

Voorbeelden uit praktijk en wetenschap

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Uit een analyse van weergegevens van amateurmete-orologen ^{Steenveeld 2011} bleek dat het **hitte-eiland effect** in de meeste Nederlandse steden aanzienlijk is en vergelijkbaar is met dat in andere Europese steden met een gemiddelde waarde van 2,3 °C; en 5,3 °C als bovengrens van 95 % van de berekende waarden per stad of dorp. Het effect werd niet alleen in grote steden maar ook in kleinere steden en dorpen gemeten en bleek veel meer gerelateerd aan de bevolkingsdichtheid dan aan de totale omvang van de bevolking.

In dezelfde studie ^{Steenveeld 2011} werd geconcludeerd dat er in 39% van de onderzochte steden gedurende minstens 7 dagen per jaar sprake is van **hittestress** (gemiddelde natte bol temperatuur > 27,7 °C). In de stad Rotterdam was dit zelfs 15 dagen.

Ook uit een studie waarin het hitte-eiland effect in Nederland gedurende de hittegolfperiode van 2006 in kaart werd gebracht ^{Klok 2012} bleek dat **bijna elke stad** in Nederland hier mee te maken heeft. Het gemiddeld gemeten oppervlakte hitte-eiland effect bedroeg 2,4 °C 's nachts en 2,9 °C overdag, met als maximum 9 °C voor den Haag.

In een onderzoek naar temperatuurverschillen binnen de stad Rotterdam werden verschillen van 19 en 4 °C gemeten tussen respectievelijk een ruime en groene woonwijk en het centrum van een park en de warmere bebouwde omgeving daarbuiten ^{Heusinkveld 2014}. Uit een meer gedetailleerde studie ^{van Hove 2015} bleek dat er binnen de stad een aanzienlijke variatie is in de grootte van het effect. De hoogste waarden, variërend van 4,3 tot meer dan 8 °C, werden gemeten in de late lente en de zomer. Daarbij was het hitte-eiland effect **kleiner naarmate er meer groen** in een wijk aanwezig is.

Een modelstudie naar het **effect van straatbomen**, gevelgroen en groene daken op de temperatuur in een straat in Arnhem tijdens een hittegolf concludeerde dat straatbomen verreweg het grootste effect hebben (0,4 – 1,6 °C) met een klein aanvullend effect van de groene gevels. Het effect van de combinatie van gevelgroen en straatbomen aan beide zijden van de straat werd berekend op 0,52 – 2,0 °C ^{Gromke 2015}.

De hitte-eiland effect in Rotterdam



Uit een onderzoek aan negen vergelijkbare straten in Utrecht ^{Klemm 2015a} bleek dat de hoeveelheid groen in een straat een duidelijk effect heeft op de **warmtebeleving van voetgangers**. Hoewel het groen geen meetbaar effect had op de luchttemperatuur, was de gemeten stralingstemperatuur in straten met groen tot 4,8 °C lager. Dit is vooral het gevolg van de aanwezigheid van (grote) straatbomen (schaduw); 10% meer kroonbedekking in een straat verlaagde de stralingstemperatuur met ongeveer 1 °C. Laag groen in de straat en tuinen grenzend aan de straat dragen wel bij, maar hebben veel minder effect.

Een vergelijking van het koelend effect van water, groen en schaduw door bomen of gebouwen in Amsterdam ^{Kluck 2017} liet voor alle drie inrichtingsvormen een ca 1 °C lagere luchttemperatuur zien ten opzichte van een zonnige en versteende omgeving. Het effect op de gevoelstemperatuur (PET) echter was veel groter en varieerde sterk. Het bleek dat met name **schaduw** een sterk verkoelend effect heeft (tot meer dan 16 °C lagere PET) terwijl het gemeten effect voor water en groen veel beperkter was (max. ca 4 °C).

Bij een studie van 13 **parken** in de stad Utrecht ^{Klemm 2015b} was de gemiddelde temperatuur in de parken 0,3 tot 1,5 °C lager dan in het centrum van de stad. Het relatief kleine verschil wordt verklaard doordat deze waarden het gemiddelde zijn voor een hele route door dat park. Door de variatie in dichtheid van het groen en met name het aandeel bomen zijn de verschillen binnen en tussen parken groot. Berekend werd dat 10% extra bedekking door boomkronen de stralingstemperatuur met 3,2 °C en de gevoelstemperatuur met 1,5 °C doet dalen. Tevens bleek dat ook de omgeving invloed heeft op de temperatuur in de parken, de koelste parken waren die waar in de heersende windrichting een hoog percentage groen aanwezig was.

Straten met groen en parken worden door mensen ook daadwerkelijk als prettiger (**thermisch meer comfortabel**) ervaren bleek uit enquêtes uitgevoerd op een aantal warme zomerse dagen in Arnhem, Utrecht en Rotterdam ^{Klemm 2015b}.

Een eerste aanzet voor een set van geïntegreerde richtlijnen voor klimaatgroen in de stad gaat uit van een netwerk van onderling zo veel mogelijk verbonden grote en kleine groene elementen ^{Klemm 2018}.

Aanbevelingen

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Het groen in de stad kan sterk bijdragen aan het beperken van de opwarming van de stad en aan het vergroten van

het thermisch comfort van de inwoners. Van alle soorten groen zijn bomen door hun grote volume en bladmassa het

meest effectief. Het planten van bomen en de aanleg van groen als maatregel voor het verbeteren van het leefklimaat

in de stad heeft ook baten op andere terreinen zoals verbetering van de luchtkwaliteit, ondersteuning van de

biodiversiteit en de beperking van wateroverlast; en meer algemeen op de gezondheid en het welzijn van de bewoners.

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Beperken opwarming van de stad

Vergroten van de oppervlakte groen in de stad beperkt het hitte-eiland effect. Alle typen groen dragen hier aan bij, maar bomen hebben door hun omvang en volume het grootste effect. Daarom is op stadsniveau het uitbreiden van het areaal parken en stadsbossen en het vergroten van het aantal straatbomen het meest effectief om de opwarming van de stad te beperken.

Volwassen bomen hebben het grootste effect, aanleg en onderhoud moeten er daarom op gericht zijn dat bomen gezond oud kunnen worden.

Een combinatie van kleinere groene elementen binnen een netwerk van groene straten en pleinen in combinatie met grotere groene elementen als parken en stadsbossen is waarschijnlijk de meest effectieve aanpak.

Om optimaal te profiteren van het koelende effect van het groen in de stad moet het groen gezond zijn en goed groeien, met name een goede vochtvoorziening is voor het koelende effect essentieel. In droge warme perioden kan irrigatie het koelende effect op droge standplaatsen sterk vergroten.

Ook uitwisseling van lucht met de omgeving buiten de stad draagt bij aan beperking van het hitte-eiland effect. Zorg daarom voor open corridors waardoor warme lucht de stad uit kan stromen en koelere lucht uit de omgeving of uit koelere delen van de stad verder de stad binnen kan komen.

Bedrijfsterreinen zijn notoire hitte-eilanden. Groen van voldoende omvang rond de gebouwen zorgt voor schaduwplekken voor een lunch-wandeling en helpt om de opwarming van gebouwen te beperken. Groene daken dragen daar ook sterk aan bij. Samen kan dit bijdragen aan verhoging van de arbeidsproductiviteit en vermindering van de kosten voor koeling van de gebouwen.

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Verminderen hittestress

Het creëren van schaduw is een effectieve maatregel voor het beperken van hittestress.

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Het groen in de stad kan sterk bijdragen aan het beperken van de opwarming van de stad en aan het vergroten van

het thermisch comfort van de inwoners. Van alle soorten groen zijn bomen door hun grote volume en bladmassa het

meest effectief. Het planten van bomen en de aanleg van groen als maatregel voor het verbeteren van het leefklimaat

in de stad heeft ook baten op andere terreinen zoals verbetering van de luchtkwaliteit, ondersteuning van de

biodiversiteit en de beperking van wateroverlast; en meer algemeen op de gezondheid en het welzijn van de bewoners.

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Een ruime hoeveelheid groen kan in warme periodes de temperatuur op straatniveau verlagen en het thermisch comfort van voetgangers en fietsers verbeteren. Een combinatie van groene maatregelen, d.w.z. groenstroken of tuinen gecombineerd met gevelgroen en (straat)bomen is het meest effectief.

Grote bomen met een brede en dichte kroon produceren de meeste schaduw en dragen daarom het meeste bij aan het thermisch comfort op het niveau van de voetganger.

Om optimaal te profiteren van het koelend effect van groen in de stad is goede vochtvoorziening voor dat groen essentieel. Voor een zo goed mogelijk functioneren is het daarom belangrijk soorten te kiezen die geschikt zijn voor de betreffende standplaats en onder stadsomstandigheden goed kunnen groeien. Daarnaast kan in droge perioden irrigatie het koelende effect van groen versterken.

De hitte-eiland effect in Rotterdam

Koelte eilanden

Tijdens warme perioden als het in huizen en gebouwen (te) warm wordt kunnen parken en andere groene gebieden een relatief koel toevluchtsoord zijn voor met name ouderen. Daarvoor moeten die groene gebieden wel binnen loopafstand zijn. Daarom is het goed om verspreid in de stad een netwerk van kleinere en grotere groene gebieden te realiseren.

Om het koelend effect van parken en andere groene gebieden op de omgeving optimaal te benutten moet koele lucht vanuit het groene gebied de omliggende wijken in kunnen stromen. Het groene gebied moet daarom niet rondom gesloten zijn, maar openingen hebben die aansluiten op corridors waarlangs de koele lucht de omringende delen van de stad in kan stromen.

Om parken en groene gebieden jaarrond en bij verschillende weersomstandigheden zo aantrekkelijk mogelijk te houden is het goed om te zorgen voor variatie in de begroeiing en zeer dichte schaduwrijke delen af te wisselen met meer open maar wel groene delen.

Groen in de stad

Klimaat en Temperatuur

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

De hitte-eiland effect in Rotterdam

^[1] Uit een analyse van weergegevens van amateurmete-orologen

Hoe beïnvloedt groen het klimaat in de stad

Een steeds groter deel van de bevolking woont in de stad. Eén van de meest opvallende aspecten van de stad als

leefomgeving is dat de gemiddelde temperaturen in de stad gewoonlijk hoger liggen dan in het omringende niet

verstedelijkte gebied. Met name in warmere perioden heeft dit een negatief effect op het welzijn en de gezondheid

van de bewoners. Het groen in de stad kan dit effect beperken doordat:

► *Groen de opwarming van de stad als geheel beperkt.*

► *Groen het klimaat op straatniveau prettiger maakt.*

► *Groene gebieden in warme perioden voor koelere plekken in de stad zorgen en een koelend effect op de omgeving hebben.*



Beperken opwarmen van de stad

De opwarming van de stad t.o.v. het gebied er omheen, gewoonlijk aangeduid als het "**hitte-eiland**" (Urban Heat Island) effect, wordt veroorzaakt doordat verharde oppervlakken van straten en bebouwing in de stad door de straling van de zon veel sterker opwarmen dan natuurlijke niet verharde oppervlakken. De opgenomen energie wordt in de vorm van warmtestraling weer afgegeven aan de omgeving, een proces wat 's avonds en 's nachts doorgaat. Hierdoor is het hitte-eiland effect (gemeten aan de luchttemperatuur) gewoonlijk het grootst in de avond en nacht. Het wordt verder versterkt door warmte afkomstig van menselijke activiteiten zoals verkeer, industrie, verwarming en airconditioning; en doordat de opgebouwde warmte slecht uit de stad kan ontsnappen door de dichte bebouwing die luchtuitwisseling met de omgeving beperkt ^{Oke 1982, 1987}.

De grootte van het hitte-eiland effect ligt gewoonlijk gemiddeld over het hele jaar tussen 1 en 3 °C ^{Oke 1987} maar in meer extreme gevallen (bijvoorbeeld in de avond en vroege nacht tijdens hittegolven) kan het oplopen tot meer dan 10 °C ^{Voogt 2004}. De gerichte **aanleg van groen** wordt algemeen gezien als één van de meest belovende maatregelen voor het beperken van de opwarming van de stad ^{Gill 2007, Bowler 2010, Norton 2015}.

Het **verkoelende effect van groen** berust op twee elkaar versterkende processen: schaduw en verdamping van water waarbij het effect van schaduw in het algemeen verreweg het sterkst is ^{Brown 2015}. Doordat bomen en andere vormen van groen een deel van de zonnestraling tegen houden warmt het oppervlak eronder minder op waardoor er door dat oppervlak ook minder warmte wordt afgegeven aan de lucht in de omgeving. Dit koelend effect wordt versterkt doordat de verdamping van water door het groen (evapotranspiratie) warmte aan de lucht onttrekt. De grootte

van het koelend effect is afhankelijk van het volume en de biomassa van het groen. Grote bomen met dichte kronen hebben daarom het meeste effect. Voor een optimale bijdrage van de verdamping aan het verkoelende effect moet de vochtvoorziening van het groen uiteraard goed zijn ^{Hiemstra 2017}.

Voor Nederland werd in een tweetal studies naar het voorkomen en de omvang van het hitte-eiland geconcludeerd dat er inderdaad een duidelijke relatie is tussen de **hoeveelheid groen** in een plaats en de grootte van het hitte-eiland effect. Daarbij werd berekend dat 10% meer groen gemiddeld leidt tot een daling van het hitte-eiland effect met 0,6 °C ^{Steenefeld 2011}. Latere modelberekeningen ^{Theeuwes 2015} kwamen tot hetzelfde resultaat.

Verminderen hittestress

De mate waarin mensen hun omgeving als thermisch comfortabel ervaren hangt niet alleen af van de temperatuur van de lucht in de directe omgeving maar ook van factoren als windsnelheid, luchtvochtigheid, zonnestraling en warmtestraling afkomstig van door de zon opgewarmde oppervlakken. Voor het kwantificeren van het **thermisch comfort** zijn verschillende systemen ontwikkeld die een maat geven voor de mate waarin een lichaam warmte opneemt of kwijtraakt. Boven bepaalde grenswaarden is sprake van hitte-stress. Een veel gebruikte maat is de PET (Physiological Equivalent Temperature). PET-waarden tussen 18 en 23 °C worden gezien als comfortabel en de grenswaarden 23, 29, 35 en 41 staan voor milde, matige, sterke en extreme hitte-stress ^{Höppe 1999, Matzarakis 2009}.

De klimaatscenario's van het KNMI wijzen voor de nabije toekomst op een toename van het aantal warme en zeer

► warme avonden/nachten ^{KNMI 2015}. **Hitte-stress** heeft een negatief effect op het functioneren en de gezondheid van mensen; met name ouderen, chronisch zieken en zwangere vrouwen vormen hiervoor gevoelige groepen. Tijdens "normale" zomer condities kunnen deze groepen in Nederland al last hebben van milde hitte-stress. Dit speelt met name tijdens de avond en nacht; door de hittestress wordt de slaap negatief beïnvloed. Tijdens hittegolven nemen de risico's voor kwetsbare groepen zeer sterk toe met als gevolg een toename van het aantal opnamen in ziekenhuizen en stijgende sterftcijfers ^{Daanen 2010, Norton 2015}.

Groen vermindert niet alleen de opwarming van de stad als geheel, maar vergroot ook het thermisch comfort voor voetgangers en andere gebruikers van de openbare ruimte. Door een flink deel van de inkomende zonnestraling te blokkeren zorgen **schaduwbomen** ervoor dat de blootstelling van personen aan de inkomende energie van de zon wordt beperkt. Daarnaast warmen de onderliggende oppervlakken minder op en geven dus ook minder warmtestraling af wat de warmtebelasting van personen verder vermindert.

Ook op dit lokale niveau wordt het "**koelend" effect** van bomen versterkt door evapotranspiratie. Voor de verdamping van water onttrekt de boom warmte aan de lucht en bovendien wordt de lucht minder droog wat over het algemeen als prettig wordt ervaren. De effectiviteit van dit mechanisme is zeer sterk afhankelijk van de voor de bomen beschikbare hoeveelheid vocht en hangt af van het volume en de biomassa van de boom. Grote bomen met brede kronen zijn daarom veel effectiever dan kleine bomen of bomen met smalle kronen. Deze koelcapaciteit wordt alleen optimaal benut indien voldoende water beschikbaar is ^{Hiemstra 2017, Kluck 2016}.

"Koelte eilanden"

Het op grote schaal planten van **bomen** (urban forestry) is een effectieve manier om koelere gebieden te creëren binnen de stad ^{Brown 2015, Yoshida 2015}.

Doordat bomen en andere vormen van groen een koelend effect hebben is de temperatuur in aaneengesloten groene gebieden binnen de stad (parken, stadsbossen) lager dan in de omringende bebouwde delen van de stad ^{Bowler 2010}, de parken vormen als het ware een koel eiland in de warmere stadsomgeving. Een recent literatuuroverzicht ^{Saaroni et al 2018} laat zien dat dit niet alleen opgaat voor warmere klimaten. Van Israël tot in Zweden wordt melding gemaakt van dit zogenaamde **Park Cool Island effect**. Het effect is in de meeste gevallen tussen 1,5 en 3,5 °C groot waarbij de variatie wordt toegeschreven aan verschillen in de samenstelling van de parken (type groen, soorten en bedekkingsgraad van bomen), de gebruikte meetmethode en de lokale meteorologische condities.

In dezelfde literatuurstudie ^{Saaroni et al 2018} wordt geconcludeerd dat het niet alleen koeler is in de parken, maar dat **parken** ook een koelend effect hebben op hun omgeving. Dit effect kan zich tot 1,5 km van het park uitstrekken waarbij de grootte van het effect en de afstand waarop het merkbaar is toenemen met de afmetingen van het park. Een studie in Londen ^{Doick et al 2014} noemt afstanden van 20 tot 440 m en effecten tussen 1,1 en 4 °C.

Verantwoording en meer informatie

Deze factsheet is onderdeel van een serie van vier rondom de positieve effecten van groen in de stad. Andere beschikbare onderwerpen zijn luchtkwaliteit, klimaat en biodiversiteit. Daarnaast is er een tabel beschikbaar waarin de bijdrage van ruim 100 boomsoorten aan de genoemde thema's in beeld is gebracht. Alle factsheets en de tabel zijn het resultaat van een project uitgevoerd door Wageningen University & Research met medewerking van studenten van Hogeschool Van Hall Larenstein in opdracht van de Gemeente Den Haag, Stichting De Groene Stad en Royal FloraHolland met financiële ondersteuning van de topsector Tuinbouw & Uitgangsmaterialen en bijdragen van Perennial Power, i-Bulb, Van den Berk Boomkwekerijen, Boot & Dart Boomkwekerijen, Boomkwekerij Ebben en Boomkwekerij M. van den Oever & Zonen. Het project is onderdeel van het programma De Groene Agenda.

Tekst: Jelle Hiemstra. Foto's: Bovengenoemde bedrijven en diverse bronnen uit het publiek domein.

Deze factsheet vormt een samenvatting en momentopname van de beschikbare kennis. Meer informatie is te vinden in de onderstaande literatuur, via het kennisportaal Groen & Welzijn op www.groenkennisnet.nl of via een mail naar jelle.hiemstra@wur.nl.



Bronnen

Bowler et al. 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape Urban Plan 97(3):147–155.
Brown et al. 2015. Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. Landscape Urban Plan 138:118–131.
Daanen et al. 2010. De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. Soesterberg: TNO Defensie.
Doick et al. 2014. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. Science of the Total Environment, 493, pp. 662-671.
Gill et al. 2007. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built Environment 33(1):115–133.
Gromke et al. 2015. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. Build. Environ. 83, 11-26.
Heusinkveld et al. 2014. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. J Geophys Res D, Atmospheres 119(2):677–692.
Hiemstra et al. 2017. Urban Heat Island, thermal comfort and the role of urban green. pp. 7-19 in: Pearlmutter D, Calapietra C, Samson R et al (Eds.). The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment. Springer International Publishing.
Höppe 1999. The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int J Biometeor 43(2):71–75.
Klemm et al. 2018. Developing green infrastructure design guidelines for urban climate adaptation, Journal of Landscape Architecture, 123, 60-71.
Klemm et al. 2015. Street greenery and its physical and psychological impact on outdoor thermal comfort. Landscape and Urban Planning, 138, 87-98.
Klemm et al. 2015. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. Building and Environment 83: 120-128.

Klok et al. 2012. De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden. Utrecht: Eart, Environmental and Life Sciences.
Kluck et al. 2016. De klimaatbestendige wijk. Publicatierreeks HvA Faculteit Techniek no. 10.
Matzarakis et al. 2009. Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. Theor Appl Climatol 98(3-4):209–220.
Norton et al. 2015. Planning for cooler cities: a framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. Landscape Urban Plan 134:127–138.
Oke 1982. The energetic basis of the urban heat island. Quart J Roy Meteor Soc 108(435):1–24.
Oke 1987. Boundary Layer Climates. Routledge, New York.
Saaroni et al. 2018. Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. Urban Climate 24 (2018) 94–110.
Steenefeld et al. 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. J Geophys Res D, Atmospheres 116(D20129). The World Bank Data <http://wdi.worldbank.org/table/312>
Theeuwes 2015. Urban Heat; Natural and anthropogenic factors influencing urban air temperatures. PhD thesis Wageningen University.
van Hove et al. 2015. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. Building and Environment, 83(0), 91-103.
Voogt 2004. Urban Heat Islands: Hotter Cities. Retrieved July 6, 2015, from <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>
Yoshida et al. 2015. Evaluation of effect of tree canopy on thermal environment, thermal sensation, and mental state. Urban Climate 14(2):240–250.
KNMI, 2015: KNMI14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt.