



Kennis
voor
Klimaat

Hittestress in Rotterdam



Copyright © 2011

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Gemeente Rotterdam

Gemeentewerken

TNO innovation
for life



Deltares
Enabling Delta Life



WAGENINGEN UR
For quality of life



ROTTERDAM.CLIMATE.INITIATIVE
Climate Proof



GGD
Rotterdam-Rijnmond

Hittestress in Rotterdam

Eindrapport

Projectcode	HSRR_05
Datum	30 juni 2011
Opdrachtgever	Kennis voor Klimaat Programmabureau Duurzaam gemeente Rotterdam

Dit onderzoekproject is uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl).

Dit onderzoekprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van I & M.

Opsteller	Gemeentewerken Rotterdam i.s.m. TNO, WUR, Alterra, Deltares, SBR en GGD Rotterdam
Projectleider	Drs. E.W.J.T. Nijhuis

KvK/039/2011

ISBN : 978-94-90070-44-1

Dit rapport is samengesteld op basis van de volgende deelrapporten:

1. Brolsma, R., E. Foka en G. Verhoeven, (2010), *Invloed stedelijk oppervlaktewater op omgevingstemperatuur*, Deltares 1200473-000-ZWS-0011.
2. Daanen, H.A.M., M. Simons en S. Janssen,(2010), *De invloed van hitte op de gezondheid,toegesplitst op de stad Rotterdam*, TNO-DV 2010 D248.
3. Harmelen, T. van, H. ten Broeke, L. Klok, S. Janssen, P. Oppen, E. Ruijgvoorn, G. Verhoeven, R. Brolsma, E. Koning (2010), *Maatregelen tegen het hitte-eilandeffect en hittestress in Rotterdam*, TNO.
4. Heusinkveld, B.G., L.W.A. van Hove en C.J.M. Jacobs,(2010), *Ruimtelijke analyse van het stadsklimaat in Rotterdam*.
5. Hove, L.W.A. van, J.A. Elbers, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, W. Jans, (2010), *Het stadsklimaat in Rotterdam, een eerste analyse van de meetgegevens van het meteorologische meetnet*.
6. Janssen, S.A., H. Vos, Y. de Kluzenaar, J.F. van den Berg, A. Hofman en H. Tiemeijer (2011), *De relatie tussen omgevingstemperatuur en slaapkwaliteit van ouderen*, TNO.
7. Klok, L., (2010), *Hittebeperkende klimaatmaatregelen voor Rotterdam, onderzocht met Envimet microschaal klimaatsimulaties*, TNO-034-UT-2010-02195_rpt-ML.
8. Klok, L, H. ten Broeke, T. van Harmelen, H. Verhagen, H. Kok, S. Zwart, (2010), *Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect*, TNO-034-UT-2010-1229_RPT-ML.
9. Ronda, R.J., G.J. Steeneveld en L.W.A. van Hove, (2010), *Modelsimulaties van het stadsklimaat van Rotterdam*.
10. Steeneveld, G.J., L.W.A. van Hove (2010), *Een eerste inschatting van het 'Urban Heat Island' effect voor Rotterdam en omgeving: Een modelstudie*.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
Executive summary	9
1. Inleiding	13
1.1 Inleiding	13
1.2 Doelstelling en aanpak	13
1.3 Leeswijzer	14
2. Het Rotterdamse hitte eiland	17
2.1 Satellietbeelden oppervlaktetemperatuur	17
2.2 Mobiele metingen	21
2.3 Metingen vaste stations	23
2.4 Regionale modelstudie	25
2.5 Gevolgen Klimaatverandering	26
2.6 Conclusie	27
3. Invloed van stedelijk hitte-eiland op welzijn en gezondheid	29
3.1 Metingen aan de gevoelstemperatuur	29
3.2 Literatuuronderzoek naar gezondheidseffecten	31
3.3 Praktijkstudie naar slaapverstoring	34
3.4 Conclusie	35
4. Analyse van hitteveroorzakende factoren	37
4.1 Analyse satellietgegevens	37
4.2 Antropogene warmtebronnen	39
4.3 Modelonderzoek	40
4.4 Conclusie	42



5.	Maatregelen	43
5.1	Van longlist naar shortlist	43
5.2	Toetsing van maatregelen	46
5.3	Conclusie	51
6.	Conclusies en aanbevelingen	53
6.1	Conclusies	53
6.2	Projectdoelen	54
6.3	Aanbevelingen	55

Samenvatting

Volgens scenario's van het KNMI is het waarschijnlijk dat Nederland ten gevolge van klimaatverandering in de toekomst te maken gaat krijgen met meer en langere periodes van zomerse en tropische temperaturen (in 2050 ongeveer een verdubbeling ten opzichte van nu). Met name in een grote stad als Rotterdam kan dit problematisch worden. Door het typisch stedelijk land- en materiaalgebruik (veel wegen en gebouwen, minder groen en water) blijft de warmte er namelijk langer hangen en blijft de temperatuur hoger dan in het omringende landelijke gebied: het zogenaamde stedelijk hitte-eiland effect. Dit effect wordt versterkt door de voortdurende verdichting van de stad en leidt er naar verwachting toe dat stedelingen in toenemende mate hinder ondervinden van overmatige warmte (hittestress).

Rotterdam heeft de ambitie in 2025 100% klimaatbestendig te zijn. Daarom is in het kader van het Kennis voor Klimaat onderzoeksprogramma (1^e tranche) het project "Hittestress in Rotterdam" uitgevoerd (HSRR-05). Kernvragen van dit onderzoek luiden:

1. In hoeverre is in Rotterdam sprake van een stedelijk hitte eiland effect en welke delen van de stad zijn het meest vatbaar?
2. In hoeverre verergert het probleem als gevolg van klimaatverandering?
3. In welke mate leidt een mogelijk stedelijke hitte eiland tot hittestress en wat zijn de meest kwetsbare groepen?
4. Wat zijn oorzaken en veroorzakers van het stedelijke hitte eiland?
5. Welke maatregelen kunnen genomen worden?

Teneinde deze vragen te beantwoorden, zijn satellietbeelden geanalyseerd, diverse metingen uitgevoerd op locatie, gezondheidseffecten geïdentificeerd, veroorzakers gezocht van het hitte eiland effect en maatregelen geïnventariseerd en beoordeeld op hun potentiële effect. Daarnaast is een beleidsworkshop gehouden waarin de onderzoeksresultaten zijn besproken en aanbevelingen zijn geformuleerd.

Uit het onderzoek blijkt dat in Rotterdam 's zomers sprake is van een stedelijk hitte eiland effect. Tijdens windstille nachten kan het temperatuurverschil tussen verstedelijkt en landelijk gebied oplopen tot 8°C. Met behulp van het mobiele meetplatform is onder andere de luchttemperatuur gemeten. Hieruit komt naar voren dat de koelste plekken de wat oudere laagbouw wijken zijn met veel groen (zoals Kralingen). Warm is het in hoogstedelijke gebieden als Centrum en (de Kop van) Zuid.

Met behulp van de satellietbeelden is tevens de oppervlaktetemperatuur geanalyseerd¹. Met name versteende wijken in de buurt van veel industriële activiteit blijken een hoge gemiddelde oppervlaktetemperatuur te hebben.

¹ De oppervlakte temperatuur is de temperatuur van het aardoppervlak. Deze wordt bepaald door de instraling van de zon en de door de aarde uitgestraalde straling. Hoewel oppervlaktetemperatuur niet hetzelfde is als luchttemperatuur, is er wel een sterke correlatie. Bovendien geeft de oppervlaktetemperatuur een goed beeld van de *ervaren* hitte.

Overdag betreft dit Spaanse Polder, Bedrijvenpark Rotterdam NW, Feyenoord, IJsselmonde en Delfshaven. 's Nachts gaat het om Heijplaat, Vondelingenplaat, Pernis, Eem-Waalhaven en Nieuw Mathenesse.

Over het algemeen kan blootstelling aan hoge temperaturen leiden tot warmte uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte. Tevens is er op warme dagen sprake van oversterfte, met name onder ouderen met reeds bestaande cardiovasculaire en/of respiratoire aandoeningen. Voor heel Nederland neemt de sterfte tijdens hittegolven met zo'n 12% toe. Landelijke cijfers kunnen echter niet zo maar vertaald worden naar de Rotterdamse situatie. Door gebrek aan gegevens is het daarom lastig aan te geven wat precies de gevolgen van het hitte-eiland effect zijn op de inwoners van Rotterdam. Wel toont een analyse van gegevens rondom de slaapkwaliteit van ouderen in de Rotterdamse wijk Omoord aan dat zij tijdens warme perioden korter en onrustiger slapen. Ook gaf de GGD tijdens de beleidsworkshop aan dat in de zomer van 2006 rond de 600 hittegerelateerde klachten binnen zijn gekomen bij huisartsen in de regio Rijnmond. Tevens blijkt uit berekeningen dat zich nu (anno 2010) al zomerse dagen voordoen waarop de gevoelstemperatuur (Physiologically Equivalent Temperature (PET)) om en nabij het centrum van Rotterdam hoger is dan wat comfortabel (en gezond) wordt geacht.

Metingen geven aan dat het hitte-eiland effect zich met name voordoet bij windstil weer. De opwarming van de lucht in het stedelijk gebied wordt onder die omstandigheden in hoofdzaak bepaald door de skyviewfactor, albedo en emissiviteit (maten voor respectievelijk de toegankelijkheid voor zonnestraling, het reflectievermogen en het uitstralingsvermogen). Maatregelen als het aanpassen van de kleur en de aard van gebruikte materialen voor bestrating en gevels blijken dan ook zeer effectief. Daarnaast blijkt uit modelsimulaties én metingen dat vergroening een verlaging van de temperatuur tot gevolg geeft. Ook water kan verkoelend werken, maar daar hangt de mate van verkoeling sterk af van het verschil in temperatuur tussen het water en de lucht. Het voordeel van zowel water als groen is dat het ruimte biedt aan een verkoelend briesje, waardoor zowel de luchttemperatuur als de belevingstemperatuur weer tot aangename proporties wordt teruggebracht. Andere veelbelovende maatregelen liggen in het aanpassen van het gedrag (ramen 's overdag dicht, 's avonds open, aanpassen van medicatie, dragen van luchtige kleding, voldoende drinken, neerlaten van de zonwering etc.).

Aangezien Rotterdam qua ruimtelijke ontwikkeling vooral inzet op inbreiding in het huidige verstedelijkte gebied, wordt het stedelijk hitte eiland effect in de toekomst versterkt. In combinatie met de klimaatverandering zal dit effecten hebben op de gezondheid en het welbevinden van de inwoners van Rotterdam en van anderen die er verblijven. Er wordt dus een duidelijke noodzaak en kans gesignaleerd om actie te ondernemen en het thermisch comfort in de stad te verbeteren. Tegelijkertijd blijft het zoeken naar manieren om om te gaan met onzekerheden omtrent de precieze ontwikkeling van het klimaat in de toekomst en de exacte werking van mogelijke maatregelen.

Uit het onderzoek komen de volgende aanbevelingen voort:

1. Begin, gezien de noodzaak en de duidelijke effectiviteit met het treffen van herstelbevorderende maatregelen binnenshuis (zie bijvoorbeeld www.gdd.rotterdam.nl).
2. Tref pro-actief maatregelen die mensen helpen hun gedrag aan te passen aan de warme omstandigheden en die zo de hittestress voorkomen of verminderen (opzoeken van koele plekken, aanpassen van kleding, bevorderen van de vochtinname etc.).
3. Verminder op gebouwniveau de warmtebelasting door het binnenklimaat te verbeteren (isolatie, ventilatie, vaste zonwering op de zuidgevel, beweegbare op de oost en westgevels).
4. Maak daarnaast een keuze uit een scala aan maatregelen die de stadstemperatuur positief beïnvloeden, geen koelend effect hebben in de winter en relatief makkelijk weer teruggedraaid kunnen worden, zoals: aanleg van fonteinen en kleinschalig groen, creëren van groene daken en gevels, aanbrengen van tijdelijke straatbeschaduwing en het sproeien van daken, gevels en straten. Maak daarbij wel zoveel mogelijk gebruik van hemel- in plaats van drinkwater.
5. Neem, indien gewenst, aanvullend grootschaliger maatregelen zoals het creëren van ruimte voor meer wind, aanpassen van dakbedekking, gevelmateriaal en bestrating of het slim inzetten van open water.

Uit de beleidsworkshop kwamen tenslotte nog enkele tips van meer procestechnische aard:

6. Blijf, vanwege de onzekerheden, maar ook en vooral vanwege mogelijkheden, zoeken naar meekoppelkansen.
7. Houd oog voor het delen van verantwoordelijkheden en laat zien dat burgers ook heel veel zelf kunnen doen.
8. Focus op de kansen (prettig thermisch comfort) in plaats van op de onheilsboodschap (aantallen vroegtijdig sterfgevallen) zonder sterfte en gezondheidsproblemen uit het oog te verliezen).
9. Koester het adagium van het Programmabureau Duurzaam van de gemeente Rotterdam "Learning by doing". Er is nog veel dat niet precies bekend is, maar er is ook al veel wel duidelijk. Ga op basis daarvan aan de slag en houd daarbij oog voor voortschrijdend inzicht.



Executive summary

According to climate scenarios of the Dutch Royal Meteorological Institute (KNMI), the Netherlands will be facing more and longer periods of high and even tropical temperatures (in 2050, twice as much as in the present situation). Specifically in large urban areas, such as greater Rotterdam, this may turn out to be a problem. Because of the typically urban land use and the use of materials (many roads and buildings, less vegetation and open water), heat tends to linger and nightly temperatures remain higher than in the surrounding rural areas: the so-called urban heat island effect. This effect is enhanced by the city's ongoing densification, which is expected to cause an increased discomfort (heat stress) for a growing number of inhabitants.

Rotterdam's ambition is to be 100% climate proof by the year 2025. Therefore, the project "Heat Stress in Rotterdam" has been carried out, which is part of the National Research Programme "Knowledge for Climate". The key questions in this research are:

1. to what extent does the urban heat island effect occur in Rotterdam and which parts of the city are most susceptible to it?
2. to what extent is this situation worsened by climate change?
3. to what extent does an urban heat island lead to heat stress and which groups are most vulnerable?
4. what causes the urban heat island?
5. which measures can be taken?

As a part of the research, satellite imagery has been analysed, various measurement campaigns have been carried out, health effects have been identified, causes of the urban heat island effect have been determined and an inventory of measures has been produced, which have been judged on their effectiveness. Moreover, a workshop has been organised with experts and policy makers in order to discuss the preliminary results and to identify recommendations.

It turns out that in summer, an urban heat island effect does occur in Rotterdam. On windless nights, the temperature difference between urban and rural parts may get as high as 8⁰C. Measurements carried out with a mobile observation platform (mounted on a bicycle) show that the older parts of town with relatively low buildings and much green (such as the district Kralingen) are the coolest spots (in terms of air temperature). The hottest spots are the highly urbanized districts, such as the Centre and the Kop van Zuid.

Specifically the stony districts near industrial activity show high average surface temperatures². In the daytime, these are the business parks Spaanse Polder and North West, and the residential areas of Feyenoord, IJsselmonde and Delfshaven. At night, it concerns the districts of Heijlplaat, Vondelingenplaat, Pernis, Eem-Waalhaven and Nieuw Mathenesse.

² Surface temperature is based on the in- and outgoing radiation from the sun. Surface temperature doesn't equal air temperature but the two are closely related. Surface temperature is an indication for the *experienced* heat.

Physiologically, exposure to high temperatures may cause rashes, heat convulsions, exhaustion and heat strokes. Also, on hot days, more than average mortality rates occur, especially among bedridden elderly people with a history of cardiovascular and/or respiratory disorders. In the Netherlands, the amount of deceased persons increases with 12% during heat waves. It is however, hard to pinpoint precisely which the consequences are of the heat island effect on the resident of Rotterdam. Due to a lack of data national averages cannot be applied directly to the situation in Rotterdam. Nevertheless, an investigation into the quality of sleep among the elderly in the district of Ommoord shows that their sleeping spells are shorter and more restless during warm periods. Moreover, during the aforementioned workshop, it appeared that in the summer of 2006 around 600 heat-related health complaints were registered by general practitioners in the region of Greater Rotterdam (Rijnmond). Calculations also show that already at present (anno 2010), hot days occur in summer with Physiologically Equivalent Temperatures (PET) in and around the town centre are higher than what is generally considered comfortable and healthy.

Observations indicate that the heat island effect occurs specifically during windless weather conditions. The heating of the air in urban areas under those conditions is mainly determined by the geometry of the built environment (sky view factor) and the albedo and emissivity of the surface materials. These parameters are a measure for the accessibility for sunlight and the capacity for reflecting and radiating it, respectively. Measures such as changing the colour or the nature of lining materials used in facades and paving turn out to be quite effective, accordingly. Furthermore, both model simulations and field observations confirm that greening the environment has a lowering effect on air temperatures. Surface water also may have a cooling effect, but this depends heavily on the temperature difference between water and air. Both water and vegetation have the advantage of providing access to cooling breeze, which helps to reduce both the air temperature and the PET to a comfortable level. Other promising measures concern the adaptation of behaviour (keeping windows closed during the daytime, open at night, adapting medication, choosing light clothes, drinking sufficiently, letting down blinds, etcetera).

Rotterdam aims to absorb its future growth within the current city boundaries, as described in the Rotterdam Urban Vision 2030. This increased the urban heat island effect. In view of the climate scenarios, this will have an effect on the health and well-being of citizens and other people staying in Rotterdam. So there is a clear need as well as a promising basis for action. At the same time, it remains a complex task to cope with uncertainties about the development of climatic conditions and the precise effect of heat-reducing measures.

Eventually, the research projects leads to the following recommendations:

1. Start by taking measures indoors aimed at stimulating the capacity for recovery, given the need and clear effectiveness (see e.g. www.gdd.rotterdam.nl).
2. Take measures proactively, helping people to adjust their behaviour to heat conditions, thus preventing or reducing heat stress (retreat to cool spots, adapting clothing, stimulating drinking etc.).
3. Reduce the heat load at the level of buildings by improving the indoor climate (insulation, ventilation, fixed blinds at the southern facades, moveable on the east and west facades etc.)

4. Choose from a range of supplementary measures which have a positive effect on the city's air temperature, don't have a chilling effect in winter and which can be undone relatively easily, such as: installing fountains and small greens and bushes, greening roofs and facades, apply temporary shading, flush or spray roofs, facades and streets. Remember to use rainwater instead of tap water as much as possible.
5. If applicable, carry out additional larger-scale measures such as creating more room for wind, adaptation of lining materials used on roofs, facades and paving or smart design of (new) open water.

Finally, the workshop for policy makers yielded some more process-related recommendations:

6. Always keep an open eye for opportunities to combine climate adaptation measures with other interventions in the built environment, given the uncertainties
7. Remember to share responsibilities and show citizens that there is a lot which they themselves can do to prevent heat stress and adapt to climate change
8. Focus on chances (thermal comfort) instead of on gloom and doom (the number of untimely deceased as a result of heat stress) -without losing sight of this aspect-
9. Cherish the adage of the Sustainability Programme Office of the city of Rotterdam: "Learning by doing". Although much precise knowledge still isn't available, a lot is clear enough already to act upon. Using that insight as a starting point, start adapting and remain aware of developing insights during the course of the project.



1. Inleiding

1.1 Inleiding

In de zomer van 2009 zijn in Rotterdam de eerste metingen gedaan naar het stedelijk hitte eiland effect. Dit is het fenomeen dat de temperatuur in stedelijk gebied hoger is dan in het omliggende landelijke gebied. Oorzaken hiervan zijn het typisch stedelijk land- en materiaalgebruik (veel wegen en gebouwen, minder groen en water) waardoor warmte in de stad langer blijft hangen en het feit dat er veel menselijke activiteit plaatsvindt op een relatief kleine ruimte, wat extra warmte veroorzaakt.

Het blijkt dat de bevolking in grote (wereld)steden nu reeds last ondervindt van de hoge temperaturen hetgeen zich uit in verschillende vormen van hittestress (uiteenlopend van slecht kunnen slapen tijdens warme nachten tot oververhitting van het lichaam leidend tot een hitteberoerte). Vanuit het Rotterdam Climate Proof programma is vervolgens de vraag gesteld in hoeverre Rotterdam als gevolg van klimaatverandering (én geplande ontwikkelingen in de stad) last (of profijt) gaat krijgen van dit stedelijk hitte eiland effect.

Daartoe is in het kader van het Kennis voor Klimaat onderzoeksprogramma (1^e tranche) voor de hotspot Rotterdam het project "Hittestress in Rotterdam" uitgevoerd (HSRR-05). Leden van het projectconsortium zijn:

- Wageningen University en Research center
- TNO
- Deltares
- SBR
- GGD Rotterdam Rijnmond
- Gemeente Rotterdam

Daarnaast is er deelonderzoek uitgevoerd door WaterWatch, is er samengewerkt met het Erasmus Medisch Centrum (ERGO) en zijn er verbindingen gelegd met onder andere het onderzoeksproject HSRR-04 naar regionale klimaatscenario's, de Provincie Zuid-Holland en de gemeente Arnhem (Future Cities project).

1.2 Doelstelling en aanpak

De volgende onderzoeksvragen vormen het hart van het project:

1. In hoeverre is er in Rotterdam sprake van een stedelijk hitte eiland effect, ook wel Urban Heat Island (UHI) effect genoemd en welke onderdelen van de stad zijn het meest vatbaar?
2. In hoeverre verergert het probleem als gevolg van klimaatverandering?
3. In welke mate leidt dit mogelijke stedelijke hitte eiland tot hittestress en wat zijn de meest kwetsbare groepen?
4. Wat zijn oorzaken en veroorzakers van het stedelijke hitte eiland?
5. Welke maatregelen kunnen er genomen worden?

Unieke aanpak

Over het ontstaan van stedelijke hitte eilanden en de gevolgen hiervan in termen van hittestress is de nodige literatuur beschikbaar. Deze heeft echter vaak betrekking op (zeer) grote en vooral buitenlandse steden. Relatief weinig is bekend over het ontstaan en de effecten van een stedelijk hitte eiland in Nederlandse steden. In het kader van het Rotterdam Climate Proof programma is vanuit de ambitie om Rotterdam in de toekomst zowel economisch aantrekkelijk te houden als een prettige stad om in te verblijven, de behoefte ontstaan om in de stad daadwerkelijk metingen te gaan verrichten naar het stadsklimaat en na te gaan in hoeverre Rotterdam last of profijt heeft van een stedelijk hitte eiland.

Juist het plaatsen van vaste meetstations verspreid over de stad zorgt ervoor dat er een voor Nederland unieke dataset is ontstaan over het stadsklimaat. In combinatie met historische gegevens van weeramateurs, de analyse van satellietbeelden van heldere zomerse dagen en metingen met behulp van mobiele apparatuur op straatniveau is vervolgens een goed beeld verkregen van het mogelijke stedelijke hitte eiland in Rotterdam. Daarnaast is de diverse data gebruikt om een aantal modellen te kalibreren en anderszins te verrijken.

Parallel aan de metingen en analyses heeft zowel literatuur- als praktijkonderzoek plaatsgevonden naar de gevolgen van een stedelijke hitte eiland voor de gezondheid en het welbevinden van de burgers. Tevens is er onderzoek verricht naar mogelijke maatregelen. Eerst op basis van literatuur en vervolgens op basis van toetsing van enkele kansrijke maatregelen door middel van metingen en modelstudies. Een longlist van maatregelen vormt in combinatie met een achtergronddocument en enkele suggesties voor een afwegingskader een beleidstool op basis waarvan betrokkenen op basis van hun eigen prioriteit na kunnen gaan welke (soort) hitte eiland of hittestress beperkende maatregelen potentieel interessant zijn.

Tenslotte heeft in december 2010 een beleidsworkshop met enkele stakeholders plaatsgevonden. Aanwezigen waren diverse onderzoekers vanuit het projectconsortium, geïnteresseerde (beleids-)medewerkers vanuit verschillende onderdelen van de gemeente Rotterdam (Gemeentewerken, Dienst Stedenbouw en Volkshuisvesting, GGD, Programmabureau Klimaat) en experts vanuit andere organisaties (gemeente Den Haag, gemeente Arnhem, Provincie Zuid-Holland, GGD regio Arnhem, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard en Kennis voor Klimaat). Het doel van de workshop was de voorlopige resultaten te presenteren en te verrijken alsmede enkele voor Rotterdam relevante beleidsvragen voor te leggen en te bespreken.

1.3 Leeswijzer

Dit eindrapport is opgesteld op basis van diverse deelrapporten (zie pagina 2 voor een compleet overzicht). Waar in de deelrapporten uitvoerig ingegaan wordt op methoden, achtergronden en technische specificaties, concentreert het eindrapport zich vooral op de resultaten van de verschillende projectonderdelen. Hierbij wordt steeds verwezen naar het betreffende deelrapport.

Iedereen die benieuwd is naar de resultaten van het hittestress project in Rotterdam en snel wil weten wat de bevindingen zijn of welke maatregelen er op de shortlist staan, bevelen wij aan dit overkoepelende eindrapport te lezen. Wie vervolgens geïnteresseerd is naar (wetenschappelijke) achtergronden en details nodigen wij van harte uit de verschillende deelrapporten nader te bestuderen.

De structuur van het eindrapport volgt de onderzoeksvragen zoals vermeld in § 1.2. Hoofdstuk 2 beantwoordt de vragen in hoeverre in Rotterdam sprake is van een hitte-eiland, welke delen er het meest vatbaar voor zijn en in hoeverre dit fenomeen toeneemt ten gevolge van klimaatverandering. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de vraag in hoeverre het stedelijk hitte eiland leidt tot hittestress en wie daar het meeste last van ondervinden. In hoofdstuk 4 staan de oorzaken en veroorzakers centraal en in hoofdstuk 5 de mogelijk te nemen maatregelen. Hoofdstuk 6 tenslotte bevat de overall conclusies alsmede aanbevelingen voor beleid én verder onderzoek. Tevens wordt in dit hoofdstuk stilgestaan bij de vraag in hoeverre de doelen van het project, zoals aan het begin van het traject verwoord in het projectvoorstel aan Kennis voor Klimaat, zijn gehaald.

Namens alle consortiumleden veel leesplezier.

Lissy Nijhuis en Jos Streng,
Gemeentewerken Rotterdam

30 juni 2011



2. Het Rotterdamse hitte eiland

De term hitte duidt op grote warmte. In de context van klimaatverandering in Nederland ligt de nadruk op problematisch veel warmte. De eerste stap in het project was het verkrijgen van inzicht in de relevantie van de onderzoeksvraag: In hoeverre is er in Rotterdam sprake van een stedelijk hitte-eiland? Dit is op verschillende manieren aangepakt. Uit een eerste modelstudie (zie deelrapport 10) en een analyse van satellietgegevens (deelrapport 8) bleek dat er op heldere warme dagen in Rotterdam sprake is van grote temperatuurverschillen. Op basis van deze resultaten is besloten de rest van de onderzoekswerkzaamheden uit te voeren.

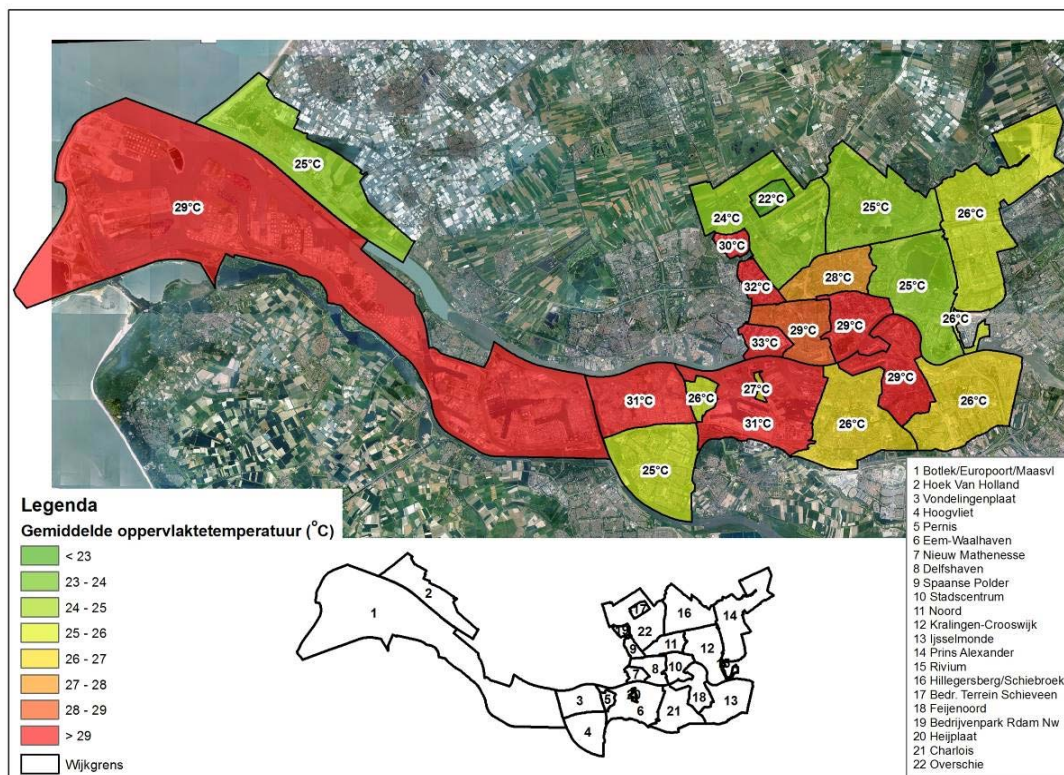
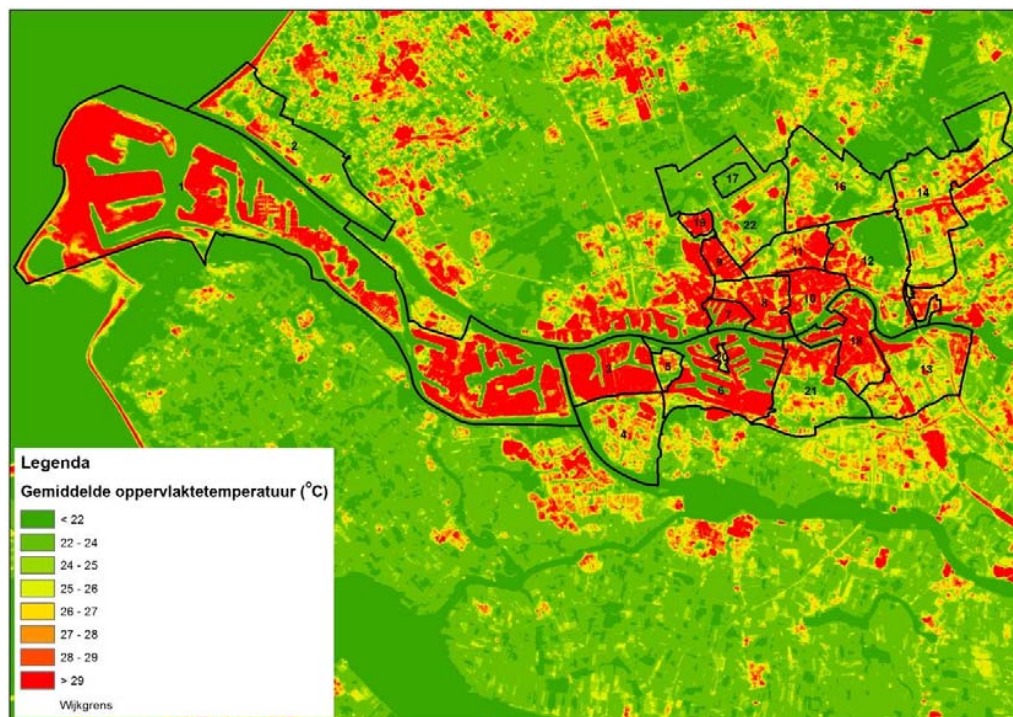
Zo is met behulp van een mobiel meetplatform ('klimaatbakfiets') het temperatuursverloop ruimtelijk in kaart gebracht door vanuit het centrum van de stad naar de randen te fietsen en weer terug (deelrapport 4). Daarnaast zijn er vanaf augustus 2009 op enkele vaste plaatsen verspreid over de stad continue metingen met automatische weerstations gevoerd om een beeld van het stadsklimaat in de tijd te krijgen (deelrapport 5). Het resultaat van al deze metingen en analyses is dat een beter beeld wordt verkregen waar in de stad het nu precies warmer wordt en waar het juist koeler blijft. Bovendien zijn de gegevens van de metingen gebruikt voor validatie en parametrisatie van simulatiemodellen die voor het verloop van het stadsklimaat in ontwikkeling zijn. Voor de meest recente versie van het mesoschaal Weather Research & Forecasting (WRF) model is een simulatiestudie uitgevoerd om na te gaan in hoeverre de modeluitkomsten overeenstemmen met waarnemingen op leefniveau (deelrapport 9).

2.1 Satellietbeelden oppervlaktetemperatuur

Het Rotterdamse stedelijk gebied is aan de hand van satellietbeelden onderzocht op ruimtelijke patronen in de oppervlaktetemperatuur (zie deelrapport 8 voor meer informatie). Ook is gekeken naar de samenhang met de ruimtelijke verdeling van potentiële oorzaken (zie hoofdstuk 4).

Voor het in kaart brengen van de ruimtelijke verdeling van het stedelijk hitte-effect zijn 15 Landsatbeelden uit de periode tussen 1984 en 2007 bewerkt tot 1 kaart (zie figuur 1). De beelden zijn genomen rond het middaguur op een aantal wolkenloze zomerdagen in de maanden juni, juli of augustus. Uit de beelden is de oppervlaktetemperatuur afgeleid. (Dit is de temperatuur van het aardoppervlak. Deze wordt bepaald door de instraling van de zon en de door de aarde uitgestraalde straling). Oppervlaktetemperatuur is nog niet hetzelfde als de luchttemperatuur, maar de twee zijn sterk gecorreleerd en de oppervlaktetemperatuur geeft een goed beeld van de *ervaren* hitte.

Het stedelijk gebied is duidelijk te herkennen. De wateroppervlakken zijn het koelst, gevolgd door weide- en akkerbouwgebieden. Vooral industriegebieden en dichtbebouwde gebieden in het centrum van Rotterdam vertonen hogere oppervlaktetemperaturen. De gemiddelde oppervlaktetemperatuur van het water is rond de 20 °C, terwijl de warmste zwarte daken in het gebied een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van meer dan 38 °C vertonen.



Figuur 1: Gemiddelde (boven) en wijkgemiddelde oppervlaktetemperatuur overdag (onder) op basis van 15 satellietopnamen (bron: deelrapport 8).

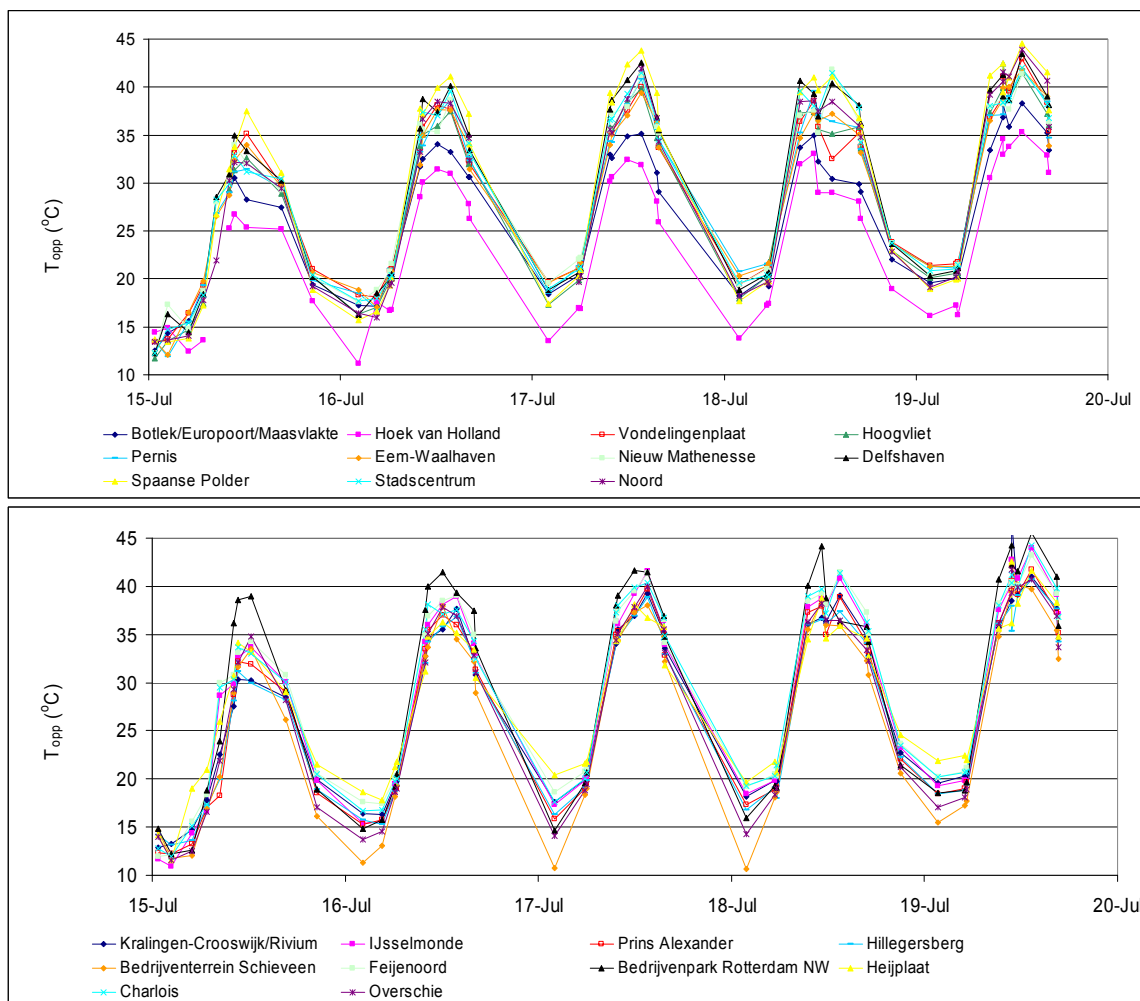
De gegevens zijn ook bewerkt tot gemiddelden voor de wijken van Rotterdam (zie tabel A).

Wijknaam	Gemiddelde oppervlakte-temperatuur (°C)	Standaard deviatie (°C)	Hitte-eiland intensiteit (°C)
Nieuw Mathenesse	32,9	2,4	9,9
Spaanse Polder	32,1	3,6	9,1
Vondelingenplaat	31,1	2,5	8,1
Eem-Waalhaven	30,6	3,7	7,6
Bedrijvenpark Rotterdam NW	29,7	2,7	6,6
Botlek/Europoort/Maasvlakte	29,4	3,4	6,3
Feyenoord	29,3	2,4	6,2
Stadscentrum	29,2	3,0	6,2
Delfshaven	29,0	2,2	5,9
Noord	27,7	3,0	4,6
Heijplaat	26,5	1,7	3,5
Ijsselmonde	26,5	2,8	3,4
Charlois	26,1	3,1	3,1
Rivium	26,0	0,7	2,9
Pernis	25,6	2,5	2,5
Prins Alexander	25,6	2,4	2,5
Hoogvliet	25,5	2,9	2,4
Kralingen-Crooswijk	25,0	3,7	1,9
Hoek van Holland	24,7	2,7	1,7
Hillegersberg/Schiebroek	24,7	2,4	1,6
Overschie	24,1	2,5	1,1
Bedrijventerrein Schieveen	22,4	0,4	-0,6

Tabel A: Wijkgemiddelde oppervlaktetemperatuur (bron: deelrapport 8)

Het blijkt dat de wijkgemiddelde oppervlaktetemperatuur varieert van 22,4 tot 32,9 °C. In de tabel is tevens de standaarddeviatie weergegeven. Dit is een maat voor de variatie in oppervlaktetemperatuur binnen een wijk. De hitte-eiland intensiteit geeft het verschil aan tussen de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de wijk en de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 19 omliggende groengebieden (23,1⁰C).

Om het dagpatroon in de oppervlaktetemperatuur te analyseren zijn daarnaast ook NOAA-AVHRR beelden geanalyseerd. Hiervoor is een reeks satellietbeelden gebruikt die zowel overdag als 's nachts zijn gemaakt tijdens de recentste Nederlandse hittegolfperiode (15 tot 30 juni 2006). De resultaten zijn weergegeven in figuur 2.



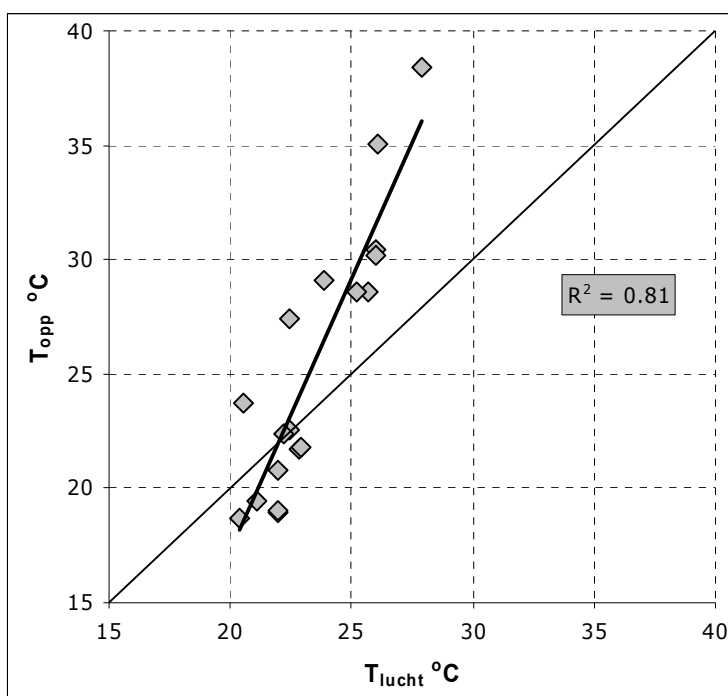
Figuur 2: Gemiddelde oppervlaktetemperatuur gedurende de hittegolfperiode in 2006 voor de Rotterdamse wijken gebaseerd op NOAA-AVHRR-beelden (bron: deelrapport 8).

Hoek van Holland is zowel overdag als 's nachts de koelste locatie. Overdag vertonen de buurtgemiddelde oppervlaktetemperaturen van Nieuw Mathenesse, Spaanse Polder en Vondelingenplaat het grootste verschil met Hoek van Holland (meer dan 8 °C). Kralingen-Crooswijk, Hoek van Holland, Hillegersberg/Schiebroek, Overschie en Bedrijventerrein Schieveen zijn het koelst met wijkgemiddelde oppervlaktetemperaturen die minder dan 2 °C afwijken van die in Hoek van Holland. In het centrum bedraagt het oppervlaktetemperatuurverschil 6 °C.

Uit de beelden blijkt tevens dat de wijken die overdag de hoogste oppervlaktetemperaturen vertonen, niet per sé ook 's nachts het warmst zijn. Dan hebben namelijk Heijplaat, Vondelingenplaat, Pernis, Eem-Waalhaven en Nieuw Mathenesse de hoogste oppervlaktetemperatuur (4 °C warmer dan Hoek van Holland).

Verder valt op dat er een geleidelijke stijging in de oppervlaktetemperatuur waarneembaar is. De temperatuurmaxima en –minima liggen aan het einde van de hittegolffperiode hoger dan aan het begin. Dit heeft vermoedelijk te maken met de toenemende warmteopslag.

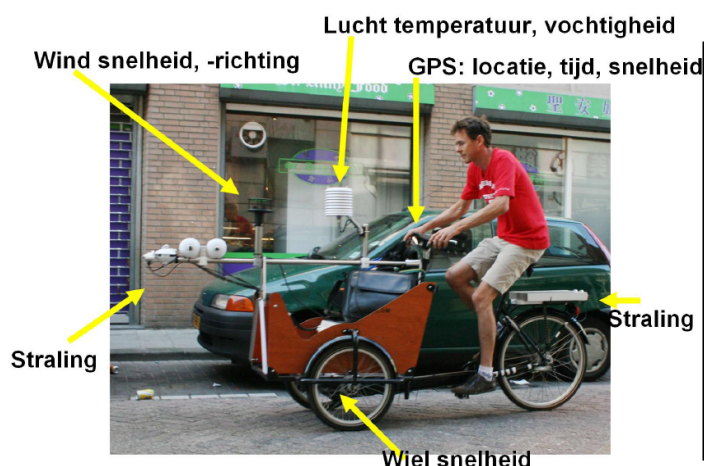
De temperatuur van het oppervlak is nog niet hetzelfde als de luchttemperatuur. Een vergelijking tussen de Landsat oppervlaktetemperaturen en de gemeten luchttemperaturen overdag laat wel zien dat de oppervlaktetemperatuur sterk gecorreleerd is met de luchttemperatuur (zie figuur 3). Hoge oppervlaktetemperaturen gaan samen met hoge luchttemperaturen. De variatie in de oppervlaktetemperatuur is echter groter dan in de luchttemperatuur. Dit betekent dat de intensiteit van het hitte-eiland afgeleid uit oppervlaktetemperaturen vermoedelijk groter is dan het hitte-eiland effect bepaald door het verschil in de luchttemperatuur. De intensiteit van het stedelijk hitte-eiland van Rotterdam is dus vermoedelijk iets lager dan in tabel A wordt vermeld.



Figuur 3: Relatie tussen de oppervlaktetemperatuur van de vier recentste Landsatbeelden en metingen van de luchttemperatuur van weeramateurs en vliegveld Zestienhoven op het moment dat het Landsatbeeld werd gemaakt (12:30 u.) (bron: deelrapport 8).

2.2 Mobiele metingen

Op basis van de analyse van de satellietbeelden en de meetgegevens van de vaste meetstations wordt een duidelijk, maar globaal beeld verkregen van het hitte-eiland effect in Rotterdam. Met behulp van een mobiel meetplatform (zie figuur 4) is vervolgens ingezoomd op het klimaat op straatniveau door langs verschillende trajecten overdag en 's nachts de hitte in kaart te brengen.



Het mobiele meetplatform is uitgerust met een snelle thermometer, vochtmeter, sensor voor windrichting en -snelheid, sensoren voor de bepaling van de hoeveelheid invallend zonlicht en sensoren voor de uitwisseling van warmtestraling. De locatie wordt m.b.v. satelliet navigatie bijgehouden waarbij ook snelheid geregistreerd wordt. Omdat de snelheidsberekening van de satelliet navigatie ruis vertoont in stedelijk gebied, is een wielsensor toegevoegd die exact de wielomwenteling meet (8 pulsen per wiel omwenteling). Een ultrasone anemometer meet de windsnelheid, zowel in de fietsrichting als dwars daarop. Dit wordt achteraf teruggerekend naar stilstand.

Figuur 4: Mobiel meetplatform zoals gebruikt voor het onderzoek (bron: deelrapport 4)

Er is onder andere gemeten in de zomerperioden van 2009. Ook deze metingen laten zien (zie figuur 5 en 6) dat Rotterdam 's nachts een aanzienlijk stedelijk hitte-eiland effect ontwikkelt gedurende zonnige dagen met weinig wind (verschil luchttemperatuur en buitengebied >7 °C). Overdag was het verschil in luchttemperatuur tussen stad en platteland veel minder groot. 's Ochtends werden in de stad zelfs lagere luchttemperaturen gemeten. In de middag bleef het verschil in opwarming beperkt tot 2 °C, waarbij met name groene wijken minder opwarmen. Opvallend was dat tijdens het warmste moment van de dag park *de 2 heuvelen* zelfs 2 °C koeler bleek dan het buitengebied. De koelste wijken waren de wat oudere laagbouwwijken met veel groen (zoals Kralingen). Warm was het in hoogstedelijke gebieden als Centrum en (Kop van) Zuid.



Figuur 5: Temperatuurverschillen tussen mobiele metingen en weerstation KNMI op Rotterdam Airport (14:00 – 16:00, 6 augustus 2009).



Figuur 6: Temperatuurverschillen tussen mobiele metingen en weerstation KNMI op Rotterdam Airport (22:00 – 24:00, 6 augustus 2009).

Uit de mobiele metingen blijkt niet eenduidig dat water een verkoelend of verwarmend effect heeft. Het temperatuurverschil tussen water en lucht geeft de doorslag. Deelrapport 1 gaat hier nader op in (zie ook paragrafen 3.1 en 5.3.3).

2.3 Metingen vaste stations

Vanaf augustus 2009 zijn in situ meteorologische metingen uitgevoerd op 3 locaties in de stad Rotterdam (aan de gevel van het Groothandelsgebouw nabij aan het Stationsplein (centrum), bij een gemaal in Alexanderpolder (oost) en bij het zwembad in Charlois (zuid)) en op 1 referentielocatie in het buitengebied ten noorden van Rotterdam (Delgauw) (zie figuur 7). Deelrapport 5 gaat hier verder nader op in.

Het voordeel van de langere meetperiode is dat het daarmee mogelijk wordt data te verzamelen voor verschillende weersomstandigheden. Bovendien geven de resultaten inzicht in de invloed van wijktypologieën op het stedelijke hitte-eiland effect. Het meetstation aan het Groot Handelsgebouw in hartje centrum staat immers in een hele andere omgeving dat die in het relatief groene Alexanderpolder. De resultaten worden tenslotte ook gebruikt voor de validatie en parameterisatie van simulatiemodellen die voor de ontwikkeling van het stadsklimaat in ontwikkeling zijn (zie paragraaf 2.4).

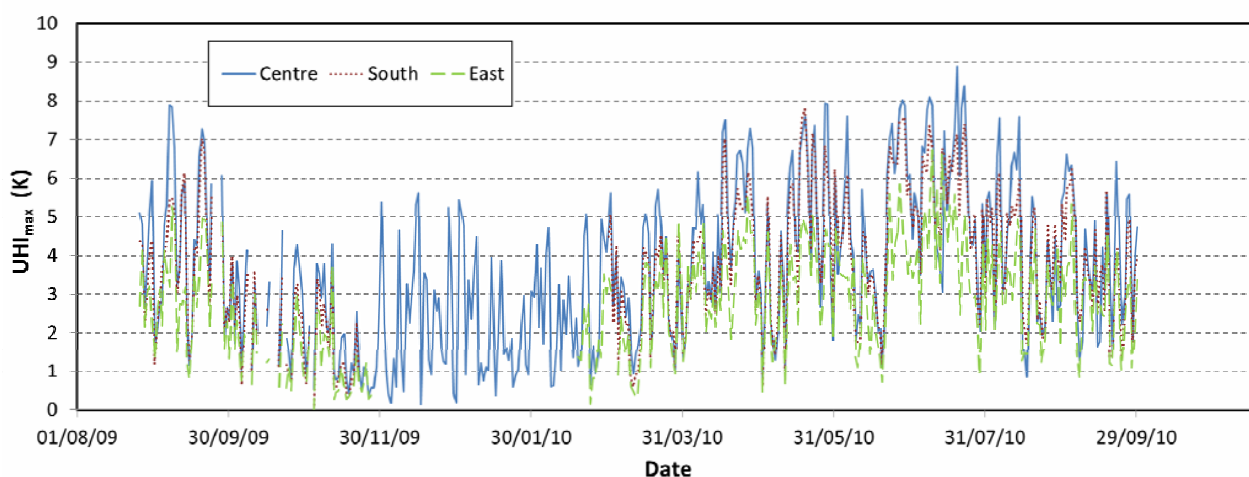


Figuur 7: Locatie van de meetstations die voor het project gebruikt zijn (bron: deelrapport 5).

De geanalyseerde meetperiode loopt van 25 augustus 2009 tot 1 oktober 2010.

Belangrijke bevindingen (zie ook figuur 8) zijn:

- Het Urban Heat Island (UHI) effect is maximaal in de zomermaanden (juni, juli, augustus).
- Op heldere, windstille ($< 2 \text{ m s}^{-1}$) zomerse dagen ($> 30^\circ$) kan de maximale UHI intensiteit (UHI_{max} , het verschil in temperatuur tussen het meetstation in de stad en dat op de referentielocatie) in dichtbebouwde gebieden (Centrum, Zuid) meer dan 8°C bedragen.
- De maximale UHI intensiteit wordt na zonsondergang bereikt en blijft gedurende een lange tijd (ca. 8 uur) bestaan; de intensiteit neemt pas rondom zonsopgang snel af wanneer het buitengebied opwarmt.
- De maxima voor de UHI intensiteit die op heldere, windstille zomerse dagen in Rotterdam worden bereikt zijn aanzienlijk en vergelijkbaar met andere Europese steden.
- De gemiddelde UHI intensiteit is in de wintermaanden gering (UHI_{max} ca. 2°C). Echter, op heldere, windstille dagen kunnen er zich ook in de winter uitschieters voordoen van (UHI_{max} ca. 5°C).



Figuur 8: De maximale dagelijkse 'Urban Heat Island' intensiteit (UHI_{max} in K) voor de meetstations in de stad (Centrum, Oost en Zuid) gedurende de meetperiode van eind augustus tot 1 oktober 2010. Voor de wintermaanden waren er wegens technisch storingen alleen metingen beschikbaar van het station in het Centrum (blauwe lijn).

Overige geconstateerde verschillen tussen de referentielocatie en de stedelijke stations zijn:

- in de stad was de globale straling (d.i. totale inkomende kortgolvlige straling) gemiddeld 13 tot 25% lager
- de gemiddelde waterdampspanning was alleen in het centrum duidelijk lager (-4.2%)
- in de stad is de gemiddelde windsnelheid beduidend lager ($>50\%$)
- locatie Oost vertoont minder sterke afwijking van de referentie dan Centrum en Zuid.

In tabel B zijn de resultaten samengevat. Voor meer gedetailleerde gegevens over het jaarverloop van de meetgegevens van de vier meetstations wordt verwezen naar deelrapport 5.

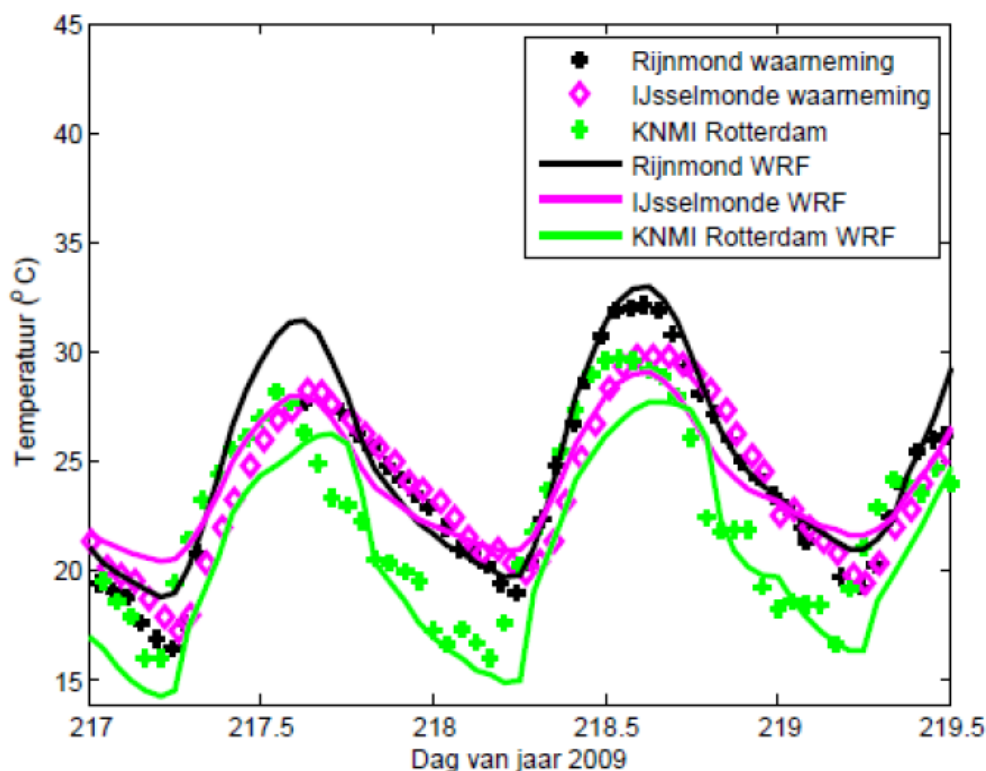
Variabele		Referentie	Centrum	Oost	Zuid
Daggemiddelde globale straling (W/m ²)	<i>Gemiddeld</i>	139.2	104.7 (-24.8%)	121.6 (-12.6%)	108.1 (-22.3%)
	<i>STD</i>	97.2	80.3	84.2	73.2
Daggemiddelde luchttemperatuur (°C)	<i>Gemiddeld</i>	11.3	12.6 (+11.5%)	11.9 (+5.3%)	12.6 (+11.5%)
	<i>STD</i>	5.9	6.3	6.1	6.1
Daggemiddelde windsnelheid (m s ⁻¹)	<i>Gemiddeld</i>	3.2	1.2 (-63.8%)	1.6 (-50.5%)	1.3 (-59.8%)
	<i>STD</i>	2.6	0.7	1.47	1.4
Minimum relatieve luchtvochtigheid gedurende een etmaal (%)	<i>Gemiddeld</i>	69.2	59.0 (-14.7%)	64.3 (-9.3%)	61.1 (-11.7%)
	<i>STD</i>	14.5	16.7	16.7	16.8
Daggemiddelde waterdampspanning (kPa)		1.18	1.13 (-4.2%)	1.17 (-0.8%)	1.18
	<i>STD</i>	0.38	0.35	0.36	0.36

Tabel B: Gemeten meteorologische variabelen op de referentielocatie en op de stadslocaties (Centrum, Oost en Zuid), gemiddeld over de meetperiode eind augustus 2009 tot 1 oktober 2010. Getallen tussen haakjes: de procentuele afname of toename t.o.v. de referentie. (bron: deelrapport 5)

2.4 Regionale modelstudie

Ter bevestiging van de metingen is onderzocht of een rekenmodel, dat het gedrag van de atmosfeer in de regio simuleert, het in de huidige situatie gemeten warmte-eiland ook laat zien. Het gebruikte rekenmodel is het Weather Research & Forecasting (WRF) model. In deelrapport 9 is hier meer achtergrondinformatie (zoals detailinformatie over modelberekeningen, resolutie etc.) over te vinden.

De simulatiestudie werd uitgevoerd voor 5, 6 en 7 augustus 2009, een periode met voor Nederland zeer hoge maximum temperaturen (> 30 °). Op die data waren nog niet alle meetstations uit paragraaf 2.3 operationeel. Vandaar dat gegevens zijn gebruikt van 2 weeramateurstations en het KNMI station op Rotterdam Airport. Ook de resultaten van de simulatiestudie laten een duidelijk UHI-effect voor Rotterdam zien (zie figuur 9). Vooral in de late middag en tijdens de nacht liggen de modelresultaten en waarnemingen dicht bij elkaar. Relatief grote verschillen worden vooral voor de ochtend en vroege avond gevonden.



Figuur 9: Gemeten en berekende waarden voor 5 en 6 augustus 2009 (bron: deelrapport 9)

2.5 Gevolgen Klimaatverandering

Uit voorgaande paragrafen blijkt dat er tijdens warme, windstille, zomerse dagen in Rotterdam sprake is van een stedelijk hitte-eiland. Ervan uitgaande dat dit een probleem is (zie hiervoor hoofdstuk 3) luidt onderzoeksvraag 2 van het project: "In hoeverre verergert het probleem als gevolg van klimaatverandering?". Uit scenario's van het KNMI blijkt dat er zich in Nederland meer en warmere dagen voor zullen gaan doen (zie tabel C).

	1976 – 2005	2020	2050
Aantal warme dagen (<i>max</i> > 20°C)	80	87-103	96-126
Aantal zomerse dagen (<i>max</i> > 25°C)	24	28-36	31-50
Aantal tropische dagen (<i>max</i> > 30°C)	4	5-9	7-15

Tabel C: Overzicht van warme, zomerse en tropische dagen volgens de verschillende klimaatscenario's voor de Bilt, Nederland (bron: deelrapport 2)

Aangezien het UHI-effect het grootst is tijdens warme perioden, is het aannemelijk dat ook Rotterdam, vaker en waarschijnlijk ook langer nog dan nu reeds het geval is, in de meest versteende gebieden te kampen krijgt met oplopende temperaturen. In combinatie met de reeds in gang gezette ontwikkeling dat de stad steeds meer verdicht wordt (tegengaan *urban sprawl*), en de verwachting dat naarmate er meer warme dagen optreden meer mensen tijd door zullen brengen in de buitenruimte, leidt dit ertoe dat in de toekomst steeds *meer* mensen *in toenemende mate* te maken gaan krijgen met de gevolgen van het stedelijk hitte eiland effect.

2.6 Conclusie

Uit de diverse analyses en metingen blijkt dat Rotterdam net als andere grote steden in de wereld in de zomer tijdens warme, windstille dagen te maken heeft met een stedelijk hitte-eiland effect dat op 's avonds op kan lopen tot 8°C.

Met name versteende wijken in de buurt van veel industriële activiteit blijken een hoge gemiddelde oppervlaktetemperatuur te hebben. Overdag betreft dit Spaanse Polder, Bedrijvenpark Rotterdam NW, Feyenoord, IJsselmonde en Delfshaven. 's Nachts gaat het om Heijplaat, Vondelingenplaat, Pernis, Eem-Waalhaven en Nieuw Mathenesse. Metingen aan de luchttemperatuur met behulp van het mobiele meetplatform laten zien dat de koelste plekken de wat oudere laagbouwwijken zijn met veel groen (zoals Kralingen). Warm is het in hoogstedelijke gebieden als Centrum en (de Kop van) Zuid

Als gevolg van klimaatverandering zal Rotterdam in de toekomst te maken gaan krijgen met meer en langere periodes van zomerse en tropische temperaturen. (In 2050 ongeveer een verdubbeling ten opzichte van nu). In combinatie met de voortdurende verdichting van de stad leidt dit er naar verwachting toe dat in de toekomst steeds meer de gevolgen van het hitte-eiland gaan ondervinden, in een omgeving die -als er niets wordt gedaan- steeds gevoeliger is voor overmatige warmte. Vandaar dat het belangrijk is nader te bekijken wat nu precies de gevolgen zijn van dit Rotterdamse hitte-eiland.



3. Invloed van stedelijk hitte-eiland op welzijn en gezondheid

Uit hoofdstuk 2 blijkt duidelijk dat in Rotterdam sprake is van een hitte-eiland. De vraag is nu wat de consequenties zijn van dit hitte-eiland voor de mensen die in de stad wonen, werken of recreëren. Dit hoofdstuk geeft vanuit diverse invalshoeken antwoord op deze vraag. Zo is enerzijds vanuit metingen aan de temperatuur een vertaling gemaakt naar de gevoelstemperatuur. Anderzijds is met behulp van literatuuronderzoek gekeken naar het scala van effecten van overmatige hitte op de gezondheid. Tenslotte is op basis van beschikbare data van een onderzoek van de Erasmus Universiteit (ERGO) naar de gezondheid van ouderen in het algemeen ingezoomd op de vraag in hoeverre de nachtelijke temperatuur van invloed is op de slaapkwaliteit van ouderen in hun eigen slaapkamer.

3.1 Metingen aan de gevoelstemperatuur

Net als in de winter, wanneer de gevoelstemperatuur, bijvoorbeeld als gevolg van een straffe wind, een stuk lager kan liggen dan op de thermometer aangeeft, kan ook in de zomer sprake zijn van een gevoelstemperatuur die behoorlijk afwijkt van de gemiddelde luchttemperatuur. Denk hierbij bijvoorbeeld aan factoren als wind, schaduw en straling van asfalt of bebouwing. Een manier om de gevoelstemperatuur uit te drukken is door middel van de physiologically equivalent temperature (PET). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een ervaren warmte tussen 18 en 23 °C als comfortabel wordt ervaren, 23 tot 29 °C tot lichte hittestress leidt, 29-35 °C tot matige hittestress, 35-41 °C tot sterke hittestress en een PET van meer dan 41 °C extreme hittestress tot gevolg heeft. In deelrapport 5 wordt dit nog nader toegelicht.

Voor de periode medio april-1 oktober 2010 zijn de dagelijkse maximale PET waarden berekend voor de vaste meetstations in de stad en het referentiestation in Delfgauw (deelrapport 5). In tabel D wordt samengevat hoeveel uren met lichte tot extreme hittestress zich voor gedaan hebben. Hieruit komt naar voren dat er met name in juli 2010 sprake was van een groot aantal dagen met matige tot sterke hittestresscondities. Bovendien is duidelijk te zien dat het aantal uur met thermisch discomfort in de stad hoger is dan in het buitengebied.

PET (°C)	Fysiologische hittestress	Centrum	Oost	Zuid	Referentie
23-29	Lichte hittestress	302	197	224	63
29-35	Matige hittestress	79	62	67	11
35-41	Sterke hittestress	16	12	12	0
>41	Extreme hittestress	0	0	0	0

Tabel D: Aantal uren met lichte tot extreme hittestress voor de periode 15 april – 31 september 2010
(bron: deelrapport 5)

Ook uit de metingen met de mobiele meetunit zijn PET waarden berekend. Onder andere voor de fietsronde van de middag van 6 augustus 2009 zijn de gevoelstemperatuur en de stralingsbelasting berekend. Ter illustratie in figuur 10 de resultaten voor een klein stuk straat, waarbij voor zowel de schaduwkant als de zonkant PET waarden zijn berekend.



Figuur 10: PET (kleuren) en stralingsbelasting (cirkels), 's middags 6 augustus 2009 (bron: deelrapport 4).

Hieruit blijkt dat het een behoorlijk verschil maakt aan welke kant van de straat iemand zich bevindt. In aanvulling op de beelden van de ruimtelijke verdeling (zoals met behulp van de satellietbeelden) die duidelijk aangeven in welke delen van de stad de gemiddelde temperaturen het hoogst zijn, is het voor een analyse van de gevolgen van die hitte dus van belang op veel lager schaalniveau te kijken naar gevoelstemperaturen. Een voordeel is dat niet alleen op stedelijk schaalniveau, maar ook op straatniveau naar oplossingen gezocht kan worden en dat mensen zelf een behoorlijke invloed kunnen uitoefenen op de door hen ervaren hittestress door simpelweg hun gedrag aan te passen en in dit voorbeeld in de schaduw te gaan lopen of fietsen.

3.2 Literatuuronderzoek naar gezondheidseffecten

In het literatuuronderzoek naar de invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam (deelrapport 2) is nader bekeken wat hittestress nu precies inhoudt. Welke impact heeft een temperatuurverhoging van het lichaam op de gezondheid van mensen?

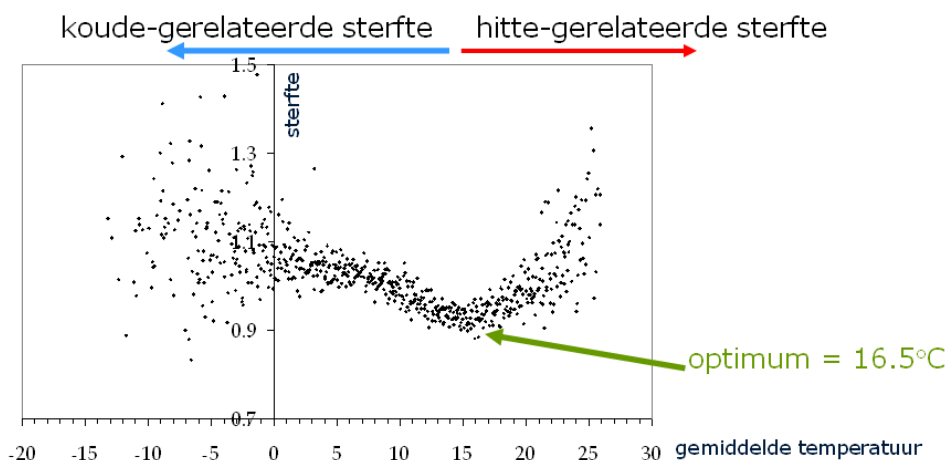
3.2.1 Effecten van hitte op ziekte

Vanuit thermofysiologisch uitgangspunt wordt hitte gezien als een grote stressor van het cardiovasculair systeem. In de hitte probeert de mens zijn lichaamswarmte kwijt te raken. Hiervoor staan twee regelmechanismen tot zijn beschikking: bloedvatverwijdering en zweten. In tijden van extreem hoge temperaturen al dan niet in combinatie met veel straling, weinig wind, hoge luchtvochtigheid, overmatige kleding en zware inspanning en in combinatie met kwetsbare groepen (ouderen, zwangere vrouwen) kunnen deze mechanismen te kort schieten. Dit leidt op de korte termijn tot warmteziekten als (oplopend in de mate van ernst): warmte uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte. Gevoelige groepen voor hitteberoerte zijn ouderen, mensen met overgewicht en mensen met hart of bloeddrukproblemen. Verder hebben personen die hevige inspanning leveren of alcohol, medicijnen of drugs gebruiken een hoger risico. Kinderen lijken niet veel kwetsbaarder voor hitte dan volwassenen.

Op de middellange termijn kan extreme hitte gevolgen hebben, in de vorm van een laag geboortegewicht en aangeboren afwijkingen, maar op de langere termijn kan de mens zich over het algemeen goed aanpassen aan hitte (acclimatisatie). De grootste problemen ontstaan dan ook als hitte zich voordoet na een periode van relatieve koelte, zoals bij hittegolven.

3.2.2 Effecten van hitte op sterfte

Het blijkt dat er een V-vormige relatie is tussen temperatuur en sterfte (zie figuur 11). Sterfte in Nederland is het laagst bij een temperatuur van ongeveer 16^oC. Bij zowel hogere als lagere temperaturen loopt sterfte op. Opmerkelijk is dat wind hierbij ook een belangrijke factor speelt. Tijdens hitte neemt de sterfte af met toenemende wind. Vochtigheidsgraad lijkt de sterfte niet te beïnvloeden. Opvallend is tevens dat de temperatuur die gepaard gaat met de laagste sterfte per land in Europa verschilt, hetgeen suggereert dat er deels aanpassingen aan klimatologische omstandigheden optreden. Voor Nederland is becijferd dat de sterfte tijdens hittegolven (gemeten in de periode 1979-1997) gemiddeld toenam met 12%, hetgeen overeenkomt met ongeveer 40 doden per dag. Volgens het CBS zijn in de zomer van 2003 in Nederland tussen de 1400 en 2200 meer doden gevallen als gevolg van de hogere temperaturen dan gebruikelijk.



Figuur 11: Relatie tussen gemiddelde dagtemperatuur ($^{\circ}$ C) en oversterfte in Nederland (bron: deelrapport 2).

Deels kan een verhoging in sterfte tijdens hitte verklaard worden door een verschuiving naar voren in de tijd; mensen die toch al ernstig verzwakt zijn kunnen iets eerder sterven ten gevolge van extreme hitte. Toch verklaart dit zogenaamde 'early harvesting' fenomeen niet alle oversterfte. Het gaat ook om aan hitte gerelateerde 'nieuwe' ziekten die ook voorheen gezonden kan treffen maar bij bepaalde kwetsbare mensen waarschijnlijk een hoger overlijdensrisico geeft. In de statistieken van ziekenhuisopnames komt de oversterfte terug in de vorm van nieraandoeningen (veroorzaakt door uitdroging) en ademhalingsaandoeningen (o.a. veroorzaakt door toegenomen luchtvervuiling tijdens extreem warme dagen). Tegen de verwachting in, komen cardiovasculaire problemen hier niet echt in terug. Dit zou het gevolg kunnen zijn van onvoldoende nauwkeurige registratie van diagnoses of doodsoorzaken (waarbij geen direct link wordt gelegd met het klimaat tijdens het tijdstip van overlijden). Tegelijkertijd heeft een verslechtering van de cardiovasculaire status bij patiënten met chronisch longlijden tevens een ongunstig effect op de toch al wankelende respiratoire status waardoor het één zo leidt tot het ander.

Het is overigens waarschijnlijk dat opwarming van het klimaat weliswaar leidt tot meer doden ten gevolge van hitte in de zomer, maar dat tegelijkertijd de sterfte in de winter afneemt, aangezien de koudegerelateerde sterfte in de winter veel hoger is dan de hittegerelateerde sterfte in de zomer.

3.2.3 Effecten van hitte op slaap en menselijk functioneren

Uit metingen (zie hoofdstuk 2) blijkt dat met name 's nachts de warmte in de stad blijft hangen. Dit kan versturende werken op de kwaliteit van de slaap, aangezien een kleine verandering van de huidtemperatuur al een grote impact heeft. Bovendien slapen mensen als het warm is graag met open ramen, hetgeen de geluidsoverlast doet toenemen.

Uit de literatuur blijkt dat tijdens een hittegolf de slaap zodanig verstoord wordt dat dit niet alleen leidt tot algemene malaise en vermoeidheid, maar ook kan bijdragen aan het ontstaan van ziekte en/of het opflakkeren van een bestaande chronische aandoening, zoals hartfalen of obstructief longlijden (COPD).

In het praktijkonderzoek (§3.4) wordt meer uitgebreid stilgestaan over de relatie tussen hitte, slaapverstoring en gezondheid. Hitte kan ook acute effecten hebben op menselijk functioneren, zoals een verminderde snelheid en verhoogde kans op fouten. Bovendien daalt de arbeidsproductiviteit doordat het lichaam vanzelf het werktempo aanpast aan de verhoogde temperatuur ('self pacing').

3.2.4 Indirecte effecten van hitte op gezondheid en sterfte

Ziekteverwekkende micro-organismen zoals virussen en bacteriën hebben vaak een optimum temperatuur om actief te zijn. In het algemeen zijn hogere omgevingstemperaturen en hoge luchtvochtigheid gunstig voor ziekteverwekkers. Bijvoorbeeld de ziekte van Lyme zal als gevolg van klimaatverandering vaker voorkomen.

Hoge temperaturen in de stad kunnen ook de vorming van smog en de blootstelling aan ozon en fijn stof (PM₁₀) bevorderen. Met name bij kinderen, ouderen en mensen met klachten aan het luchtwegstelsel kan dit tot gezondheidseffecten leiden, in de vorm van irritatie van de luchtwegen en ontstekingsreacties in de longen. Dit zou kunnen verklaren waarom veel mensen tijdens hete perioden sterven aan respiratoire aandoeningen. De verwachting bestaat bovendien dat hoge temperaturen en luchtverontreiniging in combinatie een nog groter effect hebben dan elk van deze factoren apart.

3.2.5 Hittestress bij ouderen

Ouderen worden vaak genoemd als kwetsbare groep. Uit de literatuur blijkt dat leeftijd per se niet altijd de bepalende factor is. Voor personen tot 65 jaar is met name de fitheid, of het gebrek daaraan, bepalend voor de hitte(in)tolerantie. Voor ouderen boven de 75 geldt dat oversterfte tijdens onverwacht hete perioden vaak veroorzaakt wordt door dehydratie, hitte-uitputting, hitteberoerte, respiratoir of cardiovasculair falen en nierfalen.

Verder blijkt dat met name bedlegerige patiënten verhoogd risico hebben om te overlijden tijdens een hittegolf. Het is echter niet duidelijk of dit wordt veroorzaakt door de bedlegerigheid per se of door aandoeningen waardoor met volledige aan bed gekluisterd is of door een combinatie van beide.

3.2.6 Effecten van hitte specifiek voor Rotterdam

Gezien het gemeten hitte eilandeffect in Rotterdam is ook hier een verhoogd risico te verwachten op ziekten en sterfte. Berekeningen op basis van Rotterdamse sterftecijfers komen voor de hittegolf van juli 2006 uit op een extra sterfte van 20 gevallen per week. Wanneer cijfers voor Nederland als geheel worden vertaald naar de situatie in Rotterdam, zou een zomer met meer dan 24 zomers dagen (>25°C) in de huidige situatie leiden tot 36 extra sterfgevallen per jaar. In het meest extreme klimaatscenario zou het aantal sterfgevallen in 2050 kunnen verdubbelen gezien de toename van het aantal warme en tropische dagen. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met mogelijke gewinning aan hitte (acclimatisatie) door de jaren heen.

Belangrijk is dat deze cijfers alleen betrekking hebben op de ergste vorm van hittestress, namelijk sterfte. Hoeveel mensen er op een warme dag in het centrum en andere delen van Rotterdam op een andere, minder hevige manier, last hebben van de hitte is verder onbekend.

Wel werd tijdens de beleidsworkshop door de GGD aangegeven dat tijdens de zomer van 2006 in twee weken meer dan 600 hittegerelateerde klachten bij huisartsen binnen kwamen. Dat is toch wel heel veel.

3.3 Praktijkstudie naar slaapverstoring

Omdat het stedelijk hitte eiland in de nacht het grootst is, is op basis van beschikbare data uit een grootschalige cohort studie naar de gezondheid van oudere bewoners van Rotterdam (ERGO) onderzocht hoe de nachtelijke temperatuur van invloed is op de slaapkwaliteit van ouderen in hun eigen slaapkamer (deelrapport 6). In deze studie waren de respondenten, in totaal bijna 1000, tijdens een aantal nachten uitgerust met een zogenaamde actimeter. Met behulp van dit apparaatje wordt onder andere bijgehouden hoe lang het duurt alvorens men in slaap valt. Tegelijkertijd hielden mensen zelf ook een slaaplogboek bij waarin opgeschreven werd hoelang men dacht geslapen te hebben, of er slaapmiddelen gebruikt waren etc. Voorafgaand aan het onderzoek werd ook nog met behulp van de Pittsburg Sleep Quality Index een vragenlijst afgenomen waarmee reeds bestaande slaapproblemen in kaart gebracht zijn.

Vervolgens zijn analyses uitgevoerd naar uitkomsten als: totale slaaptijd, slaapefficiëntie, slaaplatentie (wakker liggen alvorens in slaap te vallen), motiliteit (motorische onrust) en subjectieve slaaptijd. Hierbij is rekening gehouden met de volgende *omgevingsvariabelen*:

- Gemiddelde etmaalt temperatuur
- Relatieve vochtigheid
- Het aantal uren daglicht van het etmaal voorafgaand aan de slaaperiode en
- De jaargemiddelde nachtelijke geluidbelasting

Tevens is rekening gehouden met de volgende *persoonsvariabelen*:

- Leeftijd
- Geslacht
- Lichaamsmassa (BMI)
- Gebruik van slaapmiddelen
- Dutje gedurende de dag voorafgaand aan de slaaperiode
- Aanwezigheid van slaapproblemen
- Depressie
- Gewrichtspijn

Uit de studie blijkt dat omgevingstemperatuur een effect heeft op verschillende aspecten van de slaap. De gemiddelde buitentemperatuur van het voorafgaande etmaal bleek van invloed op de totale slaapduur, op de efficiëntie van de slaap, op de slaaplatentie en op de motiliteit. Bij hogere temperaturen slapen mensen onrustiger en neemt de slaapduur af. Dit heeft voor een deel te maken met het aantal uren daglicht: wanneer het langer licht is, gaan mensen mogelijk later naar bed en worden later wakker dan in donkere perioden. Echter, ook na correctie voor dit aspect bleek dat er gemiddeld een verschil is van 11 minuten slaaptijd tussen de laagste en hoogste geobserveerde buitentemperatuur. Tegen de verwachting in waren de vochtigheidsgraad en de geluidbelasting niet van invloed op de slaapkwaliteit.

Opvallend is verder dat er geen verband gevonden is tussen buitentemperatuur en subjectieve slaapduur. Dit suggereert dat ouderen zelf niet ervaren dat zij belemmerd worden in hun slaap. Het is echter ook mogelijk dat de door de mensen zelf geschatte slaapduur een minder gevoelige maat is dan de op actimetrie gebaseerde metingen.

Een beperking van de huidige studie is dat het niet mogelijk was op (achteraf) de werkelijke temperaturen waaraan de proefpersonen binnenshuis in hun slaapkamer werden blootgesteld te achterhalen. Daarnaast zijn de meteorologische data afkomstig van vliegveld Rotterdam airport gebruikt, terwijl uit metingen in hoofdstuk 2 blijkt dat de buitentemperatuur in de stad juist hoger is. Dit maakt het lastig om resultaten één op één te extrapoleren naar andere situaties. Ondanks deze beperkingen blijft duidelijk dat ouderen in hun slaap gehinderd worden bij hoge buitentemperaturen.

3.4 Conclusie

Uit metingen met zowel de mobiele unit als het vaste meetnet blijkt dat waar de verschillende in luchttemperatuur tussen stad en buitengebied op kunnen lopen tot 8^oC, de verschillen in gevoelstemperatuur op kunnen lopen tot wel 15^oC en dat die verschillen zich voor kunnen doen in één en dezelfde straat. Tevens blijkt dat er anno 2010 al zomerse dagen zijn waarop om en nabij het centrum het beleefde thermische comfort een probleem is.

Uit de literatuurstudie naar de gevolgen van hitte op de gezondheid van de mens komt naar voren dat blootstelling aan warmte kan leiden tot warmte uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte. Tevens is er op warme dagen sprake van oversterfte, met name onder bedlegerige ouderen met reeds bestaande cardiovasculaire en/of respiratoire aandoeningen. Voor Rotterdam is becijferd dat in de huidige situatie een zomer met meer dan 24 zomers dagen (>25^oC) leidt tot ongeveer 36 extra sterfgevallen per jaar. Hoeveel mensen er op een warme dag in het centrum en ander delen van Rotterdam op een andere, minder hevige manier, last hebben van de hitte is verder onbekend. Wel werd tijdens de beleidsworkshop door de GGD aangegeven dat tijdens de zomer van 2006 in twee weken meer dan 600 hittegerelateerde klachten bij huisartsen binnen kwamen.

Uit de praktijkstudie naar slaapverstoring bij ouderen tijdens nachten volgend op een warme dag blijkt verder dat de ouderen die meededen aan het onderzoek gemiddeld ongeveer 11 minuten minder sliepen tijdens een warme periode dan tijdens de koudste perioden en dat zij bij de hoge temperaturen ook onrustiger sliepen.



4. Analyse van hitteveroorzakende factoren

Gezien de constatering in de voorgaande hoofdstukken dat ook in Rotterdam in de zomer het hitte-eiland effect optreedt en dit zowel nu als in de toekomst tot een verminderd thermisch comfort leidt, is het belangrijk de mogelijke oorzaken van de opwarming van de stad nader te onderzoeken. Hoewel de algemene energiebalans (weergave van wat er gebeurt met stralingsenergie van de zon die de atmosfeer van de aarde bereikt) voor het aardoppervlak op hoofdlijnen bekend is, zegt deze weinig over specifieke locaties in specifieke situaties. Speciaal voor stedelijk gebied van Rotterdam is daarom in detail onderzocht welke factoren van invloed zijn op de luchttemperatuur in het algemeen en op het thermisch comfort in het bijzonder. Daarbij is ook gekeken naar het relatieve belang van de hitte veroorzakende factoren.

4.1 Analyse satellietgegevens

Om de gevonden verschillen in oppervlaktetemperatuur te kunnen verklaren zijn de gegevens uit § 2.1 onderworpen aan een statistische analyse. Hierbij is met name de correlatie tussen de oppervlaktetemperatuur en de volgende gebiedskenmerken onderzocht:

- albedo (een maat voor het reflecterend vermogen van een materiaal voor zonlicht)
- emissiviteit (het vermogen van een oppervlak om warmte uit te stralen)
- skyviewfactor (fractie zicht op de hemelkoepel vanaf de grond)

In stedelijk gebied hangen deze fysische gebiedskenmerken samen met de vormgeving en inrichting van de stad. Daarom zijn ook de volgende indirecte factoren geanalyseerd:

- percentage bebouwd oppervlak
- percentage verhard oppervlak
- openbaar groen
- totaal groenoppervlak
- percentage wateroppervlak
- gebouwhoogte
- inwonerdichtheid
- NDVI “groenheidsindex” van het oppervlak

Tabel E geeft een overzicht van de analyseresultaten.

	Hittefactor	Gemiddelde	Range	Pearson correlatie - r	Regressiecoëfficiënt (en standaarddeviatie)
directe	Albedo	0,10	0,06 – 0,16	-0,64	-82,91 (10,76)
	Emissiviteit	0,97	0,92 – 1,00	-0,90	-173,30 (9,18)
	Skyviewfactor	0,77	0,52 – 1,00	-0,61	-13,74 (1,90)
indirecte factoren	Bebouwd (%)	15	0 – 39	0,54	0,14 (0,02)
	totaalverhard (%)	60	0 – 96	0,62	0,07 (0,01)
	openbaar groen (%)	11	0 – 42	-0,52	-0,16 (0,03)
	totaal groen (%)	24	2 – 66	-0,83	-0,13 (0,01)
	Gebouwhoogte (m)	10	3 – 38	0,52	0,27 (0,05)
	water (%)	14	0 – 63	0,13	0,02 (0,02)
	inwonerdichtheid	67	0 – 256	0,36	0,01 (0,00)
	NDVI	0,39	-0,07 – 0,78	-0,81	-11,27 (0,88)

Tabel E: Resultaten van de regressie-analyse van hittefactoren voor de buurten van Rotterdam (bron: deelrapport 8).

Toelichting: In de tabel worden de resultaten van statistische analyse gegeven waarbij gezocht is naar de relatie tussen de oppervlakte temperatuur enerzijds en één van de verschillende ruimtelijke ordeningsparameter (gemiddeld per buurt bijvoorbeeld de fractie groen) of gemiddelde fysische parameters (zoals albedo) anderzijds. Uit de regressie analyse komen vervolgens de Pearson correlatie coëfficiënt (een maat voor de correlatie (maximaal 1)) en de regressiecoëfficiënt. Deze laatste geeft de helling van het berekende lineaire verband tussen twee grootheden aan: Hoeveel graden verandert de temperatuur als de waarde van de parameter verandert?

Er is een significante relatie gevonden tussen buurtgemiddelde oppervlaktetemperaturen en de directe factoren: albedo, emissiviteit en de skyviewfactor. Dit wordt weerspiegeld in de correlatie van de buurtgemiddelde oppervlaktetemperaturen met de indirecte factoren percentage bebouwd land en onverhard oppervlak, percentage openbaar en totaal groen, en gemiddelde gebouwhoogte.

De gebruikte oppervlaktematerialen bepalen de factoren albedo en emissiviteit. Een verhoging met 0,01 leidt bij de gevonden regressie-relatie tot een verlaging van de oppervlaktetemperatuur overdag met respectievelijk 0,8 en 1,7 °C.

Het oppervlaktepercentage water vertoont geen significante relatie met de oppervlaktetemperatuur. De analyse heeft dus geen aanwijzing opgeleverd dat oppervlaktewater verkoelend werkt. Dit geldt wel voor ontharding en vergroening: 10% meer verhard oppervlak leidt bij de gevonden regressie-relatie tot een 1°C hogere oppervlaktetemperatuur.

Met de relaties tussen de hittefactoren en de gemiddelde oppervlaktetemperatuur kan het effect worden bepaald van hittemaatregelen op buurtniveau ten aanzien van groen, verhard oppervlak, gebouwhoogtes en straatprofielen. Zie het hoofdstuk over maatregelen (§ 5.3) voor een modelmatige toetsing van het effect maatregelen die de hittebepalende factoren beïnvloeden.

De relatief hoge oppervlaktetemperaturen (zoals beschreven in § 2.1) zijn dus te verklaren met beperkte percentage groen oppervlak in deze gebieden en een hoog percentage aan bebouwd en verhard oppervlak. De relatief lage oppervlaktetemperaturen in Kralingen-Crooswijk, Hoek van Holland, Hillegersberg/Schiebroek, Overschie en het Bedrijventerrein Schieveen corresponderen met het relatief beperkte percentage bebouwd oppervlak en het grotere areaal groen in deze wijken.

Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening worden gehouden met de beperkte ruimtelijke resolutie van de gebruikte gegevens. Vervolgonderzoek is nodig op het niveau van straat en gebouw, waarbij de aandacht van statistische analyse naar metingen en gevalideerde simulatiemodellen moet worden verlegd. Bovendien kan nog geen uitspraak worden gedaan over de bruikbaarheid van deze gevonden relaties buiten Rotterdam.

4.2 Antropogene warmtebronnen

Warmteproductie als gevolg van menselijke activiteiten is een mogelijke oorzaak van het stedelijk hitte-eilandeffect. Deelrapport 8 bevat een inventarisatie van de warmtebijdrage van antropogene warmtebronnen aan het stedelijk hitte-effect. De beschouwde antropogene bronnen zijn industrie, huishoudens en verkeer. Voor de ruimtelijke analyse van antropogene warmteproductie in de stedelijke omgeving is voor alle warmtebronnen (behalve lichaamswarmte) gebruik gemaakt van energiestatistieken.

De analyse behelsde:

- vaststellen van de geografische locatie van warmteproductie.
- uitsplitsen van de industriële warmteproductie in:
 - + warmte die de schoorsteen uitgaat;
 - + warmte die met het koelwater geloosd wordt; en
 - + warmte die op leefniveau vrijkomt.
- met behulp van een verkeersdatabase en gegevens over het verbruik van het wegverkeer berekenen van de warmtestroomintensiteit in W/m^2 wegdekoppervlak.
- een eerste orde benadering van de antropogene warmteafgifte op de luchttemperatuur.

In tabel F zijn de resultaten vermeld.

	Eenheid	Industrie	Verkeer	Huishoudens	Totaal
Warmteproductie	Gigawatt (10^9 W)	5,9*	0,4	0,3	6,6
Percentage	%	90	6	4	100
Intensiteit (R'dam)	W/m^2	15	5	2	22 **
Intensiteit (centrum)	W/m^2 (bron)	35	13	60	-

* dit betreft op leefniveau uitgestoten warmte. De totale uitstoot bedraagt circa 18 GW.

** dit betreft de intensiteit op leefniveau. De totale intensiteit bedraagt circa 38 GW.

Tabel F: Warmtestromen uit antropogene warmtebronnen in Rotterdam (bron: deelrapport 8)

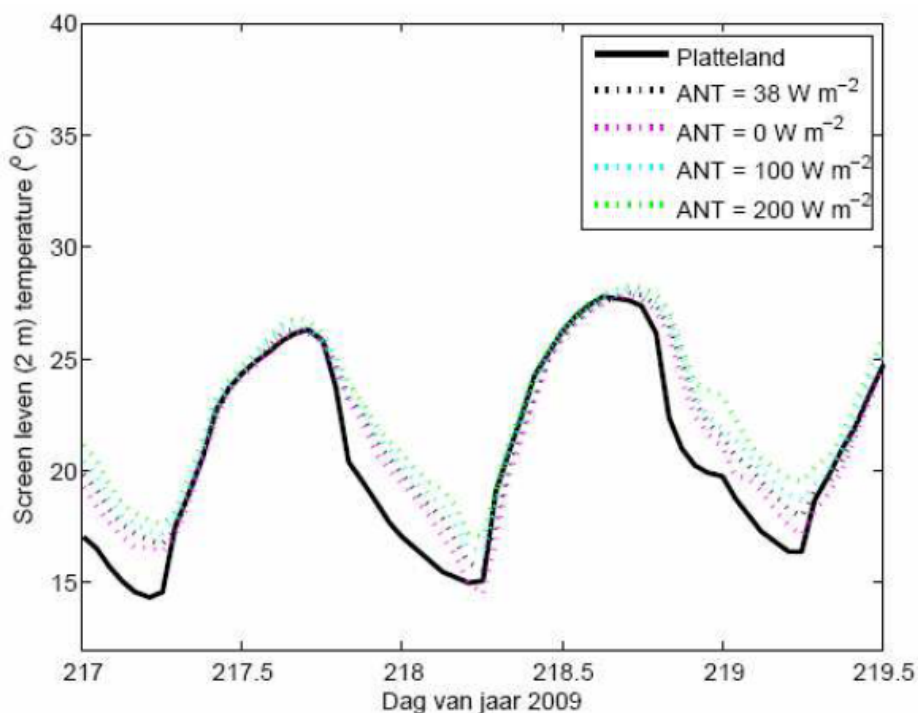
Het grootste deel van industriële warmte-uitstoot vindt plaats buiten het bewoonde gedeelte van de stad. Gemiddeld over het oppervlak van geheel Rotterdam (circa 300 km^2) zijn de warmtestromen klein vergeleken bij de andere onderdelen van de warmtebalans voor het aardoppervlak op een zomerse dag. Voor winterse omstandigheden, met overdag een veel kleinere input van nettostraling, zou de antropogene warmteproductie dus wel van belang kunnen zijn. Zeker als wordt bedacht dat dan ook verwarming van gebouwen, woningen en voertuigen aan de hand is. Het effect op de luchttemperatuur in de buitenruimte van de beschouwde warmtebronnen is nader onderzocht met het mesoschaal meteorologisch model (§ 4.3).

Voor het bewoonde deel van stad is een gedetailleerde analyse gemaakt. De warmte-uitstoot per bron is daarbij gekoppeld aan de directe omgeving van de bron (respectievelijk bedrijfsterrein, rijbaan en vloeroppervlak). De intensiteit van de warmtestromen is dan vanzelfsprekend groter. Het is echter niet te verwachten dat dit bijdraagt aan eventuele overlast door hitte die mensen in de openbare ruimte ondervinden, omdat:

- bedrijfsterreinen niet tot de openbare ruimte behoren;
- de warmteproductie door verkeer vooral op snelwegen en grote wegen plaatsvindt, waar geen voetgangers en fietsers komen;
- huishoudelijk geproduceerde warmte binnenskamers vrijkomt. Het belastende effect daarvan is niet onderzocht in deze studie. Op basis van het mesoschaal model kan iets worden gezegd over het effect van extra uitstoot van warmte wanneer er meer klimaatregelingsinstallaties in gebouwen zouden komen (zie § 4.3)

4.3 Modelonderzoek

Met het mesoschaal model is onderzocht welke invloed de gevonden hittefactoren en de antropogene warmtebronnen hebben op de luchttemperatuur in Rotterdam (deelrapport 9). Voor de modelsimulatie zijn vijf verschillende situaties doorgerekend (zie figuur 12): 1 met betrekking tot het temperatuursverloop van het platteland en 4 met betrekking tot het platteland, variërend in de gemiddelde antropogene warmteuitstoot (0 W/m^2 , 38 W/m^2 , 100 W/m^2 en 200 W/m^2). 38 W/m^2 is de totale intensiteit zoals ook weergegeven in tabel F, waarbij slechts 22 W/m^2 op leefniveau wordt uitgestoten (maar dat onderscheid kan in het mesoschaal model niet kan worden verdisconteerd).



Figuur 12: Bijdrage van antropogene warmtebronnen aan de luchttemperatuur van de stad (bron: deelrapport 9)

De simulaties geven te zien dat de bijdrage van antropogene warmtebronnen aan de luchttemperatuur voor een gemiddelde intensiteit van 38 W/m^2 ongeveer een halve graad Celsius bedraagt (zie figuur 12). Lokaal kan de uitstoot van warmte echter veel hoger zijn. Een berekening met een gemiddelde uitstoot van 200 W/m^2 voor Rotterdam resulteert in een verhoging van de maximumtemperatuur van 2°C . Hieruit kan worden geconcludeerd dat de antropogene warmteproductie bijdraagt aan het stedelijk hitte-eiland en dat vergroting van de warmteproductie leidt tot een grotere bijdrage aan het hitte-eiland.

Deze resultaten bieden een referentiekader voor de beoordeling van het scenario "ieder huishouden een airco". In deelrapport 8 is berekend dat dit scenario gemiddeld over Rotterdam de warmteproductie in de zomer met $0,7 \text{ W/m}^2$ zou toenemen. Een groot effect op de luchttemperatuur op leefniveau valt daarom niet te verwachten.

Ook de invloed van de hitefactoren groen en albedo zijn met het mesoschaal model (deelrapport 9) onderzocht. Uit de berekeningen voor de periode 5-7 augustus 2009 blijkt:

- Verhoging van het albedo van het stedelijk gebied van 0.2 (typerend geacht voor de huidige situatie) tot 0.5 leidt tot een verlaging van de temperatuur op straatniveau van enkele tienden graden.
- Een hogere fractie groen leidt nauwelijks tot verlaging van de temperatuur op straatniveau, maar dit kan te maken hebben met de beperkte resolutie van het model.

Deze uitkomsten bevestigen het vermoeden dat maatregelen die het albedo beïnvloeden een significant effect kunnen hebben op de luchttemperatuur. Dit kan niet direct worden geconcludeerd voor maatregelen die van invloed zijn op het groenareaal.

Door het (meso-)schaalniveau van het model vindt echter een uitmiddeling plaats van lokale effecten. Op microniveau kunnen de effecten van groen alsnog significant blijken. Het effect van specifieke maatregelen is daarom ook met een kleinschaliger micromodel onderzocht. Zie hiervoor hoofdstuk 5.

De uitkomsten van de simulatie moeten met de nodige zorg worden geïnterpreteerd. Aan de ene kant omdat op mesoschaal de effecten van deelprocessen op lokale schaal worden “weggemiddeld”. Aan de andere kant omdat meteorologische modellen nog voortdurend in ontwikkeling zijn.

4.4 Conclusie

Belangrijk factoren die bijdragen aan het patroon van opwarming en afkoeling van de stad tijdens warme perioden zijn met name de skyviewfactor (bepaald door de hoogteverdeling en de rangschikking van de bebouwing) het albedo en de emissiviteit (beide bepaald door de materiaaleigenschappen van het oppervlak en de gevels). Daarnaast dragen ook antropogene warmtebronnen -zij het in beperkte mate- bij aan de opwarming van de stad.

De inrichting en vormgeving van de stad is dus van invloed op het proces van opwarming en daarmee op eventuele overlast waarmee die gepaard gaat. In het bijzonder de buitenkant van gebouwen en de openbare ruimte spelen een cruciale rol. Deze factoren zijn bovendien direct van belang voor het thermisch comfort omdat ze niet alleen de luchttemperatuur mede-bepalen, maar ook de stralingscomponent van de PET.

Berekening met behulp van het mesoschaal model geven te zien dat aanpassingen aan zowel albedo als antropogene warmteproductie lagere maximum luchttemperatuur tot gevolg hebben. Vergroting van het groenareaal heeft volgens dit model nauwelijks effect. Dit laatste heeft echter waarschijnlijk te maken met de beperkte resolutie van het model. Het mesoschaal model rekent met eenheden van 1 km bij 1 km terwijl bijvoorbeeld bij de satellietgegevens ieder punt een gemiddelde waarde voor een gebied van 60 bij 60 meter representeert. De modelresultaten moeten daarom met zorg worden geïnterpreteerd, aangezien details die niet tot uitdrukking komen bij een lage resolutie, wel degelijk voor grote lokale verschillen in opwarming kunnen zorgen.

In het volgende hoofdstuk wordt nader bekeken welke maatregelen er, gezien zowel bovenstaande informatie als breed literatuuronderzoek, genomen zouden worden om de nadelige effecten van het hitte-eiland effect zoveel mogelijk te voorkomen.

5. Maatregelen

Rotterdam streeft ernaar ook en vooral in tijden van klimaatverandering een veilige en aantrekkelijk stad te blijven. Dit houdt in dat de stad wil weten welke maatregelen nu al getroffen kunnen en moeten worden, om Rotterdam ook in de toekomst aantrekkelijk en gezond te houden. Hiertoe is een uitgebreide inventarisatie gemaakt van mogelijke maatregelen, beschreven in deelrapport 3.

In de geest van de Rotterdamse Adaptatie Strategie wordt hierbij onderscheid³ gemaakt tussen:

1. maatregelen die de kans op het optreden van het effect beperken (in dit geval het ontstaan van een stedelijk hitte eiland)
2. maatregelen die de gevolgen beperken (in dit geval het ontstaan van hittestress)
3. maatregelen die het herstel bevorderen (in dit geval het verzorgen van slachtoffers).

Uiteindelijk heeft de inventarisatie een longlist aan maatregelen opgeleverd. De slimme ordening van deze longlist in een gebruiksvriendelijke Excel sheet vormt in combinatie met het achtergronddocument waarin de diverse maatregelen en vermeende effecten worden toegelicht (deelrapport 3) de zogenaamde beleidstool die in het kader van het project ontwikkeld is.

5.1 Van longlist naar shortlist

In eerste instantie heeft de inventarisatie een uitgebreide lijst aan mogelijke maatregelen opgeleverd. Gezien de onzekerheden over klimaatverandering in het algemeen en in afwachting van verdere kennisontwikkeling over effecten van stedelijke hitte-eilanden in het bijzonder, is op verzoek van Rotterdam vervolgens een eerste selectie gemaakt van no- of low regret maatregelen. Wat als no – low regret beschouwd wordt, kan per context verschillen. Vandaar dat eerst een uitgebreide lijst is verwerkt in een Excel-worksheet (de longlist), waaruit iedereen voor zich geschikte maatregelen kan selecteren. Op basis van overleg binnen het projectteam en discussie met diverse betrokkenen tijdens de beleidsworkshop, is vervolgens voor dit project een suggestie gedaan voor een selectie van low regret maatregelen, bepaald volgens de volgende principes:

- *Maatregelen die verkoelend werken in de zomer, mogen niet of nauwelijks verkoelend werken in de winter.* In het Nederlandse klimaat zorgt een graad Celsius kouder in de winter immers tot meer sterfte dan een graad warmer in de zomer. Daarom dienen maatregelen ter beperking van hitte in de stad in de zomer niet een vergelijkbaar verkoelend effect te hebben in de winter.

³ Hierbij is het idee dat er weliswaar een voorkeur bestaat voor kansbeperkende maatregelen, aangezien die het probleem aan de bron aanpakken, maar dat het slimmer en voordeliger kan zijn in bepaalde situaties in te zetten op kansbeperkende en herstelbevorderende oplossingen. Uiteindelijk het erom dat verschillende categorieën van maatregelen tot verschillende oplossingen leiden en dat het gehele scala meegenomen wordt.

- *Maatregelen ter vermindering van de hitte en hittestress hebben geen negatieve bijeffecten en bij voorkeur zelfs positieve effecten op andere thema's.* Denk hierbij aan leefbaarheid, veiligheid, duurzaamheid, luchtkwaliteit, etc. Positieve effecten kunnen helpen bij het aanhaken van hitte en hittestress maatregelen aan lopende initiatieven.
- *Maatregelen zijn flexibel inzetbaar, in de tijd en in verschillende situaties.* Dit is ingegeven door de onzekerheden rondom klimaatverandering en kennisontwikkeling over hitte en maatregelen. Maatregelen die kunnen worden teruggedraaid of elders ingezet maken het mogelijk hierop in te spelen.
- *Maatregelen zijn niet te duur (in € per Watt/m²).* Ook dit hangt samen met onzekerheden. Van veel maatregelen is nog niet bekend wat precies de positieve effecten zijn.

Tabel G geeft de shortlist weer van no- en low regret maatregelen.

Met betrekking tot de kolom "overdag of 's nachts effectief" moet worden opgemerkt dat alle maatregelen die de opwarming van oppervlakte en gevels overdag temperen (en daarmee ook de luchttemperatuur) ook 's nachts temperend werken, omdat bij afkoeling minder warmte aan de lucht afgegeven hoeft te worden. Voor beschaduwing en maatregelen met effect op de albedo van gevels en oppervlakken geldt dat deze niet alleen bijdragen aan de reductie van de PET door verlaging van de luchttemperatuur, maar ook door vermindering van de stralingscomponent. Nagenoeg alle maatregelen kunnen zowel in nieuwe als bestaande bouw toegepast worden en in nagenoeg alle wijktypen (zie deelrapport 3 voor meer toelichting).

Type maatregel		Karakterisering		
Soort maatregel	Naam maatregel	Effecten op andere thema's	Effect overdag/ nacht	Schaal-niveau
Binnenklimaatregeling en gedrag	Bevochtigen van lucht binnenshuis		O	Gebouw
	Gebruik lokale koelmiddelen (ijspakken)		O	Mens
	Raamopengedrag ('s nachts open, overdag dicht)	-/- geluidoverlast + binnen luchtkwaliteit	O	Mens
	Koele plekken opzoeken		O	Mens
	Bevorderen van de vochtinname		O	Mens
	Aanpassen van de kleding		O	Mens
	Hitteacclimatisatie		O	Mens
Energie conversie	Efficiëntere huishoudelijke apparaten	+ CO ₂ + schaarste	O	Gebouw
	Spaarlampen	+ CO ₂ + schaarste	O en N	Gebouw
Gebouwereleerd	Groene gevels en groene daken	+ verhoging leefbaarheid + afvang fijn stof	O	Gebouw en straat
	Zonweringdoor overstekken zuidgevel	+ visueel comfort	O	Gebouw en straat
	Zonwering door beweegbare schermen / luiken oost/westgevel	+ visueel comfort	O	Gebouw
	Zomernachtventilatie	-/- geluidoverlast + luchtkwaliteit	N	Gebouw
	Koude/warmterugwinning ventilatielucht	-/- geluidoverlast + luchtkwaliteit -/- kosten	O en N	Gebouw
	Isolatie muren en daken	-/- initiële kosten	O en N	Gebouw
Ruimtelijke inrichting (groen)	Bomenstructuur langs hoofdroutes en groene langzame verkeersroutes	+ beleving + gezondheid + biodiversiteit	O en N	Straat
	Groene bedrijventerreinen en subcentra	+ beleving + gezondheid	O en N	Gebouw
	Groene oevers en getijde parken in waterrijke wijken	+ biodiversiteit	O en N	Stad en wijk
Ruimt. Inrichting (oppervl.)	Fractie verhard oppervlak verminderen		N	Stad en Straat
	Tijdelijke beschaduwning straat, zomer		O	Straat
Ruimtelijke inrichting (water)	Besproeien van daken	-/- waterverbruik	O	Gebouw
	Besproeien van straten	-/- waterverbruik -/- mogelijk overlast bewoners	O	Straat
	Fontein	+ beleving	O	Straat
	Verneveling	-/- waterverbruik	O	Straat
	Poreuze wegverhardingen met water	-/- waterverbruik	O	Straat
	Besproeien van gevel	-/- waterverbruik	O en N	Gebouw

Tabel G: Shortlist van no- en low regret maatregelen (bewerking van tabel uit deelrapport 3)

Zowel de longlist als de daaruit afgeleide shortlist zijn opgesteld op basis van maatregelen afkomstig uit literatuuronderzoek. Om te bepalen wat precies de effecten zijn in de praktijk en in het bijzonder in Rotterdam is voor een aantal maatregelen getoetst waaruit het daadwerkelijke verkoelende effect bestaat.

5.2 Toetsing van maatregelen

Vergroenen van de stad, de aanleg van meer open water en het aanpassen van het gebruik van materialen voor huizen en wegdek worden vaak als veelbelovende maatregelen genoemd. Zo bieden bomen met hun schaduw niet alleen aangename beschutting; ze hebben ook een verlagend effect op de luchttemperatuur. Uit deelrapport 8 blijkt dat een toename van 10% in het percentage groenoppervlak (bomen, struiken, gras) in de buurt de oppervlaktetemperatuur met ongeveer 1^oC verlaagt.

In het kader van het hittestress onderzoek is op drie manieren het effect van genoemde maatregelen in Rotterdam getoetst:

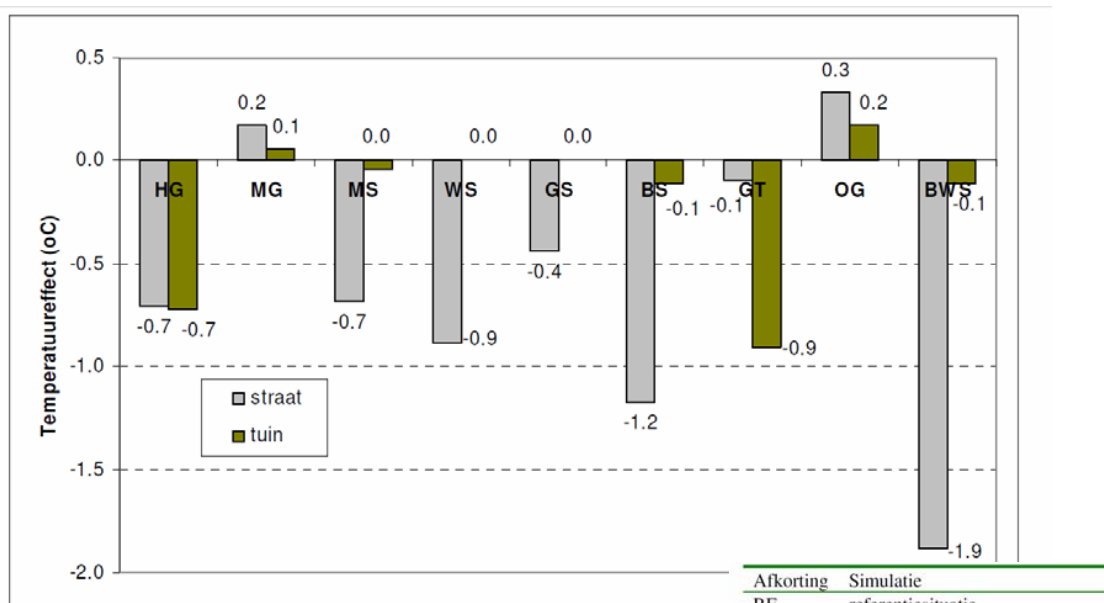
- door middel van simulatiemodellen
- door metingen met behulp van de mobiele meetunit (bakfiets) in en rond het stadscentrum
- door metingen met behulp van een meetkabel langs, over en in de Westersingel.

5.2.1 Modellsimulaties

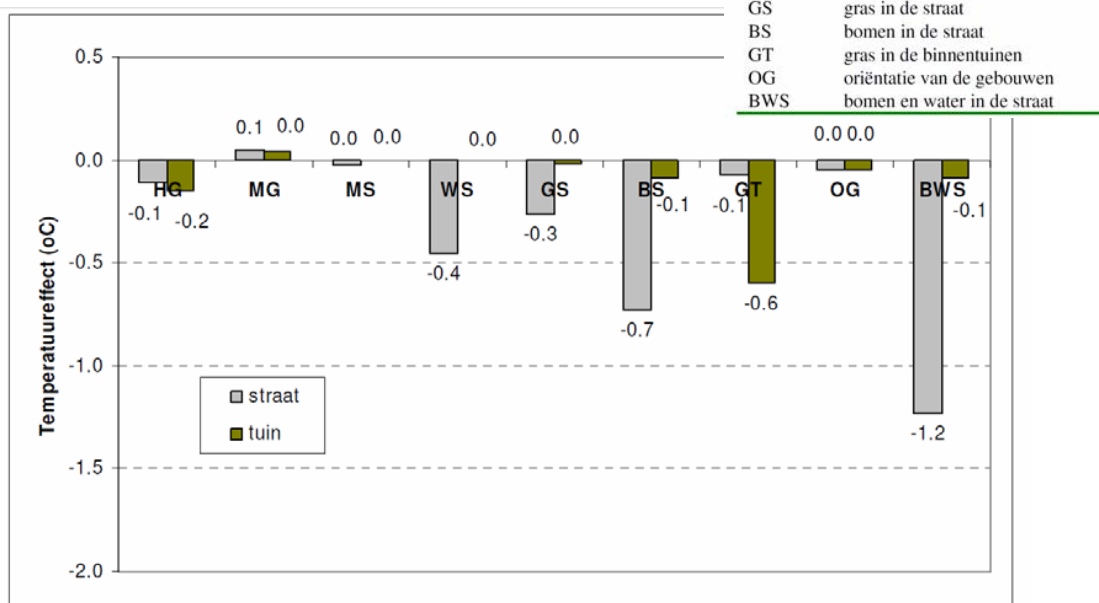
Met behulp van het Envi-met model (dat interacties simuleert tussen bodemoppervlak, gebouwen, vegetatie en atmosfeer in een stedelijke omgeving met een typische resolutie van 0,5 tot 10 meter) is het verkoelende effect onderzocht van 9 hittebeperkende maatregelen in een straat in een versteende wijk van Rotterdam (deelrapport 7). Voor de berekening is de situatie enigszins geschematiseerd. Voor één zomerse dag is het effect van de hittebeperkende maatregelen bepaald. Hiervoor is gekeken naar het verschil in luchttemperatuur op leefniveau (1,8 m hoogte) voor het heetste moment van de dag (15:00) en in de nacht (01:00), zowel op straat als in de binnentuinen.

De resultaten, samengevat in figuur 13 en 14 laten zien dat bomen in de straat de meest verkoelende werking hebben met een gemiddeld effect van 1,2^oC om 15:00 en 0,7^oC om 00:00. Ook de aanleg van een brede watergeul in het midden van de straat is een effectieve maatregel, met een verkoelende werking van 0,9^oC om 15:00 en 0,4^oC om middernacht. Het meest effectief is een combinatie van de twee, met een verkoelende werking in de middag van 1,9^oC.

Vervanging van asfaltbestrating en stoeptegels door gele klinkers is ook een redelijk effectieve maatregel. Overdag levert dit een temperatuursdaling op van 0,7^oC. 's Nachts heeft deze maatregel geen effect.



Figuur 13: Temperatuureffect op 1,8 m hoogte op straat en in de binnentuinen bij 9 hittebeperkende maatregelen om 15:00 uur (bron: deelrapport 7).



Figuur 14: Temperatuureffect op 1,8 m hoogte op straat en in de binnentuinen bij 9 hittebeperkende maatregelen om 00:00 uur (bron: deelrapport 7).

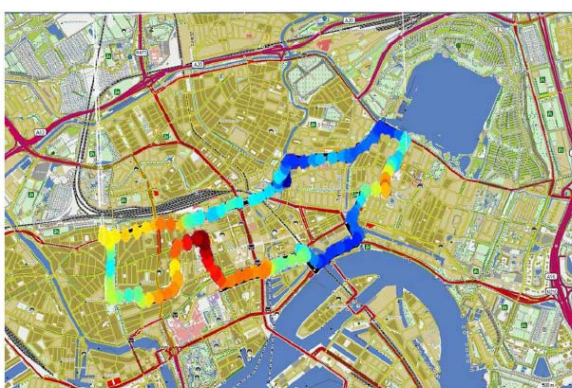
Het effect van de maatregelen reikt helaas niet ver. Achter de huizen in de binnentuinen is het effect van de maatregelen al bijna niet meer merkbaar (minder dan $0,1^{\circ}\text{C}$). Om de tuinen te verkoelen zullen ter plaatse maatregelen getroffen moeten worden. Bijvoorbeeld het vervangen van klinkers door gras. Dit zorgt voor ene temperatuuurdaling van $0,9^{\circ}\text{C}$ overdag en $0,6^{\circ}\text{C}$ in de nacht. De overige onderzochte maatregelen (aanpassing van de huishoogte, gebruik van lichtgekleurde materialen voor de gebouwen en verandering van de oriëntatie van de bebouwing) blijken op grond van de Envi-met berekeningen minder effectief.

Voor de interpretatie van de uitkomsten van het Envi-met model is het belangrijk te onthouden dat ze betrekking hebben op een zeer specifieke situatie. Wanneer bijvoorbeeld het stratenpatroon, de gebouwstructuur, de watertemperatuur van de watergeul of de gebruikte materialen anders zijn, kunnen de berekeningen anders uitpakken. Bovendien berekent het model met name het effect van de hittebeperkende maatregelen op de luchttemperatuur en nog niet het thermisch comfort dat zo bepalend is voor het ontstaan (of voorkomen) van hittestress.

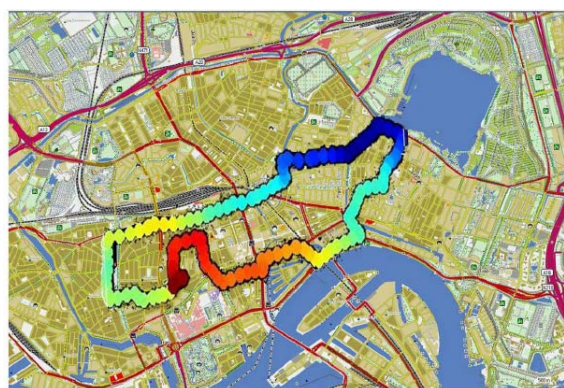
Tenslotte is ook nog niet bekeken wat het effect is van de maatregelen voor een hittegolperiode. Doordat gedurende een langere hete periode de (bodem en gebouwen in de) stad langzaam opwarmt, en het aanwezige water en bodemvocht afneemt, zal het effect van de onderzochte klimaatmaatregelen anders kunnen zijn.

5.2.2 Metingen met de mobiele unit

In de zomer van 2010 is in navolging van 2009 wederom een traject afgelegd met de mobiele meetunit, ook wel bekend als 'de klimaatbakfiets'. Waar in 2009 echter de nadruk lag op het identificeren van een mogelijk stedelijke hitte-eiland wordt in 2010 vooral gekeken wat de effecten zijn van groen en water (deelrapport 4). Daartoe is een nieuwe route uitgestippeld, vanaf de Heemraadsingel, via de Westblaak door het centrum naar de Boompjes, langs de Maas om vervolgens via Kralingen bij de Kralingseplas uit te komen en dan via de Boezemsingel en het Weena weer terug. De resultaten van de metingen rondom 18:00 en die van 01:00 worden weergegeven in figuur 15 en 16.



Figuur 15: Temperaturen mobiele metingen (range $29,9^{\circ}\text{C}$ - $30,9^{\circ}\text{C}$) op 17:47 – 19:47, 20 juli 2010



Figuur 16: Temperaturen mobiele metingen (range $24,7^{\circ}\text{C}$ - $26,5^{\circ}\text{C}$) op 00:50 – 01:50, 21 juli 2010

Een opvallende conclusie is dat water zowel een verkoelende als een verwarmende werking hebben. Het lijkt erop dat water overdag verkoelend werkt als de temperaturen in de stad snel oplopen en het maaswater koeler blijft dan de zonbeschenen stenen oppervlakten. Bovendien biedt water de ruimte voor een verkoelende bries (zo is in figuur 15 bijvoorbeeld de verkoeling van de zuidwestelijke wind op de maaskade te zien). Na zonsondergang wordt het langs de Maasboulevard echter relatief warmer (zie figuur 16). Er zou zelfs een verwarmend effect kunnen ontstaan doordat de stad sneller afkoelt dan het water. Uiteindelijk hangt de mate van verkoeling (of verwarming) waarschijnlijk nauw samen met de temperatuur van het water. Wanneer het water een lagere temperatuur heeft dan de omringende stad –zoals aan het begin van het zomer seizoen of een hitteperiode- werkt het verkoelend. Zodra het water is opgewarmd neemt de verkoelende werking af en zou het wellicht zelfs verwarmend kunnen werken.

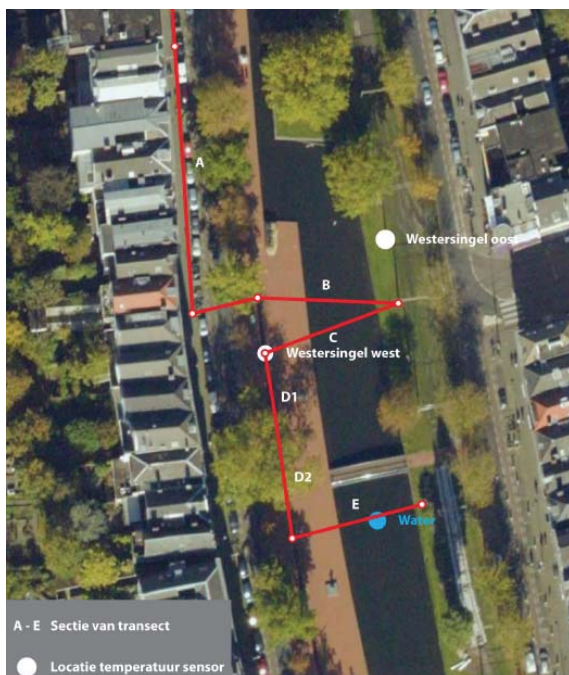
Langs de route is ook een verkoelend tracé te zien vanaf de Kralingse plas naar het Centrum. Dit komt door de aanwezigheid van het vele groen direct langs de route. Uit metingen van het referentiestation in het buitengebied blijkt dat het grasoppervlak in de avonduren snel afkoelt en daardoor aanzienlijke verkoeling kan geven. Hetzelfde geldt voor bomen. Ook die koelen 's nachts snel af. Bovendien beperken de bomen ter plekke ook de opwarming van het onderliggende oppervlak overdag.

Uiteindelijk variëren de temperaturen voor koele en warme straten tussen de 29,9 en 30,9°C (18:00) en tussen 24,7 en 26,5°C (01:00). Dat is niet heel erg spectaculair. Dit heeft echter te maken met hoge bewolking die aan het eind van de middag binnen kwam drijven. Geschat wordt dat de verschillen minstens 2 keer zo groot zijn bij vergelijkbare condities met een heldere hemel.

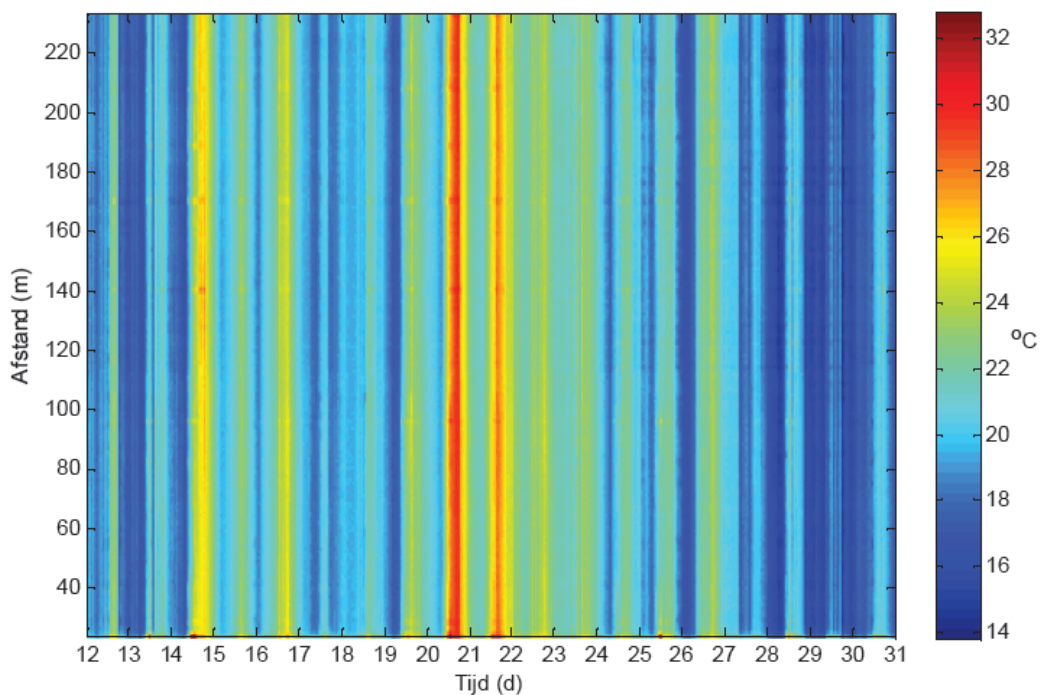
5.2.3 Metingen aan open water

Teneinde beter in de vingers te krijgen wat nu precies de koelende werking van open water in de stad is en hoever dit effect reikt, zijn in de zomer van 2010 langs de Westersingel in Rotterdam metingen verricht langs, boven en in het water (deelrapport 1). Hiervoor is een relatief nieuwe techniek gebruikt, Distributed Temperature Sensing (DTS) waarbij met behulp van een glasvezelkabel op elke meter van de kabel en met een hoge frequentie de luchttemperatuur gemeten wordt. In combinatie met enkele puntmetingen met behulp van Tidbit temperatuursensoren wordt vervolgens nagegaan hoe het open water de temperatuur beïnvloedt, zowel 's nachts als overdag.

De meting heeft plaats gevonden in de periode 11-31 augustus 2010 langs en over de Westersingel. Deze singel loopt van noord naar zuid tussen het Centraal station en de Nieuwe Maas. Ter hoogte van het bemeten tracé is de singel ongeveer 10 m breed en 1,4 m diep. Aan één kant ligt een terras, aan de andere kant een groene oever met een dubbel tramspoor. Naast zowel het terras als de groenzone ligt een weg met trottoirs en aan de buitenkant hiervan staan gebouwen van overwegend drie verdiepingen. In figuur 18 is het meettracé aangegeven. Puntmetingen met behulp van Tidbit sensoren vonden plaats aan de oost en westoever van de Westersingel, op het Eendrachtsplein, het Kruisplein en de Mauritsstraat. Figuur 19 geeft de resultaten weer.



Figuur 18: Traject van de meetkabel voor de metingen uitgevoerd aan open water.



Figuur 19: Temperatuur afhankelijk van de positie langs de glasvezelkabel en de tijd. De kabel verlaat het kantoor van Gemeentewerken Rotterdam bij 20m. Het einde van het meettracé bevindt zich bij 230 m. De tijd is weergegeven als dagnummer in augustus (bron: deelrapport 1).

Gedurende de meetperiode waren er helaas geen tropische dagen. Wel waren 14, 20 en 21 augustus behoorlijk warm met maximumtemperaturen van respectievelijk 25, 27,7 en 25,5°C. De drie warme dagen komen in de figuur terug in de vorm van knalrode en donkergele strepen. Er is duidelijk een dag en nacht ritme te zien in het temperatuurverloop. Iedere donkerblauwe streep (behoorlijk koud) wordt gevolgd door een lichtblauwe, groene, gele of zelfs rode streep (behoorlijk warm).

Tegen de verwachting in vertoont de figuur echter nauwelijks variatie in de verticale zin. Dit duidt erop dat de kabel langs het hele traject ongeveer dezelfde temperatuur meet, of de kabel nu boven de straat, het groen of het water hangt. De sensormetingen bevestigen dat: het temperatuurverschil tussen een punt boven het water en een punt boven het terras bedraagt niet meer dan circa 0,5°C. Dit zou kunnen komen doordat de kabel wellicht te hoog is opgehangen (5m), doordat er geen echte warme periode binnen de meetperiode viel en/of doordat vegetatie en uitstraling door gebouwen een sterker effect hebben op de gemeten resultaten dan het water. In ieder geval blijkt uit deze metingen niet dat water een zeer verkoelend effect heeft en als het al een effect heeft, dan vooral direct boven het water (<0,5m) en niet te ver van de oever.

De metingen geven dus niet direct aan dat open water an sich verkoelend werkt. Dit is in lijn met de bakfietsmetingen en de analyse van de satellietmetingen (deelrapporten 4 en 8). De aanwezigheid van open water heeft uit het oogpunt van tempering van hitte wel andere voordelen. Waar water ligt staan (nog) geen huizen en kan wind verkoeling brengen. Dat dit een niet te onderschatten voordeel is, blijkt uit de metingen met behulp van het vaste meetnet waaruit naar voren komt dat bij een windsnelheid groter dan 2 m/s er nog nauwelijks sprake is van een stedelijk hitte-eilandeffect (§ 2.2 en deelrapport 5). Daarnaast biedt de aanwezigheid van open water mogelijkheden voor fontein, het besproeien van straten en gevels en verneveling. Allemaal maatregelen waarvan aangenomen wordt ze lokaal heerlijk verkoelend kunnen werken.

5.3 Conclusie

Uit de inventarisatie van maatregelen komen aanbevelingen die zich richten op (zie ook figuur 20):

- maatregelen op stadsniveau die het ontstaan van een hitte-eiland tegengaan
- maatregelen op straat of gebouwniveau die tegengaan dat er een hitte-eiland ontstaat of voorkomen dat het hitte-eiland leidt tot hittestress
- maatregelen op het niveau van individuele personen met behulp waarvan bewoners er zelf voor kunnen zorgen dat hitte niet per sé tot stress leidt.



Figuur 20: Maatregelen tegen hittestress in de stad kunnen op schaalniveau geprioriteerd worden van binnenshuis (rood), naar straat (geel) en stad (blauw.)

Gezien de onzekerheid omtrent de precieze ontwikkeling van het klimaat in de toekomst en de exacte werking van de maatregelen, is ingezoomd op no- of low regret maatregelen. Dit zijn maatregelen die zowel in de zomer als in de winter positieve effecten hebben, geen negatieve bijwerkingen hebben op andere (duurzaamheids)thema's en relatief flexibel zijn in te zetten.

Voorbeelden hiervan zijn:

- aanleg van groene daken en groene gevels
- aanzetten van fontein
- realiseren van bomenstructuur langs hoofdroutes (pas op voor te dichte kruinen) en vergroenen van langzaam verkeer routes
- tijdelijke beschaduwing van straten
- aanpassen van het gedrag (ramen 's overdag dicht, 's avonds open, aanpassen van medicatie, dragen van lichte kleding, voldoende drinken, neerlaten van de zonwering).

Zowel modelsimulaties als diverse daadwerkelijke metingen wijzen uit dat vergroening in de praktijk daadwerkelijk een verlaging van de temperatuur tot gevolg geeft. Ook water kan verkoelend werken, maar daar hangt de mate van verkoeling sterk af van het verschil in temperatuur tussen het water en de lucht. Het voordeel van zowel water als groen is bovendien dat het ruimte biedt aan een verkoelend briesje, waardoor zowel de luchttemperatuur als de belevingstemperatuur weer tot aangename proporties wordt teruggebracht.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op grond van satellietbeelden, metingen met mobiele en vaste meteostations en modelberekeningen blijkt dat in Rotterdam in de zomer sprake is van een stedelijke hitte eiland. Tijdens windstille nachten kan het temperatuurverschil tussen verstedelijkt en landelijk gebied oplopen tot 8°C. Dit is vergelijkbaar met stedelijke hitte eilanden in andere grote (buitenlandse) steden.

Met name versteende wijken in de buurt van veel industriële activiteit blijken een hoge gemiddelde oppervlaktetemperatuur te hebben. Overdag betreft dit Spaanse Polder, Bedrijvenpark Rotterdam NW, Feyenoord, IJsselmonde en Delfshaven. 's Nachts gaat het om Heijplaat, Vondelingenplaat, Pernis, Eem-Waalhaven en Nieuw Mathenesse. Metingen aan de luchttemperatuur met behulp van het mobiele meetplatform laten zien dat de koelste plekken de wat oudere laagbouwwijken zijn met veel groen (zoals Kralingen). Warm is het in hoogstedelijke gebieden als Centrum en (de Kop van) Zuid.

Als gevolg van klimaatverandering zal Rotterdam in de toekomst te maken gaan krijgen met meer en langere periodes van zomerse en tropische temperaturen. (In 2050 ongeveer een verdubbeling ten opzichte van nu). In combinatie met de voortdurende verdichting van de stad leidt dit er naar verwachting toe dat in de toekomst steeds meer mensen de gevolgen van het hitte-eiland gaan ondervinden, in een omgeving die -als er niets wordt gedaan- steeds gevoeliger is voor overmatige warmte.

Blootstelling aan warmte kan onder andere leiden tot warmte uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte. Tevens is er op warme dagen sprake van oversterfte, met name onder bedlegerige ouderen met reeds bestaande cardiovasculaire en/of respiratoire aandoeningen. Voor Rotterdam is becijferd dat in de huidige situatie een zomer met meer dan 24 zomers dagen (>25°C) leidt tot ongeveer 36 extra sterfgevallen per jaar. Hoeveel mensen er op een warme dag in het centrum en ander delen van Rotterdam op een andere, minder hevige manier, last hebben van de hitte is verder onbekend. Wel werd tijdens de beleidsworkshop door de GGD aangegeven dat tijdens de zomer van 2006 in twee weken meer dan 600 hittegerelateerde klachten bij huisartsen binnen kwamen. Bovendien blijkt uit de analyse van gegevens rondom de slaapkwaliteit van ouderen dat zij tijdens warme perioden korter en onrustiger slapen.

Het hitte-eiland effect doet zich met name voor bij windstil weer. De opwarming van de lucht in het stedelijk gebied wordt onder die omstandigheden in hoofdzaak bepaald door de skyviewfactor, albedo en emissiviteit (maten voor respectievelijk de toegankelijkheid voor zonnestraling, het reflectievermogen en het uitstralingsvermogen).

Het thermisch comfort in de stad wordt, behalve door de luchttemperatuur, ook bepaald door de wind en de straling van de zon, straatoppervlak en omgeving. Het verschil in gevoelstemperatuur, ook wel Physiologically Equivalent Temperature (PET) genoemd, kan in

Rotterdam oplopen tot wel 15⁰C. Verschillen binnen de stad (zelfs binnen één en dezelfde straat) kunnen hierbij van dezelfde orde zijn als verschillen tussen de stad en het platteland. Opvallend is dat er nu al (anno 2010) 's zomers dagen voorkomen waarop om en nabij het centrum het beleefde thermische comfort een probleem is.

Naast het aanpassen van gebruikte materialen voor bestrating en gevels blijkt uit modelsimulaties én diverse daadwerkelijke metingen dat vergroening een verlaging van de temperatuur tot gevolg geeft. Ook water kan verkoelend werken, maar daar hangt de mate van verkoeling sterk af van het verschil in temperatuur tussen het water en de lucht. Het voordeel van zowel water als groen is daarnaast dat het ruimte biedt aan een verkoelend briesje, waardoor zowel de luchttemperatuur als de belevingstemperatuur weer tot aangename proporties wordt teruggebracht. Andere veelbelovende maatregelen liggen in het aanpassen van het gedrag (ramen 's overdag dicht, 's avonds open, aanpassen van medicatie, dragen van luchtige kleding, voldoende drinken, neerlaten van de zonwering etc.).

6.2 Projectdoelen

Het doel van het project (*research objective*) was het in kaart brengen van de aard en omvang van de huidige en toekomstige hittestress in Rotterdam en het inventariseren van maatregelen om dit te verminderen. Gaandeweg het project werd duidelijk dat deze doelstelling niet helemaal handig is geformuleerd. Al vroeg in het project werd het vermoeden bevestigd dat er in Rotterdam, ondanks de aanwezigheid van de Maas en ondanks de in internationale context bezien bescheiden omvang van de stad, wel degelijk sprake is van een hitte-eiland.

Literatuuronderzoek, praktijkonderzoek onder de meest kwetsbare groep (ouderen) en metingen en berekeningen aan de gevoelstemperatuur maken bovendien duidelijk dat er een direct verband bestaat tussen de hoogte van de luchttemperatuur en de gezondheid en het thermisch comfort van mensen. Op basis van de huidige data rondom hitte en gezondheid is echter niet vast te stellen hoeveel mensen er in Rotterdam precies in welke mate hoe vaak last hebben van hittestress. Daarvoor ontbreekt het bij informatie over ziekte en sterfgevallen nog aan gedegen documentatie omtrent de klimatologische omstandigheden waaronder klachten optreden.

In een discussie tijdens de beleidsworkshop, gehouden in december 2010, is vervolgens gesuggereerd dat het voor de profilering van de hittestress problematiek wellicht slimmer zou zijn om de kansen te benadrukken, in plaats van op zoek te gaan naar met veel onzekerheden omgeven informatie rondom hitte gerelateerde gezondheidsklachten en vroegtijdige sterfgevallen. Het verbeteren van het thermisch comfort waardoor het ook in de toekomst prettig vertoeven blijft in Rotterdam en andere Nederlandse steden lijkt een betere kapstok dan momenteel lastig hard te onderbouwen voorspellingen over toekomstige dodentallen. De doelstelling van het project zou dan eigenlijk niet moeten zijn het in kaart brengen van de aard en omvang van de hittestress, maar het zoeken naar mogelijkheden om het thermisch comfort in steden te verbeteren. In dit verband is de PET in een relatief laat stadium van het project een relevante parameter geworden.

Opties om het thermisch comfort in Rotterdam en andere steden te verbeteren heeft het project zeker opgeleverd. De vraag wie er 's nacht precies last heeft van een UHI van 7°C of overdag van 2°C is minder makkelijk te beantwoorden. Het project wijst uit dat dit grotendeels ook ligt aan de wijze waarop individuele burgers hiermee omgaan. Je kunt in de schaduw gaan lopen of in de zon. Besluiten meer te drinken, de zonwering te laten zakken en kleding aan te passen of niet. Vanuit de GGD Rijnmond wordt in ieder geval mede op basis van de huidige projectresultaten, input geleverd in het proces voor het opstellen van de medisch milieukundige richtlijn "Gezondheidsrisico's van warme weersomstandigheden". Parallel aan dit proces wordt tevens het Nationale Hitteplan herzien. Ook bij dit proces worden vanuit de GGD Rijnmond naast algemene kennis de resultaten van HSRR-05 ingebracht.

6.3 Aanbevelingen

Aanbevelingen voor actie

Hoewel de shortlist een compact en toegankelijk overzicht van relevante informatie geeft, blijft het uiteindelijke afwegingsproces vaak het vergelijken van appels met peren. Omdat ook de kosten en baten van de verschillende maatregelen onvoldoende bekend zijn is niet altijd duidelijk welke maatregelen (kleinschalig groen, een groen dak, een fontein, voorlichting etc.) het meeste adaptatie voor je geld oplevert. Bovendien staat ook de kennis over de effecten van het stedelijk hitte eiland effect op gezondheid en welbevinden eigenlijk nog in de kinderschoenen. Hierdoor is tevens niet altijd duidelijk welke effecten diverse maatregelen precies hebben op het verbeteren van het thermisch comfort van burgers en anderen die (tijdelijk) in de stad verblijven. Tegelijkertijd geldt echter:

- in dichtbebouwde plaatsen in Rotterdam is volgens metingen het door de mens beleefde thermisch comfort tijdens warme zomerdagen nu al een probleem
- in de toekomst worden meer en langere warme perioden verwacht
- er zijn duidelijke ambities om de regio nog verder te verstedelijken

Er ligt dus –ondanks alle onzekerheid- zeker een noodzaak en een kans om actie te ondernemen en het thermisch comfort in de stad te verbeteren. Uiteindelijk worden met name op basis van de resultaten uit deelrapport 3 ("Maatregelen tegen het hitte-eilandeffect en hittestress in Rotterdam") de volgende aanbevelingen gedaan voor specifiek te ondernemen acties:

1. Begin, gezien de duidelijke effectiviteit (en noodzaak) met het treffen van herstelbevorderende maatregelen binnenshuis zoals die nu al bekend zijn bij en aanbevolen worden door de GGD (voor meer informatie: zie illustratie en www.ggd.rotterdam.nl).
2. Tref vervolgens pro-actief maatregelen die mensen helpen het gedrag aan te passen aan de warme omstandigheden en zo de hittestress te voorkomen of te verminderen.

Wat u moet doen als het warm wordt



Drink voldoende
Drink 2 liter vocht per dag, ook als u geen dorst heeft. Drink bij voorkeur water. Vermijd alcohol.



Vermijd inspanning
Vermijd inspanning vooral tussen 12.00 en 16.00 uur, de warmste uren van de dag.



Blijf uit de hitte
Blijf binnen of in ieder geval in de schaduw tussen 12.00 en 16.00 uur, de warmste uren van de dag. Draag een hoed, zonnebril en lichte kleding.



Zorg voor koelte
Leg af en toe een koude handdoek in uw nek, neem een koude douche of bad. Laat de zonwering zakken of doe de gordijnen dicht van kamers die veel zon krijgen. Doe ook de ramen dicht als het buiten warmer is dan binnen (overdag) en zet ze open als het buiten koeler is ('s nachts en vroeg in de morgen).



Zorg voor elkaar
Steek een helpende hand toe als er in uw omgeving ouderen of zieken zijn, die hulp nodig hebben om deze adviezen op te volgen.



Vragen?
Overleg met uw huisarts als u vragen heeft over uw gezondheid of met uw apotheker als u medicijnen gebruikt. Voor alle andere vragen kunt u terecht bij de GGD in uw regio. Wiet u het nummer niet, bel dan met Postbus 51 (0800 - 8951).

Denk aan het bevochtigen van lucht binnenshuis, gebruik van lokale koelmiddelen, opzoeken van koele plekken, aanpassen van kleding, bevorderen van de vochtinname en hitte-acclimatisatie. Deze maatregelen voorkomen op een directe manier warmtebelasting en hittestress en zouden met onmiddellijke ingang genomen kunnen worden.

3. Verminder op gebouwniveau de warmtebelasting door het binnenklimaat te verbeteren met behulp van isolatie, energiebesparing op elektrische apparaten en verlichting, vaste zonwering op de zuidgevel en beweegbare op de oost en westgevels. Actieve koeling is op zich ook een interessante maatregel maar verhoogt het energieverbruik en daarmee de CO₂ emissie en is daarom vooralsnog niet echt low-regret.
4. Daarnaast is een scala aan maatregelen beschikbaar die de stadstemperatuur positief beïnvloeden, geen koelend effect hebben in de winter en relatief makkelijk weer teruggedraaid zouden kunnen worden zoals: aanleg van fontein en kleinschalig groen, creëren van groene daken en gevels, aanbrengen van tijdelijke straatbeschaduwning in de zomer en het sproeien van daken, gevels en straten. Denk er hierbij wel aan zoveel mogelijk gebruik te maken van hemel- in plaats van drinkwater.
5. Uiteindelijk kunnen ook hele andere, grootschaliger, maatregelen getroffen worden, zoals het creëren van ruimte voor meer wind, aanpassen van dakbedekking, gevelmateriaal en bestrating of het slim inzetten van open water. Deze maatregelen hebben echter verder strekkende gevolgen en kunnen daarom niet zonder meer als no- of low regret bestempeld worden. In specifieke situaties kunnen ze echter wel zeer aan te raden zijn.

Uit de beleidswerkshop kwamen nog enkele aanbevelingen van meer procestechnische aard:

6. Blijf vanwege de onzekerheden, maar ook en vooral vanwege mogelijkheden, zoeken naar meekoppelkansen. Vergroening is bijvoorbeeld ook goed voor de gezondheid en de beleving van de buitenruimte. Daarnaast is het voor de inrichting van de buitenruimte belangrijk niet alleen na te denken over het realiseren van meer verkoelende plekken, maar ook over manieren om er te komen. Denk bijvoorbeeld aan een beschaduwd wandelpad van het verzorgingstehuis naar het park. In de tijd die het kost om precies te achterhalen hoe gemiddelde personen reageren op een warmer buiten- en binnenklimaat wordt dan in ieder geval de kans geboden om naar buiten te gaan, meer te bewegen, onder de mensen te komen en te genieten van het groen.
7. Houd oog voor het delen van verantwoordelijkheden. De vraag wie er precies verantwoordelijk is voor het nemen van hitte-eiland en/of hittestress reducerende maatregelen is in het kader van dit project geen onderwerp geweest van nadere studie. Het is de wens van Rotterdam dat het ook in de toekomst goed toeven is in de stad. Juist gezien de grote hoeveelheid effectieve gedragsgerelateerde maatregelen lijkt het echter logisch om bijvoorbeeld de burger ook nauw te betrekken bij het aantrekkelijk maken en houden van de stad. Laat zien dat er heel veel is dat mensen zelf kunnen doen.

8. Focus op de kansen (prettig thermisch comfort) in plaats van op de onheilsboodschap (aantallen vroegtijdig sterfgevallen) (zonder deze overigens uit het oog te verliezen). Dit maakt de communicatie en waarschijnlijk ook de samenwerking met andere beleidsterreinen makkelijker. Niet alleen blijkt het lastig op de schaal van de stad Rotterdam precies aan te geven hoeveel mensen er jaarlijks vroegtijdig overlijden ten gevolge van overmatige hitte, het is vaak ook motiverender om te werken aan iets positiefs als het nog verder verbeteren van het verblijfsklimaat.
9. Koester het adagium van het Programmabureau Duurzaam van de gemeente Rotterdam "Learning by doing". Er is nog veel dat niet precies bekend is, maar er is ook al veel wel duidelijk. Ga op basis daarvan aan de slag en houd daarbij oog voor voortschrijdend inzicht, onder andere afkomstig van juist die in gang gezette acties.

Aanbevelingen voor nader onderzoek

Op basis van de projectuitkomsten presenteren de verschillende betrokken wetenschappers in de deelrapporten uiteenlopende voorstellen voor vervolgonderzoek. Daarnaast heeft het project ook voor de gemeente Rotterdam nieuwe inzichten opgeleverd, compleet met nieuwe onderzoeksvragen. Onderstaand een overzicht van relevante onderwerpen voor vervolgonderzoek.

Mogelijk vervolgonderzoek gedefinieerd vanuit gemeentelijke praktijk:

- Inzicht in relatieve kwetsbaarheid van de openbare ruimte voor overmaat of tekort aan water, warmte en wind (zodat straten/wijken en verschillende soorten van groenstructuur vergeleken kunnen worden).
- Inzicht in relatieve effectiviteit van maatregelen (welk groen biedt de meeste verkoeling? onder welke omstandigheden heeft open water een optimaal verkoelend effect?), met aandacht voor nadelige effecten, zoals de watervraag van het extra groen.
- Inzicht in de onderlinge beïnvloeding van kwetsbaarheden en maatregelen, om daarmee bij te dragen aan een samenhangende Rotterdamse adaptatiestrategie.
- Inzicht in technische uitvoerbaarheid, sociaal draagvlak en zo mogelijk financiële haalbaarheid van maatregelen.
- Inzicht in de effecten van antropogene warmteproductie als het meerdere dagen achter elkaar warm blijft in de stad.
- Wat zijn de effecten van een verhoogd gebruik van airconditioning op (pieken in) de energievraag?
- Inzicht in de gevolgen van een temperatuurverschil van 2°C overdag en 8°C 's nachts tussen stad en buitengebied? Wie heeft daar precies last van? En wat zijn de mogelijkheden (en effecten) om maatregelen af te stemmen op precieze kwetsbare groepen (bijvoorbeeld airco's in het verzorgingstehuis)?
- Wat zijn effecten van overmatige hitte op de arbeidsuitval en -productiviteit?

Mogelijke onderwerpen voor vervolgonderzoek gedefinieerd vanuit wetenschappelijke praktijk:

- Verschillen tussen het verkoelend effect van gras, bomen en ander groen, zoals privé-tuinen.
- Verbreding van de onderzoeksresultaten met betrekking tot de relatie tussen de verschillende hittefactoren en de gemiddelde oppervlaktetemperatuur naar andere steden.

- Gevolgen van het exacte temperatureffect van puntbronnen op bedrijventerreinen (bijvoorbeeld met behulp van microschaal klimaatmodellering).
- Reikwijdte van het verkoelend effect van stadsparken.
- Verkoelend effect van open water, met name voor wat betreft de timing in de nacht.
- Beeld van het ontstaan en de effecten van hittestress in relatie tot het binnenklimaat (om met deze inzichten effectieve maatregelen op maat te treffen voor specifieke doelgroepen, zoals ouderen in verpleeghuizen, kinderen in dagverblijven, kantoorpersoneel etc.).
- Vertalen van de in het onderzoek geïdentificeerde maatregelen naar wijkniveau met betrekking tot de toepasbaarheid en effectiviteit.
- Meting en modellering van de opwarming door broeikasgassen en de koeling door luchtverontreiniging. Deze factoren in stedelijk klimaat zijn buiten beschouwing gebleven in dit onderzoek, maar hebben mogelijk impact op de temperatuur in de stad. Deze factoren kunnen zeer relevant zijn voor mogelijke maatregelen.
- Het koelende effect van oppervlaktewater op de omgevingstemperatuur. Dit is met uitgevoerde metingen niet duidelijk waargenomen door onder andere de hoogte waarop de metingen hebben plaatsgevonden, het gebrek aan hete dagen tijdens de meetperiode en de invloed van wind. Lager uitgevoerde metingen gedurende een langere periode kunnen dit ondervangen.
- Onderzoek naar de effectiviteit van inzet van andere vormen van water, denk aan fontein, het besproeien van straten en gevels en verneveling.
- Verrijken van het EnviMet model door middel van meer werkelijke metingen. Vooral door verbetering van de waterbalans zou een belangrijke stap vooruit gezet kunnen worden in de kwaliteit van micrometeorologische modelsimulaties.
- Modellering van thermisch comfort en het effect van hittebeperkende maatregelen op het thermisch comfort.
- Effect van hittebeperkende maatregelen gedurende een hittegolf.
- Monitoren van het effect van verschillende interventies
- Verbeterd inzicht in de werkelijke doodsoorzaak bij overlijden tijdens hittegolven. Een onderzoek met een aantal obducties zou wellicht meer helderheid kunnen geven van de onderliggende pathologie. (Hierover zouden afspraken kunnen worden gemaakt met het Universitair Medisch Centrum Rotterdam).



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

