemeten tracé bedraagt de breedte van de singel ongeveer 10 meter.

De diepte in het midden van de singel is ongeveer 1.4m. De singel is gelegen in compact stedelijk gebied in het Centrum van Rotterdam. Het deel van de singel waar de metingen zijn uitgevoerd is aan een kant geflankeerd door een terras, waar kunstwerken staan en aan de andere kant door een groene oever, waar ook een dubbel tramspoor ligt. Naast zowel het terras en de groenzone ligt een weg met trottoirs en aan de buitenkant hiervan staan gebouwen van overwegend drie verdiepingen.

De Westersingel heeft een belangrijke functie als waterberging tijdens hevige neerslag. Hier is in het ontwerp rekening gehouden, waarbij grote peilstijgingen als gevolg van overstortingen zijn toegestaan.



Figuur 2.2 Westersingel in Rotterdam (Auteur: Michiel Verbeek)

De keuze voor de Westersingel is gebaseerd op de aanwezigheid van water in dicht stedelijk gebied. Door de noord-zuid ligging was het mogelijk om metingen uit te voeren boven het water, zonder dat schaduwwerking van gebouwen een grote invloed zou hebben. Een laatste praktische reden was de aanwezigheid van een Gemeente werf (kantoor van Gemeente Werken Rotterdam) aan de Westersingel waardoor meetapparatuur op een veilige plek opgesteld kon worden.



Figuur 2.3 Ligging Westersingel (Luchtfoto, Google, DigitalGlobe)

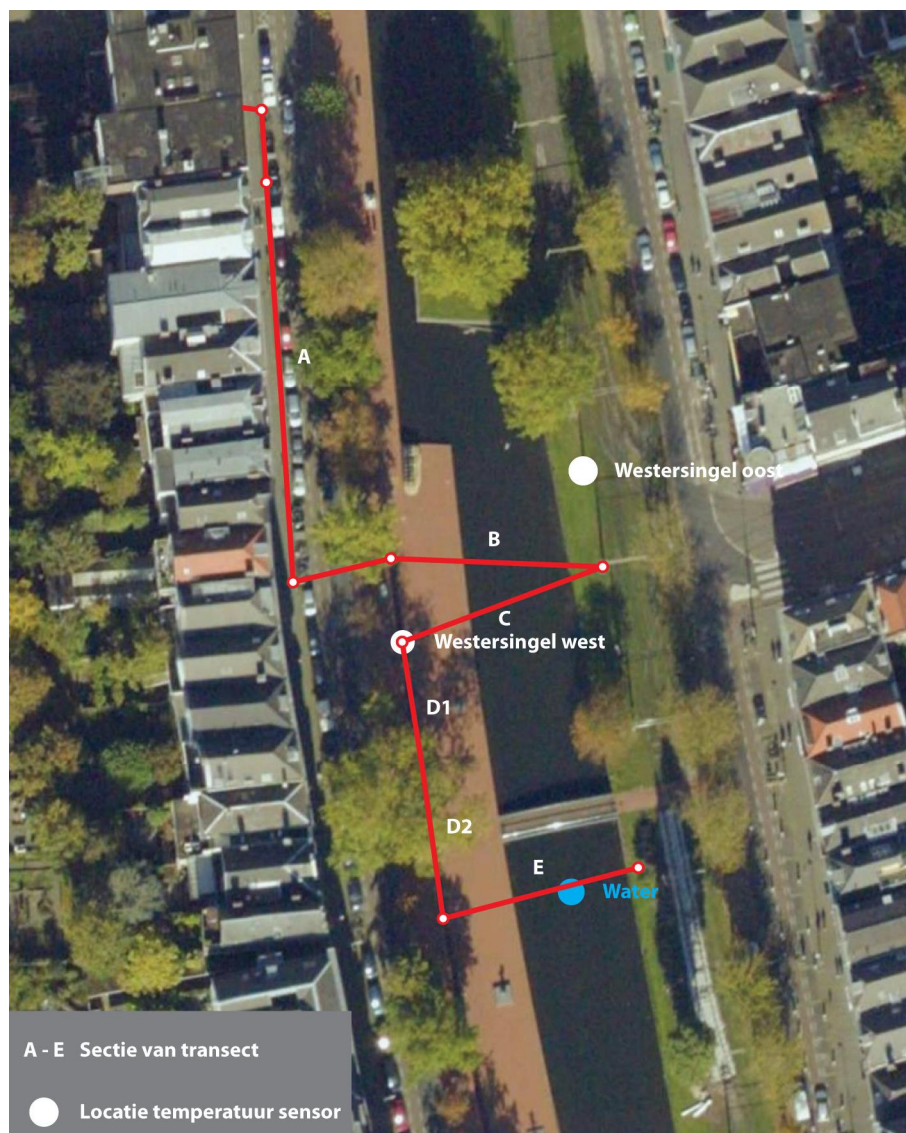
2.3 Meetopstelling

2.3.1 DTS metingen

Voor de uitvoering van de metingen zijn twee glasvezelkabels gebruikt met dezelfde diameter van 0.9 mm (multi-mode). In eerste instantie is ook getracht om aanvullend met een nog dunnere, transparante glasvezelkabel met een diameter van 0.25 mm te meten. Helaas is deze kabel door de kwetsbaarheid en slechte zichtbaarheid tijdens de installatie gesneuveld.

De glasvezelkabel volgt een tracé over verhard oppervlak en boven water. Bovendien hangt de kabel op verschillende afstanden van gebouwen en door en langs boomkruinen waardoor ook de effecten hiervan bestudeerd kunnen worden (Figuur 2.4 en Figuur 2.5). De kabel is opgehangen aan een dikkere nylon ophangdraad. De ophanghoogte van de kabel is 5 m boven straatniveau. De ophanghoogte van de kabel aan de oostzijde van de Westersingel was lager door de beperking dat de kabel onder de hoogspanningsleiding van de tram moest blijven.

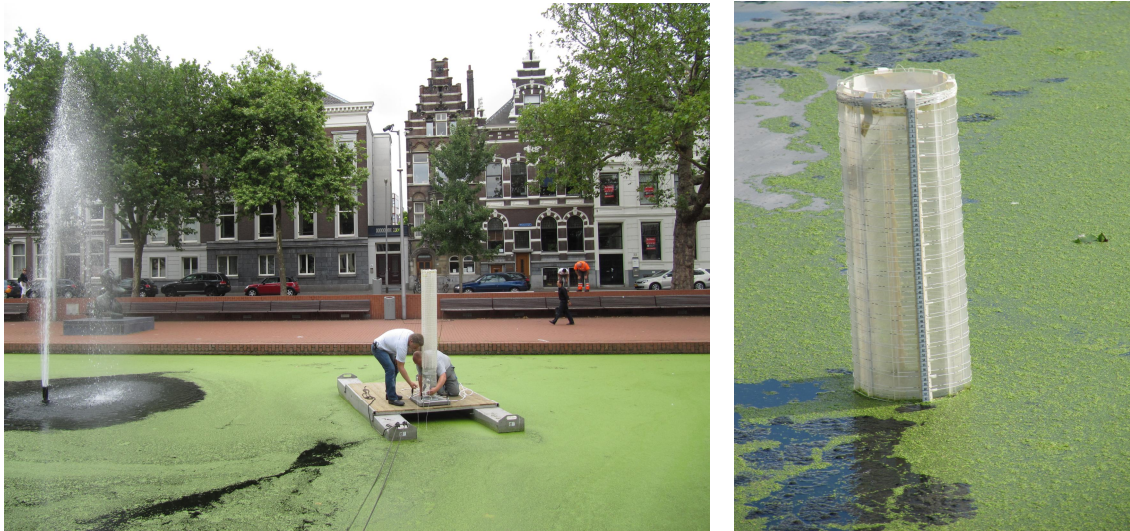
Het einde van de kabel is gewikkeld om een plexiglas cilinder met een diameter van 24 cm voor het meten van een verticaal profiel in en boven het water (Figuur 2.4 (Water) en Figuur 2.6). Ook is hier een temperatuur sensor geplaatst in het water voor de kalibratie van de glasvezelkabel.



Figuur 2.4 Tracé van DTS glasvezelkabel met de verschillende secties die onderscheiden zijn en de locaties van de temperatuursensoren. Het verticale temperatuur profiel en een puntmeting worden gemeten bij de locatie Water (Luchtfoto, Google, DigitalGlobe)



Figuur 2.5 Installatie van de glasvezelkabel langs en over de Westersingel. De dunne glasvezelkabel is gehangen aan een dikkere nylon ophangdraad



Figuur 2.6 Meetopstelling bestaande uit een glasvezelkabel gewonden om een perspex cilinder voor het meten van het verticale temperatuur profiel in en boven het water. Links het plaatsen van de opstelling en rechts de uiteindelijke opstelling

2.3.2 Individuele puntmetingen

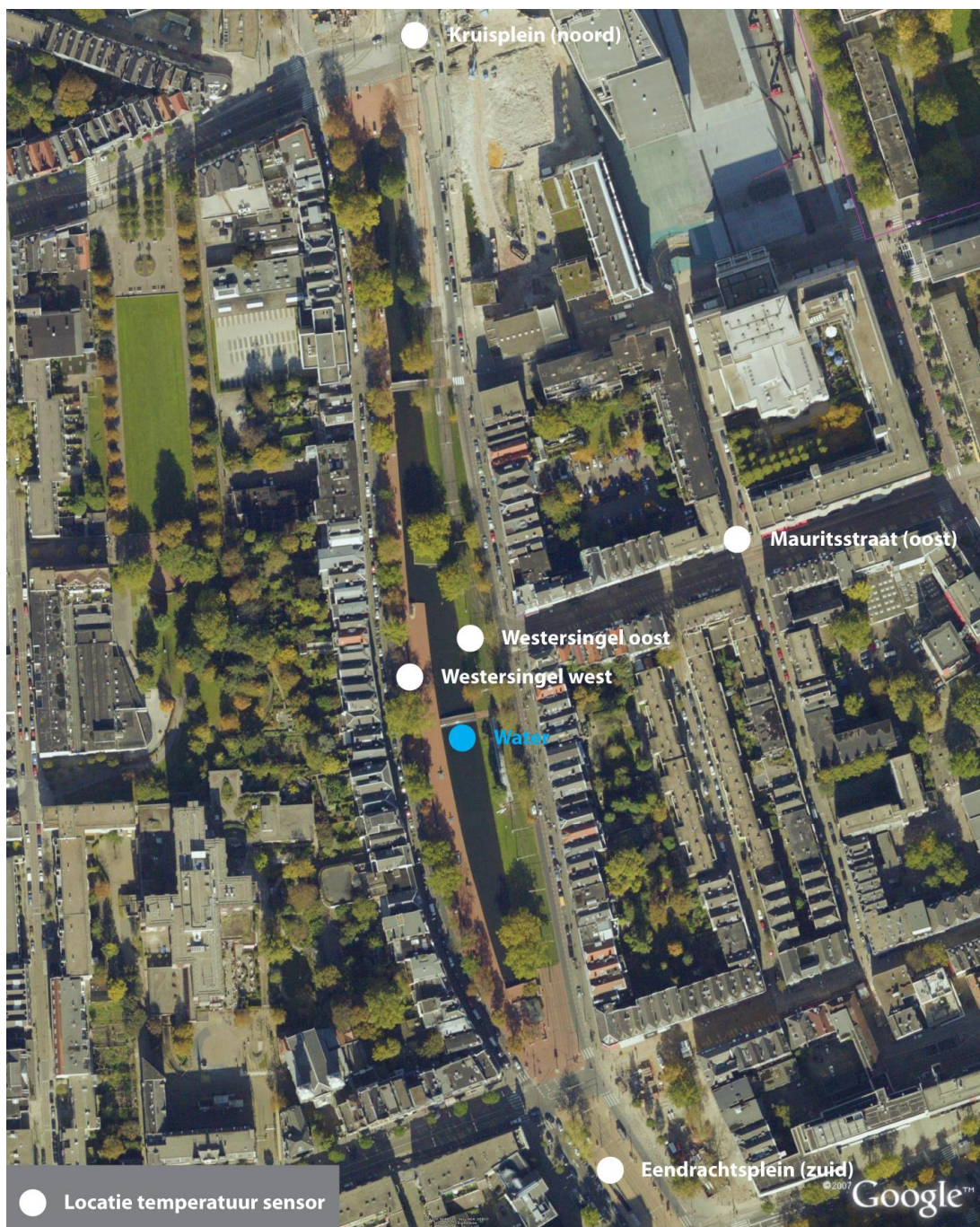
De Tidbit temperatuur sensoren zijn geplaatst in weerhutten. Deze weerhutten zijn geplaatst op 5 locaties (Figuur 2.7 en Figuur 2.8). Nabij en verder van de Westersingel:

- Westzijde Westersingel op de rand van de straat en het singel terras.
- Oostzijde Westersingel vlak langs de oever van de singel boven gras.
- Noordzijde Westersingel op het Kruisplein, midden op het plein. Op dit plein staan bijna geen bomen.
- Zuidzijde Westersingel op het Eendrachtsplein, midden op het plein, naast de metro ingang. Op dit plein staan enkele bomen.
- Oostzijde Westersingel op de kruising de Van Oldenbarneveltstraat en de Mauritsstraat. In de Oldenbarneveltstraat en Mauritsstraat staan geen bomen, wel liggen er kleine groenvoorzieningen in binnentuinen. Beiden zijn relatief smalle straten.

Hierbij is verondersteld dat de geometrie van het Eendrachtsplein en het Kruisplein relatief goed vergelijkbaar zijn met die van de Westersingel, waardoor een goed vergelijk gemaakt van worden.



Figuur 2.7 De Tidbit temperatuursensoren zijn geplaatst in weerhutten en opgehangen aan lantaarnpalen



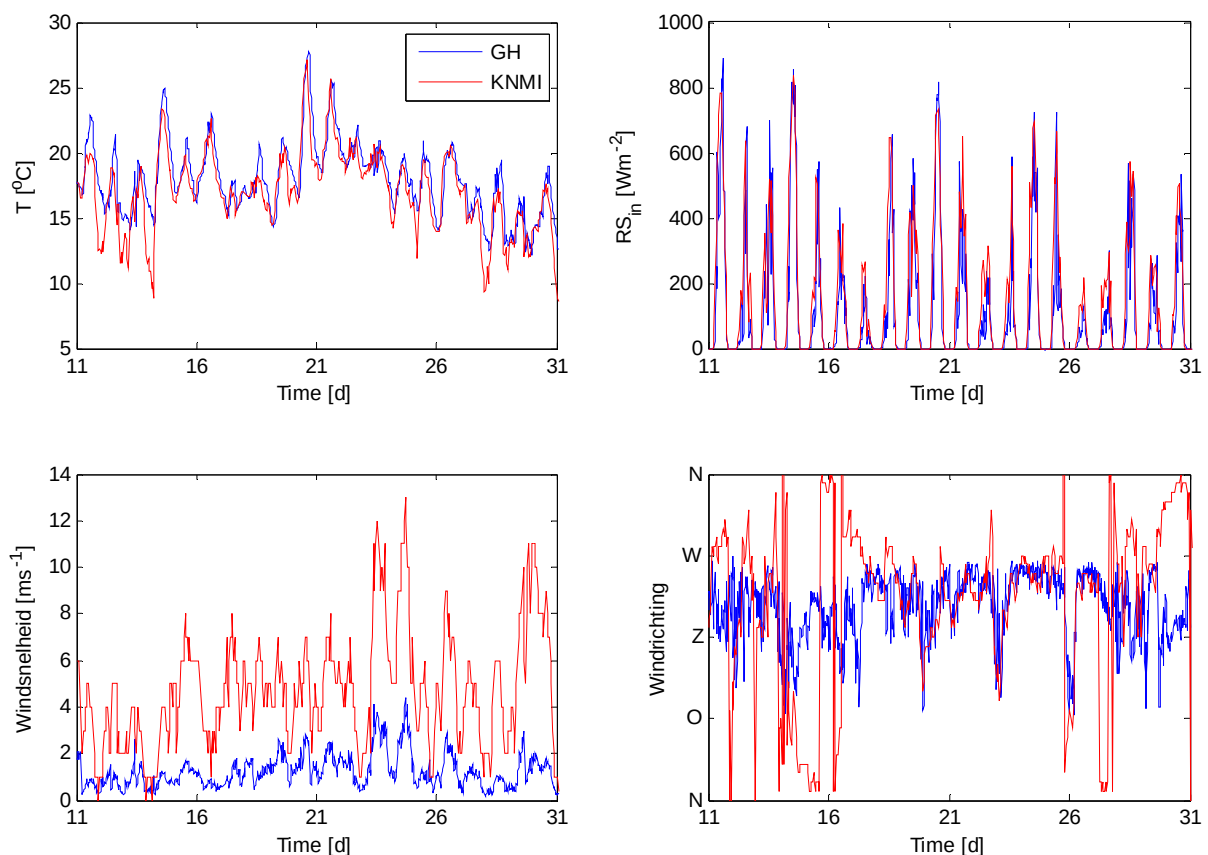
Figuur 2.8 Meetlocaties losse temperatuursensoren (Tidbits) (Luchtfoto, Google, DigitalGlobe)

3 Meetresultaten

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten en de interpretatie ervan beschreven. De kalibratie van de meetapparatuur staat beschreven in Bijlage 1. In dit hoofdstuk worden de gecorrigeerde data getoond. De getoonde tijd in de resultaten is MET (+1, Middle European Time), waarbij dus geen rekening is gehouden met zomertijd.

3.1 Metingen en periodes

Augustus was een relatief koude en natte augustus maand waarin een warme periode ontbrak. Figuur 3.1 toont de belangrijkste meteorologische variabelen die gemeten zijn op het Groot Handelsgebouw en Zestienhoven. Het Groot Handelsgebouw staat ongeveer 400 m ten noorden van de meetlocatie en is representatief voor de meteorologische situatie in de stad en voor de Westersingel. Op Zestienhoven staat een meteorologisch station van het KNMI en is representatief voor het landelijk gebied waar geen verstoren kunstmatige objecten zijn, zoals gebouwen.



Figuur 3.1 Meteorologische data gemeten op het Groot Handelsgebouw (GH) en het KNMI (Zestienhoven) voor de periode 11-31 augustus. Luchttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$); kortgolvlige inkomende straling (wm^{-2}); windsnelheid (ms^{-1}) en windrichting

Gedurende de meetcampagne waren drie relatief warme dagen: 14, 20 en 21 augustus met achtereenvolgens maximumtemperaturen van 25, 27.7 en 25.5 °C. Deze relatief warme dagen zijn gebruikt voor het nader onderzoeken van het koelende effect van water op de luchttemperatuur. Op deze drie dagen viel geen neerslag. Figuur 3.1 toont ook het verloop van de kortgolvlge inkomende straling. Dit laat zien dat 14 en 20 augustus relatief zonnige dagen waren, terwijl 21 augustus relatief bewolkt was.

De overheersende windrichting was ZW en de windsnelheid was relatief laag. Het verschil in gemeten windrichting tussen het Groot Handelsgebouw en Zestienhoven wordt veroorzaakt door de oriëntatie van het Groot Handelsgebouw waardoor de windrichting wordt beïnvloed.

Op 12, 13, 14 en 27 augustus is het opvallend dat de temperatuur gemeten op het Groot Handelsgebouw 's nachts minder sterk daalt dan op Zestienhoven. Dit komt overeen met wat te verwachten is op basis van het UHI effect. Het effect wordt deze nachten versterkt door de lage windsnelheid.

3.2 Wijkniveau

Op wijkniveau is de temperatuur gemeten met behulp van losse sensoren (Tidbits). Figuur 3.2 laat de gemeten temperaturen op de verschillende locaties nabij de Westersingel (Westersingel oost en west) en verder af (Mauritsstraat, Kruisplein en Eendrachtsplein) zien. Hierin is duidelijk het dagelijkse verloop van de temperatuur in de lucht te zien en hoe de watertemperatuur hier vertraagd en gedempt op volgt.

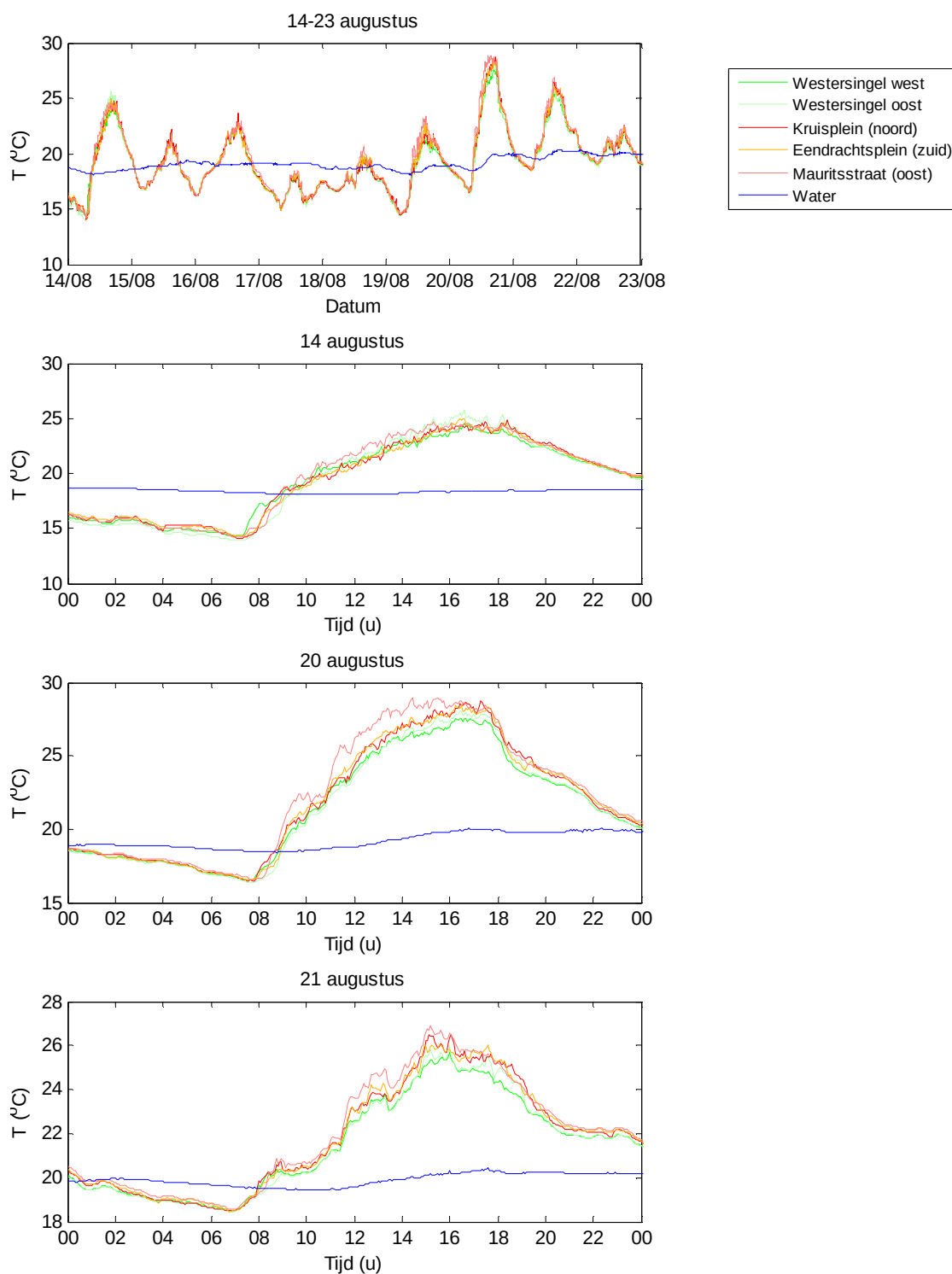
De temperatuur op de warme dagen 20 en 21 augustus laat duidelijk zien dat de temperatuur in de Mauritsstraat hoger ligt dan de andere meetpunten, zowel 's nachts als overdag. De temperatuurverschillen overdag zijn hierbij het grootst. De Mauritsstraat is tamelijk smal waardoor de invloed van wind en daarmee verticale uitwisseling van warmte met de atmosfeer klein is. Ook is er geen vegetatie aanwezig waardoor schaduw en het koelende effect van verdamping van vegetatie hier geen rol spelen. Het effect van verdamping van het oppervlaktewater van de Westersingel is in deze metingen niet los te koppelen van het effect van verschil in geometrie en vegetatie.

Doordat de breedte van het Kruisplein en Eendrachtsplein vergelijkbaar is met de Westersingel en ze in het verlengde van de Westersingel liggen is het temperatuurverloop erg vergelijkbaar. Het verschil tussen de locaties zal waarschijnlijk vooral bepaald worden door het grote verharde oppervlak op het Kruisplein en het Eendrachtsplein.

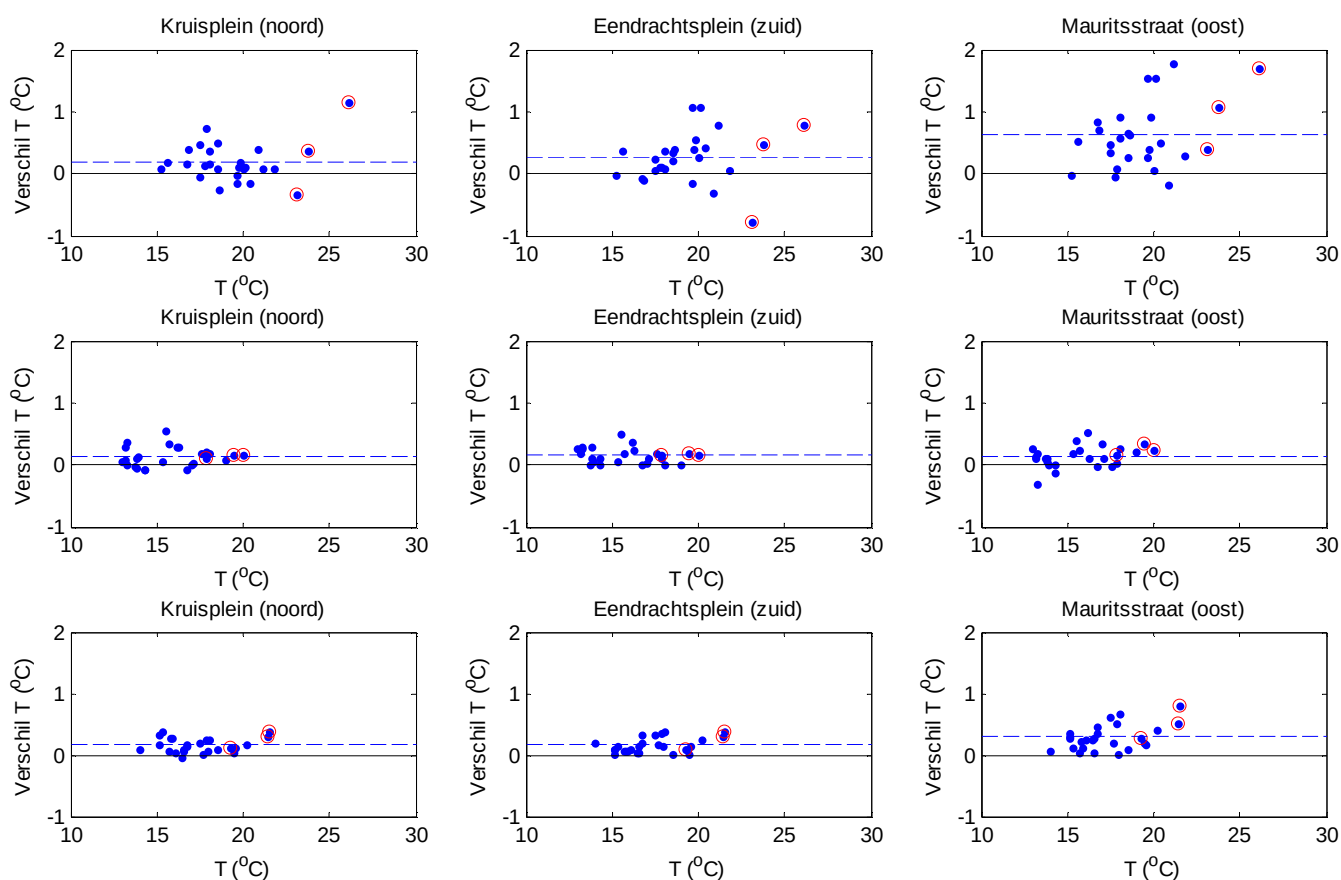
Op 14 augustus wordt tussen 15:00 en 19:30 aan de oostzijde van de Westersingel de hoogste temperatuur gemeten. Deze hoge temperatuur wordt bevestigd door de metingen met behulp van de DTS (Sectie 3.3). De meteorologische data laten zien dat de wind op dit moment uit oostelijke richting komt, terwijl op de andere twee warme dagen (20 en 21 augustus) de wind uit zuid-westelijke richting kwam. De oostelijke windrichting zorgt er waarschijnlijk voor dat warme lucht uit de Mauritsstraat aan de oostkant van de Westersingel naar de Westersingel stroomt, wat zorgt voor de hogere temperatuur.

Mogelijk is het temperatuurverschil tussen de Westersingel en de omgeving afhankelijk van de luchttemperatuur zelf. In Figuur 3.3 is daarom het temperatuurverschil tussen de gemiddelde luchttemperatuur van de Westersingel en de temperatuur in de omgeving (Kruisplein, Eendrachtsplein en Mauritsstraat) uitgezet tegen de luchttemperatuur van de Westersingel. Dit is gedaan voor de temperatuur om 14:00 's middags 02:00 's nachts en voor het gemiddelde over 24 uur. Hieruit blijkt dat er geen relatie waar te nemen is anders dan dat de temperatuur op het Kruisplein, Eendrachtsplein en de Mauritsstraat enkele tienden graad hoger ligt.

Een overzicht van de gemeten temperatuurverschillen op de drie warmste dagen is gegeven in Tabel 3.1. Hieruit blijkt dat het temperatuur verschil overdag tussen 0.26 en 0.70 °C varieert. 's Nachts is het temperatuur verschil kleiner: 0.13 en 0.27 °C. Dit is in tegenstelling tot wat op het eerste gezicht verwacht wordt op basis van het temperatuur verschil tussen de stad en het platteland, waar het temperatuurverschil juist 's nachts het grootst is. Het maximum verschil ligt tussen 1.13 en 2.61 °C. Dit verschil wordt rond het middaguur bereikt.



Figuur 3.2 Meetresultaten met behulp van Tidbits voor de perioden 14-23 augustus, 14 augustus, 20 augustus en 21 augustus 2010. De watertemperatuur is gemeten op een diepte van 90 cm onder het wateroppervlak



Figuur 3.3 Verschil in temperatuur tussen de gemiddelde luchttemperatuur van de Westersingel (Westersingel oost en west) en de luchttemperatuur op het Kruisplein, Eendrachtsplein en de Mauritsstraat voor de periode 11 augustus tot 7 september 2010. Van boven naar beneden zijn 14:00, 02:00 en het gemiddelde over 24 uur weergegeven. De rode cirkels geven de 3 warme dagen aan (14, 20 en 21 augustus 2010)

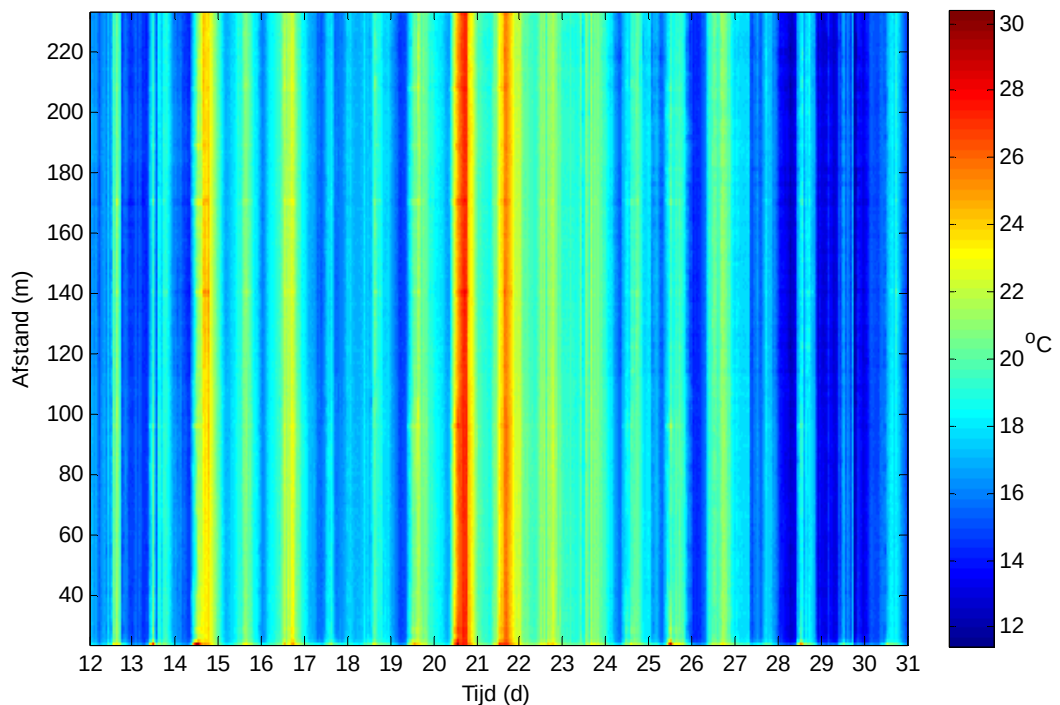
Tabel 3.1 Verschillen ten opzichten van het gemiddelde twee metingen aan de Westersingel voor de drie warme dagen (14, 20 en 21 augustus 2010)

	Dag (°C)	Nacht (°C)	24 uur (°C)	Max (°C)
Kruisplein (noord)	0.31	0.13	0.26	1.25
Eendrachtsplein (zuid)	0.26	0.17	0.25	1.13
Mauritsstraat (oost)	0.70	0.27	0.53	2.61

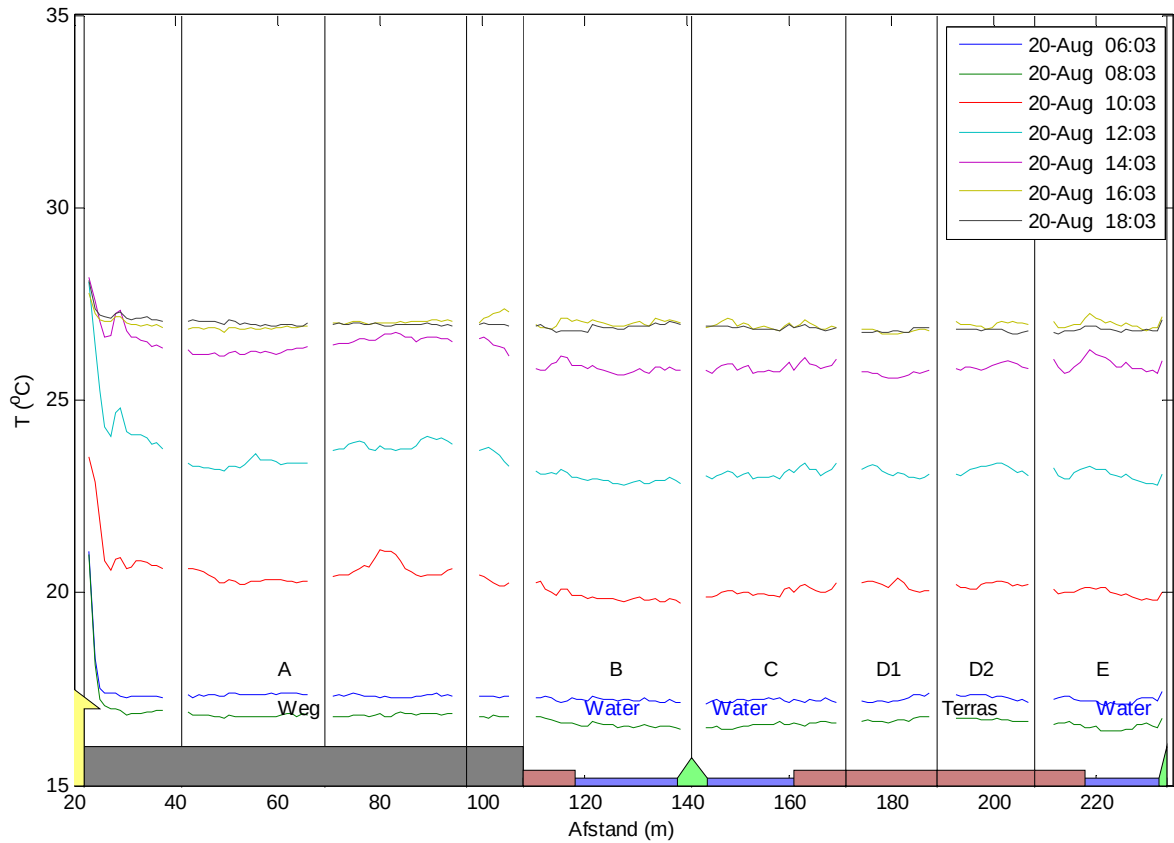
3.3 Straatniveau

Figuur 3.4 toont de temperatuur afhankelijk van de positie langs de glasvezelkabel en de tijd. In deze figuur is duidelijk het dag-nacht ritme van de temperatuur te herkennen als een afwisseling van hoge en lage temperaturen. Hierbij vallen 14, 20 en 21 augustus direct op als de drie warmste dagen in augustus.

