

# ONTWERPEN VOOR EEN KOELE STAD

Vanwege het veranderen van het klimaat wordt het warmer op aarde. In het extreemste klimaatscenario zal de gemiddelde temperatuur op aarde stijgen met 3,5°C rond 2085 [1]. Daardoor zullen meer mensen hittestress ervaren. In een stad is de temperatuur hoger in vergelijking met het omliggende gebied. Dat komt door de eigenschappen van de stad die de temperatuur verhogen. Dit effect heet het stedelijk hitte-eiland effect. Daardoor wordt in een stad sneller hittestress ervaren en door klimaatverandering zal het risico alleen maar toenemen. Daarom is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: "Wat is het effect van ontwerpmaatregelen op het verminderen van hittestress?" Dit artikel legt uit wat hittestress en het stedelijk hitte-eiland zijn, welke parameters van invloed zijn op het stedelijk hitte-eiland en met welke ontwerpmaatregelen je hittestress kunt tegengaan.



ing. F. (Farid) Saif,  
DWA, Gouda

## HITTESTRESS

Hittestress is een aandoening bij mensen en dieren veroorzaakt door extreme hitte, die zich uit in diverse lichamelijke klachten [2]. Hittestress wordt ervaren als de gevoelstemperatuur te hoog wordt en het lichaam zichzelf niet meer voldoende kan koelen door te zweten of verwijding van de bloedvaten. Aanwezigheid van hittestress is van de persoon en van de omgeving afhankelijk. De gevoelstemperatuur wordt beïnvloed door verschillende factoren die gevisualiseerd zijn in figuur 1. Hittestress wordt ervaren vanaf een gevoelstemperatuur

van 23°C en wordt een aandoening waarbij gezondheidsrisico's toenemen vanaf 29°C.

De gevolgen van extreme hitte hebben niet alleen betrekking op de gezondheid van de mens maar treffen ook de aspecten van water, netwerken, buitenruimte en leefbaarheid. De gevolgen voor het water hebben te maken met de beschikbaarheid van koel- en drinkwater en de kwaliteit van drink- en oppervlaktewater. Grootschalige netwerken als het elektriciteitsnet en de infrastructuur lopen tegen problemen aan. De energievraag wordt 10% hoger bij temperaturen van ongeveer 30°C in vergelijking met een gemiddelde zomerdag van ongeveer 18°C. Materialen zetten uit als de temperatuur hoger wordt waardoor bruggen niet meer open kunnen en rails om kunnen buigen. Ten slotte wordt de buitenruimte te warm waardoor de leefbaarheid van het gebied afneemt [4].

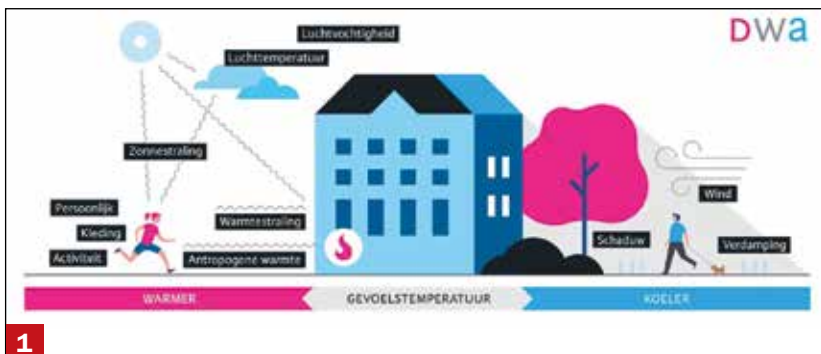
## STEDELIJK HITTE-EILAND EFFECT

Hitte-eilanden zijn gebieden waar de temperatuur hoger is dan in het omringende gebied. Dit effect komt vaak voor in steden met een centrum waar hoogbouw is, maar komt ook voor in kleinere steden [5]. De hoogbouw verstoort het natuurlijke windpatroon waardoor er minder wind is en de ventilatiewerking van de wind minder optreedt [6]. Daarnaast wordt warmte langer vastgehouden omdat een groot deel van een stad bebouwd en verhard is [7].

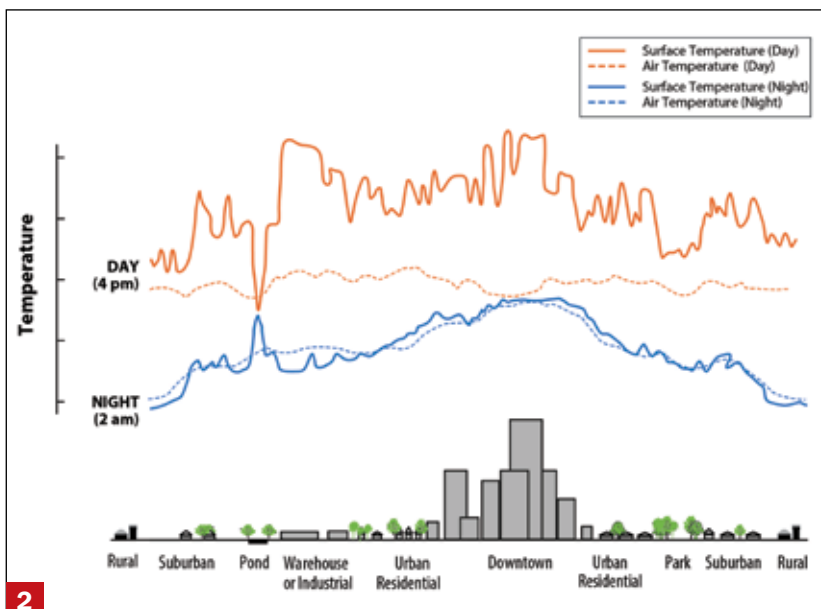
Gedurende een nacht verschillen de oppervlakte- en luchttemperatuur het meest van elkaar. De luchttemperatuur gedurende een nacht en dag in het stadscentrum verschillen niet veel en er kan geconcludeerd worden dat een stadscentrum weinig afkoelt.

## Analyse formule

De formule voor het berekenen van het Urban Heat Island ( $UHI_{max}$ ), het temperatuurverschil tussen het stadscentrum en het omliggende landelijke gebied, bestaat uit verschillende variabelen [9]. De Sky View Factor (SVF) en de vegetatiefactor ( $F_{veg}$ ) zijn variabelen die beïnvloed worden door het ontwerpen van stedelijke gebieden. De SVF is een factor van de hoeveelheid hemelkoepel die zichtbaar is vanaf een bepaald punt. De vegetatiefactor is de verhouding groen ten opzichte van het totale gebied. De gemiddelde uurlijkse globale straling, max- en minimum-



1 Visualisatie gevoelstemperatuur [3]



2 Het stedelijk hitte-eiland effect [8]

temperatuur en de gemiddelde windsnelheid komen voort uit de weersinvloeden.

Tabel 1: Standaard scenario hittegolf 2020 en gemiddelde waarden SVF en  $F_{veg}$

Factor	Waarde	Eenheid
S	461	[W/m <sup>2</sup> ]
T <sub>max</sub>	33,90	[°C]
T <sub>min</sub>	21,60	[°C]
u	2,45	[m/s]
SVF	0,55	[-]
F <sub>veg</sub>	0,2	[-]

$$UHI_{max} = (2 - SVF - F_{veg}) * \sqrt[4]{\frac{S(T_{max} - T_{min})^3}{u}} \quad (1)$$

Waarin:

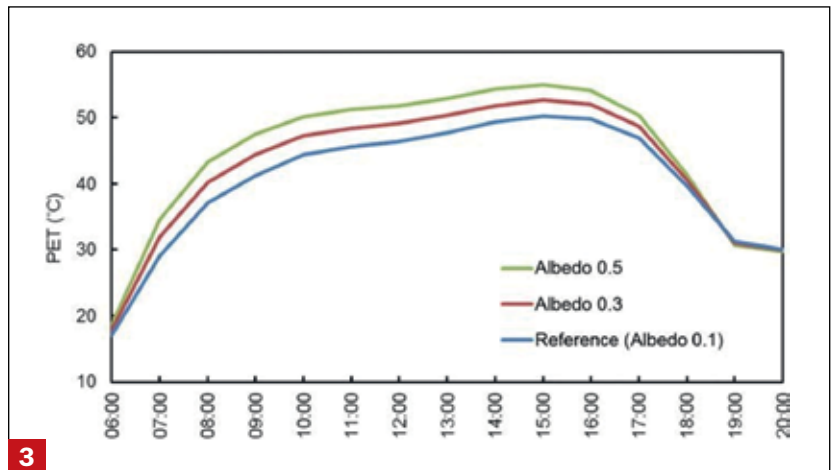
- UHI<sub>max</sub> = dagelijks maximale urban heat island [°C]
- SVF = Sky View Factor [-]
- F<sub>veg</sub> = vegetatiefactor [-]
- S = gemiddelde uurlijkse globale straling [W/m<sup>2</sup>]
- T<sub>max</sub> = maximumtemperatuur [°C]
- T<sub>min</sub> = minimumtemperatuur [°C]
- u = gemiddelde windsnelheid [m/s]

De invloed van de variabelen wordt bepaald aan de hand van een minimale en maximale waarde. Daarnaast is er een standaard scenario samengesteld dat als uitgangspunt wordt genomen voor de overige waarden. Het standaard scenario is opgesteld uit de gegevens van de hittegolf van 2020. Met het opstellen van een standaard scenario, waar de factoren gemiddelde uurlijkse globale straling, min- en maximumtemperatuur, en gemiddelde windsnelheid in staan, is de invloed van de SVF en  $F_{veg}$  berekend. De  $F_{veg}$  en SVF in Nederlandse steden varieert respectievelijk van 0 – 0,4 en 0,2 – 0,9 [10]. Daarnaast beïnvloedt de gebouwde omgeving de gemiddelde uurlijkse globale straling, min- en maximumtemperatuur en de gemiddelde windsnelheid niet. Voor deze factoren worden de waarden van 08-08-2020 aangenomen. Hieronder is een overzicht te zien van het bereik, de uitkomst en het standaard scenario:

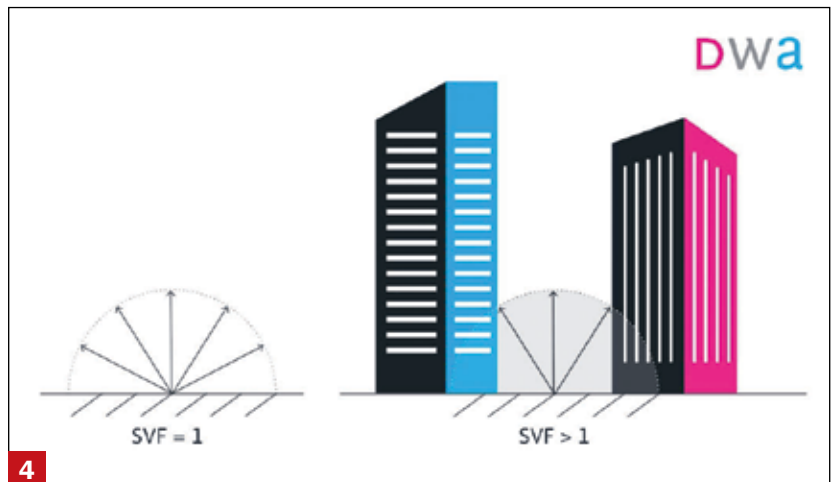
Tabel 2: Uitkomst analyse UHI

Factor	Bereik	Eenheid	Bereik uitkomst	Eenheid
SVF	0,2 ≤ 0,9	[-]	4,02 ≤ 7,32	[°C]
F <sub>veg</sub>	0,0 ≤ 0,4	[-]	4,96 ≤ 6,85	[°C]

Uit de analyse van de formule is op te maken dat het verschil in UHI<sub>max</sub> bij SVF het grootste is, namelijk 3,3°C. Bij  $F_{veg}$  is het verschil iets lager, namelijk 1,89°C. Om de temperatuur te verlagen in stedelijke gebieden is het dus het effectiefst om rekening te houden met de SVF. Het aanpassen van de SVF is echter lastig omdat daarvoor gebouwen gesloopt moeten worden. Daarnaast kan een stad groener worden waardoor de  $F_{veg}$  verhoogd en dus de temperatuur verlaagd wordt. Gedurende dit onderzoek wordt voornamelijk gekeken naar de  $F_{veg}$ .



Resultaten verhogen albedo [11]



Toelichting SVF

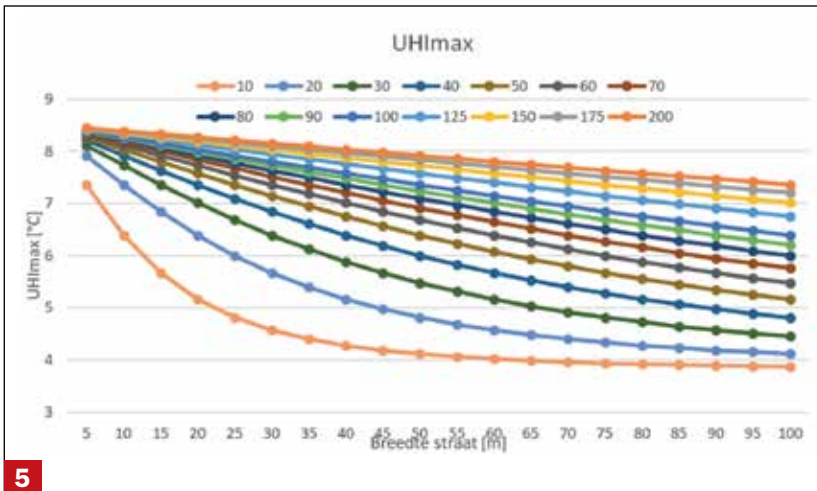
**Albedo/emissiviteit**

De albedo is het weerkaatsingsvermogen van een oppervlak en de emissiviteit is het warmte uitstralend vermogen van een oppervlak. Deze parameters zijn niet meegenomen in de eerdergenoemde formule omdat de formule een globale benadering is. Het onderzoek ‘The effect of pavement characteristics on pedestrian thermal comfort in Toronto’ onderzocht wat het effect is als de albedo van een plein verandert. Bij dit onderzoek is ook gebruik gemaakt van een CFD-model. De albedo van het plein wordt verhoogd van 0,1 naar 0,3 en naar 0,5 door de kleur van de verharding aan te passen. Er werd geconcludeerd dat de gevoelstemperatuur hoger wordt als de albedo hoger wordt. In de figuur 3 is te zien dat het verloop van de gevoelstemperatuur nagenoeg gelijk blijft.

Het verhogen van de albedo zorgt niet altijd voor een verhoging van de gevoelstemperatuur. Als zich een soortgelijke situatie voordoet, dient er eerst een onderzoek gedaan te worden naar het effect van het veranderen van de albedo op de gevoelstemperatuur. Dit effect treedt ook op in gebieden waar sneeuw ligt. De zonnestraling weerkaatst op mensen waardoor de gevoelstemperatuur hoger is.

**Sky View Factor (SVF)**

De vorm van de bebouwing en de opbouw van de stad hebben invloed op de temperatuur in een omgeving. Deze factor wordt bepaald aan de hand van de hoeveelheid hemel die zichtbaar is vanaf een bepaald punt op het



5 Invloed van de SVF op de  $UHI_{max}$  bij verschillende gebouwhoogtes

Tabel 3: Verschillende manieren van koelen met groen

Nr.	Ontwerpmaatregel koelen met groen	Koelprincipe			
		Reflectie	Schaduw	Ventilatie	Verdamping
1	Groengebieden aanleggen, behouden, verbeteren en oppervlakken ontharden				X
2	Groene privé-tuinen				X
3	Groene daken (extensief of intensief)	X			X
4	Zonwering door groen		X		X
5	Groene gevels	X	X		X
6	Straatbomen en bomenlanen		X		X
7	Groene pleinen en speelplaatsen		X		X
8	Groen (ventilatie) netwerk		X	X	X

Tabel 4: Verschillende manieren van koelen met grijs

Nr.	Ontwerpmaatregel koelen met grijs	Koelprincipe			
		Reflectie	Schaduw	Ventilatie	Verdamping
1	Koele verhardingsmaterialen, witte daken, lichte gevels en bestrating	X			
2	Koele daken en gevels	X			
3	Stedenbouwkundige zonwering		X		

Tabel 5: Verschillende manieren van koelen met blauw

Nr.	Ontwerpmaatregel koelen met blauw	Koelprincipe			
		Reflectie	Schaduw	Ventilatie	Verdamping
1	Singels, grachten, sloten en groene oevers				X
2	Aanleggen van vijvers, meer of een fontein				X

maaiveld. Een hoge SVF, bijvoorbeeld een groot plein, zorgt ervoor dat de straling van het zonlicht makkelijk gereflecteerd wordt en er geen interne reflectie plaatsvindt. In hoogbouw-gebieden wordt de straling van de zon gereflecteerd door de gebouwen waardoor er meer straling wordt opgenomen in het materiaal. Een lage SVF betekent dat er meer schaduw is op straatniveau, maar in gebieden waar hoogbouw de norm is, kan de zonnestraling terugkaatsen tussen de twee gebouwen wat resulteert in een temperatuurverhoging. In figuur 4 is te zien dat een volledige vrije ruimte een SVF van 1 heeft en een hoogbouw gebied een SVF lager dan 1 heeft. Bij onderzoek naar de berekening van de SVF en de toepassing in het stedelijk hitte-eiland effect is een versimpelde, 2-D formule opgesteld [12]:

$$SVF, 2D = \cos\left(\arctan \frac{H}{0.5W}\right) \quad (2)$$

Waarin:

H = hoogte van de obstakels [m]

W = afstand tussen obstakels [m]

Aan de hand van de formule van  $SVF_{2D}$  en de formule van het  $UHI_{max}$  is de invloed van de SVF doorgerekend naar het optredende  $UHI_{max}$ . Voor de overige factoren zijn de waarden van de hittegolf van 2020 aangehouden. De namen van de lijnen staan gelijk aan de hoogtes van de gebouwen, die variëren van 10 tot 200 meter. De horizontale as is de breedte van de straat, die varieert van 5 tot 100 meter. Aan de hand van deze grafiek wordt een inzicht gecreëerd waar de meeste winst behaald kan worden bij het ontwerpen van een gebied. De resultaten zijn te zien in de grafiek van figuur 5

Uit de grafiek is op te maken dat bij een hoogte van 10 meter de meeste winst te behalen valt als de breedte van de straat groter wordt. Hoe hoger de gebouwen, hoe kleiner het effect is van het verbreden van een straat op het  $UHI_{max}$ . Dat komt omdat de hoogte/breedte verhouding minder verandert als de gebouwen aanzienlijk hoger zijn dan de straat. Bij het ontwerpen van een gebied kan het UHI worden beperkt door straten op zijn minst 20 meter breed te maken bij gebouwen tot en met 30 meter. Deze formule zal iets afwijken van de realiteit omdat een SVF normaal gesproken een drie dimensionale variabele is. Een aanpassing van de SVF wordt niet gezien als geschikte ontwerpmaatregel voor bestaande gebieden maar wel bij het ontwerpen van nieuwe gebieden.

### Ontwerpmaatregelen

Verschillende ontwerpmaatregelen zijn getoetst aan de toepasbaarheid. Het is van belang dat de maatregelen voldoende effect hebben op de reductie van hittestress en dus de gevoelstemperatuur van mensen. De ontwerpmaatregelen zijn gecategoriseerd in een drietal ontwerp-richtlijnen: koelen met groen, blauw en grijs. De ontwerpmaatregelen zijn verder onderverdeeld in koelprincipes. Er zijn vier koelprincipes: reflectie, schaduw, ventilatie en verdamping. Hierdoor wordt in kaart gebracht wat voor koelprincipes het effectiefst zijn. Sommige ontwerpmaatregelen koelen de omgeving aan

de hand van meerdere koelprincipes. De onderzochte ontwerpmaatregelen staan in de tabellen 3, 4 en 5.

## KOELPRINCIPES

### Reflectie

Elk oppervlak heeft een albedo, de factor van de hoeveelheid straling die gereflecteerd wordt. Het verhogen van de albedo zorgt ervoor dat er minder straling opgenomen wordt door het materiaal en de oppervlaktetemperatuur dus minder hoog is. Stedelijke gebieden hebben een gemiddelde albedo van 5%, terwijl dat voor landelijke gebieden ongeveer 25% is. Het verhogen van de albedo kan gedaan worden door onder andere een standaard dak te vervangen door een groen of koel dak. Bij het aanpassen van de albedo op straatniveau is aanvullend onderzoek nodig omdat het verhogen er dan voor kan zorgen dat de gevoelstemperatuur hoger wordt [13].

### Schaduw

Het principe schaduw koelt de omgeving omdat de zonnestraling die het oppervlak bereikt al snel 10 x kleiner is [14]. Het creëren van schaduw kan gedaan worden door het planten van bomen, dat er niet alleen voor zorgt dat er meer schaduw is, maar ook door verdamping bijdraagt aan de verkoeling van de luchttemperatuur. Een andere optie is het realiseren van stedenbouwkundige zonwering. Het voordeel hiervan is dat deze verwijderd kunnen worden zodat de opgeslagen warmte uit de oppervlakken kan ontsnappen.

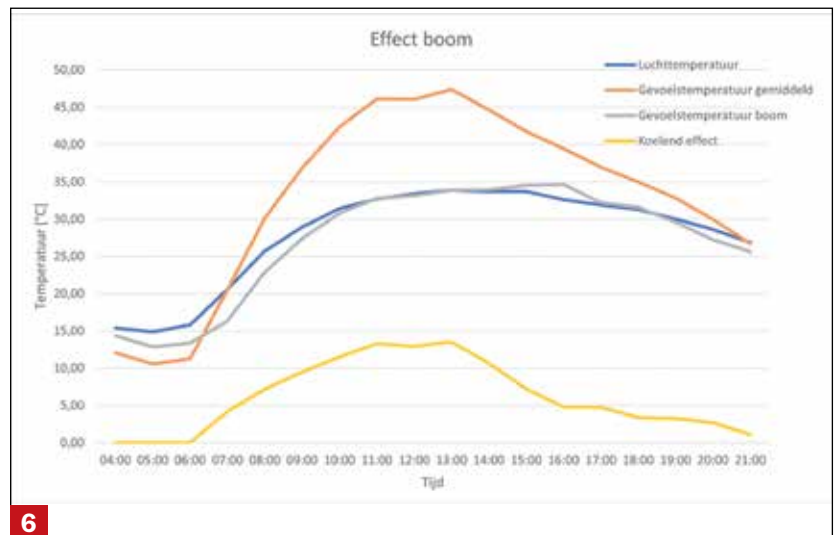
Het effect van een boom op gevoelstemperatuur is gesimuleerd en onderzocht. Hiervoor is een boom van 12 meter hoog gekozen. In de grafiek in figuur 6 is het verloop van de lucht- en gevoelstemperatuur te zien. De gevoelstemperatuur van de boom is gemeten in het middelpunt van de schaduw en is vergeleken met de gemiddelde gevoelstemperatuur van het gebied. De maximale gemiddelde gevoelstemperatuur is 47,40°C, de maximale gevoelstemperatuur in de schaduw van een boom is 33,89°C en het koelend effect is 13,51°C. Het effect van een boom is per type boom verschillend en is verschillend als er andere weersomstandigheden zijn.

### Ventilatie

Een goede ventilatie zorgt zowel binnen als buiten voor een bevordering van de warmte-uitwisseling tussen ons lichaam en de omgeving. Zolang de lichaamstemperatuur hoger is dan de luchttemperatuur, zorgt wind voor een afname van de gevoelstemperatuur. In steden wordt wind vaak geblokkeerd door hoge gebouwen waardoor het in bepaalde gebieden warmer wordt [13]. In een stad kan de windsnelheid verschillen per straat, afhankelijk van de windrichting. De windrichting tijdens hittegolven en koude periodes is ongeveer gelijk. Het bevorderen van de windsnelheid zal tijdens een warme periode een klein effect en tijdens een koude periode een negatief effect hebben.

### Verdamping

Het verdampen van water en fotosynthese zijn processen waar warmte voor nodig is. Door deze processen is er minder energie over om de lucht op te warmen. Het vergroten van het verdampend oppervlak is een belangrijke maatregel om hittestress tegen te gaan [13]. Effectieve



6

Het effect van een boom op de temperatuur

ontwerpmaatregelen zijn bijvoorbeeld het plaatsen van parken, gazons en groene daken. Bij een periode van langdurige hitte waardoor de vegetatie uitdroogt, stopt de verdamping.

Een Duits onderzoek heeft de reikwijdte van parken onderzocht. Daarbij is geconcludeerd dat bij parken vanaf 2,5 hectare het effect op de luchttemperatuur ongeveer gelijk is aan de halve diameter van het park [15]. Dit komt mede doordat een park minder warmte vasthoudt dan een stedelijke omgeving en er meer verdamping plaatsvindt zodat er minder energie is om de lucht op te warmen. Het effect van open water reikt niet ver en is beperkt waardoor het realiseren van oppervlaktewater niet wordt gezien als effectieve maatregel. Als het water zo wordt ingericht dat het ook een verblijfsplaats is, wordt het wel gezien als geschikte ontwerpmaatregel.

## CASUS

Om de verschillende ontwerpmaatregelen te kwantificeren en te testen is een casus onderzocht. De locatie voor de casus is het Berlijnplein in Utrecht. Het gebied is in Tygron gesimuleerd, waarna er een eis is gesteld aan de gevoelstemperatuur van het gebied gedurende de warmste dag van de hittegolf van 2020, op 8 augustus. Als eerste is de beginsituatie gemodelleerd zodat de gebiedseigenschappen duidelijk zijn. Vervolgens worden de verschillende situaties vergeleken met de beginsituatie.

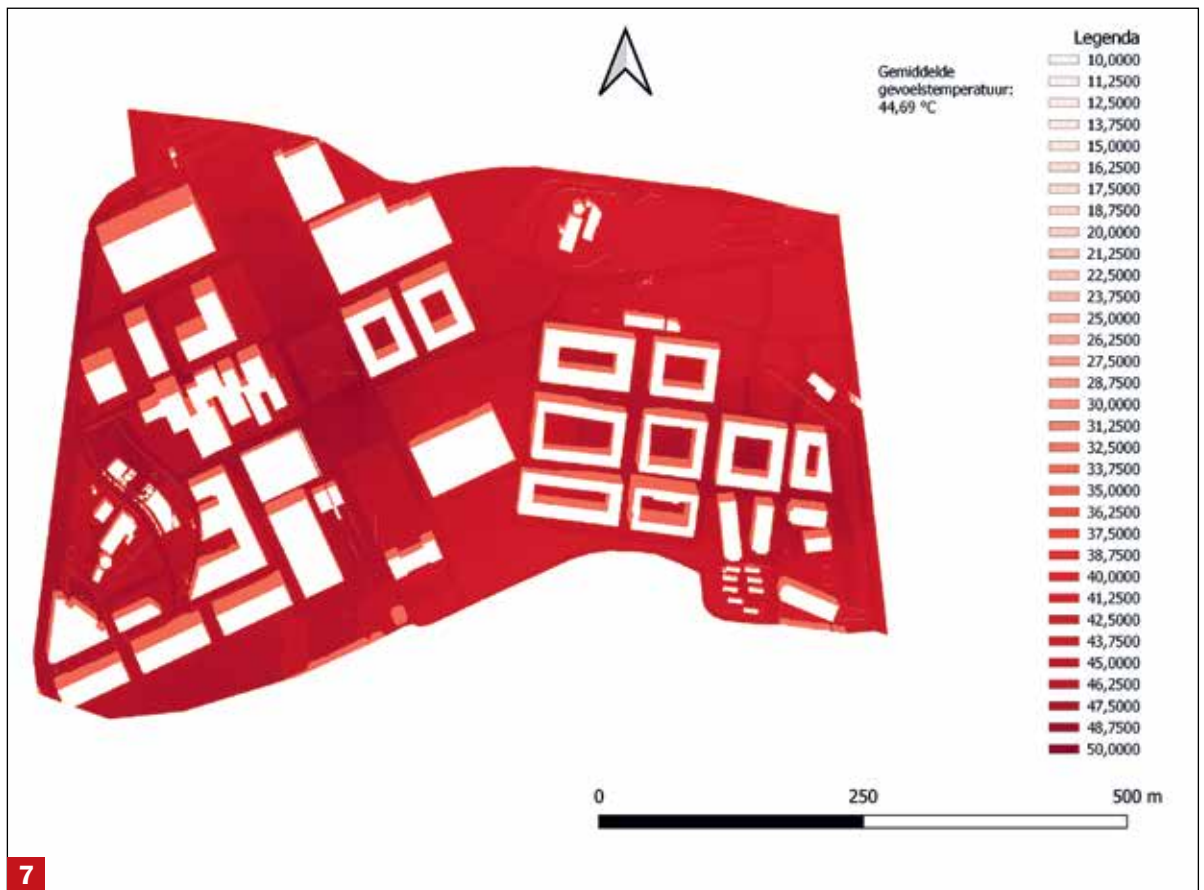
Het Berlijnplein in Utrecht is onderdeel van het gebied ten Westen van de Leidsche Rijntunnel (snelweg A2). Het gebied wordt in fases bebouwd. De eis voor de casus is dat de ontwerpmaatregelen het gebied één klasse hittestress, dat staat gelijk aan 6°C, verlagen ten opzichte van het basis gebied.

### Basis

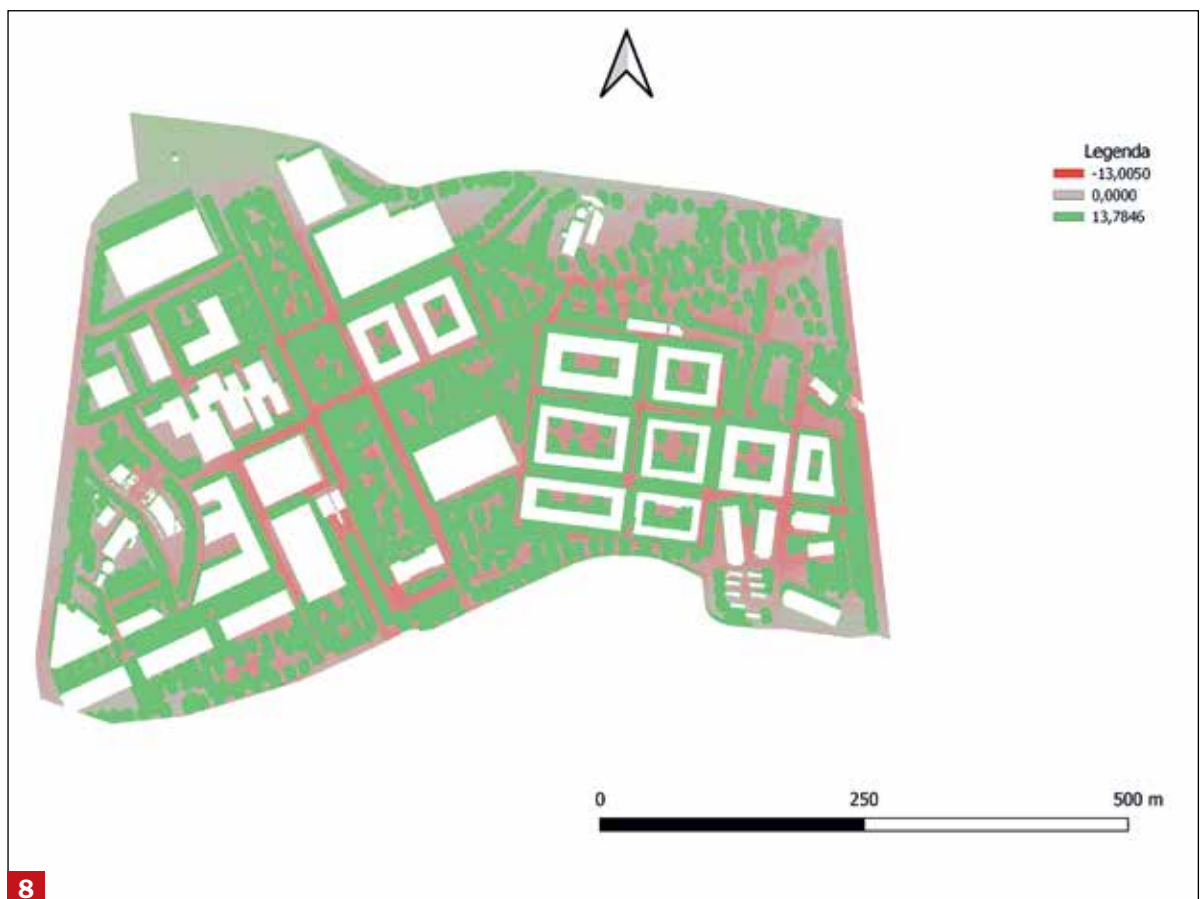
Vervolgens is de hittestress gesimuleerd in Tygron. De gemiddelde waarde van het warmste moment van de dag, 13:00, zal als uitgangspunt gebruikt worden. Vanuit het programma QGIS kunnen de statistieken gehaald worden. De gemiddelde gevoelstemperatuur in het projectgebied is 46,38°C.







Gevoelstemperatuur basisgebied



Verschil gevoelstemperatuur basis gebied en geoptimaliseerd ontwerp

Als streven voor de gebiedsontwikkeling is gesteld dat de gemiddelde gevoelstemperatuur  $6,0^{\circ}\text{C}$  moet dalen. Dat komt overeen met één fysiologisch hittestressniveau lager. De eis voor de gebiedsontwikkeling luidt als volgt: 'De gemiddelde waarde gevoelstemperatuur tijdens een dag in een hittegolf vergelijkbaar met 8 augustus van het projectgebied moet lager zijn dan  $(46,38 - 6,0 =) 40,38^{\circ}\text{C}$ '.

### Geoptimaliseerd ontwerp

In totaal zijn er 703 bomen en  $12.963 \text{ m}^2$  aan struiken gepland om aan de eis te voldoen. In figuur 8 hieronder is het verschil tussen de basis variant en het geoptimaliseerde ontwerp te zien. Tijdens het piekmoment, om 13:00, geven de ontwerpmaatregelen een totale verlaging van de gemiddelde gevoelstemperatuur van  $6,005^{\circ}\text{C}$ . Het projectgebied is  $336.353 \text{ m}^2$  groot en kijkend naar de ontwerpmaatregelen komt dat neer op 1 boom per gebied van  $478 \text{ m}^2$  en voor  $1 \text{ m}^2$  struik komt dat neer op een gebied van  $26 \text{ m}^2$ . Met de casus zijn alleen de ontwerpmaatregelen toegepast die voor het plangebied realistisch waren. Elk gebied heeft andere eigenschappen en dus andere mogelijkheden voor ontwerpmaatregelen. De hoeveelheid benodigde bomen en struiken bevestigt dat het verlagen van de gemiddelde gevoelstemperatuur in een gebied niet eenvoudig is tijdens een dag in een hittegolf.

### CONCLUSIE

Uit de resultaten naar ontwerpmaatregelen is gebleken dat het planten van bomen de effectiefste maatregel is bij het verminderen van hittestress. Bomen verlagen de gevoelstemperatuur lokaal door de koelprincipes schaduw en verdamping. Bij het creëren van schaduw vermindert de hoeveelheid directe zonnestraling, die een maatgevende factor is voor de gevoelstemperatuur. Het planten van bomen kan ervoor zorgen dat de gevoelstemperatuur in de winter onaangenaam wordt. Daarom is het van belang dat de bomen de bladeren verliezen in de winter. Daarnaast is het verdampen van water een endotherm proces waardoor er warmte nodig is om de verdamping plaats te laten vinden wat resulteert in een temperatuurverlaging van de lucht. De resultaten van het onderzoek zijn verwerkt in een toegankelijk tool box. ■

### BRONNEN

- [1] KNMI, (2015), *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland*, De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- [2] Algemeen Nederlands Woordenboek, (2017, mei 30), *Hittestress*, Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/anw/hittestress>
- [3] Klimaateffectatlas, *Hittekaart gevoelstemperatuur*, Opgehaald van Klimaateffectatlas: <https://www.architectuur.nl/kennis/landelijke-hittekaart-gevoelstemperatuur-gelanceerd/>
- [4] Hogeschool van Amsterdam, (2019), *Hitte in de stad; gevolgen van extreme hitte*, Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam
- [5] Climate Proof Cities, (2011), *Hitte en Klimaat in de Stad*, Ministerie van Infrastructuur en milieu
- [6] Atlas Leefomgeving, *Omgevingseffecten bouw*, Opgehaald van Atlas Leefomgeving - Verken en ontdek je leefomgeving: <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/bouw/omgevingseffecten-bouw>
- [7] Koster, M., Massy, S., van Steenberg, M., (2014), *Ontwerpen met Klimaatadaptatie*, Velp: Hogeschool van Hall Larenstein
- [8] Pötz, H., (2016), *Groenblauwe netwerken: Atelier GroenBlauw*
- [9] RIVM, (2019), *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*, Bilthoven: RIVM
- [10] N.E. Theeuwes, G. S., (2017), *A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern*, Wageningen: Wageningen University
- [11] Taleghani, M., & Berardi, U., (2017), *The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto*. Manchester: University of Salford
- [12] Dirksen, M., Ronda, R.J., Theeuwes, N.E., Pagani, G.A., (2019), *Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies*, Wageningen: KNMI
- [13] Hogeschool van Amsterdam, (2020), *De hittebestendige stad: Coolkit*, Amsterdam: Kenniscentrum Techniek
- [14] Shahidan, M.R., (2015), *Potential of Individual and Cluster Tree Cooling Effect Performances Through Tree Canopy Density Model Evaluation in Improving Urban Microclimate*, Putra: University Putra
- [15] Ministerium für Klimaschutz, (2011), *Handbuch Stadtklima*. Nordrhein-Westfalen: Klimawandel

# BIJNA JE SCRIPTIE AFGEROND?

## Schrijf een artikel in Bouwfysica

[redactie@nvbv.org](mailto:redactie@nvbv.org)

