



Conceptversie 4

Meetstrategie en werkplan project 1.1 KvK Climate Proof Cities

WUR:

Bert van Hove
Cor Jacobs
Jan Elbers
Bert Heusinkveld
Oscar Hartogensis
Reinder Ronda
Gert-Jan Steeneveld
Eddy Moors
Bert Holtslag

Deltares:

Rogier Westerhoff
Reinder Brolsma
Frans van de Ven

TNO:

Lisette Klok

Copyright @ 2010

National Research Programme Knowledge for Climate / Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). All rights reserved. Nothing in this publication may be copied, stored in automated databases or published without prior written consent of the National Research Programme Knowledge for Climate/ Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In agreement with Article 15a of the Dutch Law on authorship is allowed to quote sections of this publication using a clear reference to this publication.

Liability

The National Research Programme Knowledge for Climate and the authors of this publication have exercised due caution in preparing this publication. However, it cannot be expelled that this publication includes mistakes or is incomplete. Any use of the content of this publication is for the own responsibility of the user. The Foundation Knowledge for Climate (Stichting Kennis voor Klimaat), its organisation members, the authors of this publication and their organisations cannot be held liable for any damages resulting from the use of this publication.

Inhoud

1. Inleiding	5
2 Meetstrategie	7
2.1 Meteorologische waarnemingen in de UCL	7
2.2 Meteorologische waarnemingen in de Urban Boundary Layer (UBL)	8
3. Werkplan	9
3.1 Gebouwschil	9
3.1.1 Arnhem	9
3.1.2 Tilburg	11
3.2 Schil-straat-wijk	12
3.2.1 Mobiele metingen	12
3.2.2 Het effect van groene en blauwe elementen op de omgevingstemperatuur	14
3.3 Straat-woonwijk	17
3.4 Wijk-agglomeratie-regio	19
3.4.1 Satellietbeelden	19
3.4.2 Scintillometermetingen	20
3.4.3 Vliegtuigmetingen	21
Bijlage A Het effect van groene en blauwe elementen op de omgevingstemperatuur: nadere uitwerking van de metingen	25
Bijlage B: Issues per stadschaal en geplande meetactiviteiten	31

1. Inleiding

In de beschrijving van het stadsklimaat kunnen drie horizontale schalen en daaraan gerelateerde verticale atmosferische schalen worden onderscheiden (fig. 1.1):

1. Microschaal of straatniveau – UCL
2. Lokale schaal of wijkniveau - UCL/UBL (urban surface layer)
3. Mesoschaal of stad- en omgeving - UBL

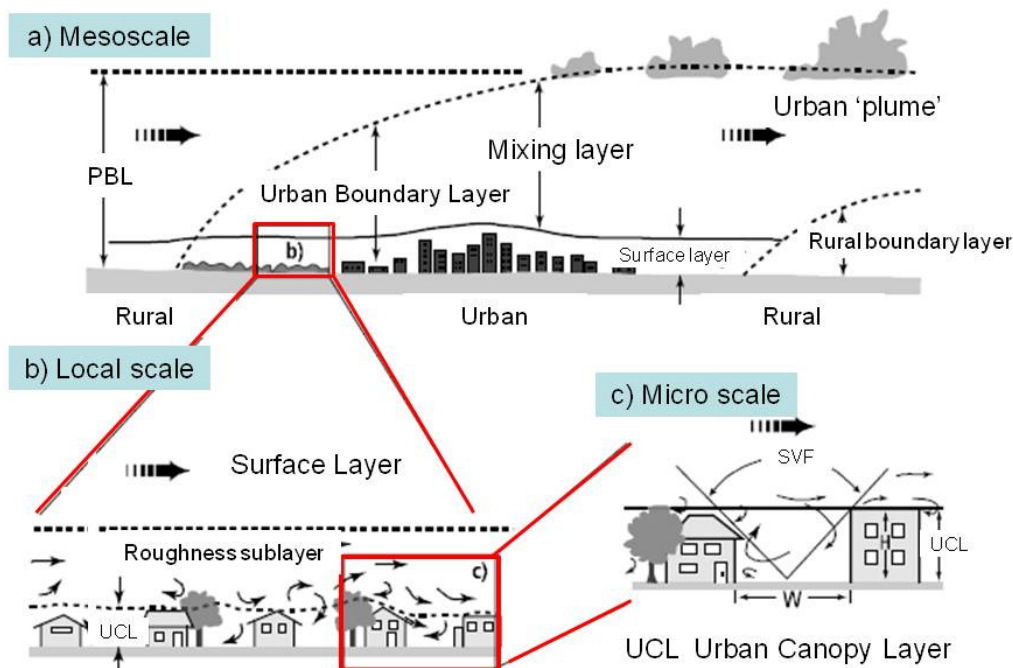


Fig. 1.1. De horizontale stadsschalen en daaraan gerelateerde verticale atmosferische schalen.

PBL planetary boundary layer, UBL the urban boundary layer, UCL urban canopy layer. De dikke pijlen geven de gemiddelde windrichting aan, de dunne pijlen de turbulente flows (figure modified after Oke 1997).

De invloed van de stad kan tot op grote hoogte in de atmosfeer boven de stad merkbaar zijn. Boven de stad bevindt zich een atmosferische grenslaag die 'Urban Boundary Layer' (UBL) wordt genoemd. De hoogte van deze grenslaag verandert met de zonnestand en met het weer. Om een indruk te geven: 50% van de tijd is de dikte 200 m, van zonsondergang tot zonsopgang, terwijl 50% van de tijd overdag de menglaag ruim 1000 m dik is. De bovenzijde van de UBL wordt veelal gekenmerkt door een geringe toename van de temperatuur, een zogenaamde inversie die de verticale luchtbewegingen dempt. Luchtverontreinigingen worden in eerste instantie niet door deze inversie getransporteerd en blijven gemiddeld bijvoorbeeld 24 uur in de grenslaag aanwezig.

Binnen de UBL kan men een onderlaag onderscheiden die de 'Urban Canopy Layer' wordt genoemd. De hoogte van de UCL wordt bepaald door de gemiddelde hoogte van gebouwen, bomen en andere structuren in de stad en varieert dus sterk. Het 'dak van de stad' vormt als het ware een scheiding tussen bewegingen in de UBL en die in de UCL. De verticale

uitwisseling van momentum, warmte, vocht en luchtverontreinigingen tussen de UCL en UBL is van belang voor het klimaat op leefniveau. Vooral tijdens de nachtelijke uren kunnen de verticale luchtbewegingen sterk zijn gedempt waardoor de uitwisseling tussen de lagen gering is. Ten gevolge hiervan vindt er slechts een geringe afkoeling op leefniveau plaats en blijven ook concentraties van luchtverontreinigingen relatief hoog. Dit betekent bijvoorbeeld dat stedenbouwers voorzichtig moeten omgaan met het doorbreken van het stedelijke dak met hoge gebouwen. Als een hoger gebouw het dak doorbreekt, moet verslechtering van het stadsklimaat door slimme ontwerpen worden voorkomen.

In discussies over het stadsklimaat gaat het vooral om het microklimaat, d.i.: het klimaat op een bepaalde plaats in de stad. Binnen een stad kunnen grote verschillen in microklimaat optreden. Behalve van het 'algemene stadsklimaat' is het microklimaat afhankelijk van eigenschappen, zoals de straatbreedte, de hoogte, oriëntatie en oppervlakte-eigenschappen van de aangrenzende gebouwen. Het microklimaat is echter niet alleen van belang voor de leefbaarheid in een stad, maar ook voor het binnenklimaat en energiehuishouding van gebouwen. Diverse adaptatiemaatregelen worden overwogen om de negatieve gevolgen van klimaatverandering voor het stadsklimaat te beperken. Deze maatregelen hebben betrekking op zowel ruimtelijke ordening (meer groen en water, oriëntatie en dichtheid van bebouwing) als eigenschappen van gebouwen en oppervlakken zoals Albedo en thermische eigenschappen. Daarbij kunnen maatregelen op de microschaal gevolgen hebben voor maatregelen op de lokale schaal of mesoschaal. Zo heeft het gebruik van materialen in de bouw met een hoge zonnereflectie (hoge Albedo) niet alleen een direct effect op het binnenklimaat, maar ook op het microklimaat en eventueel ook op het lokale klimaat. Omgekeerd kunnen maatregelen in de ruimtelijke ordening om bijvoorbeeld de natuurlijke ventilatie van een wijk te verbeteren een effect hebben op straat- en gebouwniveau.

Voor het ontwikkelen van effectieve adaptatiestrategieën en maatregelen moet men dus rekening houden met alle schaalniveaus. Dit betekent dat er behoefte is aan kennis van meteorologische processen op alle schaalniveaus.

Verdere indeling van de notitie

In hoofdstuk 2 wordt verder ingegaan op de gekozen meetstrategie. De tabellen in bijlage A geven een overzicht van de issues per stadschaal, geplande meetactiviteiten, betrokken onderzoeksinstellingen en hotspots en schattingen van de bijbehorende budgetten. Een nadere uitwerking wordt in hoofdstuk 3 gegeven.

2 Meetstrategie

Om zinvolle meteorologische waarnemingen te krijgen is het dus essentieel om bij het ontwerp van een meetstrategie rekening te houden met de verschillende horizontale en verticale stadsschalen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de issues die op de verschillende stadsschalen spelen, en daaraan gerelateerde atmosferische schalen en meteorologische waarnemingen.

Tabel 2.1

Bestuursniveau	Plannings-niveau	Issues	Schaal	waarnemingen
Stad (+ omgeving) 1 : 25,000	Stedelijk ontwikkeling	- UHI effecten - Impact regionaal weer - Impact stad op peri-urbane gebieden	Meso UBL	- Vliegtuig - Satelliet
Stadsdeel/wijk 1 : 5,000	wijkinrichting	- Impact bebouwde omgeving - Impact stedelijk groen en open water - luchtverontreiniging	Meso UCL (+ USL)	- Vliegtuig - Satelliet - Meteorologische mast - scintillometers, sodar, lidar, etc.
Gebouw(blokken) en straten 1 : 2,000	Ontwerp open ruimte	- microklimaat - Thermisch comfort - Gezondheid	Micro UCL	- Mobiele trajectmetingen - Continue <i>in situ</i> metingen
Gebouw 1 : 500	Gebouw-ontwerp	- Buiten ↔ binnen klimaat - gebouwschil	Micro UCL	- binnenmetingen - buitenmetingen nabij gebouw

Men kan onderscheid maken tussen waarnemingen in:

1. Urban Canopy Layer (UCL): de atmosfeer vanaf grondoppervlak tot gemiddelde hoogte van de stadsgebouwen en bomen;
2. Urban Boundary Layer (UBL): de atmosfeer boven het 'dak van de stad' tot aan de inverse bovenlaag, variërend in hoogte van 200m tot 1 – 1,5 km.

2.1 Meteorologische waarnemingen in de UCL

De waarnemingen in de UCL verschaffen inzicht in relatie tussen microklimaat en straat- en wijk eigenschappen. De gegevens zijn belangrijk voor het begrijpen van de processen die in de UCL plaatsvinden, en voor de validatie en parameterisatie van het te ontwikkelen modelinstrumentarium (project 1.2 en 1.3). De waarnemingen kunnen worden gerelateerd aan oriëntatie van gebouwen, bebouwingsdichtheid en –hoogte, eigenschappen van materialen gebruikt voor wandoppervlakken en bestratingen, en de aanwezigheid van open water en groen. Ook kunnen de resultaten worden gerelateerd aan het binnenklimaat van gebouwen, en aan indicatoren voor thermisch comfort en hittestress (PET¹, WBGT², PMV³).

¹ Physiologically Equivalent Temperature,

Bovendien kunnen de waarnemingen in de UCL worden gebruikt voor de verificatie van beelden die met remote sensing technieken zijn verkregen (e.g. satelliet en vliegtuig waarnemingen).

2.2 Meteorologische waarnemingen in de Urban Boundary Layer (UBL)

De straling- en energiebalans zijn essentiële onderdelen van de mesoschaalmodellen. Zij zijn de 'drivers' voor de weerpatronen die door de modellen worden gegenereerd. De oppervlakte-eigenschappen (albedo, thermische eigenschappen, doorlaatbaarheid voor water) in stedelijke gebieden verschillen sterk met die in rurale gebieden. Daarnaast vormen de antropogene activiteiten in de stad een belangrijke extra 'input' van voelbare warmte. Hierdoor is de energie balans voor stedelijke gebieden (SEB) sterk verschillend met die voor rurale gebieden. Hetzelfde geldt voor de stralingsbalans ten gevolg van de luchtverontreiniging (aerosolen) in stedelijke gebieden. Gegevens over stralingsfluxen (kortgolvlige en langgolvlige straling), voelbare en latente (evaporatie) warmtefluxen voor stedelijke gebieden zijn dan ook nodig om het stedelijk achtergrondklimaat beter te leren begrijpen en ook de mesoschaalmodellen verder geschikt te maken voor de stedelijke omgeving. De output van de mesoschaalmodellen zijn ook nodig voor het bepalen van de grenscondities van het microklimaat model (project 1.3). Bovendien geven de metingen waardevolle informatie voor de stedelijke waterbalans: deze is via de latente warmteflux (evaporatieflux) gekoppeld aan de SEB.

Het is belangrijk dat meteorologische waarnemingen in de stedelijke omgeving complementair zijn; de metingen dienen de ruimtelijke variaties alsmede de variaties in de tijd van meteorologische condities in de urban canopy te omvatten. Daarom worden permanente metingen gecombineerd met meetcampagnes om een hogere ruimtelijke resolutie te krijgen. Voor de validatie en parameterisatie van simulatiemodellen zijn niet alleen routinemetingen nodig maar ook meer specifieke waarnemingen m.b.t. bijvoorbeeld warmte en verdampingsfluxen in en boven de UCL, of van de structuur van de UBL. Satellietbeelden en andere remote sensing technieken kunnen waardevolle ruimtelijke informatie.

² Wet Bulb Globe Temperature

³ Predicted Mean Vote

3. Werkplan

3.1 Gebouwschil

Doelstellingen:

1. Vaststellen van de relatie tussen binnen- en buitenklimaat
2. Vaststellen van effect van gebouwschil
3. Vaststellen van effectiviteit van veranderingen aan de gebouwschil op zowel binnen- als buitenklimaat
4. Vaststellen van het effect op de energiehuishouding gebouwen

Locaties: Arnhem, Tilburg, (Amsterdam)

Periode: 2011-2012

Betrokken personen of instanties:

- TUE-WUR-TNO
- Gemeente Arnhem
- Gemeente Tilburg

3.1.1 Arnhem

In 2010 is de UHI van Arnhem in kaart gebracht. Dit gebeurde in het kader van het Future cities project (EU Intereg IVb). Voor het valideren van de 'urban climate analysis map' zijn de resultaten van mobiele metingen gebruikt.

De gemeente Arnhem wil adaptatiemaatregelen meenemen in de herinrichting van straten en pleinen. Vandaar dat Future Cities onderzoeksbudget beschikbaar stelt als co-financiering voor een uitgebreider KvK-CPC onderzoek naar de effectiviteit van adaptatiemaatregelen om straten en pleinen meer 'climate proof' te maken. Hierbij is niet alleen het buitenklimaat van belang, maar ook het binnenklimaat in aangrenzende gebouwen. De herinrichting dient ook te leiden tot een beter binnenklimaat, waarmee een verband wordt gelegd met mitigerende maatregelen gericht op bijvoorbeeld het verminderen van het energieverbruik. Voorts dient het aspect luchtkwaliteit te worden meegenomen.

Als 'case object' werd aanvankelijk voor de Weerdjesstraat gekozen. Hier is sprake van een grootschalige herinrichting van de straat binnen de plannen om de binnenstad beter met de Rijn te verbinden. Echter, na bezoek van de straat⁴ blijkt dat deze te heterogeen is wat betreft straatbreedte, gebouwhoogtes en gebouwtypes en dat een meer homogene straat nuttiger is voor zowel het experimentele werk als het simulatiewerk. Uiteindelijk blijkt de J.P. van Muijlwijkstraat beter aan de eisen te voldoen.

⁴ Bijeenkomst in Arnhem op 15 december 2010

Twee categorieën van metingen worden voorzien: langdurige metingen gedurende 2 jaar en korte meetcampagnes om een goed ruimtelijk beeld te krijgen. De langdurige metingen omvatten:

1. Referentiemetingen van windsnelheid en -richting op een 10 m hoge mast op het dak van een gebouw in de straat;
2. Metingen van meteorologische parameters op straatniveau (windsnelheid, windrichting, temperatuur, relatieve vochtigheid, ...)
3. Binnenmetingen van temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie



Fig. 3.1. Prof. J.P. van Muijlwijkstraat Arnhem

De meetcampagnes omvatten mobiele metingen met de bakfiets eventueel gekoppeld met interviews naar de beleefde temperatuur en de invloed van de omgevingskwaliteit ('human comfort').

Mogelijke adaptatiemaatregelen zijn:

1. Het aanbrengen van (tijdelijke) gevelbeplanting
2. Het veranderen van de albedo van de gevel (wit pleisteren)
3. Daken wit schilderen
4. Het aanbrengen van tijdelijke bomen in de straat
5. Het aanbrengen van tijdelijke groene pergola's

De resultaten geven inzicht in de effectiviteit van adaptatiemaatregelen. Ook worden de meetgegevens gebruikt voor de validatie en parameterisatie van simulatiemodellen voor het microklimaat (project 1.3, project 2.), waarmee vervolgens visualisaties van de effectiviteit van verschillende adaptatiemaatregelen m.b.t. het microklimaat worden gemaakt. De uitkomsten van deze simulatiestudies kunnen worden gekoppeld aan de binnenmetingen en aan het belevingsonderzoek.

3.1.2 Tilburg

In de maanden juni-september 2010 is door de GGD samen met Radboud universiteit, TNO-Soesterberg en WUR onderzoek gedaan naar hitte en gezondheid in Tilburg. In het onderzoek zijn zowel buiten- en binnenmetingen gedaan, terwijl ook naar de gezondheid van de ouderen (65+) is gekeken. Het onderzoek vond plaats bij 5 appartementencomplexen in Tilburg. De GGD onderzocht hier hoe ouderen de hitte ervaren: ondervinden ze er hinder van of ervaren ze gezondheidsklachten? Hiervoor nam het Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid van de GGD een vragenlijst af bij 700 ouderen. Wageningen Universiteit deed de buitenmetingen bij deze appartementencomplexen. In 14 woningen vond aanvullend onderzoek plaats waarbij TNO binnentemperatuurmetingen deed en tevens de lichaamstemperatuur van bewoners onderzocht. De GGD voerde hier aanvullende metingen uit naar de vochtigheid en ventilatie. Daarnaast gaven deze ouderen via een dagboekje aan of ze hun gedrag aan de hitte aanpasten.

Het voorstel is om het onderzoek naar de relatie tussen buiten- en binnenklimaat en gezondheid in Tilburg te herhalen en uit te breiden met binnenmetingen uitgevoerd door TU/e. Een groot voordeel is dat de onderzoeksinfrastructuur voor een belangrijk deel al aanwezig is. De metingen kunnen worden gecombineerd met mobiele metingen (zie 3.2.1). Op basis hiervan kan een hittekaart worden ontwikkeld .

3.2 Schil-straat-wijk

Doelstellingen:

1. Vaststellen van de grootte en ruimtelijke variatie van de UHI intensiteit
2. Vaststellen van de relatie tussen UHI en wijk eigenschappen (typologie)
3. Vaststellen van de relatie tussen UHI intensiteit en straat- en gebouweigenschappen
4. Vaststellen van de relatie tussen UHI intensiteit en thermisch comfort
5. Vaststellen van de effectiviteit van stedelijk groen en open water om de effecten van klimaatverandering op het stadsklimaat (hitte, droogte, wateroverlast) te mitigeren
6. Kwantificering van de toekomstige watervraag van de stad (waterbalans van de stad)
7. De relatie tussen UHI intensiteit gebaseerd op luchttemperatuur en die gebaseerd op oppervlaktetemperatuur zoals verkregen met satellietmetingen

Locaties: Rotterdam, Arnhem, Utrecht, stadsdeel Amsterdam Nieuwwest, Tilburg

Periode: 2010-2013

Betrokken personen/instanties:

- WUR-Deltares-TNO
- Gemeente Rotterdam
- Gemeente Arnhem (Future Cities)
- Gemeente Utrecht
- Amsterdam stadsdeel Nieuw-West
- Gemeente Tilburg

3.2.1 Mobiele metingen

In 2009 is het UHI van Rotterdam voor het eerst in kaart gebracht. Dit gebeurde in het kader van het project “Hittestress in the city of Rotterdam” (HSRR05, KvK 1st tranche). In project 1.1 van CPC worden de mobiele metingen in Rotterdam voortgezet voor meerdere perioden in het jaar. In combinatie met de in situ metingen met het vast meetnet (zie 3.3) wordt op die manier een hogere resolutie in ruimte en tijd verkregen.

Mobiele metingen en interviews zullen ook in een aantal andere steden worden gedaan. In eerste instantie zijn dit de steden: Arnhem, Utrecht, stadsdeel Amsterdam Nieuw-West en Tilburg. Deze steden hebben niet alleen een interessant lokaal klimaat, maar ook een verschillende typologie. Op die manier wordt een meer landelijk beeld verkregen, hetgeen belangrijk is voor de generalisatie van de resultaten.

De meetgegevens dienen in de eerste plaats om de sterkte en binnenstedelijke heterogeniteit (intra urban variability) van de UHI intensiteit te bepalen en daarmee inzicht te krijgen in de factoren die hiervoor verantwoordelijk zijn. Dit is ook belangrijk voor de parameterisatie en validatie van het te ontwikkelen modelinstrumentarium (project 1.2 en 1.3). Ook kunnen de meetresultaten worden gebruikt voor de validatie van satellietbeelden (zie §3.4.1).

Met de meetresultaten is het mogelijk om de Physiologically Effective Temperature (PET) te berekenen dat een maat is voor thermisch comfort. In sommige gevallen verschilt de

gemeten situatie van de beleving van gebruikers (perceptie). Vandaar dat het ook noodzakelijk is om ook de beleving in kaart te brengen. Dit wordt in interviews gedaan die in combinatie met de bakfietsmetingen de korte-termijnbeleving weerspiegelen. Echter, ook de langere-termijnbeleving (waarin de 'sfeer-aspecten' van de gebouwde omgeving mee worden genomen) dient te worden onderzocht. Dit kan ook in interview-reeksen gebeuren, die apart van de bakfietsmetingen staan.

De gezondheidsproblemen in de stad tijdens perioden met extreme hitte worden niet alleen door hitte maar ook door een verslechterde luchtkwaliteit veroorzaakt. Daarom worden de mobiele metingen gecombineerd met luchtkwaliteitsmetingen om de vraag te beantwoorden in hoeverre de gezondheidsproblemen tijdens een hittestressperiode worden veroorzaakt door een verslechterde luchtkwaliteit.

Bovenstaande resultaten kunnen worden gebruikt voor de ontwikkeling van "climate analysis and recommendation maps" die als een beleidsinstrument kunnen worden gebruikt.

Daarnaast kan met de mobiele meetplatforms worden ingezoomd op bepaalde situaties of locaties in de stad voor het beantwoorden van meer specifieke vragen die betrekking hebben op:

1. De afhankelijkheid van de UHI intensiteit van straat- en gebouweigenschappen zoals:
 - Sky View Factor
 - 'Aspect ratio' (building-height-to-street-width ratio)
 - Ruimtelijke orientatie van straten en gebouwen
 - Albedo en thermische eigenschappen van materialen gebruikt voor gebouwen (building envelope) en bestrating
2. Het verkoelend effect van stedelijk open water en stadsgroen. (§3.2.2). Hierbij gaat het vooral om de relatie tussen enerzijds omvang en structuur van het element en anderzijds, de reikwijdte van het verkoelende effect.

3.2.2 Het effect van groene en blauwe elementen op de omgevingstemperatuur

Dit onderdeel wordt voor een belangrijk deel door **Deltares** worden uitgevoerd. Een meer uitgebreide beschrijving van dit onderdeel staat in **Bijlage A**.

Doel en achtergrond

Bestaande groenvoorzieningen en oppervlaktewater, maar ook (extra) het besproeien van de bestaande stad en de stadsparken zorgen voor veel verkoeling in de stad. Voor een belangrijk deel wordt dit veroorzaakt door het koelende effect van de verdamping van water, de zogenaamde latente warmtestroom. Om deze verkoelende werking in stand te houden is water nodig. Dit water kan op verschillende manieren toegevoegd worden aan het systeem:

- aan begroeiing (park, boom) om daar in de vorm van evapotranspiratie verkoeling te brengen.
- op wegen, muren, mensen etc. om daar in de vorm van temperatuursuitwisseling en evaporatie verkoeling te brengen.

Warme periodes vallen vaak samen met droge periodes. Daarom is het van belang om naast de verkoelende werking ook de watervraag van deze verkoelende elementen en maatregelen te kwantificeren. Bovendien speelt verdamping een belangrijke rol bij de vertaling naar het thermisch comfort van mensen doordat de luchtvochtigheid hier een grote invloed op heeft.

Behalve dat de koelende werking ofwel latente warmtestroom in stedelijk gebied slecht in kaart is gebracht, is deze latente warmtestroom ook een van de grote onzekerheden in meteorologische modellen.

Het doel van dit onderdeel is het kwantificeren van het koelende effect van oppervlaktewater, groen en mogelijk enkele adaptatie maatregelen voor thermisch comfort in combinatie met de watervraag van deze elementen.

In dit project wordt voortgebouwd op de kennis en ervaringen die zijn opgedaan bij het uitvoeren van de metingen in Rotterdam in de zomer van 2010.

Er is gekozen voor een permanente meetopstelling in combinatie met tijdelijke opstellingen.

Permanent meetlocatie

Voor het uitvoeren van de metingen is gekozen voor het uitvoeren op 1 meetlocatie. Dit maakt het mogelijk dat bijna alle parameters die van belang zijn voor de verdamping en daarmee de omgevings- en gevoelstemperatuur en de latente warmtestroom direct te meten. Bovendien is het de bedoeling om de metingen gedurende een geheel jaar uit te voeren waardoor de effecten onder zowel warme als koude omstandigheden bepaald kunnen worden wat leidt tot een unieke en waardevolle dataset.

Dit betekent dat de op geschikte meetlocatie op een klein oppervlak een park(je), een asfaltweg, huizen (liefst ook met groene daken) en water aanwezig zijn. Daarnaast is de aanwezigheid van een stroomingang en in pandige opslag voor meetapparatuur en computers voor langere tijd van belang. De voorkeurslocatie is Rotterdam-Noord waardoor de hier uitgevoerde grondmetingen gebruikt kunnen worden voor de interpretatie van de metingen op regionale schaal.

Metingen

Voorgesteld wordt om de metingen uit te voeren bij:

- straatbomen
- stedelijk groen
- boven en in open water
- groene en blauwe daken (indien mogelijk).

Hierbij worden onder andere de volgende metingen uitgevoerd:

- lokale omgevingstemperatuur
- temperatuur bodem en oppervlaktewater
- kort- en langgolfige straling
- nattebol temperatuur
- windsnelheid en richting
- neerslag
- omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid
- oppervlaktetemperatuur
- verdamping (indien mogelijk direct)
- bodemvocht
- grondwaterdiepte

Door de metingen uit te voeren met behulp van glasvezelkabel (DTS) kan een gedetailleerd ruimtelijk beeld verkregen worden. Deze DTS kabels met een totale lengte van 1 – 2 km dienen zodanig geplaatst te worden, dat op alle bovengenoemde plaatsen een continue temperatuurmeting van minimaal een jaar kan plaatsvinden. Om het effect op de gevoels temperatuur te bepalen dient ook de luchtvochtigheid gemeten te worden op leefniveau. Dit kan met gecombineerde lucht temperatuur–vochtigheid sensoren. Ook zal op straatniveau de windsnelheid worden gemeten.

Om de watervraag van groen te bepalen wordt indien mogelijk de verdamping direct gemeten door middel van sap-flow en lysi-metingen en in ieder geval indirect bepaald uit bodemvocht metingen op verschillende dieptes en locaties (nabij een boom, gras etc.). Tevens worden de grondwaterdieptes gemonitord.

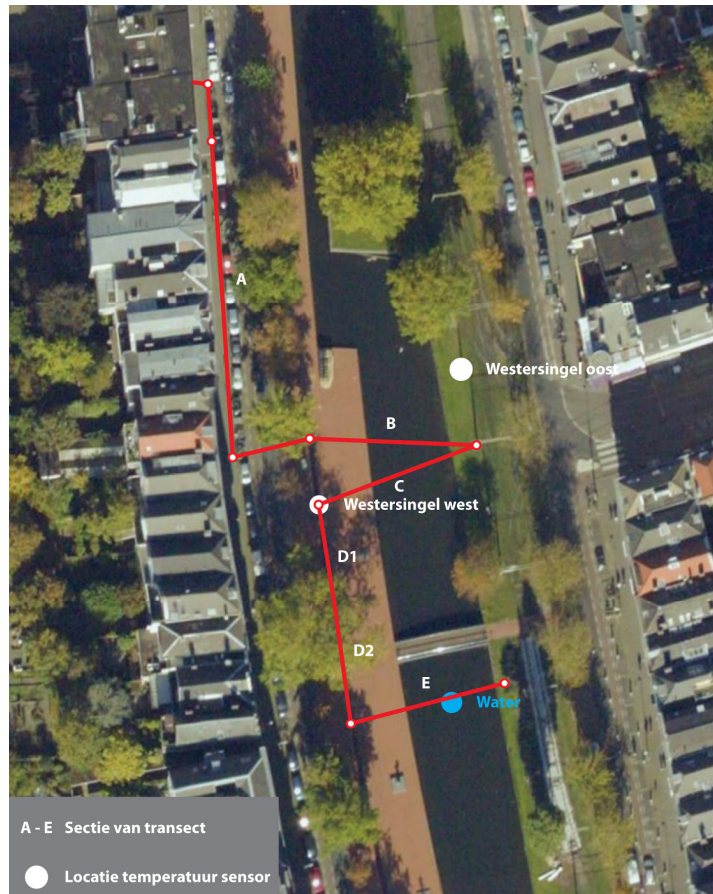
Bij de selectie van de meetlocatie wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de regionale metingen die door de WUR worden uitgevoerd. Hierdoor kunnen de hier verzamelde gegevens gebruikt worden bij de interpretatie de regionale metingen. De locatiekeuze van de meetopstelling zal verder afgestemd worden in overleg met de gemeente Rotterdam.

Locatie: Rotterdam Oude Noorden

Periode: 2011-2012

Tijdelijke meetlocaties

Ook zal het koelende effect van het sproeien van parken, straten en gevels gemeten worden in korte experimenten die worden uitgevoerd in warme periodes. Hierbij wordt het effect van deze maatregelen op de gevoels temperatuur (m.n. luchttemperatuur en luchtvochtigheid) bepaald door meting van de temperatuur met behulp van DTS en puntmetingen in combinatie met luchtvochtigheid metingen.



Figuur 3.2 Metingen zoals deze uitgevoerd zijn in 2010 aan de Westersingel in Rotterdam. Een vergelijkbare, uitgebreidere opstelling wordt in 2011 gebruikt.

3.3 Straat-woonwijk

Doelstellingen:

1. vaststellen temporele variatie in UHI intensiteit, microklimaat en thermisch comfort
2. Validatie en parameterisatie van simulatiemodellen (project 1.2 en 1.3)
3. Vaststellen relatie tussen satellietbeelden en luchttemperatuur op straatniveau

Locatie: Rotterdam

Periode: 2010-2013

Partners: gemeente Rotterdam, WUR, (KNMI)

In het kader van het project Heat stress in the city of Rotterdam (HSRR05, 1st tranche KvK) zijn 4 automatische weerstations geplaatst waarvan 3 in de stad en 1 op het platteland. Plaatsing gebeurde door gemeentewerken Rotterdam en WUR-Alterra. Gemeten worden: luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windrichting en –snelheid, zwarte bol temperatuur, neerslag en alle stralingscomponenten. Afgeproken is dat het beheer en routine onderhoud gebeurt door gemeentewerken Rotterdam en het binnenhalen van de meetgegevens en eerste kwaliteitscontrole door Alterra. Verder is er afgesproken dat WUR in actie komt bij calamiteiten. In aanvulling hierop zijn nog eens 4 extra meetstations in de stad geplaatst en 6 in de regiogemeenten: Capelle aan den IJssel, Ridderkerk, Lansingerland, Vlaardingen, Westvoorne en Bernisse (fig. 3.3).



Fig. 3.3. Locaties voor de vaste weerstations in de agglomeratie Rotterdam.

De plaatsing van de extra weerstations gebeurde in overleg met het KNMI, die de gegevens gaat gebruiken voor het verder ontwikkelen van het gedetailleerde weersvoorspellingsmodel HARMONIE. Het Havenbedrijf Rotterdam, Gemeentewerken Rotterdam (afdeling Watermanagement) en het Kennis voor Klimaatconsortium 'Infrastructuur en netwerken overleggen over mogelijke toepassingen van het weerbericht. Gedacht wordt om het weerbericht op termijn te gebruiken voor nautisch verkeersmanagement in de haven,

dynamisch wegverkeersmanagement in de regio en operationeel waterbeheer in de stad en de regio. Afgesproken is dat ook WUR over de gegevens van deze extra stations kan beschikken⁵. In ruil hiervoor maakt WUR een regionaal weerbericht met het mesoschaalmodel WRF.

Ook kan worden beschikt over meetgegevens van sensoren die zijn geplaatst op 4 rijdende trams in Rotterdam. De sensoren nemen temperatuurgegevens op voor een oost/westprofiel en een noord/zuid-profiel van de stad. De meetresultaten zijn te zien op de website van het Rotterdam Climate Initiative. Op een speciale webpagina is in de vorm van een animatie te zien welke temperaturen de trams hebben gemeten. De animatie is zo ontwikkeld, dat deze eenvoudig te gebruiken is voor vergelijkbare mobiele meetcampagnes in de provincie Zuid-Holland of elders in Nederland. Voorbereidingen zijn getroffen om deze animatie op termijn ook te vertonen op openbare mediaschermen, bijvoorbeeld via City Media Rotterdam dat beeldschermen exploiteert op Rotterdamse metrostations. Verder wordt de "Randstad rail" uitgerust met meetsensoren.

⁵ Afspraken zijn gemaakt op 17 mei 2010

3.4 Wijk-agglomeratie-regio

Doelstellingen:

1. Bepaling van de warmtefluxen (voelbare en latente warmteflux) voor het opstellen van de oppervlakte-energiebalans van een stadsdeel/wijk (scintillometrie) of van een stad of agglomeratie (vliegtuigmetingen). De energiebalans is het essentiële onderdeel van mesoschaalmodellen.
2. Bepaling van interacties tussen verschillende stadsdelen/wijken (interne circulatiepatronen)
3. Bepaling van de interacties tussen stad en omgeving; de footprint van een UHI op zijn omgeving, de invloed van bijvoorbeeld het groene hart in de Randstad op het klimaat in de stedelijke gebieden.
4. Bepaling ruimte variabiliteit van de stedelijke oppervlakte-intensiteit
5. vaststellen van relaties tussen enerzijds UHI intensiteit en anderzijds energiebalans, oppervlakte-eigenschappen (emissiviteit, 'overall albedo') en ruimtelijke kenmerken van wijken

Locaties: Rotterdam, Haaglanden, Arnhem-Nijmegen, Brabantstad?

Periode: 2010-2012

Betrokken personen/instanties:

WUR, Deltares, TNO

3.4.1 Satellietbeelden

Uit satellietbeelden kan informatie worden verkregen over de ruimtelijk variatie van de oppervlaktetemperatuur van het stedelijk gebied, maar ook over andere eigenschappen van het stedelijk oppervlak, zoals albedo en emissiviteit. In het project zal deze informatie beschikbaar komen voor de regio's Rotterdam en Den Haag, en mogelijk ook Eindhoven en Tilburg.

De oppervlaktetemperaturen, albedo en emissiviteit zullen op wijkschaal worden geanalyseerd op grond van Landsat en NOAAH-AVHRR satellietbeelden. Deze gegevens kunnen als randvoorwaarden worden gebruikt voor de stedelijke klimaatmodellering in WP1.2. Naast oppervlaktetemperaturen van zomerse dagen overdag zal ook onderzoek worden gedaan naar de situatie 's nachts en in de winter.

Vervolgens zal nader onderzoek worden gedaan naar de representativiteit van wijkgemiddelde oppervlaktetemperaturen uit satellietbeelden voor de hittegevoeligheid van het stedelijk gebied. Er zal onderzoek worden gedaan naar de relatie tussen de oppervlaktetemperatuur en de luchttemperatuur en de relatie tussen de oppervlaktetemperatuur en het thermisch comfort op straat. Temperatuurmetingen van de tramlijn tussen Rotterdam en Den Haag, en mogelijk ook de Randstadrail zullen voor dit onderzoek worden gebruikt, alsmede metingen van luchttemperatuur en thermisch comfort uitgevoerd met de bakfiets. Ook zal onderzocht worden wat de bijdrage van de oppervlaktetemperatuur van daken in de wijkgemiddelde oppervlaktemperatuur is, waardoor

beter bepaald kan worden in hoeverre de wijkgemiddelde oppervlaktetemperatuur representatief is voor de temperatuur op straatniveau.

Daarnaast zal uit een reeks van satellietbeelden tijdens een hittegolfperiode worden onderzocht hoe de opbouw van hitte in het stedelijk gebied verloopt en hoe dit verschilt per wijk. De verschillen tussen wijken zullen waar mogelijk worden verklaard aan hand van hun ruimtelijke kenmerken zoals groen, water, bebouwing en verharding.

3.4.2 Scintillometermetingen

Een scintillometer is een instrument dat bestaat uit een zender en een ontvanger. De ontvanger analyseert de intensiteit van de fluctuaties ('scintillations') in de lichtstraal uitgezonden door de zender. Deze fluctuaties zijn een maat voor het turbulent gedrag van de atmosfeer dat vervolgens direct kan worden gerelateerd aan atmosferisch transport van impuls en stoffen. Afhankelijk van de configuratie van de scintillometer (grootte van de openingshoek, golflengte en het aantal ontvangers) kunnen de fluxen voor momentum (impuls), voelbare warmte en latente warmte (transport van waterdamp) worden bepaald.

Scintillometers bieden de mogelijkheid om gedurende dag en nacht 'real time' gebiedsgemiddelde metingen van de voelbare en latente warmtefluxen in de UBL boven een stadsdeel of wijk te doen. Dit in tegenstelling tot metingen die worden verricht met meer traditionele methoden zoals de eddy covariance techniek. Deze laatste methode is slechts representatief voor een relatief klein gebied en daarom minder geschikt voor het bepalen van wijkgemiddelde fluxen.



Fig. 3.4. Meetpad voor de scintillometermetingen

Het plan is om met een Large Aperture Scintillometer (LAS) scintillometer de warmtefluxen gedurende een langere tijd in de atmosfeer boven een stadswijk in Rotterdam te meten. LAS meet over een afstand van ongeveer 500 tot 5000 meter. De metingen kunnen worden gecombineerd met stralingsmetingen.

Het gebied dat de scintillometer "ziet", de zogenaamde footprint, is ongeveer $50 \times z$ (z is de meethoogte) naar beide kanten van het scintillometer pad. Dat gebied dient enigszins homogeen te zijn. Dus niet een enorm wateroppervlak of een park middenin het pad. Idealiter bestaat de scintillometer footprint een stuk stad dat "typisch" is voor Rotterdam in zijn geheel.

Het meest ideale pad is een pad dat loopt van het ERASMUS MC naar het Sint Franciscus gasthuis (Fig. 3.4). Andere paden hebben ofwel als nadeel dat er veel water in de fetch zit ofwel dat het centrum van Rotterdam niet of in kleinere mate wordt meegenomen. Voordeel van dit pad is ook dat het voor een deel samenvalt met de vluchtroute van de vliegtuigen.

Door het combineren van de resultaten van vliegtuigmetingen kan tevens een beter ruimtelijk beeld worden verkregen. De resultaten vormen dus een belangrijke input voor de mesoschaalmodellering in project 1.2. Bovendien leveren deze gegevens belangrijke informatie over de waterbalans van steden, aangezien de energiebalans en waterbalans aan elkaar zijn gekoppeld (via de flux voor evapotranspiratie).

3.4.3 Vliegtuigmetingen

WUR-Alterra beschikt over een klein eenmotorig vliegtuig (PH-WUR) waarmee metingen boven stedelijke gebieden zijn gepland. In eerste instantie zullen dit de stedelijke gebieden in de Randstad zijn. Echter, het is de bedoeling om ook boven meer landinwaarts gelegen steden vliegtuigmetingen te doen. Gedacht wordt aan metingen boven het gebied Arnhem-Nijmegen en de stedelijke gebieden in Noord-Brabant.

Tijdens elke vlucht worden de volgende meteorologische waarnemingen uitgevoerd:

- de voelbare en latente (waterdamp) warmtefluxen, en CO_2 fluxen in de UBL;
- temperatuur en de vochtigheid van de lucht;
- netto-straling en de inkomende en uitgaande Photosynthetically Active Radiation;
- temperatuur van het aardoppervlak ter plaatse van de positie van het vliegtuig.

Behalve informatie over de oppervlakte-energiebalans wordt ook informatie verkregen over:

1. De invloed van ruimtelijke kenmerken van stadsdelen/wijken op de UHI intensiteit;
2. De (interne) circulaties in de UBL boven het stedelijk gebied;
3. De interacties tussen stadsklimaat en omliggende, rurale gebieden;
4. De interacties tussen het klimaat in stedelijke gebieden en andere mesoschaal meteorologische verschijnselen zoals de invloed van zeewind
5. De verticale opbouw temperatuur en vocht in de UBL

Het vliegtuig heeft een 'cruise speed' van circa 70 knopen, ongeveer 35 m/s en de vliegduur bedraagt ongeveer 3,5 uur. Het vliegtuig vliegt op zicht en de inzet van het vliegtuig is daarom beperkt tot die delen van de dag dat er voldoende licht is. In totaal zijn er tien vluchtdagen gepland tijdens een drietal meetcampagnes:

1. een meetcampagne in de winter boven de agglomeratie Rotterdam/Den Haag (twee vluchtdagen);
2. een meetcampagne in de zomer boven de agglomeratie Rotterdam/Den Haag (vier vluchtdagen);
3. een meetcampagne in de zomer boven een Nederlandse stad die in mindere mate wordt beïnvloed door de zee dan Den Haag en Rotterdam (vier vluchtdagen).

Een gedetailleerd vluchtschema is op dit moment niet te geven. Dit hangt mede af van de verschillende weertypen die kunnen worden verwacht. Daarnaast is de beschikbaarheid van andere meteorologische waarnemingen op leefniveau een belangrijke randvoorwaarde om zodoende relaties met het klimaat op leefniveau te kunnen vaststellen. Vandaar dat de vliegtuigmetingen zullen worden gecombineerd met de in situ metingen en meetcampagnes.

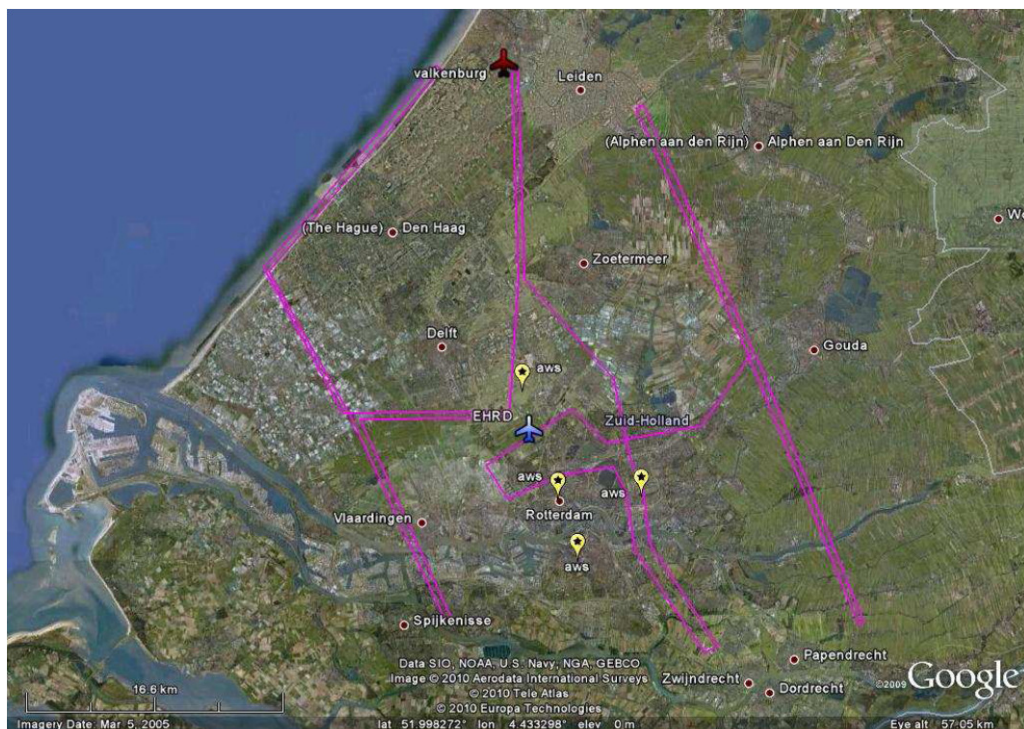


Fig. 3.5. Transecten vliegtuigmetingen

Figuur 3.1 geeft een beeld van het transect dat zal worden gevlogen boven de agglomeratie Rotterdam/Den Haag. Voor de agglomeratie Rotterdam zal er een 'leg' worden gevlogen boven:

1. het landelijke gebied ten oosten van Rotterdam en Den Haag,
2. het oostelijke stedelijke gebied van Rotterdam en het Groene Hart,
3. het westelijk stedelijk gebied van Rotterdam langs de kust ten westen van Den Haag.

Hierbij worden alle Noord-Zuid transecten tweemaal gevlogen op verschillende hoogtes, resp. 500 en 1000ft (óf evt 1500ft). Vluchten zullen plaatsvinden rond het middaguur wanneer de verschillen tussen stad en platteland het grootst zijn en in de uren voor zonsondergang als het Urban Heat Island (UHI) naar verwachting het grootst zal zijn. Hierbij worden alle NZ transecten tweemaal gevlogen op verschillende hoogtes, resp. 500 en 1000ft (óf evt 1500ft). Dit om de fluxdivergentie en de stralingsdivergentie met de hoogte te kunnen bepalen alsmede de opbouw van temperatuur en vochtigheid in de atmosfeer.

De vluchtplannen voor steden buiten de agglomeratie Rotterdam/Den Haag zullen worden vastgesteld aan de hand van uitkomsten die zijn verkregen uit simulaties met de mesoschaal modellen RAMS en WRF.

Daarnaast is het voor het onderzoek essentieel dat naast de voorziene vliegtuigmetingen de radiosonde metingen plaatsvinden om de verticale structuur van de atmosfeer te bepalen. De redenen hiervoor zijn dat 1) het vliegtuig niet 's nachts kan meten en 2) de vliegtuigmetingen met name voorzien in lokale vliegtuigmetingen waarvan de interpretatie afhangt van de verticale opbouw van windsnelheid, temperatuur en vochtigheid in de atmosfeer.

Bijlage A Het effect van groene en blauwe elementen op de omgevingstemperatuur: nadere uitwerking van de metingen

A.1 Introductie

Deze bijlage geeft een uitgebreidere beschrijving van de metingen die door Deltares worden uitgevoerd binnen het Kennis voor Klimaat Climate Proof Cities project, 1.1 Observing the urban climate system. Ook wordt een beknopte onderbouwing gegeven van de uit te voeren metingen.

A1.1 Gevoelstemperatuur

De gevoelstemperatuur van mensen wordt door verschillende factoren beïnvloed. De belangrijkste meteorologische factoren zijn de luchttemperatuur, de straling van de omgeving, de windsnelheid en de luchtvochtigheid. Ofwel een hogere temperatuur, meer straling, minder wind en een vochtige lucht zorgen voor een hoge gevoelstemperatuur. Om klimaatrobuuste steden en met name hittestress bestendige steden te ontwikkelen kunnen een of meer van deze factoren beïnvloed worden.

Om een beter inzicht te krijgen in de gevoelstemperatuur in stedelijk gebied en mogelijke adaptatiemaatregelen worden verschillende metingen uitgevoerd.

A1.2 Groen en water

Vegetatie heeft meestal een koelend effect op de gevoelstemperatuur. Enerzijds zorgen bomen voor schaduw op straatniveau en anderzijds zorgt vegetatie voor verdamping en daarmee voor een lagere voelbare warmtestroom. Groen wordt daarom ook vaak als adaptatiemaatregel voorgesteld.

Om de effecten van groen op de gevoelstemperatuur beter te begrijpen worden metingen uitgevoerd op straatniveau. Hierbij is het de bedoeling een ruimtelijk inzicht te krijgen in het effect van bomen op de luchttemperatuur, de straling en de luchtvochtigheid. Hiermee kan de bijdrage van bomen aan een beter hittebestendige straat worden bepaald. Ook de verdamping van bomen zal worden gemeten.

Water heeft een groot effect op de energiebalans van het aardoppervlak door de warmte opslagcapaciteit en de verdamping (samen 30-40% van de energiebalans).

Uit metingen (Deltares 2010) is gebleken dat het verkoelende effect van water op de luchttemperatuur en daarmee gevoelstemperatuur echter zeer lokaal is: vooral direct boven het oppervlakte water. Uit modelberekeningen wordt duidelijk dat het koelende effect vooral binnen de straat aanwezig is (ongeveer 1°C). Het beperkte gemeten effect in dit onderzoek is waarschijnlijk sterk bepaald door het gebrek aan hete windstille dagen in de meetperiode.

Om de verdamping van water beter te bepalen en de effecten van oppervlakte water onder hete, windstille weersomstandigheden beter in beeld te brengen worden in metingen uitgevoerd aan de temperatuur van en vlak boven oppervlaktewater.

A1.3 Verdamping in meteorologische modellen

Het proces van verdamping is slecht ingebouwd in de “urban-canopy” van micro- en mesoschaal meteorologische modellen. De hier uitgevoerde metingen dienen als input voor de werkpakketten 1.2 (Model development for the meso scale) en 1.3 (Model development for the micro scale). Ook dienen deze metingen ter ondersteuning van de meso-schaal (scintillo) metingen die uitgevoerd worden zullen in Rotterdam.

A1.4 Watervraag

Voor de verdamping van vegetatie en oppervlaktewater is uiteraard water nodig. In Nederland valt een hittegolf vaak samen met een droge periode. Bij aanhoudende hitte en droogte kan een watertekort ontstaan. Het is daarom van belang om de watervraag voor de verdamping van vegetatie en oppervlaktewater in stedelijk gebied beter in beeld te krijgen.

A1.5 Flexibele adaptatie maatregelen

Naast permanente adaptatie maatregelen zijn ook tijdelijke maatregelen mogelijk. In Mediterrane gebieden en Japan wordt vaak water op straat gesprendeld of gespreid, wat een verkoelend effect heeft. In Nederland wordt deze methode met name ingezet voor het koelen van brugdekken, om te voorkomen dat ze vast komen te zitten door thermische uitzetting. In dit project zal aan de effectiviteit van het nat maken van wegen als adaptatie maatregel gemeten worden.

Indien mogelijk zal binnen het project ook het effect van sproeien van groen en het effect van de “Wassende weg” op de luchttemperatuur onderzocht worden.

A.2 Werkplan

Achtereenvolgens worden hier de meetacties rondom groen, oppervlaktewater en de casestudie voor nat maken van straten toegelicht.

A2.1 Groen

De effecten van groen worden in beeld gebracht op straatniveau. Op de hoofdlocatie worden continue metingen gedurende minimaal één jaar uitgevoerd.

A2.1.1 Metingen

Temperatuur en luchtvochtigheid

Om een ruimtelijk en continu beeld in de tijd te krijgen van de temperatuur wordt gebruik gemaakt van de Distributed Temperature Sensing (DTS) met behulp van glasvezel. Door deze in (buiten bereik van mensen) in de straat op te hangen langs een tracé met en zonder bomen kan het effect van bomen op de omgevingstemperatuur bepaald worden.

Aanvullend wordt een thermische camera ingezet voor het meten van oppervlakte temperatuur. Deze geeft inzicht in de bodem- en voelbare warmtestroom.

Ook worden gecombineerde temperatuur/luchtvochtigheid sensoren geplaatst ter validatie van de DTS metingen en om het effect van bomen op de luchtvochtigheid te meten.

Straling

Er wordt vanuit gegaan dat de data van inkomende en uitgaande kort en langgolelige straling van de permanente meetstations die door de gemeente Rotterdam en de WUR zijn ingericht voldoende inzicht in geven. Er worden in dit project dan ook geen continue stralingsmetingen uitgevoerd door Deltares.

Wel worden er lokaal metingen uitgevoerd met een mobiele stralingsmeter voor het bepalen van albedo.

Verdamping

Verdamping wordt voor verschillende type vegetatie (gras en bomen) op verschillende manieren gemeten.

De verdamping van gras wordt gemeten met behulp van een lysimeter. Een lysimeter bestaat uit een kolom grond die permanent op een weeginstrument staat. Hierdoor kan de verdamping (afname van gewicht van de kolom) gemeten worden. Deze methode wordt gebruikt voor het bepalen van verdamping van gras.

De lysimeter methode is voor bomen ook toepasbaar maar moeilijk in te passen en erg kostbaar. Sapflow metingen zijn metingen van de sapstroom van met name bomen. Doordat al het water dat een boom verdampt door de stam van de boom wordt getransporteerd, geeft dit een goede inschatting van werkelijke verdamping. Voor losstaande bomen zijn dit de meest betrouwbare metingen.

Door de hoge kosten/beperkte beschikbaarheid van de apparatuur zal slechts op twee locaties 3 bomen de verdamping worden gemeten. En zal slechts op 3 keer de verdamping van gras gemeten worden.

Er wordt geprobeerd aan te sluiten bij het groene daken programma dat in Rotterdam loopt. Zodat mogelijk een vergelijking gemaakt kan worden.

Bodem en grondwater

Om de verdamping van de vegetatie beter te begrijpen is het van belang de bodemvochtgehalte en grondwaterstanden te weten. Uit bodemvocht gegeven in combinatie met meteorologische parameters kan

Verschillende dieptes (3) en op 4 locaties, waarvan twee nabij een boom en twee nabij gras

Metingen:

- 1 x Glasvezel metingen (500m)
- 1 x Thermische camera (interpretatie en kalibratie)
- 6 x Temperatuur en RH onder boom
- 8 x Temperatuur en RH naast boom
- 1 x Mobiele stralingsmeter (TUDelft), op 3 dagen in jaar, metingen op verschillende tijdstippen van de dag
- 6 x Sapflow meters (1 x 3 voor straatbomen en 1 x 3 bomen in park)
- 3 x Lysimeters
- 4 x Meetnesten bodemvocht
- 3 x Peilbuis

A2.1.2 Meetlocatie

Als mogelijke geschikte locaties wordt de Noordsingel voorgesteld. Dit moet verder worden afgestemd met de gemeente Rotterdam.

De locatie moet aan de volgende eisen voldoen:

- “Volwassen” bomen
- Eerste 3.5 meter takken vrij zodat glasvezelkabel niet beschadigd raakt door takken
- Ophangmogelijkheid glasvezelkabel (lantaarnpalen, etc.)

- Mogelijkheid tot veilig plaatsen van meetcomputers
- In park met hek af te sluiten deel voor lysimeters voor gras
- Stroomvoorziening
- Liefst vergelijkbare referentie straat

A2.2 Oppervlaktewater

A2.2.1 Metingen

Om de warmte uitwisseling tussen water en lucht beter te begrijpen wordt de temperatuur gradiënt in en boven het water gemeten met behulp van DTS glasvezelkabel. De glasvezelkabel wordt als een spiraal gewikkeld om palen met een afstand van enkele centimeters tussen de windingen. Dit zal gebeuren op 3 plekken op 1 locatie. Bijvoorkeur is een van de plekken een deel van een vijver/singel waar eendenkroos voorkomt.

Aanvullend worden losse temperatuurmetingen ter validatie en metingen van de omgevingstemperatuur uitgevoerd. Om de aanwezigheid van eendenkroos te detecteren worden lichtsensoren onderwater geplaatst. Voor het bepalen van de verdamping wordt continu de windsnelheid en -richting gemeten en eenmalig worden stralingsmetingen uitgevoerd voor het bepalen de albedo.

Om het effect van grondwater op de watertemperatuur te bepalen worden peilbuizen geplaatst.

Metingen:

- 1 x DTS metingen op 1 locatie
- 4 x Temperatuur metingen voor validatie
- 2 x Temperatuur in omgeving
- 3 x Licht sensoren
- 1 x Windsnelheid en -richting
- 3 x peilbuizen, filters op verschillende diepte

A2.2.2 Locatie

Als mogelijke geschikte locaties worden het Vroesepark en de Bergsingel voorgesteld. Dit moet verder worden afgestemd met de gemeente Rotterdam.

De locatie moet aan de volgende eisen voldoen:

- Vijver of singel, ondiep (<2m) water
- In direct zonlicht
- Mogelijkheid tot het veilig plaatsen van meetcomputers
- Stroomvoorziening
- Geen boten of zwemmers
- Liefst wel/geen kroos?

A2.3 Casestudies

A2.3.1 Nat maken straat / Uchimizu

Om het effect van het natmaken van de straat op de (gevoels-)temperatuur en de energiebalans in beeld te krijgen worden verschillende metingen uitgevoerd. Ten eerste wordt DTS gebruikt om de het verticale temperatuur profiel boven de staat te meten. Aanvullend worden met gecombineerde temperatuur / luchtvochtigheid sensoren validatie metingen en luchtvochtigheid metingen uitgevoerd. Deze laatste zijn van belang voor het bepalen van het effect op de gevoelstemperatuur. Met behulp van een thermische camera wordt de temperatuur van het wegoppervlak bepaald. Ook wordt een stralingsmeter gebruikt voor het bepalen van het effect op de lang en kortgolvlige straling.

Er wordt ervan uitgegaan de gemeente zorgt voor het natmaken van de straat. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruik van een trekker met een watertank of brandblusinstallatie.

- 6 x Temperatuur - RH sensoren
- 1 x Glasvezel opstelling
- 1 x Thermische camera
- 1 x Stralingsmeter
- 1 x Windsnelheid en -richting

A2.3.2 Nat maken straat / Wassende weg (Optie)

Om het effect van het natmaken van een de straat van ZOAB van onderaf (door de poriën) op de omgevingstemperatuur te bepalen wordt aangesloten op het project van de "Wassende weg". Ook hier wordt DTS gebruikt om de het verticale temperatuur profiel boven de staat te meten. Aanvullend worden met gecombineerde temperatuur / luchtvochtigheid sensoren validatie metingen en luchtvochtigheid metingen uitgevoerd. Deze laatste zijn van belang voor het bepalen van het effect op de gevoelstemperatuur. Met behulp van een thermische camera wordt de temperatuur van het wegoppervlak bepaald. Ook wordt een stralingsmeter gebruikt voor het bepalen van het effect op de lang en kortgolvlige straling.

Voor het natmaken van de straat wordt gebruik gemaakt van de installatie van de "Wassende Weg".

- 6 x Temperatuur - RH sensoren
- 1 x Glasvezel opstelling
- 1 x Thermische camera
- 1 x Stralingsmeter
- 1 x Windsnelheid en -richting

Bijlage B: Issues per stadschaal en geplande meetactiviteiten

Tabel A.1

Schaal	Doelen	Activiteit	R'dam	Arnhem	Utrecht	A'dam	Tilburg	
1 Schil (-1 -10m)	1. Interactie binnen-en buitenklimaat 2. Effect gebouwschil 3. Energiehuishouding gebouwen	Binnenmetingen in combinatie met buitenmetingen		x			(x)	TUE WUR-MAQ WUR- Alterra Future Cities
2 Schil Straat Wijk (-10- 2000 m)	1. Karakterisering UHI intensiteit, microklimaat en thermal comfort 2. Effect typologie en geometrie op wijkniveau op microklimaat en thermisch comfort 3. Effect groene – en blauwe elementen op microklimaat, thermisch comfort en waterbalans	• Mobiele metingen • Specifieke meetcampagne(s) • DTS metingen	x x x	x x	x x	x x	x	WUR-MAQ WUR- Alterra Deltares/TNO
3 Straat/wijk temperatuur (-100m)	1. Temporeel beeld UHI intensiteit, microklimaat en thermal comfort (bepalen trends, statistieken van extremen)	Vaste weerstations	x	(x)				Gemeente Rotterdam WUR- Alterra
4 Wijk Agglomeratie (-200-2000) Regio	1. Invloed wijk- en stadstypologie en geometrie 2. Interacties tussen wijken 3. Bepaling warmtefluxen (voelbare en latente) voor bepaling energiebalans en waterbalans stedelijk gebied 4. Bepaling effect van oppervlakte heterogeniteit 5. Interactie stad - regio	• Scintillometrie • Vliegtuigmetingen • Satellietbeelden • radiosonde	x x x	x x	x x	x x	x (x)	WUR-MAQ WUR- Alterra TNO

Tabel A.2

	Schaal	Activiteit	Kosten	Aantal	Kosten metingen	Verwerking	Totale kosten	Partner
1	Schil (-1 -10m)	Binnenmetingen in combinatie met buitenmetingen	- Afsluiting apparatuur binnenmeting - Afsluiting referentiemast - Aanschaf weerstation - installatiekosten	- Binnenmetingen (2 panden) - Referentiemast (10 m) 1x - Weerstation screenlevel 1x			45*	TUE WUR-Alterra Arnhem
2	Schil Straat Wijk (-10- 2000 m)	- Mobiele metingen - Specifieke meetcampagnes - DTS metingen	20 per meetcampagne 5 per case Zie bijlage	4 typologieën 10 cases 1 permanente opstelling 2 mobiele locaties	80 50	35	165	WUR-MAQ WUR-Alterra
3	Straat/wijk temperatuur (-100m)	- Vaste weerstations - Trams - Randstad rail		Netwerk van in totaal 14 stations in Rotterdam en omliggende gemeenten**	100	50	150	Deltares/TUD
4	Wijk Agglomeratie (-200-2000) Regio	Scintillometrie vliegtuigmetingen satellietbeelden	Afsluiting apparatuur + installatiekosten 7 per vliegdag Landsat en NOAAH beelden	1 jaar 5 typologieën x 2 vliegdagen 30 beelden	50	35	85	WUR-MAQ
					20	50	70	WUR-Alterra
					10	40	50	TNO
							595	

*: contra financiering Future Cities (InterregIVb); **: aanschaf weerstations gefinancierd door Rotterdam en Prov. Zuid-Holland