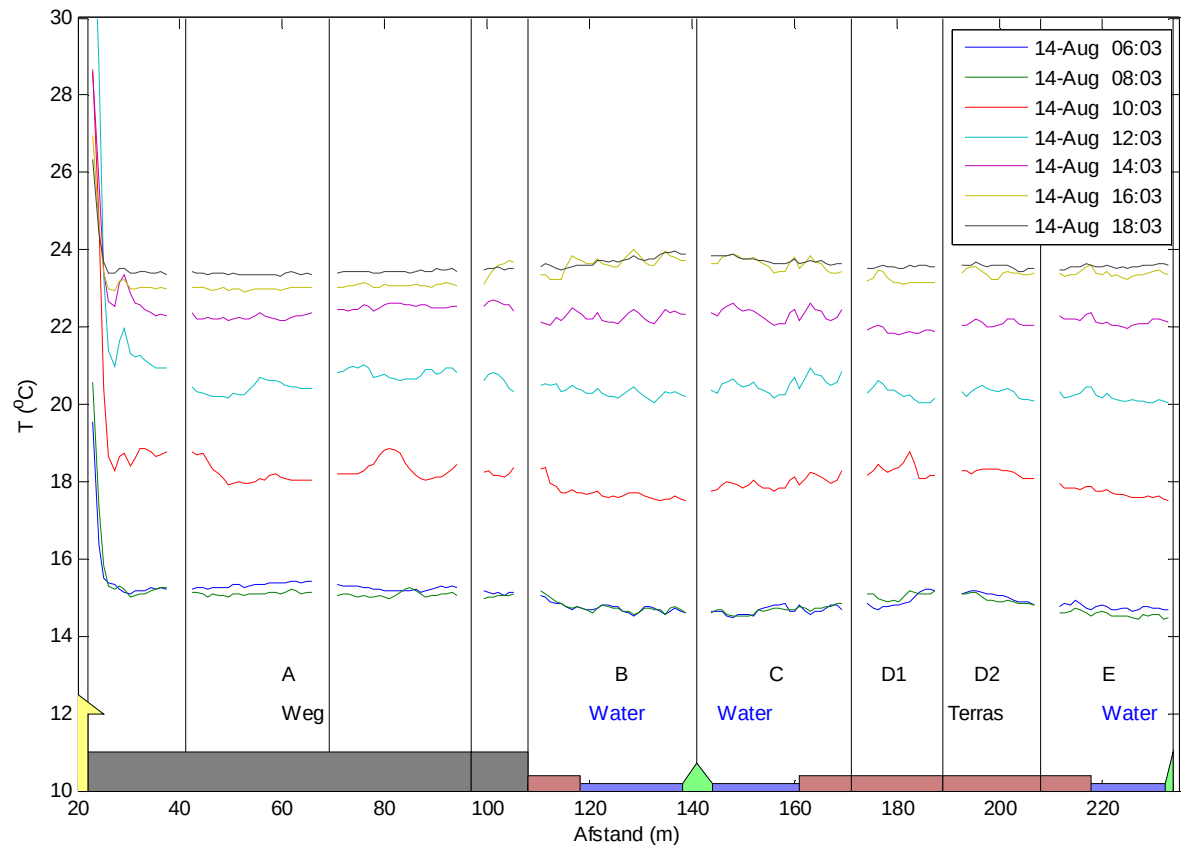
Langs de kabel is het moeilijker om patronen te herkennen. Wat wel opvalt (met name op 14 augustus) zijn de warmere plekjes bij bijvoorbeeld 140 en 170m. Dit zijn de lantaarnpalen die overdag sterk door de zon opwarmen tot een temperatuur boven de luchttemperatuur.



Figuur 3.4 *Temperatuur afhankelijk van de positie langs de glasvezelkabel en de tijd. De kabel verlaat het kantoor van de Gemeente Werken Rotterdam bij 20 m. En het einde van het meet tracé bevindt zich bij 230 m. De tijd is weergegeven als dagnummer in augustus*



Figuur 3.5 Temperatuurprofielen op 20 augustus gemeten met behulp van DTS glasvezelkabel. De secties langs de x-as komen overeen met die in Figuur 2.4. De zwarte verticale lijnen geven de locaties van de lantaarnpalen weer. Rond de lantaarnpalen wordt de temperatuur niet weergegeven, omdat deze sterk beïnvloed wordt door de temperatuur van de lantaarnpaal als gevolg door opwarming door straling van de zon



Figuur 3.6 Temperatuurprofielen op 14 augustus gemeten met behulp van DTS glasvezelkabel. De secties langs de x-as komen overeen met die in Figuur 2.4. De zwarte verticale lijnen geven de locaties van de lantaarnpalen weer. Rond de lantaarnpalen wordt de temperatuur niet weergegeven, omdat deze sterk beïnvloed wordt door de temperatuur van de lantaarnpaal als gevolg door opwarming door straling van de zon

Figuur 3.5 toont het lengteprofiel van de temperatuur gemeten op verschillende tijdstippen op 20 augustus. De waarden die worden getoond zijn gemiddelde waarden over het afgelopen uur. In de buurt van de lantaarnpalen worden overdag hogere temperaturen gemeten dan de omgeving doordat de lantaarnpalen opwarmen door de straling van de zon. Deze secties worden daarom niet getoond.

De nauwkeurigheid van de gemeten temperatuur met behulp van de kabel heeft een onnauwkeurigheid van ongeveer 0.1°C . Hierdoor is te verwachten dat de metingen boven het water, een geleidelijk temperatuurprofiel laten zien. Er zijn hier echter veel temperatuurverschillen op korte afstand waar te nemen. Deze zijn niet het gevolg van temperatuurverschillen in de lucht, maar worden waarschijnlijk veroorzaakt doordat hier de meetkabel rond de ophangdraad gewikkeld is. Hierdoor wordt de meting door opwarming van de ophangdraad door zonnestraling beïnvloed.

's Ochtends om ca. 6 uur en om ca. 8 uur is de temperatuur uiteraard het laagst. Het temperatuurverschil tussen de lucht boven de Westersingel en de lucht boven de straat bedraagt dan ongeveer 0.2°C .

Om ca. 10 en ca. 12 uur zijn grote verschillen in temperatuur zien langs het transect. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door de schaduwwerking van de bomen langs de straat waardoor de lage temperaturen worden gemeten. Daar waar geen bomen staan (80m) warmen de gevels en de gebouwen en de straat op door de zon waardoor hier de temperatuur sterk stijgt. In secties boven oppervlaktewater is de temperatuur nog iets lager dan boven de straat en het terras.

Vanaf ca. 14 uur nemen de fluctuaties boven de weg en langs de huizen af, en de temperatuur boven het water neemt toe, maar om ca. 14 uur is de temperatuur nog steeds lager dan boven de straat.

Om ca. 16 uur, wanneer de hoogste temperatuur gemeten wordt, is de temperatuur langs het hele transect vrijwel constant.

Na zonsondergang (ca. 22 u), de temperatuur vertoont weinig fluctuaties en de temperatuur boven het oppervlaktewater is lager dan boven het terras en de weg (ongeveer 1°C).

Naast de DTS glasvezelkabel in Sectie E staat een fontein die intermitterend spuit. Het effect van de fontein is echter niet duidelijk waarneembaar in de meetresultaten. Dit kan mogelijk komen doordat de fontein minder hoog spuit dan de hoogte van de kabel.

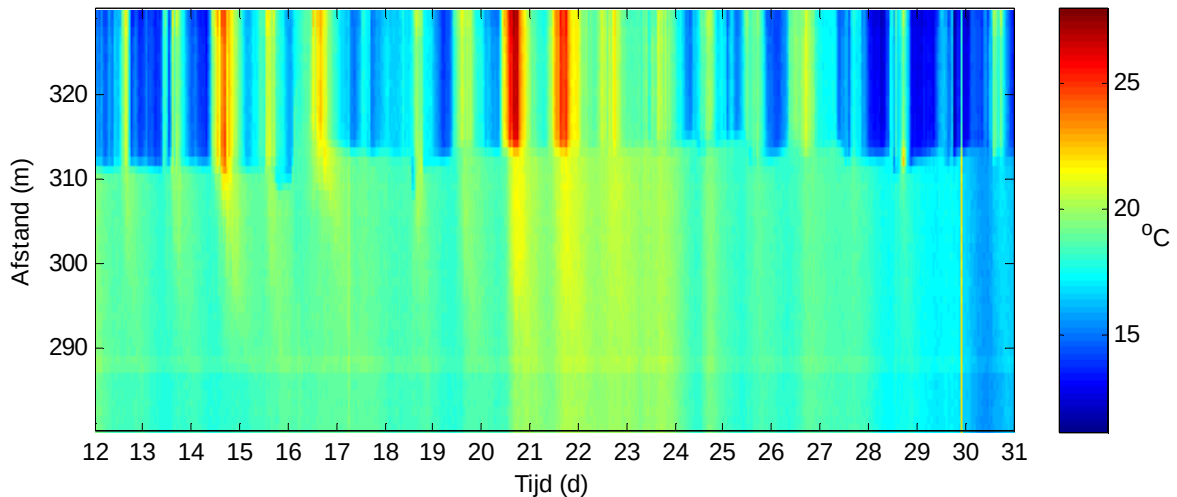
Op 14 augustus (Figuur 3.6) is een vergelijkbaar patroon zichtbaar als op 20 augustus. Alleen om 16 en 18 uur is de temperatuur boven het oppervlaktewater hoger dan boven de weg en het terras. Op 14 augustus is het oosten wind in tegenstelling tot 20 augustus waar het zuiden wind is. Hierdoor wordt waarschijnlijk sterk opgewarmde lucht uit de richting van de Mauritsstraat aangevoerd waardoor de gemeten temperatuur aan de oostkant van de Westersingel hoger is.

3.4 Micro schaalniveau

Om de temperatuurgradiënt in en boven het water te meten, is de meetkabel om een transparante cilinder gewikkeld. Hierdoor is met een verticale resolutie van 3.08 cm de temperatuurgradiënt gemeten. De diepte in het midden van de Westersingel waar de cilinder is geplaatst, is 144 cm. Het profiel begint echter op 50 cm boven de bodem van de singel, waar de spiraal van de glasvezelkabel begint.

De stroming in de Westersingel is niet te bepalen uit de draaitijden van de gemalen, omdat deze niet worden geregistreerd door de waterbeheerder. Het effect van deze stroming op de gemeten watertemperatuur en met name de verschillen in gemeten temperatuurprofielen zijn hierdoor niet te bepalen.

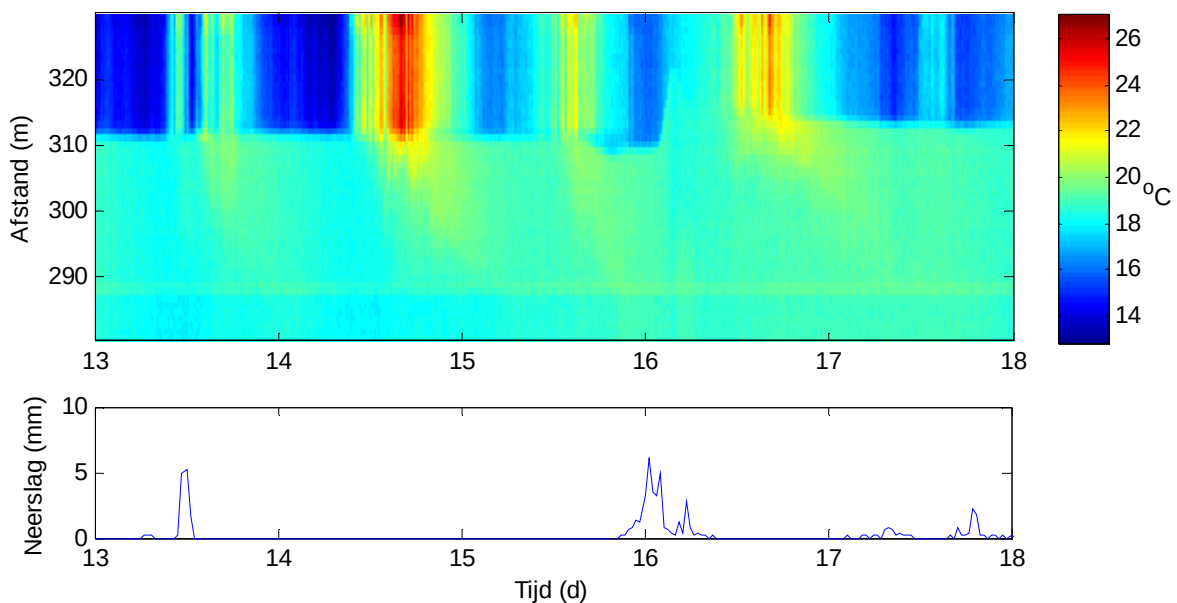
Figuur 3.7 toont de temperatuur als functie van lengte langs de kabel en de tijd. Duidelijk is het grensvlak van het water en de lucht zichtbaar in de figuur bij de kabelafstand van ca. 312 m. Het deel van de kabel tussen 280 m en ongeveer 312 m bevindt zich onder het waterniveau. Hier zijn de amplitudes veel kleiner, omdat het water beperkt opwarmt overdag en weinig afkoelt 's nachts. Het deel van de kabel tussen ongeveer 312 en 330 m bevindt zich boven het water in de lucht. Hier is hetzelfde patroon zichtbaar als in Figuur 3.4, waarin de meetresultaten van het lengtetracé langs de Westersingel is afgebeeld. De amplitude van de dag-nacht temperatuur is hier groot. De figuur laat bovendien duidelijk zien dat het water niveau varieert in de meetperiode.



Figuur 3.7 De temperatuur afhankelijk van de afstand langs de kabel en de tijd voor de periode 12-31 augustus 2010. Het wateroppervlak bevindt zich bij ongeveer 312 m

Door in te zoomen op de metingen van 13-18 augustus (Figuur 3.8) wordt duidelijk dat de temperatuur in het water vertraagd doordringt met de diepte. Dit is te herkennen aan de gelige vlek (ongeveer 22 °C) die met de diepte naar rechts beweegt.

Verder is in de nacht van 15 op 16 augustus een hevige regenbui. Deze leidt tot grote wateraanvoer naar de Westersingel. Deze is zichtbaar aan de stijging van het waterniveau, waarbij het water een temperatuur heeft van 18 °C.



Figuur 3.8 Bovenste figuur toont de temperatuur afhankelijk van de afstand langs de kabel en de tijd voor de periode 13-18 augustus 2010. Het wateroppervlak bevindt zich bij ongeveer 312 m. De onderste grafiek toont de neerslag over dezelfde periode, zoals gemeten op het Groot Handelsgebouw

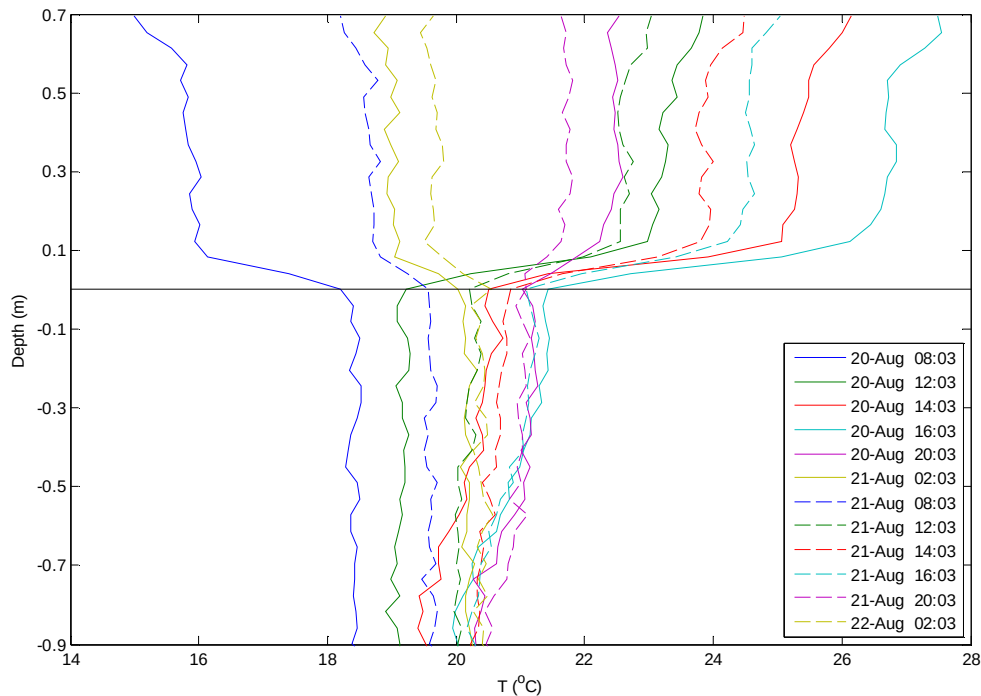
Om meer inzicht te krijgen in het verticale profiel voor met name de warme dagen 20 en 21 augustus zijn de verticale profielen van de temperatuur op verschillende tijdstippen weergegeven in Figuur 3.9.

In deze figuur valt het volgende op:

- De temperatuuramplitude (verschil tussen dag en nacht temperatuur) in de lucht is veel groter dan die van het water. De amplitude in het water is ongeveer 2 °C terwijl deze in de lucht ongeveer 12 °C bedraagt. Hierbij is de lucht overdag warmer dan het water en 's nachts kouder dan water. Dit wordt vooral veroorzaakt voor de veel grotere warmtecapaciteit van water.
- Later in de nacht is de temperatuur gradiënt in het water verwaarloosbaar. Gedurende de dag ontstaat er wel een gradiënt doordat het water van bovenaf door de lucht wordt opgewarmd.
- Zowel 's nachts als overdag ontstaat een temperatuurgradiënt vlak boven het water.
- 20 augustus wordt voorafgegaan door een koelere periode. Tussen 20 en 21 augustus om 8.00 uur is de watertemperatuur gestegen met 1.1 graden. Uitgaande van een diepte van 1.44 m komt dit overeen met een gemiddelde warmte berging van 75Wm^{-2} . In een langere warme periode neemt de berging van warmte in het water uiteraard snel af.

Gedurende de dag wordt de lucht op leefniveau met name van onderaf opgewarmd door contact met het aardoppervlak. Deze opwarming vindt plaats door de voelbare warmtestroom. Door uitwisseling met hogere luchtlagen wordt de warmte verder getransporteerd en verdeeld. In Figuur 3.9 is te zien dat op het warmste moment van de dag de temperatuur aan het wateroppervlak ongeveer 21 °C is. Op dat moment is de gemeten luchttemperatuur maximaal 27.5 °C. Deze hogere temperatuur wordt vooral bepaald doordat de omringende lucht wordt opgewarmd boven het terras en de weg. Deze temperatuurgradiënt betekent dat er warmte van de omgeving naar het water stroomt en dat het water op dat moment van de dag een koelende werking heeft op de omgeving. Het wateroppervlak warmt maar langzaam op, in tegenstelling tot stenig oppervlak, waardoor de lucht er direct boven ook nauwelijks opwarmt.

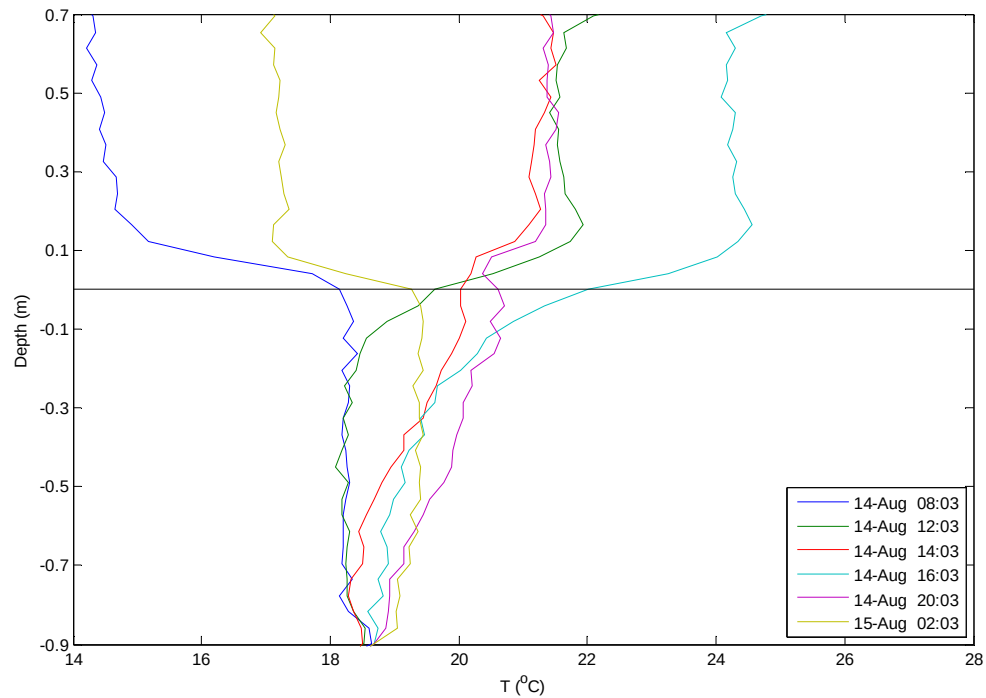
Hierbij moet aangetekend worden dat een deel van het temperatuur verschil mogelijk wordt veroorzaakt door de meetopstelling waardoor wellicht hogere temperaturen in de lucht worden gemeten. De transparante cilinder en de witte kabel absorberen een deel van de zonnestraling, waarbij de kabel en cilinder de warmte aan het water makkelijker kwijt kunnen dan aan de lucht.



Figuur 3.9 Verticaal profiel op verschillende tijdstippen op 20 en 21 augustus 2010 van temperatuur in en boven water van de Westersingel. De zwarte horizontale lijn geeft het waterniveau weer

Het temperatuurprofiel op 14 augustus (Figuur 3.10) laat een vergelijkbaar beeld zien, behalve dat de temperatuurgradiënt in het water overdag veel groter is.

Mogelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat er deze dag overheersend oosten wind is. Hierdoor heeft de wind, in tegenstelling tot 20 en 21 augustus wanneer er zuidzuidwestelijk wind is, minder vat op het water. Hierdoor kan de turbulentie in het water mogelijk minder zijn. Een andere oorzaak kan liggen in de aanwezigheid van eendenkroos op het water. Dit eendenkroos absorbeert oppervlakkig meer kortgolvlige straling (zon) dan water waardoor er aan het oppervlak een sterke opwarming ontstaat. Helaas zijn geen waarnemingen van de aan- en afwezigheid van eendenkroos geregistreerd.



Figuur 3.10 Verticaal profiel op 14 augustus 2010 van temperatuur in en boven water van de Westersingel. Verschillende tijdstippen op de dag zijn weergegeven

4 Klimaatmodel

Om de interpretatie van de meetresultaten te ondersteunen is een micro-klimaatmodel van een deel van de Westersingel gemaakt in Envi-met (www.envi-met.com). Het gesimuleerde modeldomein is weergegeven in Figuur 4.1. De modelruns zijn met name gebruikt om een beter inzicht te krijgen in de verschillende processen die het temperatuurpatroon zoals dat gemeten is beïnvloeden. Het is dan ook niet de bedoeling geweest het model te kalibreren of harde conclusies op basis van de modelruns te trekken.

Het gebouwde model is sterk vereenvoudigd. De belangrijkste aannames die gedaan zijn:

- Het horizontale modeldomein van 450 x 450 m is gediscrètiseerd in 90 x 90 cellen van 5 x 5 m en het verticale modeldomein is 82 m gediscrètiseerd in 30 cellen waarbij de onderste cel 0.5 m hoog is en iedere hogere laag 10% hoger dan de laag eronder;
- Alle gebouwen zijn 10 m hoog, dit komt overeen met gebouwen van ongeveer 3-4 verdiepingen;
- Initiële watertemperatuur 20 °C
- Alle bomen zijn 12 m hoog;
- Voor alle objecten zijn de standaard instellingen van het softwarepakket gebruikt;
- Zuidelijke wind, 3m/s op 10m hoogte;
- Onbewolkt;
- Westersingel en terras liggen niet verdiept ten opzichte van de omgeving.

De overige instellingen staan in Bijlage B.



Figuur 4.1 Deel van de Westersingel en omgeving waarvan een micro-meteorologisch model is gemaakt. De gele lijn geeft een lengte van 100m aan

4.1 Temperatuur verloop gedurende de dag.

Figuur 4.2 - Figuur 4.4 tonen de temperatuur op 1.05 meter hoogte om respectievelijk 9:00, 14:00 en 19:00u.

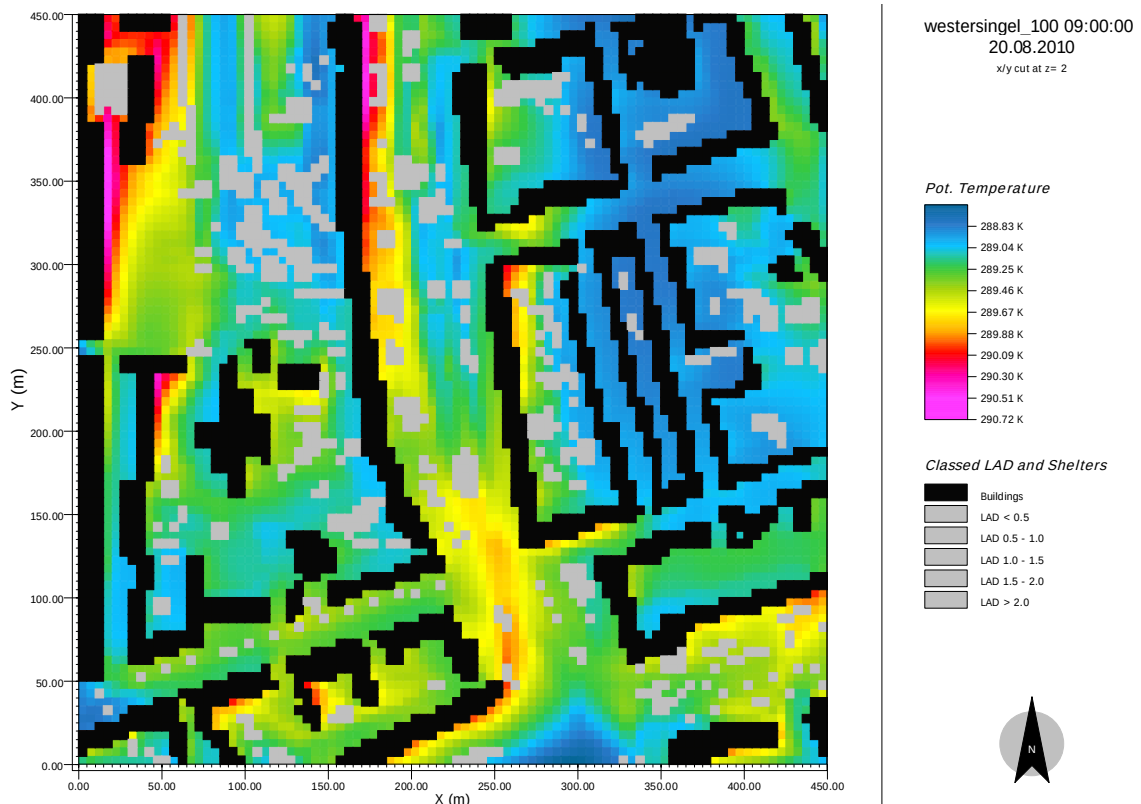
Om 9:00 uur staat de zon in het zuidoosten waardoor de zuid- en oostgevels van de gebouwen sterk worden opgewarmd waardoor ook de lucht hier sterk opwarmt. Door de zuiden wind wordt de warmte naar het noorden getransporteerd, zoals duidelijk zichtbaar is aan de pluim aan de onderkant van de figuur (coördinaat 52,12).

Om 14:00 uur staat de zon al langere tijd op de zuidgevels te schijnen waardoor de lucht sterk wordt opgewarmd en de verschillen met 9:00 uur nog groter zijn.

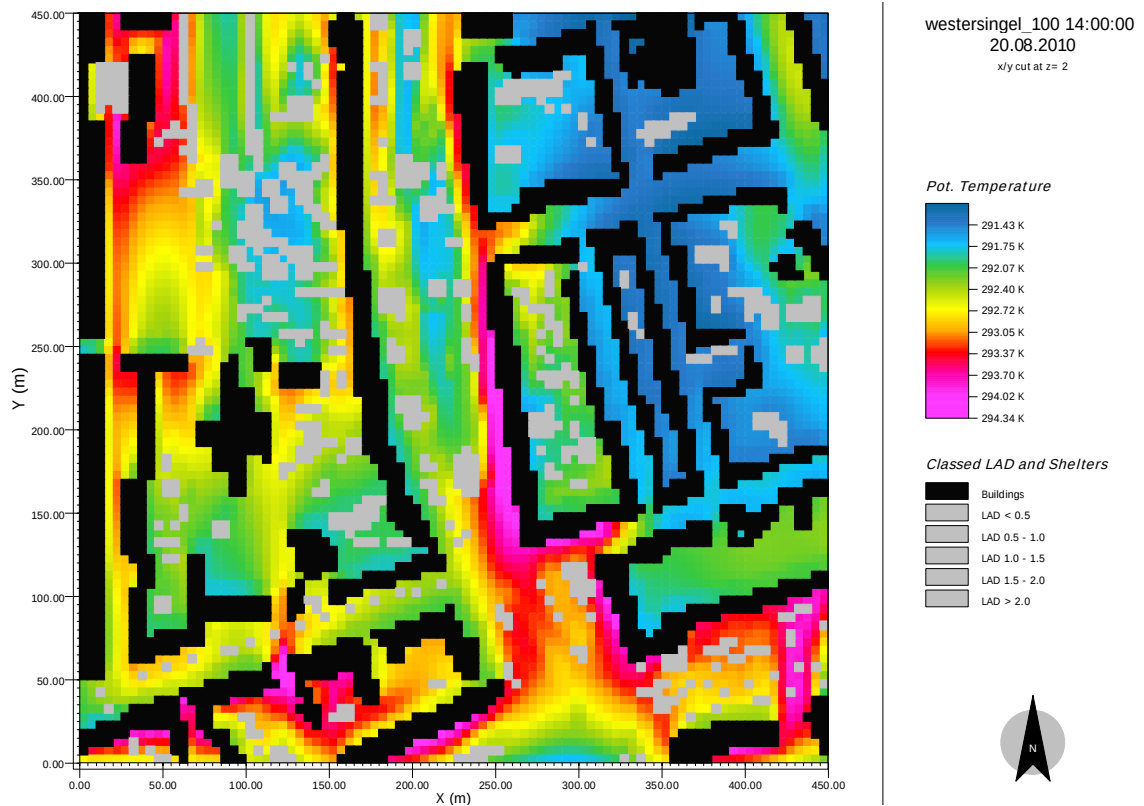
Het valt op dat om zowel 9:00 en 14:00 de temperatuur tussen de woningen aan de oostzijde van de Westersingel relatief laag is, terwijl de metingen in de Mauritsstraat juist laten zien dat de temperatuur hier relatief hoog is. Op dit moment kunnen hier echter nog geen uitspraken over gedaan worden.

Om 19:00 uur (Figuur 4.4) is te zien dat de westgevels van de gebouwen sterk opwarmen.

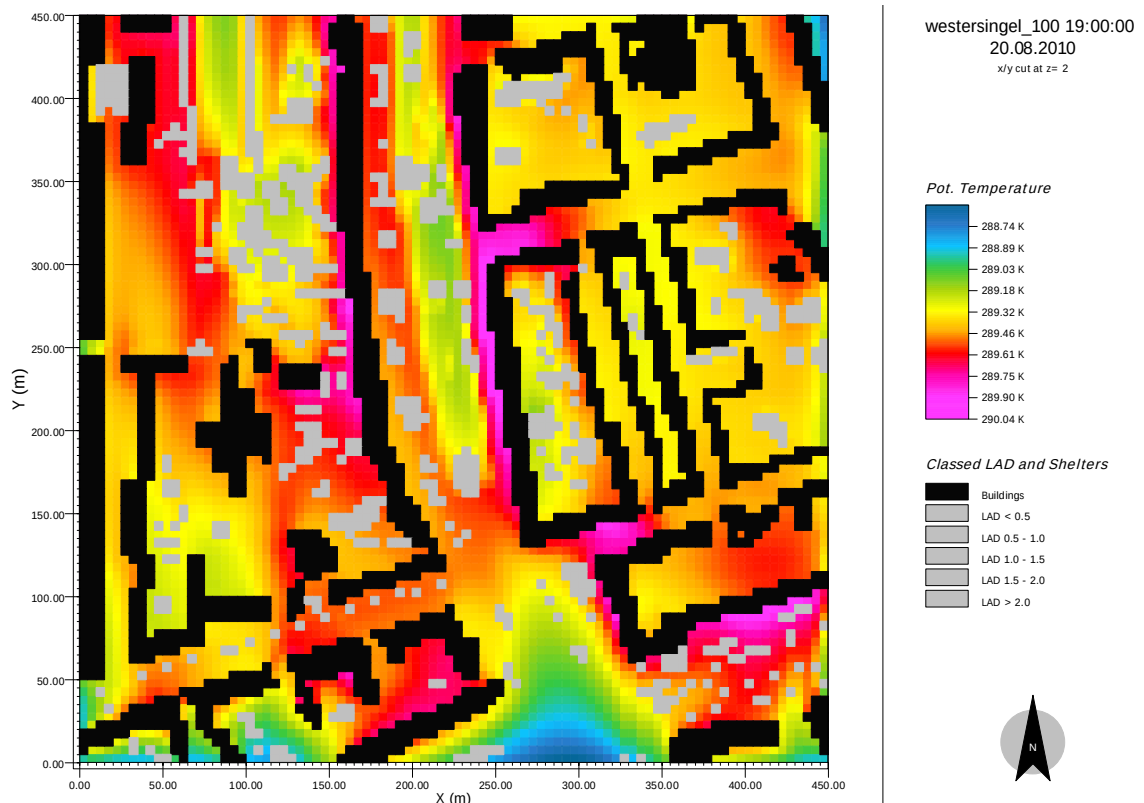
De temperatuur van het oppervlaktewater bereikt overdag een maximum temperatuur van ongeveer 20 °C en 's Nachts daalt de temperatuur tot ongeveer 16 °C.



Figuur 4.2 Temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus om 9 uur



Figuur 4.3 Temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus. om 14 uur



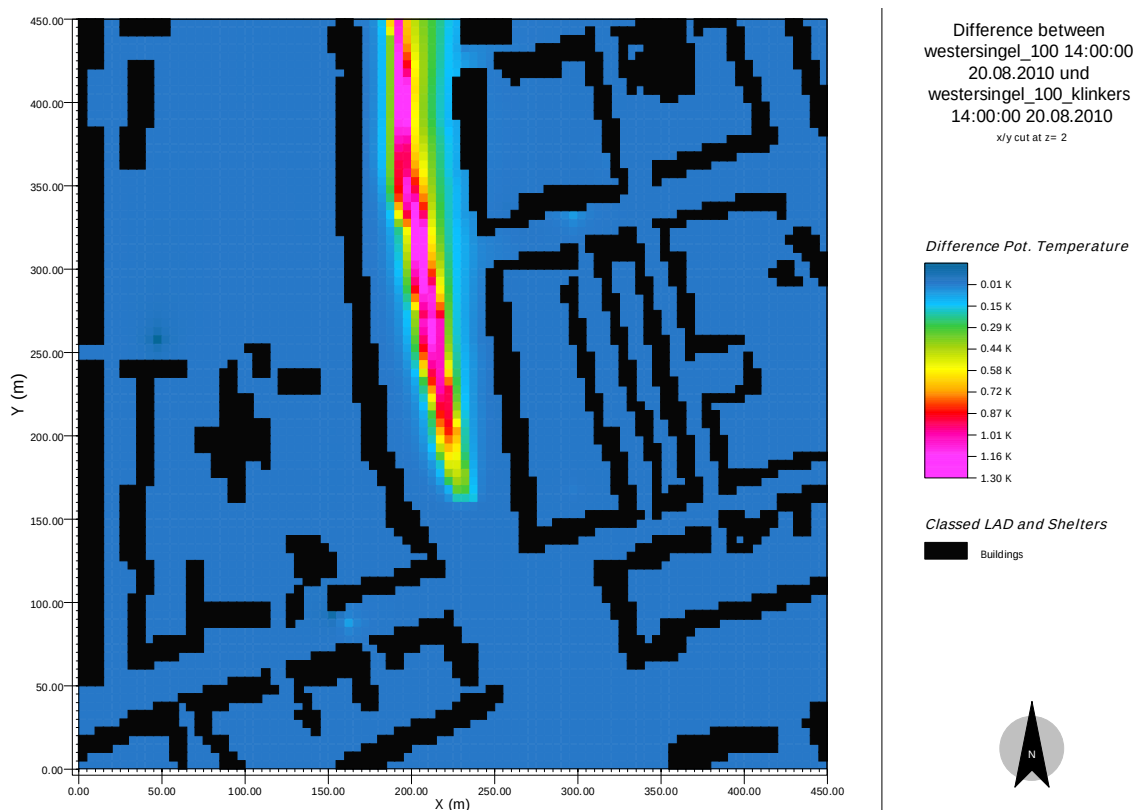
Figuur 4.4 Temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus. om 19 uur

4.2 Invloed oppervlakte water

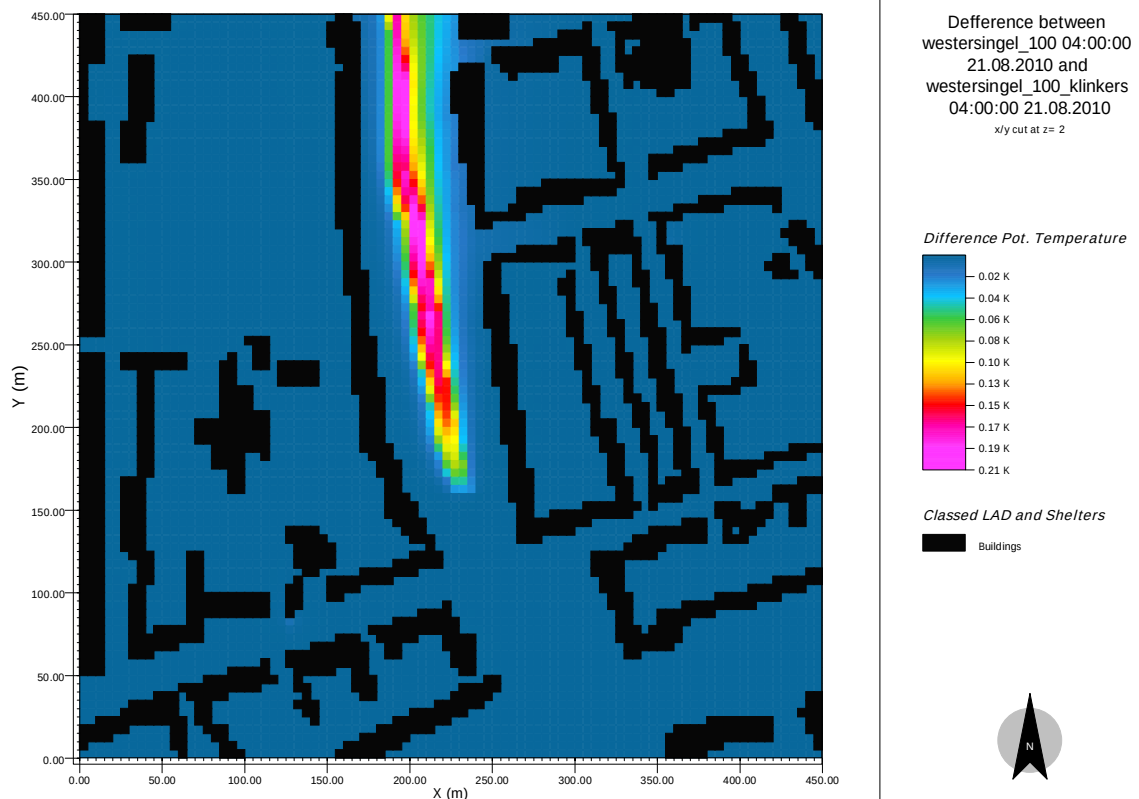
Met behulp van het micro-meteorologische model kan de invloed van oppervlakte water op de omgevingstemperatuur onderzocht worden. Door een simulatie uit te voeren van de huidige situatie en een situatie waar het oppervlaktewater vervangen is door bijvoorbeeld klinkers kan het effect bepaald worden.

Figuur 4.5 laat het verschil in temperatuur zien tussen de beide simulaties, waarbij een positieve temperatuur het koelend effect van het oppervlaktewater is. Het maximale koelende effect op 1.05 m is 1.34 °C boven het water. Het valt op dat het effect nauwelijks uitstraalt naar de omgeving. Dit wordt mede beïnvloed door het feit dat er gerekend is met zuiden wind. Doordat in de huidige modelopzet alleen het zuidelijke deel van de Westersingel is gemodelleerd is het koelend effect in het noorden (Kruisplein) helaas niet te bepalen.

Het totale koelende effect binnen het modeldomein kan gedefinieerd worden als de som van het temperatuur verschil binnen het domein. Deze som is 245 °C. Het totale modeldomein beslaat 8100 cellen in de horizontaal waarvan 129 cellen als water zijn gedefinieerd (1.6%). Het totale koelende effect per cel water bedraagt dus $245\text{ °C} / 129 = 1.90\text{ °C}$ per cel.



Figuur 4.5 Temperatuurverschil tussen de situatie met de Westersingel en de situatie waar het oppervlaktewater is vervangen door klinkers. De temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus, om 14 uur is getoond

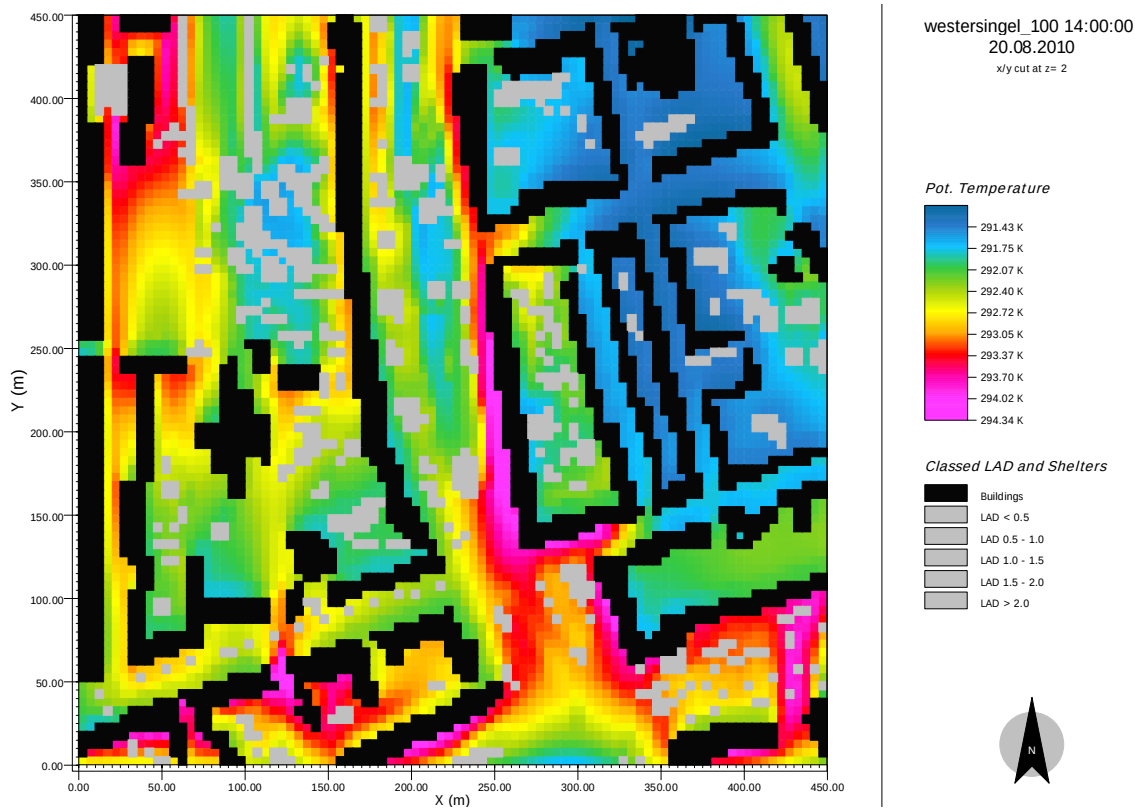


Figuur 4.6 Temperatuurverschil tussen de situatie met de Westersingel en de situatie waar het oppervlaktewater is vervangen door klinkers. De temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 21 augustus, om 04 uur is getoond

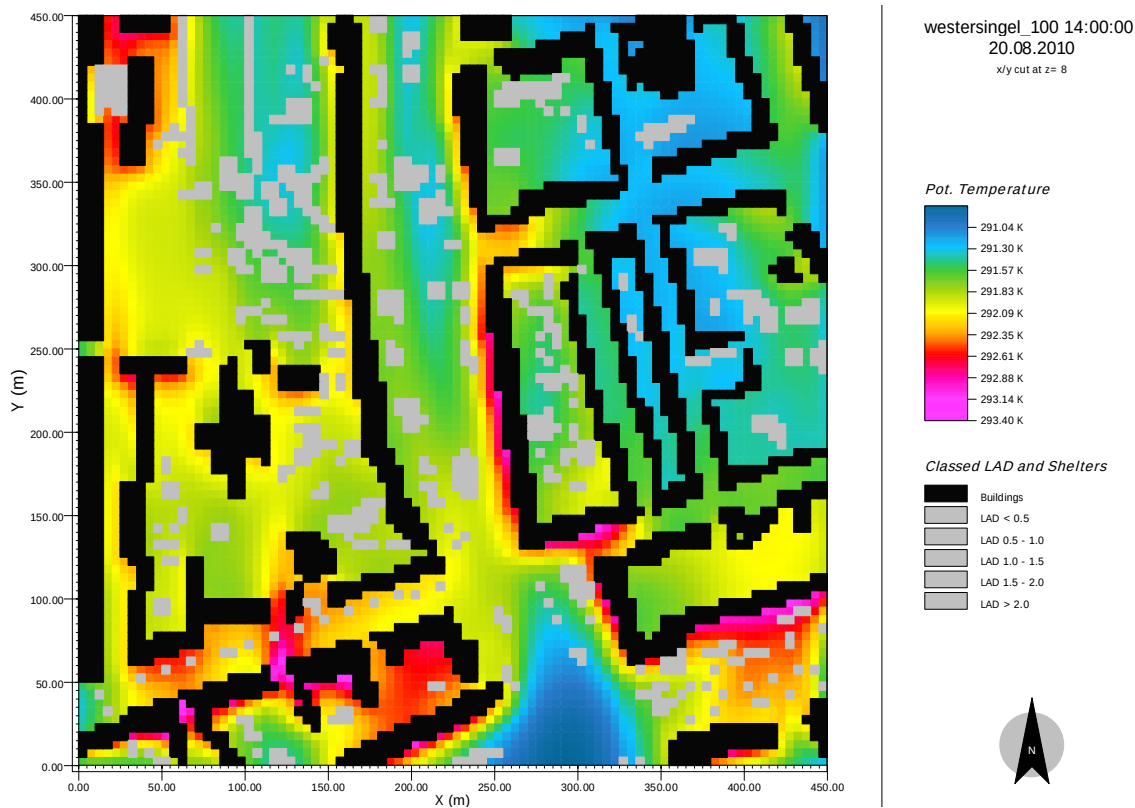
Het verschil in temperatuur 's nachts (Figuur 4.6) is wel duidelijk aanwezig, maar wel een stuk kleiner.

4.3 Temperatuurverschil op 5 m versus leefniveau

Om een gevoel te krijgen voor het effect van het oppervlaktewater op de luchttemperatuur die gemeten wordt op ongeveer 5 m hoogte en op leefniveau kan een vergelijking gemaakt worden tussen (Figuur 4.7 en Figuur 4.8). Temperatuurverschil op 5.7 m hoogte tussen de cellen naast de gebouwen aan de westzijde van de Westersingel en boven de Westersingel bedraagt c.a. 0.5 °C. Dit is hetzelfde temperatuurverschil als met behulp van de DTS glasvezel is geregistreerd. Op leefniveau (Figuur 4.3) bedraagt dit verschil c.a. 0.8 °C. Het is dus waarschijnlijk dat metingen op leefniveau een (iets) groter koelend effect van het oppervlaktewater zullen tonen.



Figuur 4.7 Temperatuur op 1.05 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus. om 14 uur



Figuur 4.8 Temperatuur op 5.74 m hoogte boven het oppervlak op 20 augustus. om 14 uur

5 Conclusies

In dit onderzoek is met behulp van temperatuurmetingen en micro-meteorologische modelberekeningen het effect van oppervlaktewater op de omgevingstemperatuur bepaald op verschillende ruimtelijke schaalniveaus: wijk-, straat- en microniveau. De gemeten effecten op de verschillende schaalniveaus verschillen. De temperatuurmetingen hebben plaatsgevonden in augustus 2010. In deze periode zijn geen zeer warme ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) windstille dagen geweest, waardoor de gemeten effecten beperkt zijn gebleven.

Op wijkniveau is de temperatuur gemeten met losse temperatuursensoren. Bij de Westersingel worden lagere temperaturen gemeten dan in de omgeving (Kruisplein (noorden), Eendrachtspaleis (zuiden) en de Mauritsstraat (oosten)). De temperatuurverschillen overdag zijn op de drie warmste dagen gemiddeld tussen 0.3 en $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ overdag en 's nachts tussen 0.1 en $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Het maximum gemeten temperatuurverschil ligt tussen de 1.1 en de $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze metingen zijn uitgevoerd op een hoogte van ongeveer 5 m . De modelresultaten laten zien dat in het geval van zuiden wind het temperatuur effect niet verder draagt dan het gebied van de Westersingel (water, terras en straat).

Op straatniveau is de temperatuur gemeten met behulp van de DTS glasvezelkabel techniek. De kabel was bevestigd op een hoogte van 5 m . De temperatuurverschillen tussen metingen boven de straat en boven het water zijn klein (orde $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) gemeten. Deze verschillen komen overeen met resultaten van het micro-meteorologisch model (Envimet). Op basis van de theorie van warmte uitwisseling is te verwachten dat de temperatuurverschillen op leefniveau groter zijn. De resultaten van de uitgevoerde modelberekeningen met het micro-meteorologisch model onderbouwen deze stelling. Vegetatie en uitstraling door gebouwen hebben een sterk effect op de gemeten resultaten. Het effect van oppervlaktewater is hierdoor niet eenduidig aan te tonen omdat het oppervlaktewater effect niet losgekoppeld kan worden van de verschillen in ondermeer geometrie van de straat en de aanwezigheid vegetatie. Effecten die op dit schaalniveau, zoals schaduw en warmte uitstraling van gebouwen en groen (bomen) zijn met de gebruikte techniek wel beter inzichtelijk geworden. Metingen in de lucht met behulp van de DTS glasvezelkabel techniek worden nog niet vaak uitgevoerd. Deze techniek is zeer geschikt gebleken voor metingen waarbij een ruimtelijk en temporeel beeld gewenst is. Het effect van straling van de zon op de gemeten temperatuur is gelijk aan die van de sensoren die geplaatst zijn in de weerhutten.

Het verschil in temperatuur is het meest zichtbaar op microniveau. Hierbij is de temperatuur vlak boven het water $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ lager dan de temperatuur op 0.5 m boven het water. Hierbij wordt de temperatuur vlak boven het water hoofdzakelijk beïnvloed door het water en de temperatuur op 0.5 m hoogte vooral door de temperatuur in de omgeving. De temperatuurgradiënt wordt met name beïnvloed door de verticale uitwisseling van de warmte waarbij wind een sterke rol speelt. Ook de opwarming van het water (opslag van warmte) speelt een duidelijke rol in de warmtebalans. Uit de metingen blijkt dat de opwarming tot een gemiddelde opslag van 75 Wm^{-2} (10% van inkomende straling) leidt. De DTS metingen die hiervoor zijn gebruikt geven in het water en erboven een duidelijk beeld van de uitwisseling tussen beiden. Door de continuïteit van de metingen bij de overgang van water en lucht is deze methode zeer geschikt voor onderzoek naar deze uitwisseling.

In dit onderzoek blijkt dat op het laagste schaalniveau (micro) het effect van oppervlaktewater het meest duidelijk zichtbaar is. Dit komt doordat de effecten van andere “verstoringen” factoren als schaduwwerking en uitstraling van gebouwen minimaal zijn. Ook de verticale

temperatuur gradiënt is goed zichtbaar, waardoor inzichtelijk is dat de ruimtelijke temperatuurverschillen op een hoogte van 5 meter relatief klein zijn. Het koelende effect op de hogere schaalniveaus is minder eenduidig doordat deze wel beïnvloed worden “verstorende” factoren als schaduw en uitstraling.

Omdat dit onderzoek gericht is op een enkele case is het moeilijk om harde algemene conclusies te trekken over de verkoelende werking van water. Op basis van dit onderzoek geeft oppervlaktewater vooral verkoeling boven en direct langs het water. Het verkoelende effect op de omgeving lijkt beperkt en wordt sterk bepaald door de wind.

Het creëren van extra oppervlaktewater als een zinvolle adaptatiemaatregel tegen het hiteiland effect of Hittestress kan daardoor op basis van dit onderzoek niet onderbouwd worden. Het gemeten koelende effect is beperkt, maar wel aanwezig. De singel als geheel (o.a. geometrie, vegetatie en oppervlaktewater) heeft wel een lagere temperatuur dan de nabijgelegen twee pleinen en een nabijgelegen straat.

Om het koelende effect van oppervlaktewater beter te kunnen bepalen is het verstandig om metingen op een laag schaalniveau uit te voeren waardoor de afzonderlijke processen beter gedestilleerd kunnen worden. Deze kennis is ondermeer van belang voor het verbeteren van meteorologische modellen.

Vanuit het oogpunt van hittebeperkende maatregelen is het zinvol om ook onderzoek te doen naar andere manieren waarop water als verkoelende adaptatie maatregel ingezet kan worden. Fontein, het besproeien van straten en gevels en verneveling kunnen lokaal de temperatuur verlagen en verkoeling brengen. Omdat een hoge luchtvochtigheid tot een toename van de gevoelstemperatuur leidt, dient het effect op de luchttemperatuur hierbij wel in combinatie met de luchtvochtigheid onderzocht te worden.

Micro-meteorologische modelberekeningen kunnen helpen in het bepalen van de verkoelende effecten van water en of groen. Zonder kalibratie moeten de modeluitkomsten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd en zijn de modeluitkomsten vooral richtinggevend. Met name bij oppervlaktewater verdamping zorgen modelvereenvoudigingen in het gebruikte model mogelijk voor afwijkingen ten opzichte van de werkelijke waarden. Validatie en aanpassing van het model op dit punt zouden modeluitkomsten kunnen verbeteren.

6 Referenties

Deltares (2011), Meetexperiment invloed open water op omgevingstemperatuur.

Robitu, M., C. Inard, D. Groleau, & M. Musy (2004). Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption. Building Service Engineering Research Technology 25, 3, pp. 171-182.

Salcedo Rahola, B., Oppen, P. van and Mulder, K. (2009). Heat in the city, ISBN 978-90-8815-008, KvR rapportnummer KvR013/2009.

Selker, John S., Luc Thevenaz, Hendrik Huwald, Alfred Mallet, Wim Luxemburg (2006). Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems, Water Resources Research, VOL. 42, W12202, doi:10.1029/2006WR005326.

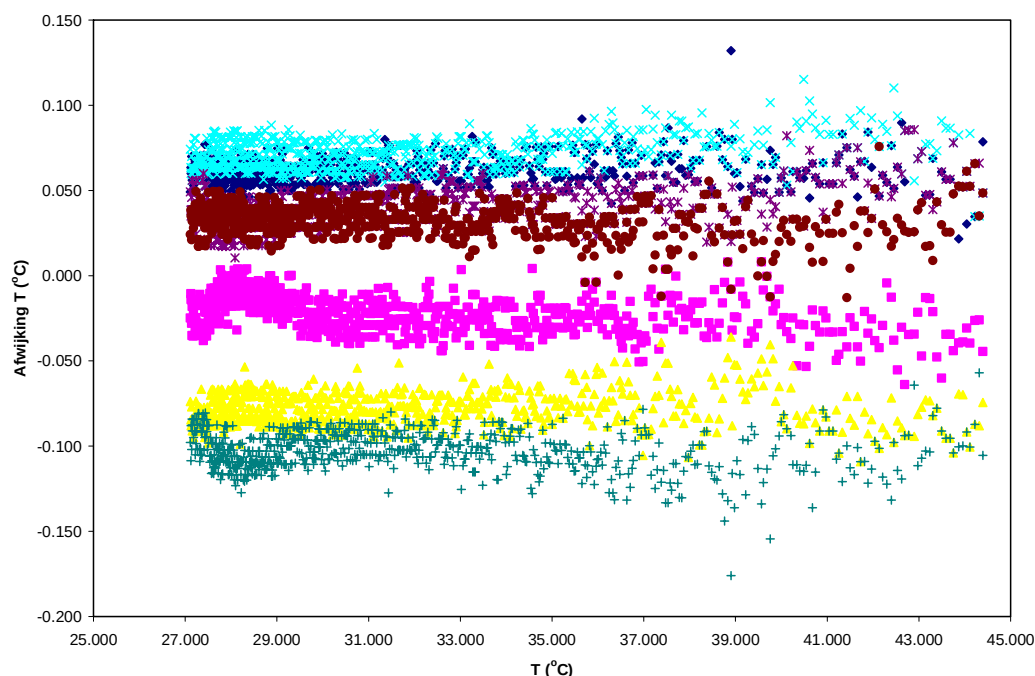
TNO (2010), De invloed van stedelijke hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam.

TNO (2011), De relatie tussen temperatuur en slaapkwaliteit van ouderen.

A Kalibratie meetapparatuur

Kalibratie Tidbits

De Tidbits zijn ten opzichte van elkaar gekalibreerd door de Tidbits in een bad warm water te leggen en deze te laten afkoelen. In onderstaande figuur zijn de afwijkingen in gemeten temperatuur ten opzichte van de gemiddeld gemeten temperatuur uitgezet tegen de gemiddelde temperatuur. Hieruit blijkt dat de afwijking maximaal 0.1 °C bedragen en dat deze niet afhankelijk is van de gemeten temperatuur in het bereik van 27-44.4 °C. De gemeten afwijkingen zijn verwerkt in de resultaten gepresenteerd in de tekst.



Tidbit nummer	Afwijking t.o.v. gemiddelde temperatuur	Locatiennaam
1209368	0.060	Westzijde Westersingel
1239548	-0.022	Kruisplein
1239549	-0.078	Eendrachtsplein
1239552	0.071	Oostzijde Westersingel
1285846	0.040	In Westersingel
1285847	0.032	Gemeentewerf
1285848	-0.103	Mauritsstraat

Kalibratie DTS glasvezelmetingen

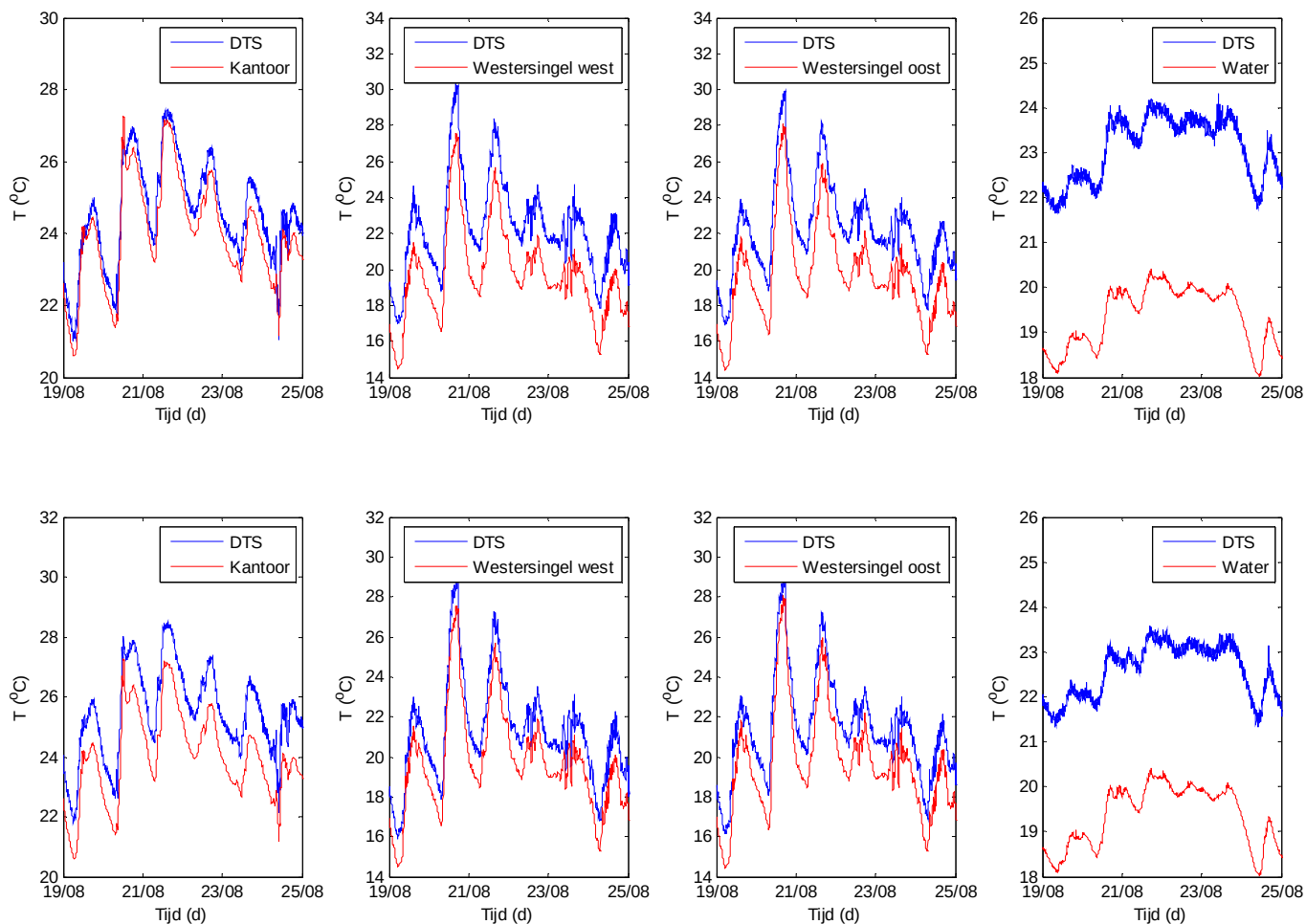
De Oryx meetcomputer voert zelf een kalibratie van de meetdata uit met behulp van een om een spoel gewonden interne glasvezelkabel en twee temperatuursensoren. Door verschillende oorzaken kunnen echter verstoringen plaatsvinden in het signaal. De belangrijkste verstoringen zijn verschuivingen van het signaal langs de gehele kabel, een trend in het signaal langs de kabel, en een over of onderschatting van de amplitude van het signaal.

Onderstaande figuur toont de in dit onderzoek gemeten verschuivingen in het signaal ten opzichte van de Tidbit metingen in de weerhutten. In dit onderzoek zijn op drie locatie verschuivingen opgetreden:

- Als gevolg van de eerste las vlak bij de Oryx meetcomputer in het kantoor.
- Als gevolg van een nauwe bocht in de kabel vlak buiten het kantoor.
- Als gevolg van een tweede las die tussen de lucht metingen en de metingen in de cilinder in de Westersingel zit.

Deze verschuivingen zijn zichtbaar in onderstaande figuur en de grote staan in onderstaande tabel. Bij de verschuivingen is geen verandering in de amplitude ten opzichte van de sensormetingen waar te nemen. De verschuivingen zoals weergegeven in onderstaande tabel zijn gebruikt voor correctie van het signaal. Dit gecorrigeerde signaal is gebruikt voor de analyses zoals beschreven in de hoofdtekst.

In het signaal is zijn geen trendfout of amplitude fout waargenomen.



Figuur A.1 Verschuiving van het DTS glasvezelsignaal op verschillende locaties ten opzichten van de Tidbit metingen

Tabel A.1 Verschuiving van het DTS glasvezelsignaal op verschillende locaties ten opzichten van de Tidbit metingen

Kabelnummer	Kantoor	Westersingel west	Westersingel oost	Water
Verschuiving T kabel 1	-0.5	-2.4	-2.4	-3.8
Verschuiving T kabel 3	-1.3	-1.8	-1.8	-3.1

B Instellingen micro-klimaatmodel Envi-met

Configuration file:

```
% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                =westersingel_100_klinkers
Input                                     file      Model      Area
=[westersingel_100_klinkers]\westersingel_100_klinkers.in
Filebase name for Output (Text):           =WS
Output Directory:                         =[westersingel_100_klinkers_out]
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):      =20.08.2010
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):       =00:00:00
Total Simulation Time in Hours:            =48.00
Save Model State each ? min               =20
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]       =3
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =180
Roughness Length z0 at Reference Point    =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]        =288
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7
Relative Humidity in 2m [%]               =50
Database                                     Plants
=[westersingel_100_klinkers_in]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
[BUILDING] _____ Building properties
Inside Temperature [K]                    =293
Heat Transmission Walls [W/m²K]            =1.94
Heat Transmission Roofs [W/m²K]           =6
Albedo Walls                             =0.2
Albedo Roofs                             =0.3

[SOLARADJUST] _____
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5) =1.0

[RECEPTORS] _____
Save Receptors each ? min                 =10.0
[PLANTMODEL] _____ Settings for plant model
Stomata res. approach (1=Deardorff, 2=A-gs) =2
Background CO2 concentration [ppm]        =350
[PMV] _____ Settings for PMV-Calculation
Walking Speed (m/s)                      =0.3
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)              =116
Mech. Factor                             =0.0
Heattransfer resistance cloths             =0.5
```