TU Delft

Delft University of Technology

Haagse Hitte

Het Haagse warmte-eiland in kaart gebracht

van der Hoeven, Franklin; Wandl, Alexander

DOI
10.7480/BKBOOKS.602

Publication date
2018

Document Version
Final published version

Citation (APA)
van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2018). *Haagse Hitte: Het Haagse warmte-eiland in kaart gebracht*. TU Delft OPEN Publishing. https://doi.org/10.7480/BKBOOKS.602

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.

Haagse Hitte

Frank van der Hoeven
Alexander Wandl
TU Delft BK



Haagse Hitte

Haagse Hitte

Het Haagse warmte-eiland in kaart gebracht

TU Delft, Bouwkunde
Frank van der Hoeven
Alexander Wandl

Informatie

Uitgever
TU Delft Open

Adres
Julianalaan 134, 2628 BL Delft

Auteurs
Dr. ir. Frank van der Hoeven
Directeur Onderzoek van de TU Delft Bouwkunde en universitair hoofddocent Urban Design bij de afdeling Urbanism van TU Delft Bouwkunde. Zijn onderzoek richt zich op ondergronds en meervoudig ruimtegebruik, duurzame mobiliteit, hoogbouw, glastuinbouw, klimaatverandering, stedelijke warmte-eilanden, en het gebruik van remote sensing.

Ir. Alexander Wandl
Onderzoeker bij de afdeling Urbanism van TU Delft Bouwkunde. Zijn onderzoek richt zich op de integratie van stedelijke vorm, de prestaties en het daarmee samenhangende ruimtelijke beleid door het concept van stedelijke metabolisme, met een ruimtelijke focus op peri-urbane gebieden.

Ontwerp
Sirene Ontwerpers, Rotterdam

Graphics
Frank van der Hoeven

Datum
Januari 2018

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

Verwijzing
Hoeven, F. D. van der, Wandl, A. (2017). Haagse Hitte: Het Haagse warmte-eiland in kaart gebracht. Delft, Nederland: TU Delft.

ISBN-13
978-9463660037

Omslag
Nachtelijk warmte-eiland, gemiddelde van 12-09-2016, 26-05-2017 en 18-06-2017

Inhoud

Samenvatting 6

Context 13

Beeldvorming hitte-eiland Den Haag 14

Klimaatscenario's KNMI'14 15

Woningbouwopgave Zuid-Holland 16

Vergrijzing van de bevolking - prognose CBS 17

Meer sterfte door hitte 18

Onderzoeksopzet 19

Onderzoeksvragen 20

Methodiek 22

Begrippen 23

Haagse Hitte: fors, maar niet erger dan bij de buren 32

Atlas 45

In Centrum en Laak wordt het het heetst 46

Stenig, weinig groen, reflectie of water 58

Warmtekaart ruimte 68

Geen lineair verband 70

Warmtekaart gezondheid 76

Adaptatie 79

Daken, straten, binnentuinen, zorggebouwen, bufferzones en groene iconen 80

Bronnen 89

Samenvatting

Achtergrond

De afgelopen jaren zijn verschillende studies verricht naar het warmte-eiland effect in Nederland. Een studie van TNO (TNO, 2012) heeft voor wat betreft Den Haag de toon gezet. Den Haag zou van alle Nederlandse steden het sterkste warmte-eiland effect kennen. Die beeldvorming heeft gezorgd voor een maatschappelijke en politieke bezorgdheid die het vertrekpunt vormt voor dit Haagse Hitte onderzoek van de TU Delft, mede mogelijk gemaakt door de gemeente Den Haag. Bij het onderzoek hebben we ons de volgende vragen gesteld:

Is het warmte-eiland effect in Den Haag inderdaad fors sterker dan in naburige steden?

Welke stadsdelen van de gemeente Den Haag zijn het sterkst getroffen door het zomerse hitte-eiland effect?

Wordt het warmte-eiland effect in Den Haag veroorzaakt door het ruimtegebruik? En zo ja, welk ruimtegebruik legt hier het meeste gewicht in de schaal?

In juli 2006 trad er als gevolg van de extreme hitte een verhoogde sterfte op in Den Haag. Is de ruimtelijke spreiding van de sterfte gedurende die maand mede te verklaren aan de hand van het warmte-eiland effect?

Is er voldoende aanleiding voor de stad Den Haag om actie te ondernemen ten aanzien van het stadsklimaat? En zo ja, moeten dan bepaalde delen van de stad eerder aangepakt worden dan andere? Welke adaptieve maatregelen moeten we daar nemen om het warmte-eiland effect verminderen?

Methode

Met remote sensing methodes is het warmte-eiland (oppervlaktetemperatuur) en de oppervlakte energiebalans bepaald. Met crowd sensing is de temperatuur in de directe nabijheid van meer dan 200 woningen gevolgd over een periode van twee jaar. Sociale en ruimtelijke factoren zijn in kaart gebracht met satellietbeelden, GIS en 3D-modellen. Met deze gegevens als vertrekpunt zijn de verbanden bepaald tussen warmte-eiland/oppervlakte energiebalans enerzijds en sociale/ruimtelijke factoren anderzijds. Multivariabele regressie analyse is gebruikt om de sociale en ruimtelijke kenmerken te bepalen die van invloed zijn bij het ontstaan van het warmte-eiland en bij de verhoogde sterfte onder ouderen.

De sociale en ruimtelijke factoren zijn verwerkt in de warmtekaarten gezondheid en ruimte. De warmtekaarten en de achterliggende data bieden inzicht in de factoren de Haagse bevolking kwetsbaar maakt voor hittegolven.

Resultaten

Het onderzoek resulteert uiteindelijk in twee warmtekaarten, een atlas met achterliggende data, en een set adaptatiemaatregelen voor de gebouwde omgeving. Gezamenlijk kunnen deze de stad Den Haag en haar inwoners weerbaarder maken ten aanzien van de effecten van hitte. Een eenvoudige tijdslijn onderstreept dat Haagse hitte vraagt om een beleid van lange adem.

Conclusie

Is het warmte-eiland effect in Den Haag inderdaad fors sterker dan in naburige steden?

Op basis van gedetailleerde en ook recente satellietbeelden stellen we vast dat het Haagse warmte-eiland effect inderdaad fors is, maar niet ernstiger dan in de rest van de Metropoolregio. Het oppervlakte warmte-eiland in Den Haag is overdag minder versnipperd dan dat van Rotterdam maar niet sterker. Het nachtelijke oppervlakte warmte-eiland staat onder invloed van de Noordzee. In het voorjaar is de zee ‘s nachts koeler dan het stadsoppervlak, in het najaar zijn die verhoudingen omgedraaid. De crowd sensing metingen tonen dat de temperatuur in de direct omgeving van woningen ‘s zomers gemakkelijk boven de 30 graden Celsius uitkomt.

Welke stadsdelen van de gemeente Den Haag zijn het sterkst getroffen door het zomerse warmte-eiland effect?

In Den Haag speelt de warmte-eiland problematiek vooral in de stadsdelen Centrum (inclusief de Schilderswijk en Transvaal), Scheveningen en Laak (inclusief de Binckhorst).

Wordt het warmte-eiland effect in Den Haag veroorzaakt door het ruimtegebruik? En zo ja, welke ruimtegebruik legt hier het meeste gewicht in de schaal?

Er bestaat een sterk verband tussen het warmte-eiland effect (QH + QS) en het ruimtegebruik in Den Haag. De mate van verharding, het gebrek aan weerkaatsing van zonlicht (albedo), de afwezigheid van groen en oppervlaktewater, schaduw en sky-view, gebouwvolume en de afstand tot de zee zijn factoren die gezamenlijk het warmte-eiland bepalen in de zomer. Er is niet gekeken naar het warmte-eiland effect in een winterse situatie.

In juli 2006 trad er als gevolg van de extreme hitte een verhoogde sterfte op in Den Haag. Is de ruimtelijke spreiding van de sterfte gedurende die maand mede te verklaren aan de hand van het warmte-eiland effect?

In juli 2006 zijn er 60 oudere inwoners (75+) méér overleden in Den Haag dan in een gemiddelde maand juli (periode 2001-2015). In vergelijking met de koele juli van 2007 zijn dat zelfs 93 oudere inwoners méér. We hebben geen lineair verband vastgesteld tussen de ruimtelijke spreiding van 75-plussers per hectare, de gemiddelde leeftijd van de bebouwing, en de som van de voelbare warmte en de bodemwarmtestroom. Clustering van deze aspecten laat wel sterke ruimtelijke verschillen zien qua bovengemiddelde sterfte. In sommige clusters nam het overlijden onder 75-plussers met 40-60% toe in juli 2006 terwijl andere delen van de stad 'slechts' een stijging van 0-20% optekenden, of zelfs een daling. De sterkste stijging komt overeen met het gebied met het sterkste warmte-eiland effect (QH+QS). Deze clusters komen vooral voor in Scheveningen, Centrum en Laak. In de stadsranden van Loosduinen, Escamp en het Haagse Hout zijn eveneens selecte gebieden waar in juli 2006 een sterk verhoogde sterfte onder 75-plussers optrad.

Is er voldoende aanleiding voor de stad Den Haag om actie te ondernemen ten aanzien van het stadsklimaat? En zo ja, moeten dan bepaalde delen van de stad eerder aangepakt worden dan andere? Welke adaptieve maatregelen moeten we daar nemen om het warmte-eiland effect verminderen?

Gelet op de onrust rond de hitte-eiland problematiek, de klimaatvoorspellingen van het KNMI, de forse verdichtingsopgave waar de stad voor staat, de verwachte vergrijzing, en de bovengemiddelde sterfte in juli 2006 is er inderdaad veel aanleiding om de problematiek beleidsmatig aan te pakken. In de stadsdelen Scheveningen, Centrum en Laak speelt de ruimtelijke problematiek het sterkst. Vanuit een gezondheidsoogpunt verdienen selecte gebieden in de stadsrand van Den Haag eveneens aandacht. De studie heeft een zevental acties benoemd gericht op het beteugelen van het hitte-eiland effect:

uitfaseren bitumen daken;
terugdringen verharding;
vergroenen binnenterreinen;
koel houden zorggebouwen;
monitoren oververhitting woningen;
behouden van bufferzones;
realiseren van groene iconen.

Deze acties vergen een lange beleidsadem die zich uitstrekt over decennia.

Warmtekaarten

De warmtekaarten laten zien in welke combinaties de factoren samenkomen die het warmte-eiland veroorzaken en van invloed zijn op de bovengemiddelde sterfte in juli 2006.

Warmtekaart Ruimte

De Warmtekaart Ruimte toont de clusters van ruimtelijke kenmerken die het stedelijk warmte-eiland versterken. Twee van deze clusters, 'kern' en 'jaren '30 stad' hebben meer dan de andere clusters die ruimtelijke eigenschappen die het warmte-eiland in de hand werken:

veel verharding;
weinig vegetatie;
lage albedo waarde;
beperkte sky-view;
weinig oppervlaktewater;
veel gebouwvolume.

Warmtekaart gezondheid

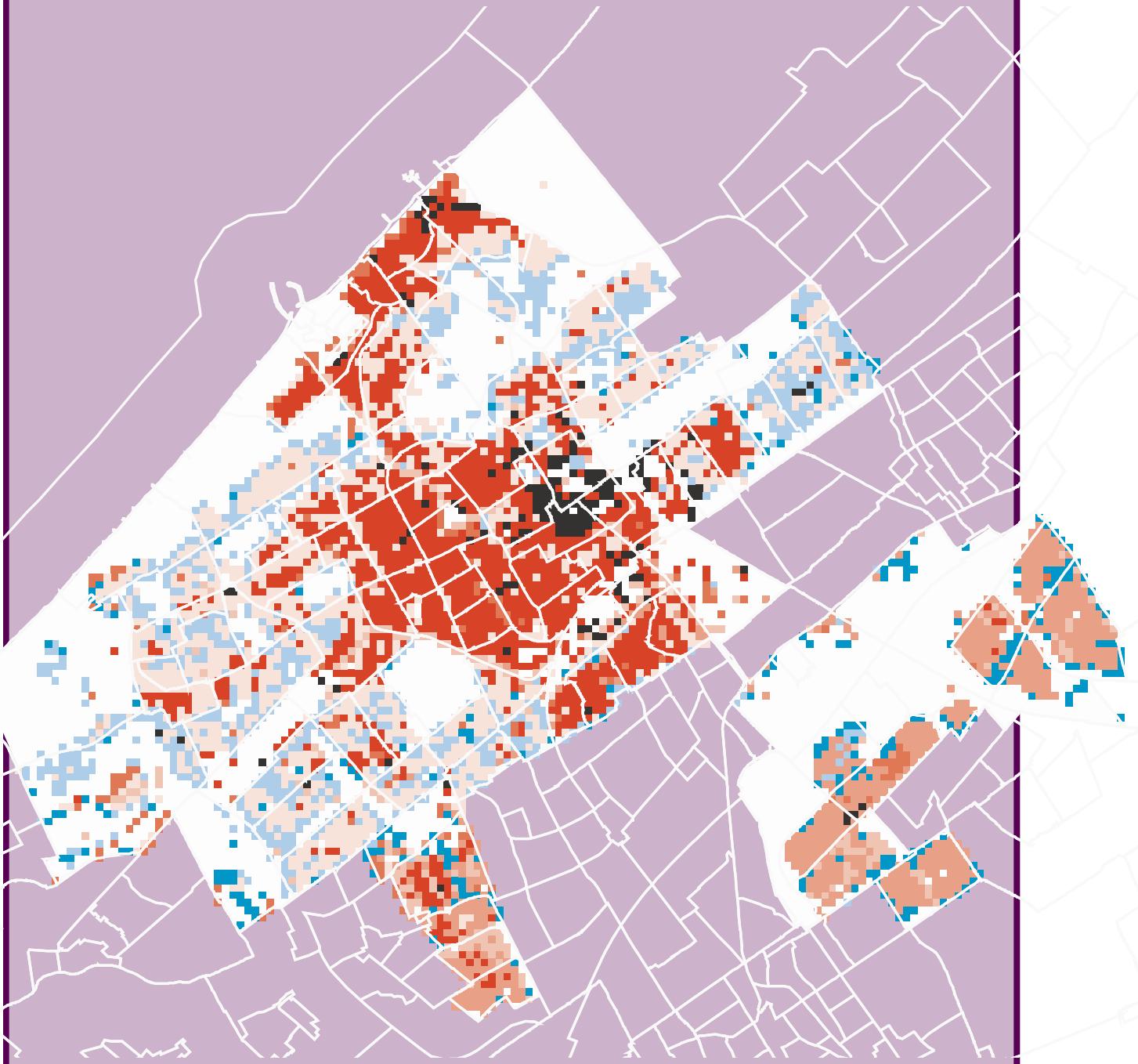
De warmtekaart gezondheid toont op een vergelijkbare wijze de factoren die samenhingen met de overmatige sterft die optrad in juli 2006:

aantal 75-plussers per hectare;
gemiddelde leeftijd van de bebouwing;
som van voelbare warmte en bodemwarmtestroom.

Het cluster **sterfte + 50-60% / sterk hitte-eiland** bevindt zich hoofdzakelijk in de stadsdelen Scheveningen, Centrum en Laak en overlapt met de ruimtelijke clusters 'kern' en 'stad van 1935'.

Het cluster **sterfte + 40-60% / concentratie 75 +** wordt gekenmerkt door een matig warmte-eiland effect. Dit duidt op een andere oorzaak (bijvoorbeeld directe zoninval). Dit vraag om nadere studie op gebouwniveau.

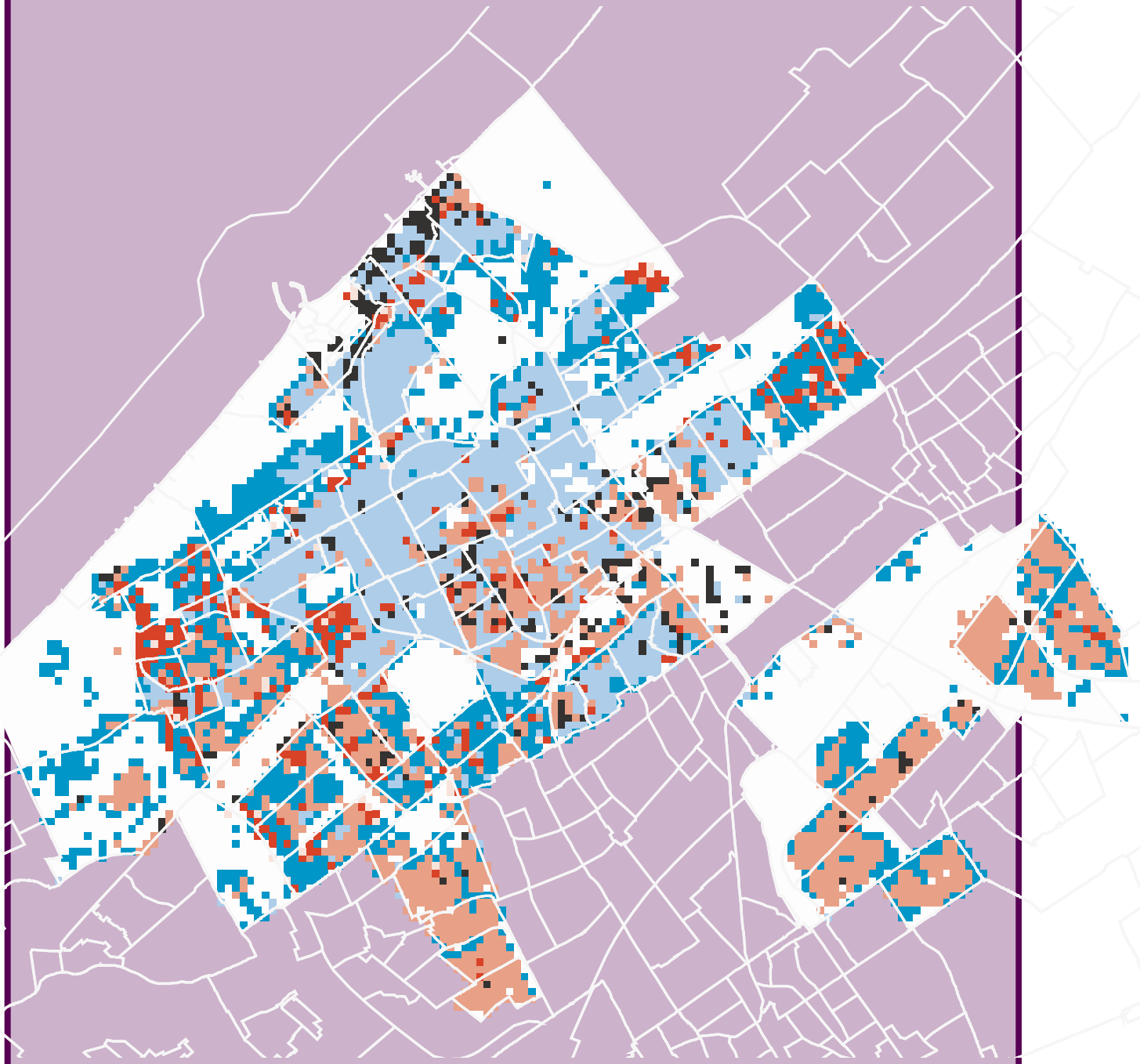
Warmtekaart Ruimte



Legenda								
	kern	**jaren '30 stad**	**open stad**	**vinex**	**waterrijk**	**tuinstad**	**groen**	**open groen**
Verharding	0.05	0.02	-0.01	-0.06	-0.09	-0.10	-0.25	-0.24
Vegetatie (NDVI)	0.25	0.31	0.30	0.43	0.41	0.49	0.66	0.64
Albedo	108	116	169	126	99	124	127	149
Sky-view factor	910	933	1114	1002	1004	875	731	1089
Water	1	0	1	6	29	2	6	10
Gebouwvolume	141.8	44.6	21.8	16.6	20.4	29.6	16.8	6.4
Afstand tot zee	4.4	3.9	4.1	9.6	6.1	3.5	3.6	7.7
QH + QS	271	263	267	228	226	225	189	177

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Ruimte.

Warmtekaart Gezondheid



Legenda						
	sterfte + 50-60% / sterk hitte-eiland	**sterfte + 40-60% / concentratie 75 +**	**sterfte + 40-50% / weinig 75 +**	**concentratie 75 + / historisch**	**lichte sterfte + / vooroorlogs**	**lichte sterfte + / zwak hitte-eiland**
75-plussers/ha	4	30	2	97	5	3
Ouderdom gebouw	gem. 1962	gem. 1968	gem. 1994	gem. 1881	gem. 1923	gem. 1965
QH + QS (W/m2)	325	223	238	218	248	190
Overleden 75+ ers juli 06	61	81	32	29	67	17
Overleden 75+ ers juli '06 / juli '07	25 (+61%)	34 (+58%)	12 (+53%)	8 (+38%)	11 (+17%)	3 (+16%)
Overleden 75+ ers juli '06 / juli '01-'15	20 (+48%)	23 (+39%)	9 (+41%)	8 (+39%)	1 (+2%)	-2 (-9%)

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Gezondheid.

Context

Het KNMI heeft scenario's opgesteld voor 2040 en 2085 uitgaande van 1 à 2°C opwarming van de aarde. Experts zien aankomen dat de aarde waarschijnlijk sneller opwarmt. Maar zelfs met de gangbare aannames zijn de gevolgen fors.

Het KNMI verwacht dat wanneer uw kinderen oud zijn, Den Haag een klimaat heeft dat vergelijkbaar is met het huidige klimaat in het Franse Bordeaux. Voor grote delen van het jaar is dat vooruitzicht best aangenaam. Tijdens hete zomers ligt dat anders. Voor jonge kinderen, ouderen, mensen met overgewicht, medische aandoeningen of ziektes kan hitte zwaar of zelfs ronduit schadelijk zijn.

Steden kennen los van de opwarming van de aarde, al een eigen lokaal klimaat effect. Op bepaalde momenten van het jaar en op bepaalde delen van de dag is de stad merkbaar warmer dan haar landelijke of natuurlijke omgeving.
Dat verschil kan wel tot 10°C oplopen. We noemen dat het stedelijk warmte-eiland effect of in de volksmond: het hitte-eiland. Het warmte-eiland effect van de stad Den Haag staat centraal in dit Haagse Hitte-onderzoek.

Beeldvorming hitte-eiland Den Haag

De afgelopen jaren zijn naar het hitte-eiland verschillende studies verricht. Een studie van TNO (TNO, 2012) heeft voor wat betreft Den Haag de toon gezet. Den Haag zou van alle Nederlandse steden het sterkste hitte-eiland effect kennen. Die beeldvorming heeft gezorgd voor een zekere maatschappelijke en politieke bezorgdheid. En precies die bezorgdheid vormt het vertrekpunt voor dit Haagse Hitte onderzoek van de TU Delft. De gemeente Den Haag heeft dat onderzoek mede mogelijk gemaakt.

Onderzoeksgebied

Het Haagse Hitte onderzoek betreft het gehele grondgebied van de gemeente Den Haag. De gemeente Den Haag telde begin 2017 ruim 520.000 inwoners. Den Haag wordt gekenmerkt door een historische kern, door compacte vooroorlogse wijken, wijken met naoorlogse open verkaveling, villawijken, VINEX-wijken, een centrumgebied met hoogbouw, bedrijventerreinen en tal van stadsparken. De direct ligging aan zee is één van de kenmerken die Den Haag uniek maakt ten opzichte van de andere grote steden in Nederland.
Daar waar een vergelijking van Den Haag met de omgeving van belang is, is het onderzoeksgebied verruimd opdat Delft, Zoetermeer, Rotterdam en Leiden eveneens in beeld komen.

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 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_L**	**Scenario G_H**	**Scenario W_L**	**Scenario W_H**
	1981-2010	2071-2100	2071-2100	2071-2100	2071-2100
gemiddelde temperatuur	17,0 °C	+1,2 °C	+1,7 °C	+3,2 °C	+3,7 °C
jaar-op-jaar variaties	± 1,4 °C	+5%	+9%	+7,5%	+14%
dagmaximum	21,9 °C	+1,0 °C	+1,7 °C	+3,0 °C	+3,8 °C
dagminimum	11,9 °C	+1,4 °C	+1,7 °C	+3,4 °C	+3,7 °C
koelste zomerdag per jaar	11,1 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,7 °C	+3,1 °C
warmste zomerdag per jaar	24,7 °C	+2,0 °C	+2,6 °C	+4,2 °C	+4,9 °C
aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)	21 dagen	+30%	+50%	+100%	+130%
aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	0,1 dagen	+0,9%	+1,2%	+6,5%	+7,5%

Kerncijfers KNMI'14 klimaatscenario's temperatuur in de zomer.

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_L en G_H , en W_L en W_H. L staat voor een lage waarde voor de verandering van het patroon van luchtstromingen. H staat voor een hoge waarde.

Woningbouw-opgave Zuid-Holland

De provincie Zuid-Holland heeft in 2016 een zogenaamde Woningbehoefteraming opgesteld. Tot het jaar 2040 is er behoefte aan 260.000 extra woningen in de provincie, waarvan het grootste deel, 190.000 woningen, nodig zijn in de metropoolregio Rotterdam-Den Haag. De regio Den Haag is binnen de metropoolregio de grootste groeier met 115.900 woningen. De gemeente Den Haag heeft binnen die regionale opgave een aandeel van circa 50.000 woningen

Dat betekent dat problemen met het stedelijke warmte-eiland in Den Haag eerder verscherpen dan ontspannen. Het toevoegen van woningen zonder aanpassing van de gebouwde omgeving zorgt voor meer verharding. Verharding is, zoals we zullen zien, een van de belangrijkste oorzaken van het stedelijk warmte-eiland.

Woningbehoefteraming			
(sub-)regio	**2015-2019**	**2020-2029**	**2030-2039**
Holland-Rijnland	15.000	13.900	2.300
SG Haaglanden	32.900	45.800	37.200
SR Rotterdam	28.200	19.400	18.100
Midden-Holland	5.600	5.900	2.000
Alblasserwaard/Vhl.	3.000	2.400	0
Drechtsteden	6.400	4.900	1.300
Hoeksche Waard	2.000	1.000	-1.400
Goeree-Overflakkee	900	-200	0
Zuid-Holland	**94.300**	**104.200**	**59.100**

Zuid-Hollandse Woningbehoefteraming 2016 (WBR2016)

Vergrijzing van de bevolking - prognose CBS

Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) 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.

Van alle inwoners vormen ouderen de meest kwetsbare groep wanneer het gaat om hitte. Juist deze groep is in de toekomst aanzienlijk groter dan nu.

Daar komt bij dat het beleid van de overheid erop gericht is dat ouderen steeds langer zelfstandig wonen, en niet langer geconcentreerd worden in bejaardencentra. De ruimtelijke spreiding van ouderen over de stad neemt toe. Het overzicht over deze kwetsbare groep inwoners neemt daarmee af.

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

Meer sterfte door hitte

Het CBS rapporteerde in de zomer van 2006 dat in juli van datzelfde jaar duizend mensen meer zijn overleden in Nederland dan in een gemiddelde maand juli. Volgens het KNMI was juli 2006 de warmste maand in de laatste 300 jaar in Nederland. Het Centre for Research on the Epidemiology of Disasters plaatste Nederland in 2006 derde op de wereld-ranglijst van slachtoffers als gevolg van extreem weer.

Sterfte als indicator

Hitte veroorzaakt meer gezondheidseffecten dan overlijden alleen. Mensen hebben moeite met slapen, kunnen huiduitslag of spierkramp krijgen, ook kunnen hoofdpijn en duizeligheid optreden. Er zijn echter weinig complete datasets op dit gebied die deze gezondheidseffecten koppelen aan persoon, plaats en tijd. De toegang tot gezondheidsdata wordt ook nog eens bemoeilijkt door de bescherming van uw privacy. Overlijden daarentegen wordt geregistreerd in de basisadministratie persoonsgegevens. Leeftijd van de persoon, plaats en datum van overlijden zijn gecombineerd in één database waarvan de gegevens wel toegankelijk zijn. Haagse hitte kijkt daarom naar het bovengemiddeld overlijden als indicator voor de gezondheidsproblematiek. De reden om sterfte te gebruiken als indicator is dus zowel inhoudelijk als pragmatisch.

De woning als filter

Er zijn belangrijke redenen om aan te nemen dat de woning werkt als filter tussen (de gezondheid van) bewoners en het warmte-eiland. Mensen bevinden zich namelijk het grootste deel van de dag in gebouwen, en niet buiten op straat. Evaluatie van de gevolgen van de hittegolf in 2003 op de inwoners van Parijs wijst op de meetbare rol van woningisolatie op dit gebied (Vandentorren, Bretin, Zeghnoun, Mandereau-Bruno, Croisier, Cochet, … & Ledrans, 2006). In de studie naar het warmte-eiland van Rotterdam (Van der Hoeven & Wandl, 2015) hebben we vastgesteld dat de dataset van energielabels voor woningen niet werkt als verklarende factor op dit gebied. De database met de leeftijd van woningen leverde betere resultaten op. Om deze reden gebruiken we opnieuw de leeftijd van gebouwen als indicator voor de (energie)kwaliteit van gebouwen.

