



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Woningbouw en hittestress in een veranderend klimaat : testbed Den Haag

S. Koopmans, R.J. Ronda, G.J. Steeneveld

KNMI Intern Rapport IR-2018-03

Titel: Woningbouw en hittestress in een veranderend klimaat.
Ondertitel: testbed Den Haag

Opdrachtgever:

DGRW (IenW)

Belangrijke andere stakeholders:

Provincie Zuid-Holland, gemeente Den Haag, gemeente Eindhoven en PBL

Uitvoerders:

KNMI en Wageningen Universiteit, Meteorology and Air Quality Section

Auteurs: S. Koopmans, R.J. Ronda, G.J. Steeneveld

Versie:

Final, 1 februari 2018



Voorwoord

Een onderzoek naar bouwen in een stedelijke omgeving. Een actueel onderwerp. En nog wel een big data-onderzoek. In dit onderzoek, dat op mijn verzoek is gestart, heb ik binnen het Ministerie aan de onderzoekers meegegeven dat we gewoon moeten beginnen. Je kunt lang en breed over big data praten. Gewoon doen is mij betreft het motto. Het start met een beleidsvraag, een maatschappelijk probleem. En dat zijn er in deze context nogal wat. Effecten van klimaatverandering, een ambitie om 1 miljoen woningen te bouwen en daarbij burgers verantwoord en plezierig kunnen laten wonen. Het uitgevoerde big data-onderzoek is gestart om ervaring op te doen met deze vorm van beleidsvoorbereiding. Door een big data aanpak sta je open voor nieuwe bronnen van informatie en data. De overheid is goed in het berekenen van effecten met allerlei modellen. Dit onderzoek heeft het voordeel dat er met feitelijke metingen is gewerkt. Meten is weten. En metingen geven wellicht een beter draagvlak bij partijen als het op uitvoering aankomt. Het onderzoek heeft mooie nieuwe inzichten opgeleverd. Maar het geeft ook weer veel nieuwe vragen. Verder is het nog een uitdaging om deze manier van werken ook binnen het reguliere werk op te pakken. Langs deze weg mijn dank aan de onderzoekers en betrokkenen van het KNMI, Universiteit Wageningen PBL, Provincie Zuid-Holland en gemeente Den Haag.

Drs. D.J. Tijn
Directeur Ruimtelijke Ordening
Ministerie van Binnenlandse Zaken

1. Aanleiding:

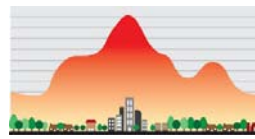
Aanleiding voor deze studie is de beleidsopgave van Nederland om tot 2040 nog één miljoen additionele woningen te bouwen (EIB, 2015), waarvan naar verwachting een groot deel zal worden toegevoegd aan de huidige woningvoorraad van de grootste steden in Nederland. De reden hiervoor is dat er ook in Nederland een trek naar de stad gaande (CBS, 2016) is, waarbij naar verwachting de bevolking in de grootste Nederlandse gemeenten sterk toeneemt, terwijl de bevolking in kleine, perifeer gelegen gemeenten juist krimpt.

Deze beleidsopgave betekent dat de druk op de bebouwde omgeving steeds meer zal toenemen en heeft onder meer tot gevolg dat steeds meer mensen zullen worden blootgesteld aan het specifieke lokale klimaat in de stad (zie box 1), een uitdaging die steeds urgenter wordt als door een veranderend klimaat de temperatuur in zowel het rurale gebied als in de stad verder toeneemt.

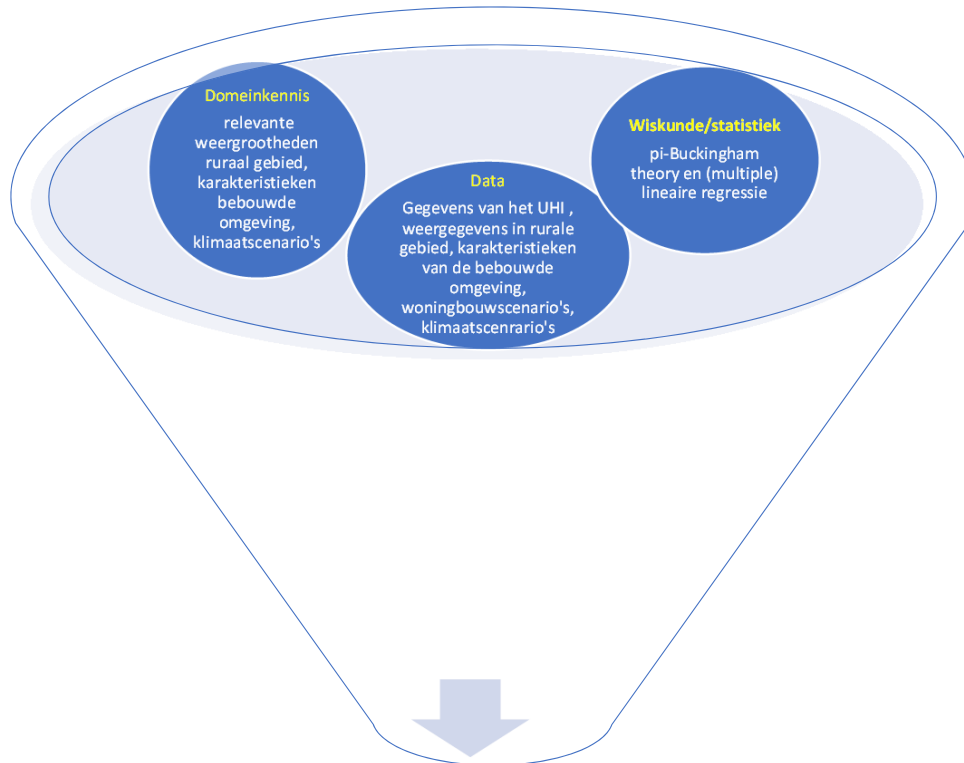
Adaptatie aan die veranderende omstandigheden is dus een belangrijk vraagstuk. Naar aanleiding dit vraagstuk heeft de directie Ruimtelijke Ordening van het Directoraat Generaal Ruimte en Water (DGRW) van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (minlenW) aan het KNMI en de Wageningen Universiteit gevraagd om een onderzoek uit te voeren naar welke gevolgen de beleidsopgave van de bouw van additionele woningen heeft op de hitte in de bebouwde omgeving. De onderliggende onderzoeksvraag van deze studie is wat een uitbreiding van het woningbestand betekent voor de toekomstige hittestress in de stad en welke maatregelen kunnen worden genomen om de negatieve temperatureffecten te minimaliseren. Uitkomst van het onderzoek kan zo door beleidsmakers, ruimtelijke planners en (politieke) beslissers worden gebruikt in de overweging op welke manier de woningbouwopgave wordt gerealiseerd. Tevens wordt het effect van klimaatsverandering op stedelijke hitte gekwantificeerd.

Deze studie bouwt voort om een eerdere studie, waarin het KNMI in samenwerking met het PBL een Big Data analyse heeft uitgevoerd voor DGRW, waarin een link gelegd tussen (extreme) hitte en sterfte. In de huidige studie is gebruik gemaakt van een data-science aanpak, waarbij relevante waarnemingen over hoogte en dichtheid van de bebouwing de fractie groen, het temperatuurverloop over de dag, het aantal tropische nachten, en de KNMI'14 klimaatscenario's aan elkaar zijn gekoppeld (zie Figuur 1). Waar mogelijk is gebruik gemaakt van domeinkennis met betrekking tot de fysische eigenschappen van het systeem.

Box 1: Urban heat island (UHI)



De mechanismes van het specifieke lokale klimaat in stedelijke gebieden is het zogenaamde stedelijk hitte-eilandeffect, in het Engels urban heat island (UHI) effect. Dit effect zorgt ervoor dat in de zomer stedelijke gebieden met name in de late avond en 's nachts tot ca. 7 °C warmer kunnen zijn dan hun omgeving (Steenefeld et al. 2011, Theeuwes et al. 2017). Als gevolg hiervan ervaren stadsbewoners meer hittestress, zijn ze meer kwetsbaar voor hitte-gerelateerde gezondheidseffecten, en andere nadelige gevolgen van hitte-stress zoals een verminderde luchtkwaliteit en een verminderde arbeidsproductiviteit. (NAS, 2016).



Temperatuur in de stad nu en in de toekomst

Figuur 1: Data-science aanpak om het klimaat van de stad te relateren aan de relevante weergrootheden in het omliggende platteland en de karakteristieken van de bebouwde omgeving.

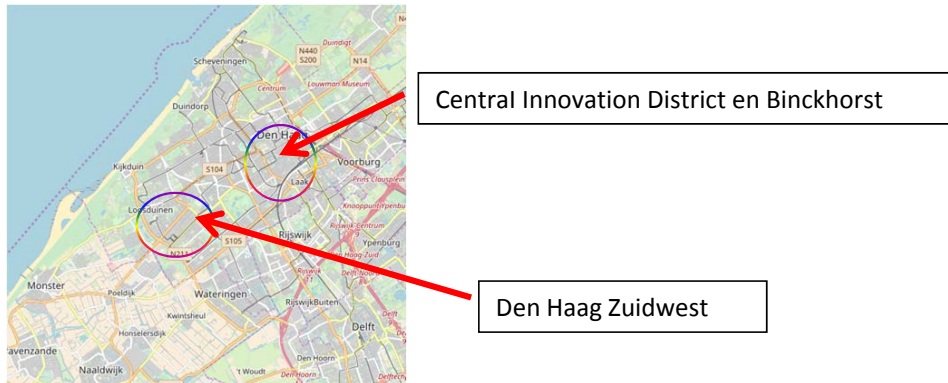
2. Aanpak:

Woningbouwscenario's voor Den Haag als testbed

Het onderzoek beoogt om inzichtelijk te maken wat het effect is van de bouw van additionele woningen op de hitte in de stad en welke maatregelen kunnen worden genomen om het effect van het bouwen van extra woningen op de hitte in de stad te minimaliseren. In samenspraak met de opdrachtgever is besloten om ons in eerste instantie te richten op de woningbouwopgave in de gemeente Den Haag. De gemeente De Haag heeft een forse woningbouwopgave van ongeveer 50.000 extra woningen tot 2040 (Agenda ruimte voor de stad, 2016).

Verkenningen met betrekking tot de realisatie van deze woningen zijn momenteel volop in ontwikkeling, maar duidelijk is dat een groot deel van de groei van het aantal zal worden bereikt door transformatie van het huidige stedelijke gebied en de slimme inbreiding bij een aantal bestaande stedelijke uitleglocaties. Belangrijke locaties waar onder meer woningbouw zal worden gerealiseerd betreffen gebieden in Den Haag Zuidwest en gebieden die liggen in het Central Innovation District (CID) en Binckhorst (zie Figuur 2)

De gebieden in het Den Haag Zuidwest district betreffen gebieden binnen Den Haag die momenteel al voor een groot deel een woonfunctie hebben. De woningbouwopgave betekent voor deze gebieden dus vooral een slimme toevoeging van nieuwe woningen zoals de transformatie en renovatie van bestaande woningen gekoppeld met de inpassing van de extra woningen binnen de huidige planologische structuur van de gebieden en hun directe omgeving. De onderzochte gebieden in het CID en Binckhorst bestaan uit gebieden waar zich momenteel relatief weinig woningen bevinden, en hier betekent dat een deel van de woningen zal worden gerealiseerd door herbestemming en transformatie van de bestaande bebouwing met voornamelijk een utiliteitsbestemming en hoogstedelijke nieuwbouw.



Figuur 2: kaart van Den Haag met daarin aangegeven de globale locatie van de twee gebieden waarvoor in deze studie het effect van de inrichting van de bebouwde op het klimaat in de stad inzichtelijk is gemaakt.



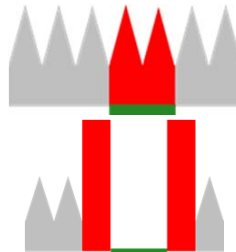
Figuur 3: Theoretische bouwopgave voor een aantal gebieden in Den Haag Zuidwest. De door dit onderzoek gehanteerde bouwopgave staat vermeld tussen haakjes in de blauwe gebieden. Het getal erboven indiceert het aantal woningen voor de bouwopgave. De roze gebieden zijn gebieden die volgens één van de gehanteerde woningbouwscenario's zou kunnen worden bebouwd. De vermelde 2.100 woningen is de optelsom van de gehanteerde bouwopgaves van de blauwe gebieden.

De gebieden in Den Haag Zuidwest bestaan uit een aantal woonwijken die volgens het woningbouwopgave zoals die in deze studie wordt gehanteerd, wordt uitgebreid met in totaal 2.100 woningen (zie Figuur 3). Relevante woningbouwscenario's, die voor de gebieden van Den Haag Zuidwest zijn onderzocht, betreffen:

1. realisatie van de extra woningen door de groene stroken rondom de wijk vol te bouwen met laag- en middenhoogbouw.



2. realisatie van extra woningbouwopgave door de bestaande groene gebieden binnen de wijk vol te bouwen met laag- en middenhoogbouw.



3. realisatie van de extra woningen extra hoogbouw waarbij de bestaande groene gebieden worden behouden.

In de gebieden die liggen in het CID en Binckhorst worden in het door ons gehanteerde scenario 18.150 extra woningen gerealiseerd, die in dit gebied grotendeels zullen worden gerealiseerd door de omvorming van gebieden met een utiliteitsbestemming tot een gebieden met een woonfunctie (zie Figuur 4). Relevante woningbouwscenario's om de woningbouwopgave in dit gebied te realiseren zijn:

1. realisatie van de extra woningen in de verschillende wijken van het CID en Binckhorst waarbij de groene gebieden zoveel mogelijk worden behouden.



2. realisatie van de extra woningen waarbij de fractie groene ten opzichte van de huidige situatie wordt vergroot. Dit wordt gecompenseerd door extra hoogbouw.



Figuur 4: Theoretische bouwopgave voor de onderzochte gebieden in het Central Innovation District (CID) en Binckhorst. De bouwopgave staat vermeld tussen haakjes in de blauwe gebieden. Het getal erboven indiceert het aantal woningen voor de bouwopgave.

Benadrukt moet worden dat voor beide wijken nog

Box 2: Sky view factor



Photo: Bert Heusinkveld

De Sky View Factor (SVF) is de fractie van de hemelgewelf dat vanaf een bepaalde locatie te zien is. In het open veld zie je het volledige hemelgewelf en heeft de SVF een waarde van 1, terwijl de SVF in een afgesloten ruimte een waarden 0 heeft. Bovenstaande fisheye foto van een typische straat illustreert de SVF. Afhankelijk van het type bebouwing kan de warmtestraling 's nachts meer of minder goed weg. Groen in de straat heeft overdag door schaduwwerking een koelend effect.

niet overal gedetailleerde plannen op kavelniveau zijn. Beide casussen zijn primair bedoeld om in het kader van een onderzoekexercitie een beeld te geven van de manier waarop ruimtelijke planvorming de hittestress kan verminderen. Voor beide gebieden is de integrale planvorming volop in voorbereiding en zijn ook al plannen in aanbouw.

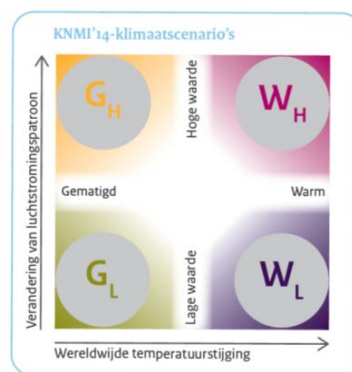
Bepalen van hittestress in huidig klimaat

Het effect van de bebouwde omgeving op de lokale temperatuur wordt bepaald door een aantal factoren. In de eerste plaats de weersomstandigheden in de stad zelf. Zo is het UHI doorgaans hoger als de inkomende zonnestraling groter is, de windsnelheid laag is en het verschil tussen de maximumtemperatuur en de minimumtemperatuur groot. Daarnaast wordt het UHI bepaald door de morfologische karakteristieken van de bebouwde omgeving, waarbij met name de sky view factor (SVF) (zie box 2) en fractie groen in een bepaald gebied van belang zijn.

Om het nachtmaximum van het UHI te bepalen voor Den Haag voor het huidige klimaat is in deze studie gebruik gemaakt van de relatie die door Theeuwes et al. (2017) is gelegd tussen het nachtmaximum van de UHI en de relevante lokale weercondities en morfologische karakteristieken van de bebouwde omgeving. Om de relevante weercondities te bepalen is daarbij gebruik gemaakt van de uurlijkse waarnemingen die voor de periode 2001-2016 zijn gedaan op het KNMI weerstation Rotterdam. Voor zowel de SVF als de fractie groen in het bebouwde gebied zijn voor Nederland inmiddels gedetailleerde kaarten beschikbaar. Deze kaarten hebben typisch een horizontale resolutie die varieert van 5 m tot 25 m en zijn voor dit onderzoek geaggregeerd naar blokken van 100 m x 100 m.

Het UHI is een relatieve maat die aangeeft hoeveel de bebouwde omgeving warmer is dan het omliggende platteland. Om een link te leggen naar de impact van hitte in de stad op de gezondheid, de arbeidsproductiviteit en het comfort dat mensen ervaren, is naast het UHI ook gekeken naar een absolute maat voor de hitte in de stad, namelijk het aantal tropische nachten in de bebouwde omgeving. Een tropische nacht is daarbij gedefinieerd als een nacht waarop de minimumtemperatuur niet lager wordt dan 20 °C. Om dagelijks de minimumtemperatuur voor de periode 2001-2016 in de stad door bij de minimumtemperatuur in het rurale gebied de bijdrage UHI op te tellen, waarbij er voor de

Box 3: KNMI'14 scenario's



De KNMI'14 scenario's vertalen de resultaten in het IPCC 2013-rapport naar Nederland. De KNMI'14 scenario's omvatten 4 scenario's voor de ontwikkeling van het klimaat in Nederland tot 2100. Het onderscheid tussen de G-scenario's en W-scenario's wordt gevormd door de verwachte wereldwijde temperatuurstijging als gevolg van verschillende scenario's voor de emissie van broeikasgassen (G: emissiereductie, W: 'business as usual'). Het onderscheid tussen de L en de H-scenario's wordt gevormd door verschillende in de luchtstromingspatronen (L: weinig verandering van luchtstromingspatroon, H: grote verandering luchtstromingspatroon). De H-scenario's hebben hogedrukgebieden een grotere invloed op het weer en komt de wind vaker uit het oosten en is er een toename in zonnestraling (KNMI, 2015). Dit weertype is ook bevorderlijk voor het optreden van warmte-eilanden.

bijdrage UHI rekening mee is gehouden dat het UHI een dagelijkse gang heeft en de UHI op het tijdstip dat minimumtemperatuur wordt bereikt doorgaans kleiner is dan het maximale UHI dat in een nacht wordt bereikt (zie Oke (1982))

Bepalen van hittestress in klimaat in zichtjaar 2050

Om het effect van de bebouwde omgeving op de hitte in de stad in een veranderend klimaat vast te stellen, hebben is gebruik gemaakt van de methodiek van Molenaar et al. (2016). Deze methodiek voorziet in de transformatie van de uurlijkse waarden van de weervariabelen op KNMI meetstations naar het klimaat zoals die zich ontwikkelt volgens de KNMI'14 klimaatscenario's (KNMI, 2016), zie box 3.

Om ook te kunnen bepalen hoe het nachtmaximum van de UHI verandert in een veranderend klimaat hebben we voor deze studie de methodiek van Molenaar et al. (2016) uitgebreid met een transformatie van het verschil tussen de maximum-en de minimumtemperatuur. Ook voor de inkomende zonnestraling hebben we een transformatie uitgevoerd met de methode beschreven door Bakker and Bessembinder (2012). Alle berekeningen zijn uitgevoerd voor het zichtjaar 2050.

Bepalen van hittestress volgens de woningbouwscenario's

Met behulp van de geaggregeerde kaarten van SVF en de fractie groen kan voor de huidige stand van zaken met betrekking tot woningbouw in Den Haag Zuidwest en de gebieden in het CID en Binckhorst het effect van de bebouwde omgeving op het lokale klimaat inzichtelijk worden gemaakt. Dit is gedaan voor zowel het huidige klimaat als voor het klimaat zoals dat zich ontwikkelt volgens de KNMI'14 scenario's.

Om aan de bouwopgave te kunnen voldoen zal in de woningbouwscenario's of groen moeten worden bebouwd (woningbouwscenario 1 en 2), of meer hoogbouw worden gerealiseerd (woningbouwscenario 3). Voor woningbouwscenario 2 betekent dit dat voor de fractie groen in de relevante gebieden een kleinere waarde wordt genomen, terwijl de waarde van de SVF in de groene gebieden die worden bebouwd zo is gekozen dat deze niet te veel afwijkt van de SVF in de al bestaande bebouwde gebieden. Voor woningbouwscenario 3 is de SVF in het bestaande gebied op een zodanig manier verlaagd zodat deze past bij de extra woningen die binnen de bestaande bebouwde gebieden worden gerealiseerd.

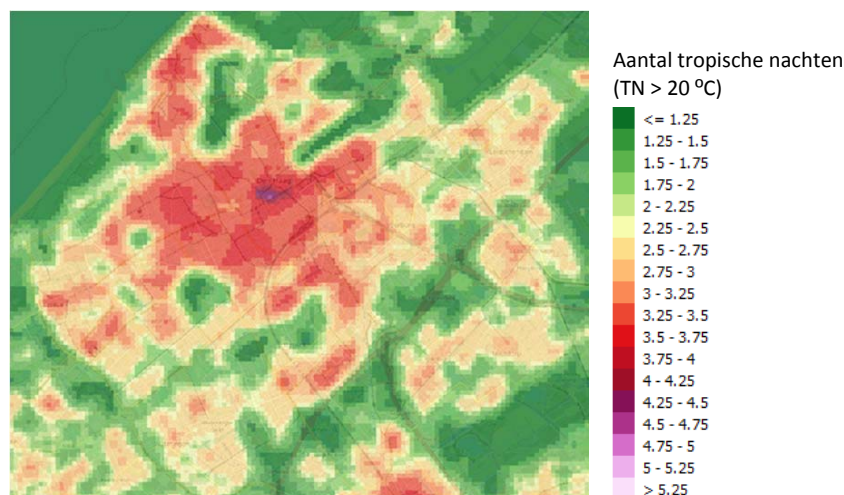
Om het effect van woningbouwscenario 1 op de hittestress in de gebieden in het CID en Binckhorst inzichtelijk te maken, is de fractie groen in de verschillende gebieden zodanig gekozen dat deze zoveel mogelijk gelijk blijft ten opzichte van de huidige situatie ter plaatse. Voor het effect van woningbouwscenario 2 voor de hittestress in het CID en Binckhorst, is de groenfractie in de gebieden vergroot, en is analoog aan woningbouwscenario 3 voor de gebieden in Den Haag Zuidwest, de SVF in de verschillende gebieden zodanig aangepast is aangepast dat deze aansluit bij de (extra) woningen die in deze gebieden zullen worden gerealiseerd.

3. Resultaten

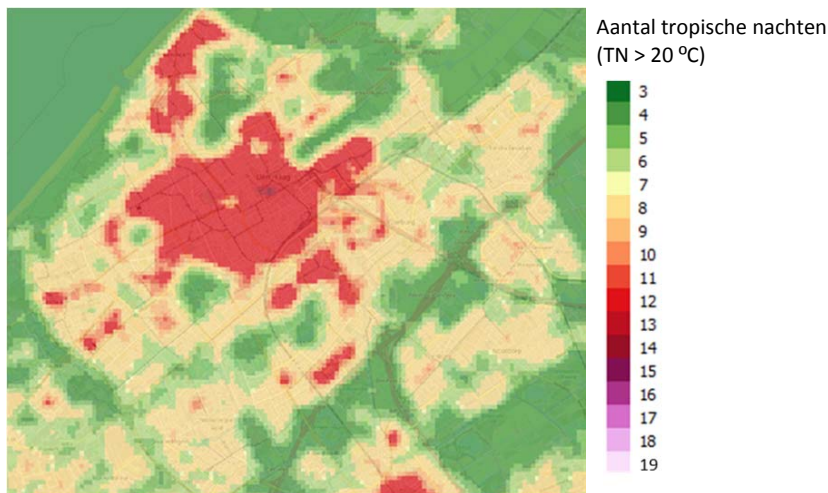
Hittestress van Den Haag voor huidig klimaat en in klimaat van zichtjaar 2050

Voordat er gekeken wordt naar de verschillende woningbouwscenario's is het belangrijk de huidige hittestress in kaart te brengen voor de verschillende wijken in Den Haag. In het huidige klimaat komt in een gemiddeld zomerjaar een tropische nacht nog niet zo vaak voor. In de rurale gebieden rondom Den Haag komt een tropische nacht gemiddeld 1,2 keer per jaar voor (zie Figuur 5). Dit is gebaseerd op de weermetingen van KNMI station Rotterdam gelegen bij Rotterdam / The Hague Airport. In de bebouwde omgeving is de frequentie van tropische nachten 2 x zo groot als in het buitengebied. Afgezien van de stadsranden en de nabijheid van grote parken zoals het Zuiderpark, ervaren Den Haag en Scheveningen gemiddeld meer dan 3 tropische nachten per jaar. Het grootste aantal nachten zijn voorbehouden aan het centrum van Den Haag (tot 4,5 tropische nachten per jaar). Ook het aangrenzende Central Innovation District en wijken als Schilderswijk, Zeeheldenbuurt, Valkenboskwartier kunnen een relatief hoog aantal tropische nachten verwachten (3,5 - 4 nachten). Deze wijken worden gekenmerkt door vrij weinig groen (10-20%) en vrij nauwe straten (relatief hoge SVF).

Een gemiddelde zomer is in het huidige klimaat voor Nederland en vooral Den Haag natuurlijk gematigd, door de nabijheid van de zee en de overwegende wind over zee. Interessant is om te kijken naar een extreem warme zomer. De zomer van 2003 en 2006 waren duidelijk het warmst in de beschouwde periode van 2001-2016. Heel extreem is de zomer van 2006 als geheel niet, maar wel waren er twee hittegolven, waarvan er één maar liefst 16 dagen duurde. Al in 2006 werd gesteld dat qua gemiddelde temperatuur zo'n zomer eens in de 8 jaar kan voorkomen (KNMI, 2006). De zomer van 2006 laat 3-4 keer zoveel tropische nachten zien als een gemiddelde zomer met een maximum aantal van 14 nachten in het centrum (zie Figuur 6).



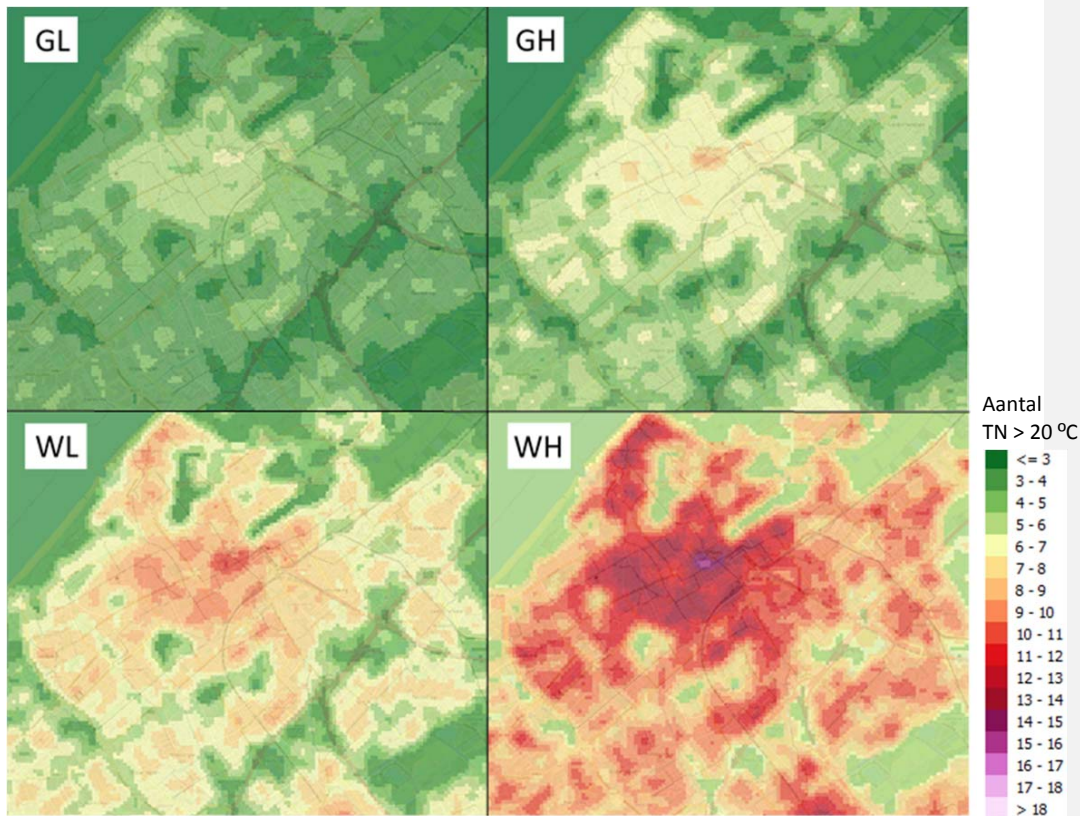
Figuur 5: Kaart van gemiddeld aantal tropische nachten per jaar voor het huidige klimaat voor de regio Den Haag. TN is de verkorte notatie van minimumtemperatuur.



Figuur 6: Kaart van gemiddeld aantal tropische nachten in 2006 voor de regio Den Haag. 2006 kende een warme zomer.

Voor het klimaat voor het zichtjaar 2050 zijn ook het aantal tropische nachten doorgerekend. Er zit veel spreiding in het aantal berekende tropische nachten tussen de verschillende klimaatscenario's. Voor de locatie met de meest frequente tropische nachten neemt dit aantal toe van 4,5 per jaar in het huidige klimaat tot 6,5 – 15,7 voor het zichtjaar 2050 (zie Figuur 7). Het aantal nachten is substantieel hoger voor de warme scenario's in vergelijking met de gematigde scenario's, maar ook voor de scenario's met verandering van luchtstromingspatroon (H-scenario's). Het verschil in het absolute aantal tropische nachten tussen stad en het platteland wordt groter naarmate het scenario warmer wordt. De belangrijkste reden hiervoor ligt in de frequentie van opgetreden nachtminima. Nachten in het huidige klimaat tussen de 17 °C en 18 °C die in een toekomstig scenario boven de 20 °C zullen worden komen substantieel vaker voor dan nachten tussen de 20 °C en 21 °C.

In het WH-scenario worden voor het platteland jaarlijks 6 tropische nachten verwacht en tot 16 tropische nachten voor het centrum. Voor de stad betekent dit scenario dat er 3 tot 4 keer meer tropische nachten zijn in 2050 vergeleken met het huidige klimaat (2002-2016). In de appendix zijn de klimaatscenario's doorgerekend specifiek voor 2006. Een warme zomer als 2006 leidt tot 15 tropische nachten op het platteland tot maar liefst 32 in het centrum voor het WH-scenario welke het warmste klimaatscenario is (zie Figuur 13 in de appendix).



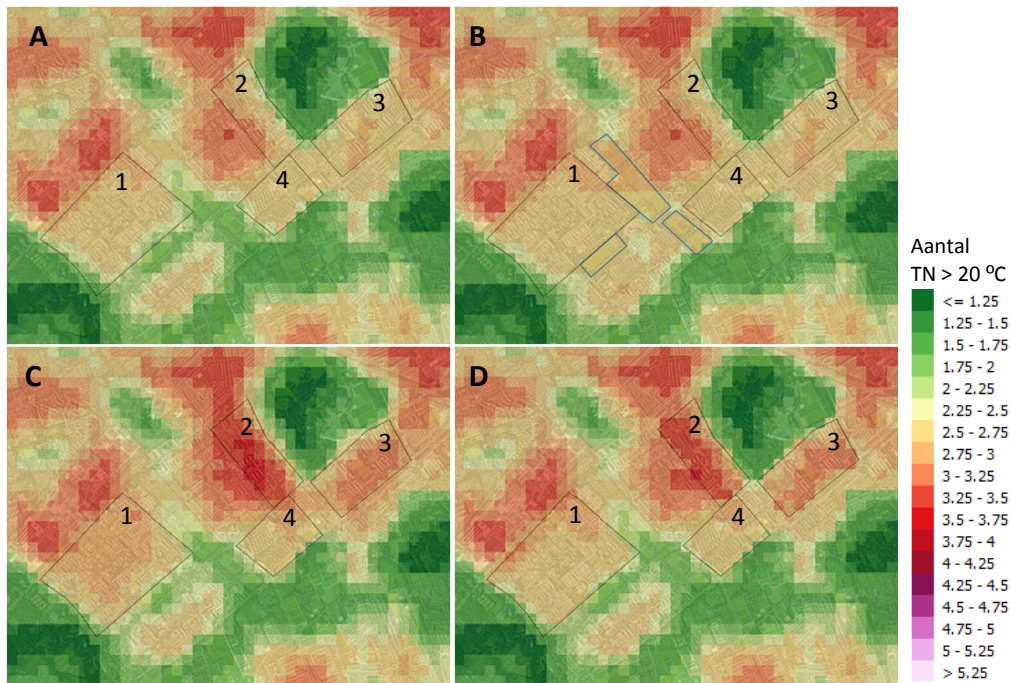
Figuur 7: Hittekaarten voor de vier klimaatscenario's van het KNMI. Gemiddeld aantal tropische nachten per jaar voor het zichtjaar 2050.

Woningbouwscenario's voor Den Haag Zuidwest

Voor delen van Den Haag Zuidwest zijn drie woningbouwscenario's uitgewerkt (zie aanpak). Figuur 8B toont dat bij het bebouwen van groen buiten de wijk de hittestress (gemeten in aantal tropische nachten per jaar) het meest wordt verdeeld over de hele omgeving. In de andere woningbouwscenario's (C en D) wordt de hittestress geconcentreerd in de vier aangegeven deelgebieden. Voor deze scenario's geldt dat het maximum aantal tropische nachten ontstaat in deelgebied 2 doordat hier de grootste bouwopgave in deze onderzoeksexercitie ligt (zie Figuur 3). In het huidige klimaat is dat gemiddeld 3.5 tropische nachten per jaar (Figuur 8C,D) en in het WH-scenario in 2050 is dat gemiddeld 13 tropische nachten per jaar (Figuur 9C,D) voor de warmste plekken in deelgebied 2. De andere klimaatscenario's laten in het 2^e deelgebied 5.5 (GL-scenario) tot 9.5 tropische nachten (WL-scenario) zien (Figuur 15C,D en Figuur 17C,D in de appendix).

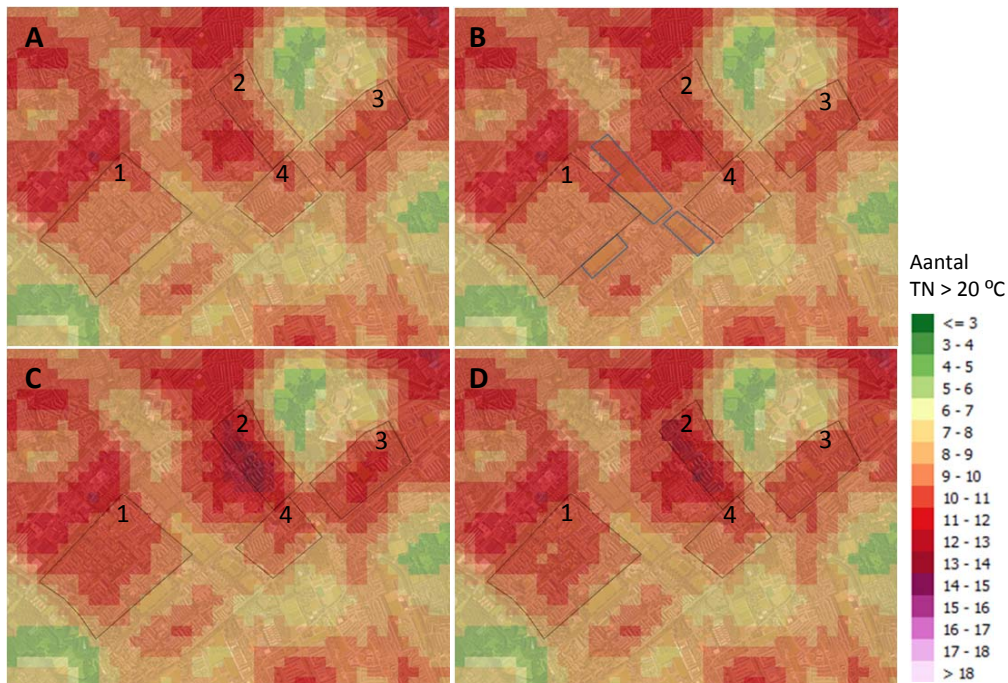
Toch zijn er wel verschillen tussen woningbouwscenario's C en D. Behoud van groen met extra hoogbouw (woningbouwscenario D) leidt tot een kleinere toename in het aantal tropische nachten dan groen binnen de wijk bebouwen (woningbouwscenario C) gemiddeld over de hele wijk. Het verschil in hitte is nog beter waar te nemen in Figuur 10 waar het

verschil met de huidige woningbouw vergeleken wordt voor het 95^e percentiel¹ van de maximale UHI-dagen. Er kan worden gesteld dat het realiseren van meer hoogbouw een beter woningbouwscenario is dan het bebouwen van groen binnen de wijk vanuit het hittestress-perspectief voor deze wijk met bijbehorende bouwopgave.

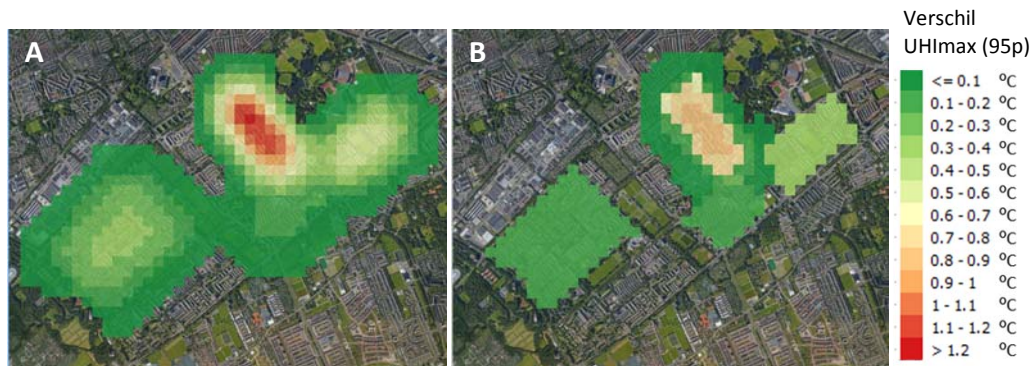


Figuur 8: Aantal tropische nachten per jaar in huidige klimaat voor Den Haag Zuidwest voor: A) huidige woningbouw, B) scenario met groen buiten de wijk bebouwen, C) scenario met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen met extra hoogbouw.

¹ Het 95e percentiel betekent hier de waarde voor de UHI behorende bij de 5 % van de dagen waarbij het maximale dagelijkse UHI het grootst is.



Figuur 9: Aantal tropische nachten per jaar voor het WH-scenario in zichtjaar 2050 voor Den Haag Zuidwest voor: A) huidige woningbouw, B) scenario met groen buiten de wijk bebouwen, C) scenario met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen binnen de wijk met extra hoogbouw.

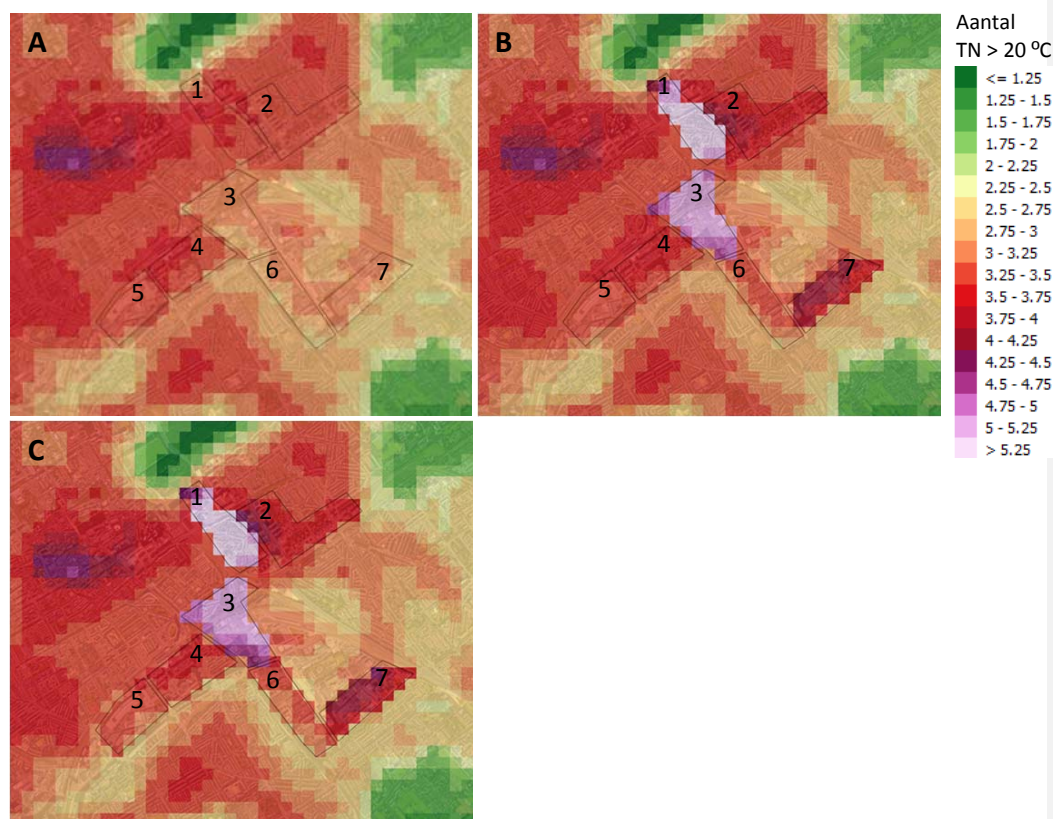


Figuur 10: Verschil tussen A) groen binnen de wijk bebouwen en B) scenario met behoud van groen met extra hoogbouw met de huidige situatie voor het 95^e percentiel van de maximale dagelijkse UHI.

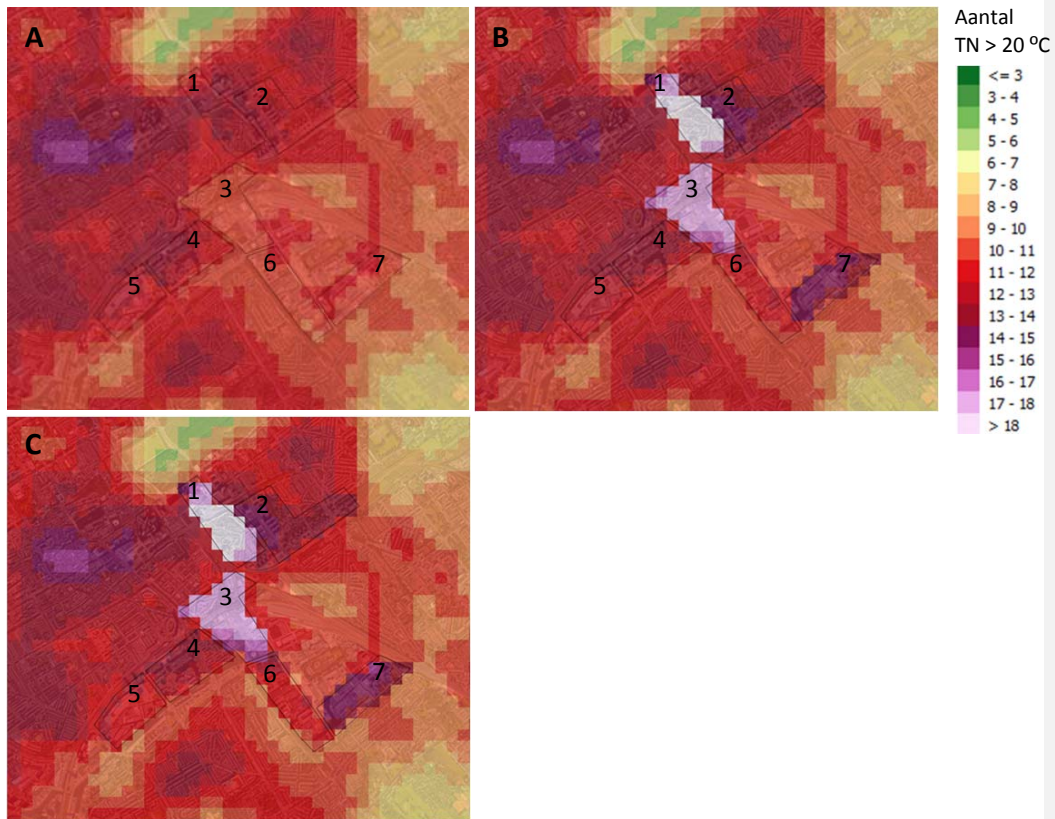
Woningbouwscenario's voor Central Innovation District (CID) en Binckhorst

Voor de casus van het CID en Binckhorst wordt er een groot aantal woningen ingepland, met name rond Den Haag centraal station in deelgebied 1 en deelgebied 3 in Figuur 11. Voor het CID en Binckhorst zijn alleen de delen opgenomen waar een schatting bekend was van de bouwopgave. De hoge dichtheid aan woningen, tot wel 17000 woningen per vierkante kilometer, kan alleen worden gerealiseerd door hoogbouw wat samenvalt met lage SVF waarden. In de twee woningbouwscenario's B en C, behoud van groen en extra

groen met extra hoogbouw, hebben deelgebied 1 en deelgebied 3 duidelijk de meeste tropische nachten. Dit zijn 5 tropische nachten per jaar voor het huidige klimaat en 18 tropische nachten per jaar voor het WH-scenario in 2050 (zie Figuur 11 en 12). De andere klimaatscenario's voor CID en Binckhorst zijn te vinden in de appendix Figuur 18, 19 en 20. Het woningbouwscenario voor extra groen heeft gemiddeld over het de hele omgeving minder tropische nachten. Het verschil is te zien in de appendix Figuur 14. In tegenstelling tot Den Haag Zuidwest is het voor sommige deelgebieden (deelgebied 1, 2, 3 en 7) minder duidelijk uit welke woningbouwscenario de minste hittestress oplevert. Dit komt omdat deze deelgebieden kleiner zijn in omvang dan de deelgebieden in Zuidwest. Indien de deelgebieden groter zouden zijn, dan komt het woningbouwscenario met extra groen en extra hoogbouw als relatief koeler naar voren.



Figuur 11: Aantal tropische nachten per jaar voor CID en Binckhorst voor huidige klimaat in A) huidige woningbouw, B) scenario met zoveel mogelijk behoud van groen en C) scenario met extra groen met extra hoogbouw.



Figuur 12: Aantal tropische nachten (TN > 20 °C) voor CID en Binckhorst voor WH-scenario in zichtjaar 2050 in A) huidige woningbouw, B) scenario met zoveel mogelijk behoud van groen en C) scenario met extra groen met extra hoogbouw.

4. Samenvatting en conclusie

Aanleiding van deze studie is de woningbouwopgave van Nederland om in de komende decennia 1 miljoen extra woningen te realiseren. Deze studie onderzoekt wat het effect is van de realisatie van de woningen op de hitte in de stad en welke woningbouwscenario's doeltreffend zijn om de additionele woningen op een zodanige manier te realiseren dat het effect op de hitte in de stad zo klein mogelijk is. Deze studie beoogt derhalve om inzichtelijk te geven wat de realisatie van 1 miljoen extra woningen in Nederland heeft op de hittestress die mensen ervaren in Nederland.

Om dit te onderzoeken is als een testbed voor een tweetal gebieden in Den Haag berekend wat de impact is van het realiseren van extra woningen op het lokale hitte-eilandeffect en het aantal tropische nachten. De gebieden betreffen een gebied in Den Haag Zuidwest, en gebieden in het Central Innovation District (CID) en Binckhorst. Voor beide gebieden heeft nog geen planvorming plaatsgevonden, maar ze geven samen wel een goed beeld van de manier de realisatie van extra woningen ingrijpt op de ervaren thermische stress en welke maatregelen effectief zijn om de hitte in de bebouwde omgeving te verminderen.

Uit de onderzoekexercitie is gebleken dat voor de gebieden in Den Haag Zuidwest realisatie van extra woningen door meer hoogbouw te bouwen een gunstiger effect heeft op het lokale hitte-eiland effect en het aantal tropische nachten dan realisatie van de extra woningen door het bebouwen van de groene gebieden. Voor de gebieden in het CID en Binckhorst vinden we vergelijkbare resultaten, hoewel hier het gunstige effect van hoogbouw ten opzichte van het bouwen in het groen minder duidelijk is. De reden hiervoor is dat het CID weliswaar een vrij groot gebied is, maar is verdeeld in een aantal kleinere deelgebieden waardoor de aanpassingen kleiner zijn.

Naast het effect van de realisatie van additionele woningen op de hittestress, is binnen deze studie ook onderzocht wat de verschillende gebieden binnen Den Haag kunnen verwachten met betrekking tot hittestress in het zichtjaar 2050. Uit dit deel van het onderzoek is gebleken dat voor het meest warme KNMI'14 klimaatscenario, het zogenaamde WH scenario, het gemiddeld aantal tropische nachten (gedefinieerd conform de definitie zoals gehanteerd in de klimaateffectatlas als een nacht waar de minimumtemperatuur niet lager wordt dan 20 °C) met een factor 3 tot 4 kan toenemen.

Algemene conclusie is dat er in stedelijke gebieden in Nederland sprake is van hittestress tijdens hittegolven en dat deze hittestress toeneemt als het klimaat verandert conform de KNMI'14 klimaatscenario's. Ook de realisatie van additionele woningen leidt doorgaans tot een toename van de hittestress. Echter, uit de studie blijkt dat dit effect kan worden verminderd door verhogen van de bestaande bouw zodat de bestaande groene gebieden behouden blijven of zelfs worden vergroot.

5. Aanbevelingen

- Landelijke hittestresskaart
Uitbreiding van de hittestress kaart voor Den Haag naar een landelijke kaart ter verbetering en vervanging van de bestaande kaart in de klimaateffectatlas (CAS). Deze nationale kaart presenteert op hoge resolutie (straatniveau) hittestress en geeft een beter inzicht van de invloed van (geplande) woningbouw en groenvoorziening. Het effect van water wordt nog niet meegenomen.
- Verbetering hittestresskaart
De nationale hittestress kaart kan vervolgens met data science technologie op diverse manieren verder worden verbeterd door onderzoek naar:
 - de rol van water;
 - de rol van (langdurige) droogte;
 - het effect op gevoelstemperatuur;
 - het effect van wind en straling variaties door bebouwing;
 - fysische eigenschappen van bebouwing (bijv. het albedo-effect)
 - het effect van anthropogene warmte .
- Benchmark van hittestress berekeningen
 - een benchmark waarin de hittestress berekeningen worden vergeleken met andere kaarten en producten om de hitte in de stad door te rekenen;
 - vergelijking van de hittestress berekeningen met waarnemingen.

6. Lessons learnt

Om het onderzoek te kunnen afronden is gebruik gemaakt van een aantal grote datasets, te weten een kaart van de Sky View Factor en de fractie groen.

Deze kaarten zijn doorgaans tijdrovend om te maken. Daarnaast moeten ook om deze kaarten vaak een aantal aannames worden gedaan, bijvoorbeeld over hoe bepaalde oppervlakken moeten worden geïnterpreteerd. Ook is de informatie in deze kaarten vaak weer gebaseerd op onderliggende geografische informatie over het gebruik van ruimte in Nederland, wat betekent dat deze informatie continu aan verandering onderhevig is.

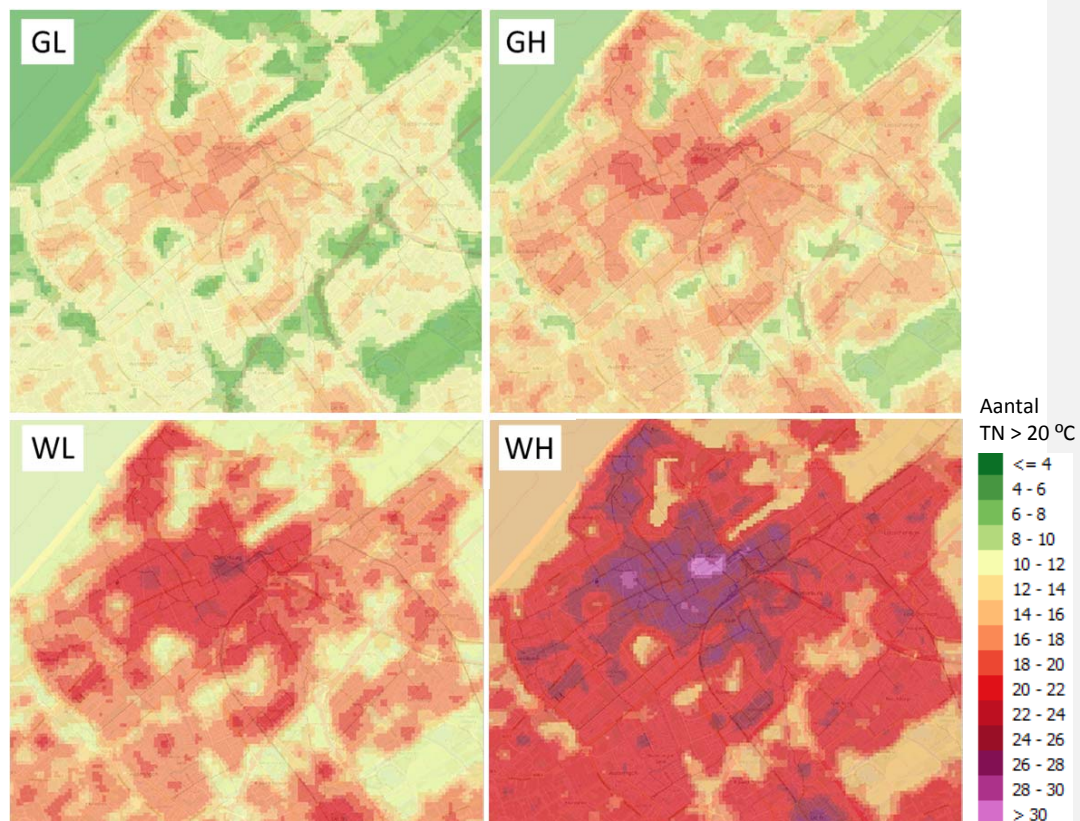
Belangrijke lessons learnt zijn derhalve, dat:

1. actualisatie van de inputkaarten een belangrijke en doorlopende taak blijft;
2. er altijd kritisch moet worden bekeken of de waarden van stadskarakteristieken die uit de kaarten komen, inderdaad kunnen worden toegepast om het lokale klimaat te berekenen;
3. Bij het creëren van een hittekaart is een statistische relatie gelegd tussen woningendichtheid, groen en SVF. Dit is nodig om op een eenduidige wijze het effect op de UHI te bepalen bij de theoretische bouwopgave. Voor dit onderzoek is de relatie bepaald uit een groot deel van stadsgewest Haaglanden is meegenomen, waaronder ook Zoetermeer en een groot gedeelte van Delft. Hoewel deze relatie sterk is ($R^2 = 0.64$), is het de verwachting dat wanneer er meer data van andere Nederlandse steden wordt gebruikt de relatie nog robuuster wordt.

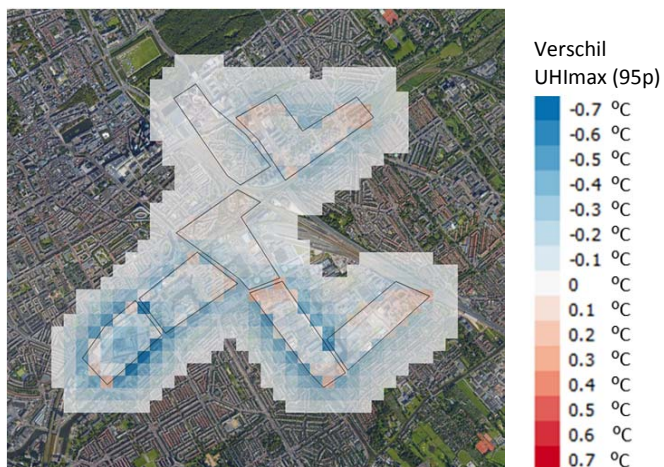
7. Dankwoord

Graag willen wij onze dank uitspreken voor de adviezen die tijdens dit project zijn gegeven , met name Eric de Haan (provincie Zuid-Holland), Arno Lammers (gemeente Den Haag), Nieske Bisschop (DGRW en DRPA) en Rien Bout (DGRW).

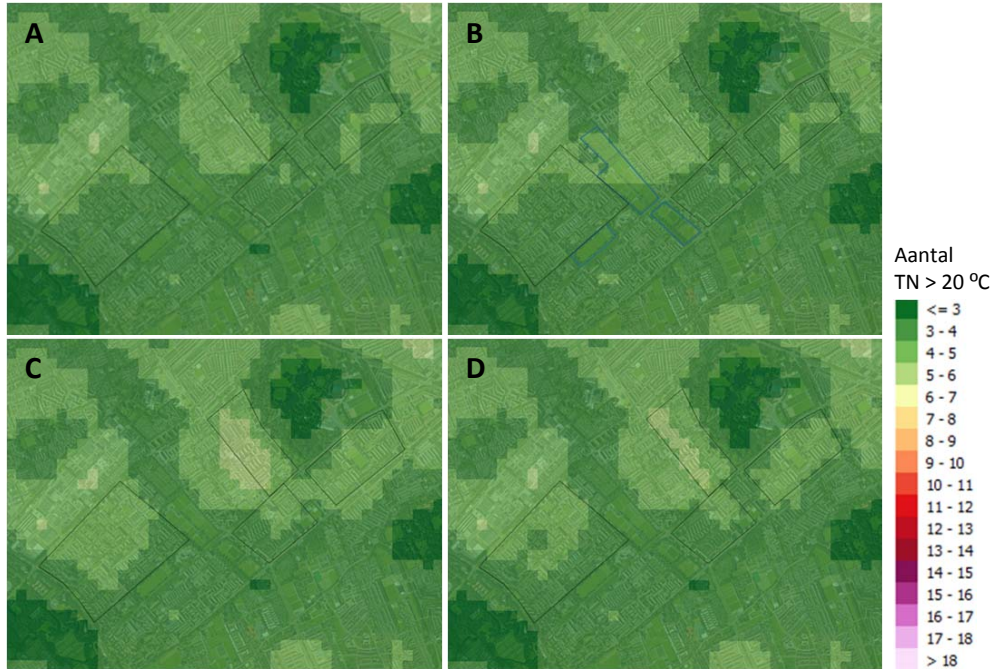
Appendix



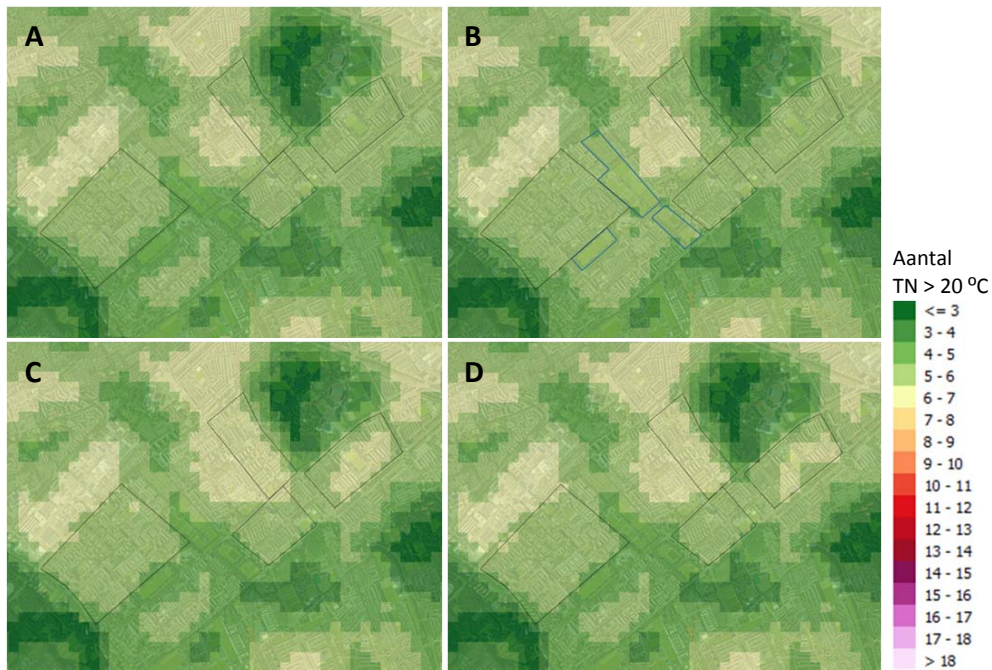
Figuur 13: Aantal tropische nachten (TN > 20 °C) voor de warme zomer van 2006 getransformeerd voor de vier klimaatscenario's in 2050.



Figuur 14: Verskil in het 95^e percentiel van de maximale dagelijkse UHI tussen het woningbouwscenario 'groen binnen de wijk bebouwen' en het woningbouwscenario 'behoud groen met extra hoogbouw'.

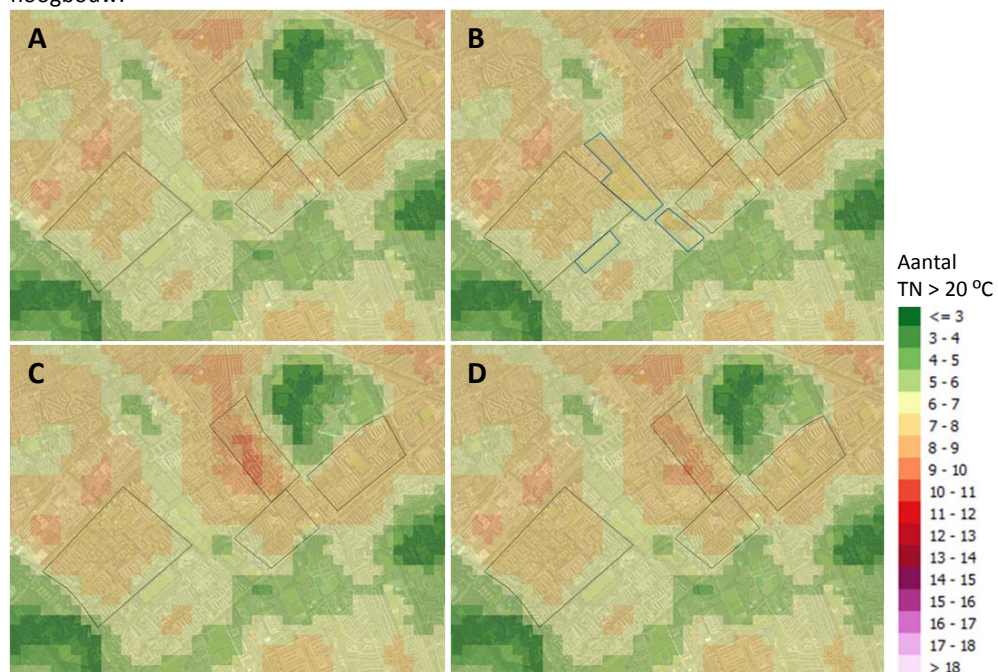


Figuur 15: Aantal tropische nachten per jaar voor het **GL**-scenario in zichtjaar 2050 voor Den Haag Zuidwest voor: A) huidige woningbouw, B) scenario met groen buiten de wijk bebouwen, C) scenario met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen binnen de wijk met extra hoogbouw.

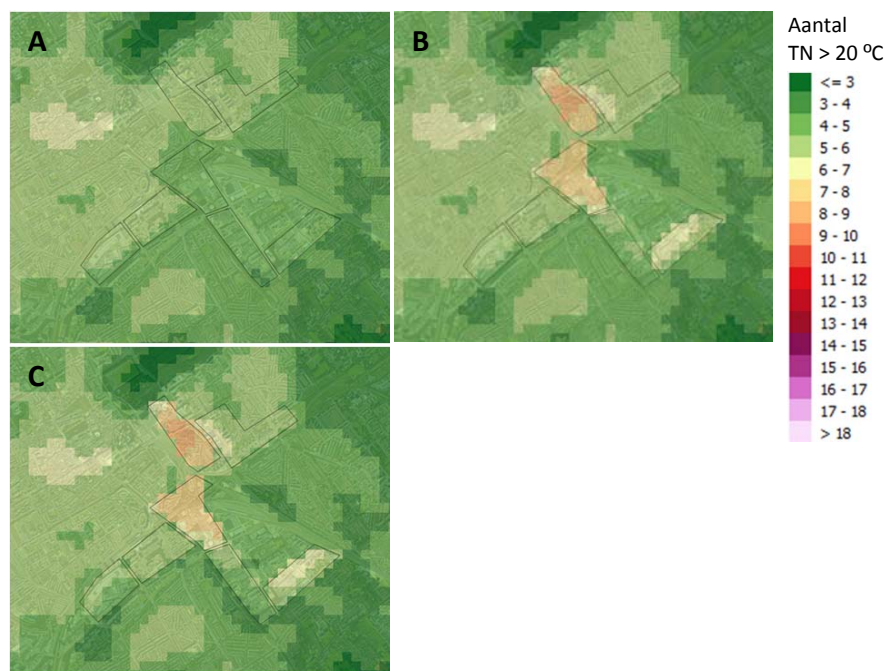


Figuur 16: Aantal tropische nachten per jaar voor het **GH**-scenario in zichtjaar 2050 voor Den Haag Zuidwest voor: A) huidige woningbouw, B) scenario met groen buiten de wijk bebouwen, C) scenario met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen binnen de wijk met extra hoogbouw.

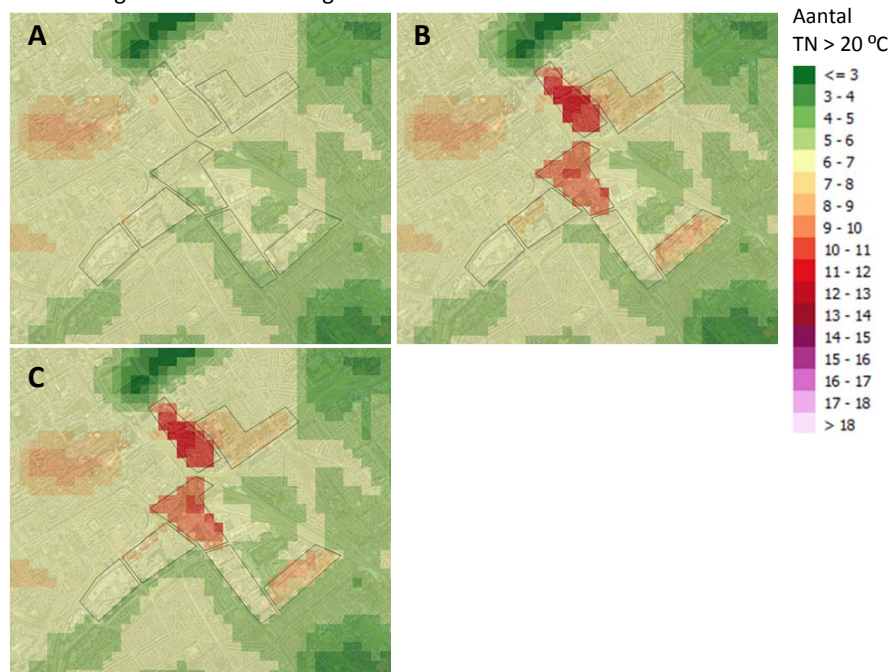
met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen binnen de wijk met extra hoogbouw.



Figuur 17: Aantal tropische nachten per jaar voor het **WL**-scenario in zichtjaar 2050 voor Den Haag Zuidwest voor: A) huidige woningbouw, B) scenario met groen buiten de wijk bebouwen, C) scenario met groen binnen de wijk bebouwen, D) scenario met behoud van groen binnen de wijk met extra hoogbouw.



Figuur 18: Aantal tropische nachten (TN > 20 °C) voor CID en Binckhorst voor **GL**-scenario in zichtjaar 2050 in A) huidige woningbouw, B) scenario met zoveel mogelijk behoud van groen en C) scenario met extra groen met extra hoogbouw.



Figuur 19: Aantal tropische nachten (TN > 20 °C) voor CID en Binckhorst voor **GH**-scenario in zichtjaar 2050 in A) huidige woningbouw, B) scenario met zoveel mogelijk behoud van groen en C) scenario met extra groen met extra hoogbouw.



Figuur 20: Aantal tropische nachten ($TN > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) voor CID en Binckhorst voor **WL**-scenario in zichtjaar 2050 in A) huidige woningbouw, B) scenario met zoveel mogelijk behoud van groen en C) scenario met extra groen met extra hoogbouw.

Referenties

Agenda ruimte voor de stad, beschikbaar als <http://www.ruimtevoordestad.nl/wp-content/uploads/2017/05/16090920Agenda20Ruimte20voor20de20Stad-LowRes.pdf>

Bakker A. en J. Bessembinder, 2012. *Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI'06 climate scenarios*. Technical Report TR-326. De Bilt, 75 pp.

CBS, 2016, 'Groei steden zet door'. Beschikbaar als <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/37/pbl-cbs-prognose-groei-steden-zet-door>

EIB, 2015, 'Investeren in Nederland.' Beschikbaar als https://www.eib.nl/pdf/investeren_in_nederland.pdf

KNMI, 2006, *Warme en zonnige zomer 2006*, Persbericht, beschikbaar als <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/warme-en-zonnige-zomer-2006>

Gewijzigde veldcode

KNMI, 2015. *KNMI'14 Klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*, Brochure, KNMI, De Bilt, 34 pp.

Molenaar, R.E., B.G. Heusinkveld and G.J. Steeneveld, 2016. Projection of rural and urban human thermal comfort in the Netherlands for 2050. *Int. J. Climatol.* **36**: 1708-1723.

NAS 2016, beschikbaar op <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/nas/>

Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat Island. *Atmos. Environ.* **7**: 769 – 779.

Steeneveld, G. J., S. Koopmans, B. G. Heusinkveld, L. W. A. van Hove and A. A. M. Holtslag, 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands, *J. Geophys. Res.*, **116**.

Theeuwes, N.E., Steeneveld, G.J., Ronda, R.J., Holtslag, A.A.M., 2017. A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *Int. J. Climatol.* **37**: 443 – 454.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl