

# Hotterdam

Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van de inwoners, en wat er aan te doen is.

TU Delft, Bouwkunde  
Frank van der Hoeven  
Alexander Wandl



Q\*

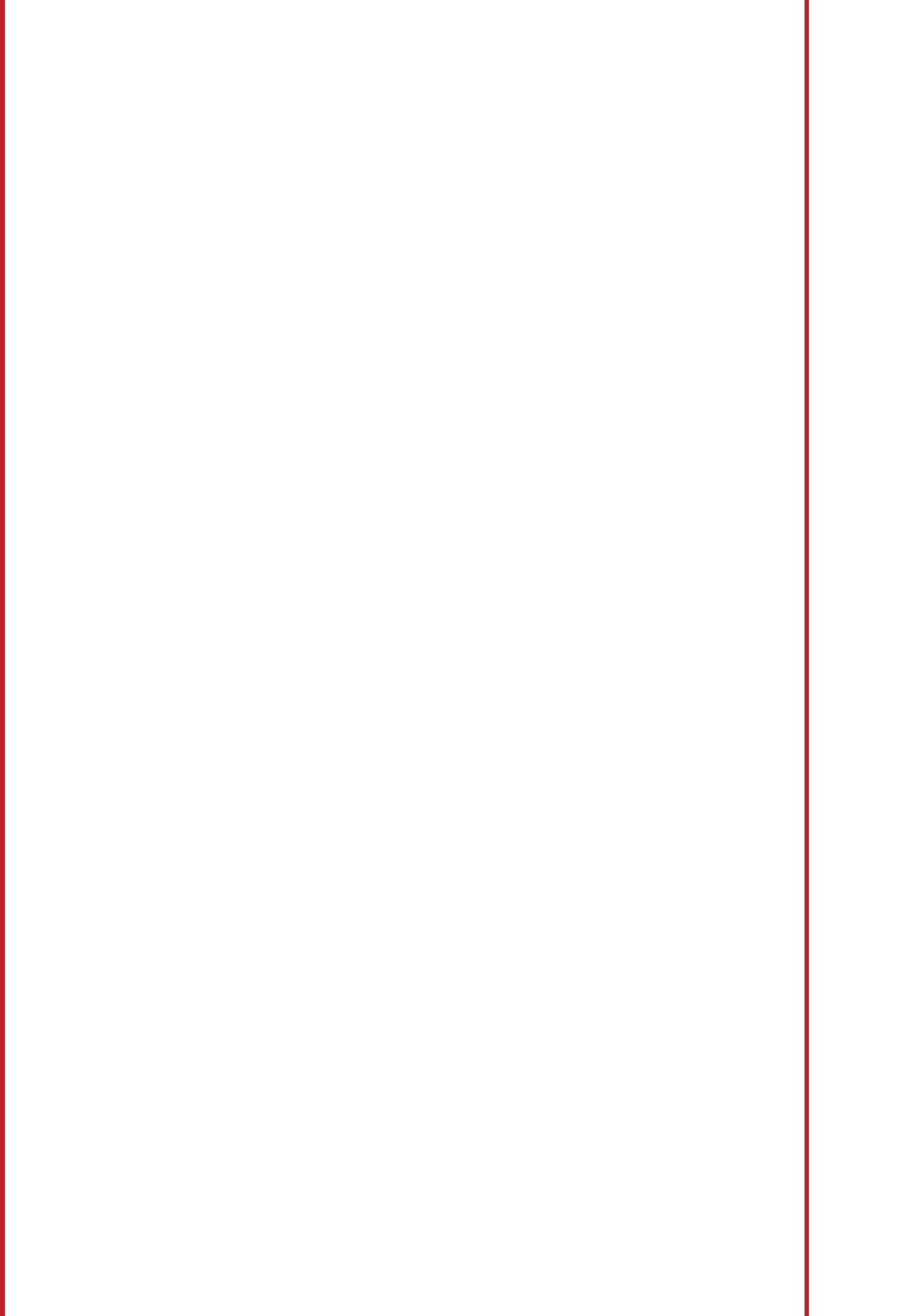
QH

QS

QE



Hotterdam





# Hotterdam

Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van inwoners, en wat er aan te doen is.

TU Delft, Bouwkunde  
Frank van der Hoeven  
Alexander Wandl

# Informatie

## Uitgever

TU Delft, Bouwkunde

## Adres

Julianalaan 134, 2628 BL Delft

## Auteurs

Frank van der Hoeven & Alexander Wandl

## Ontwerp

Sirene Ontwerpers, Rotterdam

## Graphics (p24-p25, p34-p39)

Frank van der Hoeven

## Datum

Juli 2015

## Rechten

CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## Verwijzing

Hoeven, F. D. van der, Wandl, A. (2015). Hotterdam. Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van inwoners, en wat er aan te doen is. Delft, Nederland: TU Delft.

## CPC

Dit onderzoek maakt deel uit van Climate Proof Cities dat op zijn beurt weer onderdeel is van het nationale onderzoeksprogramma 'Kennis voor Klimaat'.

## 3TU.Federatie

Een deel van dit onderzoek (Sensing Hotterdam) is een van de 3TU. BOUW lighthouse projects, mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van de 3TU.Federatie

## ISBN-13

978-94-6186-506-9

# Inhoud

Samenvatting	7
Waarom warmte	8
<b>Warmte in de stad van morgen</b>	11
Klimaat-scenario's KNMI'14	12
Bevolkings-prognose CBS	13
<b>Onderzoekskader</b>	19
Impact hittegolf juli 2006	20
Stedelijk warmte-eiland	22
Onderzoeks-vragen	26
Onderzoeks-gebied	27
Doel en methodes	28
<b>Sensing Hotterdam</b>	31
Crowd sensing	32
<b>Atlas</b>	41
Warmte	42
Sociaal	56
Fysiek	62
<b>Warmtekaarten</b>	73
Warmtekaart sociaal	74
Warmtekaart fysiek	76
<b>Adaptatie</b>	79
Annex	89



# Samenvatting

## Achtergrond

Hittegolven komen in de toekomst vaker voor in Rotterdam. Daarbij zijn vooral ouderen kwetsbaar, een groep die in omvang groeit. Gelet op de Parijse hittegolf van augustus 2003 en de Rotterdamse hittegolf van juli 2006 neemt de kans toe op een verhoogde sterfte onder met name oudere inwoners in de zomerperiode.

## Methode

Het doel van Hotterdam is een beter begrip ten aanzien van stedelijke warmte. In dat perspectief is warmte gemeten en de oppervlakte energiebalans gemodelleerd. Sociale en fysieke kenmerken van de stad zijn gedetailleerd in kaart gebracht met satellietbeelden, GIS en 3D-modellen. De verbanden tussen stedelijke warmte/oppervlakte energiebalans en de sociale/fysieke kenmerken van Rotterdam zijn bepaald aan de hand van multivariabele regressie analyse. De bepalende kenmerken voor de warmteproblematiek zijn vervolgens geclusterd en weergegeven in de warmtekaarten sociaal en fysiek.

## Resultaten

Het onderzoek resulteert in twee warmtekaarten, een atlas met achterliggende data, en een set van adaptatiemaatregelen die bij elkaar de stad Rotterdam en haar inwoners bewuster en weerbaarder maken ten aanzien van gezondheids-effecten tijdens hittegolven.

## Conclusie

De vooroorlogse stad (Noord, Zuid en West) is in verschillende opzichten warmer en kwetsbaarder dan andere delen van Rotterdam. De temperatuurmetingen die verricht zijn, bevestigen die bevindingen voor wat betreft de buitentemperatuur. De binnentemperatuur laat erg veel variatie zien. Woningen kennen een eigen dynamiek. Ouderdom van die woningen speelt daarbij een rol.

De plek van de bovengemiddelde sterfte van 75-plussers in juli 2006 in Rotterdam laat zich goed verklaren aan de hand van a) de concentraties van 75-plussers, b) de leeftijd van de woningen waarin ze wonen en c) de som van voelbare warmte en bodemwarmtestroom.

Een wisselende mix van verharding, oppervlaktewater, gebladerte, gebouwschil en schaduw maken de ene wijk of buurt warmer dan de andere wijk of buurt. Adaptatiemaatregelen liggen zowel op het bord van inwoners, woningeigenaren en gemeente en betreffen respectievelijk gedrag, fysieke maatregelen aan woningen en de inrichting van de stad.

# Waarom warmte

Bij klimaatverandering gaat de aandacht in Nederland vaak uit naar waterproblematiek. Denk bijvoorbeeld aan hevige buien, hoge rivierwaterstanden en zeespiegelstijging. Water is een bijna traditionele vijand. Overstroomde straten, rivieren die buiten hun oevers treden en kustafslag zijn tastbaar en mediageniek. Deze klimaateffecten spreken makkelijk tot de verbeelding en zijn eenvoudig onder de aandacht te brengen van een breed publiek. Met warmte gaat dat nog altijd moeilijker.

De effecten van warmte en met name warmte in stedelijke gebieden zijn vrij onbekend. Als er al (media)aandacht is voor warmte, dan gaat die uit naar de opwarming van de aarde als geheel, en de vraag of die opwarming op termijn meer of minder dan twee graden Celsius zal bedragen. Maar weinigen van ons weten dat in stedelijke gebieden de temperatuur van tijd tot tijd al tien graden Celsius hoger is dan in het buitengebied, en dat het in woningen grote delen van de dag warmer is dan buiten op straat. Warmte is onzichtbaar en de directe effecten van warmte onttrekken zich makkelijk aan het zicht. Dat tijdens hittegolven meer ouderen overlijden dan normaal is maar beperkt bekend en stuit zelfs op ongeloof.

Het helpt daarbij niet dat meteorologische instituten, zoals het KNMI, het weer bij voorkeur buiten de stad meten, op veilige afstand van de bebouwing. Die bebouwing beïnvloedt weliswaar de metingen maar door het weer te meten op plekken waar geen mensen wonen, weten we weinig over de blootstelling van stedelingen aan een veranderend stadsklimaat, en over de (lokale) effecten van warmte.

In deze context belicht Hotterdam de warmte-problematiek in een specifieke stad om de verbanden tussen klimaat en de stedelijke omgeving te schetsen. Dat doen we vanuit het besef dat het klimaat in de stad zich anders gedraagt dan daarbuiten terwijl het stadsklimaat van wezenlijke invloed is op het welzijn van de inwoners van de stad, in dit geval die van Rotterdam.





# Warmte in de stad van morgen

Het KNMI heeft verkenningen opgesteld voor een toekomstige klimaat in Nederland. Maar er verandert meer. De bevolkingsprognose voor Nederland laat zien dat het aantal ouderen fors toeneemt. En dat is juist dé groep die zo kwetsbaar is voor warmte. Over twintig jaar is meer dan een kwart van de bevolking ouder dan 65. Wat zo'n combinatie van extreem warm weer en ouderen dan concreet betekent, brengen we in beeld aan de hand van de hittegolf die Parijs trof in de zomer van 2003. Tezamen geeft dat een scherp beeld wat ons te wachten staat: meer warmte, meer kwetsbare inwoners, en (wanneer we niet handelen): meer warmte-doden.

# Klimaat- scenario's KNMI'14

Het KNMI heeft in 2014 nieuwe scenario's gepubliceerd voor de ontwikkeling van het toekomstig klimaat in Nederland. Die scenario's voorzien in voorspellingen voor de jaren 2050 en 2085. Op basis van die vier scenario's voorspelt het KNMI dat het aantal warme zomerdagen toeneemt, net als de kans op hittegolven. Tijdens hete zomers en lange droge periodes verslechtert de luchtkwaliteit. Temperatuurstijging leidt in de zomer tot meer sterfte. Een hete zomer zoals die van 2006 zal eerder regel dan uitzondering zijn.

Klimaatscenario's	Klimaat nu	Scenario G <sub>L</sub>	Scenario G <sub>H</sub>	Scenario W <sub>L</sub>	Scenario W <sub>H</sub>
	1981-2010	2071-2100	2071-2100	2071-2100	2071-2100
Warmste zomerdag per jaar	24,7 °C	+2,0 °C	+2,6 °C	+3,6 °C	+4,9 °C
Aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)	21 dagen	+30%	+50%	+90%	+130%
Aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	0,1 dagen	+0,9%	+1,2%	+4,5%	+7,5%

Kerncijfers KNMI'14 klimaatscenario's voor wat betreft temperatuur.

De vier scenario's van het KNMI verschillen van elkaar qua temperatuurstijging wereldwijd en de mogelijke verandering van het luchtstromingspatroon. G staat voor een gematigde wereldwijde temperatuurstijging en W staat voor een sterke temperatuurstijging wereldwijd.

Beide scenario's kennen elk twee varianten: G<sub>L</sub> en G<sub>H</sub>, en W<sub>L</sub> en W<sub>H</sub>. L staat voor een lage waarde voor de verandering van het patroon van luchtstromingen. H staat voor een hoge waarde.

# Bevolkings- prognose CBS

Het Centraal Bureau voor de Statistiek heeft een prognose gemaakt voor de bevolkingsontwikkeling 2012-2060.

Het aantal van 65+ers loopt in de periode tot 2040 snel op van 2,8 miljoen naar 4,7 miljoen om daarna te stabiliseren op iets meer dan een kwart van de bevolking.

Prognose bevolkingsontwikkeling	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Totaal (miljoenen)	16,9	17,1	17,4	17,6	17,7	17,8	17,8	17,9	17,9	17,9
65 jaar en ouder (miljoenen)	3,0	3,4	3,8	4,2	4,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
65 jaar en ouder (percentage)	17,8	19,8	21,8	23,9	25,6	26,5	26,4	26,2	26,1	26,3

CBS prognose voor de bevolkingsontwikkeling van Nederland en het aantal 65+ers daarbinnen

# Hitte in Parijs, augustus 2003

De hittegolf die Europa trof in augustus 2003 maakte pijnlijk duidelijk dat we als samenleving kwetsbaar zijn voor warm weer. Wanneer er die zomer één situatie was die indruk maakte op experts, politici en burgers dan was dat wel de humanitaire ramp in Parijs, Frankrijk. Deze voltrok zich begin augustus 2003 en trof vooral ouderen.

## Massale sterfte ouderen en een inefficiënte overheid

Normaal overlijden rond de 30 tot 50 mensen per dag in Parijs. Tijdens de hittegolf begin augustus 2003 loopt dat aantal fors op en piekt het dagelijkse dodental zelfs even boven de 400. Achteraf is vastgesteld dat in deze periode in Frankrijk 14.800 mensen zijn overleden als gevolg van de hitte. Het onvermogen van de Franse autoriteiten om doeltreffend te handelen leidde tot een parlementaire enquête. Deze heeft vastgesteld dat men het effect van de hitte op de volksgezondheid niet heeft zien aankomen, dat het signaleren van doden te kort schoot, en dat de acties van de hulpdiensten weinig effectief waren door een gebrek aan experts, door slecht functionerende gezondheidsdiensten en door een gebrekkige uitwisseling van informatie tussen overheidsinstanties.

## Meer of minder risico op overlijden tijdens de hittegolf

Nadien er is nogal wat onderzoek gedaan naar het verband tussen de hittegolf, het warmte-eiland en het overlijden van met name ouderen. Eén zo'n onderzoek (Dousset & Gourmelon, 2011) suggereert dat er een belangrijke samenhang bestaat tussen het overlijden van ouderen en het nachtelijk warmte-eiland. Een ander onderzoek (Vandentorren, Bretin, Zeghnoun, Mandereau-Bruno, Croisier, Cochet, ... Ledrans, 2006) laat zien dat bepaalde ouderen meer risico liepen dan anderen. In de hittegolf van 2003 in Parijs overleden ouderen met name wanneer ze bedlegerig waren, last hadden van hart- en vaatziekten of van neurologische aandoeningen, maar ook wanneer ze woonden in oude gebouwen met slechte isolatie, wanneer ze woonden in gebieden met een sterk warmte-eiland effect, en wanneer ze sliepen in een slaapkamer direct onder het dak. Daarentegen liepen ouderen juist minder kans op overlijden wanneer ze zich licht kleedden, wanneer ze gebruik maakten van verkoelende voorzieningen (ventilator of airco) en wanneer ze bewust handelden (door bijvoorbeeld de ramen te openen wanneer het buiten koeler was, of door bijvoorbeeld voldoende water te drinken).



05  
AUG



PARIJS: Uitzicht over de daken van een Parijs dat bedekt is door een dikke laag smog. Na het breken van tal van **hitterecords**, worstelt Parijs en Île de France met de gevolgen van **zware luchtverontreiniging**. Links nog net te zien: Tour Montparnasse, en rechts: de Eiffeltoren. Warmte en (zomer)smog gaan samen en hebben allebei een negatief effect op de volksgezondheid. [foto: AFP]

13  
AUG



PARIJS: Brandweerlieden brengen een oude man die lijdt aan oververhitting binnen in een militair ziekenhuis in Saint-Mandé, Parijs. Een vooraanstaande Parijse arts stelt dat **al meer dan 100 mensen zijn overleden als gevolg van de hittegolf** waaronder Frankrijk al een week gebukt gaat. Ziekenhuizen in heel Frankrijk worden overspoeld met **bejaarde patiënten met hitteklachten** en hebben onvoldoende capaciteit om de stroom patiënten aan te kunnen. [foto: AFP]

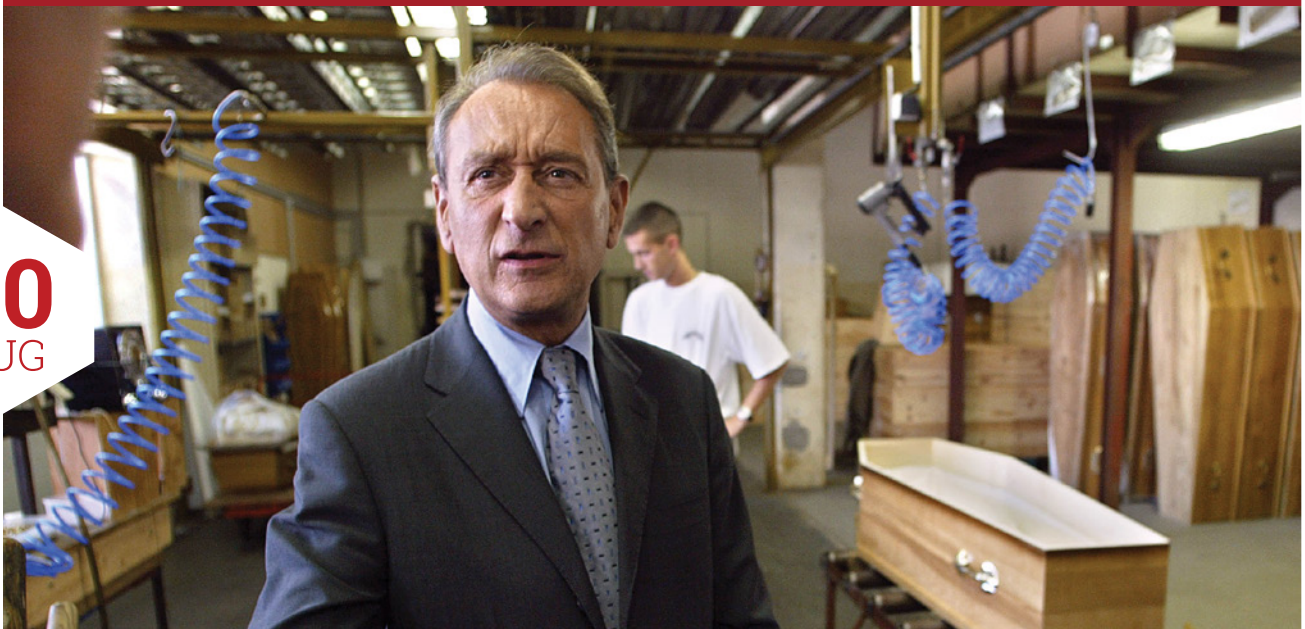


15  
AUG



PARIJS: Parijse begrafenisondernemers bezorgen een stoffelijk overschot bij een **geïmproviseerd lijkenhuis** dat de nacht daarvoor is ingericht met plaats voor tot wel **70 lichamen**. [foto: AFP]

20  
AUG



PARIJS: De Parijse burgemeester Bertrand Delanoë spreekt met een medewerker van de Parijse begrafenisondernemer. Franse begrafenisondernemers melden vandaag dat er **deze maand al meer dan 10.400 méér doden zijn dan gebruikelijk** in augustus. Precies een week daarvoor werd nog door medici gewaarschuwd voor slechts 100 extra doden. Wanneer de hittegolf uiteindelijk voorbij is wordt het definitieve dodental vastgesteld: 14.800 slachtoffers in heel Frankrijk. [foto: AFP]



24  
AUG



FRANKRIJK, Ivry-sur-Seine: Binnen en buiten een loods in de Parijse buitenwijk Ivry-sur-Seine staan **koelwagens opgesteld, geladen zijn met slachtoffers van de hittegolf**. De **mortuaria in Parijs en Île de France kunnen het werk niet meer aan**. Terwijl 130 lichamen zijn opgeslagen in koel wagens is de **wettelijke termijn voor het begraven van lijken opgerekt van 6 tot 10 dagen** als gevolg van de achterstand die is ontstaan bij het verwerken van de doden. [foto: AFP]

03  
SEPT



FRANKRIJK, Thiais: De Franse president Jacques Chirac komt aan bij de begraafplaats in de Parijse voorstad Thiais. 57 inwoners van Parijs werden die dag begraven in een officiële ceremonie die bijgewoond werd door Chirac en de Parijse burgemeester Bertrand Delanoë. **De Parijzenaren zijn vorige maand overleden tijdens de catastrofale hittegolf. Hun lichamen zijn echter niet opgeëist door nabestaanden**. Vereenzaamde inwoners en thuislozen vormen een bijzondere categorie binnen de groep die kwetsbaar is voor hitte. [foto: AFP]





# Onderzoeks- kader

Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht over de zaken die het kader vormen van het Hotterdam-onderzoek:

- impact hittegolf zomer 2006;
- het stedelijke warmte-eiland;
- de onderzoeksvragen;
- de afbakening van het onderzoeksgebied binnen de gemeente Rotterdam;
- en de methodes die gebruikt zijn (zoals crowd sensing, remote sensing, multivariabele regressie analyse en cluster analyse).

# Impact hittegolf juli 2006

De hittegolf die Frankrijk zo hard trof in 2003, had nauwelijks invloed op de sterfte onder ouderen in Rotterdam. Drie jaar later is dat anders. In juli 2006 doen zich een twee hittegolven voor, vlak na elkaar. Daarmee gaat die maand de Nederlandse geschiedenis in als de warmste in 300 jaar. Die hitte is terug te lezen in de Rotterdamse sterftcijfers. In juli 2006 zijn 75 oudere inwoners méér overleden dan in een gemiddelde maand juli (gemeten over 2000 - 2013).

## 1000 doden in heel Nederland

Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) heeft vastgesteld dat in juli 2006 duizend mensen meer zijn overleden in Nederland dan in een gemiddelde maand juli. Die sterfte trad met name op in het westen van het land. Het CBS laat in deze context ook zien dat het verband tussen de pieken in temperatuur en sterfte een vertraging (time-lag) kent van twee dagen. Met die duizend doden als gevolg van de dubbele hittegolf plaatste Nederland zich in 2006 vierde op de wereldranglijst van natuurrampen, gemeten naar het aantal dodelijke slachtoffers. Het gaat hier om een ranglijst die wordt bijgehouden door het Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).

## In Rotterdam: twee keer boven landelijk gemiddelde

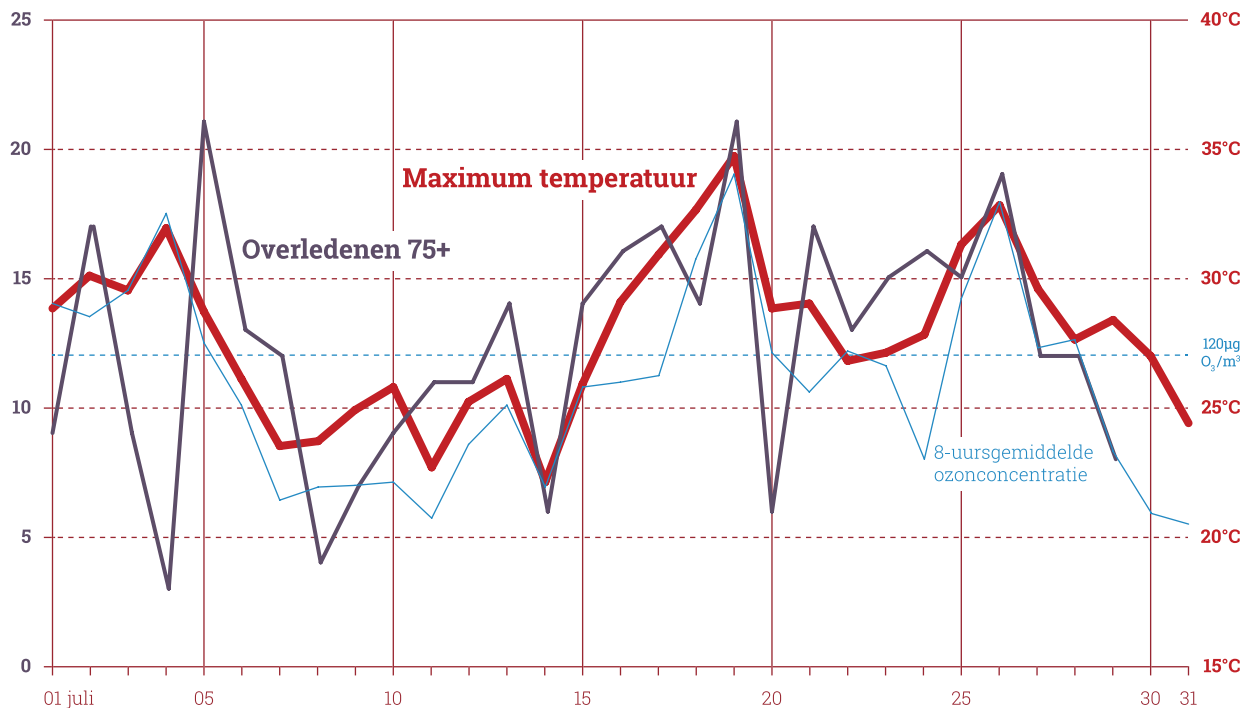
Om het effect van warmte op ouderen in Rotterdam te schetsen, hebben we een overzicht opgesteld van de gemiddelde maximum temperaturen in de zomermaanden juni, juli en augustus over de periode 2000-2013 en het aantal overleden 75-plussers. Juli 2006 steekt in twee opzichten boven de andere maanden uit. Er is geen zomermaand met zo'n hoge gemiddelde maximum temperatuur in Rotterdam: 27,8 °C, en er is andere geen andere maand met zo'n hoge sterfte onder 75-plussers in Rotterdam: 385.

De hoge sterfte in juli leidt niet tot een dip in het aantal sterfgevallen in augustus dat jaar. Dat aantal ligt net iets boven het gemiddelde. De vermelde temperatuur is overigens op Rotterdam The Hague Airport gemeten, dus net buiten de stad. De feitelijke temperatuur in de stad waar de 75-plussers wonen is als gevolg van het stedelijk warmte-eiland hoger, met name 's nachts. Met een Nederlandse bevolking van 16.3 miljoen inwoners (2006) en 1000 extra overledenen, zouden we voor de gemeente Rotterdam met 589.000 inwoners (2006) op 36 extra overledenen moeten rekenen. Op basis van gegevens die de gemeente Rotterdam verstrekt heeft, stellen we vast dat in juli 2006 onder 75-plussers een bovenmatige sterfte van 75 inwoners optrad. Dat is twee keer boven het landelijk gemiddelde. En dan hebben we het alleen nog over de sterfte onder 75-plussers en niet onder andere groepen. De uitsplitsing per dag in de maand juli laat zien dat de piek in de sterfte onder 75-plussers inderdaad twee tot drie dagen optreedt na de piek in temperatuur. Ook het verband met ozon concentraties is opvallend.

Gemiddelde maximum temperatuur versus het aantal overleden 75+ ers

Jaar	Gem. max. temp.	Overledenen 75+	Gem. max. temp.	Overledenen 75+	Gem. max. temp.	Overledenen 75+
	juni		juli		augustus	
2006	21,3 °C	308	27,8 °C	385	20,5 °C	293
Gem. 2000-2013	20,7 °C	298	22,4 °C	310	22,3 °C	292

Zomer 2006 en gemiddelde zomer 2000-2013 in Rotterdam, gemiddelde maximum temperatuur en aantal overleden 75-plussers.



Hittegolf 2006 in Rotterdam, sterfte 75-plussers (time-lag twee dagen), maximum temperatuur overdag en ozon.

De rode lijn geeft de maximum dagtemperatuur weer. De schaal is rechts weergegeven in graden Celsius. De concentraties ozon zijn weergegeven met de blauwe lijn. Hier is rechts de Europese streefwaarde aangegeven van 120 microgram (µg) per kubieke meter lucht. De sterfte onder 75-plussers is weergegeven met de paarse lijn. De cijfers zijn twee dagen naar voren gehaald met oog op de time-lag. Door dit verschuiven met twee dagen vallen de pieken van temperatuur, warmte en ozon inderdaad samen.

# Stedelijk warmte-eiland

Een warmte-eiland is een gebied met een temperatuur die hoger is dan z'n omgeving. Wanneer een stad zo'n warmte-eiland veroorzaakt, spreken we van een stedelijk warmte-eiland (urban heat island). Rotterdam heeft duidelijk te maken met een stedelijk warmte-eiland effect.

## Oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur

Bij een stedelijk warmte-eiland is de temperatuur in de stad hoger dan de temperatuur in de landelijke of natuurlijke omgeving. Op dat punt is er nogal eens spraakverwarring. Spreekt men dan over de luchttemperatuur, of over de oppervlaktetemperatuur?

Grote temperatuurverschillen op het aardoppervlak treden vooral op overdag wanneer de zon schijnt. Verschillen wat betreft de luchttemperatuur tussen stad en omgeving treden 's avonds op na zonsondergang. Het warmte-eiland overdag (oppervlaktetemperatuur) is de veroorzaker van het warmte-eiland 's nachts (luchttemperatuur). Overdag warmt de bodem en de bebouwing op. 's Nachts wordt die warmte weer afgegeven. Daardoor blijft het langer warm in de stad 's avonds en 's nachts.

## Schaduw en sky view

In de stad staan gebouwen relatief dicht bij elkaar. Dat geeft schaduw en vermindert de opwarming. Echter, door die compacte bebouwing koelt de stad ook langzamer af. In vakjargon wordt gesproken over de zogenaamde sky view factor, de mate waarin een gebouw blootgesteld is aan het hemelgewelf. Is die factor hoog en is het gebouw aan alle kanten blootgesteld aan de hemel, dan koelt het snel af. Dat verklaart waarom het platteland rond de stad snel afkoelt en de stad zelf niet.

# Relatie met de binnentemperatuur

In onderzoeken naar het verband tussen gezondheid en warmte gebruikt men meestal de buitentemperatuur zoals die gemeten wordt door een meteorologisch instituut, zoals in Nederland het KNMI. Die temperatuur wordt buiten de stad gemeten in de buitenlucht. De meeste mensen verblijven echter het grootste deel van de dag in woningen of in andere gebouwen in de stad. Daarom kijken we in dit onderzoek ook naar de binnentemperatuur van woningen in Rotterdam. Is de warmteontwikkeling in woningen een goede indicator voor de gezondheid van inwoners of is de buitentemperatuur in de stad dat?

## Oppervlakte energiebalans

Warmte, zoals we die in de stad ervaren, is het product van de zogenaamde oppervlakte energiebalans (surface energy balance).

De oppervlakte energiebalans gaat uit van het principe dat energie niet verloren gaat. Dat betekent dat de netto energie die het stadsoppervlak ontvangt van de zon, gelijk is aan de energie die omgaat in de warmteprocessen die in de stad plaatsvinden, zoals: opwarming van lucht door convectie (voelbare warmte), verdamping van water en transpiratie door bomen en planten (latente warmte), en de opname van warmte in de bodem, bebouwing, en oppervlaktewater (bodemwarmtestroom).

In formulevorm ziet de oppervlakte energiebalans er als volgt uit:

$$Q^* = Q_E + Q_H + Q_S$$

<b>Q*</b>	Netto zonnestraling die het aardoppervlak ontvangt
<b>QE</b>	Energie die gebruikt wordt voor verdamping (door water en groen)
<b>QH</b>	Voelbare warmte (omzetting warmte van oppervlakte naar lucht)
<b>QS</b>	Energie opgenomen door bodem, bebouwing, en oppervlaktewater



$Q^*$

## Netto zonnestraling

Netto zonnestraling ( $Q^*$ ) is de energie die het aardoppervlak ontvangt van de zon. Het aardoppervlak heeft echter eigenschappen die de straling kan weerkaatsen of uitstralen: albedo en emissiviteit. Albedo drukt de mate uit waarin het aardoppervlak straling weerkaatst. Emissiviteit geeft de mate weer waarin het oppervlak straling die het ontvangen heeft weer uitstraalt. De straling die weerkaatst wordt draagt niet bij aan de opwarming van de stad of haar regio, tenzij de straling teruggekaatst wordt door bewolking of luchtverontreiniging.



$Q_E$

## Latente warmte

Latente warmte ( $Q_E$ ) is de energie die nodig is voor de verdamping van water. Groen is een belangrijke 'gebruiker' van latente warmte. Bomen vangen echter niet alleen warmte af. Ze hebben als bijkomend voordeel dat ze schaduw bieden.

Oppervlaktewater werkt verkoelend zolang de warmte die het ontvangt, opgaat aan verdamping. Echter, een deel van die warmte wordt opgeslagen in het water zelf en draagt 's nachts bij aan het warmte-eiland. Veel oppervlakte, maar weinig diepte is hierbij het advies. Fonteinën doen het bijvoorbeeld prima.



$Q_H$

$Q_E$

$Q_S$

$Q_S$





QH

## Voelbare warmte

Voelbare warmte (QH) is de energie die nodig is voor het verwarmen van lucht. Deze opwarming vindt met name plaats boven oppervlaktes met een hoge temperatuur (denk bijvoorbeeld aan asfaltdaken). In de omzetting van oppervlaktetemperatuur naar luchttemperatuur spelen (kleine) turbulenties in de lucht een belangrijke rol. Deze turbulenties worden aangeduid als 'eddies'.



QS

## Bodemwarmtestroom

Een belangrijk deel van de straling van de zon gaat niet naar de opwarming van de lucht of naar de verdamping door vegetatie. Straling wordt ook opgeslagen als warmte in de bodem, in gebouwen, en in oppervlaktewater (QS). De opgeslagen warmte is vrijwel geheel verantwoordelijk voor het nachtelijk warmte-eiland.

Wanneer het stadsoppervlak en de daarbij behorende bebouwing goed blootgesteld is aan het hemelgewelf dan koelt de stad relatief snel af. Wanneer de blootstelling geblokkeerd wordt door bebouwing of door bomen dan blijft de warmte langer vast in de stad met als gevolg relatief hoge nachtelijke temperaturen. De mate van blootstelling aan het hemelgewelf is vevat in een speciale indicator, de sky view factor.



Q\*



QH



QE



QS

# Onderzoeks- vragen

Het Hotterdam-onderzoek kijkt naar de warmteproblematiek in de stad Rotterdam, vanuit het perspectief van klimaat-adaptatie: het aanpassen van het gedrag van inwoners, woningverbetering, en ingrepen in de fysieke leefomgeving.

Hotterdam is daarmee het vervolg op een eerdere studie 'Amsterwarm' waarin we het warmte-eiland van de stad Amsterdam onderzocht hebben.

## **01 We beginnen het Hotterdam-onderzoek met het vaststellen van de (ruimtelijke) omvang van de stedelijke warmteproblematiek in Rotterdam:**

Welke delen van Rotterdam ondervinden het stedelijk warmte-eiland effect het sterkst, en hoe verhoudt de buitentemperatuur zich tot de opwarming van woningen?

## **02 Vervolgens is het de vraag of inwoners van de stad daadwerkelijk schadelijke gevolgen ondervinden van de warmte binnen- of buitenshuis:**

Bestaat er een verband tussen de warmteproblematiek in de stad Rotterdam en de volksgezondheid met betrekking tot een verhoogde sterfte van 75-plussers?

## **03 Aangenomen dat er verschillen bestaan qua warmte en gezondheid tussen de verschillende Rotterdamse buurten:**

Zijn de verschillen qua warmte tussen de Rotterdamse wijken en buurten te verklaren aan de hand van fysieke kenmerken van de stad?

## **04 Constateren dat zaken niet goed gaan is onbevredigend wanneer we niet tegelijkertijd oplossingen bieden:**

Welke partij kan zelf welke actie ondernemen bij het oplossen van de warmte-problematiek in Rotterdam?



# Onderzoeks- gebied

Rotterdam staat dus centraal in het Hotterdam-onderzoek. De keuze voor Rotterdam als onderzoeksgebied is ingegeven door de deelname van de 'hotspot' Rotterdam aan het project 'Climate Proof Cities'.

## De gemeente Rotterdam, maar dan zonder haven

De gemeente Rotterdam telde eind 2014 ruim 620.000 inwoners. Een groot deel van het grondgebied wordt in beslag genomen door de Rotterdamse haven. Dat deel van de gemeente is niet meegenomen in het onderzoek. Het onderzoeksgebied betreft het oostelijk deel van de gemeente waarbij de Oude Maas de grens vormt, en omvat de kernen Rotterdam, Hoogvliet, Pernis, Heyplaat en Kralingse Veer.



Onderzoeksgebied binnen de gemeente Rotterdam

# Doel en methodes

Het doel van het Hotterdam-onderzoek is het beter begrijpen van stedelijke warmte in Rotterdam om vandaaruit een verband te leggen met de gezondheid van de Rotterdamse bevolking en de kenmerken van de fysieke ruimte die de stad meer of juist minder warm maken. Die inzichten moeten de stad Rotterdam en haar inwoners bewuster én weerbaarder maken ten aanzien van de gezondheidseffecten van hittegolven.

## Metten, analyseren en in kaart brengen

In het Hotterdam-onderzoek staan dus drie zaken centraal: stedelijke warmte, sociale factoren en fysieke factoren. Stedelijke warmte en de oppervlakte energiebalans zijn bepaald aan de hand van crowd sensing en remote sensing. Sociale en fysieke factoren zijn in kaart gebracht met satelliet beelden, GIS en 3D-modellen.

De verbanden tussen stedelijke warmte/oppervlakte energiebalans en sociale/fysieke factoren zijn bepaald met behulp van multivariabele regressie analyse. De sociale en fysieke kenmerken die er toe doen zijn vervolgens geclusterd en verwerkt in de warmtekaarten sociaal en fysiek. De warmtekaarten en de achterliggende data bieden inzicht in de mechanismen die inwoners van Rotterdam kwetsbaar maken voor hittegolven. Op basis van die inzichten schetsen we kort de belangrijkste adaptatiemaatregelen waarmee huurders, woningeigenaren (eigenwoningbezitters, vve's, corporaties) en de gemeente ieder voor zich gedrag, woningkwaliteit en stedelijke omgeving kan aanpassen aan warm weer.





# Sensing Hotterdam

Als onderdeel van het Hotterdam onderzoek is in de zomer van 2013 de temperatuur gemeten bij 1000 Rotterdammers thuis en op 300 plaatsen in de openbare ruimte.

# Crowd sensing

In de zomer van 2014 hebben we zelf temperatuurmetingen verricht in Rotterdam. Dit werd mogelijk door een financiële bijdrage van het 3TU. BOUW center of excellence for the Built Environment voor het project 'Sensing Hotterdam'.

## Temperatuursensoren

Voor Sensing Hotterdam hebben gebruik maken van een groot aantal burgers om metingen te verrichten. Dit wordt ook wel aangeduid als 'crowd sensing'. We hebben de stad verdeeld in twintig gebieden. Binnen elk van die gebieden zijn vijf straten geselecteerd. Deze zijn zo gekozen dat ze de diversiteit van het betreffende deel van de stad weerspiegelen. Studenten zijn vervolgens gevraagd om in elke straat tien huishoudens te vinden om mee te doen aan het onderzoek. De studenten hebben bewoners gevraagd om gedurende twee maanden een temperatuursensor (merk: Paksense) in de woonkamer te plaatsen. Driehonderd van dezelfde sensoren zijn in de geselecteerde straten geplaatst om de temperatuur ook buiten te meten. Na twee maanden hebben we 800 van de 1000 sensoren terugontvangen van de bewoners. Ook hebben we 200 sensoren kunnen terughalen die in de straten waren aangebracht.

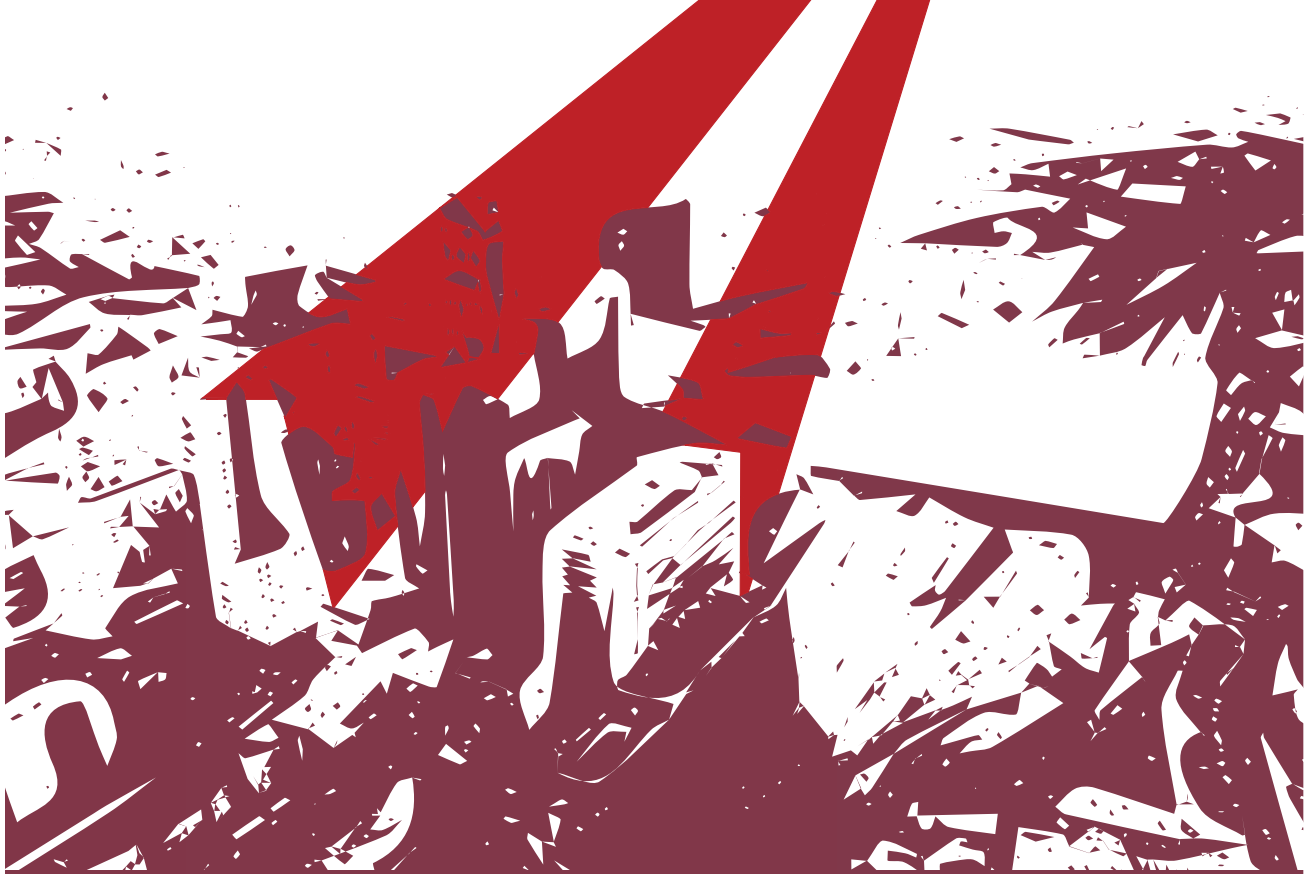
## Binnen- én buitentemperatuur gemeten

De binnentemperatuur is gemeten met temperatuur sensors (merk: Paksense). Deze zijn aan bewoners verstrekt. Gevraagd is om de sensors in de woonkamer te plaatsen, uit de zon. De metingen vonden plaats over de periode eind juli tot en met half september 2014.

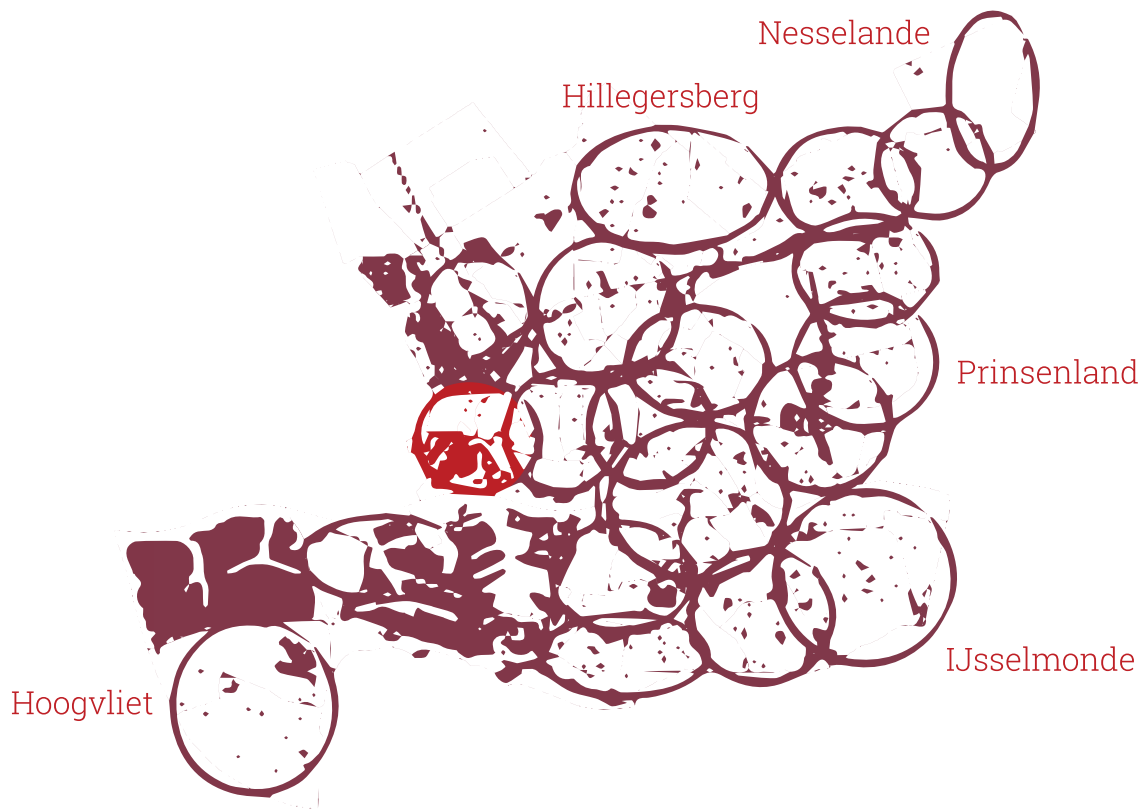
De buitentemperatuur is eveneens gemeten met temperatuur sensors (merk: Paksense). De sensors zijn op twee meter hoogte aangebracht in de openbare ruimte. De metingen vonden in dezelfde periode plaats als de binnentemperatuurmetingen, en wel in de straten waar bewoners benaderd zijn om mee te doen in de binnentemperatuurmetingen.

De metingen met de sensors die buiten aangebracht zijn, zijn bruikbaar als indicator voor de temperatuur na zonsondergang. De resultaten zijn minder goed bruikbaar voor de bepaling van de temperatuur overdag. Overdag worden de sensors op gezette tijden blootgesteld aan directe zonnestraling. Testmetingen lieten overdag soms uitschieters zien die niet representatief waren voor de luchttemperatuur.





**01** Sensing Hotterdam (het onderzoek naar warmte in de stad), heeft Rotterdam opgedeeld in twintig gebieden,







02

In elk gebied zijn vijf representatieve straten geselecteerd, met als doel tien huishoudens te vinden in elke straat.



Ik kan het geld  
gewoon goed gebruiken

Interessant hoor,  
Meewerken aan onderzoek!



03

Twaalf studenten kregen een vakantiejob aangeboden,  
met als taak per straat die tien huishoudens te vinden.

Leuk, ik doe mee,  
wat moet ik doen?



### WAT HOUDT HET PROJECT IN?

Wat meten en 1000 huizen in Amsterdam

### HOE DOET U MEE?

Zet de kaart met de temperatuurmeter in de woonkamer niet in de zon of in de buurt van een warmtebron zoals de TV. Hoe het te doen is te zien op de kaart.

### HOE LANG DUURT HET?

Na ongeveer zes weken wordt de kaart weer opgehaald. Bent u niet thuis dan ontvangt u een etouvienvoer in de bus.

### MEER WETEN?

E-mail: [fooyande@open.nl](mailto:fooyande@open.nl)  
[AlexWang@tudelft.nl](mailto:AlexWang@tudelft.nl)  
[www.hotterdam.eu](http://www.hotterdam.eu)

Mogelijk gemaakt door TVOEN, NRC, JNBOUW

# Hotterdam

hoe warm wordt het bij u in huis?



04

Om daar een kaart achter te laten met een korte uitleg, en met aan de achterkant een temperatuursensor.

Postcode

\_\_\_\_\_

Huisnummer

\_\_\_\_\_

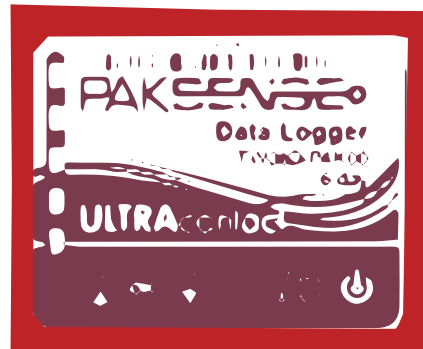
U was op vakantie en niemand was thuis?  
Zo ja, dan graag de data vermelden wanneer u de kaart teruggeeft of stuurt.

Afwezig van

\_\_\_\_\_

Volc

\_\_\_\_\_



De temperatuurmeter knippert  
Dat hoort zo



05

Zo hebben 1000 sensors de binnentemperatuur gemeten, en 300 sensors de nachtelijke buitentemperatuur.





06

Met als resultaat twee warmtekaarten (sociaal en fysiek) die kunnen helpen, voorkomen dat ouderen onnodig overlijden bij hittegolven.



Ik ga graag onbezorgd de zomer in!



# Atlas

De atlas omvat de onderzoeksgegevens die de basis vormen voor de warmtekaarten. De kaarten zijn gemaakt in een Geografisch Informatie Systeem (GIS): ArcGIS. Alle informatie is verzameld op basis van een grid van honderd bij honderd meter.

Voor elk van de afzonderlijke gridcellen (of pixels) zijn numerieke waarden berekend met betrekking tot de sociale en fysieke kenmerken van de stad Rotterdam. Daarbij is gebruik gemaakt van drie belangrijke bronnen: satellietbeelden GIS-data, en 3-D modellen. De atlas is opgedeeld in drie onderdelen: warmte, sociaal en fysiek.

# Warmte

In kaart brengen van de (ruimtelijke) dimensie van warmte in de gemeente Rotterdam.

## Achtergrond

Het KNMI verricht slechts op één plaats metingen in de gemeente Rotterdam: op het terrein van de luchthaven en dat is buiten de stad. Met die metingen zijn geen verschillen tussen de buurten onderling vast te stellen. Ook ontbreekt het inzicht in de binnentemperatuur van woningen. Wanneer we de verhouding tussen warmte, gezondheid en ruimte beter willen begrijpen dan hebben we een gedetailleerder beeld nodig van warmte in de stad en van de processen die die warmte bepalen: het stedelijk warmte-eiland en de oppervlakte energiebalans. Dit deel van de atlas biedt op dat punt nieuwe inzichten.

## Methode

Voor deze studie zijn drie temperaturen bepaald: de oppervlakte temperatuur, de buiten- en binnen(lucht)temperatuur. Voor de oppervlaktetemperatuur is gebruik gemaakt van remote sensing. De nachtelijke buiten(lucht)temperatuur en de binnen(lucht)temperatuur zijn bepaald aan de hand van crowd sensing. De oppervlakte energiebalans is gemodelleerd met remote sensing software (ATCOR2).

## Resultaten

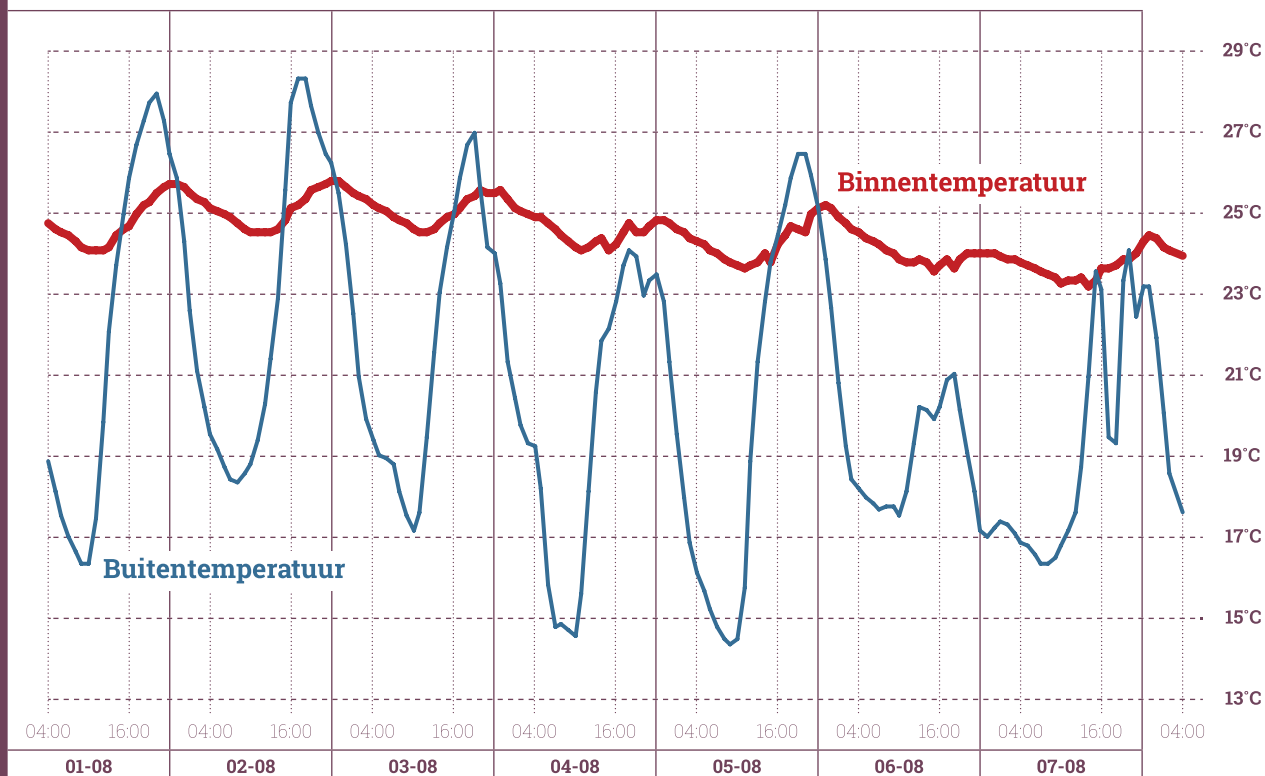
De resultaten van het in kaart brengen van warmte zijn de kaarten met betrekking tot luchttemperatuur buitenshuis, luchttemperatuur binnenshuis, oppervlaktetemperatuur, netto straling, voelbare warmte, latente warmte en bodemwarmtestroom.

## Conclusie

Het in kaart brengen van de luchttemperatuur, oppervlaktetemperatuur en energiebalans wijst op een duidelijk warmte-eiland effect in Rotterdam. Het warmte-eiland is het sterkst op de terreinen voor havens, industrie en bedrijven. Het centrum en de vooroorlogse wijken in Noord, Zuid en West ondervinden het warmte-eiland eveneens. De temperatuur in woningen is doorgaans hoger dan de temperatuur in de omgeving, en laat tevens een grote mate van variatie zien. De binnentemperatuur wordt minder door de buitentemperatuur in de buurt bepaald dan we verwachtten.



# Luchttemperatuur binnen/buitenshuis



**Inhoud** Luchttemperatuur 's avonds/'s nachts gemeten in geselecteerde woningen en straten in Rotterdam. Bovenstaand zijn de grafieken weergegeven met de gemiddelden van alle binnen- en buitentemperatuurmetingen in de eerste week van augustus 2014. De binnentemperatuur schommelt veel minder en is veelal hoger dan de buitentemperatuur, met uitzondering gedurende de middag. Er is dus veel gelegenheid om de woning natuurlijk te koelen, met name 's nachts.

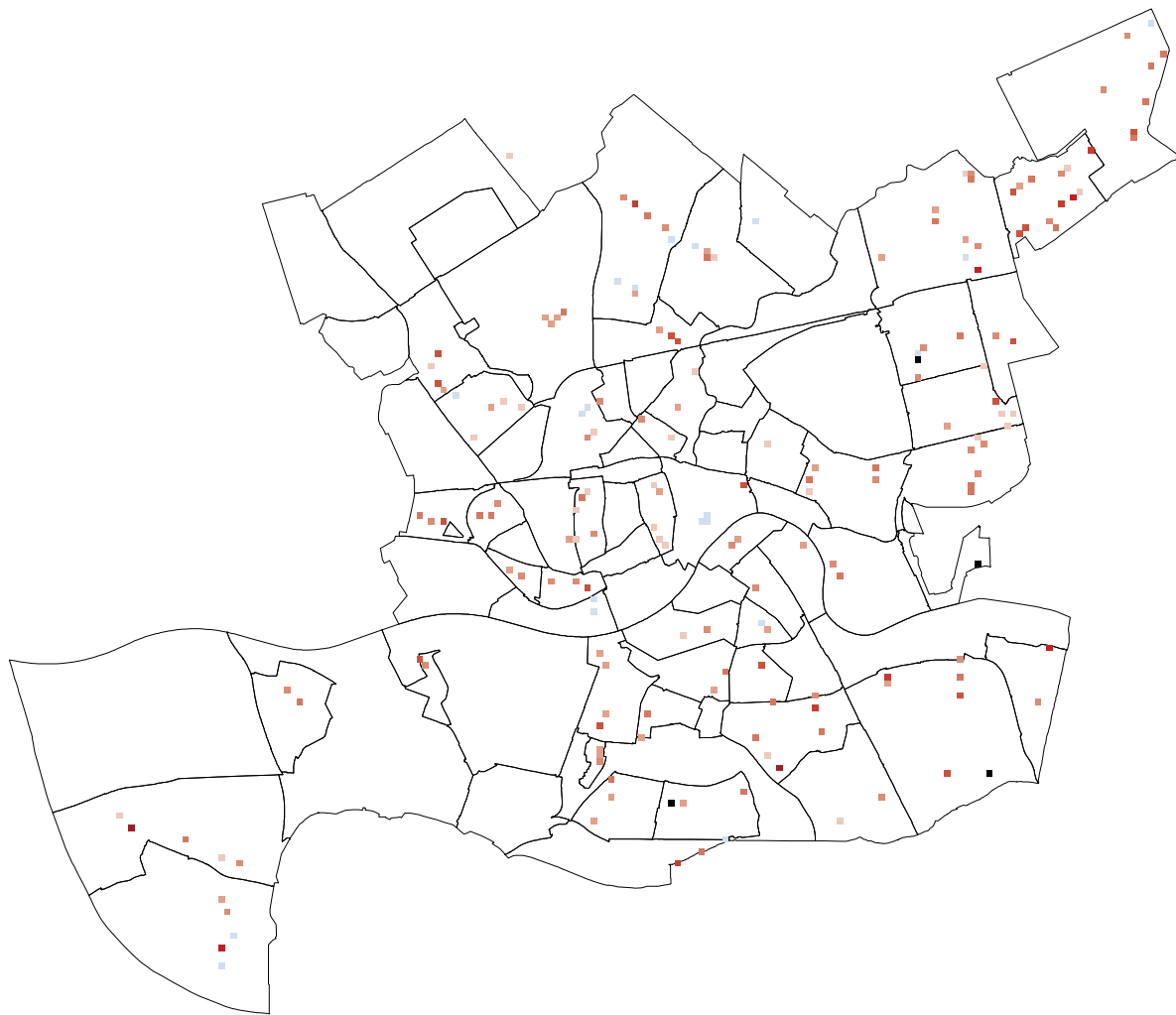
**Waardes** Graden Celsius

**Methode** Metingen met Paksense temperatuur-sensoren

**Software** ArcGIS

**Data** Crowsensing, eerste week van augustus 2014

# Luchttemperatuur buitenshuis 18:00



## Legenda

≤25,0 >25,0 ≤25,5 >25,5 ≤26,0 >26,0 ≤26,5 >26,5 ≤27,0 >27,0 ≤27,5 >27,5 ≤28,0 >28,0 ≤28,5 >28,5 ≤29,0 >29,0

## Inhoud

Luchttemperatuur 's avonds gemeten in geselecteerde straten in Rotterdam om 18:00, op 2 augustus 2014. De temperatuur in het centrum en de wijken daar omheen zijn relatief koel.

## Waardes

Graden Celsius

## Methode

Metingen met Paksense temperatuur-sensoren

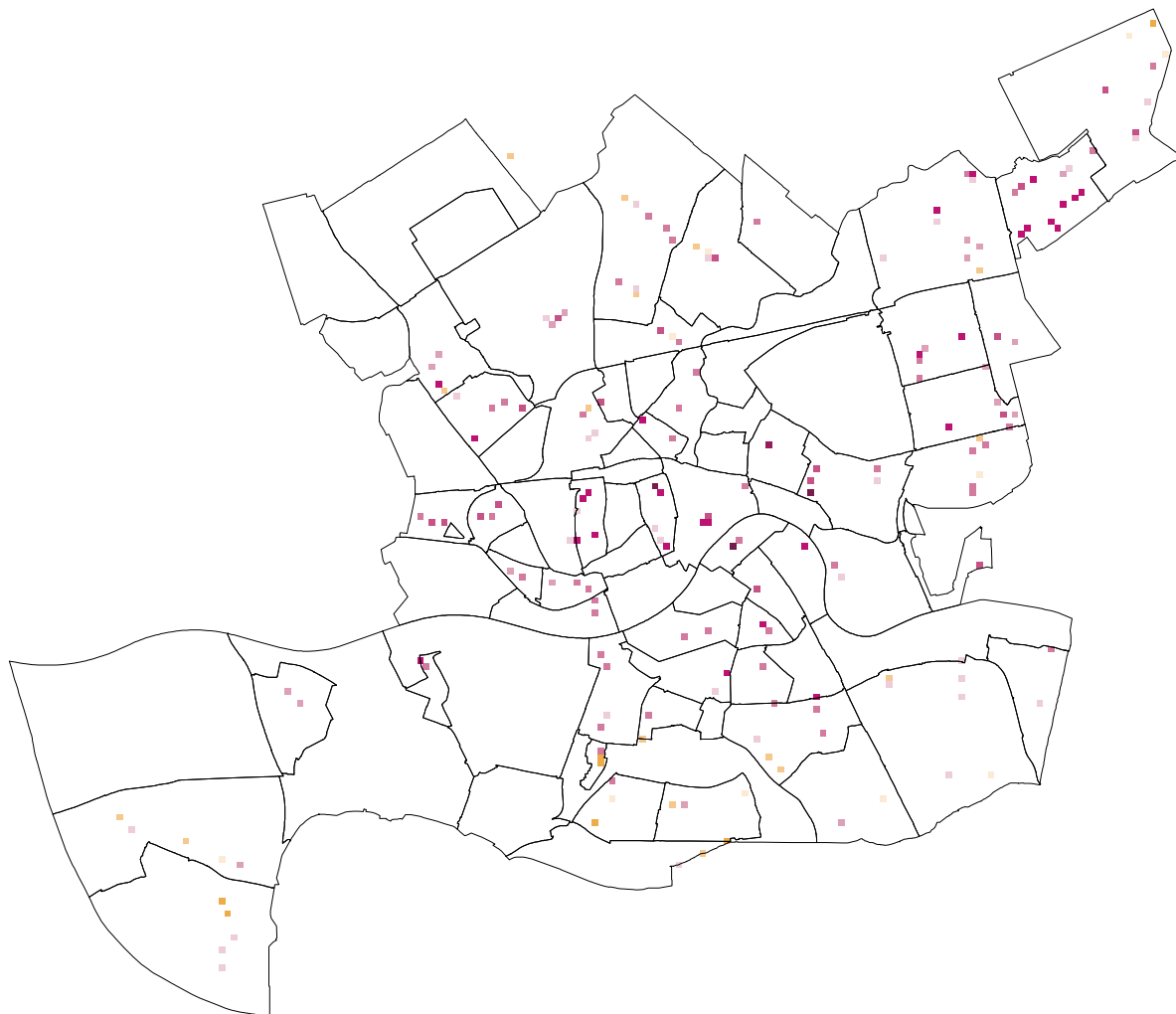
## Software

ArcGIS

## Data

Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Luchttemperatuur buitenshuis 03:00



**Legenda**       $\leq 17,75$      $>17,75 \leq 18,0$      $>18,0 \leq 18,25$      $>18,25 \leq 18,50$      $>18,5 \leq 18,75$      $>18,75 \leq 19,00$      $>19,00 \leq 19,25$      $>19,25 \leq 19,50$      $>19,50 \leq 19,75$      $>19,75$

**Inhoud**      Luchttemperatuur 's nachts gemeten in geselecteerde straten in Rotterdam om 03:00, op 3 augustus 2014. Het centrum en de wijken daar omheen verliezen maar beperkt hun warmte en zijn negen uur later juist relatief warm.

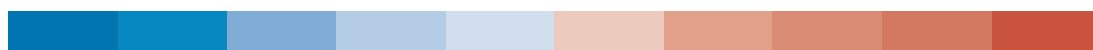
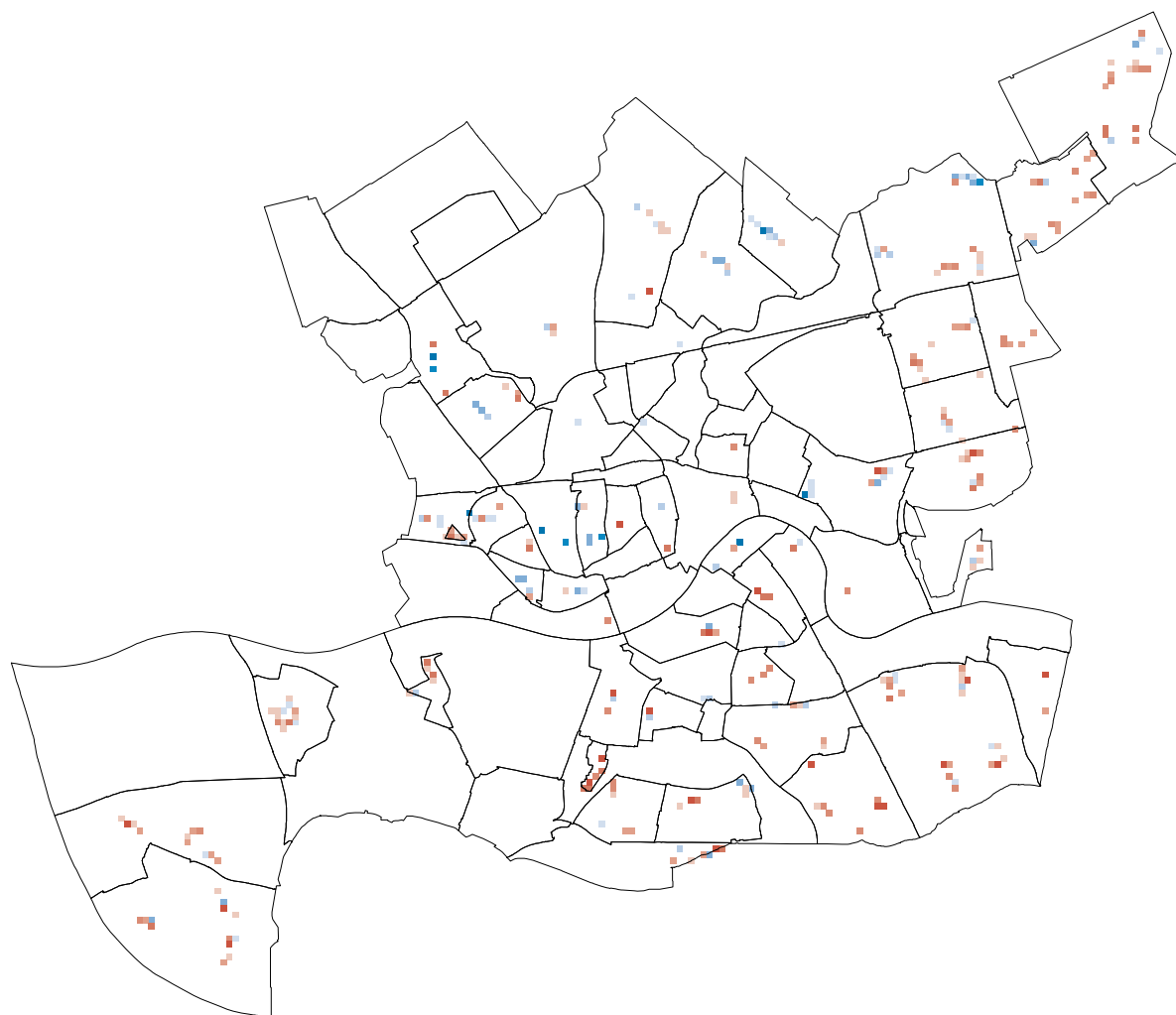
**Waardes**      Graden Celsius

**Methode**      Metingen met Paksense temperatuur-sensoren

**Software**      ArcGIS

**Data**          Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Luchttemperatuur binnenshuis 18:00



**Legenda**      ≤23,0    >23,0 ≤23,5    >23,5 ≤24,0    >24,0 ≤24,5    >24,5 ≤25,0    >25,0 ≤25,5    >25,5 ≤26,0    >26,0 ≤26,5    >26,5 ≤27,0    >27,0

**Inhoud**      Luchttemperatuur 's avonds gemeten in geselecteerde woningen in Rotterdam om 18:00, op 2 augustus 2014

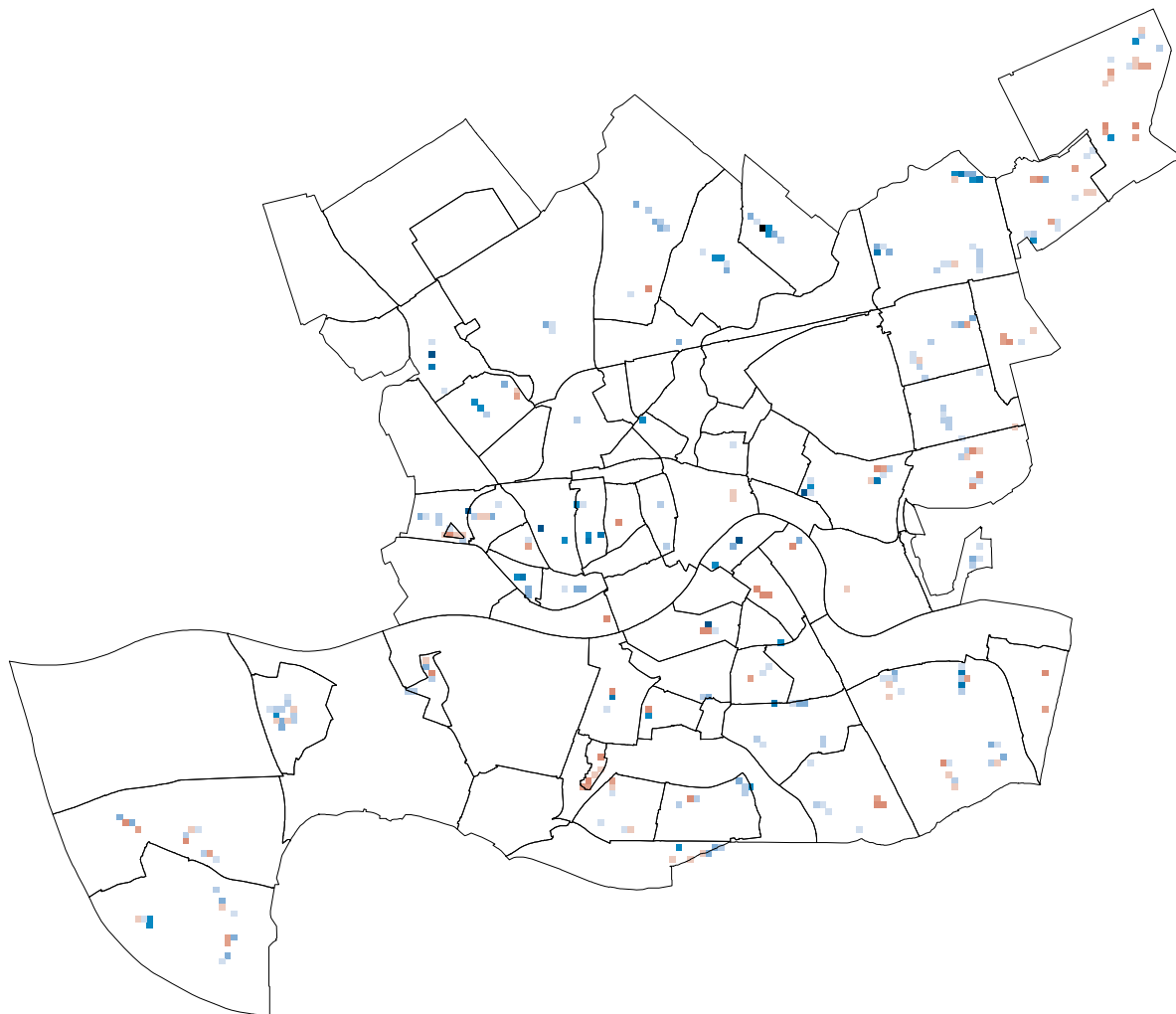
**Waardes**      Graden Celsius

**Methode**      Metingen met Paksense temperatuur-sensoren

**Software**      ArcGIS

**Data**          Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Luchttemperatuur binnenshuis 03:00



**Legenda**       $\leq 22,0$      $>22,0 \leq 22,5$      $>22,5 \leq 23,0$      $>23,0 \leq 23,5$      $>23,5 \leq 24,0$      $>24,0 \leq 24,5$      $>24,5 \leq 25,0$      $>25,0 \leq 25,5$      $>25,5 \leq 26,0$      $>26,0$

**Inhoud**      Luchttemperatuur 's nachts gemeten in geselecteerde woningen in Rotterdam om 03:00, op 3 augustus 2014

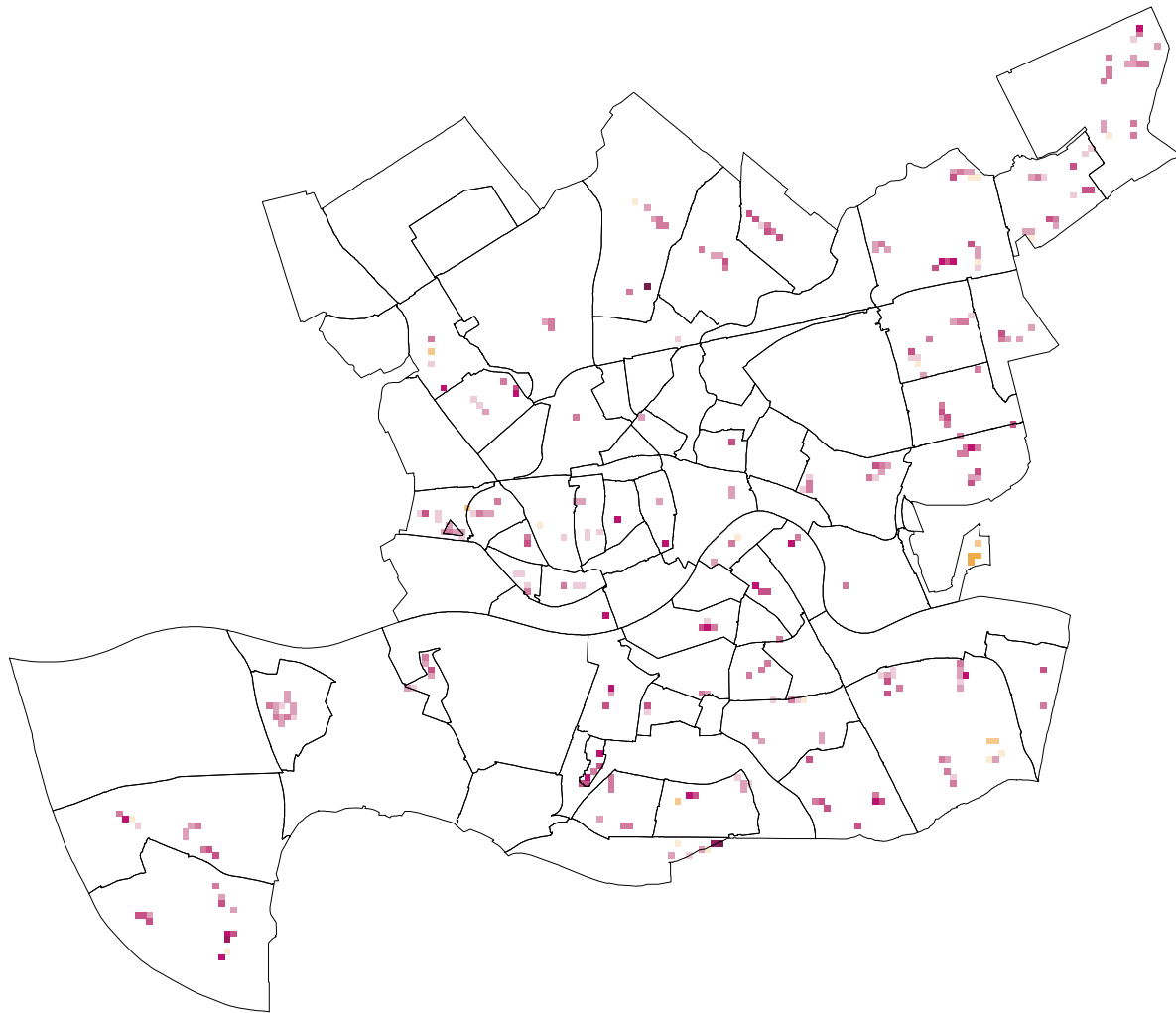
**Waardes**      Graden Celsius

**Methode**      Metingen met Paksense temperatuur-sensoren

**Software**      ArcGIS

**Data**          Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Luchttemperatuur verschil binnen/buitenshuis 18:00



**Legenda**       $\leq -5,0$      $> -5,0 \leq -4,0$      $> -4,0 \leq -3,0$      $> -3,0 \leq -2,0$      $> -2,0 \leq -1,0$      $> -1,0 \leq 0,0$      $> 0,0 \leq 1,0$      $> 1,0 \leq 2,0$      $> 2,0 \leq 3,0$      $> 3,0$

**Inhoud**      Verschil tussen binnentemperatuur en buitentemperatuur, 18:00, op 2 augustus 2014. In een groot deel van de stad is binnen koeler dan buiten (negatieve waarden).

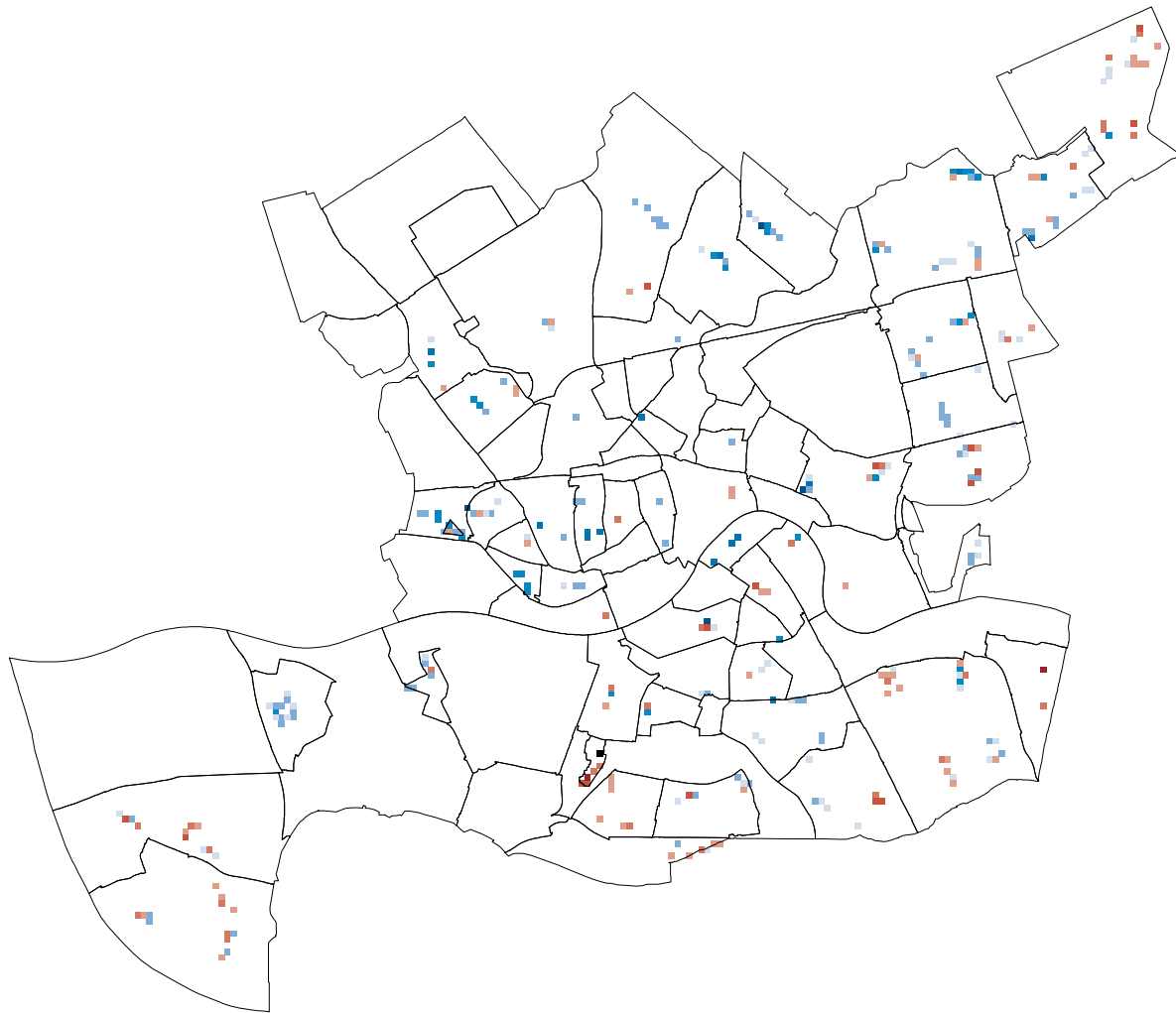
**Waardes**      Graden Celsius

**Methode**      Binnentemperatuur (gemeten in woningen) verminderd met de buitentemperatuur (gemeten in de directe omgeving van de woningen)

**Software**      ArcGIS

**Data**          Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Luchttemperatuur verschil binnen/buitenshuis 03:00



**Legenda**       $\leq 3,3$      $>3,3 \leq 4,0$      $>4,0 \leq 4,8$      $>4,8 \leq 5,5$      $>5,5 \leq 6,3$      $>6,3 \leq 7,0$      $>7,0 \leq 7,8$      $>7,8 \leq 8,5$      $>8,5 \leq 9,3$      $>9,3$

**Inhoud**      Verschil tussen binnentemperatuur en buitentemperatuur, 03:00, op 3 augustus 2014.  
Binnen is het overal warmer dan buiten.

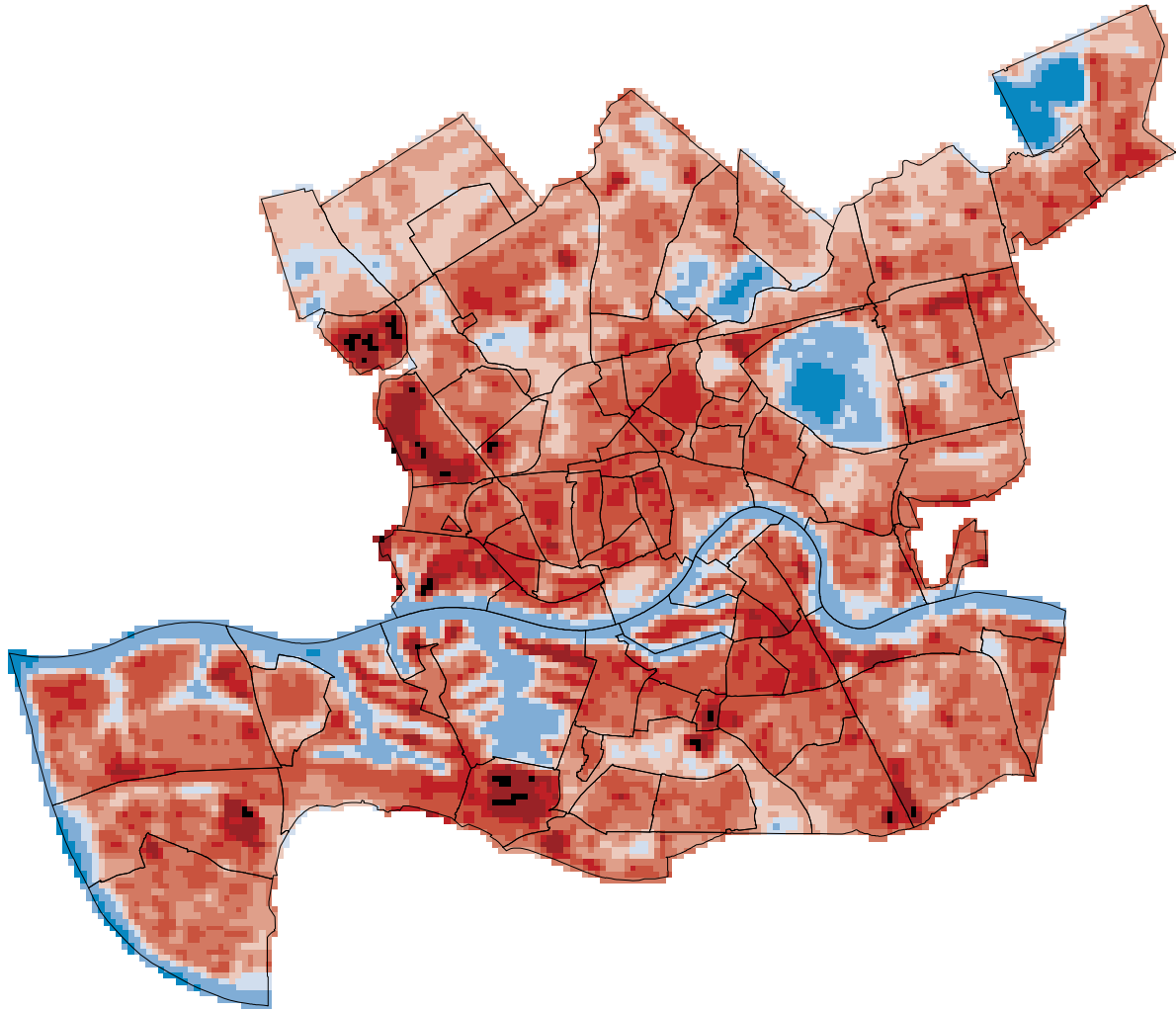
**Waardes**      Graden Celsius

**Methode**      Binnentemperatuur (gemeten in woningen) verminderd met de buitentemperatuur  
(gemeten in de directe omgeving van de woningen)

**Software**      ArcGIS

**Data**          Crowsensing, 2/3 augustus 2014

# Oppervlaktetemperatuur 16 juli 2006



**Legenda**       $\leq -4,0$      $> -4,0 \leq 0,0$      $> 0,0 \leq 2,5$      $> 2,5 \leq 5,0$      $> 5,0 \leq 7,5$      $> 7,5 \leq 10,0$      $> 10,0 \leq 12,5$      $> 12,5 \leq 15,0$      $> 15,0 \leq 20,0$      $> 20,0$

**Inhoud**      Oppervlaktetemperatuurverschillen in de gemeente Rotterdam

**Waardes**      Graden Celsius (29° Celsius = 0)

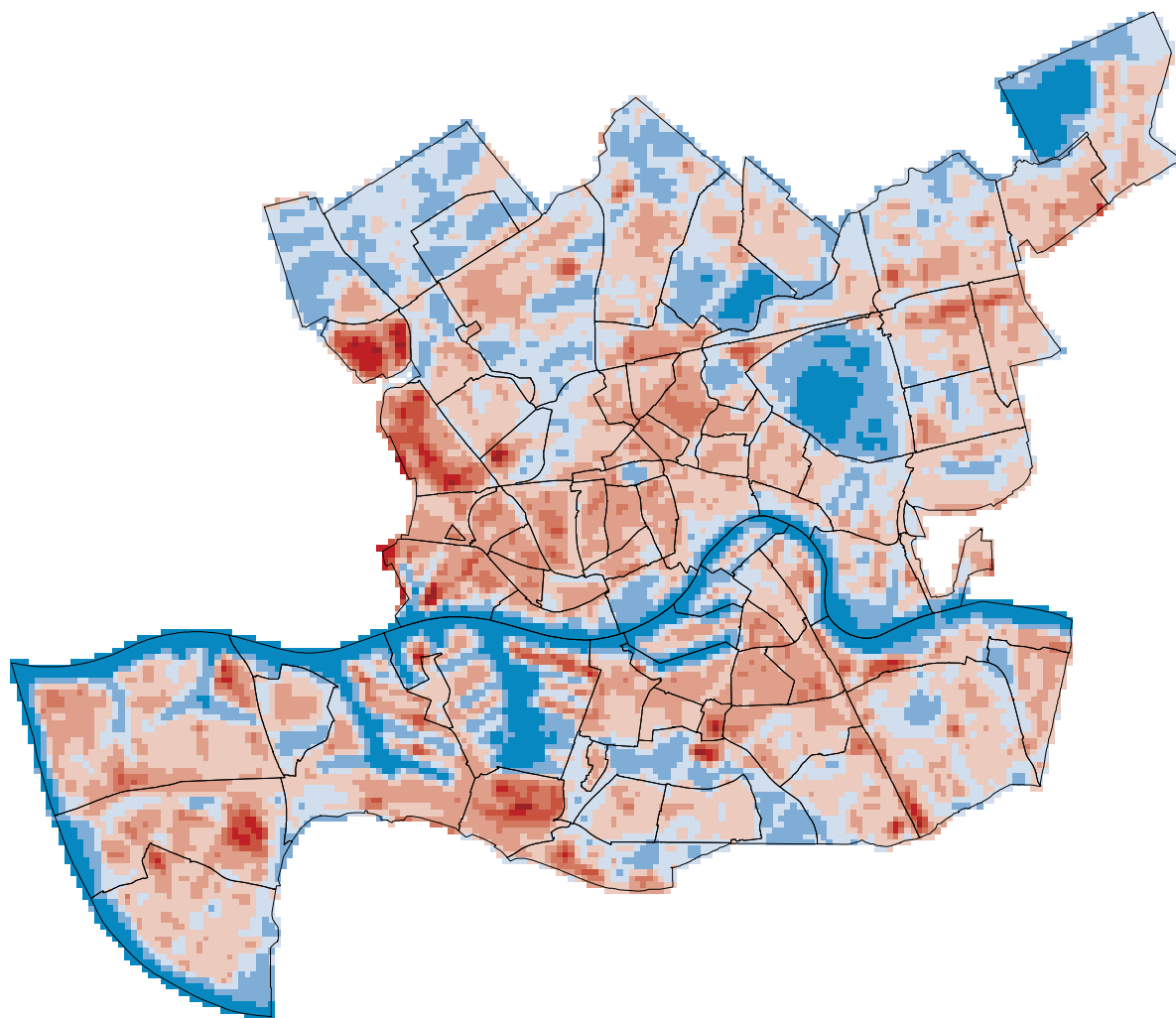
**Methode**      Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 6 in Landsat 5 beeld

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

**Data**          NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur



# Oppervlaktetemperatuur, 22 juli 2014



**Legenda**      ≤-4,0    >-4,0 ≤0,0    >0,0 ≤2,5    >2,5 ≤5,0    >5,0 ≤7,5    >7,5 ≤10,0    >10,0 ≤12,5    >12,5 ≤15,0    >15,0 ≤20,0    >20,0

**Inhoud**      Oppervlaktetemperatuurverschillen in de gemeente Rotterdam

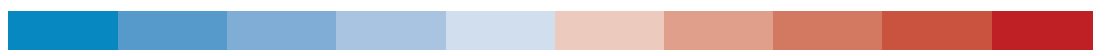
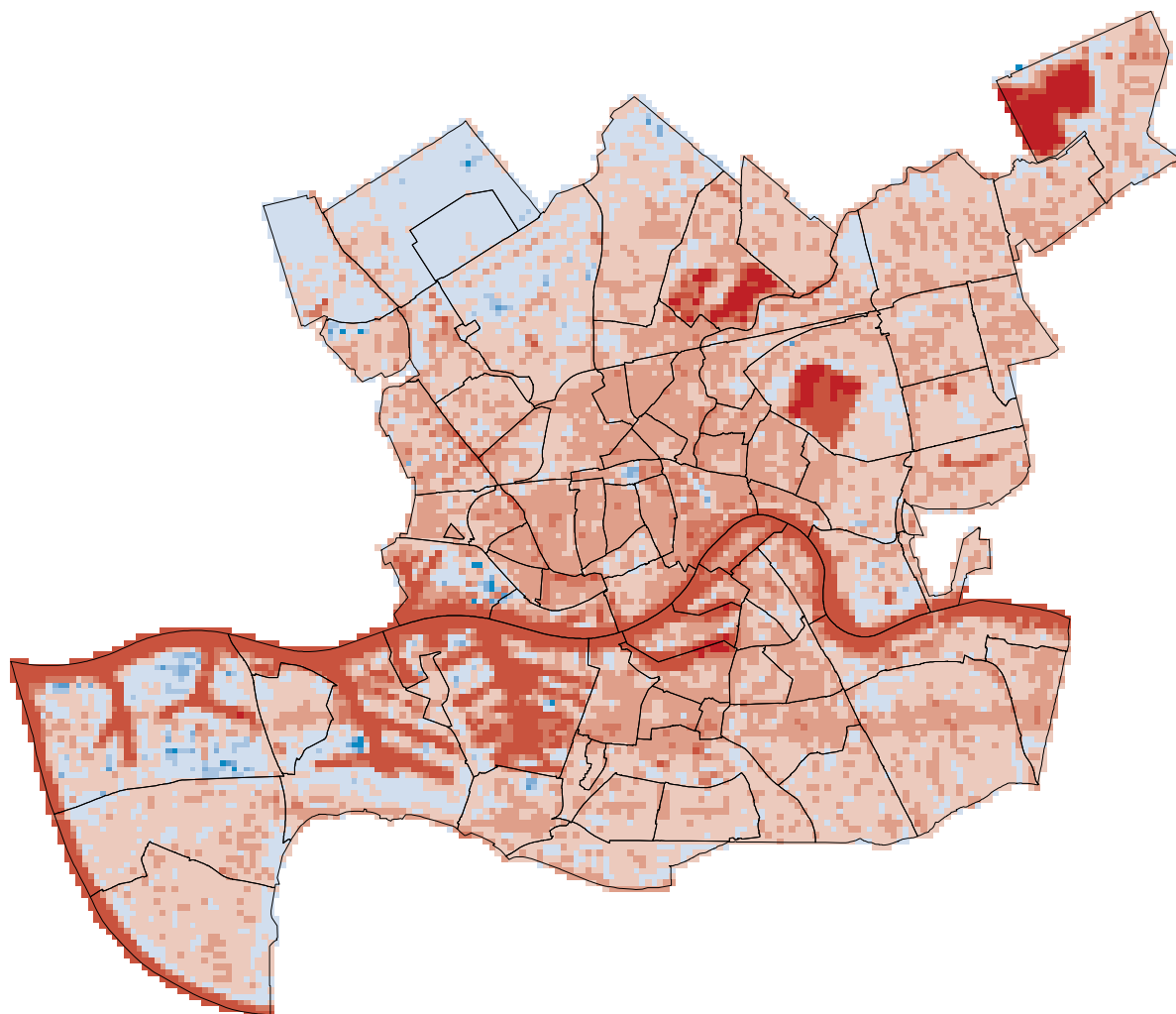
**Waardes**      Graden Celsius (29° Celsius = 0)

**Methode**      Oppervlaktetemperatuur is bepaald met TIRS Band 10 in Landsat 8 beeld

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

**Data**          NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Netto straling



## Legenda

≤500 >500 ≤525 >525 ≤550 >555 ≤575 >575 ≤625 >625 ≤650 >650 ≤675 >675 ≤700 >700 ≤725 >725

## Inhoud

De netto straling die het aardoppervlak ontvangt van de zon. De straling die het aardoppervlak weerkaatst maakt hier geen deel van uit, de warmte die het aardoppervlak uitstraalt evenmin.

## Waardes

W/m<sup>2</sup>

## Methode

Surface energy balance

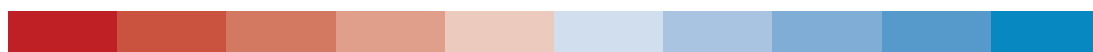
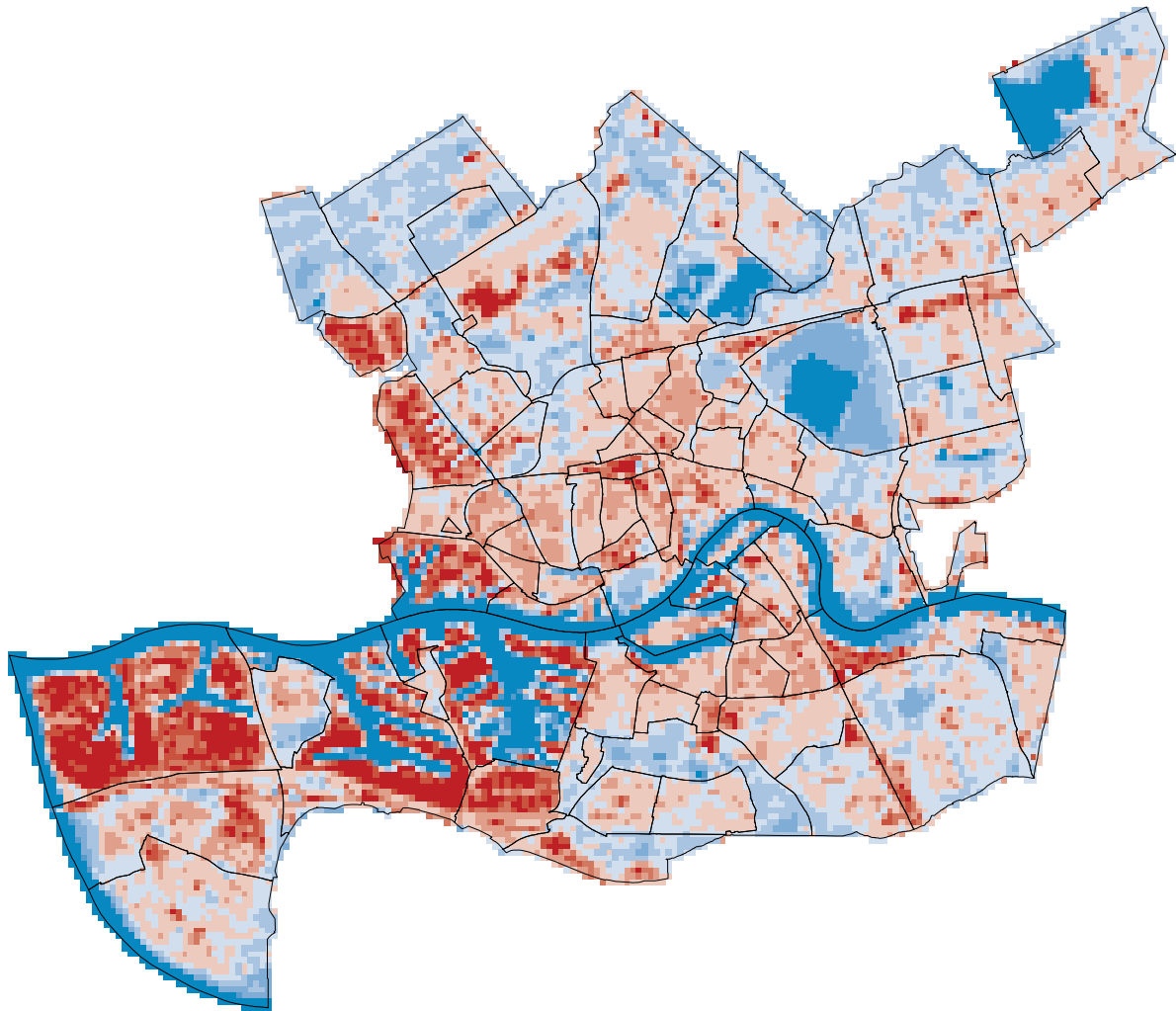
## Software

BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

## Data

NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Latente warmte



**Legenda**      ≤100    >100 ≤150    >150 ≤200    >200 ≤250    >250 ≤300    >300 ≤350    >350 ≤400    >400 ≤450    >450 ≤500    >500

**Inhoud**      Latente warmte is de energie die gebruikt wordt bij de verdamping van water. Groen en oppervlakte water zijn de belangrijke 'gebruikers' van latente warmte. Latente energie betekent verkoeling van de omgeving.

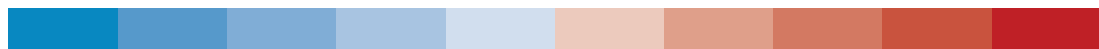
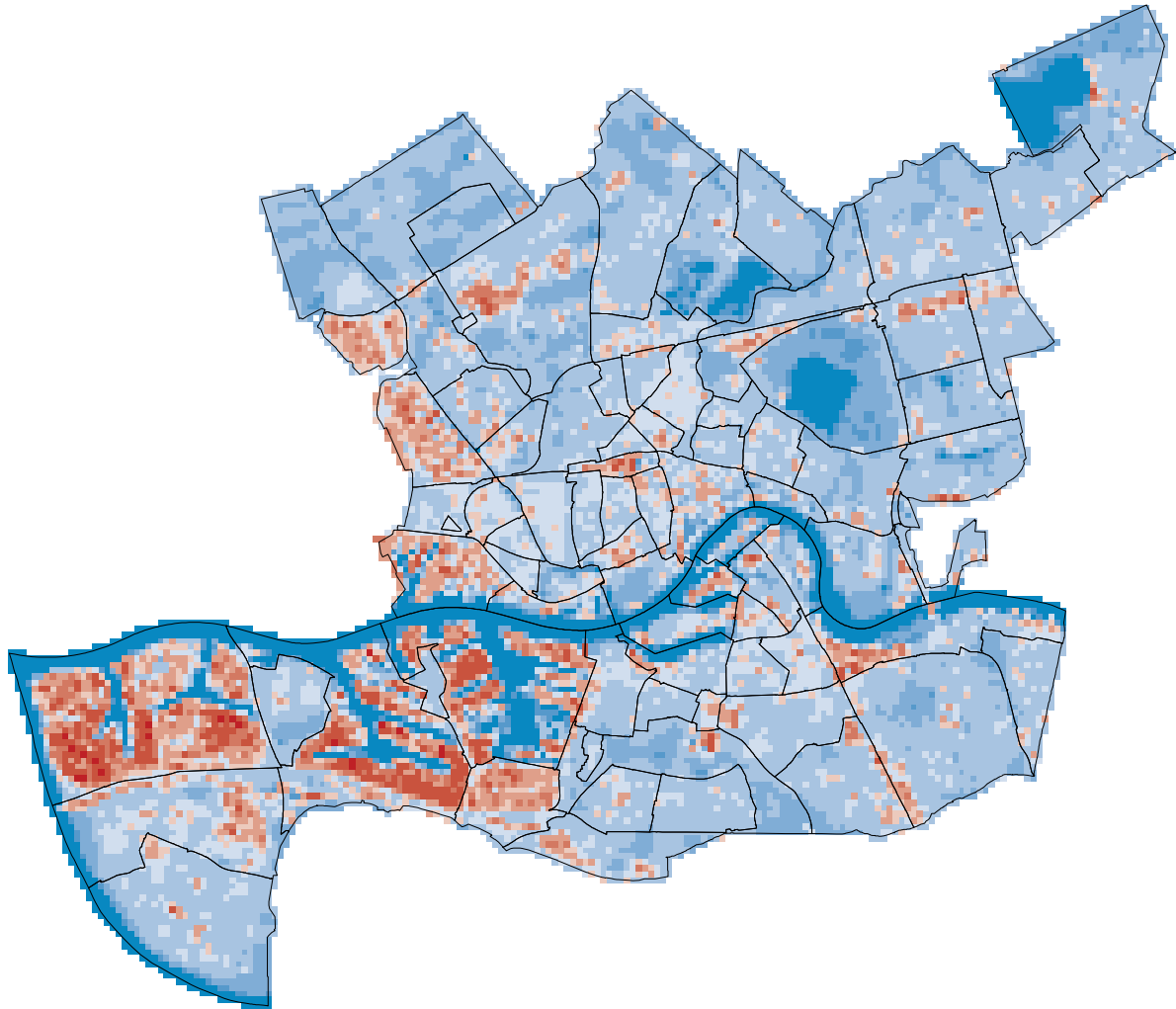
**Waardes**      W/m<sup>2</sup>

**Methode**      Surface energy balance

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

**Data**          NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Voelbare warmte



**Legenda**      ≤25    >25 ≤50    >50 ≤75    >75 ≤100    >100 ≤125    >125 ≤150    >150 ≤200    >200 ≤225    >225 ≤250    >250

**Inhoud**      Voelbare warmte is de convectiewarmte die gebruikt wordt bij het verwarmen van lucht. Deze opwarming vindt met name plaats boven oppervlaktes met een hoge temperatuur. In de omzetting van oppervlaktetemperatuur naar luchttemperatuur spelen (kleine) turbulenties een belangrijke rol: zogenaamde eddies.

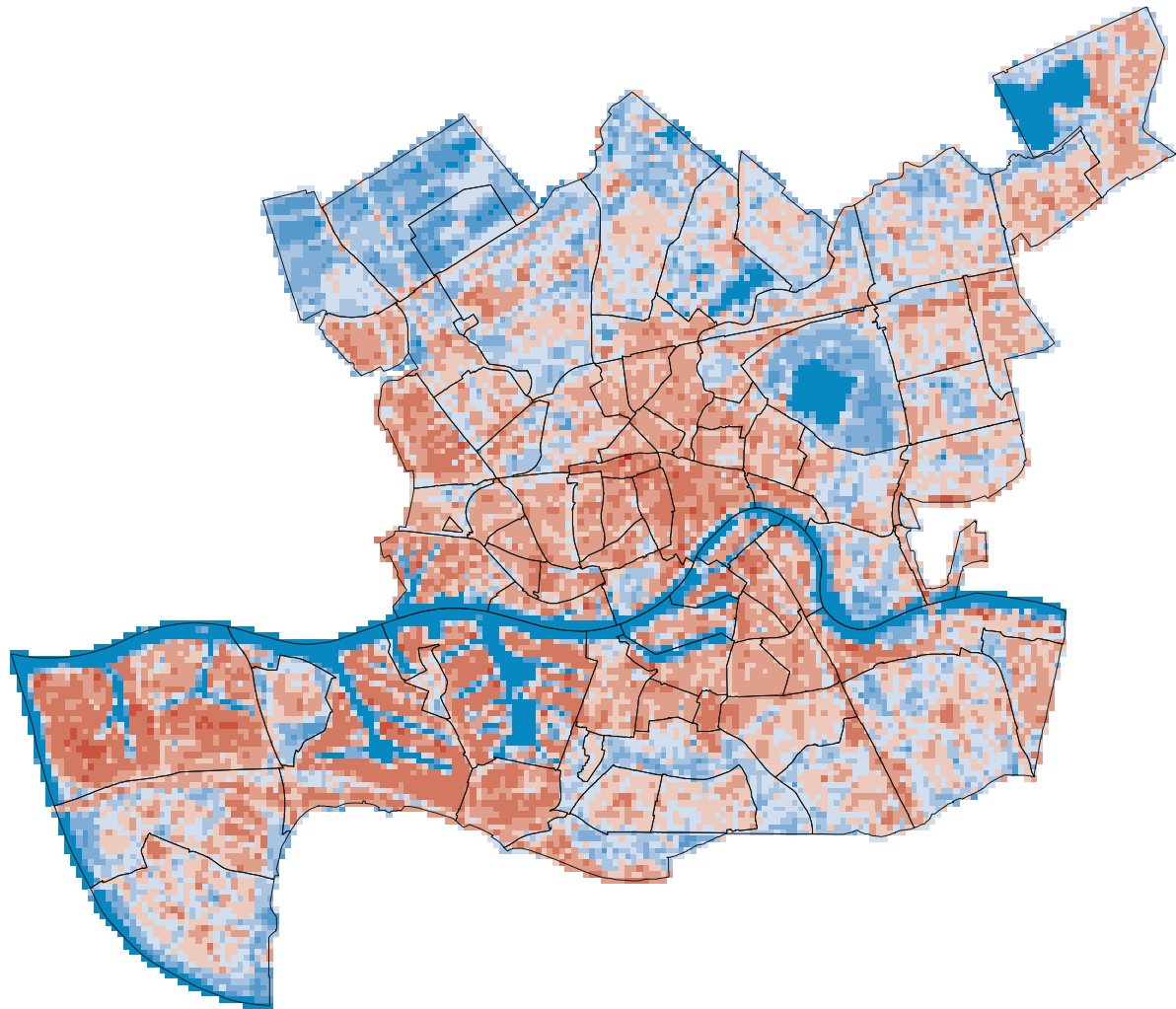
**Waardes**      W/m<sup>2</sup>

**Methode**      Surface energy balance

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

**Data**          NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Bodemwarmtestroom



## Legenda

≤ 25   >25 ≤ 50   >50 ≤ 75   >75 ≤ 100   >100 ≤ 125   >125 ≤ 150   >150 ≤ 175   >175 ≤ 200   >200 ≤ 215   >215

**Inhoud** Bodemwarmtestroom is de warmte die opgenomen wordt door de bodem, door gebouwen, en door oppervlaktewater. De opgeslagen warmte komt 's nachts weer vrij en is van invloed voor het nachtelijk warmte-eiland.

**Waardes** W/m<sup>2</sup>

**Methode** Surface energy balance

**Software** BEAM-VISAT, ATCOR2, ArcGIS

**Data** NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Sociaal

In kaart brengen van de sociaal-ruimtelijke factoren binnen de gemeente Rotterdam die van invloed zijn op de kwetsbaarheid van inwoners voor hitte.

## Achtergrond

Ouderen, en met name 75-plussers, zijn kwetsbaar tijdens hittegolven en lopen een verhoogd risico voortijdig te overlijden. De condities die daarbij een rol spelen en de ruimtelijke verdeling van ouderen verschillen van buurt tot buurt. Literatuur suggereert dat de mate van woningisolatie, de ouderdom van woningen, en de intensiteit van het warmte-eiland bepalend zijn voor de kans op overlijden van oudere inwoners.

## Methode

Op basis van voorhanden gegevens zijn de kenmerken in kaart gebracht die gesuggereerd worden door de literatuur: het aantal 75-plussers, de sterfte van 75-plussers in juli 2006, het verschil tussen de sterfte in juli 2006 met het juli-gemiddelde over de periode 2000-2013, en de ouderdom van gebouwen per hectare.

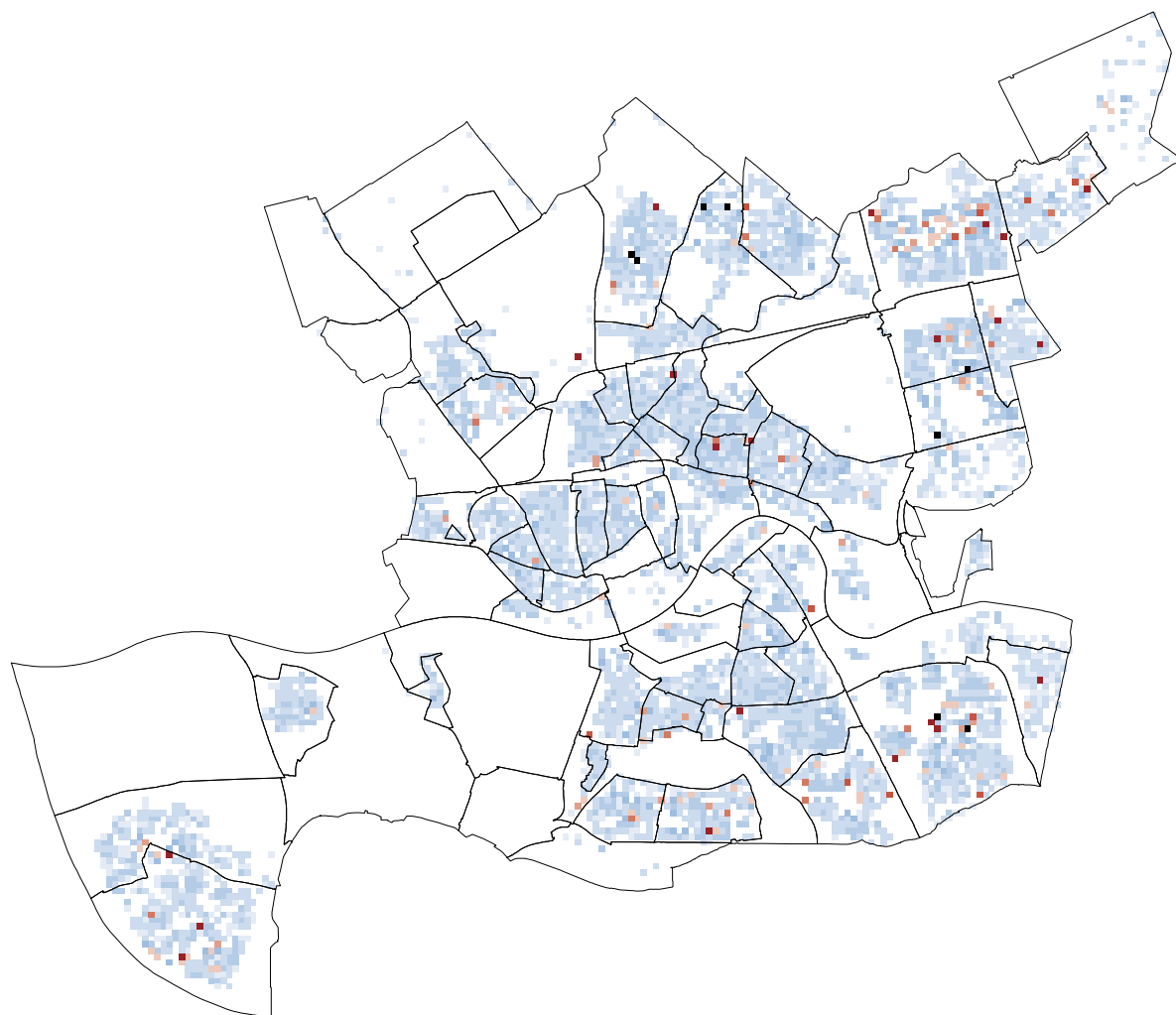
## Resultaten

Het in kaart brengen van de sociale kenmerken resulteert in de kaarten met betrekking tot de ruimtelijke spreiding 75-plussers, sterfte van 75-plussers gedurende juli 2006, bovengemiddelde sterfte 75-plussers juli 2006, en de leeftijd van gebouwen.

## Conclusie

De kwetsbare groep van 75-plussers kent sterke ruimtelijke concentraties (bejaarden- en verzorgingstehuizen) in de naoorlogse wijken als Schiebroek, Ommoord, IJsselmonde, Zuidwijk, Pendrecht en Hoogvliet. De bovengemiddelde sterfte tijdens de hittegolf van juli 2006 laat een patroon zien dat meer gespreid is. Duidelijk wordt dat er meer speelt dan de concentratie van 75-plussers alleen.

# Ruimtelijke spreiding 75-plussers



**Legenda**      1      2-5      6-25      26-50      51-75      76-100      101-125      126-150      151-200      201-255

**Inhoud**      Inwoners van 75 jaar of ouder per hectare

**Waardes**      Absolute aantallen

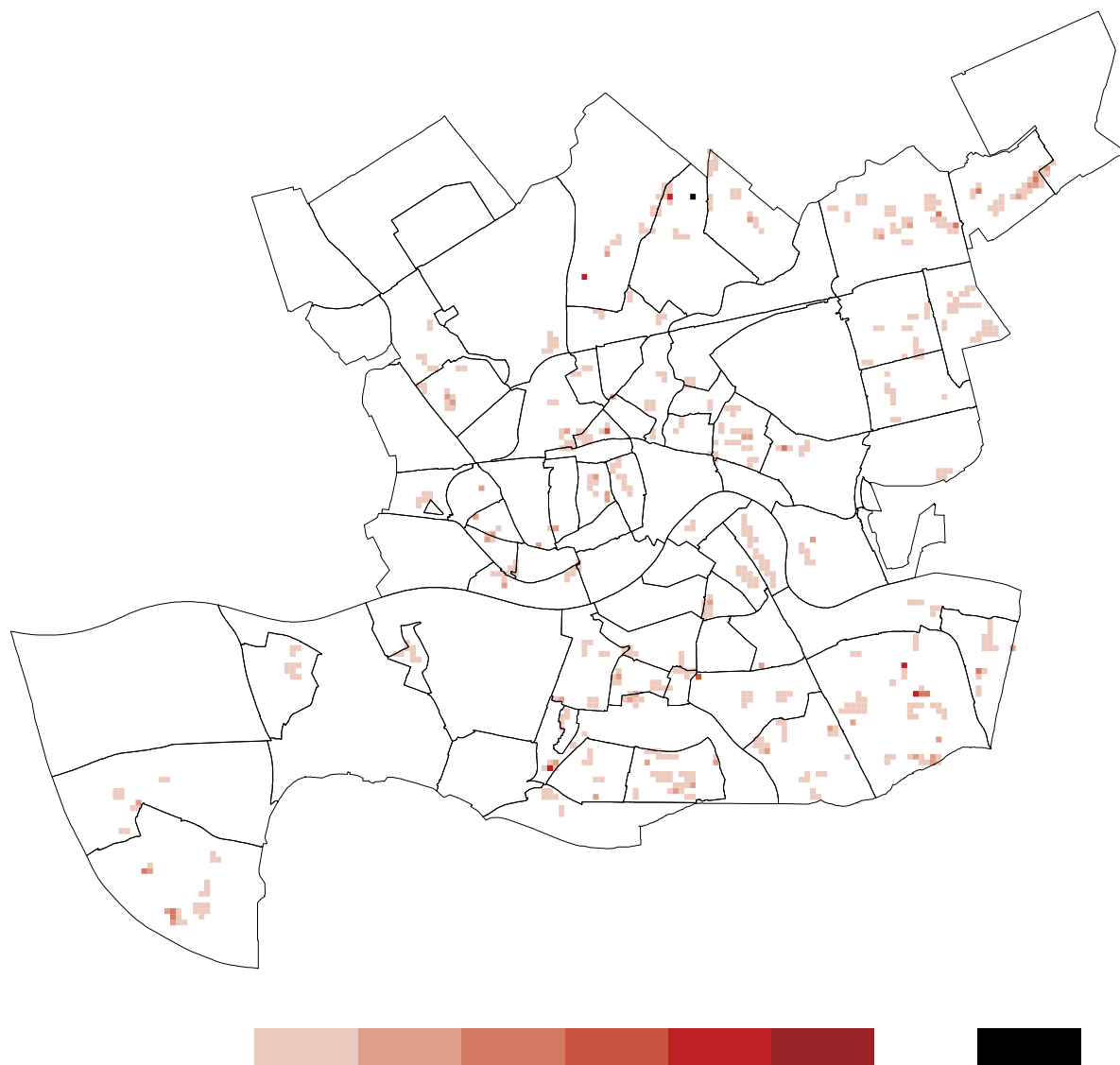
**Methode**      -

**Software**      ArcGIS

**Data**      Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens



# Sterfte 75-plussers juli 2006



Legenda

0 1 2 3 4 5 6 - 8 -

Inhoud Aantal overleden inwoners van 75 jaar of ouder per hectare in juli 2006

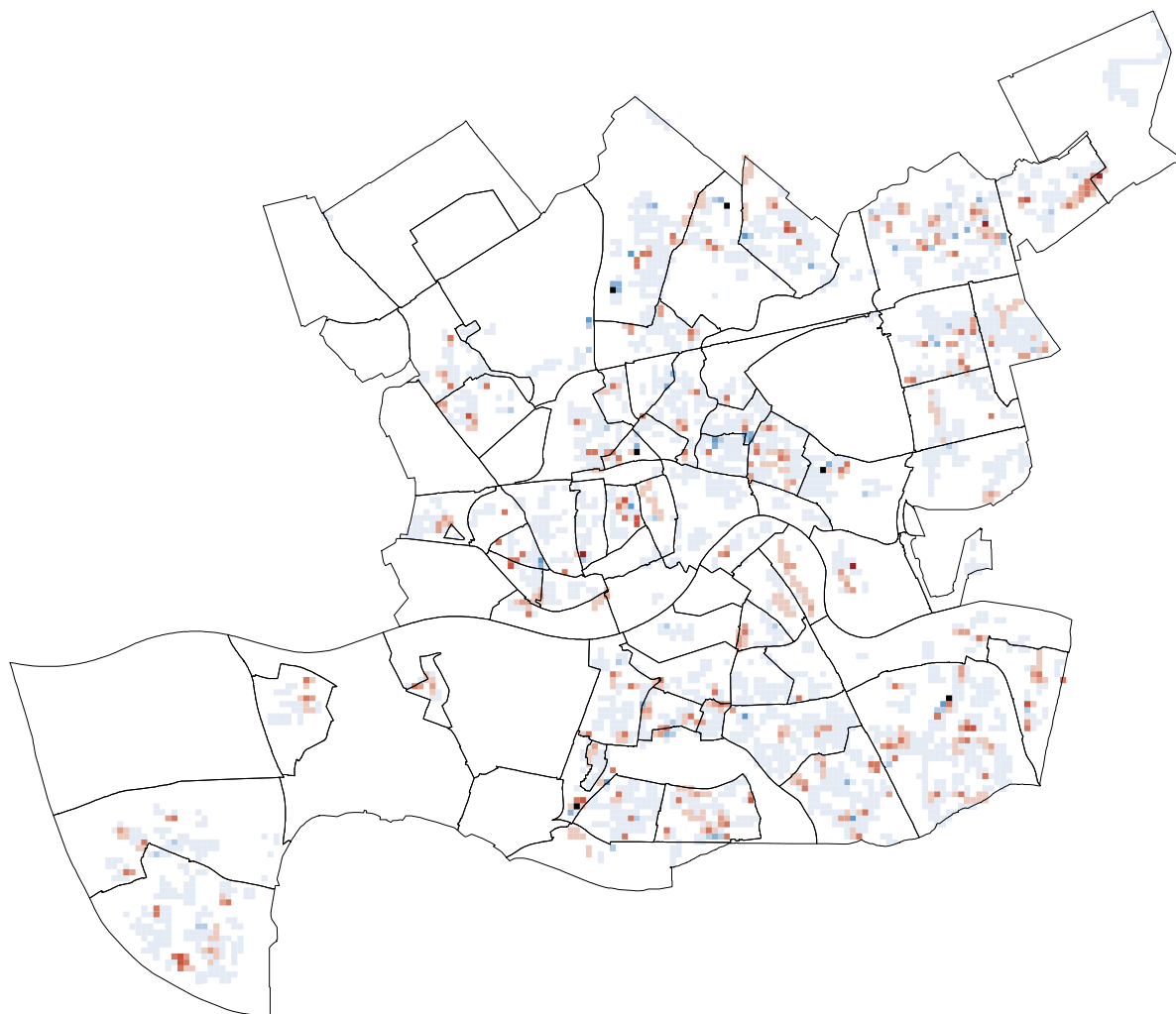
Waardes Absolute aantallen

Methode -

Software ArcGIS

Data Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens

# Bovengemiddelde sterfte 75-plussers juli 2006



**Legenda**       $\leq -1,0$      $> -1,0 \leq -0,5$      $> -0,5 \leq -0,3$      $> -0,3 \leq 0,0$      $> 0,0 \leq 0,3$      $> 0,3 \leq 0,5$      $> 0,5 \leq 1,0$      $> 1,0 \leq 1,5$      $> 1,5 \leq 2,0$      $\geq 2,0$

**Inhoud**      Bovengemiddeld aantal overleden inwoners van 75 jaar of ouder per hectare in juli 2006

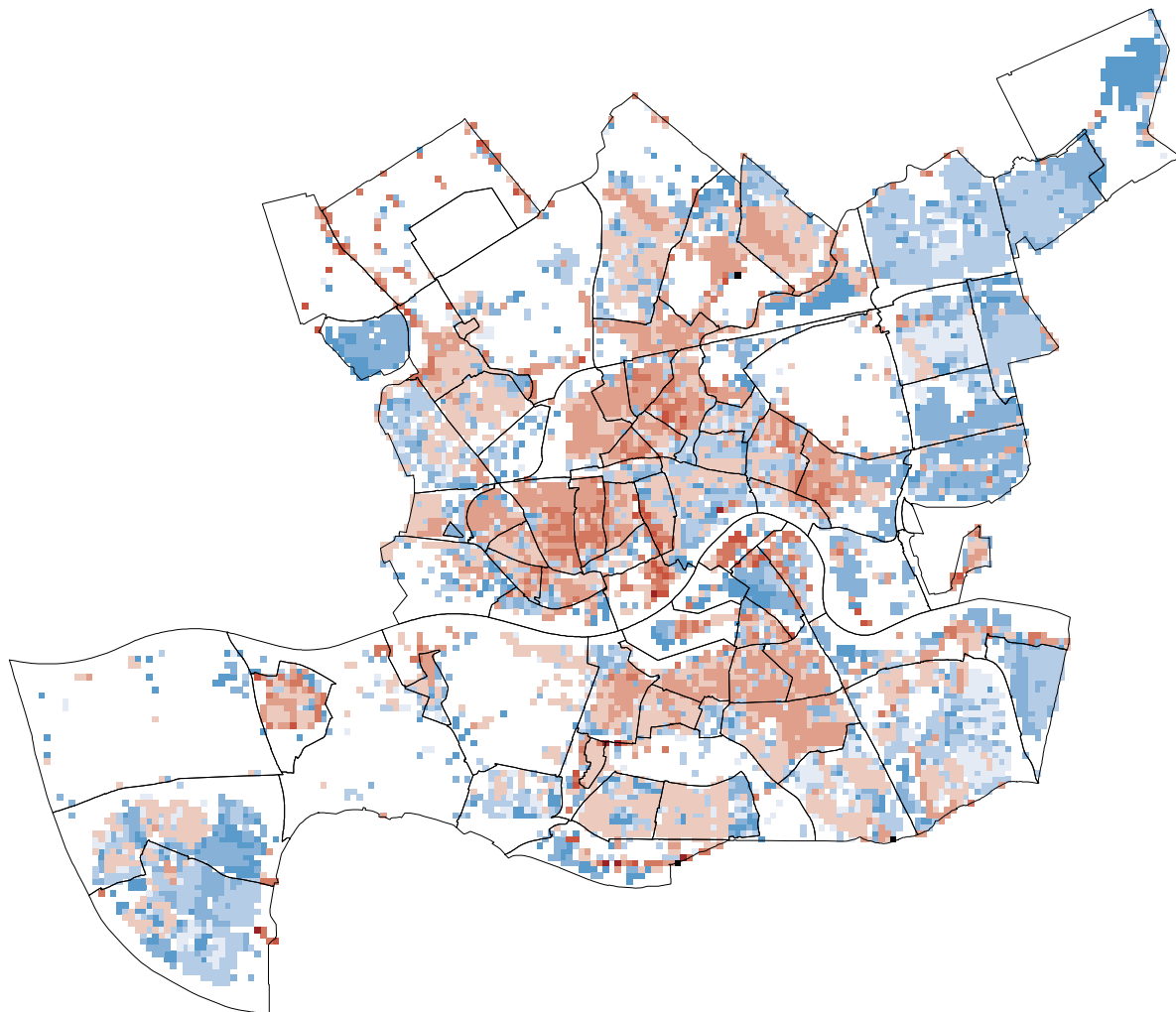
**Waardes**      Absolute aantallen

**Methode**      Sterfte onder 75-plussers in juli 2006 verminderd met de gemiddelde sterfte over de periode 2000-2013 per hectare

**Software**      ArcGIS

**Data**          Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens

# Leeftijd gebouwen



**Legenda**      ≤15    >15 ≤30    >30 ≤45    >45 ≤50    >50 ≤75    >75 ≤100    >100 ≤125    >125 ≤150    >150 ≤200    >200

**Inhoud**      Leeftijd van de verschillende gebouwen in de stad

**Waardes**      Gemiddelde per hectare in jaren

**Methode**      –

**Software**      ArcGIS

**Data**          Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)



# Fysiek

In kaart brengen van de ruimtelijke kenmerken die bijdragen aan het stedelijke warmte-eiland in de stad Rotterdam.

## Achtergrond

De fysieke ruimte van Rotterdam heeft kenmerken die van invloed zijn op de warmteontwikkeling in de stad. Door deze kenmerken nauwkeurig in kaart te brengen kunnen we voor elke hectare hun invloed op stedelijke warmte in Rotterdam bepalen. Dit inzicht kan gebruikt worden om te sturen op het aspect stedelijke warmte door een aangepaste ruimtelijke inrichting van de stad.

## Methode

Bij de analyse is gebruik gemaakt van drie type gegevens: satellietbeelden, gegevens verkregen uit het gemeentelijke GIS systeem en gegevens die ontleend zijn uit een 3D-model van de stad Rotterdam. Het satellietbeeld is een Landsat 8 beeld (OLI), genomen op 22 juli 2014 tijdens de meest recente zomer. Aan de hand van het gemeentelijk GIS is voor elke hectare bepaald wat het percentuele ruimtegebruik is. Op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland 2 (AHN-2) zijn de sky view factor, de schaduw, de gebouwschil-index en het gebouwvolume berekend.

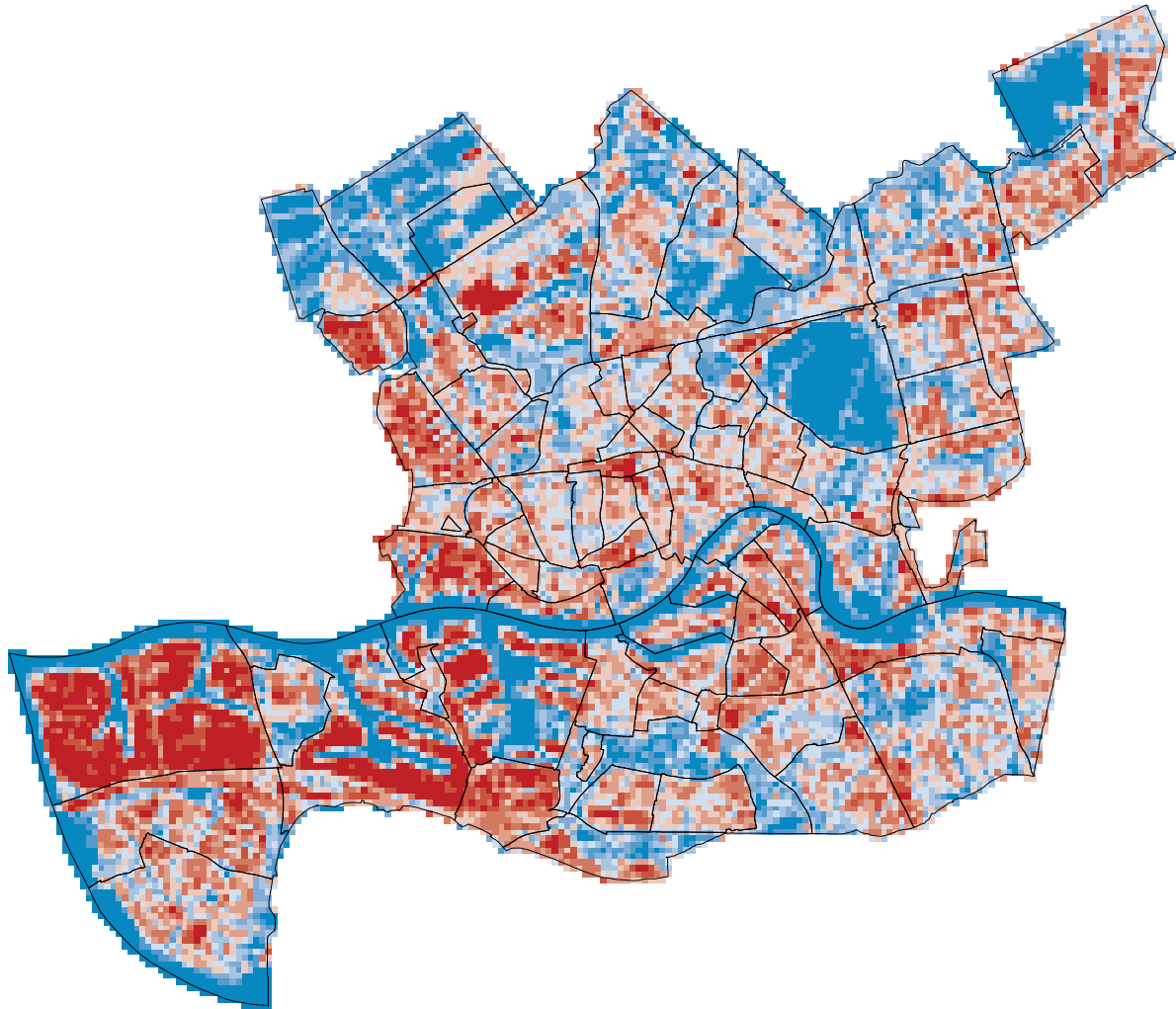
## Resultaten

De resultaten van het in kaart brengen van de ruimtelijke kenmerken zijn de kaarten met betrekking tot verharding, oppervlaktewater, albedo, vegetatie, schaduw, sky view factor, gebouwvolume en gebouwschil.

## Conclusie

Bij het in kaart brengen van de fysieke kenmerken die een rol spelen bij het warmte-eiland, worden de verschillen zichtbaar tussen gebieden voor haven/industrie/bedrijven, de vooroorlogse stad inclusief centrum, de naoorlogse stad en de groengebieden. Deze vierdeling is bepalend voor de samengestelde warmtekaart.

# Verhardingsindex



## Legenda

$\leq 0,10$   $>0,10 \leq 0,20$   $>0,20 \leq 0,30$   $>0,30 \leq 0,40$   $>0,40 \leq 0,50$   $>0,50 \leq 0,60$   $>0,60 \leq 0,70$   $>0,70 \leq 0,80$   $>0,80 \leq 0,90$   $>0,90$

## Inhoud

Verharding draagt sterk bij aan stedelijke warmte. Verharding sluit de bodem af, voorkomt dat water verdampt en het verhindert de groei van vegetatie. Daarmee voorkomt verharding dat zonnestraling wordt omgezet in latente energie. Verharding heeft tevens het vermogen om warmte op te slaan overdag. Deze opgeslagen warmte wordt 's nachts weer afgegeven.

## Waardes

Dimensieloos. 1-100. 0 = minst verhard, 100 = meest verhard.

## Methode

Landsat 8 beeld is atmosferisch gecorrigeerd. Daarna is spectral unmixing toegepast om de mate van verhard gebied te bepalen.

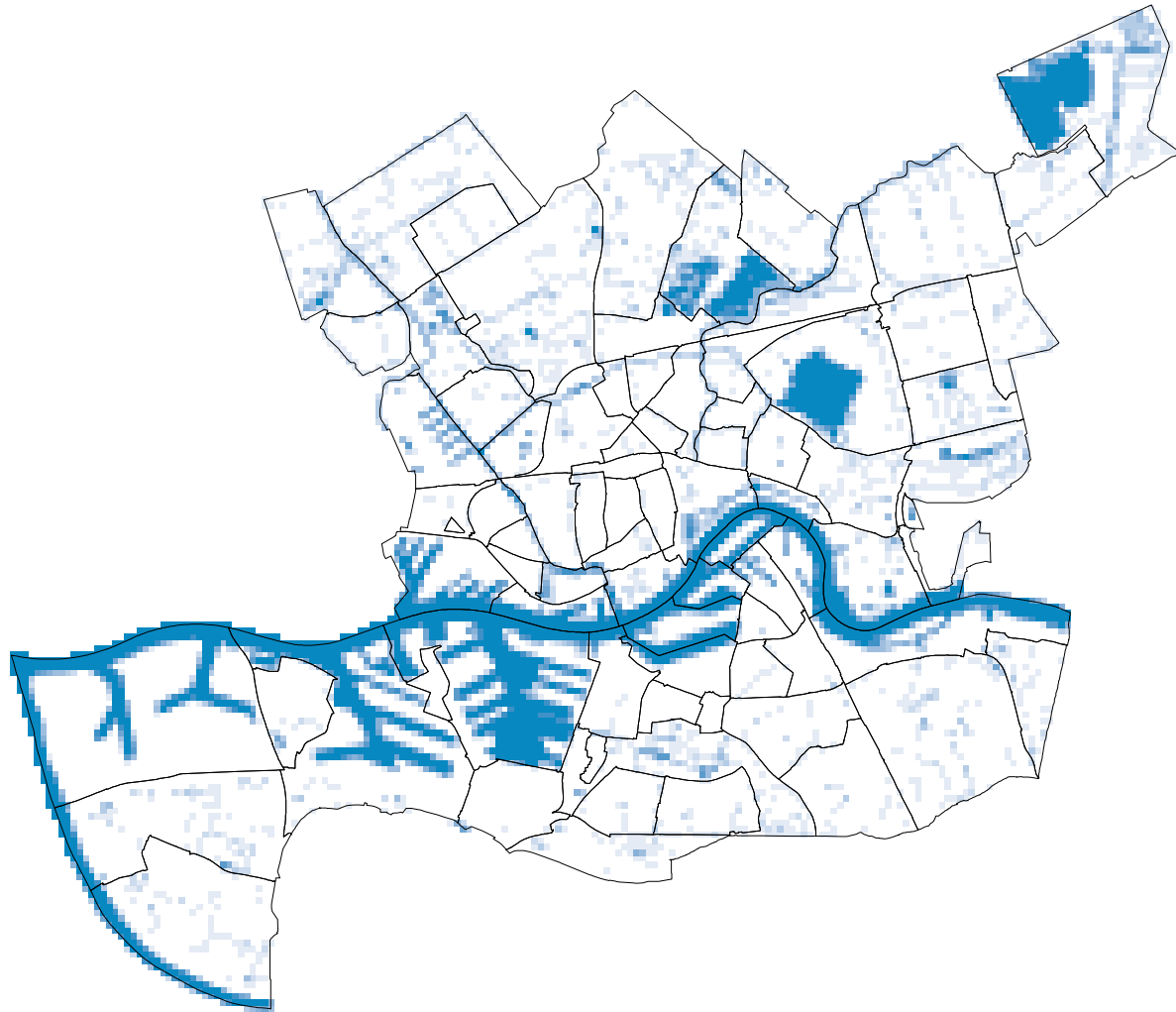
## Software

BEAM-VISAT, ATCOR, ArcGIS

## Data

NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Oppervlaktewater



## Legenda

≤10 >10 ≤20 >20 ≤30 >30 ≤40 >40 ≤50 >50 ≤60 >60 ≤70 >70 ≤80 >80 ≤90 >90

## Inhoud

Water verbruikt door verdamping latente energie en werkt zo verkoelend. Oppervlaktewater heeft echter een zeer lage albedo-waarde en neemt ook zonnestraling op. Overdag hoort oppervlaktewater in de zomer tot de koele delen van het stadsoppervlak, maar 's nachts draagt oppervlaktewater juist bij aan het (stedelijk) warmte-eiland effect.

## Waardes

0-100%.

## Methode

Binnen ArcGIS is voor elke hectare het percentuele ruimtegebruik bepaald op basis van de TOP 10 kaart.

## Software

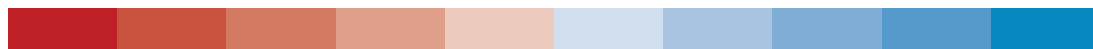
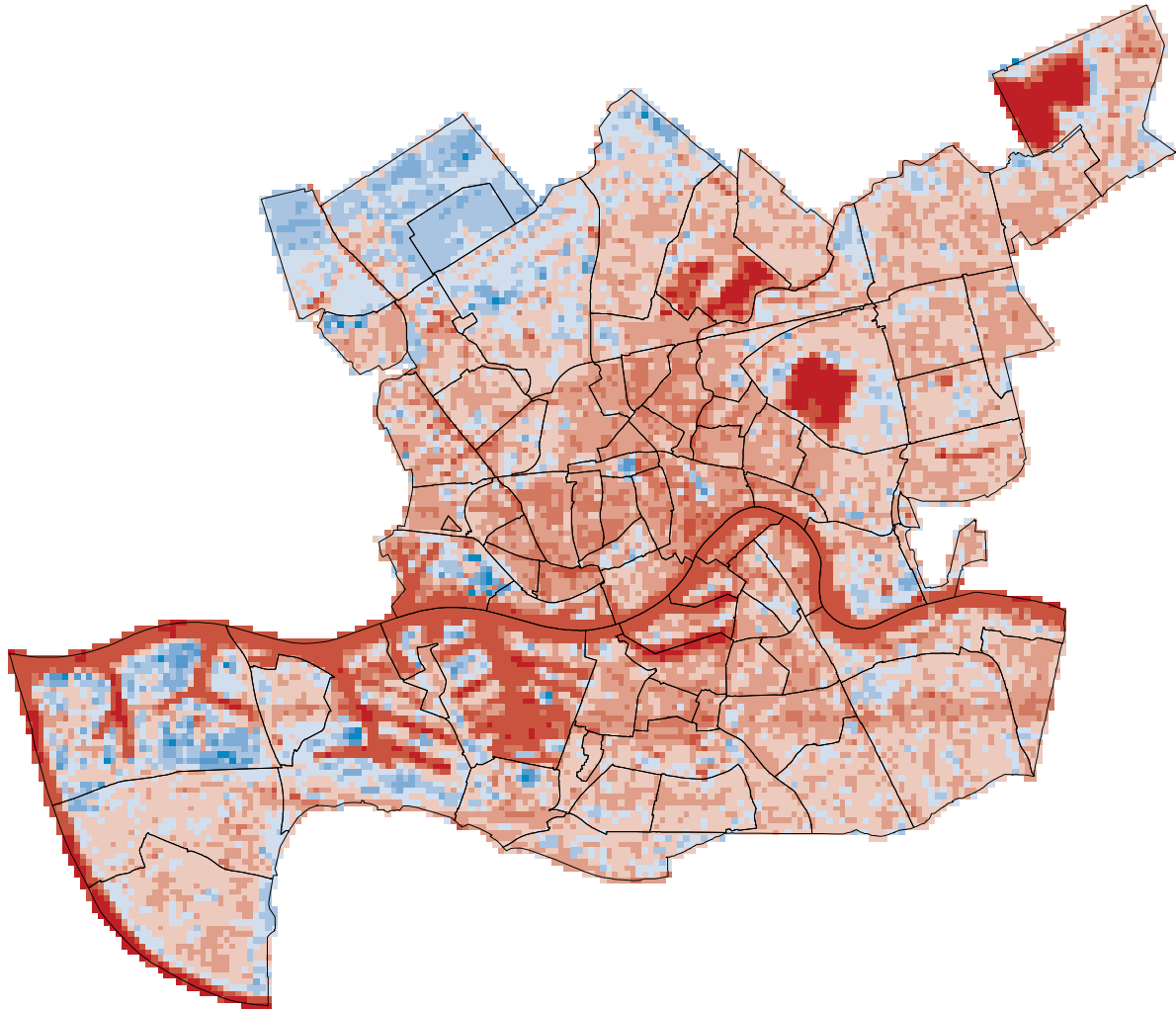
ArcGIS

## Data

TOP 10, Rotterdam



# Albedo oppervlakte



## Legenda

≤25 >25 ≤75 >75 ≤100 >100 ≤125 >125 ≤150 >150 ≤175 >175 ≤200 >200 ≤250 >250 ≤300 >300

## Inhoud

Albedo is een indicator die uitdrukt in welke mate gebouwen, straten en de bodem zonnestraling weerkaatsen. In het algemeen geldt dat een hoge albedo-waarde gebouwen en steden minder doet opwarmen.

## Waardes

0-1, 0 = geen reflectie, 1 = maximale reflectie

## Methode

Landsat 8 beeld is atmosferisch gecorrigeerd. Albedo overzicht wordt in dit proces geproduceerd als bijproduct.

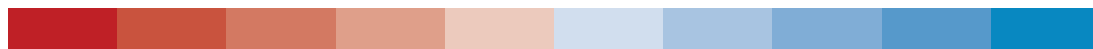
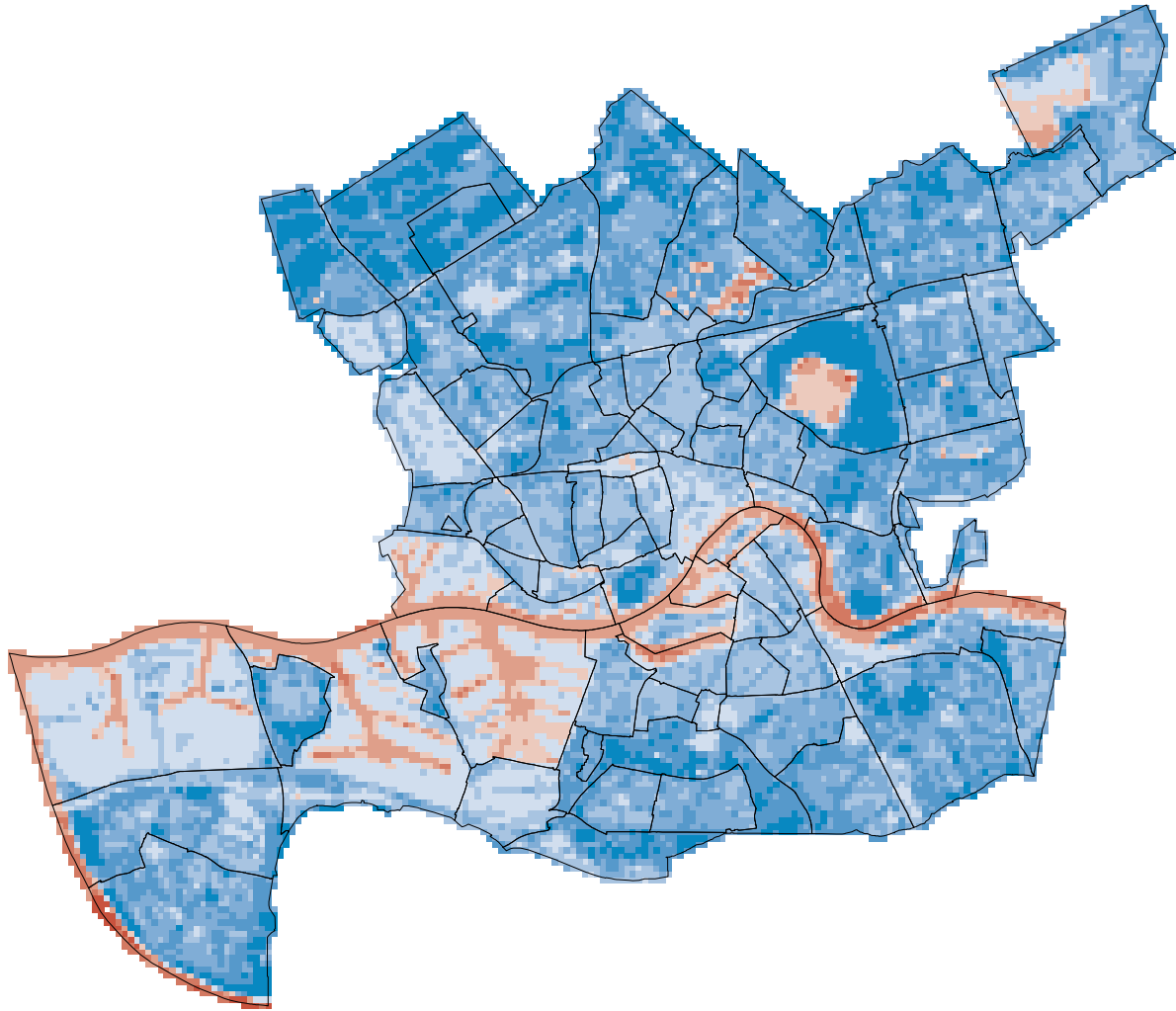
## Software

BEAM-VISAT, ATCOR2, Envi, ArcGIS

## Data

NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur

# Vegetatie index (NDVI)



**Legenda**       $\leq -0,90$     $> -0,90 \leq -0,75$     $> -0,75 \leq -0,50$     $> -0,50 \leq -0,25$     $> -0,25 \leq 0,00$     $> 0,00 \leq 0,20$     $> 0,20 \leq 0,40$     $> 0,40 \leq 0,60$     $> 0,60 \leq 0,80$     $> 0,80$

**Inhoud**      Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Vegetatie verdampt water door middel van transpiratie, en gebruikt daarbij latente energie ( $Q_F$ ). Daarmee vermindert vegetatie het stedelijk warmte-eiland.

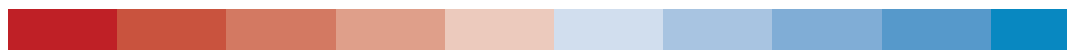
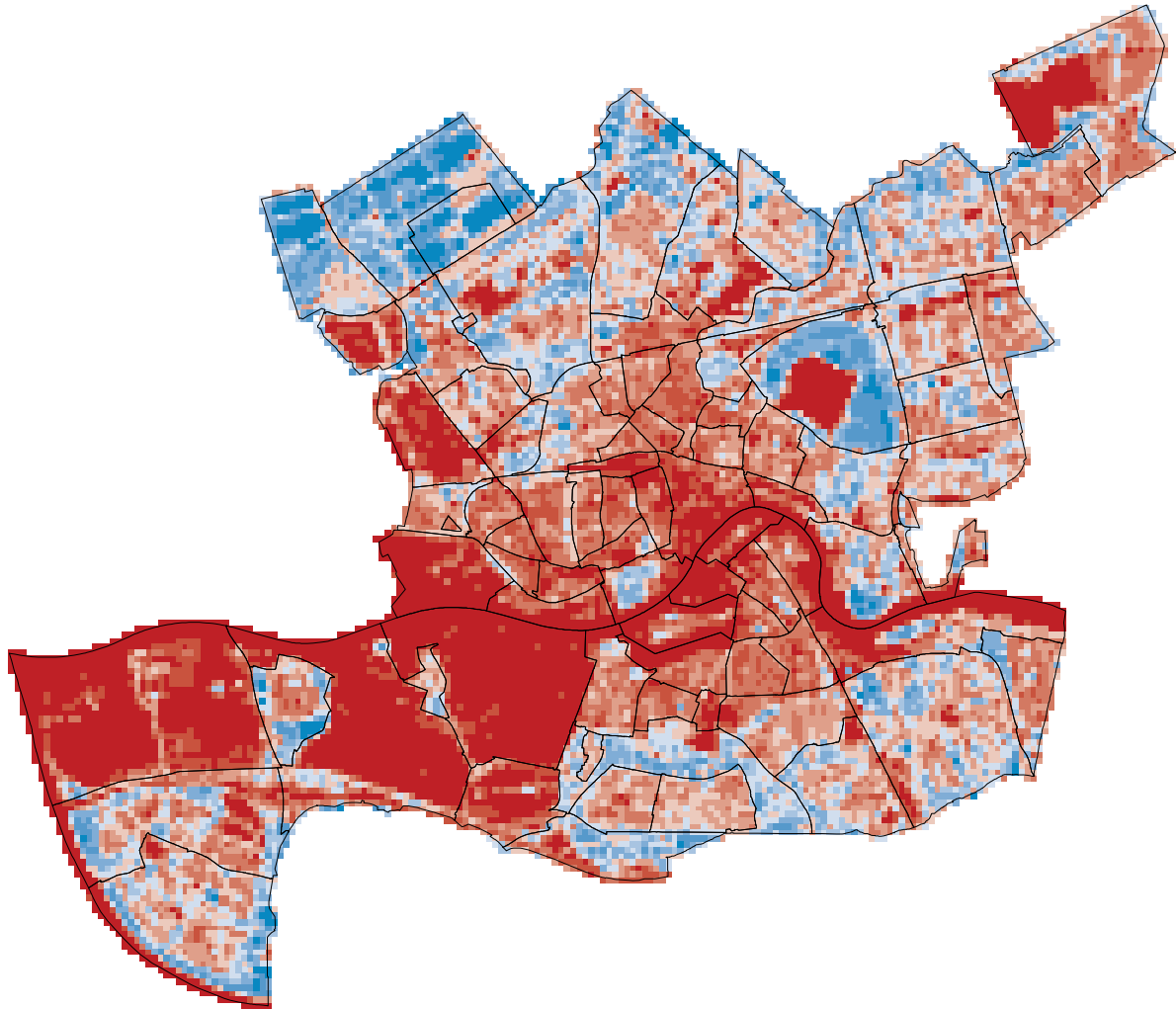
**Waardes**      Dimensieloos

**Methode**      Landsat 8 beeld is atmosferisch gecorrigeerd. De NDVI is berekend aan de hand van de formule  $(NIR - RED) / (NIR + RED)$ .

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2, Envi, ArcGIS

**Data**      NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Leaf Area Index (LAI)



**Legenda**      ≤0,15    >0,15 ≤0,30    >0,30 ≤0,50    >0,50 ≤0,75    >0,75 ≤1,00    >1,00 ≤1,25    >1,25 ≤1,50    >1,50 ≤2,00    >2,00 ≤2,50    >2,50

**Inhoud**      Index die de mate aangeeft waarin een gebied is afgedekt door gebladerte. Vegetatie verdampt water door middel van transpiratie, en gebruikt daarbij latente energie ( $Q_E$ ). Daarmee vermindert vegetatie het stedelijk warmte-eiland.

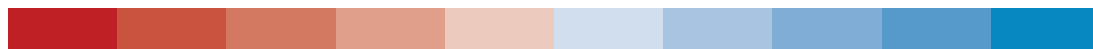
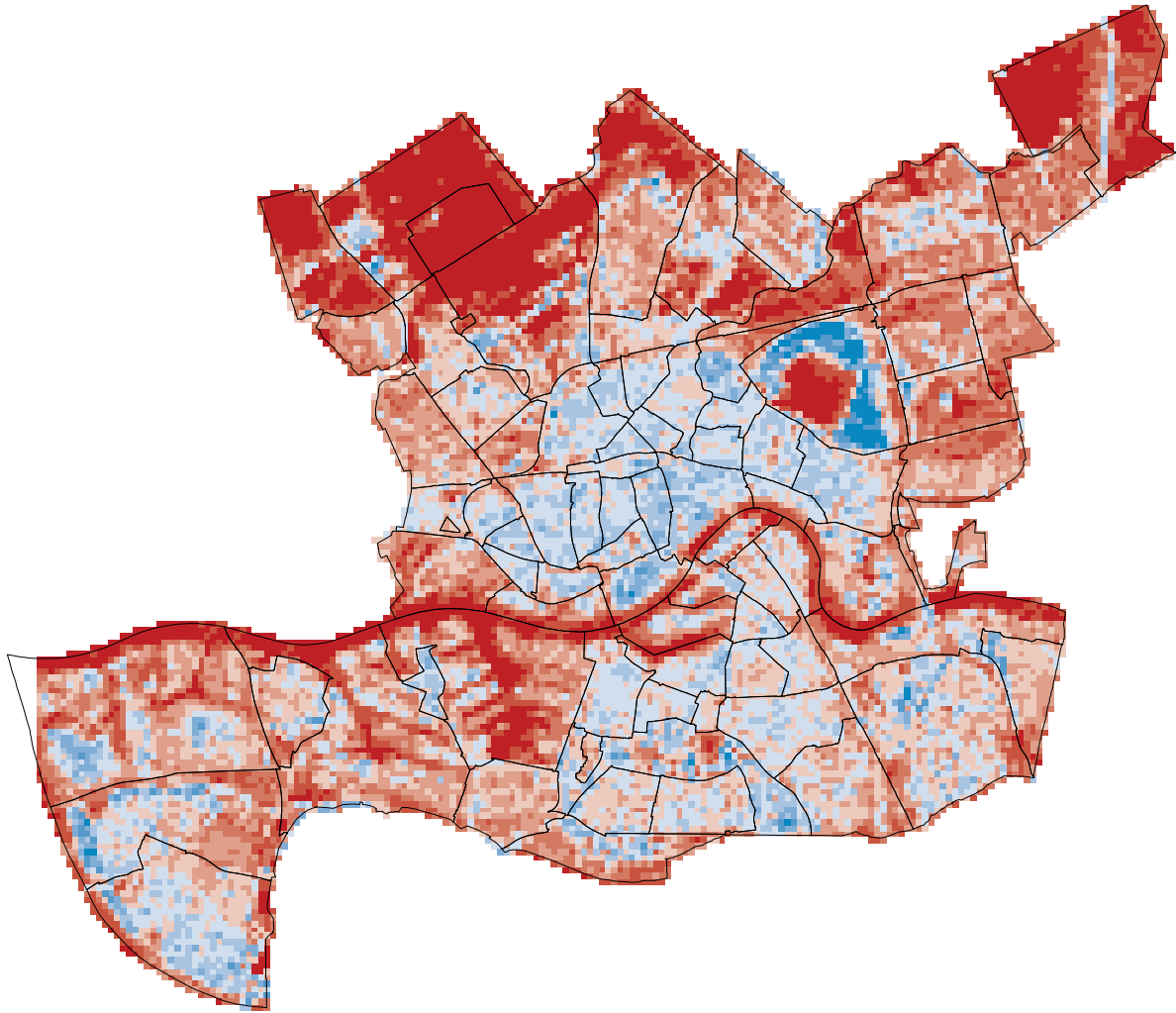
**Waardes**      Dimensieloos

**Methode**      Bijproduct bij de atmosferische correctie in ATCOR

**Software**      BEAM-VISAT, ATCOR2

**Data**          NASA, Landsat 8, 22 juli 2014, 12:40 uur

# Schaduw



## Legenda

≤0,84 >0,84 ≤1,67 >1,67 ≤2,51 >2,51 ≤3,34 >3,34 ≤4,18 >4,18 ≤5,01 >5,01 ≤5,85 >5,85 ≤6,69 >6,69 ≤7,52 >7,52

## Inhoud

Schaduw is een effectief middel tegen warmte-ontwikkeling. Schaduw voorkomt dat het stads- of aardoppervlak blootgesteld wordt aan zonnestraling ( $Q^*$ ), de belangrijkste bron van stedelijke warmte. Weergegeven is de schaduwwerking midden juli. Schaduwwerking door vegetatie is meegenomen in de analyse.

## Waardes

Uur schaduw per hectare vanaf zonsopgang

## Methode

De schaduwwerking is berekend tot 12:40 uur in de ochtend, het moment dat de Landsat satelliet opnames maakt boven Rotterdam.

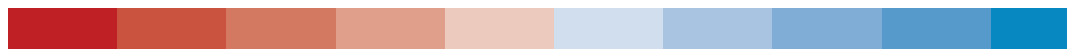
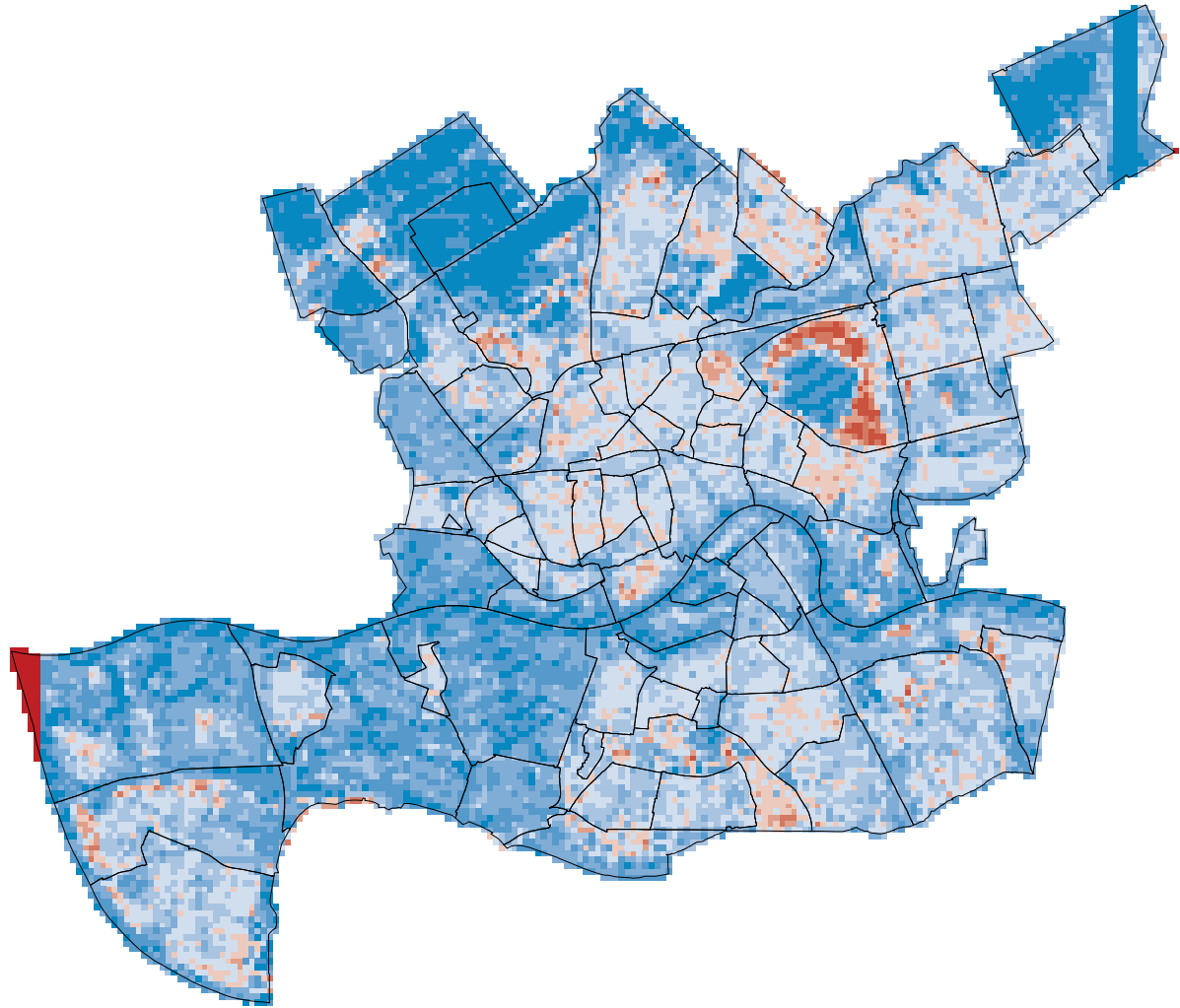
## Software

ArcGIS, hill shade

## Data

Actueel Hoogtebestand Nederland 2 (AHN 2), Rijkswaterstaat (RWS)

# Sky view factor



**Legenda**       $\leq 0,10$     $>0,10 \leq 0,20$     $>0,20 \leq 0,30$     $>0,30 \leq 0,40$     $>0,40 \leq 0,50$     $>0,50 \leq 0,60$     $>0,60 \leq 0,70$     $>0,70 \leq 0,80$     $>0,80 \leq 0,90$     $>0,90$

**Inhoud**      De sky view factor is een indicator die de mate weergeeft waarin het stads- of aardoppervlak blootgesteld is aan het hemelgewelf. Terwijl waar schaduw juist overdag warmte beïnvloedt, doet de sky view factor dat voornamelijk 's nachts.

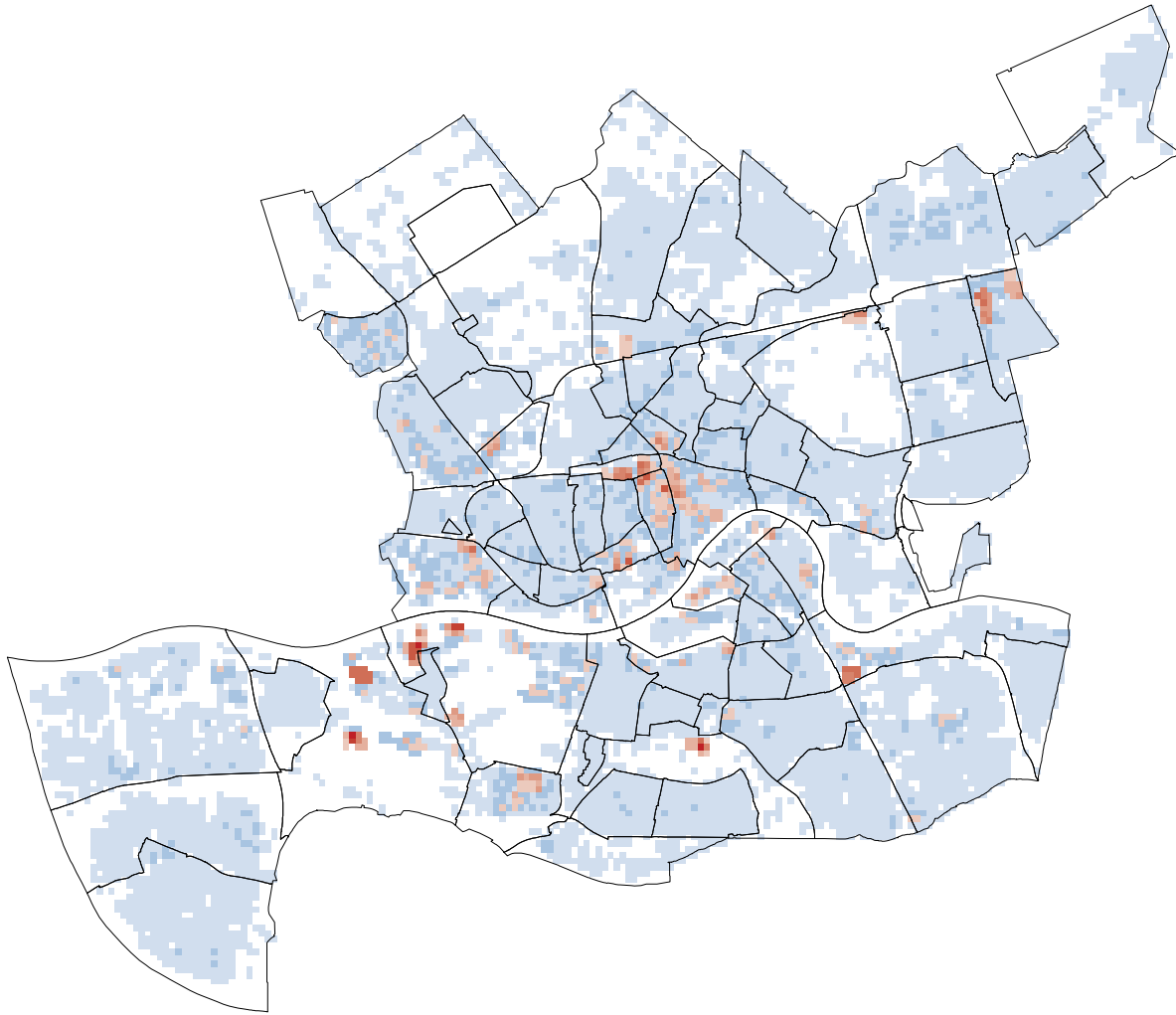
**Waardes**      0-1.0 = geen blootstelling, 1 = volledige blootstelling.

**Methode**      De sky view factor is berekend voor elke gridcel van 0.5 x 0.5 meter, waarbij gebruik gemaakt is van 32 zoekrichtingen en een zoekradius van 100 pixels. Het resultaat is geaggregeerd naar een gemiddelde waarde per ha.

**Software**      SVF Computation code (SAV), version 1.11, for ENVI, by Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

**Data**      Actueel Hoogtebestand Nederland 2 (AHN 2), Rijkswaterstaat (RWS)

# Gebouwvolume



## Legenda

≤70 >70 ≤140 >140 ≤210 >210 ≤280 >280 ≤350 >350 ≤420 >420 ≤480 >480 ≤560 >560 ≤630 >630

## Inhoud

Het gebouwvolume is een indicator voor de hoeveelheid bouwmassa, en daarmee mogelijk ook voor de thermische massa, het vermogen van de gebouwde omgeving om warmte op te slaan.

## Waardes

x 1.000 kubieke meter per hectare

## Methode

Aan de hand van een 3D-model van de stad Rotterdam is het volume van de bebouwing berekend per hectare.

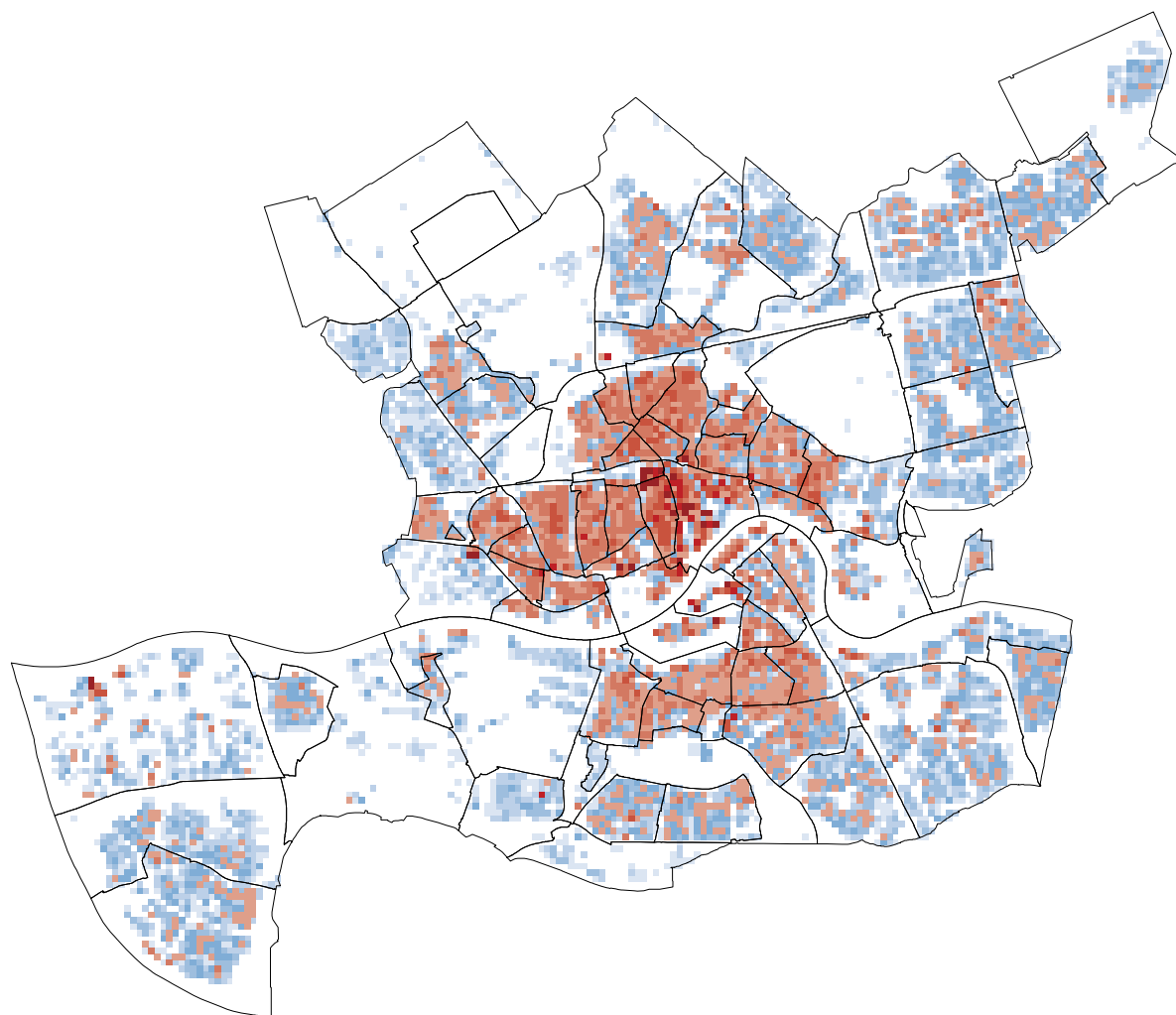
## Software

ArcGIS

## Data

Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN 2) Rijkswaterstaat (RWS)

# Gebouwschil



**Legenda**       $\leq 0,1$      $>0,10 \leq 0,20$      $>0,20 \leq 0,30$      $>0,30 \leq 0,40$      $>0,40 \leq 0,50$      $>0,50 \leq 0,75$      $>0,75 \leq 1,00$      $>1,00 \leq 1,25$      $>1,25 \leq 1,50$      $>1,50$

**Inhoud**      De gebouwschil is bepalend voor zowel de blootstelling van gebouwen aan zowel de zon, als ook het hemelgewelf. Overdag bepaalt de gebouwschil hoeveel zonnestraling ontvangen wordt. 's Nachts is het oppervlakte bepalend voor de warmteafgifte.

**Waardes**      x 10.000 vierkante meters gebouwschil per hectare

**Methode**      Aan de hand van een 3D-model van de stad Rotterdam is de oppervlakte van de buitenkant van de bebouwing berekend per hectare.

**Software**      ArcGIS

**Data**          BAG; Kadaster; Nederland; Basisregistraties; Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN 2) Rijkswaterstaat (RWS)





# Warmte- kaarten

Hotterdam heeft twee  
warmtekaarten opgeleverd:

De **warmtekaart sociaal** doet uitspraken over de kwetsbaarheid van met name ouderen voor het stedelijke warmte-eiland effect in de stad Rotterdam.

De **warmtekaart fysiek** doet uitspraken over de verhouding tussen warmte en ruimtegebruik in Rotterdam. Welke combinaties van ruimtegebruik maken de stad Rotterdam meer of minder warm?

# Warmtekaart sociaal

Het ruimtelijke patroon van kwetsbaarheid van met name ouderen voor het stedelijke warmte-eiland effect in de stad Rotterdam.

## Achtergrond

Het idee achter de warmtekaart sociaal is dat je wilt weten waar in de stad kwetsbaarheid voor warm weer tot problemen leidt voor met name oudere inwoners. Wanneer je als gemeente vanuit beleid wil sturen en je kan niet de stad als geheel aan te pakken, waar zou je dan beter kunnen beginnen met het treffen van maatregelen, en met het informeren van inwoners en woningeigenaren?

## Methode

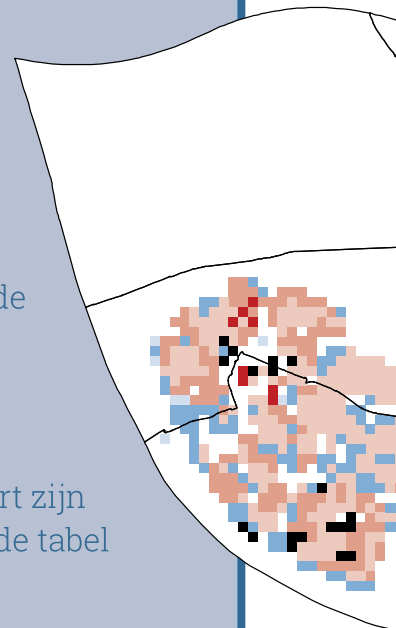
In de atlas zijn de sociale kenmerken in kaart gebracht die in eerdere onderzoeken aangemerkt zijn als mogelijke oorzaken van warmteproblemen. Aan de hand van hiërarchische meervoudige regressie analyses is vastgesteld welke van deze er in de case van Rotterdam (statistisch) toe doen: het aantal 75-plussers per hectare, de gemiddelde leeftijd van de bebouwing, en de som van de voelbare warmte en de bodemwarmtestroom. Met een clusteranalyse zijn de verbanden tussen die samenhangende kenmerken bepaald en in kaart gebracht.

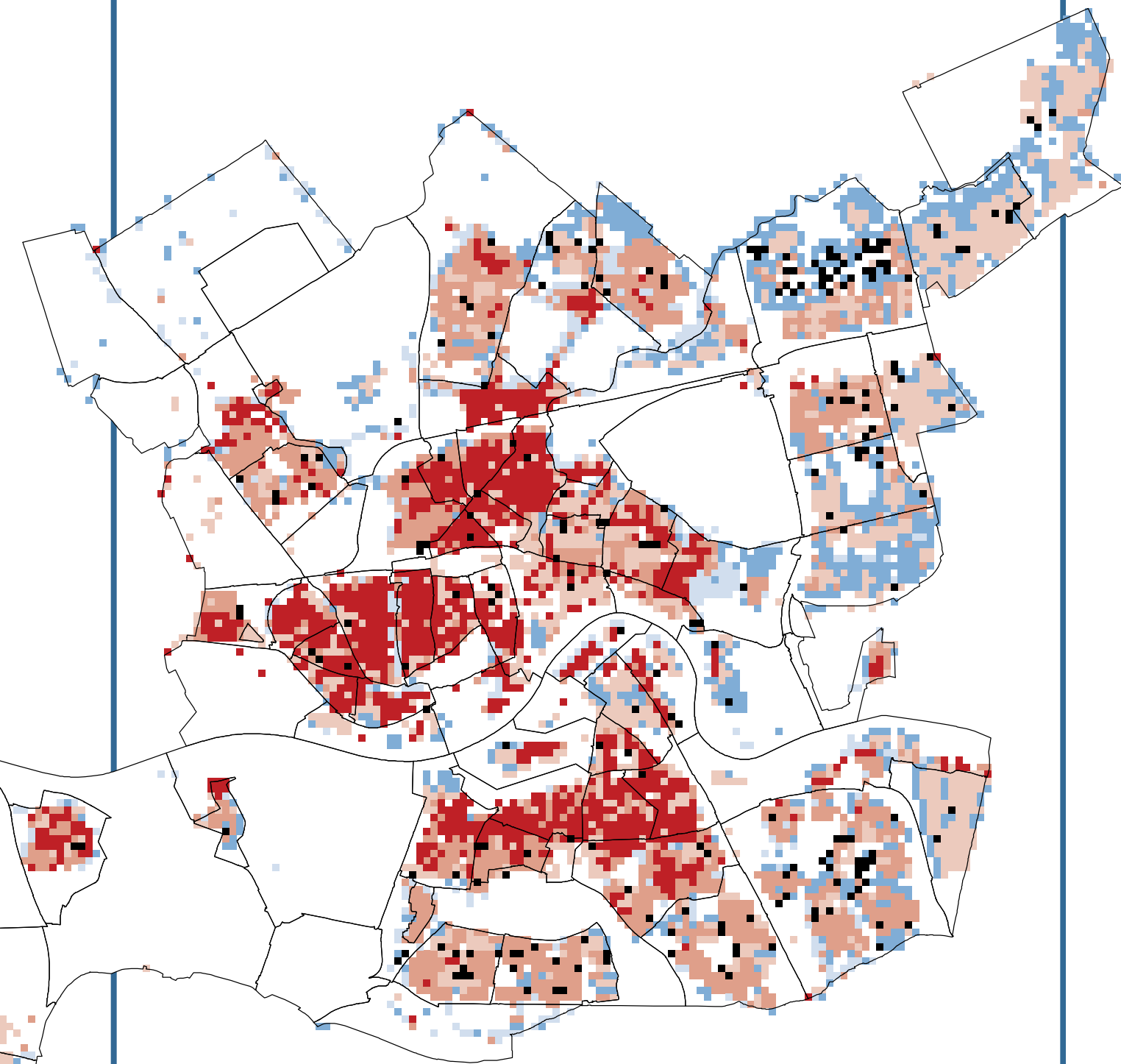
## Resultaten

Het resultaat is een zestal clusters (of typologieën) die hier in de kaart zijn weergegeven met verschillende kleuren, samen met een bijbehorende tabel die de achterliggende waardes duidt.

## Conclusie

Ouderen wonen in Nederland nog altijd sterk geconcentreerd in een beperkt aantal zorginstellingen (zwart). Deze woon/leefomgevingen vragen bijzondere aandacht. De wijken rond het centrum (Noord, Zuid en West) tellen minder oudere inwoners per hectare. Ze vangen wel de meeste straling op, de woningen zijn er gemiddeld het oudst terwijl die gebieden eveneens omvangrijk zijn (rood).





Legenda

75-plussers/ha	77	4	5	4	1	2
Ouderdom gebouw	36 jaar	85 jaar	59 jaar	27 jaar	88 jaar	23 jaar
QH + QS	363 W/m <sup>2</sup>	411 W/m <sup>2</sup>	353 W/m <sup>2</sup>	396 W/m <sup>2</sup>	294 W/m <sup>2</sup>	314 W/m <sup>2</sup>

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Sociaal.

# Warmtekaart fysiek

Het ruimtelijke patroon van ruimtegebruik dat meer of minder bijdraagt aan het stedelijke warmte-eiland in de stad Rotterdam.

## Achtergrond

Het idee achter de warmtekaart fysiek is dat je wilt weten waar in de stad die kenmerken optreden die het stedelijk warmte-eiland versterken. Dat inzicht leert welke combinaties van ruimtegebruik je maar beter kan vermijden en welke je juist vaker zou willen toepassen vanuit het oogpunt om de stad koeler te maken.

## Methode

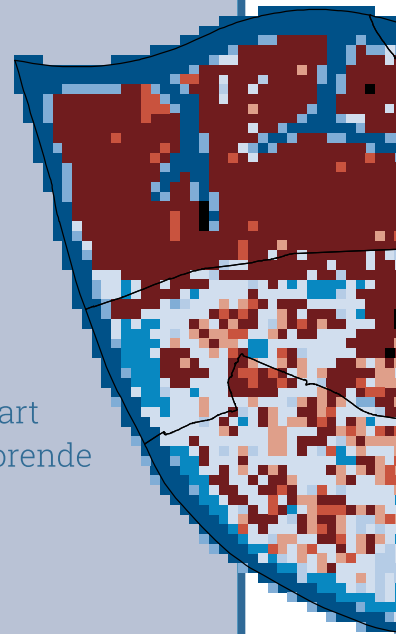
In de atlas zijn de sociale kenmerken in kaart gebracht die in eerdere onderzoeken aangemerkt zijn als mogelijke oorzaken van warmteproblemen. Aan de hand van regressie analyse is vastgesteld welke van deze er (statistisch) toe doen: verharding, oppervlaktewater, gebladerte (leaf area index), gebouwschil en schaduw. Met deze kenmerken is een cluster analyse uitgevoerd. Met een cluster analyse zijn de verbanden tussen samenhangende kenmerken bepaald en gegroepeerd.

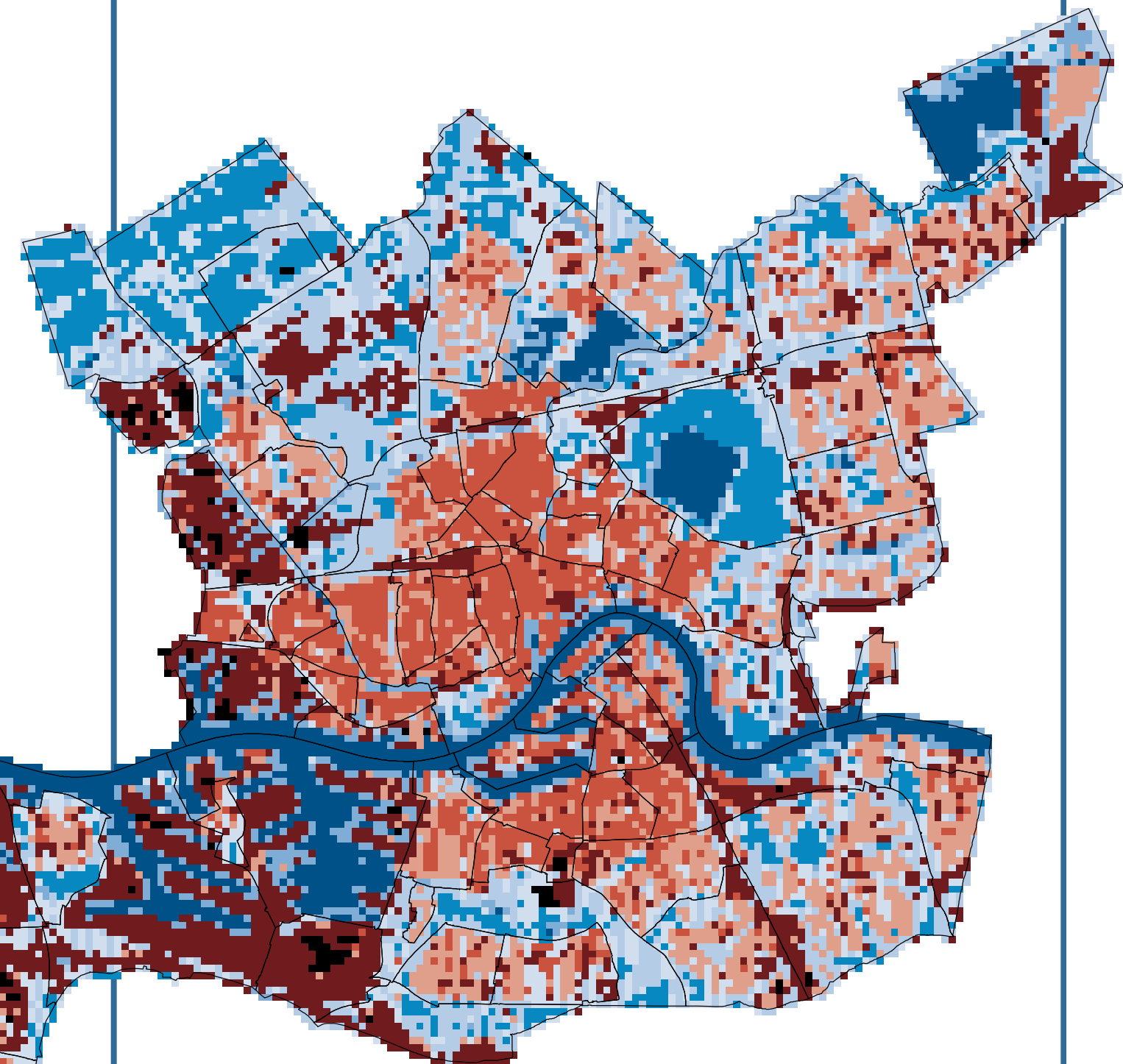
## Resultaten

Het resultaat is een achttal clusters (of typologieën) die hier in de kaart zijn weergegeven met verschillende kleuren, samen met een bijbehorende tabel die de achterliggende waardes duidt.

## Conclusie

De omvangrijke terreinen voor havens, industrie en bedrijven spelen een sterke rol in de vorming van warmte-eiland Rotterdam: Vondelingeplaat, Eemhaven, Waalhaven, Vierhavens, Spaanse Polder, Bedrijvenpark Noordwest. Deze gebieden komen niet voor op de Warmtekaart Sociaal omdat ze geen inwoners kennen. Het centrum van de stad en de wijken er omheen (opnieuw: Noord, Zuid en West) worden meer dan andere wijken gekenmerkt door fysieke factoren die bepalend zijn voor het stedelijk warmte-eiland.





Legenda

	0,80	0,59	0,58	0,39	0,37	0,36	0,09	0,06
Verharding	0,80	0,59	0,58	0,39	0,37	0,36	0,09	0,06
Gebladerte (LAI)	249	350	557	1014	1056	262	2074	27
Gebouwschil	1261 m <sup>2</sup> /ha	8136 m <sup>2</sup> /ha	4269 m <sup>2</sup> /ha	1139 m <sup>2</sup> /ha	663 m <sup>2</sup> /ha	732 m <sup>2</sup> /ha	136 m <sup>2</sup> /ha	23 m <sup>2</sup> /ha
Oppervlaktewater	3%	2%	4%	7%	8%	54%	8%	96%
Schaduw	2,4	2,8	3,9	1,4	4,5	2,9	2,8	2,5
QH + QS	456 W/m <sup>2</sup>	406 W/m <sup>2</sup>	375 W/m <sup>2</sup>	324 W/m <sup>2</sup>	316 W/m <sup>2</sup>	311 W/m <sup>2</sup>	242 W/m <sup>2</sup>	119 W/m <sup>2</sup>

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Fysiek.





# Adaptatie

Rotterdam krijgt in de toekomst vaker te maken met warme zomers en hittegolven. Dat is geen goed nieuws voor met name de oudere inwoners in de stad. We hoeven echter niet stil te zitten...

Bewoners, woning-eigenaren en de gemeente Rotterdam kunnen elk specifieke acties ondernemen om zich aan te passen aan stedelijke warmte.

# Op drie niveaus aanpassen

Stedelijke warmte plaatst ons voor een ingewikkelde opgave die zich onvoorzien en in korte tijd kan ontwikkelen tot een serieuze calamiteit die honderden, zo niet duizenden slachtoffers kan eisen.

Stedelijke warmte vraagt om een mix van oplossingen waarbij bewoners, woning-eigenaren en de gemeente elk aan zet zijn bij het aanpassen aan een omgeving die vaker en langduriger warm zal zijn in de toekomst.

## Bewoners

Nederlanders zijn niet gewend aan warmte. Onze huizen hebben onevenredig grote ramen, en moeten het meestal doen zonder zonwering. Bij warm weer zetten we ramen en deuren gewoon open. Dat je op het warmste moment van de dag gaat rusten en je terugtrekt daar waar het koel is (siësta), is onbekend. Dat deden ze toch alleen in Spanje? En dat terwijl veel ellende die optreedt bij een hittegolf voorkomen kan worden door ons gedrag aan te passen. Verkoeling zoeken, voldoende drinken, vermijden dat je woning opwarmt, en zorgen dat die woning weer afkoelt wanneer het kan. Dat zijn allemaal zaken die weinig geld kosten en meetbaar effectief zijn.

## Eigenwoningbezitters, VVE's en corporaties

Daarnaast moeten we serieus overwegen om woningen en de daarbij behorende tuin of binnentuin aan te passen. De (binnen)tuin die hoort bij de woning is te vaak betegeld. Zo'n tuin kan makkelijk groener en natter. Ja, de woning kan mechanisch gekoeld worden met een airco maar daarmee versterken we wel het warmte-eiland effect. Veel woningen worden de komende jaren aangepakt in het kader van energie-efficiëntie. Koel houden in de zomer moet een onderdeel worden van die ingrepen. En daarbij moeten we met name het dak koelhouden.

## Gemeente

Ten slotte scheelt het of de omgeving waar je woont meehelpt om jezelf en je woning koel te houden. Straten met grote bomen bieden schaduw en verkoelen door verdamping. Die verkoeling kan nog sterker aangezet worden door onnodige verharding te vervangen met natuurlijke materialen, en door meer (ondiep) oppervlakte water. En tenslotte kan de openbare ruimte voorzien worden van voorzieningen die schaduw bieden. Mogelijk doe je dat vooral op betekenisvolle openbare ruimten. En dat kan mooie architectuur en stedelijke ruimte opleveren. Al met al is klimaatadaptatie best te doen.

# 01 Gedrags-aanpassing



## Verkoeling zoeken

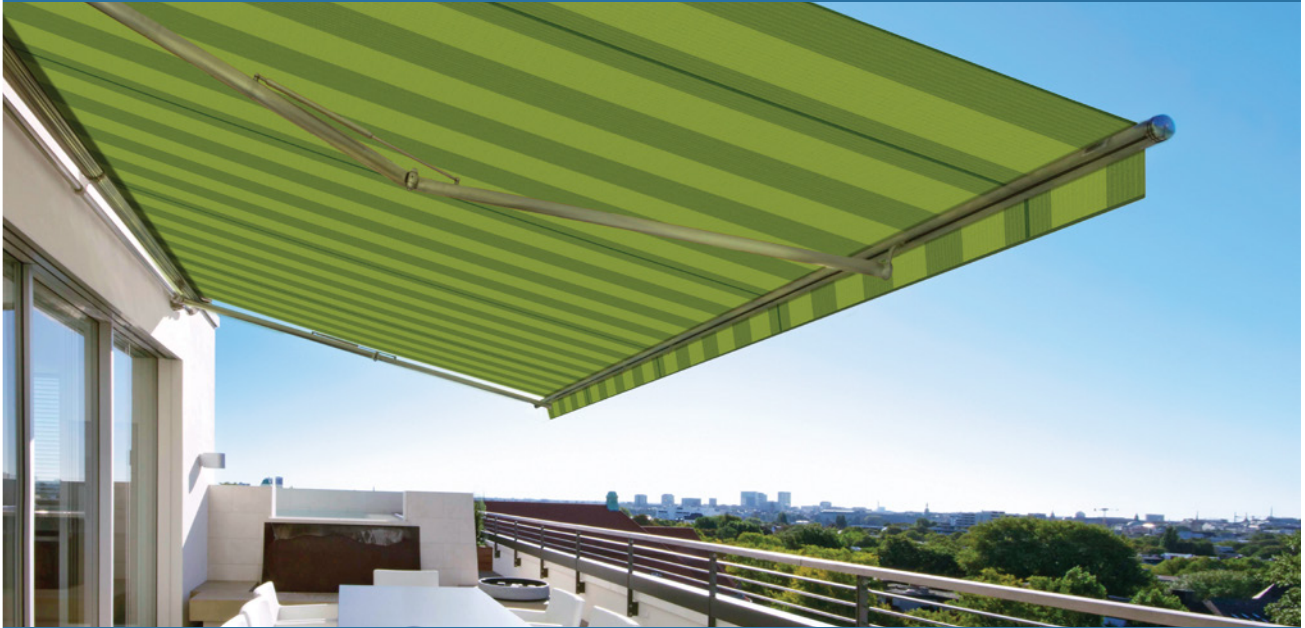
Stel je lichaam tijdens warm weer niet onnodig bloot aan de hitte. Kleedt je licht en span je niet in. Richt een comfortabele plek in waar het koel is, weg uit de zon.



## Voldoende water drinken

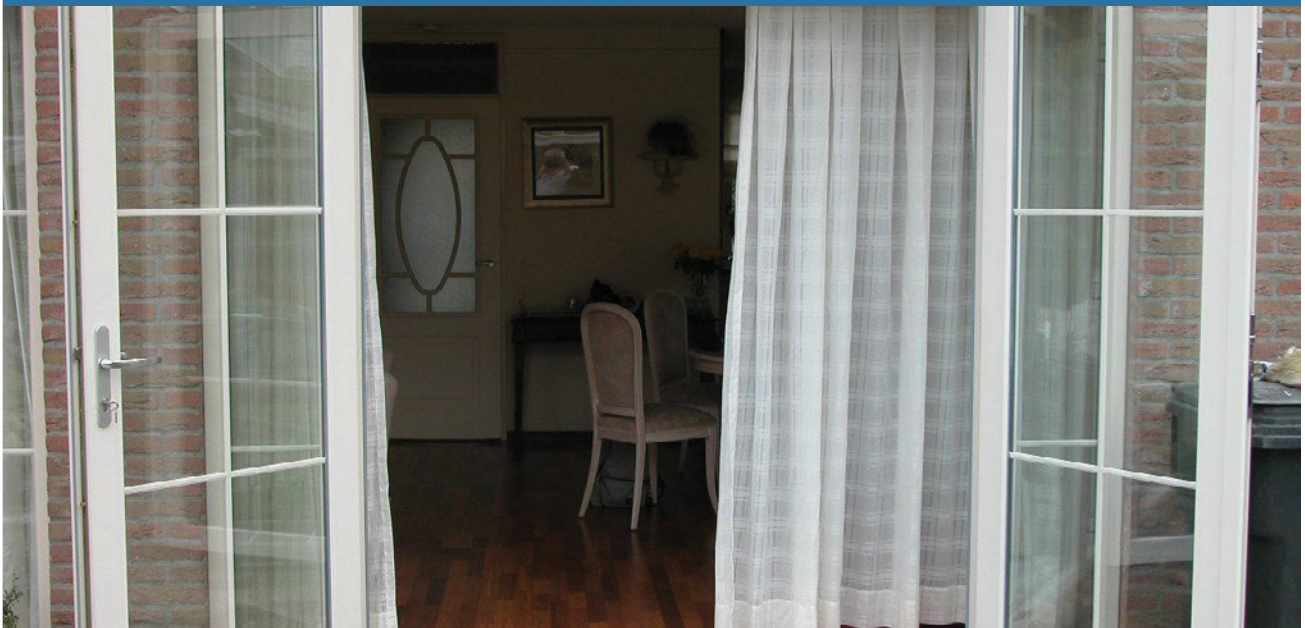
Tijdens warm weer is het belangrijk dat je lichaam over voldoende vocht beschikt. Je loopt namelijk het risico dat je lichaam uitdroogt. Water drinken is dus een 'must'.





## Zon weren

Je woning wordt warm door warmtestraling die door het raam naar binnenkomt. Die straling kan je buiten houden door het gebruik maken van zonneschermen, louvreschermen, luiken of folies.



## Natuurlijk koelen

Wanneer het buiten warmer is dan binnen, sluit dan ramen en deuren om warme lucht buiten te houden. Omgekeerd, zodra het buiten koeler is, zet dan ramen en deuren wijd open om de woning te koelen.



## 02 Woning-aanpassing



### (Binnen)tuin vergroenen

Veel mensen betegelen hun tuin. Met oog op warmte is het beter om water, groen en schaduw-bomen aan te brengen in je (gemeenschappelijke) tuin, zoals hier in de zogenaamde 'Tuin van Jan' in Amsterdam.



### Mechanisch koelen

Ja, je kan je woning koelen met een airconditioner. Voor kwetsbare groepen (ouderen) kan dit een snelle een oplossing zijn. Het gebruik van airconditioners versterkt wel het warmte-eiland. Dus liever niet doen, tenzij het echt niet anders kan.





## Energie-efficiënt maken

Vanaf 2020 schrijft Europa voor dat gebouwen, 'nearly zero energy buildings' worden. Denk daarbij niet alleen aan het energiegebruik in de winter maar ook aan het toekomstige energiegebruik om woningen te koelen in de zomer.



## Dak koelhouden

De zonnestraling die op je dak valt, kan weerkaatst worden met speciale hoogalbedo coatings of omgezet worden in elektriciteit. Groene daken kunnen ook helpen, maar die moet je wel goed vochtig houden bij warm weer.



## 03 Stads-aanpassing



### Straat vergroenen

Bomen verdampen water en bieden schaduw. Het meest effectief zijn bomen in straten. Daar kunnen ze woningen direct schaduw bieden, zoals in de Graaf Florisstraat in Rotterdam West.



### Koel bestraten

De verharding van straten en wegen draagt sterk bij aan problemen rond stedelijke warmte. Jaarlijks wordt een klein deel van die verharding vervangen. Dat biedt de mogelijkheid om materialen toe te passen die groener zijn, minder warmte opnemen of een hogere albedowaarde hebben.





## Water toevoegen

Ondiepe bassins, vijvers en fonteinën verdampen relatief veel, en werken dus verkoelend, terwijl ze maar weinig warmte op kunnen slaan. Waterberging is tevens nodig voor de opvang van overvloedige regenval. Werk met werk maken heet dat.



## Pleinen beschaduwen

Schaduw is een effectieve manier om verhitting tegen te gaan. Wanneer voorzieningen doordacht ontwikkeld en ontworpen worden, kunnen ze tevens identiteit geven aan openbare ruimte en de stad verrijken. 'Forest of Hope' door El Equipo De Mazzanti is daar een mooi voorbeeld van.



# Annex

Het Hotterdam-onderzoek was niet tot stand gekomen zonder de programma's Climate Proof Cities en 3TU.BOUW Lighthouse Projects, zonder excellente literatuur en behulpzame instanties die hun data beschikbaar stelden. We zijn daar nadrukkelijk dankbaar voor.

# Projecten

Deze Hotterdam-publicatie is het resultaat van twee projecten: Climate Proof Cities en Sensing Hotterdam. Climate Proof Cities maakt deel uit van het Kennis voor Klimaat programma. Sensing Hotterdam is een activiteit van 3TU.Bouw.

## Climate Proof Cities

Het Hotterdam-onderzoek is verricht in het kader van het Climate Proof Cities programma. Climate Proof Cities (CPC) is één van de consortia binnen het nationale onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. Het doel van CPC is het versterken van het aanpassingsvermogen en het verminderen van de kwetsbaarheid van het stedelijke systeem voor klimaatverandering. In samenwerking met diverse stakeholders zijn strategieën en beleidsinstrumenten ontwikkeld voor de aanpassing van steden en gebouwen.

## Sensing Hotterdam

Het Hotterdam-onderzoek heeft dankbaar gebruik gemaakt van de uitkomsten van één van de 3TU.Bouw lighthouse projects, mogelijk gemaakt door de 3TU. Federatie: Sensing Hotterdam. Sensing Hotterdam is een gezamenlijk project van TU Delft en TU Eindhoven waarin Frank van der Hoeven, Alex Wandl en Bert Blocken deelnamen.

# Bronnen

Bij het Hotterdam-onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de onderstaande literatuur, websites en databronnen.

## Literatuur

- Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., & Hook, S. J. (2005). Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. In J. J. Butler (ed.), *Proc. SPIE 5882, Earth Observing Systems X, 58820E*. Bellingham, WA: SPIE. doi: 10.1117/12.619990
- Daniele, V. (2010). Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS. Paper presented at the 46<sup>th</sup> ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenya. Retrieved from [http://www.isocarp.net/Data/case\\_studies/1815.pdf](http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1815.pdf)
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Maurid, E. & Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313-323. doi:10.1002/joc.2222
- Dousset, B. & Gourmelon, F. (2003) Surface temperatures of the Paris Basin during summertime, Using satellite remote sensing data. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, September 2003. Retrieved from [http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O\\_27A\\_2.pdf](http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_27A_2.pdf)
- Greater London Authority. (2006). *London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers*. Retrieved from [http://legacy.london.gov.uk/mayor/environment/climate-change/docs/UHI\\_summary\\_report.pdf](http://legacy.london.gov.uk/mayor/environment/climate-change/docs/UHI_summary_report.pdf)
- Harman, I. N. (2003). *The energy balance of urban areas*. (Doctoral dissertation, The University of Reading, Reading, United Kingdom). Retrieved from <http://www.met.rdg.ac.uk/phdtheses/The%20energy%20balance%20of%20urban%20areas.pdf>
- Hoeven, F. D. van der, & Wandl, A. (2013). *Amsterwarm. Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam*. Delft, Nederland: TU Delft, Faculty of Architecture
- Mavrogianni A., Davies M., Batty M., Belcher S.E., Bohnenstengel S.I., Carruthers D., Chalabi Z., (...), Ye Z. (2011) The comfort, energy and health implications of London's urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32 (1), pp. 35-52. doi: 10.1177/0143624410394530
- Mavrogianni, A., Davies, M., Chalabi, Z., Wilkinson, P., Kolokotroni, M., & Milner, J. (2009). Space heating demand and heatwave vulnerability: London domestic stock. *Building Research & Information*, 37(5-6), 583-597. doi:10.1080/09613210903162597
- Robine, J. M., Cheung, S. L., Le Roy, S., Van Oyen, H., & Herrmann, F. R. (2007). Report on excess mortality in Europe during summer 2003 (EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114). Retrieved from [opa.eu/health/ph\\_projects/2005/action1/docs/action1\\_2005\\_a2\\_15\\_en.pdf](http://opa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf)
- Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., ... Ledrans, M. (2006). August 2003 Heat Wave in France: Risk Factors for Death of Elderly People Living at Home. *European Journal of Public Health*, 16(6), 583-591. doi:10.1093/eurpub/ckl063
- Yale Center for Earth Observation. (2010). Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature. Retrieved from [http://www.yale.edu/ceo/Documentation/DN\\_to\\_Kelvin.pdf](http://www.yale.edu/ceo/Documentation/DN_to_Kelvin.pdf)
- Zaksek, K., Ostir, K., & Kokalj, Z. (2011). Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing*, 3(2), 398-415.

## Websites

- <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>  
<http://earthexplorer.usgs.gov>  
<http://knowledgeforclimate.climate-research-netherlands.nl/climateproofcities>  
<http://www.3tu.nl/bouw/en/>  
<http://www.cbs.nl>  
<http://www.climatescenarios.nl>  
<http://www.detuinvanjan.nl>  
<http://www.knmi.nl/klimatologie/>

## Databronnen

GIS data met betrekking tot ruimtegebruik zijn verkregen van de gemeente Rotterdam, waaronder gegevens die afgeleid zijn van de TOP 10 Rotterdam en het Algemeen Hoogte Bestand Nederland 2 (AHN-2).

De satellietbeelden die in deze studie gebruikt zijn, zijn afkomstig van NASA. De Landsat 5 en 8 beelden zijn gedownload van USGS's EarthExplorer website: <http://earthexplorer.usgs.gov/>







Het klimaat in de stad gedraagt zich anders dan daarbuiten, terwijl het stadsklimaat van wezenlijke invloed is op het welzijn van de inwoners van de stad.

Het doel van het Hotterdam-onderzoek is het beter begrijpen van stedelijke warmte in Rotterdam om vandaaruit een verband te leggen met de gezondheid van de Rotterdamse bevolking en de kenmerken van de fysieke ruimte die de stad meer of juist minder warm maken.

Die inzichten moeten de stad Rotterdam en haar inwoners bewuster én weerbaarder maken ten aanzien van de gezondheidseffecten van hittegolven. De inzichten die zo ontstaan zijn relevant voor andere steden in Nederland en daarbuiten.