Onderzoeks-opzet

Het doel van het Haagse Hitte-project is het beter begrijpen van stedelijke warmte in Den Haag om van daaruit een verband te leggen met de kenmerken van de fysieke ruimte van de stad en de gezondheid van de Haagse bevolking, met als resultaat aanbevelingen voor acties. Die inzichten moeten de stad Den Haag en haar inwoners bewuster én weerbaarder maken ten aanzien van het Haagse warmte-eiland effect, hier ook wel Haagse hitte genoemd.

Onderzoeks-vragen

De eerste vraag die wij ons gesteld hebben in het kader van het Haagse Hitte onderzoek betreft de beeldvorming die ontstaan is rond de hitte-problematiek:

Is het warmte-eiland effect in Den Haag inderdaad fors sterker dan in naburige steden?

Om die vraag te kunnen beantwoorden, schetsen we kort wat een hitte- of warmte-eiland is, en hoe we het kunnen meten. Ook kijken we naar hoe de eerste beeldvorming ten aanzien van het Haagse hitte-eiland is ontstaan:

Wat waren de gegevens, de aannames en de methodes die door TNO gebruikt zijn om het hitte-eiland te berekenen. Krijgen we vergelijkbare resultaten wanneer we andere data gebruiken?

Het korte antwoord op de bovenstaande vraag is dat de warmte-eiland problematiek in Den Haag niet veel verschilt van die van omliggende steden. Dat betekent echter niet, dat er niets aan de hand is, integendeel. Het Haagse hitte-eiland effect is echt, en van een intensiteit om er rekening mee te houden.

Om die reden hebben we onszelf vier aanvullende vragen gesteld met betrekking tot het probleem, de oorzaken, de gevolgen en oplossingen.

Probleem

Welke stadsdelen van de gemeente Den Haag zijn het sterkst getroffen door het zomerse hitte-eiland effect?

Oorzaken

In Nederland is al het ruimtegebruik geordend. Wanneer we weten welk ruimtegebruik hitte in de hand werkt, dan kunnen we met de ruimtelijke inrichting van de stad sturen aan het hitte-eiland. Vandaar de vraag:

Wordt het warmte-eiland effect in Den Haag veroorzaakt door het ruimtegebruik? En zo ja, welk ruimtegebruik legt hier het meeste gewicht in de schaal?

Gevolgen

Hitte is van invloed op de gezondheid van mensen. Om te verkennen in welke mate het hitte-eiland de gezondheid van inwoners van Den Haag beïnvloed, kijken we naar het effect dat de warmste zomermaand uit de Nederlandse geschiedenis had op de sterfte onder Haagse ouderen. Die ongewoon warme maand was juli 2006.

In juli 2006 trad er als gevolg van de extreme hitte een verhoogde sterfte op in Den Haag. Is de ruimtelijke spreiding van de sterfte gedurende die maand mede te verklaren aan de hand van het warmte-eiland effect?

Oplossingen

Ten slotte, het geheel overziend:

Is er voldoende aanleiding voor de stad Den Haag om actie te ondernemen ten aanzien van het stadsklimaat? En zo ja, moeten dan bepaalde delen van de stad eerder aangepakt worden dan andere? Welke adaptieve maatregelen moeten we daar nemen om het warmte-eiland effect verminderen?

Methodiek

Haagse Hitte onderzoekt het warmte-eiland van Den Haag. Om het stedelijk warmte-eiland in kaart te brengen maakt het onderzoek gebruik van satellietbeelden en van metingen door inwoners zelf.

Met remote sensing methodes is het warmte-eiland (oppervlaktetemperatuur) en de oppervlakte energiebalans bepaald. Met crowd sensing is de temperatuur in de directe nabijheid van meer dan 200 woningen gevolgd over een periode van twee jaar. Daar komt nog een derde jaar bij. Sociale en ruimtelijke factoren zijn in kaart gebracht met satellietbeelden, GIS en 3D-modellen.

Met deze gegevens als vertrekpunt zijn de verbanden bepaald tussen warmte-eiland/oppervlakte energiebalans enerzijds en sociale/ruimtelijke factoren anderzijds. Multivariabele regressie analyse is gebruikt om de sociale en ruimtelijke kenmerken te bepalen die van invloed zijn bij het ontstaan van het warmte-eiland en de gevolgen daarvan voor de gezondheid van de Haagse bevolking.

Deze kenmerken zijn vervolgens geclusterd en verwerkt in de warmtekaarten ruimte en gezondheid. De warmtekaarten en de achterliggende data bieden inzicht in de factoren de Haagse bevolking kwetsbaar maakt voor hittegolven.

Op basis van die inzichten schetsen we de belangrijkste adaptatiemaatregelen waarmee huurders, woningeigenaren (eigenwoningbezitters, VVE's, corporaties) en de gemeente gedrag, woningkwaliteit en stedelijke omgeving kunnen aanpassen aan warm weer.



Methodiek Haagse Hitte

Begrippen

Stedelijk warmte-eiland

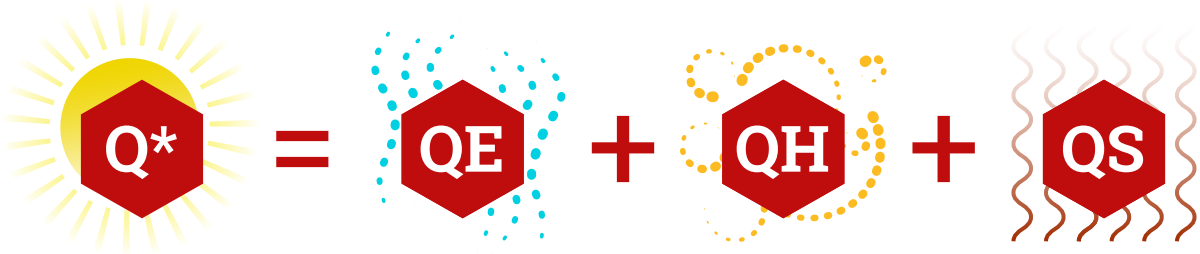
Een warmte-eiland is een gebied met een temperatuur die hoger is dan z'n omgeving. Wanneer een stad zo'n warmte-eiland veroorzaakt, spreken we van een stedelijk warmte-eiland, ook wel aangeduid als hitte-eiland.

Oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur

Bij een stedelijk warmte-eiland is de temperatuur in de stad hoger dan de temperatuur in de landelijke of natuurlijke omgeving. Grote temperatuur-verschillen op het aardoppervlak treden vooral op overdag wanneer de zon schijnt. Verschillen tussen de luchttemperatuur van de stad en de omgeving treden 's avonds op na zonsondergang. Overdag warmen de bodem, het oppervlaktewater en de bebouwing geleidelijk op. 's Nachts wordt die warmte weer afgegeven. Daardoor blijft het 's avonds en 's nachts langer warm in de stad.

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: verdamping van water en transpiratie door bomen en planten (latente warmte), opwarming van lucht door convectie (voelbare warmte), en de opname van warmte in de bodem, bebouwing, en oppervlaktewater (bodemwarmtestroom). In formulevorm ziet de oppervlakte energiebalans er als volgt uit:



Q*	de netto zonnestraling die het aardoppervlak ontvangt
QE	de energie die gebruikt voor verdamping (door water en groen)
QH	voelbare warmte (omzetting warmte van oppervlakte naar lucht)
QS	energie opgenomen door bodem, bebouwing, en oppervlaktewater

Netto zonnestraling

Netto zonnestraling (Q*) is de energie die het aardoppervlak ontvangt van de zon. Het aardoppervlak heeft echter eigenschappen die straling kan weerkaatsen of uitstralen: albedo en emmissiviteit.
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 en uitgestraald wordt, dragen niet bij aan de opwarming van de stad of haar regio (tenzij die straling weer teruggekaatst wordt door bewolking of luchtverontreiniging).

Latente warmte

Latente warmte (QE) 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.



Voelbare warmte

Voelbare warmte (QH) is de energie die opgaat aan 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'.

Bodemwarmtestroom

Een belangrijk deel van de straling van de zon gaat niet op aan verdamping van water of aan de opwarming van de lucht. Straling wordt ook opgeslagen als warmte in de bodem, in gebouwen, en in het oppervlaktewater (QS). De opgeslagen warmte is vrijwel geheel verantwoordelijk voor het nachtelijk warmte-eiland.
Wanneer het stadsoppervlak en de daarbij behorende bebouwing goed blootgesteld zijn 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 wordt uitgedrukt met een speciale indicator, de sky-view factor.



Bepaling stedelijk warmte-eiland

Het bepalen van het warmte-eiland effect lijkt eenvoudig. Je bepaalt eerst de temperatuur in het warmste deel van de stad. Je zoekt daarna de koelste plek in de omgeving van die stad, en trekt die twee waarden van elkaar af. Maar om dat te kunnen doen moet je wel kunnen beschikken over de bijbehorende temperatuurmetingen.

Het KNMI is de instantie die het weer in Nederland meet. Het KNMI meet echter buiten de stad, juist omdat de stad van invloed is op het weer. Het KNMI beschikt dus niet over gegevens waarmee we de temperatuurverschillen binnen stedelijk gebied kunnen bepalen of de verschillen tussen de stad en zijn omgeving.

Om die reden zijn onderzoekers op het gebied van het stadsklimaat genoodzaakt om andere oplossingen te zoeken. Ze maken gebruik van satellietbeelden, van temperatuurmetingen die verricht zijn door amateurs of burgers (crowd sensing), of ze verrichten zelf luchttemperatuurmetingen.

Remote sensing

Remote sensing wordt als begrip vaak gebruikt om de technieken, methodes en materialen te duiden die komen kijken bij het op afstand waarnemen van het aardoppervlak. Te denken valt aan satellieten en satellietbeelden. Onder dit begrip horen ook de beelden en waarnemingen thuis bij die gemaakt zijn met vliegtuigen en drones.

Het gebruik van satellietbeelden is een beproefde methodiek om een beter beeld te krijgen van de problematiek van stedelijke warmte-eilanden. Het is daarbij goed om te beseffen dat we met satellietbeelden wel de oppervlaktetemperatuur kunnen bepalen maar niet de luchttemperatuur.

Een voordeel van een satellietbeeld is de informatiedichtheid. Een nadeel is dat de satelliet de oppervlaktetemperatuur niet kan bepalen wanneer het bewolkt is. Satellieten hangen niet stil boven een stad. Ze komen periodiek langs in een baan om de aarde. Landsat keert bijvoorbeeld eens in de acht dagen terug in dezelfde baan boven Den Haag en maakt dan één opname. Vaak is het dan bewolkt.

Crowd sensing

Om een beter beeld te krijgen van de luchttemperatuur, hebben we een beroep gedaan op de inwoners van Den Haag. Het gebruik van burgers bij onderzoek wordt ook wel crowd sensing genoemd. In een eerdere studie voor de gemeente Rotterdam hebben we 1000 burgers gevraagd de temperatuur in huis te meten terwijl we 300 temperatuur sensors in de buitenruimte aanbrachten. Dat onderzoek heette Sensing Hotterdam.

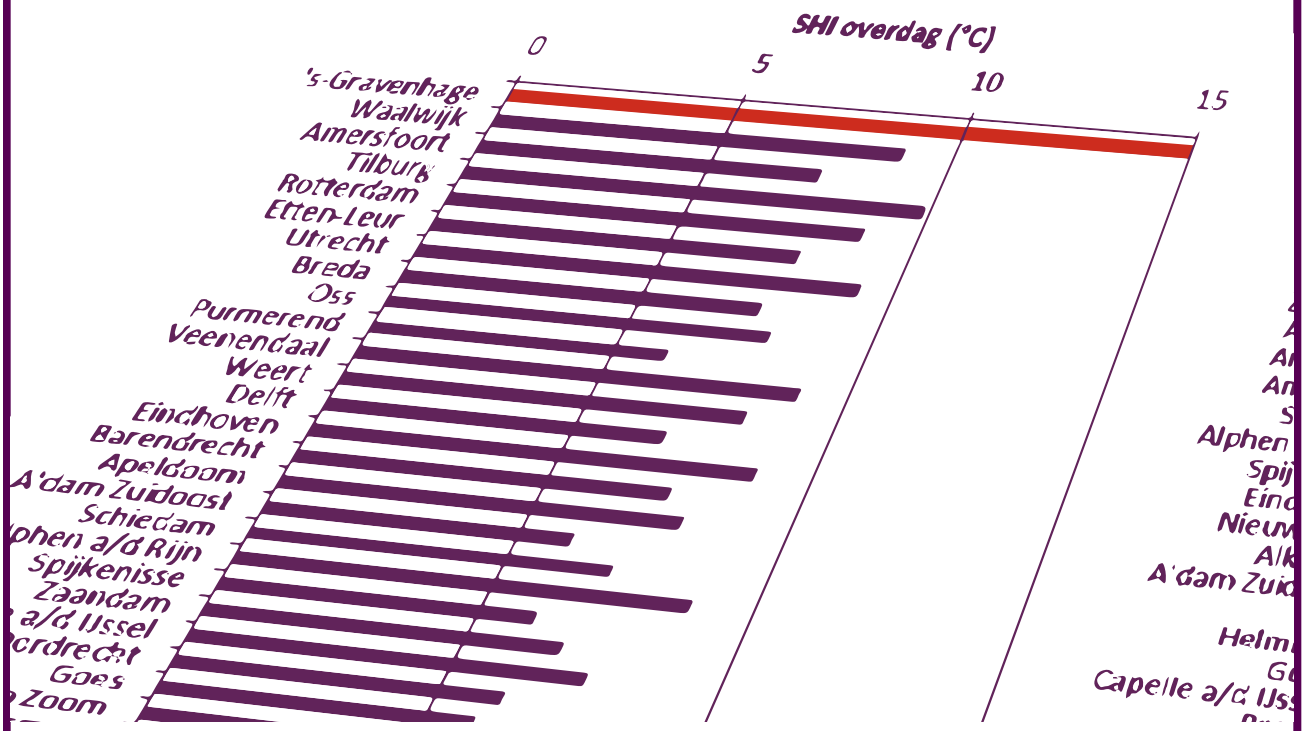


Sensing Hotterdam project, het betrekken van burgers bij het meten van temperatuur in hun dagelijkse leefomgeving.

Omdat het erg bewerkelijk is om 1000 adressen meermaals te bezoeken hebben we het in het geval van Haagse Hitte anders aangepakt: we hebben een burgermeetnet opgezet met online weerstations.

Begin 2016 waren er in Den Haag zo'n 90 'urban weatherstations' online van het merk Netatmo. Netatmo laat het oogsten van de buitentemperatuur van die weerstations toe. Dat biedt mogelijkheden maar de stations waren niet gelijkmatig over de stad verspreid.

TU Delft heeft toen 100 weerstations aangeschaft (en later nog eens 20 exemplaren) en via de Facebook pagina van de gemeente Den Haag een oproep gedaan om deel te nemen aan het Haagse Hitte onderzoek. Inwoners in geselecteerde postcode gebieden konden zich opgeven. We ontvingen in korte tijd 400 aanmeldingen van inwoners die bereid waren om gedurende drie jaar zo'n weerstation te adopteren. Zo hebben we het netwerk uitgebreid tot meer dan 200 waarnemingen. In 2018 maken we de balans op.



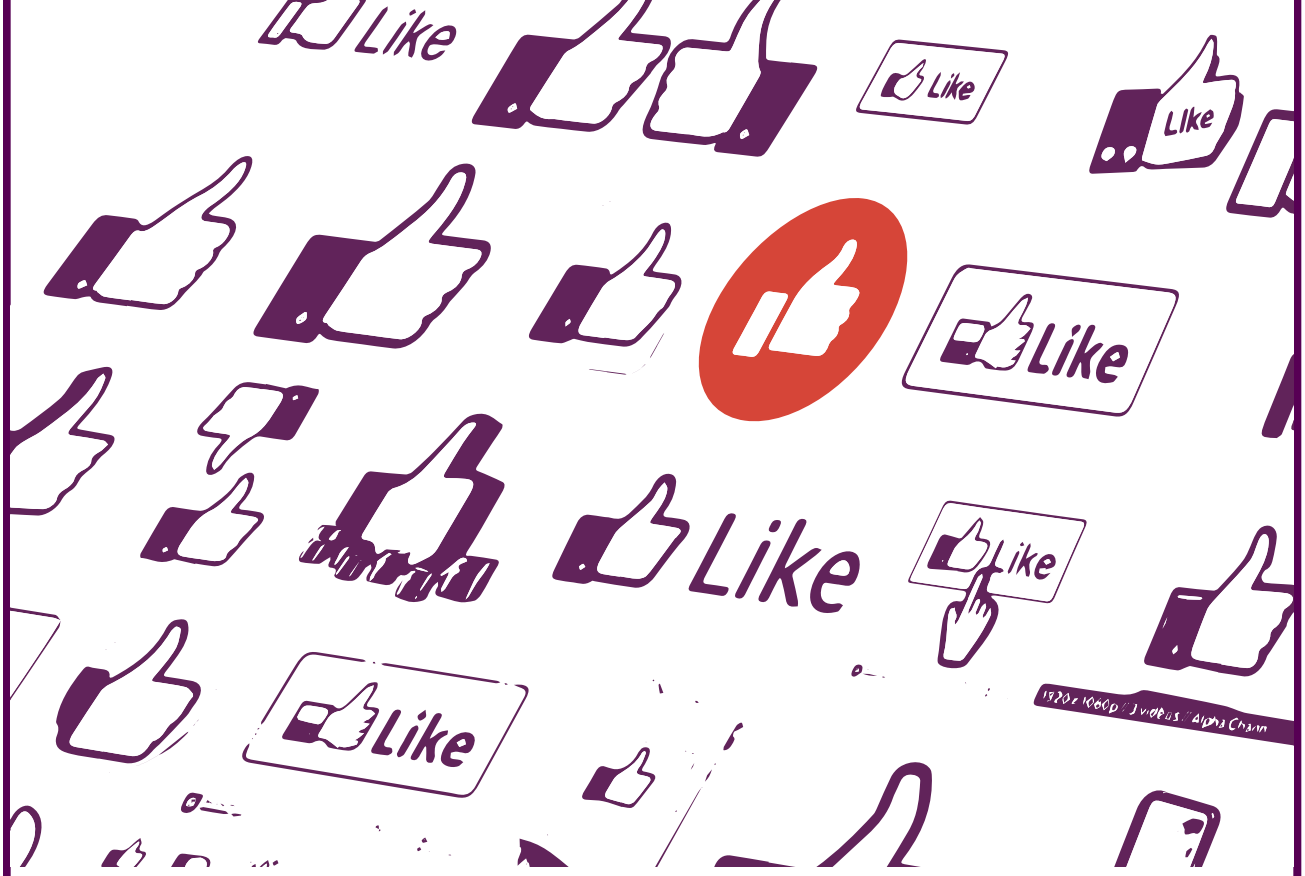
Den Haag zou de heetste stad in Nederland zijn. Dat leidde tot raadsvragen, resulterend in het Haagse Hitte onderzoek. Wordt het echt zo heet in Den Haag?





We merkten op dat in Den Haag al 90 stedelijke weerstations online waren, maar ook dat nog wel een opgave was om tot een dekkend netwerk te komen.



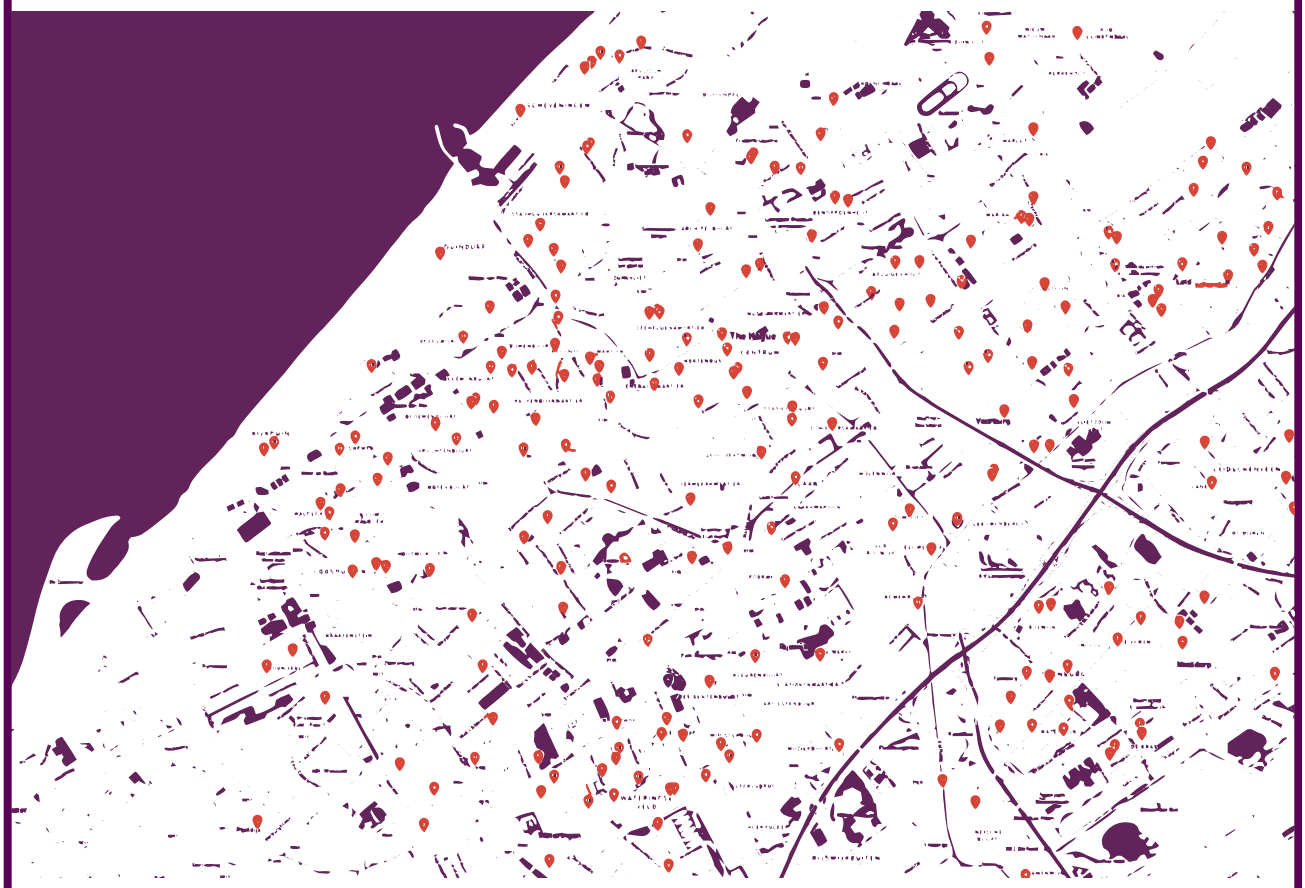


Op Facebook deden we een oproep, en dat leidde tot 400 aanmeldingen, we selecteerden 120 deelnemers en verstuurden de weerstations per post.





De deelnemers installeerden het weerstation zelf in hun tuin of op hun balkon, met als resultaat dat we nu de temperatuur meten op 200 plekken in Den Haag.



Haagse Hitte: fors, maar niet erger dan bij de buren

TNO heeft 2012 een studie uitgebracht die de stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart bracht. Het TNO-rapport gaf een overzicht van de oppervlakte hitte-eilanden overdag en de oppervlakte hitte-eilanden 's nachts. Den Haag stak met kop en schouders uit boven alle onderzochte steden voor wat betreft de hitte-eilanden overdag. De TNO-onderzoekers rapporteerden een Haags hitte-eiland effect dat opliep van 8 tot 15 graden Celsius. Dat was ruim 5 graden meer dan de één na warmste stad: Tilburg.

Dat onderzoeksresultaat is niet onopgemerkt voorbij gegaan aan de inwoners en de lokale politici van Den Haag. Gelet op de grote impact die hitte kan hebben op een stedelijke samenleving is die 'bezorgdheid" voor hitte zeker terecht.
Ook recent kwam deze problematiek weer in het nieuws naar aanleiding van een online kaart van het RIVM. Vraag is wel of het warmte-eiland in Den Haag echt zoveel erger is dan in Delft, Rotterdam of Zoetermeer.

Is het warmte-eiland effect in Den Haag inderdaad fors sterker dan in naburige steden?

Om die vraag te beantwoorden is het belangrijk om te kijken hoe TNO het warmte-eiland heeft bepaald. Omdat er bij die aanpak van TNO toch wel kanttekeningen te plaatsen zijn, hebben we ook zelf het Haagse warmte-eiland bepaald, net als TNO met satelliet-beelden (overdag en 's nachts), maar ook aan de hand van burgermeetnet. Die uitkomsten geven een beeld van hoe sterk het Haagse warmte-eiland is.

Hoe heeft TNO het Haagse hitte-eiland bepaald?

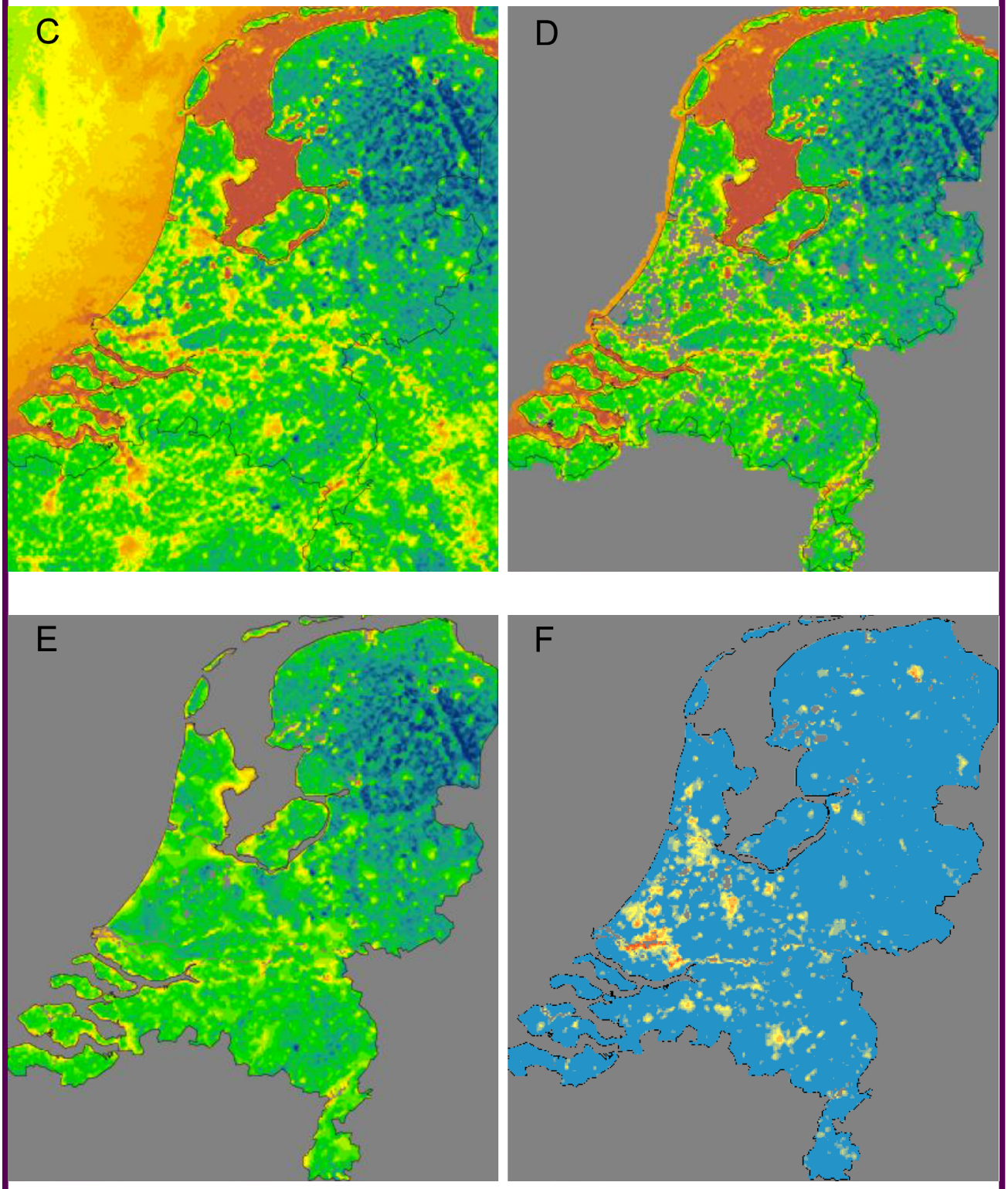
TNO heeft in haar onderzoek gebruik gemaakt van twee satellietbeelden die gemaakt zijn door een weersatelliet van de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), de Amerikaanse KNMI. Eén beeld is gemaakt op 16 juli 2006 overdag, het andere op 17 juli 2006 in de vroege ochtend. De NOAA-beelden hebben een lage resolutie. Een pixel meet één kilometer bij één kilometer. De satellietbeelden zijn bewerkt om de oppervlaktetemperatuur te bepalen met als resultaat een kaart van heel Nederland.

De dagen 16 en 17 juli 2006 zijn goed gekozen. Het hier gaat om een erg warme dag en nacht tijdens de heetste zomermaand ooit gemeten in Nederland. Wel is er kritiek wanneer een analyse zich beperkt tot slechts één zo'n momentopname, zij het overdag of 's nachts. Bij voorkeur worden verschillende satellietbeelden gebruikt.

TNO heeft de temperaturen in de stad vervolgens niet vergeleken met die in de omgeving, maar met een geschatte temperatuur wanneer er op de plek van Den Haag geen stad was ontstaan. Om die denkbeeldige temperatuur te bepalen heeft ze eerste alle 'stedelijke' vierkante kilometers verwijderd uit de kaart, om vervolgens deze lege vlekken op te vullen door interpolatie. De gekozen benadering heeft als gevolg dat een 'temperatuur C' in Den Haag een ander warmte-eiland effect oplevert dan dezelfde 'temperatuur C' in Rotterdam, terwijl beide steden anders hetzelfde Midden-Delfland als referentiepunt zouden hebben.

Daar komt dan bij dat de kaart met dat sterke Haagse hitte-eiland de oppervlaktetemperatuur overdag schetst. Die oppervlakte temperatuur zegt weinig over de daadwerkelijke luchttemperatuur. Het is beter om naar de nachtelijke oppervlakte temperatuur te kijken. In de vroege ochtend van 17 juli 2006 was het Haagse hitte-eiland effect juist vrij mild in vergelijking met andere steden. Die tweede kaart heeft minder aandacht gekregen terwijl ze eigenlijk meer vertelt over de luchttemperatuur waaraan Haagse burgers blootgesteld worden dan de eerste kaart.

De TNO studie was wellicht een goede vingeroefening om de hitte-eiland problematiek in Nederland te schetsen. Voor een specifieke stad als Den Haag moeten we niet te veel waarde hechten aan de conclusies. Dat klinkt mogelijk wat cru, maar dit onderbouwen we met eigen metingen voor Den Haag.



De ongebruikelijke methode van TNO om hitte-eilanden te bepalen: C. Nachtelijk NOAA satellietbeeld. D. Verwijderen stedelijke pixels (1km x 1km), E. Opvullen van de lege delen door middel van interpolatie. F. Kaart E in mindering gebracht op kaart C.

Kunnen we de 2006-meting van TNO controleren?

Het satellietbeeld overdag dat TNO heeft gebruikt dateert van 16 juli 2006. De NOAA-satelliet was die dag niet de enige satelliet die Den Haag scande, de Landsat 5 satelliet van NASA deed dat ook. Beelden van de Landsat 5 satelliet zijn 70 keer gedetailleerder dan het door TNO gebruikte NOAA-beeld.

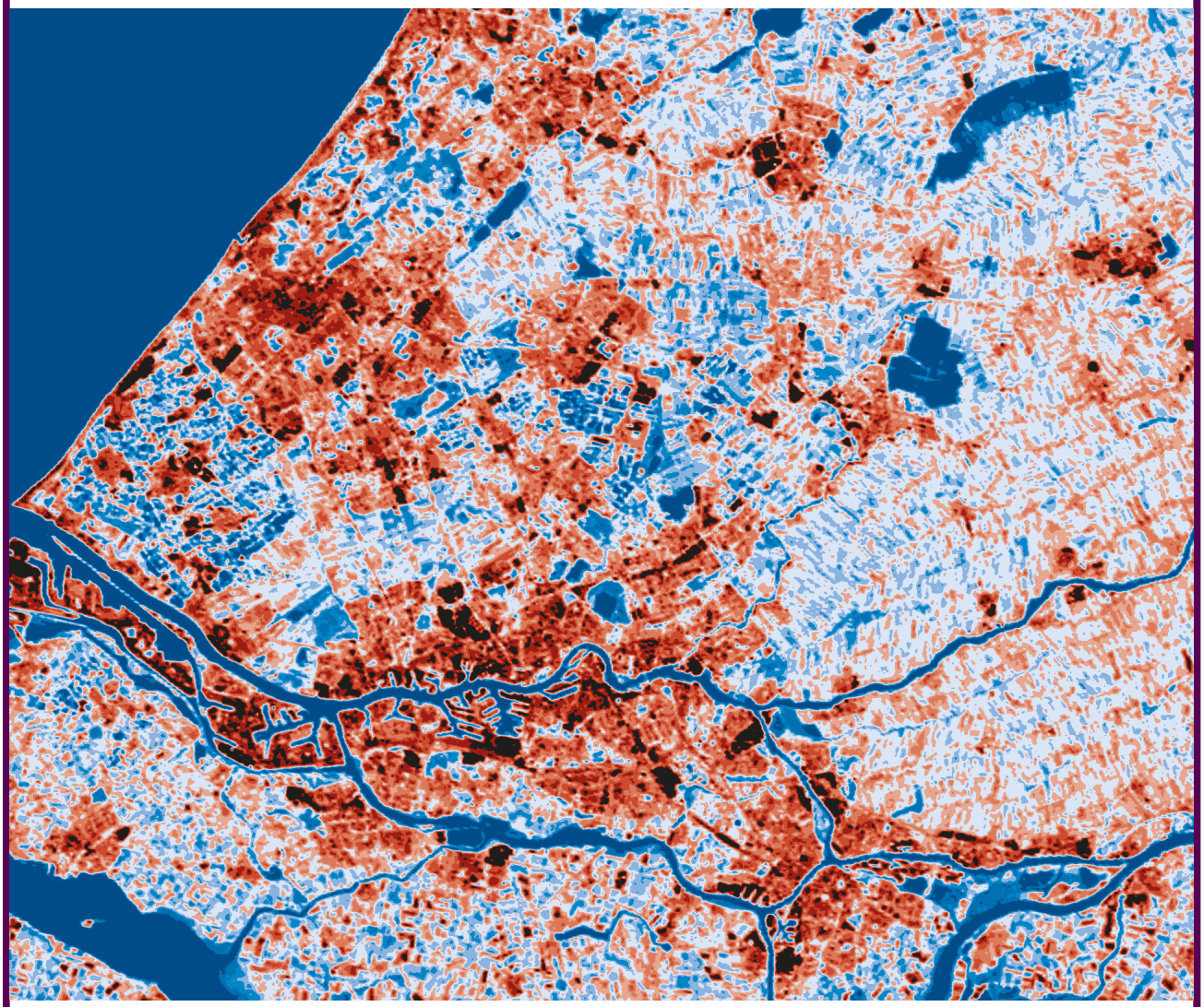
Wij hebben voor het Haagse Hitte onderzoek aan de hand van dat Landsat 5 beeld de oppervlaktetemperatuur bepaald. Voor de weergave van het satellietbeeld gebruiken we een uitsnede die ook de omgeving toont zodat iedereen zijn/haar eigen mening kan vormen waar het stadsoppervlak het warmst is.

Op 16 juli 2006 vormden de glastuinbouwclusters in het Westland en Lansingerland de koelste delen van het oppervlak in Den Haag en omgeving. De oppervlaktetemperatuur haalde in die kassengebieden hier en daar net de 20°C. De heetste hectares vinden we op de bedrijventerreinen met hun omvangrijke bitumineuze daken: Zichtenburg en de Binckhorst bijvoorbeeld. Hier piekte de oppervlakte temperatuur op een enkele hectare net boven de 60°C. Het beeld laat zien dat Den Haag en Rotterdam elkaar niet veel ontlopen voor wat betreft oppervlakte temperatuur. Dat Den Haag heel veel warmer zou zijn dan de steden in de omgeving wordt niet bevestigt met dit gedetailleerde beeld.

De kleinere pixels van het Landsat-beeld maken grotere temperatuurverschillen zichtbaar dan TNO heeft gerapporteerd. Ook wordt variatie beter zichtbaar. Omdat Rotterdam doorsneden wordt door een rivier met havenbekkens valt het warme deel van de stad uiteen in kleinere eenheden. Daarin verschilt Rotterdam duidelijk van Den Haag. Op een beeld met grote pixels (NOAA) kan het daardoor lijken dat Den Haag relatief warm is terwijl de pieken hier vergelijkbaar zijn met die in Rotterdam.

Omdat een enkel satellietbeeld onvoldoende is om conclusies aan te verbinden hebben we dezelfde analyse uitgevoerd met een Landsat 5 beeld van 25 juli 2006 tijdens dezelfde extreem warme maand. Het beeld is wat minder perfect als gevolg van lichte bewolking boven Den Haag (donkerblauwe vlekken). Het laat wel een kwalitatieve beoordeling toe. De ruimtelijke patronen verschillen niet wezenlijk van de situatie op 16 juli 2006.

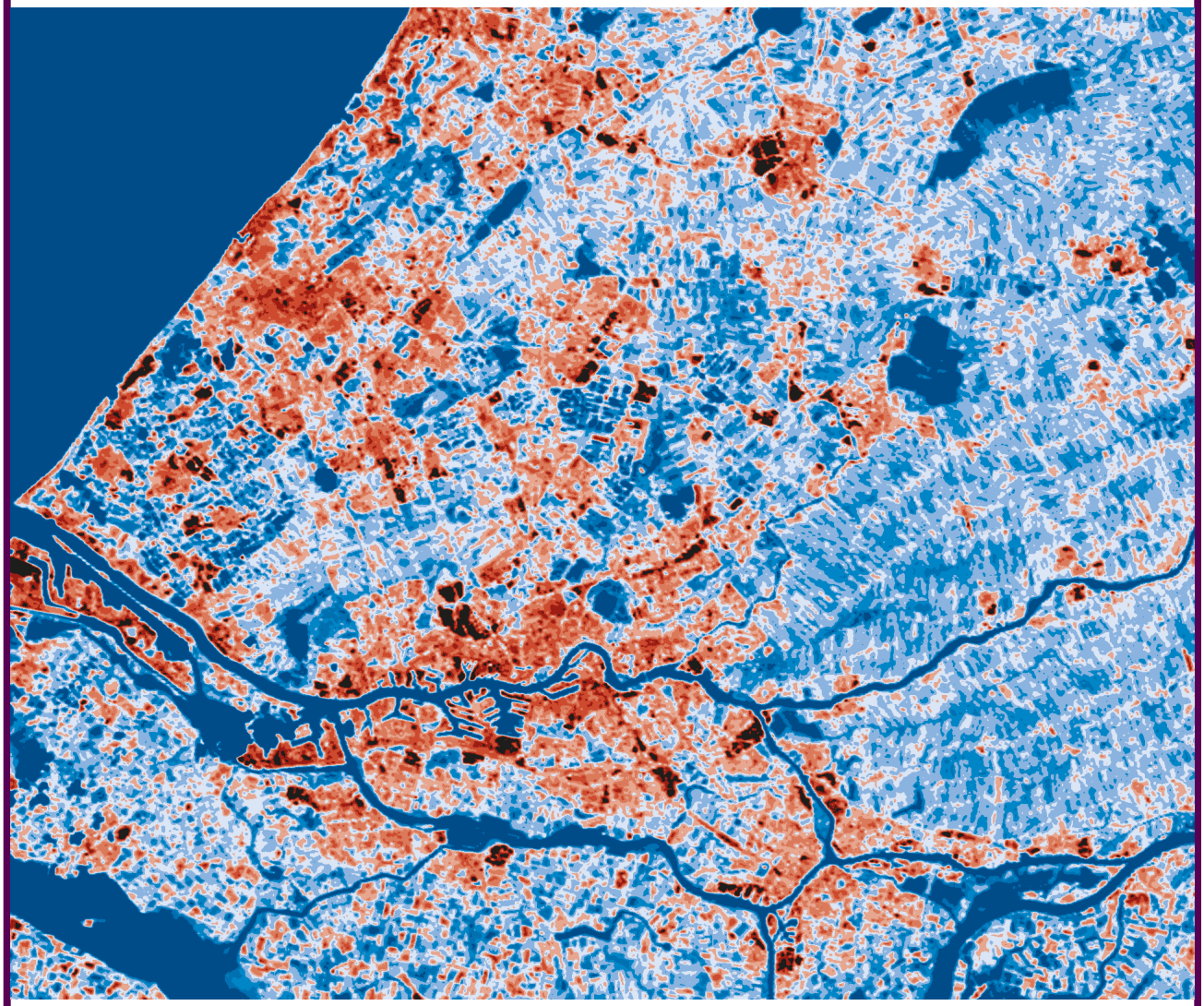
Warmte-eiland oppervlaktetemp. overdag 16 juli 2006



Legenda	≤3.0	>3,0 ≤6,0	>6,0 ≤9,0	>9,0 ≤12,0	>12,0 ≤15,0	>15,0 ≤18,0	>18,0 ≤21,0	>21,0 ≤24,0	>24,0 ≤27,0	>27,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 27° Celsius.
Waardes	Graden Celsius (27° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 6 in Landsat 5 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur // Aster emissivity database 2000-2008

Warmte-eiland oppervlaktetemp. overdag 25 juli 2006



Legenda	≤3.0 >3,0 ≤6,0 >6,0 ≤9,0 >9,0 ≤12,0 >12,0 ≤15,0 >15,0 ≤18,0 >18,0 ≤21,0 >21,0 ≤24,0 >24,0 ≤27,0 >27,0
Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 27° Celsius.
Waardes	Graden Celsius (27° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 6 in Landsat 5 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 5, 25 juli 2006, 12:27 uur // Aster emissivity database 2000-2008

Wat is de situatie tien jaar later, in 2016/2017?

We hebben ook recentere beelden gedownload, gemaakt door een nieuwe satelliet in Landsat-reeks: Landsat 8. De beelden zijn gemaakt in najaar van 2016 en het voorjaar van 2017. Landsat 8 biedt naast de beelden overdag nu ook nachtbeelden. De beelden overdag laten patronen zien die sterk overeenkomen met die van tien jaar terug: kassen zijn koel en bedrijventerreinen zijn nog altijd heet.

De nachtbeelden zijn bijzonder omdat ze voor het eerst in een hoge mate van detail het oppervlakte hitte-eiland tonen met duidelijke verschillen tussen stad en platteland.

Den Haag is omringt met ruimte die ‘s nachts opvallend koel is: het glastuinbouwcluster in het Westland en de zogenaamde Groen-Blauwe slinger. Die zone van glas en groen scheidt het warmte-eiland van de Haagse regio van het warmte-eiland van de Rotterdamse regio en voorkomt dat ze samen één groot warmte-eiland vormen.

Het Haagse warmte-eiland is van een vergelijkbare orde als dat van Rotterdam of van de kleinere kernen in de Metropoolregio: Delft of Zoetermeer. Het hitte-eiland effect is met temperatuurverschillen oplopend tot 8°C à 13°C betekenisvol.

De beelden van met name 18 juli 2017 toont dat Den Haag ‘s nachts minder warm wordt dan Rotterdam. Deze nacht stond een lichte noordelijke wind die lucht aanvoerde van een relatief koele Noordzee. Het beeld van 12 september 2016 toont een Noordzee aan het einde van de zomer. De temperatuur van het zeewater komt in de buurt van de oppervlakte temperatuur ‘s nachts.

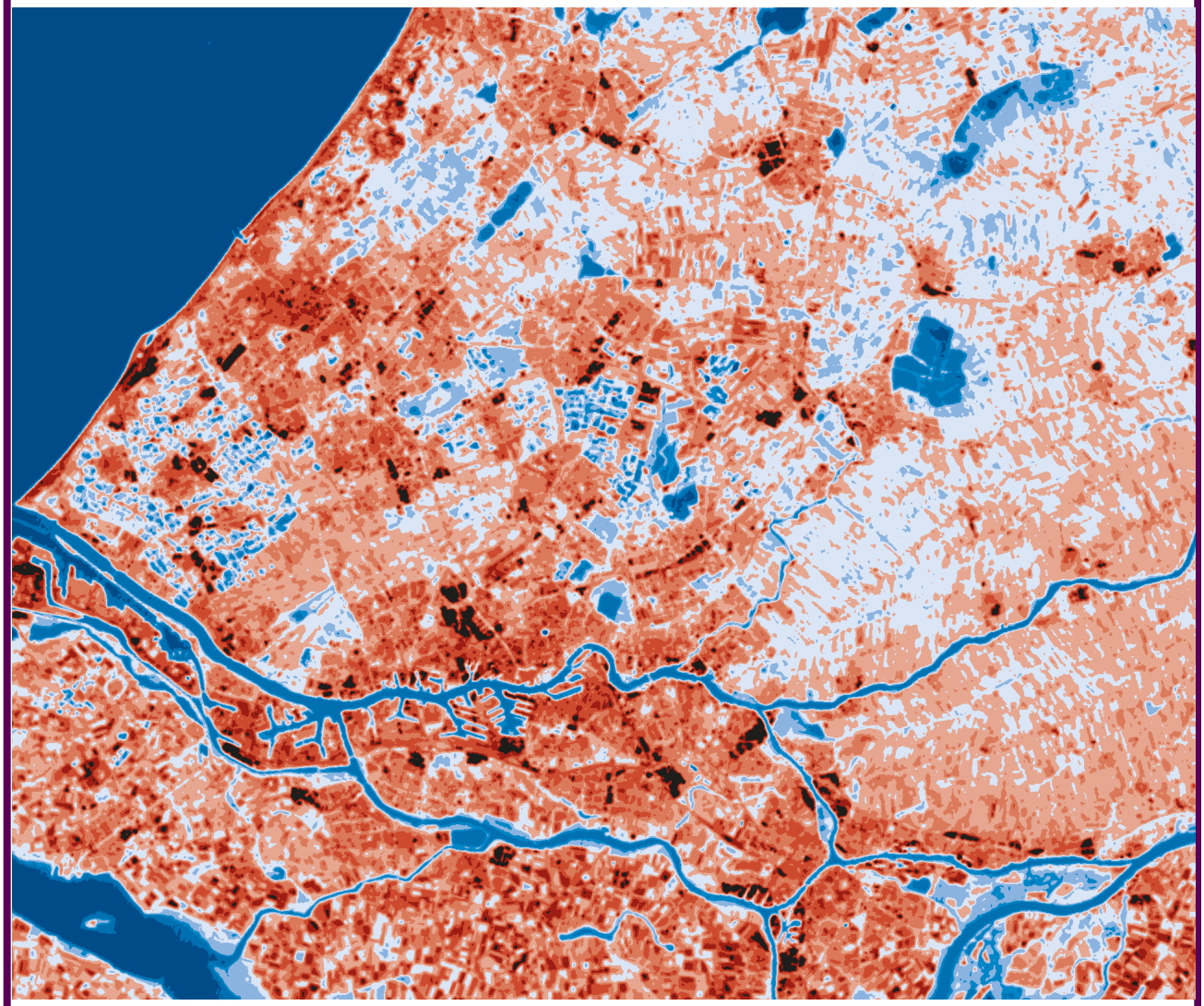
Conclusie

Op basis van gedetailleerde en ook recente satellietbeelden stellen we vast dat het Haagse hitte-eiland effect inderdaad fors is, maar niet ernstiger dan in de rest van de Metropoolregio.

Het oppervlakte hitte-eiland in Den Haag is overdag minder versnipperd dan dat van Rotterdam maar niet sterker.

Het nachtelijke oppervlakte hitte-eiland staat onder invloed van de Noordzee. In het voorjaar is de zee ‘s nachts koeler dan het stadsoppervlak, in het najaar zijn die verhoudingen omgedraaid. Het oppervlak van Den Haag is ‘s nachts koeler dan dat van Rotterdam. Dat geldt waarschijnlijk ook voor de luchttemperatuur. ‘s Nachts ontlopen oppervlakte- en luchttemperatuur elkaar niet veel.

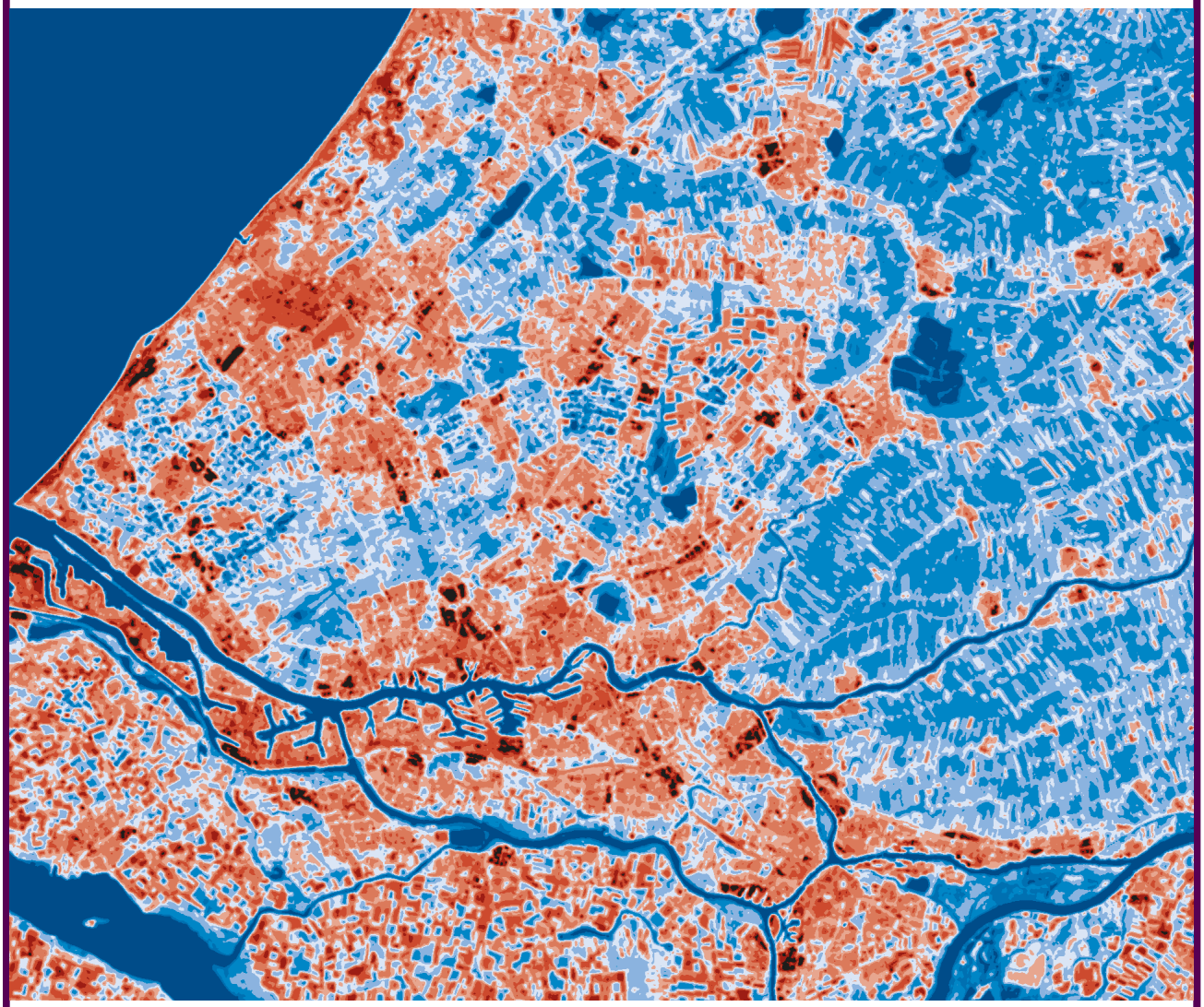
Warmte-eiland oppervlaktetemp. overdag 13.09.16



Legenda	≤3.0	>3,0 ≤6,0	>6,0 ≤9,0	>9,0 ≤12,0	>12,0 ≤15,0	>15,0 ≤18,0	>18,0 ≤21,0	>21,0 ≤24,0	>24,0 ≤27,0	>27,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 21° Celsius.
Waardes	Graden Celsius (21° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 8, 13 september 2016, 12:40 uur // Aster emissivity database 2000-2008

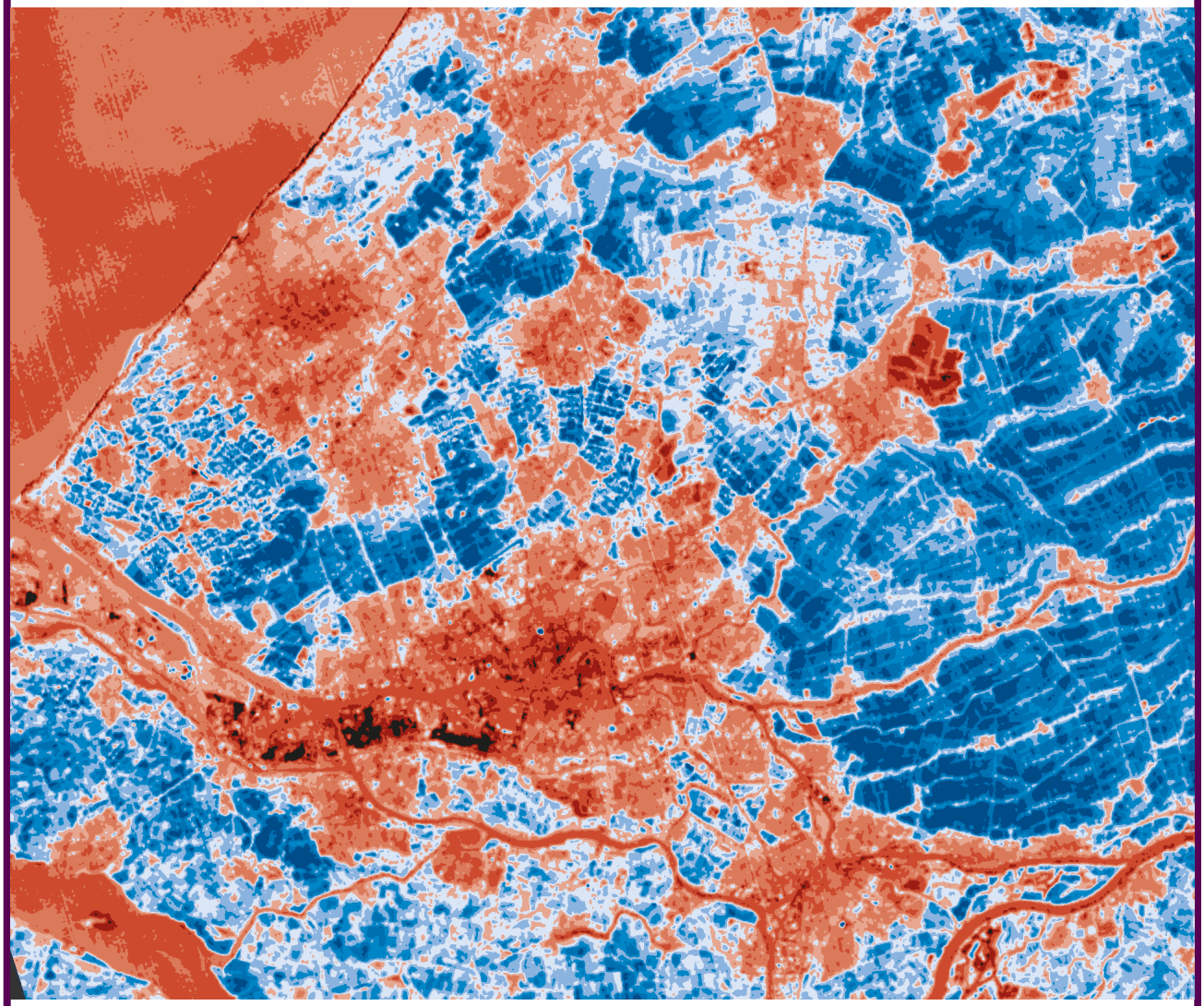
Warmte-eiland oppervlaktetemp. overdag 27.05.17



Legenda	≤3.0	>3,0 ≤6,0	>6,0 ≤9,0	>9,0 ≤12,0	>12,0 ≤15,0	>15,0 ≤18,0	>18,0 ≤21,0	>21,0 ≤24,0	>24,0 ≤27,0	>27,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 21° Celsius. Aan het einde van de lente is de Noordzee overdag nog altijd het koelste element in de omgeving Den Haag.
Waardes	Graden Celsius (21° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 5, 27 mei 2017, 12:39 uur // Aster emissivity database 2000-2008

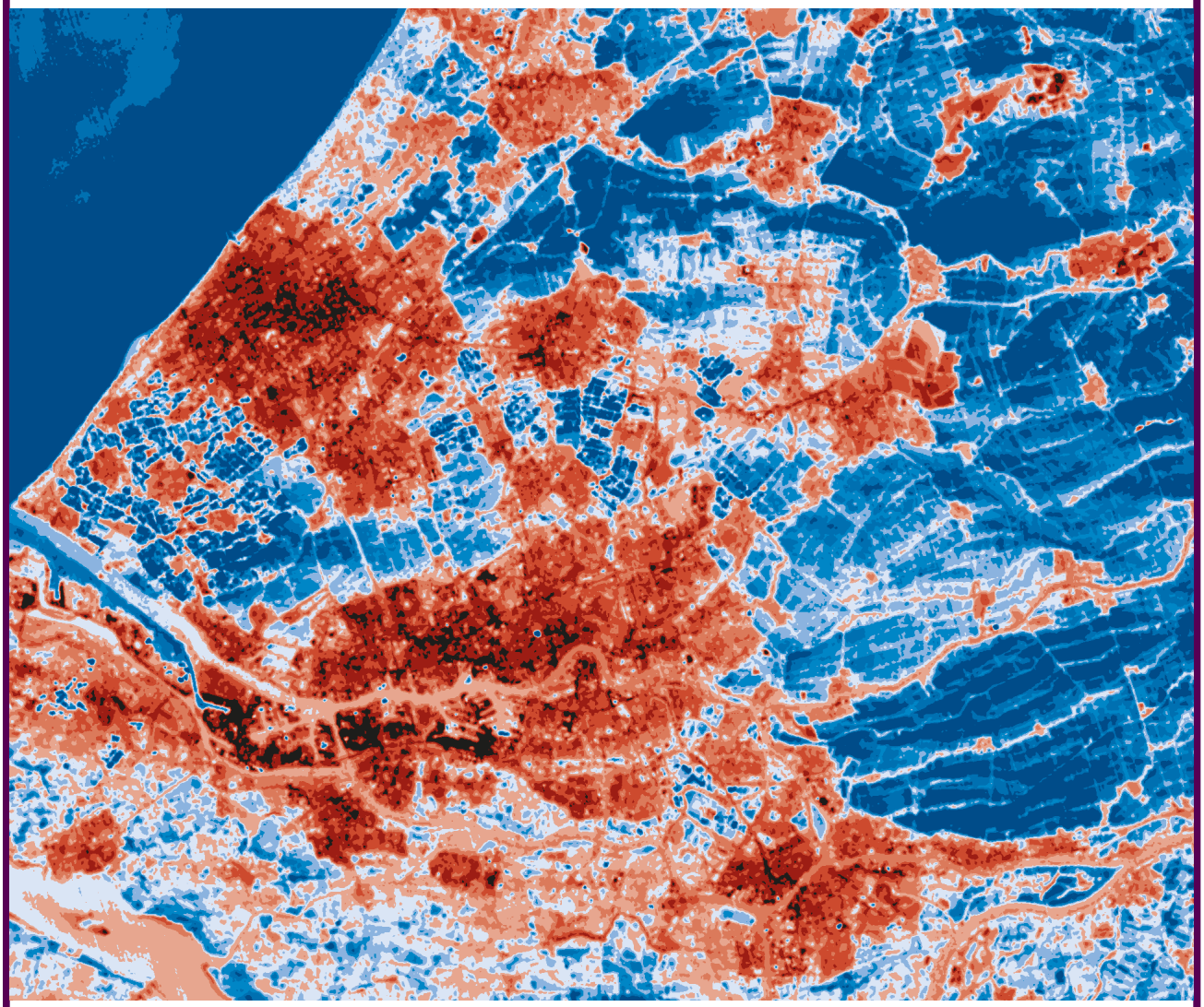
Warmte-eiland oppervlaktetemp. 's avonds, 12.09.16



Legenda	≤ 1,0	>1,0 ≤2,0	>2,0 ≤3,0	>3,0 ≤4,0	>4,0 ≤5,0	>5,0 ≤6,0	>6,0 ≤7,0	>7,0 ≤8,0	>8,0 ≤9,0	>9,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 15° Celsius. Aan het einde van de zomer is de Noordzee opgewarmd en 's nachts warmer dan de groene en glazen omgeving van Den Haag.
Waardes	Graden Celsius (15° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 8, 12 september 2016, 23:08 uur // Aster emissivity database 2000-2008

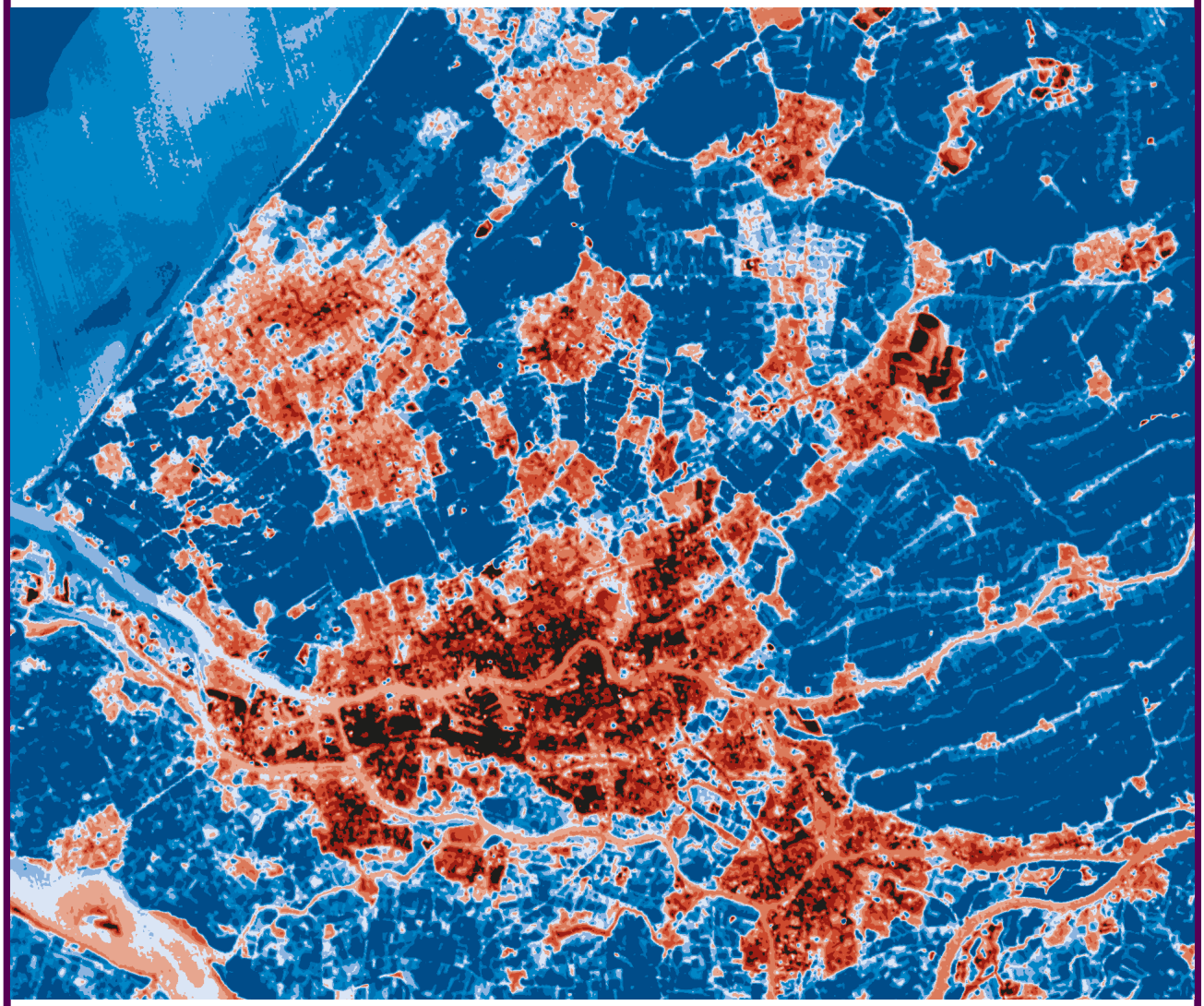
Warmte-eiland oppervlaktetemp. 's avonds 26.05.2017



Legenda	≤ 1,0	>1,0 ≤2,0	>2,0 ≤3,0	>3,0 ≤4,0	>4,0 ≤5,0	>5,0 ≤6,0	>6,0 ≤7,0	>7,0 ≤8,0	>8,0 ≤9,0	>9,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 15° Celsius.
Waardes	Graden Celsius (15° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 8, 26 mei 2017, 23:08 uur // Aster emissivity database 2000-2008

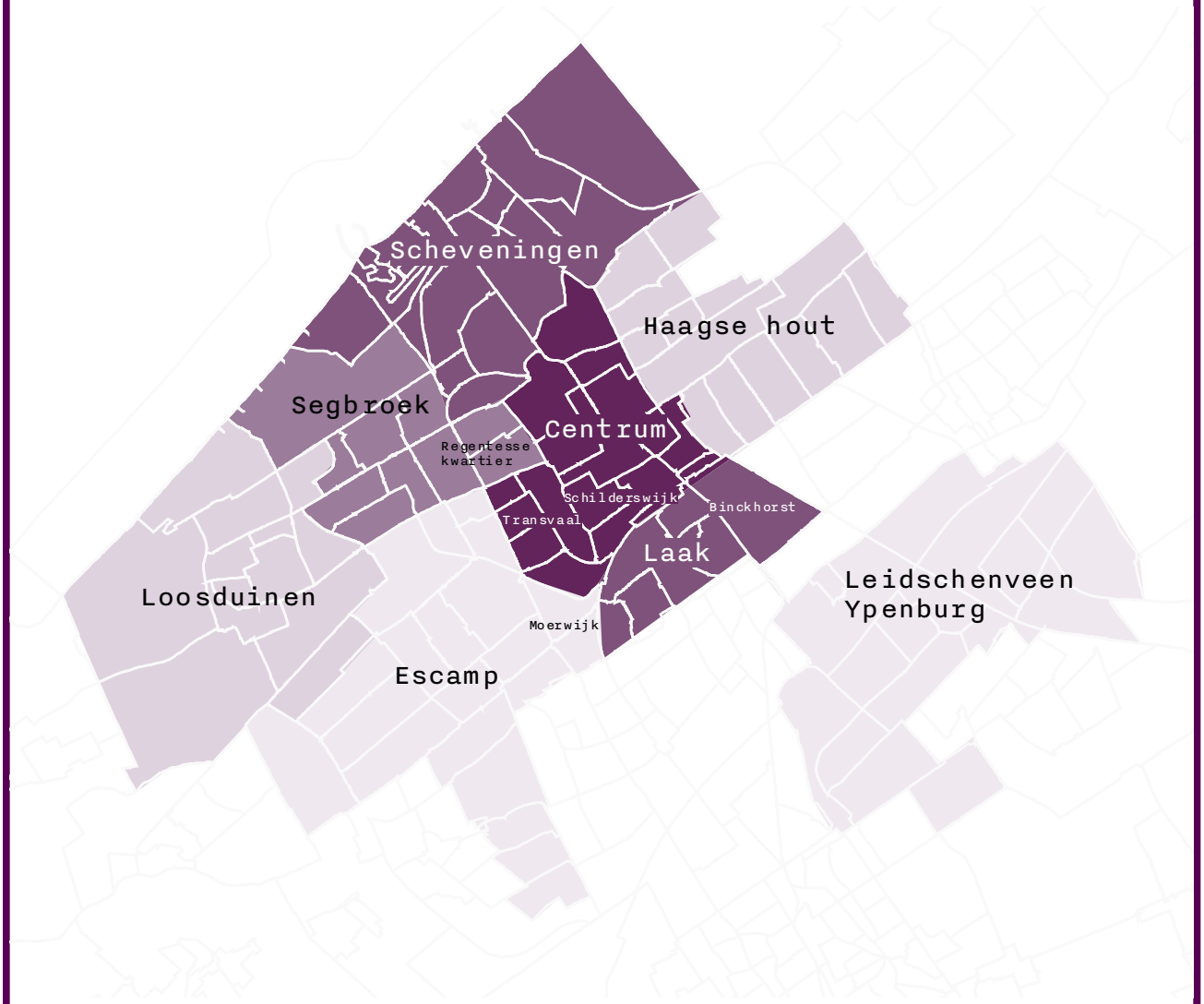
Warmte-eiland oppervlaktetemp. 's avonds 18.06.2017





Legenda	
Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de provincie Zuid-Holland. De temperatuur-verschillen zijn weergeven als verschil met de oppervlaktetemperatuur van de koelste gebieden in de omgeving van Den Haag. Dat wil zeggen dat de oppervlaktetemperatuur verminderd is met 23° Celsius.
Waardes	Graden Celsius (23° Celsius = 0)
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA)
Data	NASA, Landsat 8, 18 juni 2017, 23:14 uur // Aster emissivity database 2000-2008

Stadsdelen Den Haag



Inhoud	Den Haag kent acht stadsdelen. Wijken als de Schilderswijk en Transvaal horen bij Centrum. De Binckhorst maakt deel uit van Laak. Het Regentessekwartier hoort bij Segbroek.
Waardes	Geografische begrippen
Methode	-
Software	-
Data	Gemeente Den Haag

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 waardes berekend met betrekking tot de sociale en ruimtelijke kenmerken van de stad Den Haag. Daarbij is gebruik gemaakt van satellietbeelden, GIS-data, en 3-D modellen. De atlas is opgedeeld in drie onderdelen: warmte, ruimte en gezondheid. Gegevens ten aanzien van personen zijn weergeven met een grid van 500 x 500 meter.

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van twee 'historische' Landsat 5 beelden (gemaakt overdag op 16 en 25 juni 2006) twee recente Landsat 8 beelden (gemaakt overdag op 13 september 2016 en 27 mei 2017), en drie avondbeelden (gemaakt op 12 september 2016, 26 mei 2017 en 18 juni 2017).

In de atlas zijn alleen beelden van 26/27 mei 2017 weergegeven. De luchttemperatuur liep die dag op tot 31°C.

Het onderzoek met de Netamo weerstations loopt door tot en met de zomer van 2018. Direct na die zomer volgt een update van dit rapport met de gegevens op basis van de gemiddelde temperatuur op tropische dagen (≥ 30°C) en - nachten (≥ 20°C).

In Centrum en Laak wordt het het heetst

Welke stadsdelen van de gemeente Den Haag zijn het sterkst getroffen door het zomerse hitte-eiland effect?

Achtergrond

Het KNMI verricht geen metingen in de gemeente Den Haag. Wanneer we de verhouding tussen warmte, gezondheid en ruimte beter willen begrijpen, dan moeten we ons zelf een eigen vormen van warmte in de stad en van de processen die deze warmte bepalen: het stedelijk warmte-eiland en de oppervlakte energiebalans.

Methode

Voor deze studie zijn vier hitte-indicatoren bepaald: de oppervlakte energiebalans, de buitentemperatuur (gemeten door burgers) en de oppervlakte temperatuur (dag én nacht). De oppervlakte energiebalans is gemodelleerd met remote sensing software (ATCOR2). De buitentemperatuur is bepaald aan de hand van crowd sensing (het Haagse Hitte burgermeetnet). Voor de oppervlaktetemperatuur is gebruik gemaakt van remote sensing methodes.

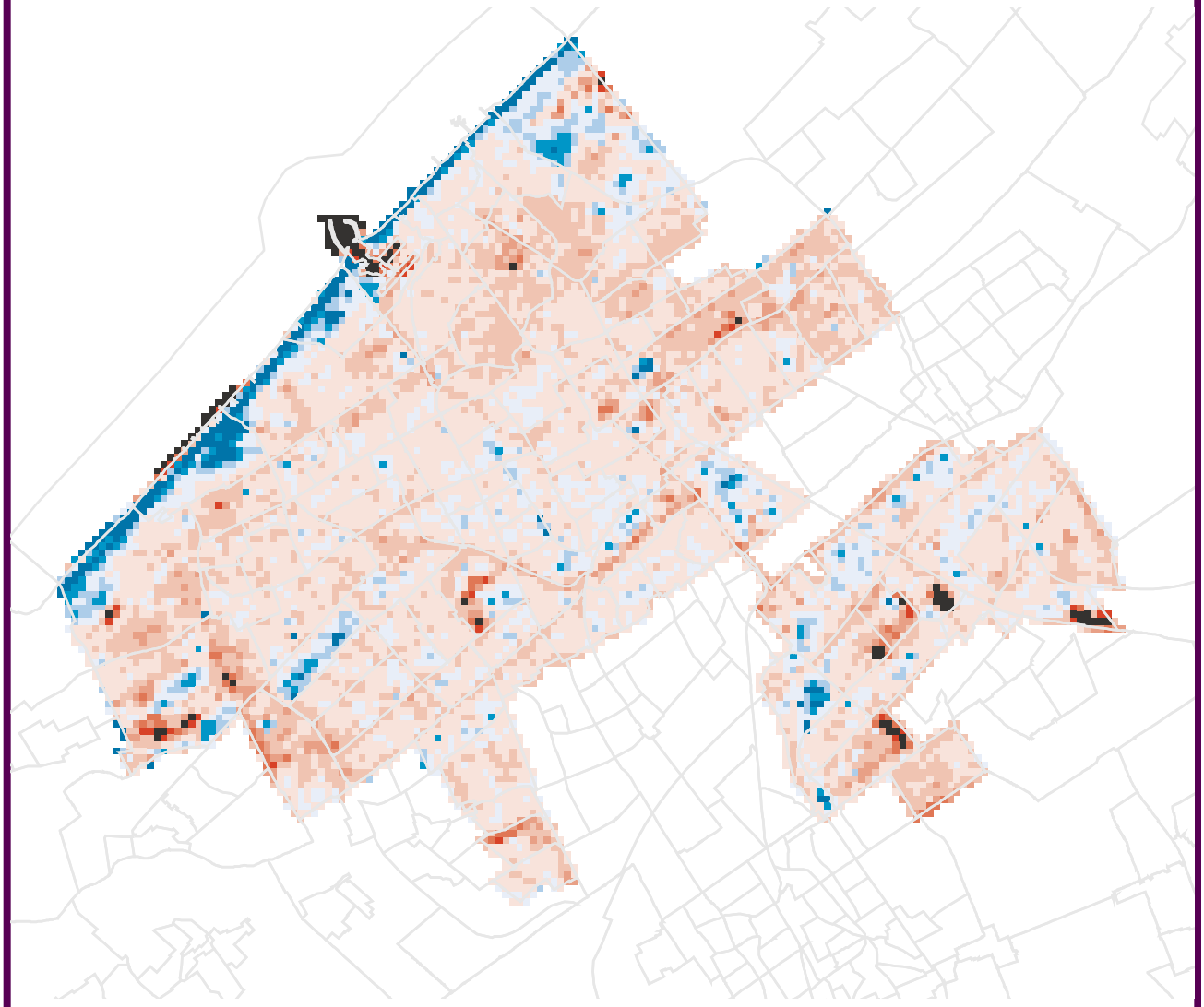
Resultaten

De resultaten van het in kaart brengen van warmte zijn de kaarten met betrekking tot oppervlaktetemperatuur overdag en 's nachts, de luchttemperatuur rond het middaguur, in de middag en rond middernacht, netto straling, voelbare warmte, latente warmte, bodemwarmtestroom en de netto straling verminderd met de latente warmte.

Conclusie

De indicatoren zijn niet helemaal eenduidig. Wel ontstaat een onmiskenbaar beeld dat de hitte problematiek het sterkst speelt in de stadsdelen Centrum (met wijken als de Schilderswijk en Transvaal) en Laak (inclusief de Binckhorst), delen van Schevingen en het bedrijventerrein Zichtenburg.

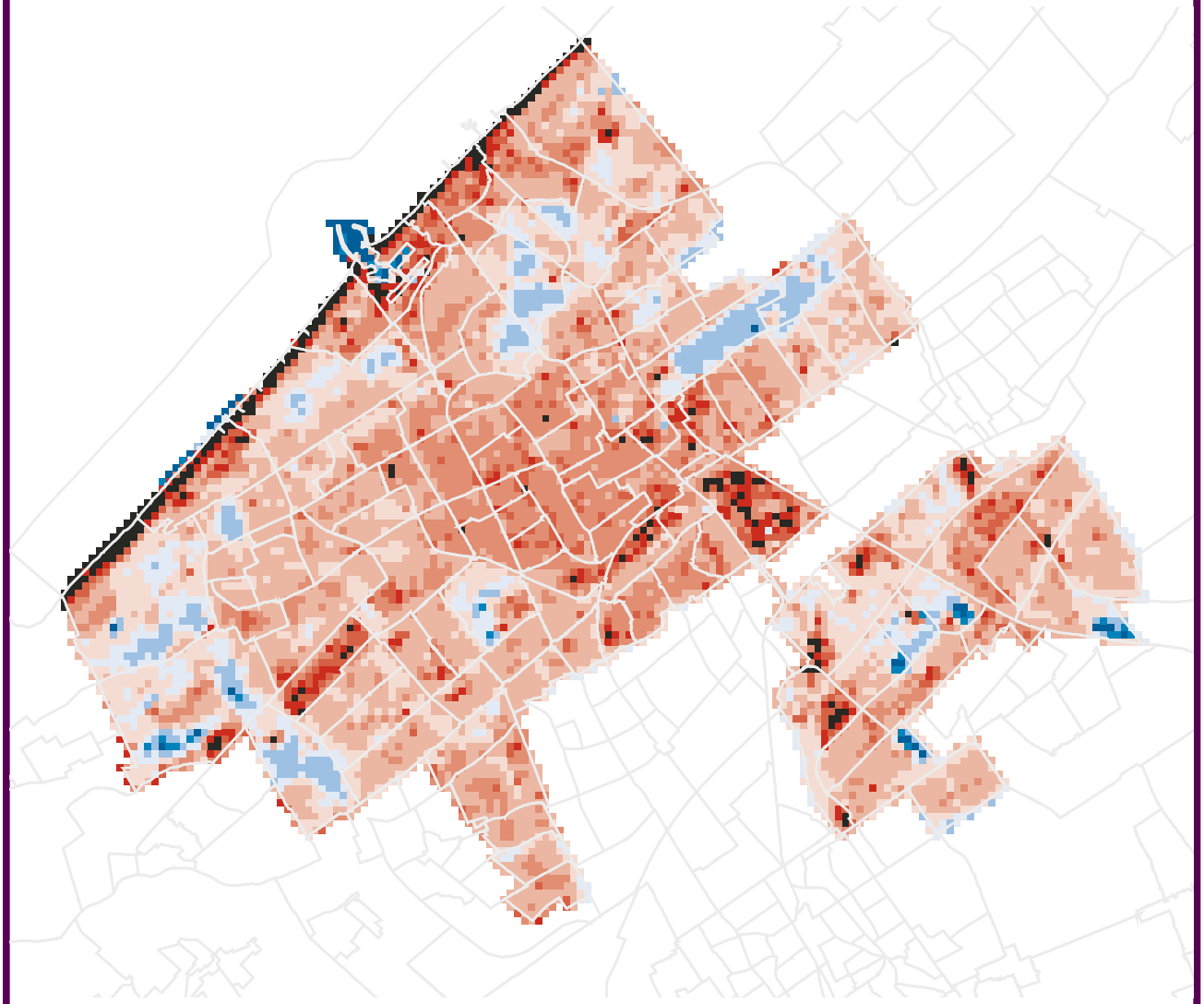
Netto straling



Legenda	≤500	>500 ≤525	>525 ≤550	>550 ≤575	>575 ≤600	>600 ≤625	>625 ≤650	>650 ≤675	>675 ≤700	>700

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^2
Methode	Surface energy balance
Software	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

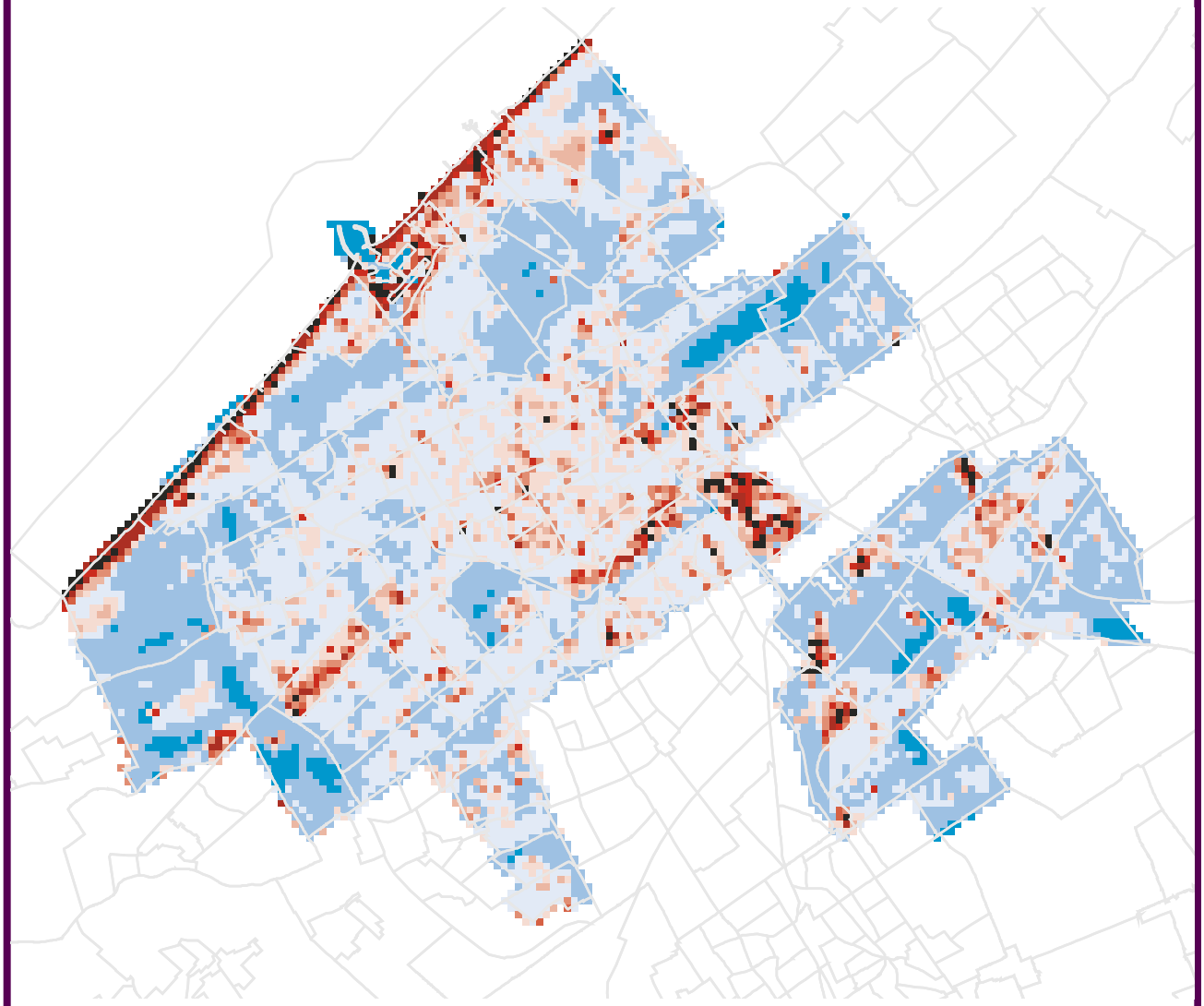
Latente warmte



Legenda	≤80	>80 ≤160	>160 ≤240	>240 ≤320	>320 ≤400	>400 ≤480	>480 ≤560	>560 ≤640	>640 ≤720	>720

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^2
Methode	Surface energy balance
Software	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

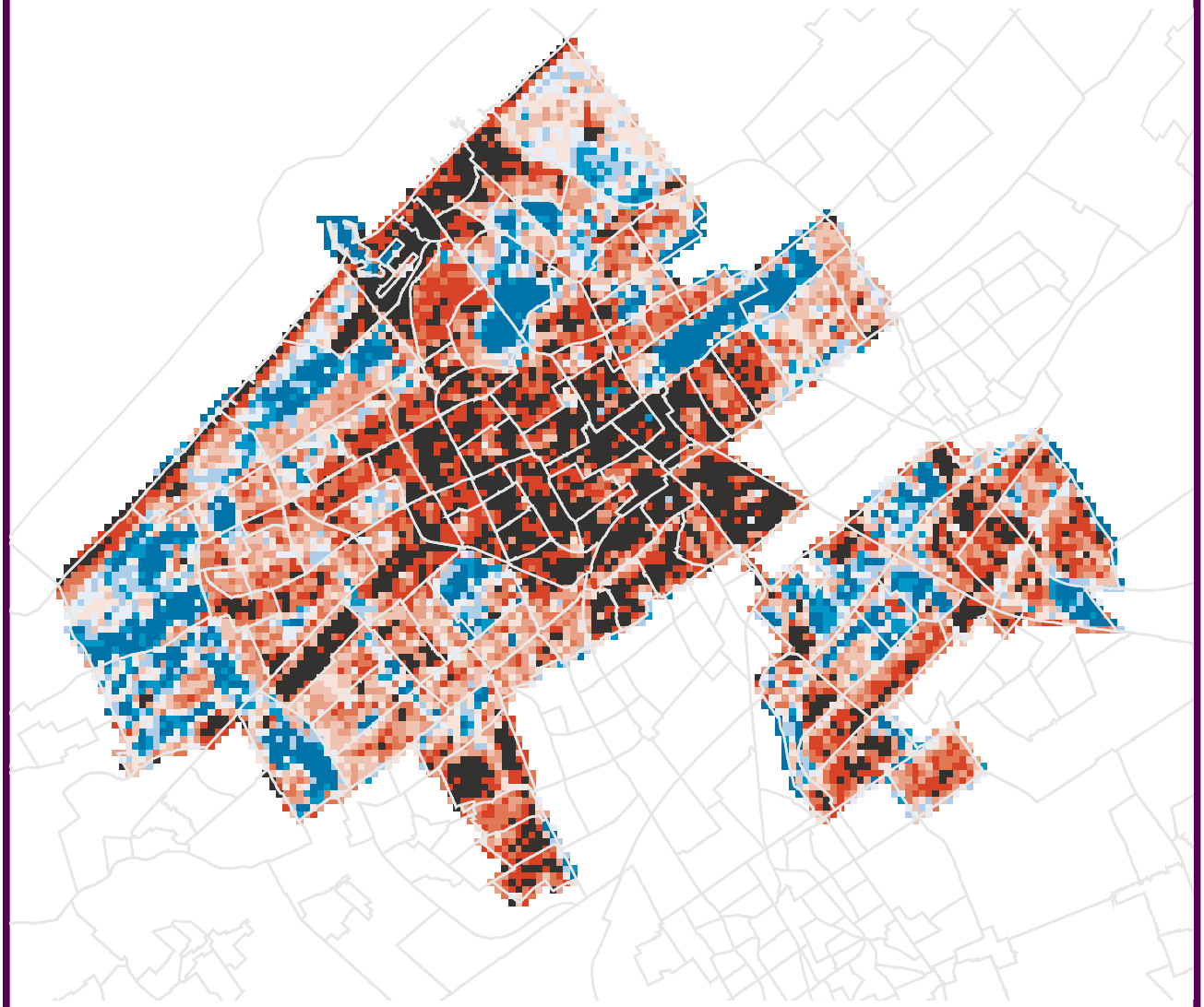
Voelbare warmte



Legenda	≤20	>20 ≤65	>65 ≤90	>90 ≤115	>115 ≤140	>140 ≤165	>165 ≤190	>190 ≤215	>215 ≤240	>240

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^2
Methode	Surface energy balance
Software	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

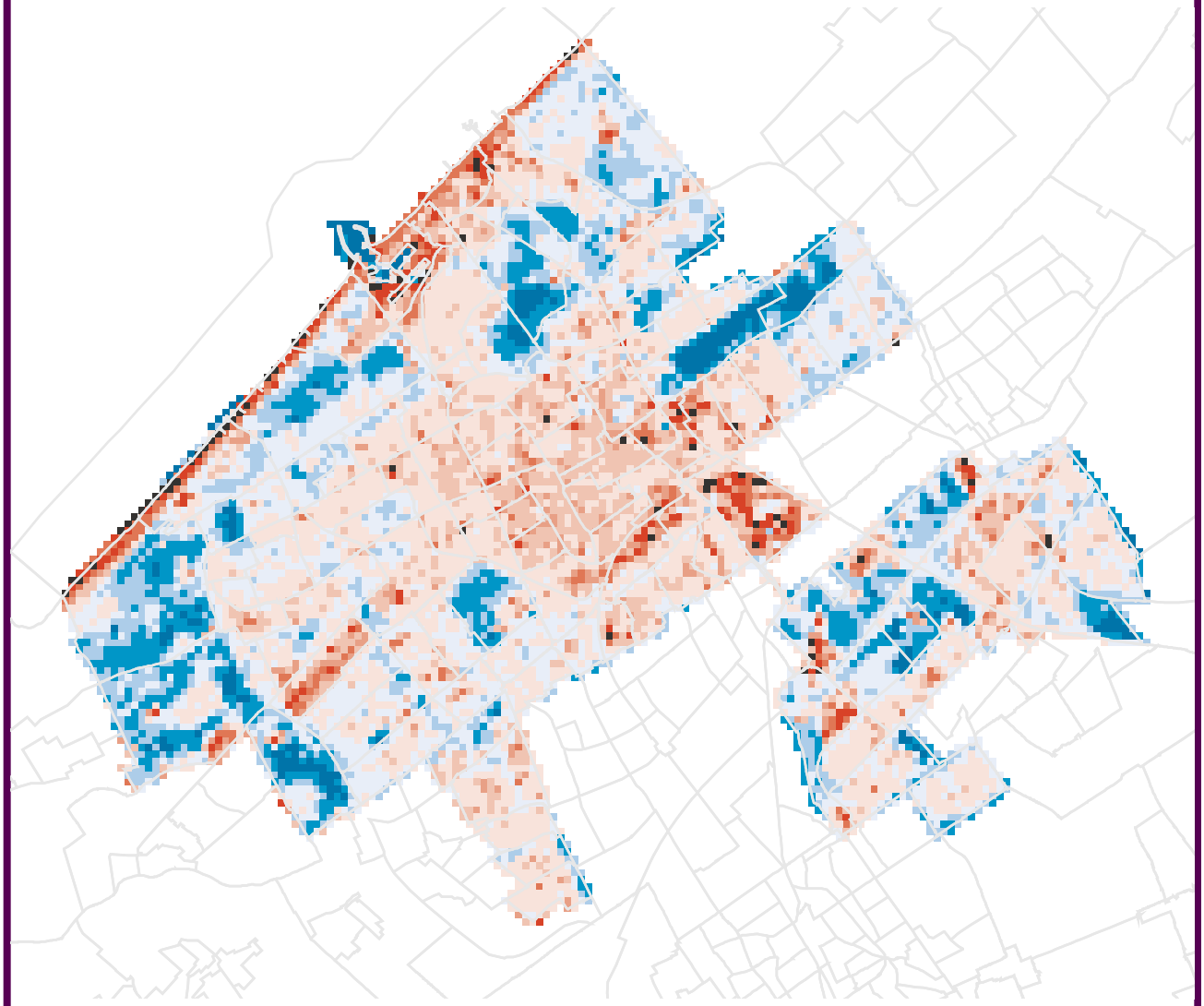
Bodemwarmtestroom



Legenda	≤ 70	>70 ≤85	>85 ≤100	>100 ≤115	>115 ≤130	>130 ≤145	>145 ≤160	>160 ≤175	>175 ≤190	>190

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^2
Methode	Surface energy balance
Software	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

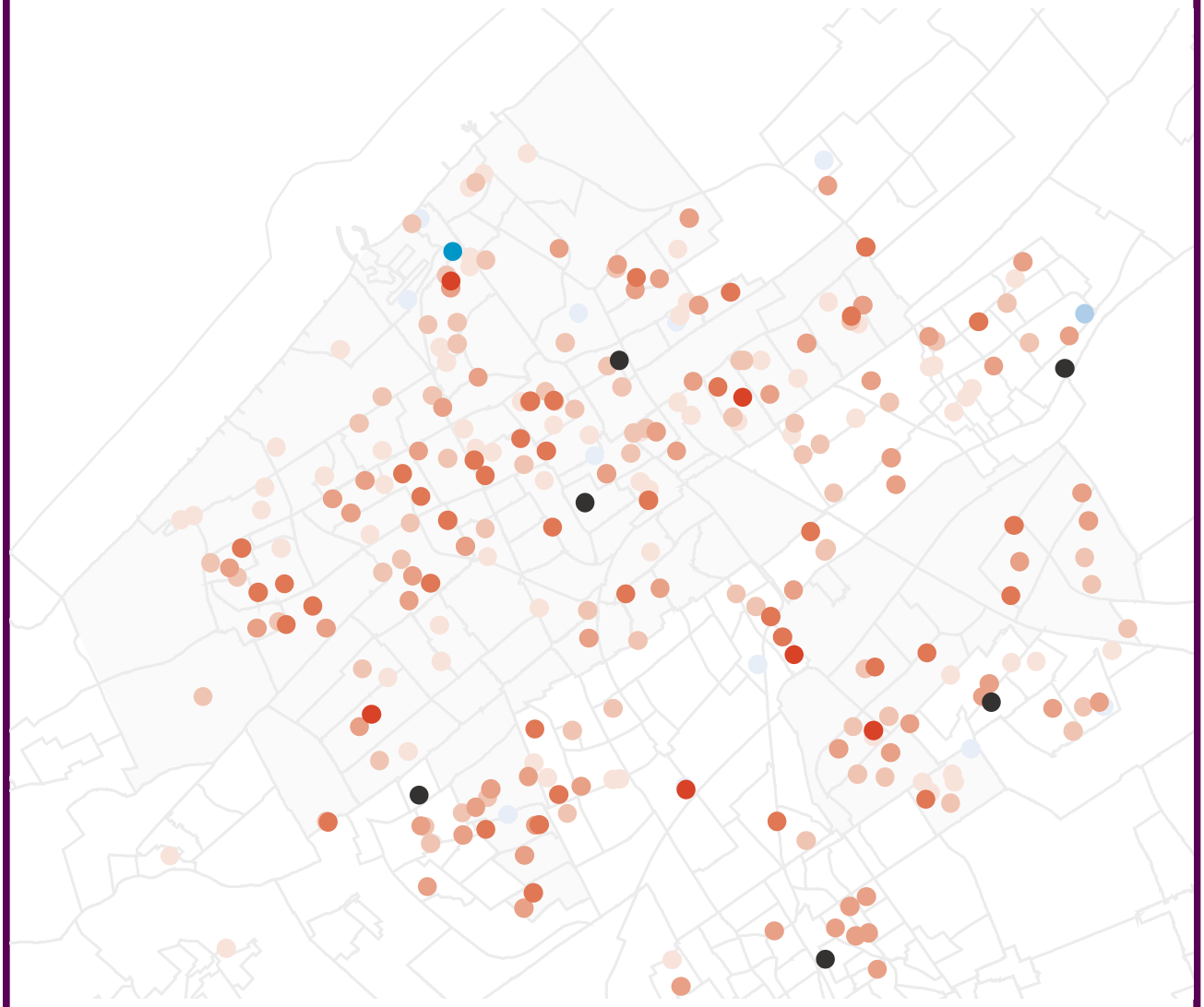
Netto straling verminderd met latente warmte



Legenda	≤75	>75 ≤125	>125 ≤175	>175 ≤225	>225 ≤275	>275 ≤325	>325 ≤375	>375 ≤425	>425 ≤475	>475

Inhoud	Latente warmte draagt niet bij aan de opwarming van de stedelijke omgeving. Het verminderen van de netto straling met de latente warmte geeft daarom een beter beeld van de energie die hitteproblemen veroorzaakt.
Waardes	W/m^2
Methode	Surface energy balance
Software	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

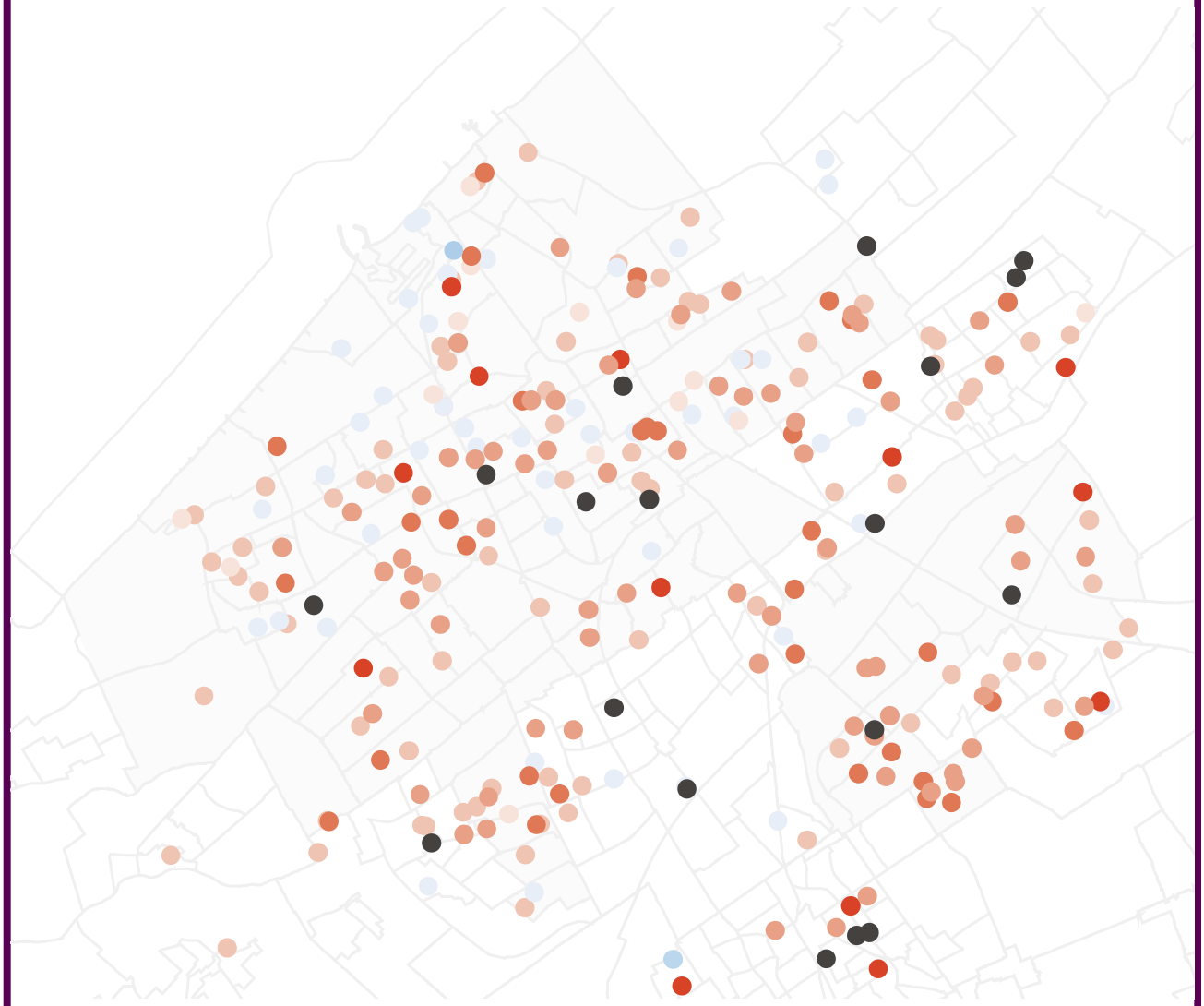
Netatmo weerstations middaguur



Legenda	≤20,8	>20,8 ≤22,7	>22,7 ≤24,6	>24,6 ≤26,5	>26,5 ≤28,4	>28,4 ≤30,1	>30,2 ≤32,1	>32,1 ≤34,0	>34,0 ≤35,9	>35,9

Inhoud	Luchttemperatuur in de directe omgeving van woningen: bijvoorbeeld balkon of tuin
Waardes	Graden Celsius
Methode	Netatmo weerstations
Software	ArcGIS
Data	Crowdsensing, 19 juli 2017

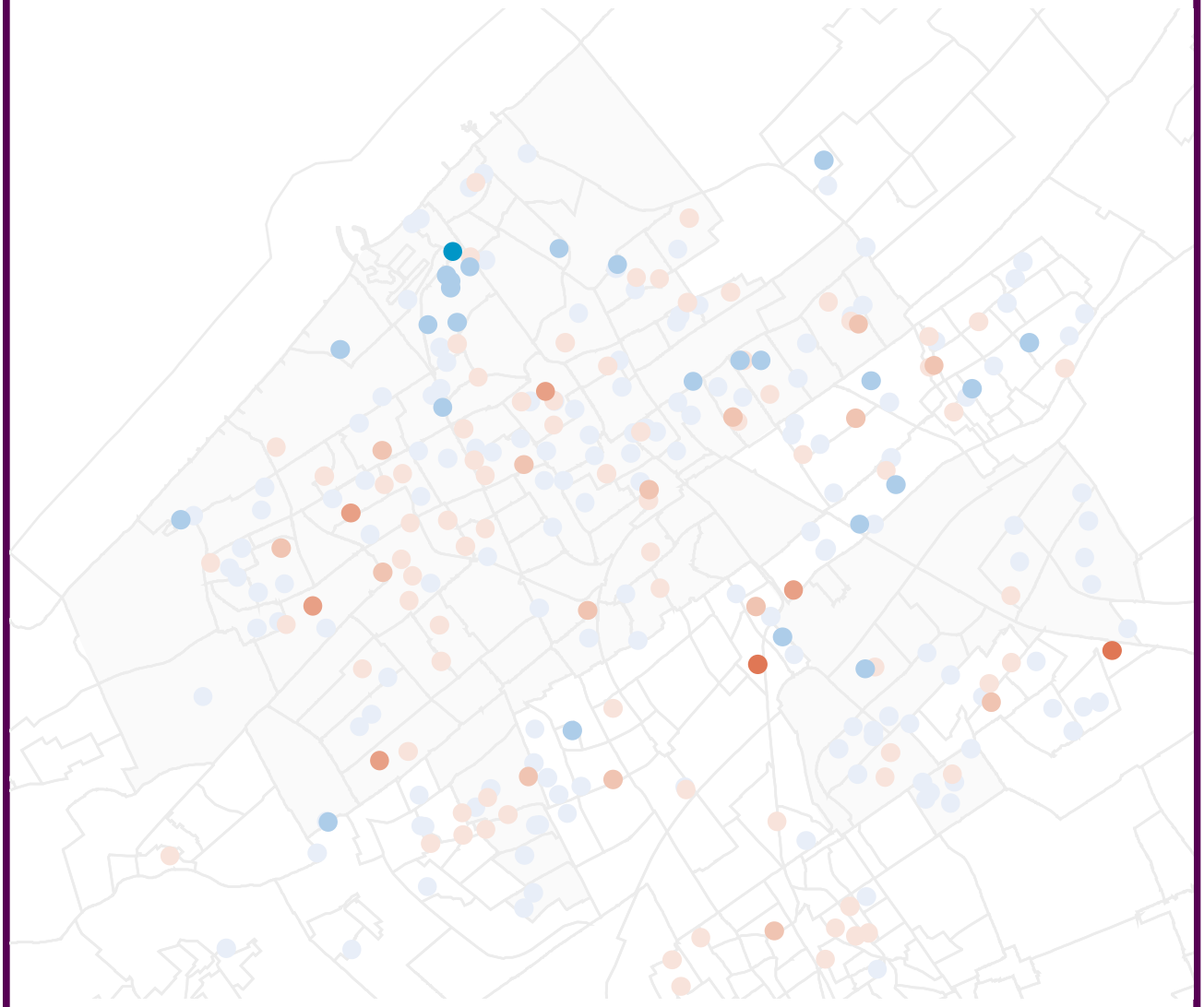
Netatmo weerstations ‘s middags



Legenda	≤20,8	>20,8 ≤22,7	>22,7 ≤24,6	>24,6 ≤26,5	>26,5 ≤28,4	>28,4 ≤30,1	>30,2 ≤32,1	>32,1 ≤34,0	>34,0 ≤35,9	>35,9

Inhoud	Luchttemperatuur in de directe omgeving van woningen: bijvoorbeeld balkon of tuin
Waardes	Graden Celsius
Methode	Netatmo weerstations
Software	ArcGIS
Data	Crowdsensing, 19 juli 2017

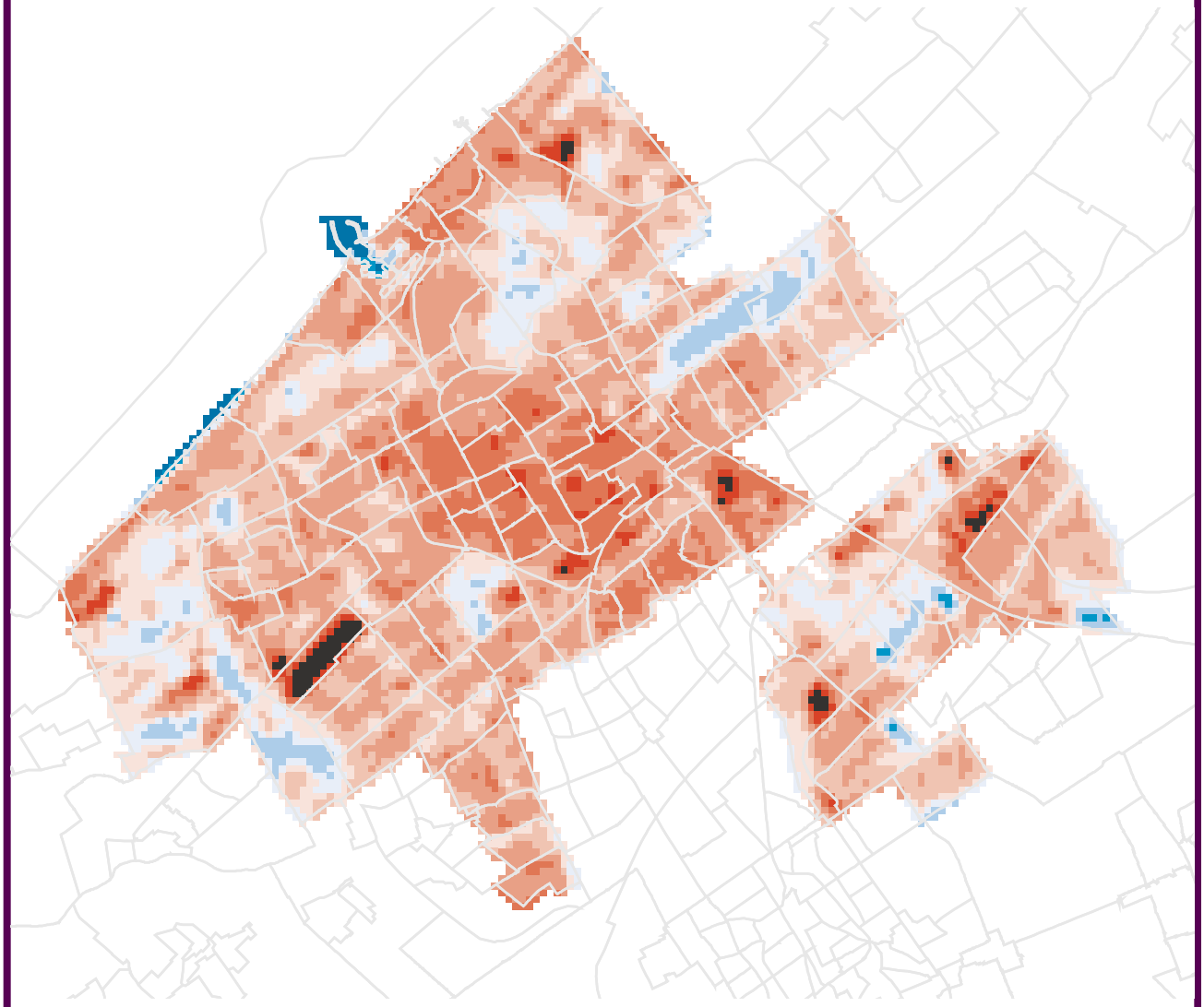
Netatmo weerstations middernacht



Legenda	≤20,8	>20,8 ≤22,7	>22,7 ≤24,6	>24,6 ≤26,5	>26,5 ≤28,4	>28,4 ≤30,1	>30,2 ≤32,1	>32,1 ≤34,0	>34,0 ≤35,9	>35,9

Inhoud	Luchttemperatuur in de directe omgeving van woningen: bijvoorbeeld balkon of tuin
Waardes	Graden Celsius
Methode	Netatmo weerstations
Software	ArcGIS
Data	Crowdsensing, 19 juli 2017

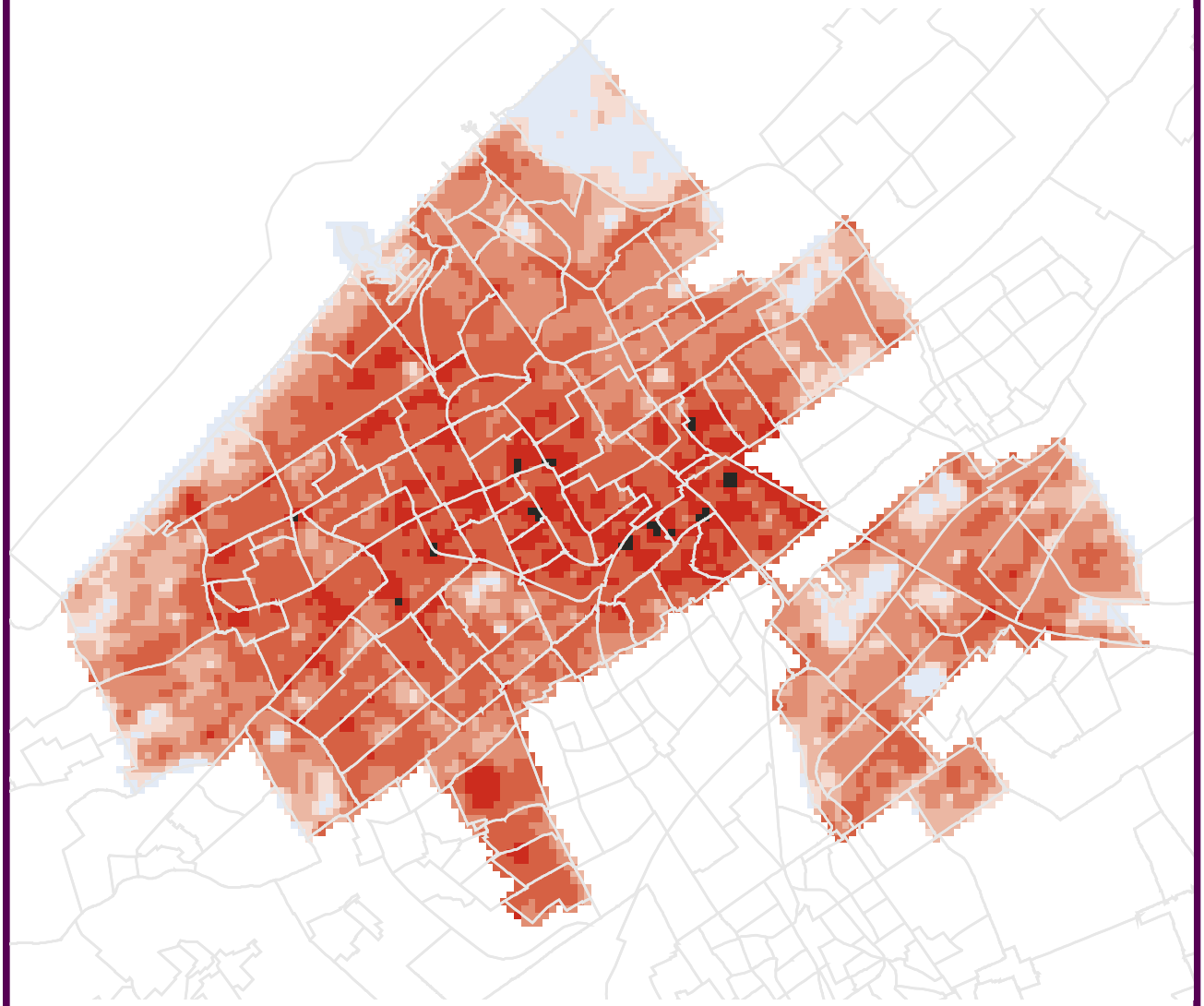
Oppervlaktetemperatuur, overdag 27 mei 2017



Legenda	≤14	>25 ≤28	>28 ≤31	>31 ≤34	>34 ≤37	>37 ≤40	>40 ≤43	>43 ≤46	>46 ≤49	>49,0

Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de gemeente Den Haag Overdag komen extreme temperaturen voor op bedrijven terreinen. Deze terreinen worden gekenmerkt door omvangrijke daken met bitumendakbedekking. De temperatuur kan hier oplopen tot 60 graden.
Waardes	Graden Celsius
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA), ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 23:14 uur // Aster emissivity database 2000-2008

Oppervlaktetemperatuur, ‘s nachts 26 mei 2017



Legenda	≤17,0 · >17,0 ≤18,0 · >18,0 ≤19,0 · >19,0 ≤20,0 · >20,0 ≤21,0 · >21,0 ≤22,0 · >22,0 ≤23,0 · >23,0 ≤24,0 · >24,0 ≤25,0 · >25,0
Inhoud	Oppervlaktetemperatuurverschillen in de gemeente Den Haag ‘s Avonds laat en ‘s nachts worden de warmste plekken in de stad gevormd door de gebieden waar overdag de meeste zonnestraling is opgenomen door gebouwen en bodem, en waar de afkoeling bemoeilijkt wordt door een geringe blootstelling aan het hemel gewelf (sky view factor). De grote platte gebouwen op de bedrijventerreinen koelen sneller af dan de bebouwing in het centrum.
Waardes	Graden Celsius
Methode	Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 10 in Landsat 8 beeld
Software	SNAP (ESA), ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 26 mei 2017, 23:14 uur // Aster emissivity database 2000-2008

Stenig, weinig groen, reflectie of water

Wordt het warmte-eiland effect in Den Haag veroorzaakt door het ruimtegebruik? En zo ja, welke ruimtelijke factoren leggen dan het meeste gewicht in de schaal?

Achtergrond

De fysieke ruimte van Den Haag 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 Den Haag bepalen. Dit inzicht is te gebruiken voor een aangepaste ruimtelijke inrichting van de stad: klimaatadaptieve stedenbouw.

Methode

Voor iedere hectare is een numerieke waarde bepaald voor de aspecten die van invloed zijn op Haagse hitte. Een multivariate regeression analysis is uitgevoerd om vast te stellen wat van invloed is op de oppervlakte energiebalans, de luchttemperatuur, en de oppervlaktetemperatuur overdag en ‘s nachts. De ruimtelijk aspecten zijn vervolgens onderworpen aan een clusteranalyse.

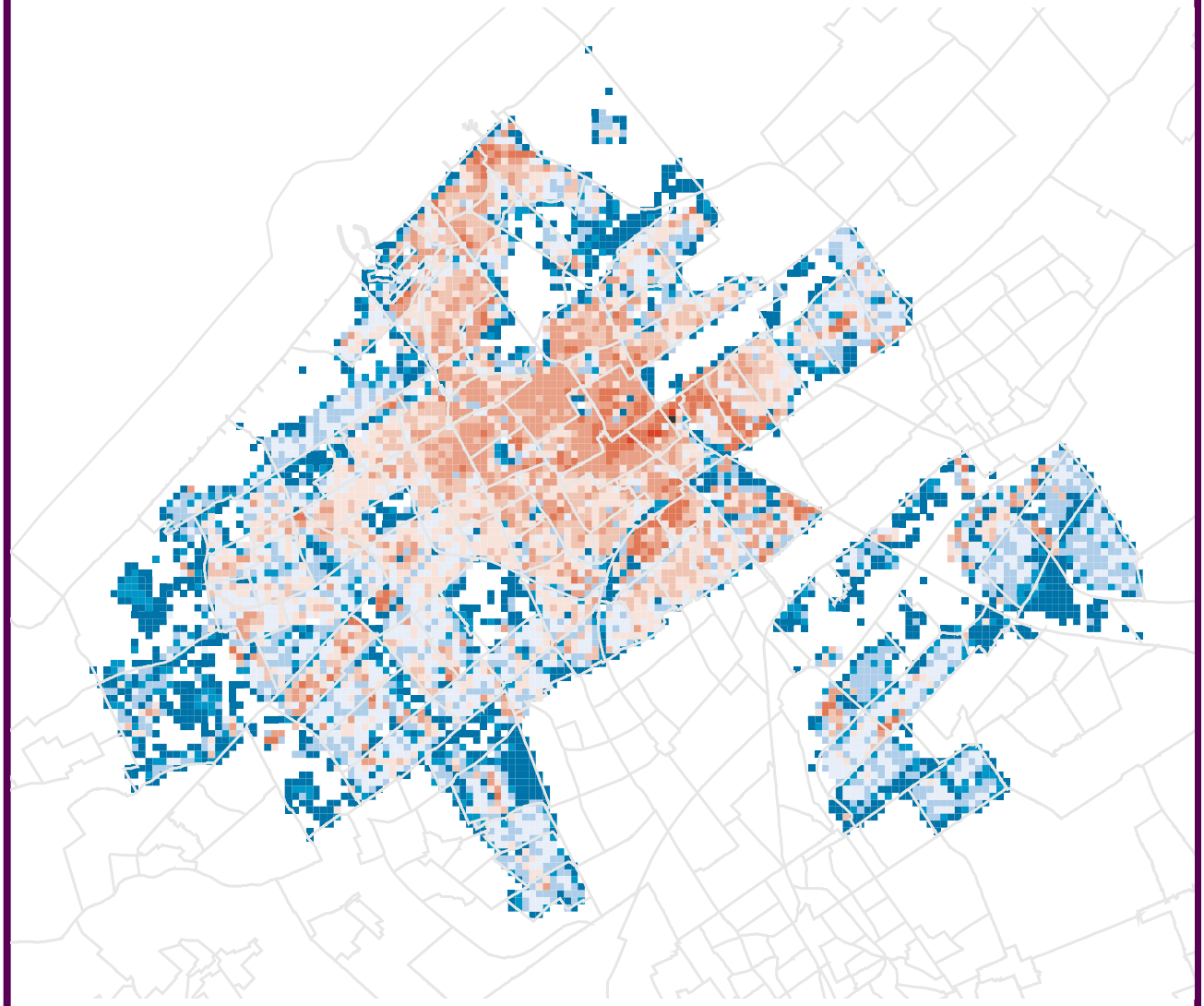
Resultaten

Het resultaat van deze actie is een set kaarten van de relevante de ruimtelijke kenmerken die bijdragen aan de verklaring van het warmte-eiland in Den Haag, samengebracht in een Warmtekaart Ruimte met acht samenhangende gebiedstypologieën.

Conclusie

Ruimtelijke kenmerken die typerend zijn voor Haagse hitte vinden we in de stadsdelen Centrum, Laak en Scheveningen, maar ook in het oostelijke deel van Segbroek en Escamp. Den Haag wordt hier gekenmerkt door een hoge mate van verharding (gebrek aan groen), neemt relatief veel straling op (lage albedo) en verdampt beperkt (weinig oppervlaktewater of groen).

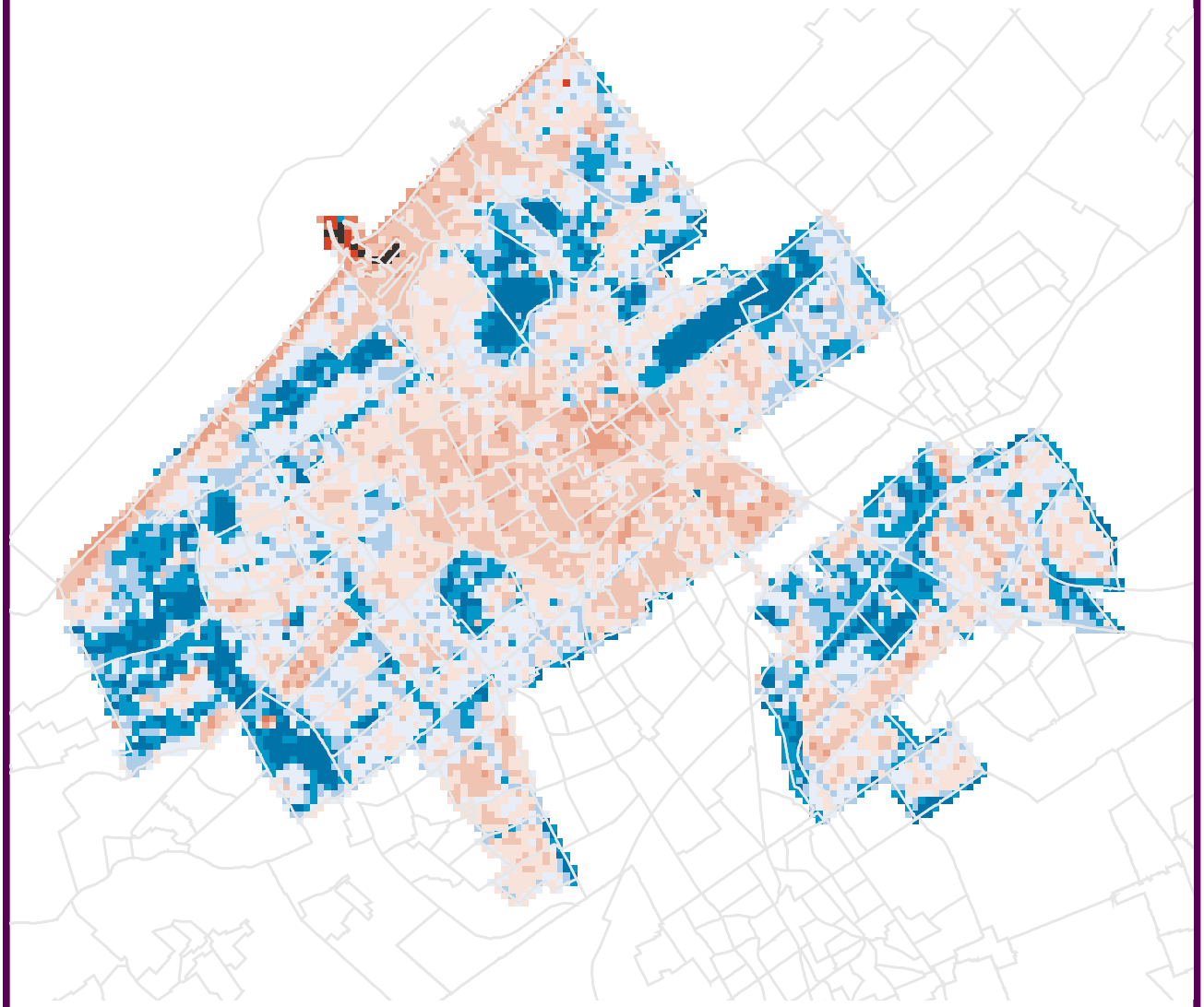
Gebouwvolume



Legenda	≤5	>5 ≤10	>10 ≤20	>20 ≤30	>30 ≤40	>40 ≤50	>50 ≤100	>100 ≤400	>400 ≤750	>750

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 Den Haag is het volume van de bebouwing berekend per hectare.
Software	ArcGIS
Data	Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN 2) Rijkswaterstaat (RWS)

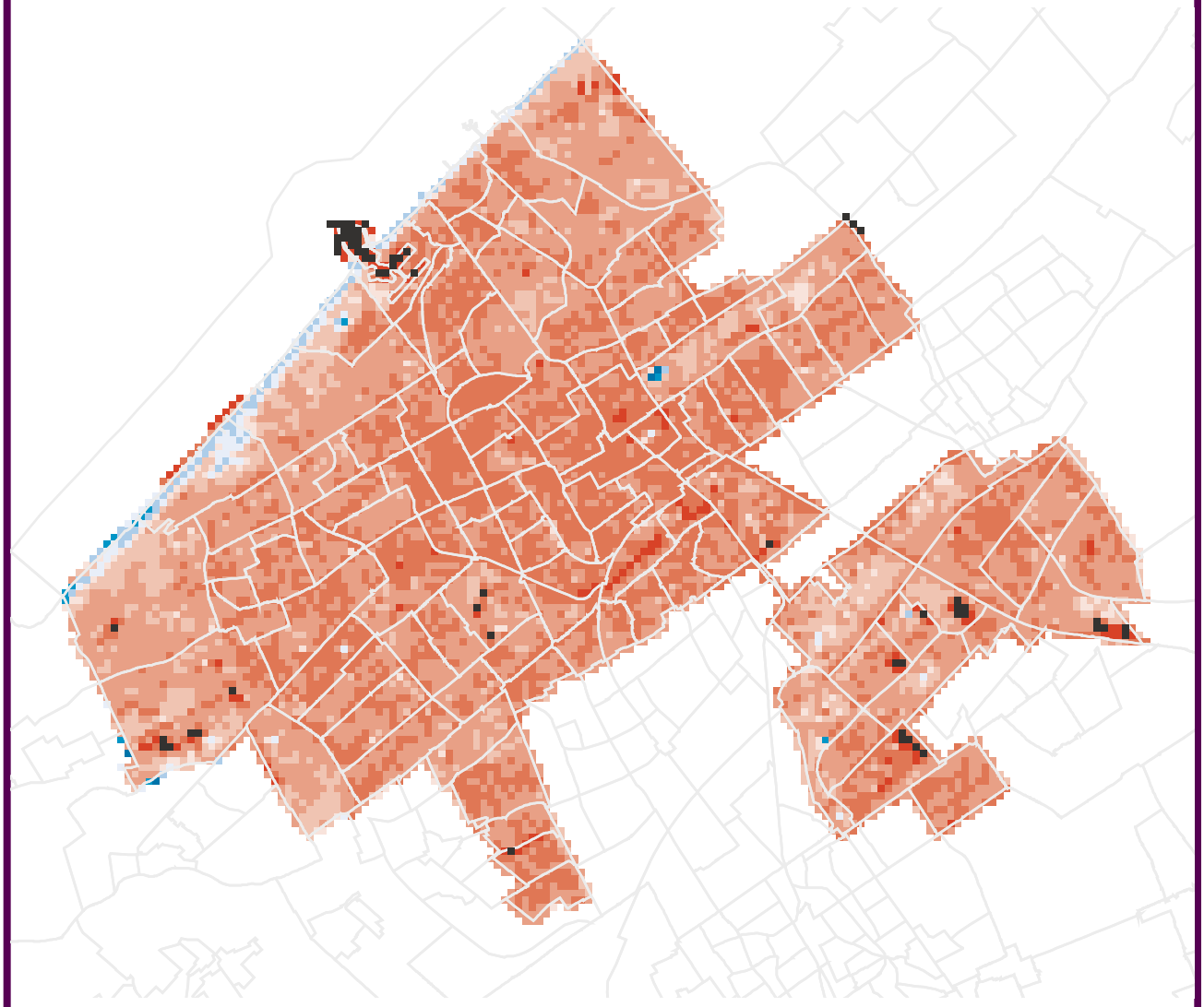
Mate van verharding



Legenda	>-0.4	>-0.4 ≤-0.3	>-0.3 ≤0.2	>0.2 ≤0.1	>0.1 ≤0.0	>0.0 ≤0.1	>0.1 ≤0.2	>0.2 ≤0.3	>0.3 ≤0.4	>0.4

Inhoud	Normalized Difference Built Index (NDBI) geeft verharding weer (of wellicht beter gezegd het ontbreken van groen). 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. Duinzand en opgespoten bouwterreinen komen in dergelijke analyses ook als 'verhard' naar voren.
Waardes	Dimensieloos. - 1-1.
Methode	Landsat 8 beeld is atmosferisch gecorrigeerd. De NDBI is berekend aan de hand van de formule (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR).
Software	SNAP (ESA), ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

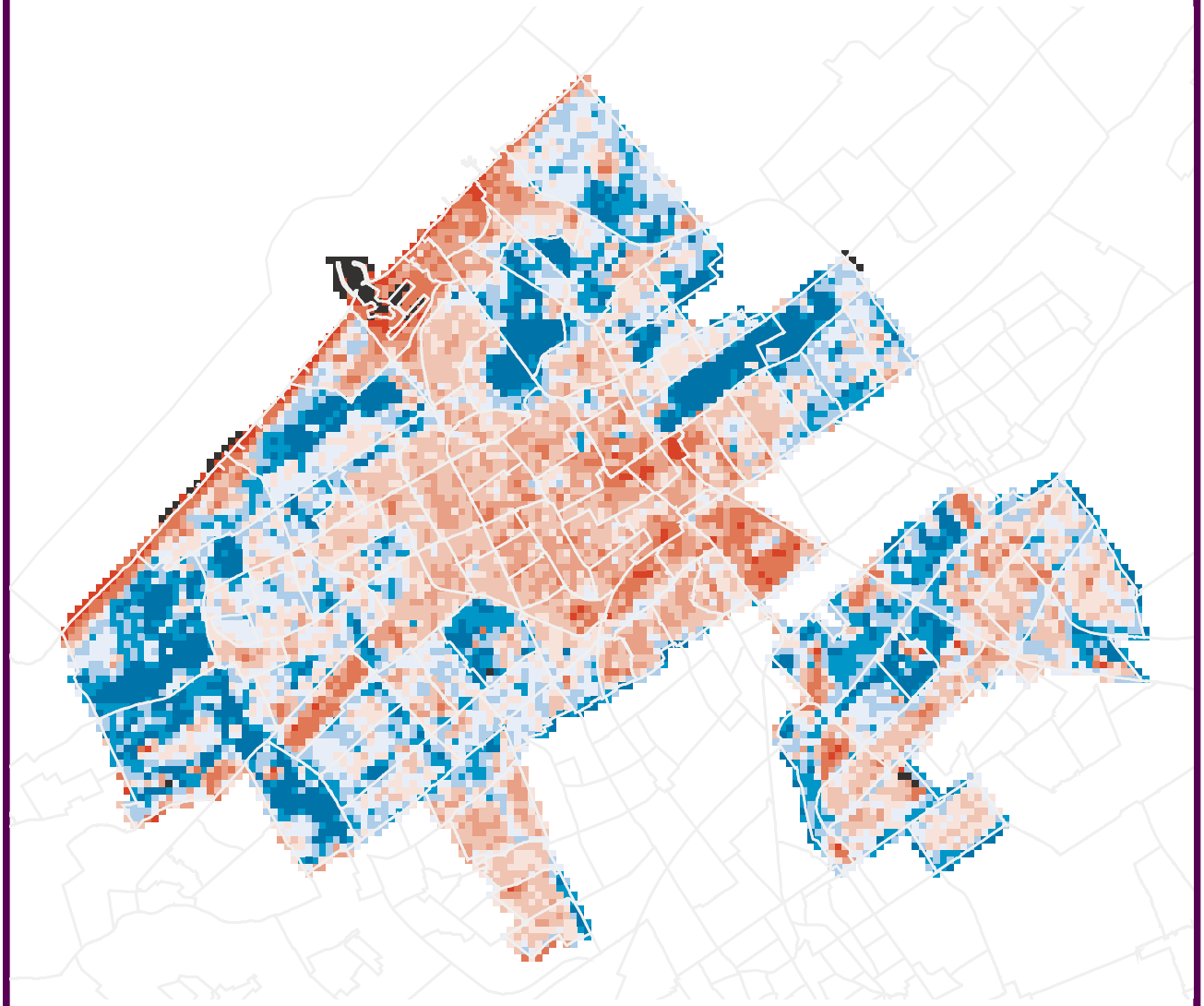
Reflectie door het stadsoppervlak



Legenda	≤0.04	>0.04 ≤0.08	>0.08 ≤0.12	>0.12 ≤0.16	>0.16 ≤0.20	>0.20 ≤0.24	>0.24 ≤0.28	>0.28 ≤0.32	>0.32 ≤0.36	>0.36

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	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

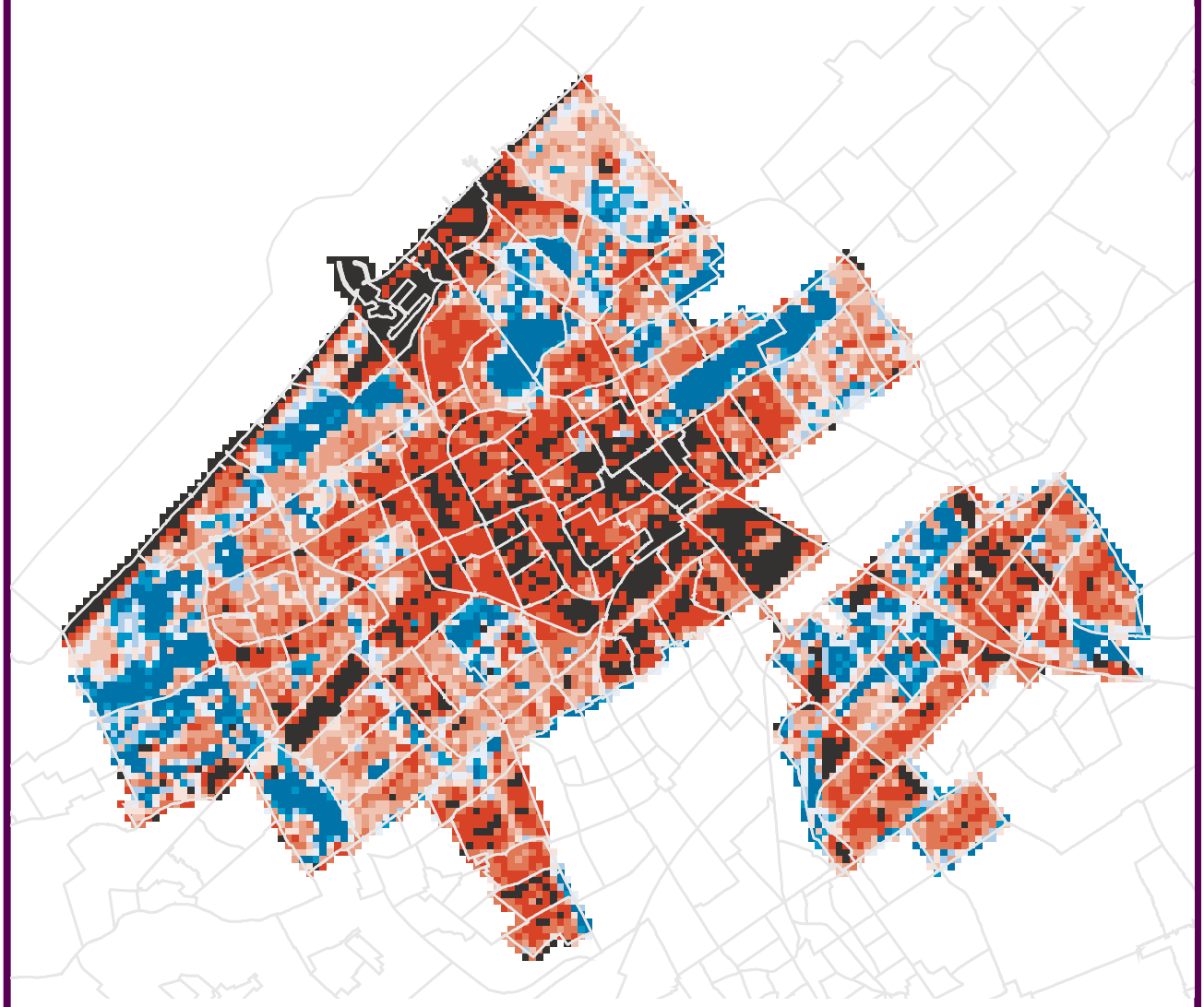
Groen (NDVI)





Legenda	
Inhoud	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Vegetatie verdampt water door middel van transpiratie, en gebruikt daarbij latente energie (Q_E). 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	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

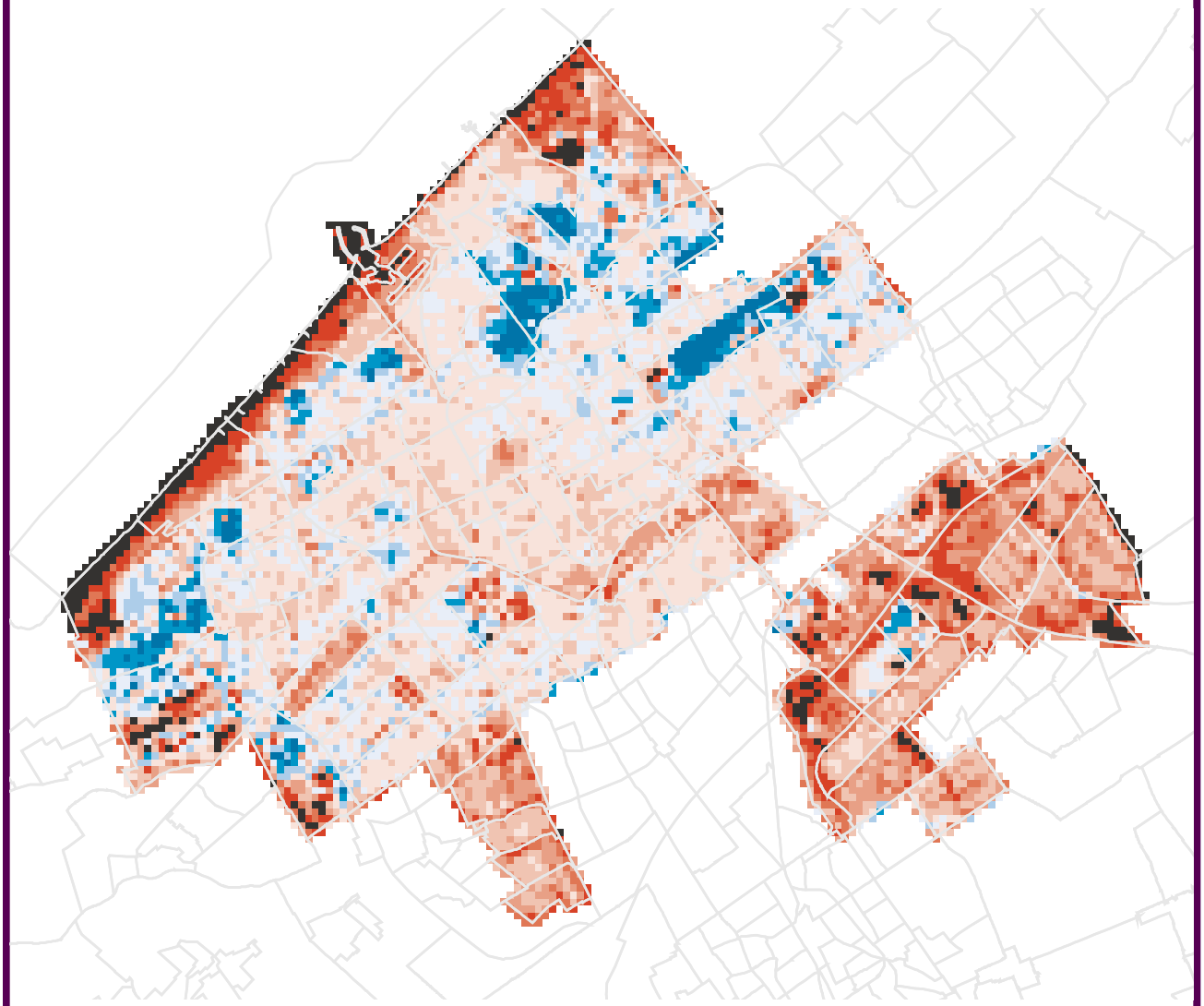
Bladbedekking (LAI)



Legenda	≤0.2	>0.2 ≤0.4	>0.4 ≤0.6	>0.6 ≤0.8	>0,8 ≤1,0	>1.0 ≤1.2	>1.2 ≤1.4	>1.4 ≤1.6	>1.6 ≤1.8	>1.8

Inhoud	Leaf area index (LAI) geeft de mate aan 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	SNAP (ESA), ATCOR2, ArcGIS
Data	NASA, Landsat 8, 27 mei 2017, 12:40 uur

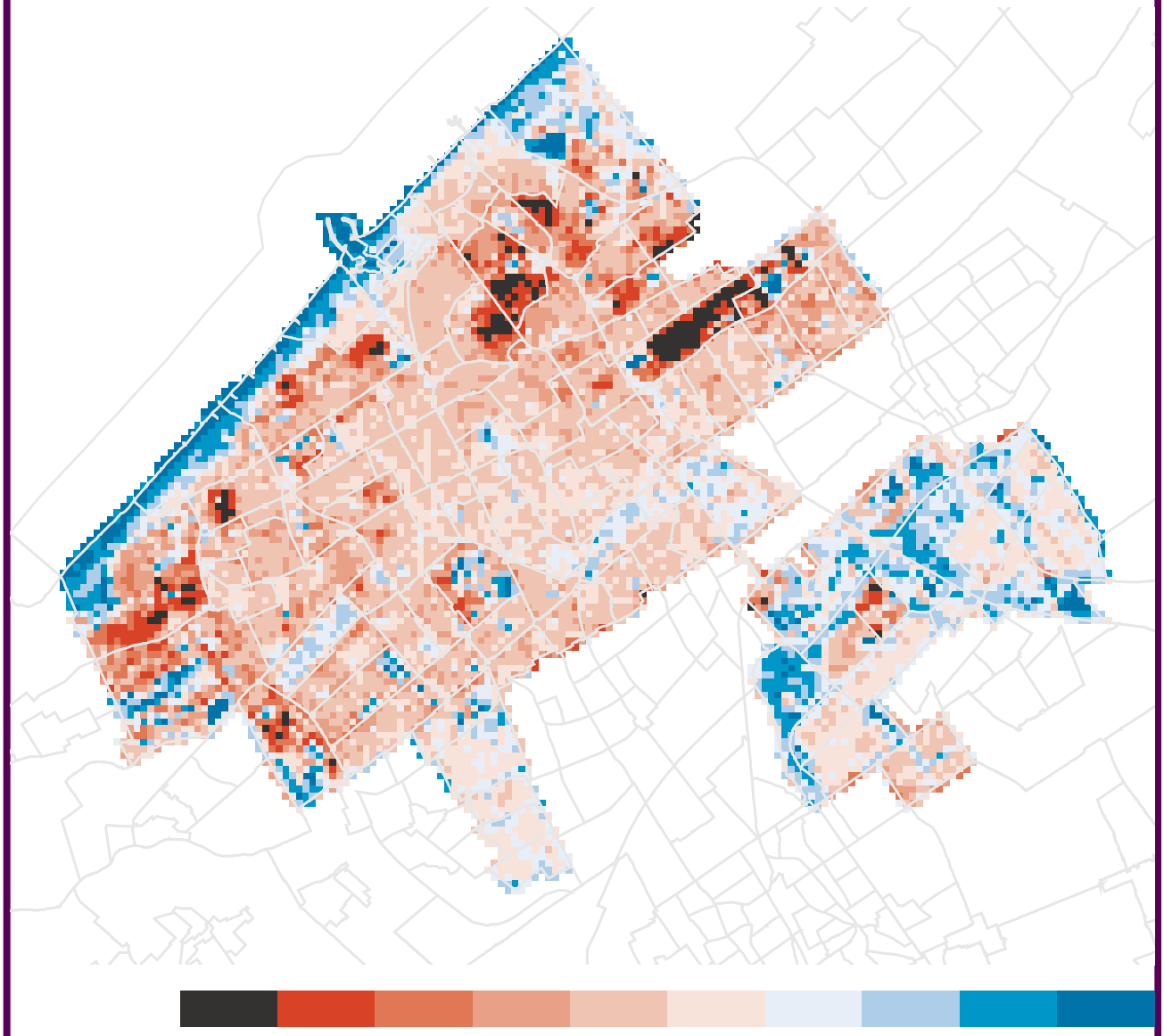
Schaduw





Legenda	
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, gewoonlijk het moment dat de Landsat satelliet opnames maakt boven Nederland.
Software	ArcGIS, hill shade
Data	Actueel Hoogtebestand Nederland 2 (AHN 2), Rijkswaterstaat (RWS)

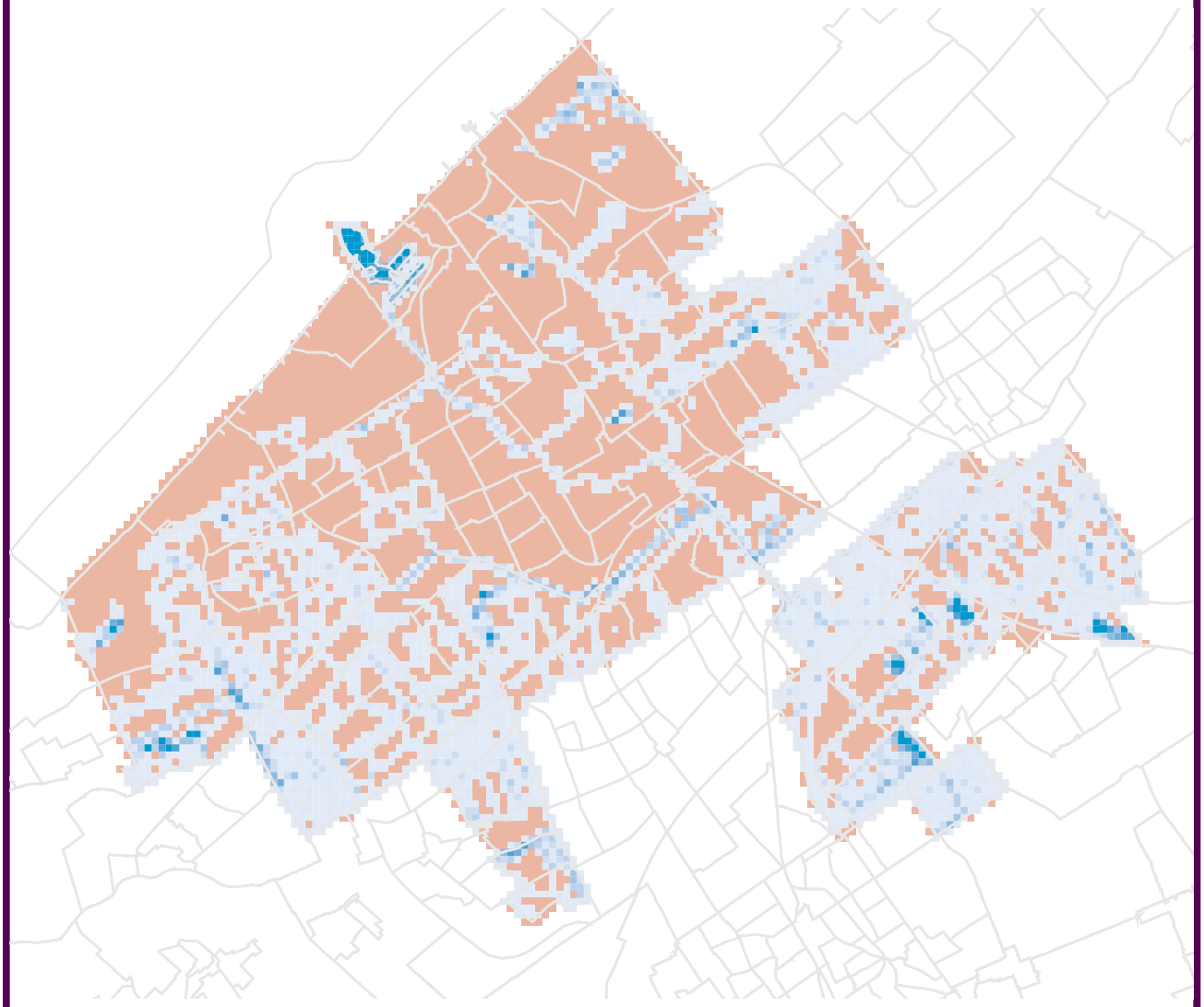
Sky view factor



Legenda	≤30	>30 ≤55	>55 ≤80	>80 ≤105	>105 ≤130	>130 ≤155	>155 ≤180	>180 ≤205	>205 ≤230	>230

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 = geen blootstelling aan het hemelgewelf, 250 = 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)

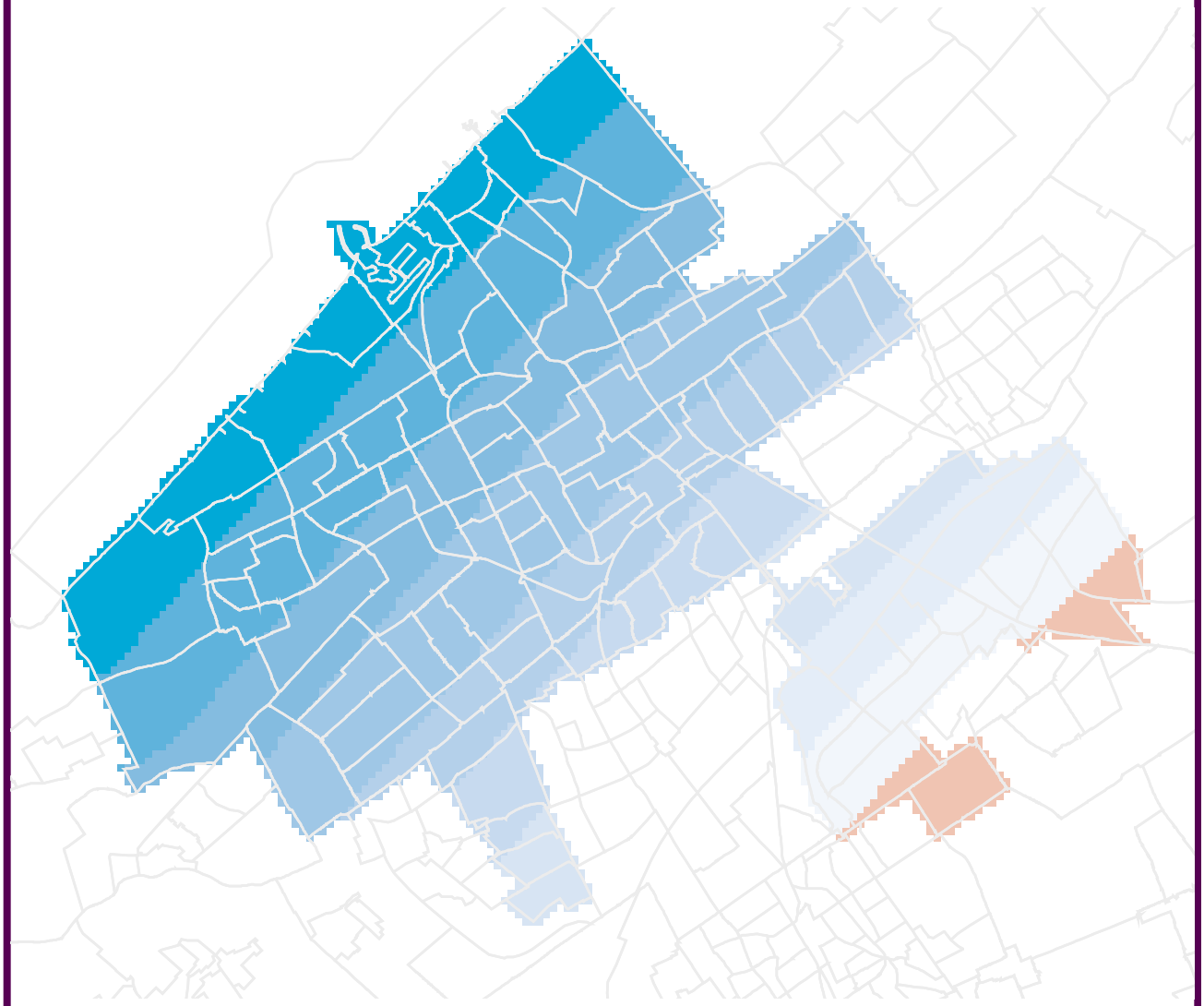
Oppervlaktewater



Legenda	≤1	>1 ≤10	>10 ≤20	>20 ≤30	>30 ≤40	>40 ≤50	>50 ≤60	>60 ≤70	>70 ≤80	>80

Inhoud	Water verbruikt door verdamping latente energie en werkt zo verkoelend. Oppervlaktewater heeft echter een zeer lage albedo-waarde en neemt ook zonne-straling 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, Den Haag

Afstand tot zee



Legenda	≤1.25 >1.25 ≤2.50 >2.50 ≤3.75 >3.75 ≤5.00 >5.00 ≤6.00 >6.00 ≤7.25 >7.25 ≤8.50 >8.50 ≤9.50 >9.50 ≤10.75 >10.75
Inhoud	De Noordzee beïnvloed het stadsklimaat van Den Haag. Vroeg in het voorjaar is de zee nog koud. Aan het einde van de herfst is de zee juist relatief warm.
Waardes	kilometer
Methode	Afstandsmeting haaks op de kustlijn
Software	ArcGIS
Data	TOP 10, Den Haag

Warmtekaart ruimte

Het ruimtelijke patroon van ruimtegebruik dat meer of minder bijdraagt aan Haagse hitte.

Achtergrond

Het idee achter de warmtekaart ruimte 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 beter kan vermijden en welke je juist vaker zou willen toepassen vanuit het oogpunt om de stad koeler te maken.

Methode

In deze paragraaf zijn de ruimtelijke kenmerken in kaart gebracht die in eerdere onderzoeken aangemerkt zijn als oorzaken van het warmte-eiland. Aan de hand van regressie analyse is vastgesteld welke van deze (statistisch) de beste verklaring bieden voor de som van voelbare warmte en bodemwarmtestroom, voor het nachtelijke oppervlakte warmte-eiland en voor het oppervlakte warmte-eiland overdag. Die kenmerken zijn: verharding, vegetatie, albedo, sky-view, oppervlaktewater, gebouwvolume en de afstand tot de Noordzee. Met deze kenmerken is een cluster analyse uitgevoerd. Met een cluster analyse worden de verbanden tussen die kenmerken bepaald en gegroepeerd. De uitkomsten van de cluster analyse zijn weergegeven in de kaart en in de tabel.

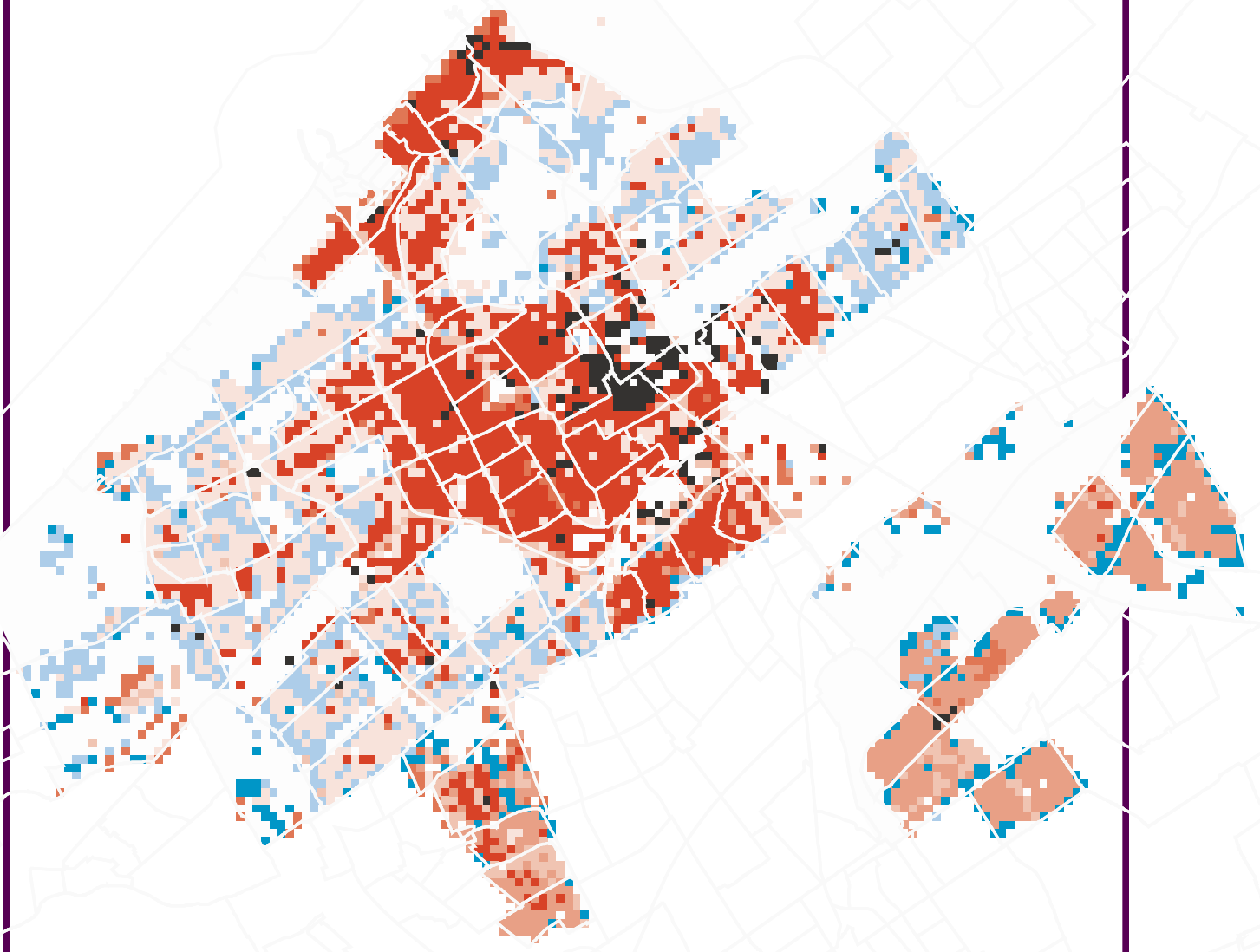
Resultaten

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

De omgeving van Den Haag centraal vertoont de sterkste kenmerken van ruimtegebruik die het warmte-eiland in de hand werken. De cluster '**kern**' ontvangt ook gemiddeld de meeste warmte-eiland energie (QH + QS).

De stadsdelen Centrum, Laak en Scheveningen (**jaren '30 stad**) scoren op alle aspecten maar weinig beter. Ook hier draagt het ruimtegebruik fors bij aan het warmte-eiland effect.

De clusters '**kern**' en '**jaren '30 stad**' worden het sterkst gekenmerkt door ruimtelijke eigenschappen die het warmte-eiland in de hand werken. We vinden deze hoofdzakelijk in de stadsdelen Scheveningen, Centrum, en Laak.



Legenda								
	kern	**jaren '30 stad**	**open stad**	**vinex**	**waterrijk**	**tuinstad**	**groen**	**open groen**
Verharding	0.05	0.02	-0.01	-0.06	-0.09	-0.10	-0.25	-0.24
Vegetatie (NDVI)	0.25	0.31	0.30	0.43	0.41	0.49	0.66	0.64
Albedo	108	116	169	126	99	124	127	149
Sky-view factor	910	933	1114	1002	1004	875	731	1089
Water	1	0	1	6	29	2	6	10
Gebouwvolume	141.8	44.6	21.8	16.6	20.4	29.6	16.8	6.4
Afstand tot zee	4.4	3.9	4.1	9.6	6.1	3.5	3.6	7.7
QH + QS	271	263	267	228	226	225	189	177

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Ruimte.

Geen lineair verband

In juli 2006 trad er als gevolg van de extreme hitte een verhoogde sterfte op in Den Haag. Is de ruimtelijke spreiding van de sterfte gedurende die maand mede te verklaren aan de hand van het warmte-eiland effect?

Achtergrond

Hitte veroorzaakt een verhoogde sterfte. Sterfgevallen zijn geregistreerd in de basisadministratie persoonsgegevens. Ons onderzoek gekeken naar de heetste maand ooit gemeten: juli 2006. In Den Haag overleden in juli 2006 60 oudere inwoners (75+) méér dan in een gemiddelde juli gemeten over de periode 2001-2015. In vergelijking met juli 2007 waren er dat zelfs 93 oudere inwoners (75+) méér.

Methode

We hebben hiërarchische meervoudige regressie analyses uitgevoerd op basis van het aantal 75-plussers per hectare, de gemiddelde leeftijd van de bebouwing, en de som van de voelbare warmte en de bodemwarmtestroom (data 2006). Met een clusteranalyse zijn de verbanden tussen de kenmerken bepaald (data 2016/2017). Die actuele clusters zijn vervolgens in kaart gebracht.

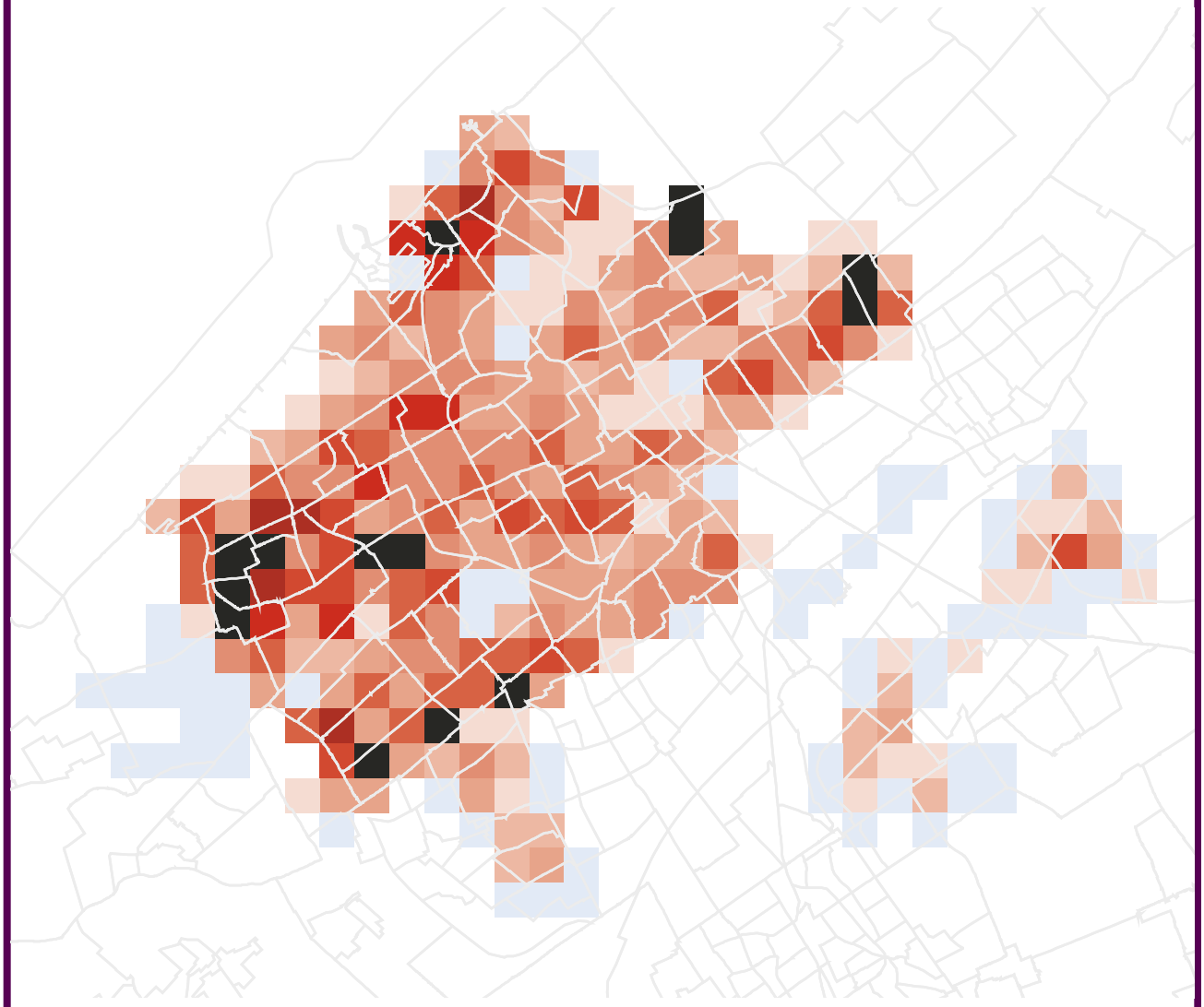
Resultaten

Het in kaart brengen van de deze kenmerken resulteert in de kaarten met betrekking tot de ruimtelijke spreiding van 75-plussers, sterfte van 75-plussers gedurende juli 2006, bovengemiddelde sterfte 75-plussers juli 2006, en de leeftijd van gebouwen. Deze kaarten zijn geclusterd in de warmtekaart gezondheid.

Conclusie

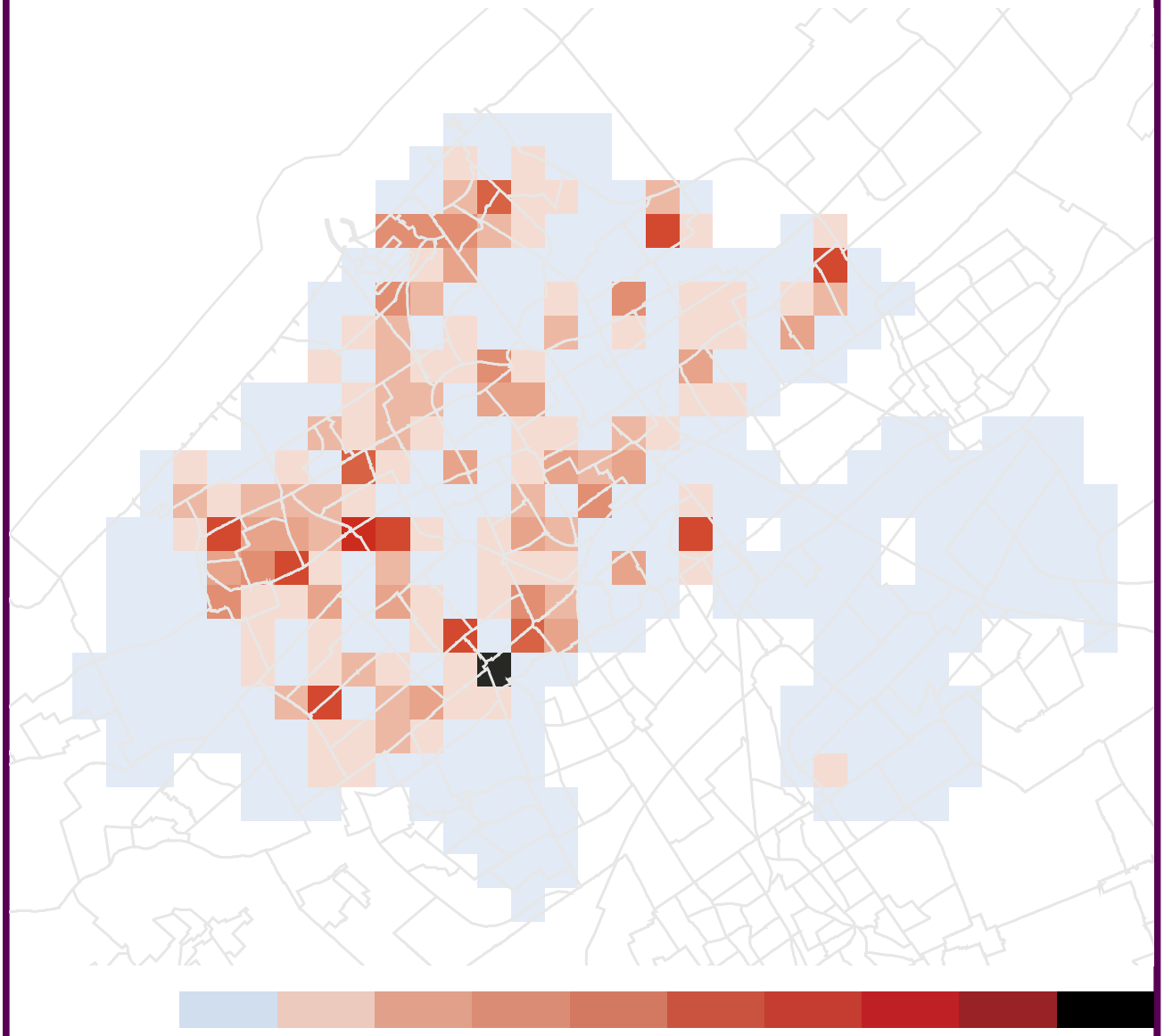
We hebben geen lineair verband vastgesteld tussen de ruimtelijke spreiding van 75-plussers per hectare, de gemiddelde leeftijd van de bebouwing, en de som van de voelbare warmte en de bodemwarmtestroom. Clustering van deze aspecten laat wel sterke ruimtelijk verschillen zien qua bovengemiddelde sterfte. De sterkste stijging komt overeen met het gebied met het sterkste warmte-eiland effect (QH+QS). De lichtste stijging is het gebied met het zwakste warmte-eiland effect.

Ruimtelijke spreiding 75-plussers



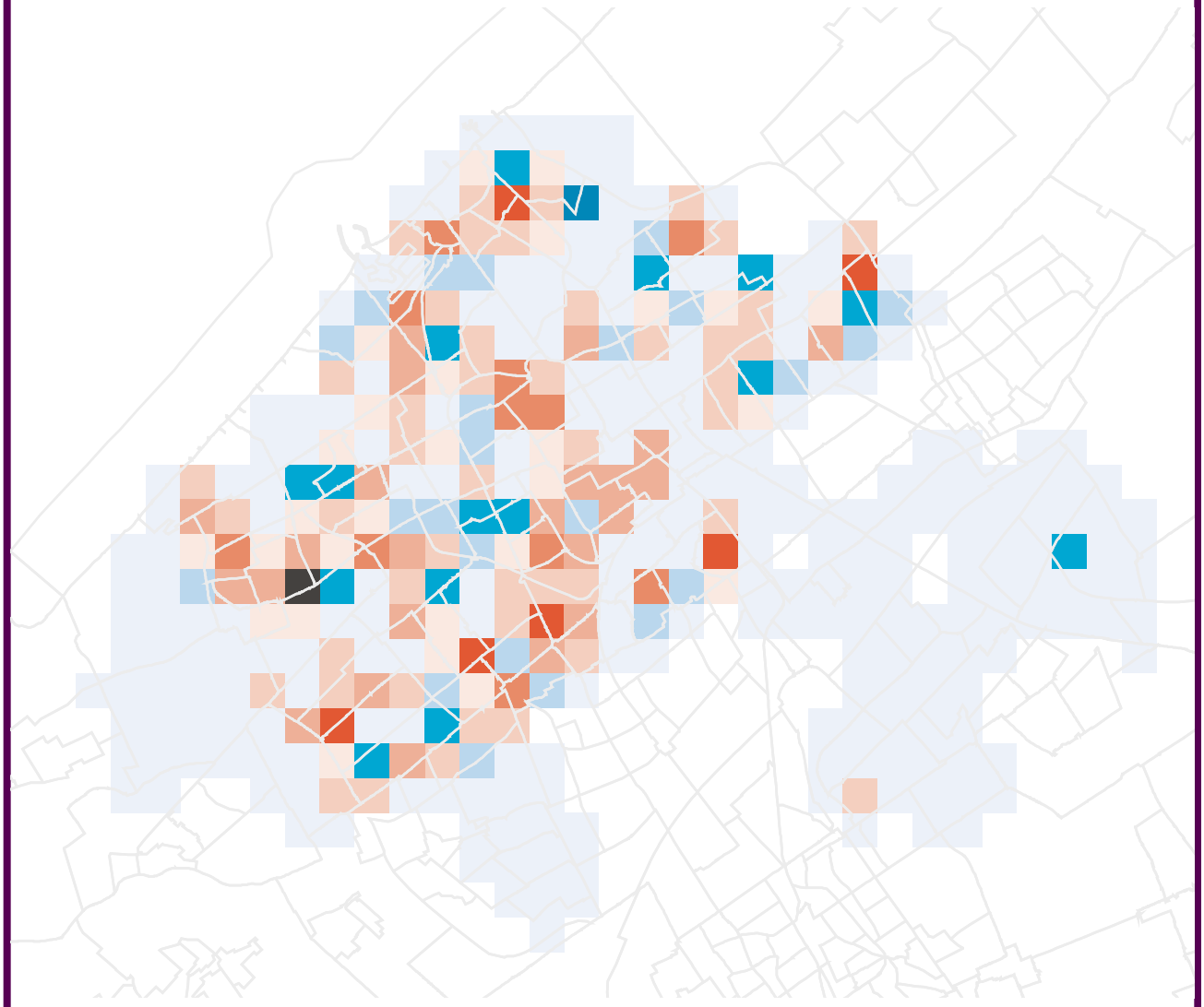
Legenda	1-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-140	141-193
Inhoud	Inwoners van 75 jaar of ouder per gridcel van 500m x 500m									
Waardes	Absolute aantallen									
Methode	–									
Software	ArcGIS									
Data	Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens									

Sterfte 75-plussers juli 2006



Legenda	
Inhoud	Aantal overleden inwoners van 75 jaar of ouder per gridcel 500m x 500m in juli 2006
Waardes	Absolute aantallen
Methode	–
Software	ArcGIS
Data	Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens

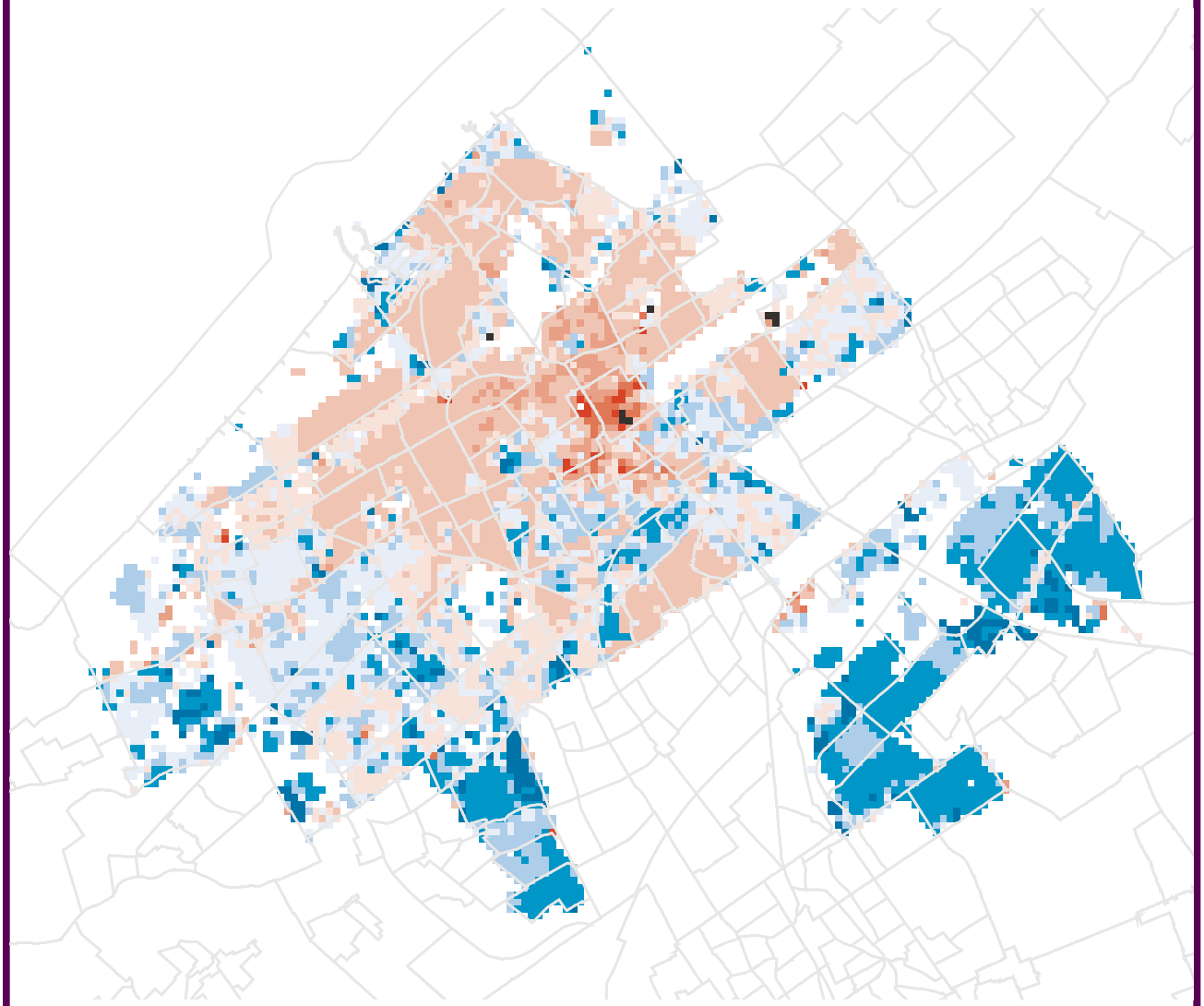
Bovengemiddelde sterfte 75-plussers juli 2006



Legenda	≤-2.7	>-2.7 ≤-1.0	>1,0 ≤-0.5	>-0.5 ≤000	>0.0 ≤0.5	>0.5 ≤1.0	>1.0 ≤2.0	>2.0 ≤3.0	>3.0 ≤4.0	>4.0

Inhoud	Bovengemiddeld aantal overleden inwoners van 75 jaar of ouder in juli 2006
Waardes	Absolute aantallen
Methode	Sterfte onder 75-plussers in juli 2006 verminderd met de gemiddelde sterfte over de periode 2000-2015
Software	ArcGIS
Data	Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens

Leeftijd gebouwen



Legenda	≤1700	>1700 ≤1800	>1800 ≤1850	>1850 ≤1900	>1900 ≤1945	>1945 ≤1965	>1965 ≤1985	>1985 ≤2000	>2000 ≤2010	>2010

Inhoud	Leeftijd van de verschillende gebouwen in de stad
Waardes	Gemiddelde per hectare in jaren
Methode	–
Software	ArcGIS
Data	Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)

Warmtekaart gezondheid

Het ruimtelijke patroon van kwetsbaarheid van met name ouderen voor Haagse hitte.

Achtergrond

Het idee achter de warmtekaart gezondheid is dat je wilt weten waar in de stad kwetsbaarheid voor warm weer tot problemen kan leiden 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

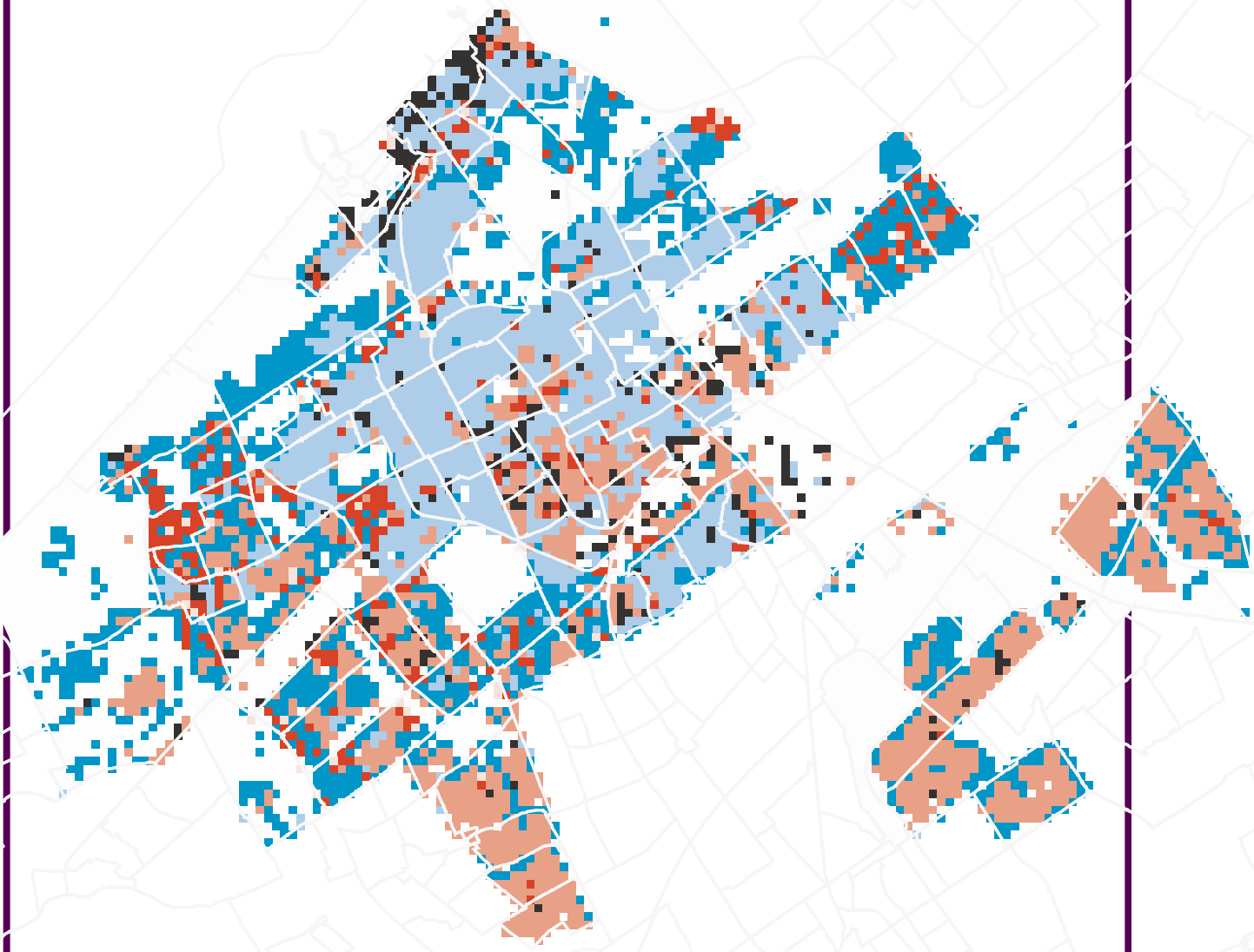
In ons onderzoek naar het warmte-eiland van Rotterdam hebben we reeds vastgesteld welke oorzaken het (bovengemiddeld) overlijden van 75-plussers in juli 2006 helpen verklaren: het aantal 75-plussers per hectare, de gemiddelde leeftijd van de bebouwing, en de som van de voelbare warmte (QH) en de bodemwarmtestroom (QS). Met een clusteranalyse zijn de verbanden tussen de aspecten nu ook voor Den Haag bepaald. De clusters zijn hier 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.

Aan de hand van de meervoudige regressie analyses hebben we geen lineair verband vastgesteld tussen de aspecten. Een verband is er wel, maar gedraagt zich niet als: hoe ouder de bebouwing hoe slechter het is voor de inwoners. De weergave van de uitkomst van de clustering in de tabel is gecombineerd met de overlijdensgegevens van 75-plussers: het absolute aantal overlijden in juli 2006, het verschil tussen juli 2006 en juli 2007, en het verschil tussen juli 2006 en een gemiddelde maand juli over de periode 2001/2015. De verhoudingsgegevens zijn zowel in absolute getallen uitgedrukt als ook in percentages. De tabel laat opmerkelijke verschillen zien tussen de clusters.

Het cluster **hoge sterfte / sterk hitte-eiland** komt overeen met de hoogste waarde voor het hitte-eiland effect (QH+QS). Het cluster **hoge sterfte / veel 75+** kent een vergelijkbare toename, een aanzienlijk hogere concentratie van ouderen per hectare maar een duidelijk geringer hitte-eiland effect (QH+QS).



Legenda						
	sterfte + 50-60% / sterk hitte-eiland	**sterfte + 40-60% / concentratie 75 +**	**sterfte + 40-50% / weinig 75 +**	**concentratie 75 + / historisch**	**lichte sterfte + / vooroorlogs**	**lichte sterfte + / zwak hitte-eiland**
75-plussers/ha	4	30	2	97	5	3
Ouderdom gebouw	gem. 1962	gem. 1968	gem. 1994	gem. 1881	gem. 1923	gem. 1965
QH + QS (W/m2)	325	223	238	218	248	190
Overleden 75+ ers juli 06	61	81	32	29	67	17
Overleden 75+ ers juli '06 / juli '07	25 (+61%)	34 (+58%)	12 (+53%)	8 (+38%)	11 (+17%)	3 (+16%)
Overleden 75+ ers juli '06 / juli '01-'15	20 (+48%)	23 (+39%)	9 (+41%)	8 (+39%)	1 (+2%)	-2 (-9%)

Resultaten clusteranalyse Warmtekaart Gezondheid.

Adaptatie

Den Haag krijgt in de toekomst vaker te maken met warmere zomers en meer hittegolven. Er moeten in de stad zo'n 50.000 woningen bijgebouwd worden voor een groeiend aantal inwoners. En ook het aandeel van oudere inwoners in de bevolking neemt toe. Daarmee wordt Den Haag kwetsbaarder voor hete zomers.

Dat alles gebeurt niet meteen morgen. Dit is een proces van jaren. Dat geldt ook voor het nemen van maatregelen waarmee de stad zich kan aanpassen aan stedelijke warmte.

Daken, straten, binnentuinen, zorggebouwen, bufferzones en groene iconen

Is er voldoende aanleiding voor de stad Den Haag om actie te ondernemen ten aanzien van het stadsklimaat? En zo ja, moeten dan bepaalde delen van de stad eerder aangepakt worden dan andere? Welke adaptieve maatregelen moeten we daar nemen om het warmte-eiland effect verminderen?

Noodzaak

Met een verandering van het klimaat, de noodzaak om zo'n 50.000 woningen te bouwen in Den Haags, en met het vergrijzen van de bevolking is er voldoende aanleiding om actie te ondernemen. We moeten flink aan de knoppen draaien om de effecten van Haagse hitte te beteugelen.

Verharding, albedo, vegetatie, schaduw, sky-view, oppervlaktewater en gebouwvolume zijn dan allemaal van invloed op Haagse hitte. Met 50.000 nieuwe woningen neemt het gebouwvolume zonder meer toe. Schaduw en sky-view zijn hier direct mee verbonden. De andere aspecten bieden meer sturingsmogelijkheden.

We beschrijven kort zeven acties waarmee we nu kunnen beginnen en die gestaag vruchten afwerpen over de komende decennia.



Op bitumen daken kan de temperatuur oplopen wel 60°C. Die hitte warmt de buitenlucht en gebouwen op. Den Haag kent opvallend veel van zulke daken.

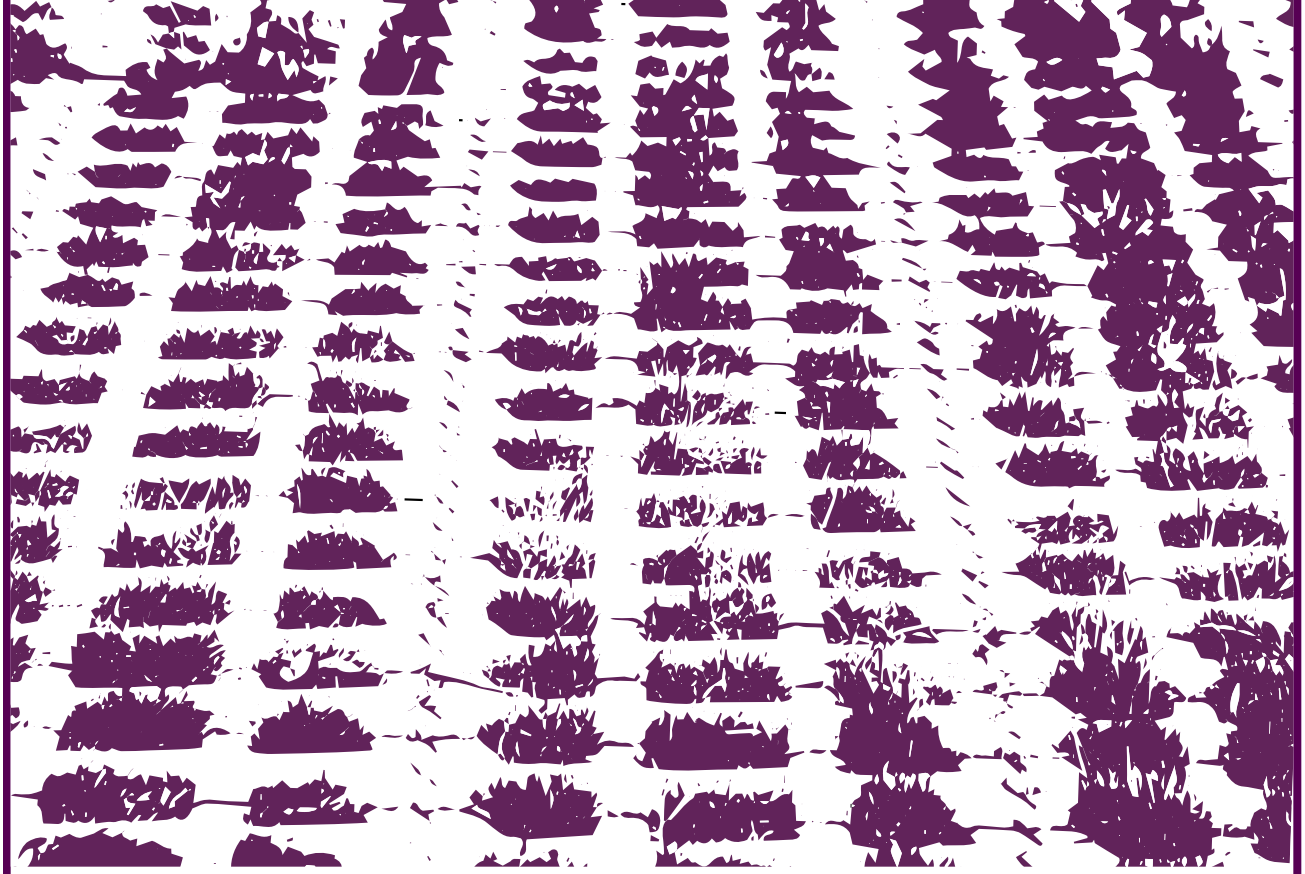
Uitfaseren bitumen daken

Den Haag wordt als geen andere grote stad in Nederland gekenmerkt door platte daken. Een bitumen dak kan met zijn lage albedo tot 60 graden heet worden in de zomer en draagt zo aanzienlijk bij aan het warmte-eiland effect in Den Haag. Een bitumen dak gaat 15 tot 20 jaar mee voordat het vervangen wordt. Tegen 2040 kan de bitumen dakbedekking uitgefaseerd zijn zonder kapitaalvernietiging.

Vervanging van bitumen door een groen dak verbetert de albedo-waarde van het dak. Extensieve groene daken kennen tijdens warm weer weinig evapotranspiratie (QE) omdat de gebruikte sedum plantjes juist dan hun poriën sluiten om te overleven.

Daken kunnen ook goed gekoeld worden door PV-elementen. Deze zetten zonlicht om in elektriciteit in plaats van warmte, een nuttig bijproduct dat gebruikt kan worden de woning te koelen. Er zijn ook hoog reflecterende (hoog-albedo) isolerende klik-elementen verkrijgbaar op de markt. Zulke elementen isoleren ook in de winter en leiden tot kostenbesparingen op de energierekening.

Er zijn dus verschillende mogelijkheden om het bitumen dak te vervangen. Een vergelijkende verkenning van de kosten-effectiviteit is wenselijk.



Bestrating draagt bij aan het warmte-eiland effect. Lichtere kleuren, gras-stenen en minder bestrating zijn opties om dit effect te verminderen.

Terugdringen verharding

Betonsteen en asfalt bedekken grote delen van de bodem in Nederlandse steden. Het oppervlak van de bestrating (mate van verharding) en de materiaalkeuze (albedo) zijn beide van invloed op het warmte-eiland.

Bij de aanleg van wegen, straten, parkeerplaatsen en stoepen moeten we kijken of het met minder af kan, of het poreuzer kan, en of de bestrating meer zonlicht kan weerkaatsen dan voorheen.

Met een vervangingsgraad van circa 2 procent per jaar is de overgang naar minder bestrating, meer poreuze bestrating en bestrating met een hogere albedo waarde een geleidelijk proces dat doorloopt tot 2070.



In de buitenruimte van stadswijken is vaak weinig ruimte aanwezig voor verdere vergroening. In de binnenterreinen is die ruimte er juist wel.

Vergroenen binnenterreinen

Het planten van bomen is een voor de hand liggende maatregel met oog op hitte. Bomen geven schaduw en zorgen voor verkoeling door verdamping (latente warmte). Tijdens onze eerdere onderzoeken naar de warmte-eilanden in Amsterdam en Rotterdam spraken de stedenbouwkundigen hun bezorgdheid uit ten aanzien van mogelijke schade aan kabels, leidingen en riolering door boomwortels in de toch al krappe straten. Voor wie een Nederlandse stad in Google Earth bekijkt, zal opvallen dat de groenpotentie van binnenterreinen in de gesloten bouwblokken veel groter is dan die in de vaak smalle straten.

Den Haag kan een selectie maken van robuuste stadsbomen en deze zelf kweken. Die bomen kunnen vervolgens in doelwijken (Centrum, Laak, Scheveningen) geplant worden. Via sociale media worden burgers opgeroepen om in hun tuinen een boom te adopteren. De inwoner maakt online een keuze voor een boom. Deze wordt gebracht en geplant door de gemeente. Verzorging is vervolgens weer een taak voor de inwoner.

Het streven kan daarbij zijn om evenveel bomen te planten als in het Zuiderpark of het Haagse Bos, zolang de omvang van het totaal tot de verbeelding spreekt en tastbaar is. Bomen hebben 20 tot 30 jaar nodig eer ze volgroeid zijn.



75-plussers wonen vaak in specifieke wijken en buurten. De ruimtelijke inrichting daar kan gericht worden op de behoeftes van deze kwetsbare groep.

Koel houden zorggebouwen

De kwetsbaarste bevolkingsgroepen vinden we nog altijd in een beperkt aantal zorg- en seniorenvoorzieningen. Deze gebouwen zullen net als andere gebouwen op termijn energieneutraal gemaakt worden.

Bij de energierenovatie van ouderenvoorzieningen moet niet alleen ingespeeld worden op het energieverlies in de winter. Ook het voorkomen van oververhitting in de zomer moet aangepakt worden.

Extra beleidsaandacht is tevens op zijn plaats voor de directe omgeving van de zorginstelling: meer plekken met schaduw, meer verkoelende elementen in de buitenruimte kunnen helpen om het hitte-eiland effect voor deze kwetsbare groep te beperken.



Mensen blijven het grootste deel van de dag in gebouwen. Slimme thermostaten maken het mogelijk om de temperatuur daar te monitoren op grote schaal.

Monitoren oververhitting woningen

De buitentemperatuur is van invloed op de binnentemperatuur van woningen. Maar die binnentemperatuur is ook afhankelijk van directe zoninval en van de manier waarop inwoners met de woning omgaan.

Slimme thermostaten meten het hele jaar rond de kamertemperatuur in huizen. Het is mogelijk om (na instemming) die temperaturen op grote schaal te monitoren. Hulpverlening- of gezondheidsorganisaties kunnen zich dan gericht bezig houden met woningen van kwetsbare inwoners waar de temperatuur te hoog oploopt: dat wil zegen tot boven de 26 graden Celsius.

Het schermpje van de thermostaat kan aanbevelingen doen hoe dan te handelen. Bijvoorbeeld: De buitentemperatuur is nu lager dan de kamertemperatuur. Open ramen en deuren om uw woning af te laten koelen.



In de jaren ‘60 is een bufferzone ingesteld om de regio’s Den Haag en Rotterdam van elkaar te scheiden. Die buffer scheidt nog altijd de warmte-eilanden daar.

Behouden van bufferzones

Den Haag wordt nog altijd omgeven door een gordel met een relatief lage oppervlaktetemperatuur. Het oorspronkelijke buffergebied dat de Haagse regio van de Rotterdamse regio moest scheiden, het Midden-Delfland, draagt daaraan bij. De glastuinbouwgebieden doen dat opvallend genoeg ook.

De warmte-eilanden van Den Haag en Delft zijn al één geworden. De stad Den Haag moet voorkomen dat de warmte-eilanden van Den Haag en Rotterdam ook versmelten tot één groot hitte-eiland. Een verdere verstedelijking van de regionale groengebieden én de glastuinbouwgebieden kan vermeden worden door te verdichten binnen de contour van bestaand stedelijk gebied.

De eerder genoemde maatregelen (bijvoorbeeld het uitfaseren van bitumendaken, vergroenen van binnenterreinen) kan het effect van die verdichting compenseren.



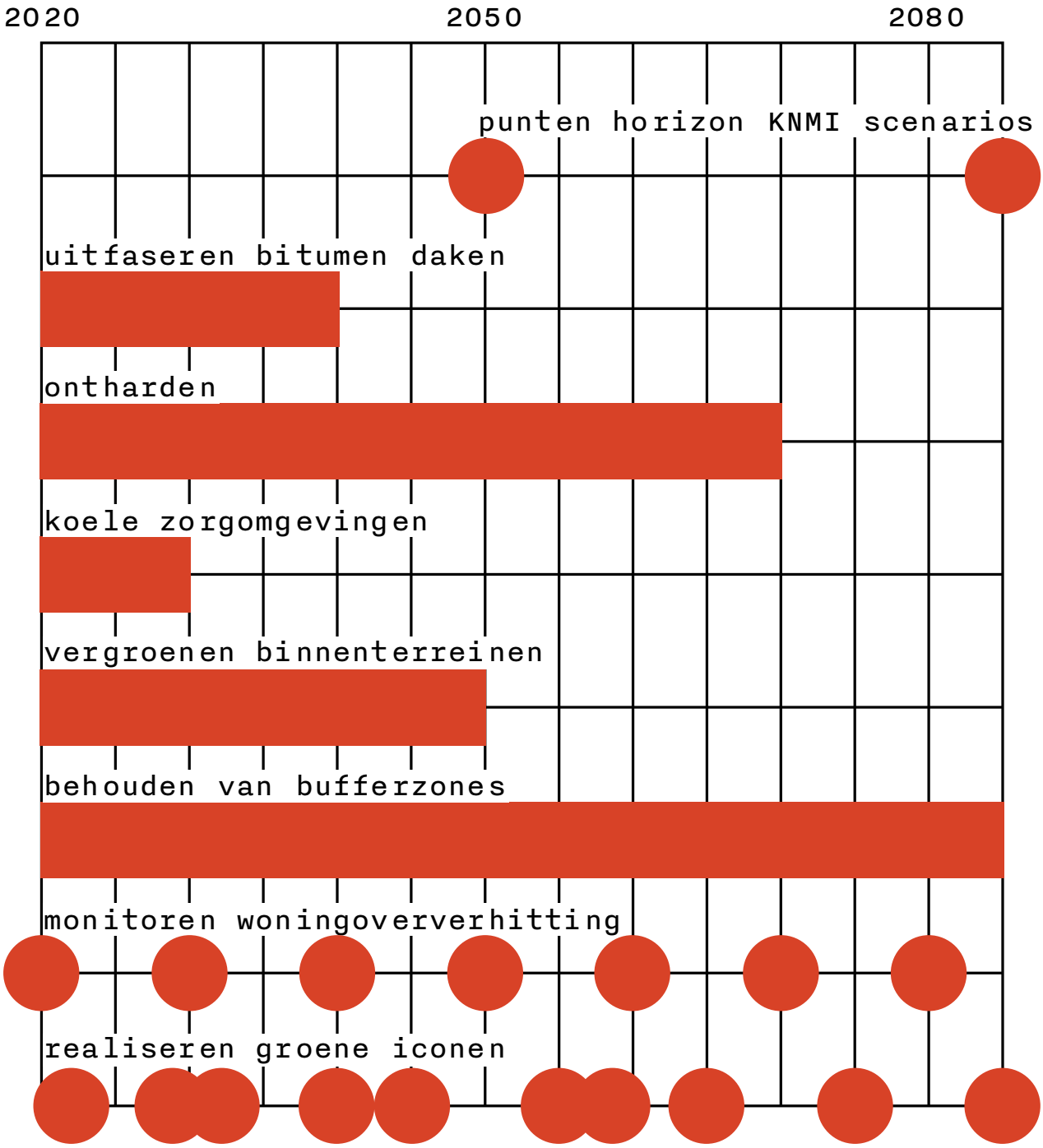
Op bitumen daken kan de temperatuur oplopen wel 60°C. Die hitte warmt de buitenlucht en gebouwen op. Grote delen van Den Haag zijn vol met zulke daken.

Realiseren van groene iconen

In een klein gebied van stadsdeel Centrum is de mate van verharding en het gebouwvolume fors hoger dan in de rest van de stad: de omgeving van station Den Haag Centraal. Dit gebied leent zich voor een bijzondere aanpak.

Onlangs is in opdracht van het Rijksvastgoedbedrijf een studie verricht naar de rol die gebouwen van de Rijksoverheid kunnen spelen in een duurzame groenblauwe visie op de stad. De door Felixx ontwikkelde aanpak stelt voor om groene iconen te maken die het aspect klimaatadaptatie zichtbaar en tastbaar maken.

De benadering past goed in een specifiek gebied van beperkte omvang met een grote maatschappelijke, economische, culturele en politieke betekenis.



Afzetten van de Haagse Hitte acties tegen de tijdshorizon van het KNMI.

Tijdlijn Haagse Hitte acties

De toekomstscenario's van het KNMI zetten punten op de horizon voor 2050 en 2085. De voorgestelde acties in dit rapport zijn uitgezet tegen deze horizon en strekken zich uit over decennia. Een beleid van lange adem is noodzakelijk..

Bronnen

Bij het Haagse Hitte-onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de onderstaande literatuur, websites en data-bronnen.

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

Chapman, L., Bell, C., & Bell, S. (2017). Can the crowdsourcing data paradigm take atmospheric science to a new level? A case study of the urban heat island of London quantified using Netatmo weather stations. International Journal of Climatology, 37(9), 3597-3605.

Daniele, V. (2010). Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS. Paper presented at the 46th ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenya. Retrieved from 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 5th International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland, September 2003. Retreived from 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

Harman, I. N. (2003). The energy balance of urban areas. (Doctoral dissertation, The University of Reading, Reading, United Kingdom). Retreived from http://www.met.rdg.ac.uk/phdtheses/The%20energy%20balance%20of%20urban%20areas.pdf

Van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2015). Amsterwarm: mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. Building Services Engineering Research and Technology, 36(1), 67-88.

Van der Hoeven, F. D., & Wandl, A. (2015). Hotterdam: How space is making Rotterdam warmer, how this affects the health of its inhabitants, and what can be done about it. Delft, Nederland: TU Delft.

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). Retreived from 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

TNO. (2012). De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden (TNO-060-UT-2012-01117). Utrecht, Netherlands: Klok, E. J., Schaminée, S., Duyzer, J., & Steeneveld, G. J.

Yale Center for Earth Observation. (2010). Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature. Retreived from 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.climateresearchnetherlands.nl/climateproofcities
http://www.cbs.nl
http://www.climatescenarios.nl
http://www.knmi.nl/klimatologie/

Databronnen

GIS data met betrekking tot ruimtegebruik zijn verkregen van de gemeente Den Haag, waaronder gegevens die afgeleid zijn van de TOP 10 Den Haag 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/



Haagse Hitte

Het doel van het Haagse Hitte-project is het beter begrijpen van stedelijke warmte in Den Haag om vandaaruit een verband te leggen met de kenmerken van de fysieke ruimte van de stad en de gezondheid van de Haagse bevolking, met als resultaat aanbevelingen voor acties. Die inzichten moeten de stad Den Haag en haar inwoners bewuster én weerbaarder maken ten aanzien van het Haagse warmte-eiland effect, hier ook wel Haagse hitte genoemd.