



Ruimtelijke analyse van het stadsklimaat in Arnhem

Bert Heusinkveld, Bert van Hove, Cor Jacobs



Dit onderzoekproject werd uitgevoerd in het kader van het EU Future Cities project.



Opdrachtgever

Gemeente Arnhem, Dienst Stadsbeheer
Eusebiusbuitensingel 53, Postbus 9200
6800 HA Arnhem
Telefoon: 026 – 3774431
Fax: 026 – 377 42 24

WUR publicatie, 16 mei 2012

Copyright @ 2012

Wageningen Universiteit/Alterra
Centrum voor Water en Klimaat (CWK)
Droevendaalsesteeg 3a (gebouw 100)
Postbus 47
6700 AA Wageningen
Telefoon: 0317 – 480700 (secretariaat)
Fax: 0317 – 419000

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever en Wageningen University

Wageningen University aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
2 Achtergrond	7
3 Hittebelasting meten met een mobiel meetplatform	9
4 Metingen en analyse	12
5 Conclusies	21
6 Referenties	23

Samenvatting

Naar verwachting leidt klimaatverandering tot een toename in het jaarlijkse aantal hittedagen. In steden is deze toename extra voelbaar door het optreden van het stedelijke hitte-eiland effect hetgeen gevolgen kan hebben voor de leefbaarheid en gezondheid van de bevolking. De gemeente Arnhem wil hierop anticiperen door het ontwikkelen van adaptatiemaatregelen. In dit project zijn daarom mobiele meteorologische metingen uitgevoerd om de kwetsbare gebieden in kaart te brengen.

Belangrijkste resultaten uit de eerste verkenningen laten zien dat Arnhem 's nachts een aanzienlijk stedelijk hitte-eiland effect ontwikkelt gedurende zonnige dagen met weinig wind (verschil luchttemperatuur en buitengebied 5 °C). Overdag was het verschil in luchttemperatuur veel minder groot. In de middag bleef de opwarming beperkt tot 1 °C ten opzichte van de uiterwaarden. Met name overdag zijn de lagere delen van park Sonsbeek verrassend koel (3°C koeler dan het centrum). Het temperatuurverschil 's middags tussen de woonwijken is niet zo groot. Tijdens onze meting op 18 augustus 2009 was er sprake van matige hittestress 's middags in de schaduw (luchttemperatuur 29°C). In de zon echter was sprake van aanzienlijke hittestress condities als men daar lang zou verblijven.

1 Inleiding

De gemiddelde wereldtemperatuur is sinds het begin van de vorige eeuw onmiskenbaar gestegen. Tot nu toe werd verwacht dat de opwarming in Nederland ongeveer even snel zou gaan als de wereldgemiddelde stijging van de temperatuur. Maar recent gepubliceerde resultaten laten zien dat de opwarming sinds 1950 tweemaal zo groot is geweest als de mondiale opwarming (0.2°C per 10 jaar) (KNMI, 2008). Volgens de klimaatscenario's van de KNMI zal de opwarming onder andere leiden tot het vaker voorkomen van extreme weersomstandigheden zoals hittegolven en extreme neerslag (hoosbuien).

In steden zijn de gevolgen van de opwarming extra voelbaar, omdat daar het zogenoemde Urban Heat Island (UHI) optreedt. Hieronder wordt verstaan dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende gebied. In een stad als Londen kan het verschil tussen stadcentrum en omgeving gedurende de nacht wel 10°C bedragen. Bovendien gaan perioden met hoge temperaturen veelal gepaard met verslechterde luchtkwaliteit en droogte. Dit heeft grote gevolgen voor de leefbaarheid en de gezondheid van de bevolking in stedelijke gebieden. Tijdens de hittegolf in 2003 stierven er in Nederland 1400-2400 mensen meer dan gemiddeld, tijdens de hittegolf in 2006 was de extra sterfte 1000. Voor heel Europa wordt de extra sterfte geschat op 70.000 mensen (EEA Report No 4/2008 Impacts of Europe's changing climate).

De stadsregio Arnhem-Nijmegen wil anticiperen op de gevolgen van het veranderend klimaat. Binnen het Europese Interreg IVB Future Cities project wordt onderzoek gedaan naar mogelijke maatregelen om de stad en regio klimaatbestendig te maken. In Future Cities werken de gemeenten Tiel, Arnhem en Nijmegen onder meer samen met het Engelse Hastings, de West-Vlaamse Intercommunale (regio), de Duitse waterschappen Lippeverband (tevens Leadpartner) en Emschergenossenschaft en het Franse Rouen-Seine-Aménagement.

Het is dan ook noodzakelijk om bij stedelijke renovatie/nieuwbouw/uitbreiding rekening te gaan houden met het UHI. In Duitsland bijvoorbeeld wordt bij toekenning van energielabels voor zeer energiezuinige woningen al rekening gehouden met het effect van de woning (indien aanwezig met tuin) op het UHI.

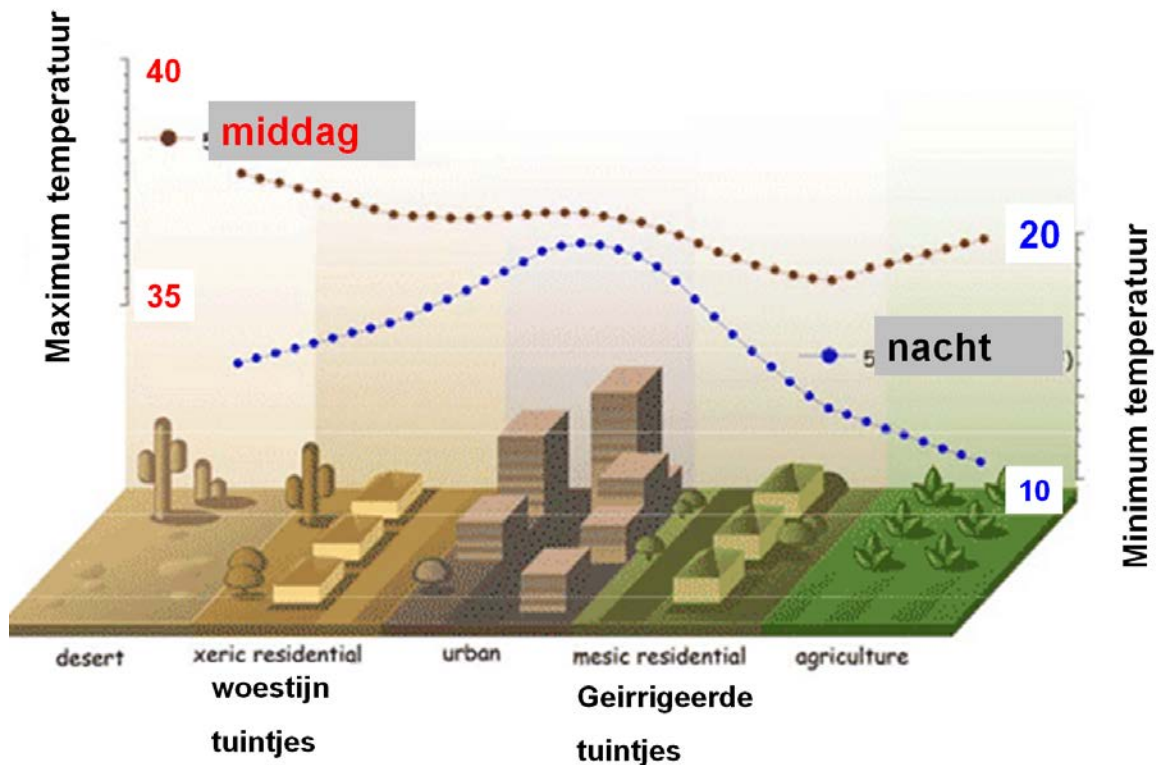
Echter, voor het ontwikkelen van effectieve adaptatie- en mitigatiestrategieën, is het noodzakelijk om de kwetsbare gebieden in kaart te brengen. Dit kan aan de hand van een zogenoemde stedelijke klimaatatlas. Het doel van het project was om meteorologische meetgegevens op straatniveau aan te leveren om de ontwikkeling hiervan mogelijk te maken. De metingen werden uitgevoerd met speciaal ontwikkelde mobiele meetplatforms tijdens een hittestress periode (temperaturen hoger dan 25 °C) in 2009 in de stad Arnhem.

2 Achtergrond

Ter verduidelijking van het UHI effect eerst een kort overzicht van de factoren die bijdragen aan de hogere temperatuur in stedelijk gebied:

- Absorptie en invangen van zonnestraling door donkere oppervlakken
- Obstructie van hemelzicht houdt warmtestraling gevangen
- Antropogene warmteproductie
- Wind reductie
- Toename warmteopslag vanwege thermische eigenschappen bouwmaterialen

Ons onderzoek beperkt zich tot Arnhem en bovenstaande factoren maken duidelijk dat ze ook in Nederlandse steden invloed op het stadsklimaat zullen hebben. Het is de uitdaging om bovenstaande factoren te kunnen kwantificeren. Figuur 1 geeft een mooi overzicht van de consensus op UHI gebied. Het betreft UHI onderzoek van steden in Arizona en California.



Figuur 1 Stedelijk hitte-eiland effect (Bron: Arizona State University)

De Nederlandse situatie van het buitengebied sluit goed aan bij de rechter kant van de grafiek waar goed van vocht voorzien landbouwgrond zichtbaar is. De nachtelijke temperaturen in het stedelijk gebied laten een hele duidelijke piek zien van meer dan 8°C UHI effect terwijl tijdens het tijdstip van de hoogste temperatuur (in de loop van de middag) het maar een klein beetje warmer wordt in de stad. Opvallend is dat de ruim opgezette en van veel groen voorziene voorsteden overdag zelfs wat koeler zijn en dat het UHI maximum sterk gereduceerd is. De voorsteden gaan echter veel warmer worden zo gauw tuinen verhard worden hetgeen voor stedelijke tuintjes in Nederland een opgaande trend lijkt te zijn. De vraag is dus in hoeverre figuur 1 past bij de Nederlandse situatie. De aanpak die daarvoor gekozen is bestaat uit monitoring van het stedelijk microklimaat met vaste stations en met mobiele platforms om de ruimtelijke verdeling in kaart te kunnen brengen. Dat laatste waar we hier verder op ingaan is nodig omdat het ondoenlijk zou zijn om op leefniveau honderden meetstations te installeren. De mobiele metingen geven tevens de mogelijkheid om veel gedetailleerder de factoren die bijdragen aan hittebeleving van de mens in kaart te brengen (Heusinkveld, et al., 2010).

3 Hittebelasting meten met een mobiel meetplatform

Hittestress treedt op zo gauw warmte productie, afgifte en opname resulteren in een verhoogde kerntemperatuur (je krijgt het te warm). Hierbij kunnen de volgende factoren onderscheiden worden:

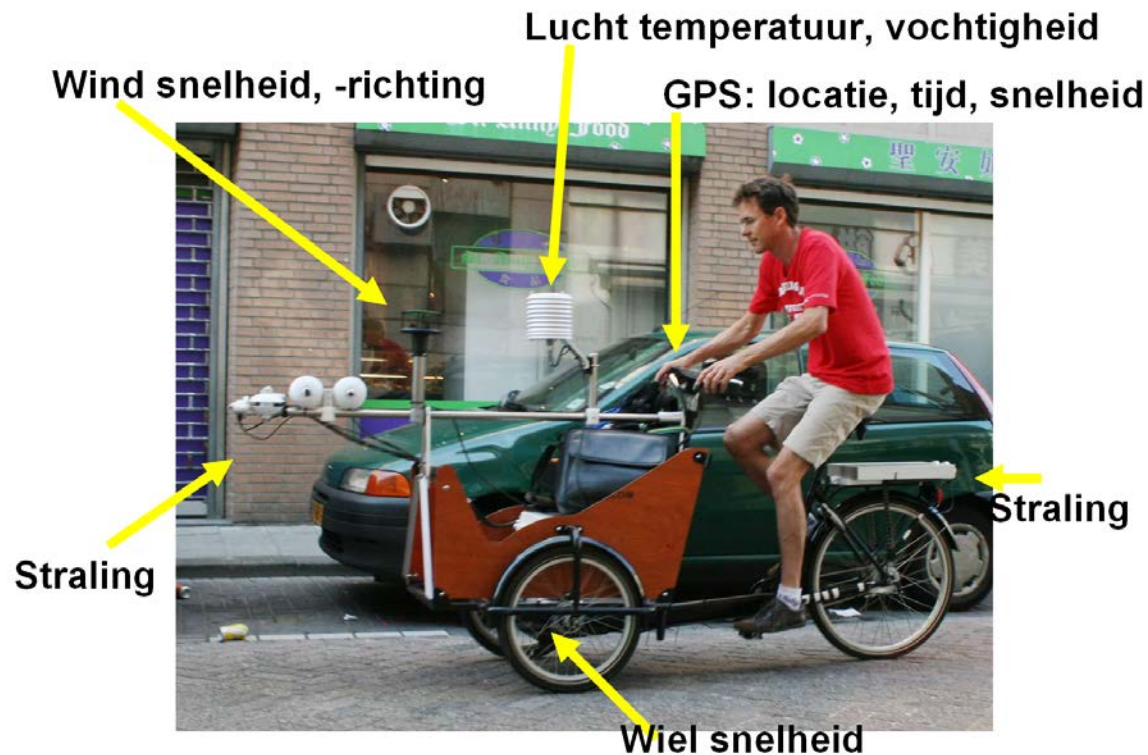
- Tempatuur
- luchtvochtigheid
- kortgolvrige straling (zonnestraling direct of gereflecteerd)
- thermische straling (van wegdek, gebouwen en open hemel)
- wind snelheid

De mate van thermische belasting kan op vele manieren uitgedrukt worden en verschillen van mens tot mens. Om tot een vergelijking van verschillende microklimaten te komen wordt in deze studie gekozen voor de Fysiologisch Equivalente Temperatuur (PET) en kan ook geïnterpreteerd worden als gevoelstemperatuur (Höppe, 1999). De term gevoelstemperatuur is ook heel goed communiceerbaar en maakt een objectieve vergelijking van stedelijke locaties mogelijk. Aan de hand van feedback van proefpersonen kan een mate van warmtebeleving of hittestress gekoppeld worden aan PET temperaturen.

PET (°C)	Human sensation	Thermal stress level
4	very cold	extreme cold stress
8	cold	strong cold stress
13	cool	moderate cold stress
18	slightly cool	slight cold stress
23	comfortable	no thermal stress
29	slightly warm	slight heat stress
35	warm	moderate heat stress
41	hot	strong heat stress
	very hot	extreme heat stress

Tabel 1 Vergelijking tussen PET en menselijke warmtesensatie en thermische stress niveaus voor een gezond persoon, 35 jaar, interne warmteproductie 80 W, kledingfactor 0.9 clo (Matzarakis et al., 1999)

Aan de hand van een energiebalansmodel van een standaard staand persoon van 35 jaar, 1.75 m lengte en normaal gekleed (pak) wordt de warmtebelasting omgerekend naar een binnenklimaat met een windsnelheid van 0.3 m/s en een relatieve vochtigheid van 50% waarbij de wanden dezelfde temperatuur hebben als de PET temperatuur (Matzarakis et al., 1999 en 2007). Op deze manier kunnen microklimaten op een eenduidige manier met elkaar vergeleken worden. Vanwege de wind reductie in stedelijk gebied wordt vooral de stralingsgrootte (o.a. intensiteit van de zonnestraling, zon/schaduw locaties) zeer belangrijk en wordt daarom heel gedetailleerd gemeten op de mobiele platforms. De stralingsmetingen (warmtestraling en zonnestraling) worden gemeten in alle 6 richtingen en gewogen voor een staand persoon.



Figuur 2: Mobiel meetplatform

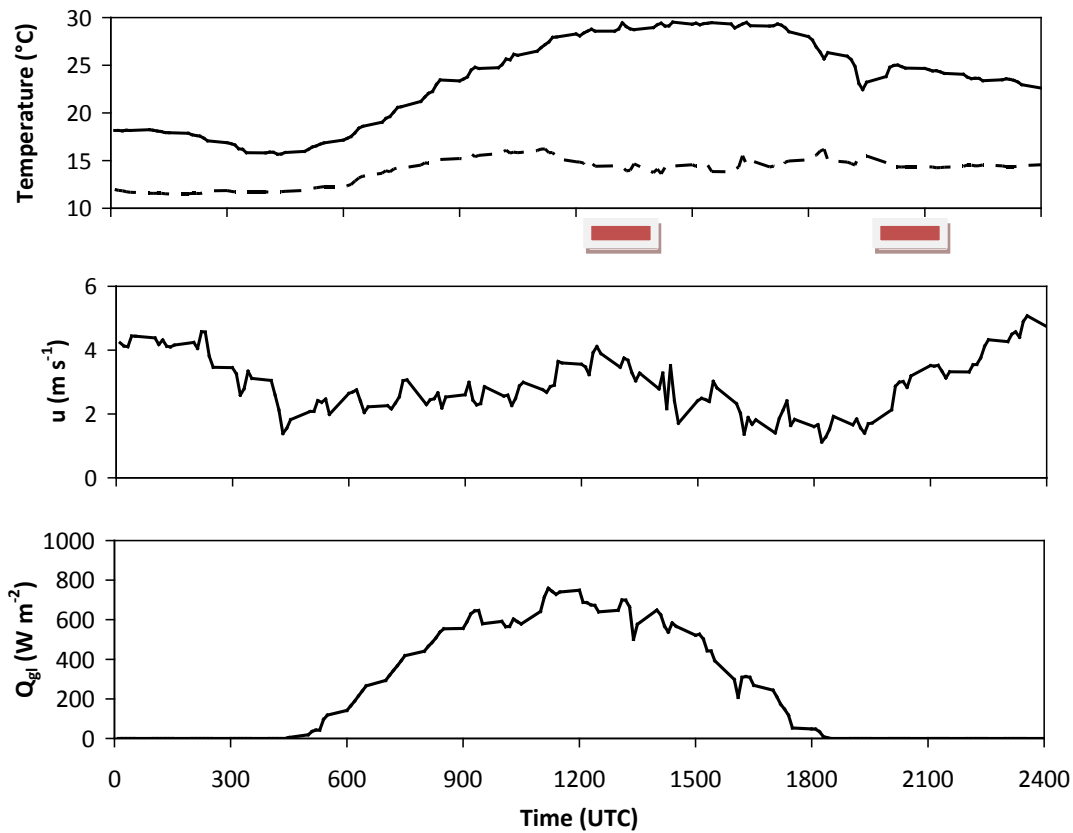
De meetinstrumenten zijn zodanig opgesteld dat minimale verstoring optreedt. Daartoe werd gekozen voor een bakfiets omdat zo een redelijk horizontaal platform ontstaat. Naar voren gericht zijn 10 stralingsmeters waarvan de ene helft kortgolvlige en andere helft thermische straling meet. De bak van de fiets is zodanig opengewerkt dat schaduwwerking beperkt blijft. Naar achteren gericht staan de laatste 2 stralingsmeters. De windmeter staat wat verder naar voren om stuwdruk effecten te minimaliseren. De locatie wordt middels satelliet navigatie bijgehouden waarbij ook snelheid geregistreerd wordt. De snelheidsberekening van de satelliet navigatie vertoont wat ruis in stedelijk gebied en daarom is tevens toegevoegd een wielsensor die exact de wielomwenteling meet (8 pulsen per wiel omwenteling). De windsnelheid wordt gemeten met een ultrasone anemometer waarbij de snelheid in de fietsrichting en dwars daarop gemeten wordt. Achteraf wordt de windsnelheid teruggerekend naar stilstand. Deze terugrekening is mogelijk omdat de windvector in de rijrichting wordt aangepast met de rijnsnelheid. Met een interval van 1 s worden alle meetinstrument gegevens geregistreerd.

3 Metingen en analyse

Aan de hand van geografische informatie werden twee routes uitgezet door Arnhem en omgeving. De route die uitgezet werd omvatte o.a.:

- Laagbouw industrie (weinig groen, veel platte daken, brede straten)
- Hoogbouw centrum zuid (Kronenburg)
- Nieuwbouw wijken in zuid
- Park Sonsbeek
- Centrum (smalle straatjes)

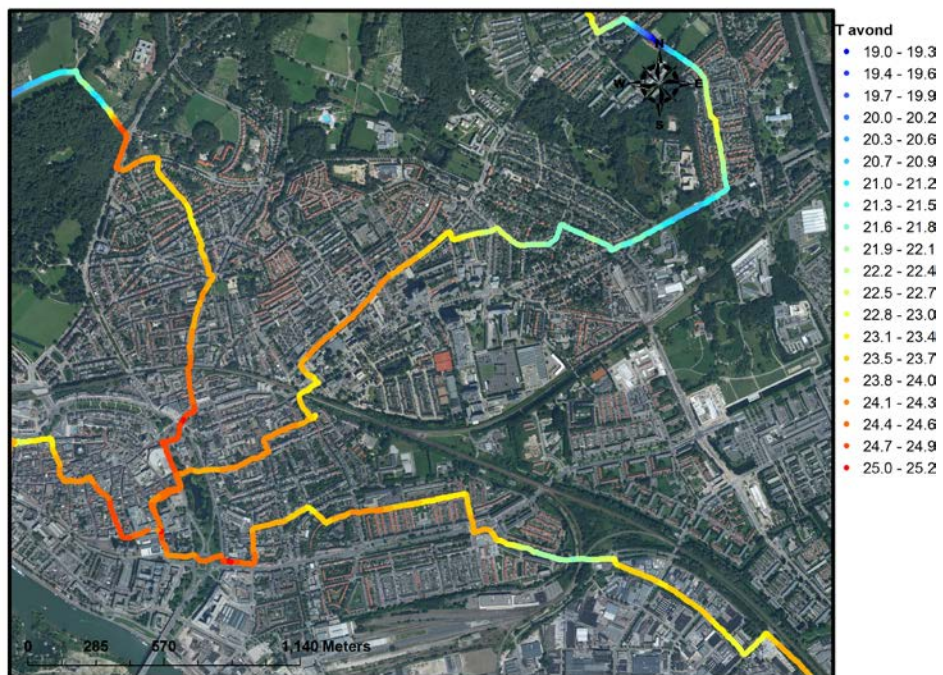
In 2009 is gewacht op een hete periode met lage windsnelheid en wolkenloze lucht (18 augustus) (Fig. 3). Bij deze omstandigheden wordt het UHI het grootst omdat er enerzijds overdag veel stralingswarmte (zon) binnenkomt en er 's nacht stralingsafkoeling plaats vindt waardoor verschillen goed zichtbaar worden. Verder zal een lage windsnelheid de afkoeling vertragen en de stad kan zo overdag meer warmte opslaan. Er werden 2 meettrajecten uitgezet en 2x gereden op 18 augustus 2009 (zie figuur 3 rode tijdbalk), een dag met wolkenloze luchten en weinig wind en temperaturen tot 30°C.



Figuur 3: Weercondities station Wageningen (18 Augustus 2009). Onderaan: Globale straling, bovenste grafiek: 1.5 m lucht temperatuur en dauwpunt temperatuur, middelste grafiek: gemiddelde 10 m windsnelheid (tijden in GMT oftewel -2 uur verschil met locale tijd). De rode balkjes geven de twee meetsessies weer.

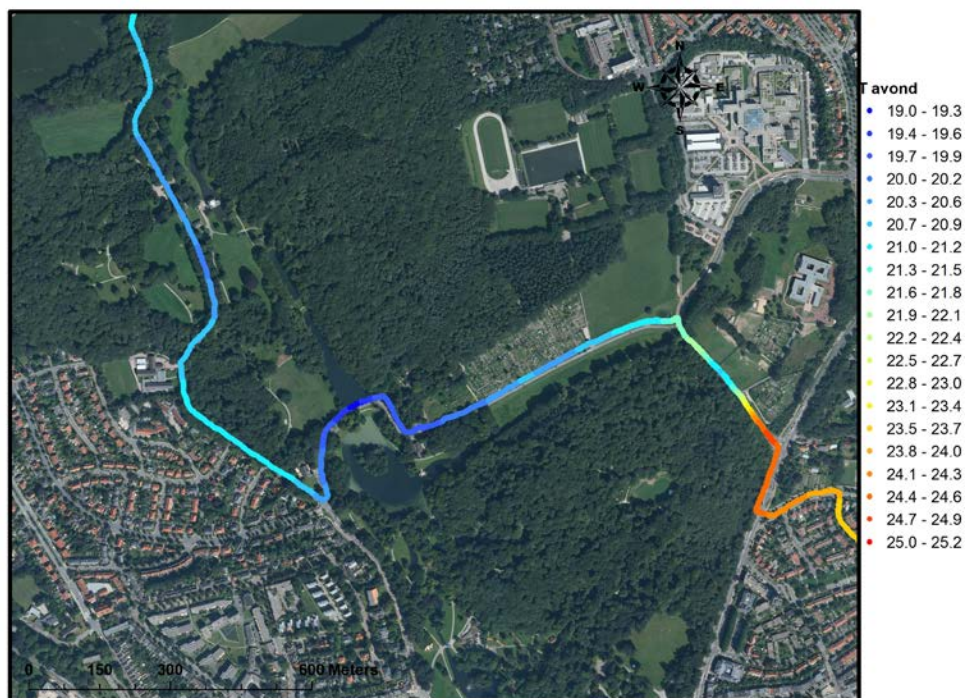
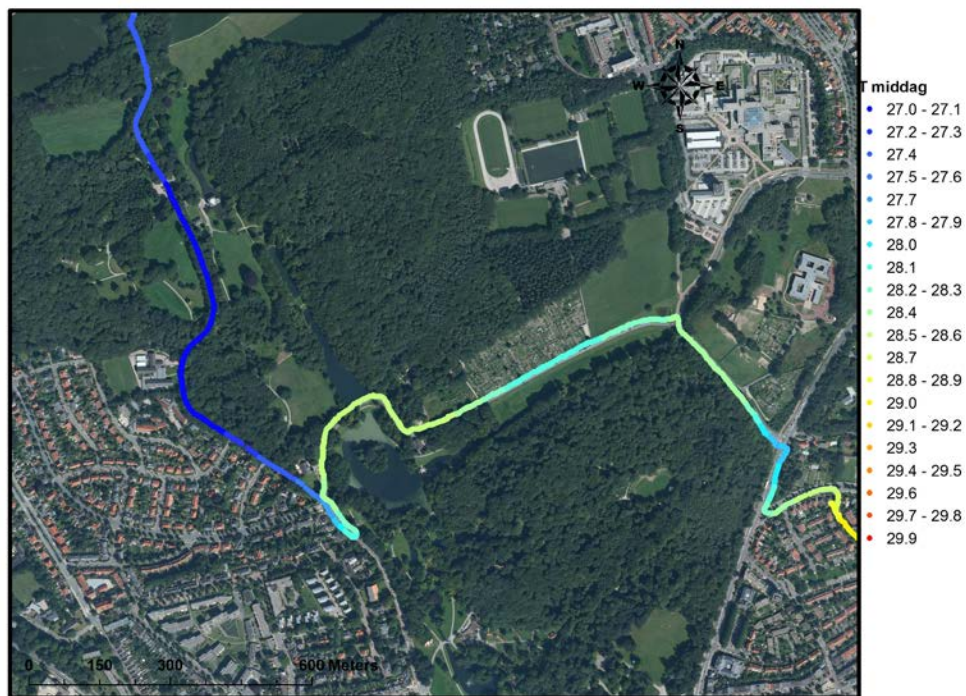
Metingen 18 augustus 2009

De metingen laten zien dat de meeste wijken warmer zijn (Fig. 4, 5, 6).

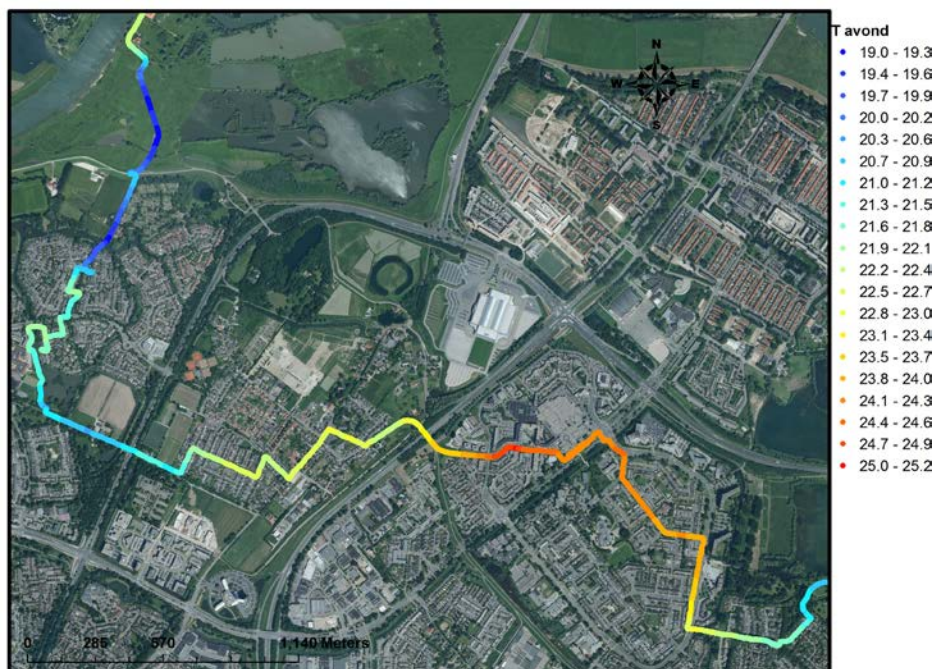
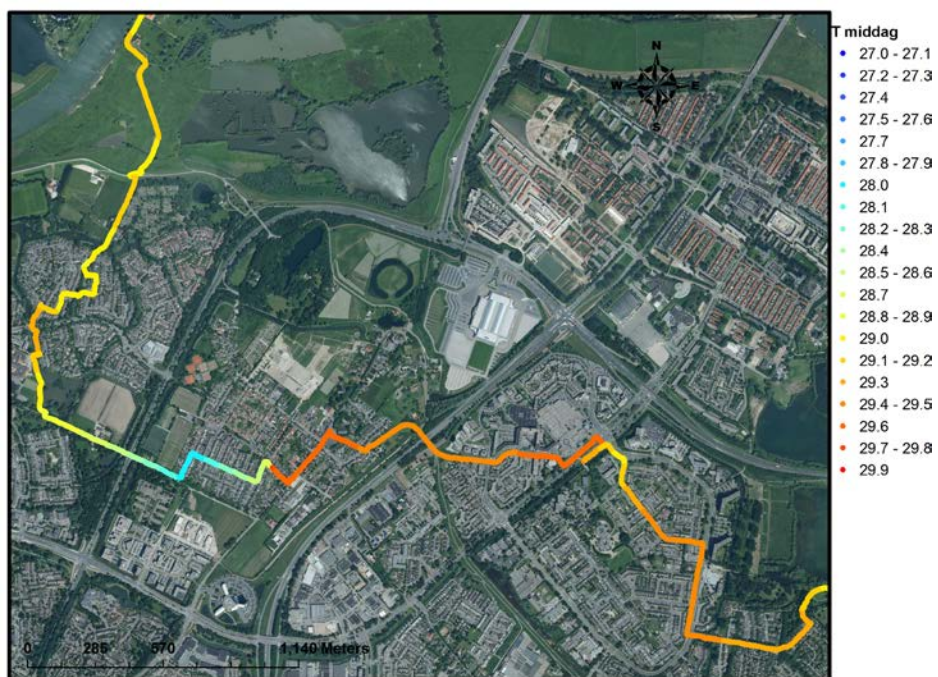


Figuur 4: Centrum en rechtsonder industriegebied “Het Broek”, bovenste panel middag, onderste panel avond.

Opmerkelijk is hoe koel park Sonsbeek overdag en in de avond blijft t.o.v. het stadscentrum. (Fig. 4 & 5). Het park is overdag onder de bomen bijna 3 graden koeler dan het stadscentrum en 's avonds koelt met name het beekdal aldaar sterk af. De nachtelijke afkoeling ontstaat doordat koele lucht afzakt langs de hellingen. Deze verkoelende luchtstroom waarvan de windsnelheid niet met deze metingen kon worden vastgesteld geeft ook verkoeling voor het noordelijk deel van het stadscentrum hetgeen bij de avondmetingen zichtbaar werd (Fig. 4). De weg die vanaf het park naar het noordoosten loopt is minder koel omdat er overdag minder verdampend bladoppervlak in de buurt is (en veel zon in combinatie met wat drogere grashellingen). Verder is deze weg niet het laagste deel van de sonsbeek vallei waardoor het niet zo koel wordt.



Figuur 5: Bovenste panel Sonsbeek middag, onderste panel Sonsbeek avond

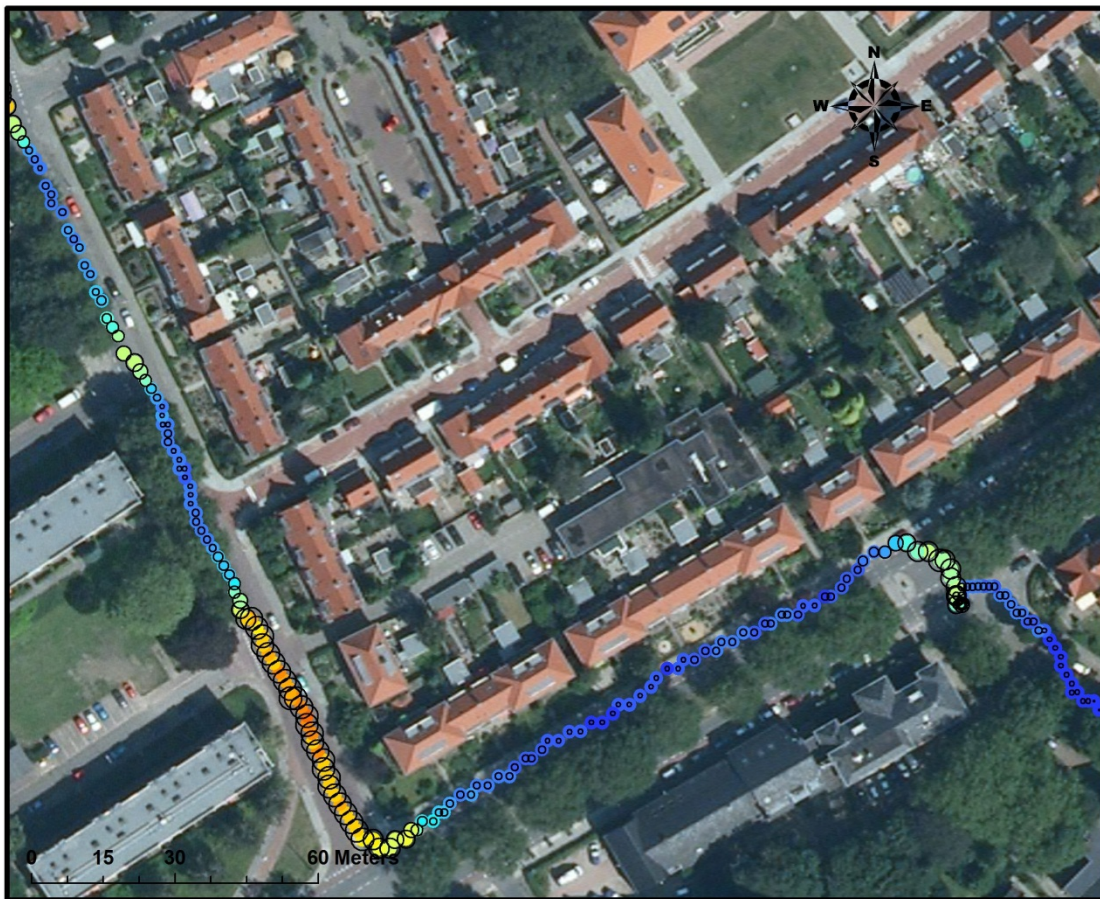


Figuur 6: Arnhem zuid, bovenste panel middag (12:30 – 14:30 GMT), onderste panel avond (19:50-21:40 u GMT, 18 augustus 2009)

In de avonden worden de verschillen dus veel groter (let op de andere schaal bij de grafieken). In deze periode treedt dan ook het UHI effect op. De vraag is hoe groot dit effect dan is. Het meest realistische is het om als referentie te kiezen de uiterwaarden maar een deel van de stad is natuurlijk op de hellingen van de veluwezoom bebouwd en daarvoor zou een andere referentie logischer zijn. Het UHI in het centrum en Kronenburg is dan 5°C verhoogd (Figuur 4). Opvallend is dat de wijk Elderveld in het zuiden niet zo warm wordt. Ten noorden van Elderveld, langs de Rijn wordt de invloed van de watertemperatuur van de Rijn zichtbaar.

Gevoelstemperatuur overdag

Volgens figuur 5 lijkt het alsof het temperatuurverschil tussen de wijken overdag niet zo groot is als 's avonds. Wat betreft lucht temperatuur klopt dit. Echter overdag heeft de globale straling (zon) een hele grote bijdrage aan de hittebeleving en in dezelfde straat kunnen verschillen van 15 graden in gevoelstemperatuur PET optreden. Figuur 7 laat dit mooi zien (wijk Geitenkamp), waarbij de zuidelijke straatzijde schaduw gaf (bomen en huizen) en de noordzijde vol in de zon zat. Wind kan verkoelend werken maar op deze dag was wind geen significante term in de PET reductie. Verder is de wind vaak gereduceerd in de stad.

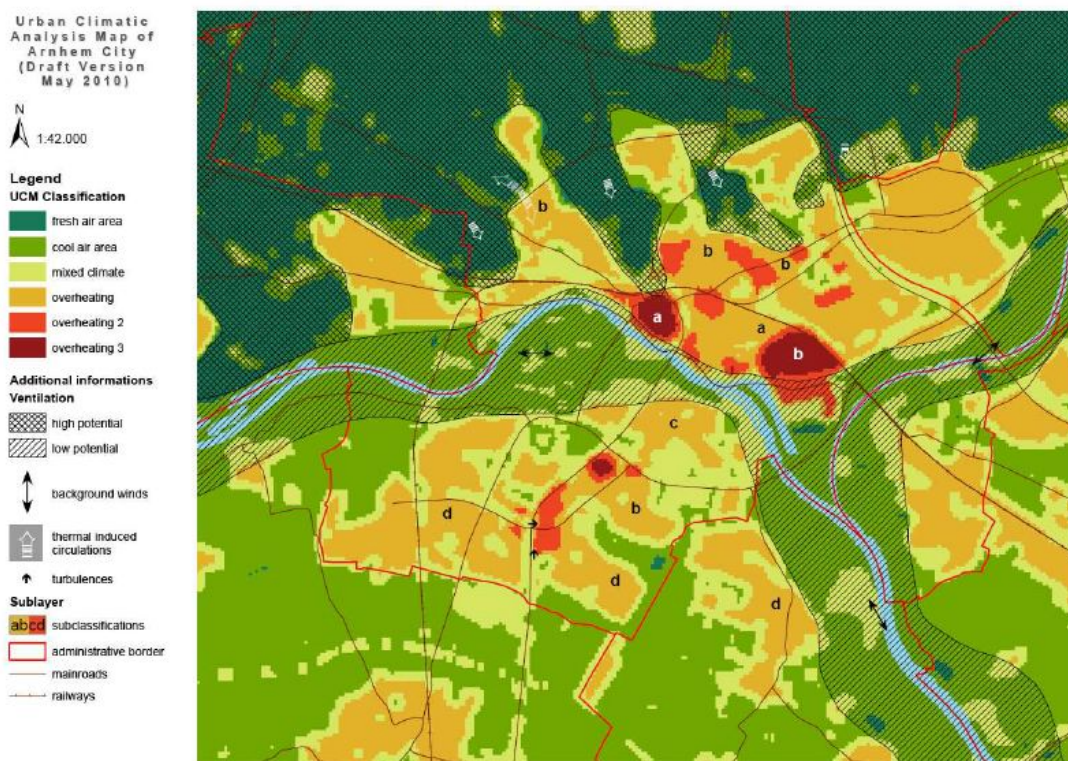


Figuur 7: Doctor Schaepmanlaan en Rozendaalseweg: Schaduw: Luchttemperatuur: 28.9°C, PET 27°C (blauw); Zon: Luchttemperatuur 29.4°C, PET 42.8°C (oranje), cirkel diameter geeft de stralingsbelasting weer.

Schaduw is dus een belangrijke factor om thermisch comfort op straat te verbeteren. Daarnaast zorgt schaduw ervoor dat asfalt en gevels niet zo opwarmen hetgeen de luchttemperatuur in de avonduren ook verlaagt.

Validatie hittekaartkaart Arnhem

De meetresultaten kunnen gebruikt worden om de hittekaart van Arnhem (Burghardt e.a., 2010) nader te valideren. Overigens zijn de meetgegevens wel gebruikt door Burghardt om de kaart te optimaliseren maar heeft dit niet tot grote wijzigingen geleid. Het kaart ontwerp (Fig. 8) is gebaseerd op een methode van Katzschner e.a. (2009).



Figuur 8: Urbane klimaatkaart van Arnhem (bron: Burghardt e.a., 2010)

Vergelijken we de metingen met de hittekaart van Arnhem en omgeving dan wordt zichtbaar dat niet alle plekken die met “oververhitting” zijn aangeduid ook daadwerkelijk als warmer gemeten zijn. De overeenkomsten tussen de metingen en de klimaatkaart voor Kronenburg en het centrum zijn ’s nacht goed (Fig. 4 & 6). De metingen ondersteunen

echter niet de verhoogde temperatuur van het industriegebied Het Broek, grenzend aan de IJssel ten oosten van het centrum op de hittekaart (Fig. 4 & 8). Mogelijk komt dit doordat het gebied overdag nogal schaduw-arm is waardoor de gevoelstemperatuur nogal kan oplopen. De hittekaart moet dan ook gezien worden als een combinatie van dag en nacht effecten. De maatregelen om de gevoelstemperatuur in het centrum of in deze industriewijk omlaag te krijgen zijn heel verschillend. Het centrum is overdag door de smalle straatjes schaduwrijk maar het industriegebied heeft misschien meer schaduwelementen nodig zodat mensen zich ook graag verplaatsen te voet/fiets tijdens warm weer. Het stadscentrum blijft 's avonds lang warm door de smalle straatjes en beperkte doorstroming vanaf park Sonsbeek i.v.m. de vele obstructies (Fig. 4 & 5). De verkoelende luchtstroom vanaf de Veluwe die richting het centrum getekend is (Fig. 8) valt ook op in de metingen (Fig. 4) en het gaat dan wel om een nachtelijke luchtstroom. Weliswaar zijn er geen windsnelheidsgegevens om dit aan te tonen maar lijkt de invloed van deze nachtelijk afstromende koude lucht zelfs merkbaar in het noordelijk deel van het centrum.

4 Conclusies en discussie

De mobiele metingen van 18 augustus 2009 laten duidelijk zien dat ook de stad Arnhem een aanzienlijk UHI heeft. In de avonduren loopt het temperatuursverschil met het buitengebied en het centrum makkelijk op tot boven de 5 °C. Overdag zijn de verschillen kleiner maar in de middag worden juist de hoogste temperaturen gemeten en dan is het risico op hittestress groter vooral op schaduwloze en windluwe zones in de stad. De verschillen in gevoelstemperatuur kunnen in de stad oplopen tot meer dan 15 °C en ver boven de PET 35°C grenswaarde waarboven het thermisch comfort overgaat naar serieuze hittestress voor een gezond persoon. Het verdient dan ook de aanbeveling om hiermee rekening te houden bij de inrichting van de straten (schaduw elementen). Doordat Arnhem veel groen heeft zijn de mogelijkheden om te ontsnappen aan de hitte gelukkig groot. Stedelijk groen zorgt voor afkoeling zoals te zien is rond park Sonsbeek

(Fig. 5). Aldaar blijft het 's middags zelfs koeler dan in het buitengebied. De wijk Elderveld bleef het koelst in de nacht (Fig. 6) hetgeen kan komen door de ruime opzet en het vele groen.

Dankwoord

De auteurs willen de volgende personen danken voor hun inzet bij de mobiele metingen: Chiel van Heerwaarden, Sanda Lenzholzer, Gert-Jan Steeneveld, Marina Sterk en Suzanne Visser. Verder bedanken we Hans van Ammers van Gemeente Arnhem voor de inspiratie en begeleiding van dit project.

5 Referenties

Burghardt, R., Katzaschner, L., Kupski, S., 2010. Urban Climatatic Map of Arnhem City.

Internal report Future Cities. Download link:

http://www.larenstein.nl/photoshare/2046.nl.0.o.legend_a_ucam.pdf

EEA, 2008. *Impacts of Europe's changing climate: 2008 indicator-based assessment*. EEA Report No 4/2008. European Environment Agency.

Heusinkveld, B.G., L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, G.J. Steeneveld, J.A. Elbers, E.J.

Moors, A.A.M. Holtslag, 2010. Use of Mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 12-14 April 2010, 433-438.

<http://www.meteo.unifreiburg.de/forschung/publikatione/berichte/index.html>

Heusinkveld, B.G. 14 april 2011. Presentatie Gelredome. Stedelijk hitte-eiland effect

Höppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature – a Universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. Biometeorol.*, 43, 71-75.

Katzschner, L., Maas, A., Schneider, A., 2009. Das Städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt- und Gebäudeplanung. *Bauphysik* 31, Heft 1. DOI: 10.1002/bapi.200910004

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *Int J of Biometeorol* 51, 323-334.

Matzarakis A., Mayer, H., Iziomin, G., 1999, Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43: 76-84.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, F., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan Model. *Int J Biometeorol* (2007) 51:323–334, DOI 10.1007/s00484-006-0061-8

Nijs, T. de, Crommentuijn L., Farjon H., Leneman, H., Ligtoet, W., De Niet, W., Schotten, K., 2002: *Vier scenario's van het Landgebruik in 2030, Achtergrondrapport bij de Nationale Natuurverkenning 2*, RIVM rapport 408764 003, RIVM, Bilthoven.

.