



# Hittestress

**Ontwerpen voor een koele stad**

# Hittestress

---

## Kenmerken

---

<b>Auteur</b>	Farid Saif (0915303)	<b>Datum</b>	5-4-2022
<b>Onderwijsinstelling</b>	Hogeschool Rotterdam	<b>Co-lezer</b>	Annebeth Muntinga
<b>Opleiding</b>	Civiele Techniek	<b>Begeleidend docent</b>	Anabel Mendez
<b>Onderwerp</b>	Hittestress	<b>Status</b>	Definitief
<b>Opdrachtgever</b>	DWA B.V. Harderwijkweg 7 2803 PW GOUDA 088 – 163 53 00	<b>Uitgevoerd door</b>	DWA B.V. Harderwijkweg 7 2803 PW GOUDA 088 – 163 53 00

---

# Voorwoord

---

Geachte lezer,

Voor u ligt het verslag van het afstudeeronderzoek “Ontwerpen voor een Koele Stad”. In dit onderzoek is een studie gedaan naar het tegengaan van hittestress in de gebouwde omgeving. Daarbij zijn ontwerpmaatregelen onderzocht en gekwantificeerd. Dit onderzoek is het laatste onderdeel van de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam en is in opdracht van ingenieursbureau DWA.

Het onderzoek is tot stand gekomen vanwege de ambitie binnen DWA om, buiten het adviseren op gebouwniveau, te kunnen adviseren op gebiedsniveau. Daarnaast is het van belang dat steden te ontworpen zijn zodat deze bestand zijn tegen het toekomstige warmere klimaat.

Onder begeleiding van ir. A.E. Muntinga van DWA en A. Mendez van de Hogeschool Rotterdam is dit onderzoek uitgevoerd. Ik wil hen bedanken voor de begeleiding gedurende mijn onderzoek.

Rotterdam, maart '22

Farid Saif

# Samenvatting

---

Het ingenieursbureau DWA houdt zich bezig met het verduurzamen van de wereld van morgen. Het is daarbij belangrijk dat het binnenklimaat duurzaam geregeld wordt. DWA heeft de ambitie om te kunnen adviseren over het klimaat in de buitenruimte, daarmee kan er in de toekomst een volledig advies vanuit DWA gegeven worden. Het ingenieursbureau streeft ernaar om in een beginstadium te kunnen adviseren over het comfort in de buitenruimte.

Vanwege het veranderen van het klimaat wordt het warmer op aarde, in het extreemste klimaatscenario zal de gemiddelde temperatuur op aarde stijgen met 2,3 graden Celsius. Daardoor zullen meer mensen het risico lopen om hittestress te ervaren. In een stad is de temperatuur hoger in vergelijking met het omliggende gebied, dat komt door de eigenschappen die de temperatuur verhogen, dit effect heet het stedelijk hitte-eiland effect. Daardoor wordt in een stad sneller hittestress ervaren, met klimaatverandering zal de temperatuur in steden alleen maar toenemen. Daarnaast is het ervaren van hittestress per persoon verschillend, afhankelijk van verschillende factoren, namelijk de fysieke gesteldheid of de leeftijd van een mens. Niet alleen mensen maar alle organismen kunnen hittestress ervaren.

Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen wat de factoren zijn waardoor hittestress ervaren wordt en op wat voor manieren dit door middel van ontwerpmaatregelen verminderd kan worden. Op basis van de probleemstelling en de doelstelling is de hoofdvraag van het onderzoek opgesteld: **‘Wat is het effect van ontwerpmaatregelen op het verminderen van hittestress?’** Als eerste is een literatuuronderzoek uitgevoerd, zodat de factoren van hittestress en het stedelijk hitte-eiland effect in kaart zijn gebracht. Daarna is een methode gezocht om ontwerpmaatregelen te kwantificeren aan de hand van een simulatieprogramma. Vervolgens zijn ontwerpmaatregelen onderzocht op basis van de factoren op hittestress en het stedelijk hitte-eiland effect, zodat de meest geschikte ontwerpmaatregelen verder onderzocht zijn. Op basis van de ontwerpmaatregelen is een case studie gedaan, waarmee de maatregelen getoetst zijn. Als laatste is een toolbox gemaakt waarin de bevindingen van het onderzoek beschreven zijn.

Hittestress wordt ervaren bij mensen als de gevoelstemperatuur boven 29 graden Celsius komt. De factoren welke invloed hebben op de gevoelstemperatuur zijn: de luchttemperatuur, de straling van de zon, aarde en gebouwde omgeving, de luchtvochtigheid, de bewolking, de wind, de verdamping, de schaduw, antropogene activiteiten en de fysieke gesteldheid van een mens. Niet alle factoren zijn te beïnvloeden door het toepassen van ontwerpmaatregelen. De factoren welke te beïnvloeden zijn door het toepassen van ontwerpmaatregelen zijn: de schaduw, directe zonnestraling en straling gebouwde omgeving. De schaduw en directe zonnestraling overlappen qua effect omdat waar schaduw is, geen directe zonnestraling op het lichaam komt. De gevolgen van hittestress treffen niet alleen de gezondheid van mensen maar de gehele samenleving. De beschikbaarheid en kwaliteit van water gaat achteruit, de infrastructuur raakt beschadigd en de leefbaarheid van zowel de binnen- als buitenruimte gaat achteruit.

Een stad heeft nadelige eigenschappen waardoor de temperatuur hoger is in vergelijking met het omliggende gebied, dit heet het stedelijk hitte-eiland effect. Warmte wordt langer vastgehouden in een stad en dat komt omdat er veel verharding is, terwijl groen vaak ontbreekt. Daarnaast is er in een stad veel hoogbouw wat een windstroming verstoort waardoor het op sommige plekken harder gaat waaien terwijl het op andere plekken zachter waait. Op de plekken waar het zachter waait, neemt de gevoelstemperatuur toe, omdat de warmte-uitwisseling tussen mensen en de lucht minder optreedt. Hoogbouw zorgt er ook voor dat de SVF lager is in vergelijking met het omliggende gebied. Als gevolg daarvan reflecteert het zonlicht tussen hoogbouw waardoor de temperatuur stijgt.

De meest geschikte ontwerpmaatregelen zijn gesimuleerd met het programma Tygron. Hierbij wordt de openbaar beschikbare data van de openbare ruimte in Nederland ingeladen nadat er een gebied is gekozen. Daarbovenop kan het gebied aangepast worden, om een betere weerspiegeling van de realiteit te generen. De ontwerpmaatregelen zijn gecategoriseerd in verschillende koelprincipes: reflectie, schaduw, ventilatie en verdamping. De maatregelen rondom het koelprincipe schaduw bleken het effectiefst. Tot slot bleek het plaatsen van bomen langs looproutes is de meest geschikte ontwerpmaatregel.

De ontwerpmaatregelen zijn vervolgens getoetst door middel van een casus studie. Met de studie is het Berlijnplein in Utrecht van 336.353 m<sup>2</sup> onderzocht. Het Berlijnplein ligt boven de tunnel van de A2 en wordt opnieuw ingericht. Met de casus studie is de indeling van het terrein gebaseerd op bestaande ontwerpen en de onbekende gebouwen zijn geschat. De gemiddelde gevoelstemperatuur van het ingerichte gebied moet één fysiologisch stressniveau, wat 6 °C is, lager zijn dan het braakliggende terrein. Dat komt neer op een gevoelstemperatuur van 40,38 °C. Het ontharden van oppervlakken en planten van bomen en struiken zijn gebruikt. Uiteindelijk moeten er **703 bomen** en **12.963 m<sup>2</sup> struiken** worden geplant om de gemiddelde gevoelstemperatuur van het gebied 6 °C lager te krijgen.

Ontwerpmaatregelen kunnen hittestress verminderen en daarbij hebben ze meekoppelkansen. Echter, wordt hittestress voornamelijk bepaald door de hoeveelheid directe zonnestraling. Daardoor zijn de ontwerpmaatregelen welke schaduw creëren het effectiefst. Het planten van bomen creëert schaduw net als het realiseren van steden- bouwkundige zonwering. Daarnaast hebben verhardingen een negatieve impact op hittestress waardoor het ontharden van gebieden bijdraagt aan het verminderen van hittestress.



# Summary

---

The engineering firm DWA is concerned with making the world of tomorrow more sustainable. Therefore, sustainably regulating the indoor climate is crucial. DWA aspires to advise on the climate in the outdoor space to make their future advice more complete. The engineering firm strives to advise on comfort in the outdoor area in the early stages.

Due to climate change, the earth is getting warmer; in the most extreme climate scenario, the average temperature on earth will increase by 2,3 degrees Celsius. As a result, more people will be at risk of experiencing heat stress. Half of the world's population lived in cities in 2007, which will increase to 60% by 2030. Compared to the surrounding area, the problem in a town is that it has characteristics that increase the temperature; this effect is called the urban heat island effect. As a result, heat stress is experienced more quickly in a city; with climate change, the temperature in cities will only increase. In addition, the experience of heat stress varies from person to person, depending on various factors, namely a person's physical condition or age. Not only humans but all organisms can experience heat stress.

This study aims to identify the factors that cause people to experience heat stress and how this can be reduced utilizing design measures. Based on the problem definition and objective, the study's main question was formulated: 'What is the effect of design measures on reducing heat stress?' First, a literature review was conducted to identify the factors of heat stress and the urban heat island effect. Then a method was sought to quantify design measures using a simulation program. Next, design measures were examined based on the factors of heat stress and the urban heat island effect to further investigate the most appropriate design measures. Subsequently, a case study was carried out based on the design measures with which the measurements were tested. Finally, a toolbox was created describing the findings of the study.

Heat stress is experienced by people when the wind chill factor exceeds 29 degrees Celsius. The factors that influence the wind chill factor are: air temperature, radiation from the sun, earth and built environment, humidity, cloud cover, wind, evaporation, shade, anthropogenic activities, and a person's physical condition. Not all factors can be influenced by applying design measures. The factors that can be affected by using design measures are: the shadow, direct solar radiation, and radiation built environment. Shade and direct solar radiation overlap because no direct solar radiation reaches the body where there is shade. The effects of heat stress affect not only the health of people but the entire society. The availability and quality of water deteriorate, infrastructure becomes damaged, and the livability of both indoor and outdoor spaces deteriorates.

A city has adverse characteristics that cause the temperature to be higher than the surrounding area, called the urban heat island effect. Heat is retained longer in a city because there is a lot of paving, while greenery is often lacking. In addition, in a town, many high-rise buildings disrupt the wind flow so that it blows harder in some places while it blows softer in others. In the areas where the wind blows softer, the wind chill increases because there is less heat exchange between people and the air. High-rise buildings also cause the SVF to be lower than the surrounding area. As a result, the sunlight reflects between high-rise buildings causing the temperature to rise.

The most appropriate design measures were simulated using the program Tygron. After choosing an area, the publicly available data on the Netherlands' public space is loaded in this program. On top of that, the area can be adjusted to generate a better reflection of reality. The design measures are categorized into different cooling principles: reflection, shading, ventilation, and evaporation. The measures around the cooling principle of shade proved to be the most effective. Finally, placing trees along walkways proved the most appropriate design measure.

Next, the design measures were tested through a case study. The study examined the 336.353 m<sup>2</sup> Berlijnplein in Utrecht. Berlijnplein is located above the tunnel of the A2 and is being redesigned. The site's layout is based on existing designs, and the unknown buildings are estimated in the case study. The average wind chill of the redeveloped area should be one physiological stress level, or 6 °C, lower than the undeveloped area. This equates to a wind chill of 40,38 °C. The measures of softening surfaces and planting trees and shrubs have been used. Ultimately, 703 trees and 12.963 m<sup>2</sup> of shrubs need to be planted to lower the average wind chill of the area by 6 °C.

Design measures can reduce heat stress, and they have co-benefits. However, heat stress is primarily determined by the amount of direct solar radiation. Therefore, design measures that create shade are most effective. This is realized by planting trees and the realization of urban shading. In addition, paving does have a negative impact on heat stress; thus, softening areas helps reduce heat stress.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>Figuren- en tabellenlijst</b>	<b>11</b>
<b>Begrippenlijst</b>	<b>13</b>
<b>Inleiding</b>	<b>14</b>
<b>Probleemstelling</b>	<b>14</b>
<b>Doelstelling</b>	<b>15</b>
<b>Leeswijzer</b>	<b>15</b>
<b>1 Onderzoek</b>	<b>16</b>
1.1 Hoofdvraag	16
1.2 Deelvragen	16
1.3 Onderzoeksmethodiek	16
1.4 Projectgrenzen	17
<b>2 Hittestress</b>	<b>18</b>
2.1 Luchttemperatuur en straling aarde, zon en gebouwde omgeving	19
2.2 Luchtvochtigheid	19
2.3 Bewolking	20
2.4 Wind	20
2.5 Verdamping	21
2.6 Schaduw	21
2.7 Antropogeen	21
2.8 Fysieke gesteldheid mens	21
2.9 Klimaatverandering	22
<b>2.10 Gevolgen hittestress</b>	<b>24</b>
2.10.1 Water	24
2.10.2 Netwerken	25
2.10.3 Gezondheid	25
2.10.4 Buitenruimte	25
2.10.5 Leefbaarheid	25
<b>2.11 Beïnvloeden van de gevoelstemperatuur</b>	<b>25</b>



<b>3</b>	<b>Stedelijk hitte-eiland effect</b>	<b>27</b>
3.1.1	Formule Stedelijk hitte eiland effect	28
<b>3.2</b>	<b>Oorzaken stedelijk hitte-eiland effect</b>	<b>29</b>
3.2.1	Albedo/emissiviteit	29
3.2.2	Sky view factor (SVF)	31
3.2.3	Ventilatie	33
<b>4</b>	<b>Hittestress simuleren</b>	<b>34</b>
4.1	Tygron	34
<b>5</b>	<b>Ontwerpmaatregelen</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Koelen met groen</b>	<b>35</b>
5.1.1	Groengebieden aanleggen, behouden, verbeteren en oppervlakken ontharden	35
5.1.2	Multifunctioneel dak	37
<b>5.2</b>	<b>Koelen met blauw</b>	<b>38</b>
5.2.1	Besproeiing/verneveling (besprenkeling van de straten)	38
5.2.2	Singels, grachten of sloten aanbrengen/aanpassen	38
5.2.3	Aanleggen van vijvers, meren of fonteinen	38
<b>5.3</b>	<b>Koelen met grijs</b>	<b>38</b>
5.3.1	Koele verhardingsmaterialen, witte daken, lichte gevels en bestrating	38
5.3.2	Koele daken en gevels	39
5.3.3	Steden- bouwkundige zonwering	39
5.3.4	Windcorridors	39
5.3.5	Grote open ruimtes	39
<b>5.4</b>	<b>Geschikte ontwerpmaatregelen</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Casus</b>	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>42</b>
6.1.1	Gebiedseigenschappen	42
<b>6.2</b>	<b>Variant met gebouwen</b>	<b>43</b>
<b>6.3</b>	<b>Variant met gebouwen en groen (1)</b>	<b>43</b>
<b>6.4</b>	<b>Variant met gebouwen en bomen (2)</b>	<b>44</b>
<b>6.5</b>	<b>Variant met struiken en bomen (3)</b>	<b>44</b>
<b>6.6</b>	<b>Variant met nog meer bomen en struiken (4)</b>	<b>45</b>
<b>6.7</b>	<b>Variant met twee parken erbij (5)</b>	<b>45</b>
<b>6.8</b>	<b>Variant met bomen op binnenplaatsen en groen maken plantsoen (6)</b>	<b>46</b>
<b>6.9</b>	<b>Variant met de randen gevuld met bomen en bosjes (7)</b>	<b>46</b>
<b>6.10</b>	<b>Analyse varianten</b>	<b>47</b>
<b>6.11</b>	<b>Conclusie</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Toolbox</b>	<b>50</b>
7.1	Analyse effect bomen	50

<b>7.2</b>	<b>Analyse effect typen daken</b>	<b>52</b>
<b>7.3</b>	<b>Analyse effect struiken</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Conclusie</b>	<b>54</b>
<b>8.1</b>	<b>Conclusie hoofdvraag</b>	<b>54</b>
<b>8.2</b>	<b>Conclusies deelvragen</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Discussie en aanbevelingen</b>	<b>56</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage A Weergegevens hittegolf 2020</b>		<b>60</b>
<b>Bijlage B Analyse Verdamping</b>		<b>61</b>
<b>Bijlage C Analyse Sky View Factor</b>		<b>62</b>
<b>Bijlage D Rekenprincipes Tygron</b>		<b>63</b>
<b>Bijlage E Overzicht Ontwerpmaatregelen</b>		<b>64</b>
<b>Bijlage F GIS-kaarten Casus</b>		<b>65</b>
<b>Bijlage G GIS-kaarten ontwerpmaatregelen</b>		<b>66</b>
<b>Bijlage H Toolbox</b>		<b>67</b>

# Figuren- en tabellenlijst

Tabel 1: Overzicht van gevoelstemperatuur klassen met bijbehorende perceptie van fysiologisch stressniveau (RIVM, 2019) .....	18
Tabel 2: Scenario veranderingen voor het klimaat rond 2050 (2036 - 2060) (KNMI, 2015) .....	22
Tabel 3: Standaard scenario hittegolf 2020 en gemiddelde waarden SVF en Fveg .....	28
Tabel 4: Uitkomst analyse UHI.....	28
Tabel 5: De albedowaarden van gevel-, dak- en bestratingsmateriaal (ir. L. Kleerekoper, 2012) (Maroy, Carbonez, Steeman, Van de Vijver, & Van Den Bossche, 2015) .....	29
Tabel 6: Ontwerpmaatregelen 'Koelen met Groen'.....	40
Tabel 7: Ontwerpmaatregelen 'Koelen met Grijs' .....	41
Tabel 8: Ontwerpmaatregelen 'koelen met Blauw' .....	41
Tabel 9: Gebiedseigenschappen huidig gebied .....	42
Tabel 10: Gebiedseigenschappen met gebouwen en infrastructuur .....	43
Tabel 11: Vergelijking oplossingen casus studie.....	47
Tabel 12: Analyse windsnelheid na toepassen ontwerpmaatregelen .....	48
Tabel 14: Effecten boom op de gevoelstemperatuur .....	50
Tabel 15: Effecten gevoelstemperatuur verschillende typen daken.....	52
Tabel 16: Analyse gevoelstemperatuur struiken .....	53
Figuur 1: Hitte-eiland effect (Wat is een hitte-eiland?, n.d.) .....	14
Figuur 2: Schema onderzoeksmethodiek.....	17
Figuur 3: Factoren gevoelstemperatuur (Klimaat-effectatlas, n.b.) .....	18
Figuur 4: De relatie tussen hittestress en luchtvochtigheid .....	19
Figuur 5: De relatie tussen bewolking en temperatuur (Malmi, 2019).....	20
Figuur 6: De relatie tussen de gemiddelde temperatuur en de zonnestraling .....	20
Figuur 7: Klimaatscenario's (KNMI, n.b.) .....	22
Figuur 8: Vergelijking huidig klimaat en $W_h$ - scenario (Klimaat-effect Atlas, N.b.) .....	23
Figuur 9: Vergelijking lokale gevolgen hitte $W_h$ – scenario (Klimaat-effect Atlas, N.b.).....	23
Figuur 10: Gevolgen van hittestress (Hogeschool van Amsterdam, 2019) .....	24
Figuur 11: het stedelijk hitte-eiland effect (Pötz, 2016).....	27
Figuur 12: Gesimuleerde parkeervarianten (ir. L. Kleerekoper, 2012) .....	30
Figuur 13: Effect van verschillende varianten op luchttemperatuur op twee meter hoogte (ir. L. Kleerekoper, 2012) .....	30
Figuur 14: Resultaten verhogen albedo (Taleghani & Berardi, 2017) .....	31

Figuur 15: Visualisatie Sky View Factor (M. Dirksen, 2019).....	31
Figuur 16: Grafiek UHI <sub>max</sub> .....	32
Figuur 17: Visualisatie Urban Wind Island Effect (Droste, 2018).....	33
Figuur 18: Hitte module overlay Tygron.....	34
Figuur 19: Grasbeton (O2D Environmet, n.b.).....	35
Figuur 20: Groene gevel (Hassink, 2021) .....	36
Figuur 21: Typen groene daken (Papagreen, 2020).....	37
Figuur 22: Projectgrenzen Berlijnplein.....	42
Figuur 23: Gevoelstemperatuur braakliggende terrein.....	42
Figuur 24: Verschil gevoelstemperatuur tussen braakliggend terrein en variant met gebouwen.....	43
Figuur 25: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant gebouwen en variant 1.....	43
Figuur 26: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 1 en 2.....	44
Figuur 27: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 2 en 3.....	44
Figuur 28: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 3 en 4.....	45
Figuur 29: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 4 en 5.....	45
Figuur 30: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 5 en 6.....	46
Figuur 31: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 6 en 7.....	46
Figuur 32: Verschil gevoelstemperatuur tussen braakliggend gebied en variant 7.....	49
Figuur 33: Verloop van de schaduw bij een boom op 08-08-2020 .....	51

# Begrippenlijst

Begrip	Definitie/verklaring
<b>Akoestische eigenschappen</b>	De materiaaleigenschappen met betrekking tot geluid
<b>Albedo</b>	Weerkaatsingsvermogen van een oppervlak
<b>Antropogeen</b>	Door de mens veroorzaakt
<b>Belevingswaarde</b>	De mate waarin de gebruiker een omgeving als kwalitatief ervaart
<b>BIM</b>	Een bouwwerkinformatiemodel
<b>Biodiversiteit</b>	Omvat alle soorten planten, dieren en micro-organismen
<b>Chemische eigenschappen</b>	Eigenschappen met betrekking tot de scheikundige samenstelling
<b>Drainagelaag</b>	Een laag waar overtollig water heen stroomt
<b>Emissiviteit</b>	De mate van effectiviteit in het uitstralen van energie
<b>Evapotranspiratie</b>	De waterkringloop op aarde
<b>Fysiologisch stressniveau</b>	Stressniveau wat gepaard gaat met lichamelijke veranderingen
<b>Fysische eigenschappen</b>	Materiaaleigenschappen welke meetbaar zijn
<b>Hittestress</b>	Aandoening veroorzaakt door hitte
<b>Mechanische eigenschappen</b>	Eigenschappen met betrekking tot de reactie op toegepaste krachten
<b>Oppervlaktetemperatuur</b>	De temperatuur gemeten van een oppervlak
<b>Optische eigenschappen</b>	Eigenschappen met betrekking tot de invloed op lichtstralen
<b>Sedumbegroeiing</b>	Begroeiing in de vorm van vetplanten
<b>Sky View Factor (SVF)</b>	Een factor voor het gedeelte van de hemelkoepel wat zichtbaar is vanaf een bepaald punt
<b>Straling</b>	De verplaatsing van energie als golven of deeltjes
<b>Stralingsflux</b>	De som van de inkomende en uitgaande straling vanaf een bepaald punt
<b>Substraatlaag</b>	De voedingsbodem voor bijvoorbeeld planten
<b>Thermische eigenschappen</b>	Eigenschappen met betrekking tot warmte van het materiaal
<b>Vegetatiefactor</b>	Factor van de aanwezige vegetatie in een gebied
<b>Verneveling</b>	Een toepassing waarmee water in kleine druppels
<b>Wateropgave</b>	Het waterbeheer in een bepaald gebied

# Inleiding

Om de opleiding Civiele Techniek, aan de Hogeschool Rotterdam, af te ronden dient een afstudeeronderzoek gemaakt te worden. Het doel van het afstudeeronderzoek is om te bewijzen dat er genoeg kennis is opgedaan in de afgelopen jaren Civiele Techniek zodat je klaar bent om te gaan werken of door te studeren. Het onderzoek wordt zelfstandig uitgevoerd onder begeleiding van twee begeleiders, één van de Hogeschool Rotterdam en één van het afstudeerbedrijf.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van DWA installatie- en energieadvies. DWA houdt zich bezig met het verduurzamen van de wereld van morgen. Om dit te bewerkstelligen realiseert DWA onder andere het loskoppelen van woonwijken, het ontwerpen van energiezuinige en comfortabele kantoren en de CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt verminderd. Dit zijn echter maar een paar voorbeelden maar DWA doet nog meer dan dat. Door de temperatuurstijging en verstedelijking in Nederland gaat het comfort van het buitenklimaat een belangrijkere rol spelen. DWA wilt hieraan bijdragen door een complete gebiedsontwikkeling aan te bieden.

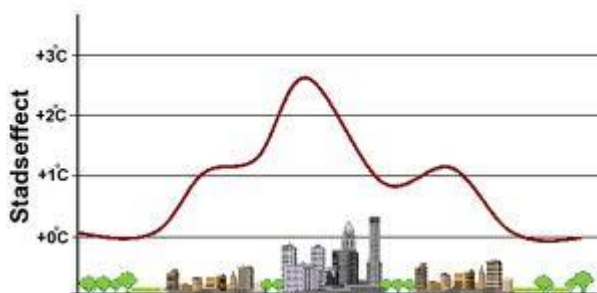
## Probleemstelling

De wereldeconomie wordt afhankelijker van steden omdat hier meer mogelijkheden en voorzieningen zijn voor mensen (PWC). In 1800 woonde ongeveer 2 procent van de wereldbevolking in steden. Echter trokken steeds meer mensen naar steden, met als gevolg dat in 2007 meer dan de helft van de wereldbevolking in steden leefde (Versnellende verstedelijking, n.d.). Het aantal mensen woonachtig in een stad zal alleen maar toenemen (CBS, 2019). Daarnaast verandert het klimaat door menselijke activiteiten wat enorme gevolgen heeft voor de leefbaarheid op aarde. Onder andere stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde (Nu.nl, 2019). Een bijkomend probleem wat zich al voordoet is het stedelijk hitte-eiland effect.

Een stedelijk hitte-eiland is een plek waar de temperatuur hoger is dan omliggende gebieden en komt voornamelijk voor in het centrum van een stad. De temperatuurstijging komt bijvoorbeeld door het ontbreken van voldoende wind en groen, gebruik van (vooral) donkergekleurde bouwmaterialen, daken en asfalt (Wat is een hitte-eiland?, n.d.). In de figuur hiernaast is een schematisering van het hitte-eiland effect te zien. Eerst werd er gedacht dat een hitte-eiland in Nederlandse steden niet of weinig effect heeft, maar het onderzoek 'Hitte en Klimaat in de Stad' ontkrachtte die gedachte.

Een voorbeeld van een Nederlandse stad waar het effect optreedt is Den Haag, hier is een temperatuurverschil t.o.v. het omliggende gebied van 8 graden Celsius gemeten in de hittegolf van 2006. Naast de onaangename temperatuur in een stad, heeft een hogere temperatuur als gevolg dat de arbeidsproductiviteit afneemt, mensen agressiever zijn, het gebruik van airco's toeneemt en er hogere sterfte- en ziektecijfers voorkomen (Hittestress: een onderschat probleem, 2016).

Hoe een gebied ontworpen moet worden om hittestress tegen te gaan is een relatief nieuw onderwerp. Er zijn nog geen duidelijke eisen als er een gebied ontworpen wordt. Om in de toekomst een stad aangenaam te houden/krijgen, moeten er eisen gesteld worden aan hittestress in een gebied. Een onderzoek naar de effecten van verschillende ontwerpparameters en de bijkomende ontwerpmaatregelen kan ervoor zorgen dat het onderzoek handvaten biedt voor ontwerpers om hittestress te verminderen.



Figuur 1: Hitte-eiland effect (Wat is een hitte-eiland?, n.d.)



## Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is om een toolbox te maken om het bepalen van ontwerpmaatregelen tegen hittestress te vergemakkelijken in een beginstadium. Daarnaast is de toolbox vergeleken met een simulatieprogramma, dat is gedaan om zowel het kwantitatieve verschil te meten. De toolbox is gemaakt zodat DWA een overzicht heeft met de ontwerpmaatregelen welke gebruikt kunnen worden om advies te geven over het verminderen van hittestress.

## Leeswijzer

Hoofdstuk 1 presenteert de aanleiding van het probleem, het onderzoek en de onderzoeksmethodiek. Hoofdstuk 2 en 3 beschrijven de relevante literatuur. Hoofdstuk 4 behandelt de mogelijkheden voor het simuleren van hittestress en het Stedelijke Hitte-Eiland effect (UHI). Hoofdstuk 5 laat zien welke ontwerpmaatregelen worden gebruikt in de casus en met de tool. Hoofdstuk 6 beschrijft de casus studie waarmee de ontwerpmaatregelen getoetst worden. Hoofdstuk 7 beschrijft de toolbox wat een handleiding is voor het ontwerpen van de buitenruimte. Hoofdstuk 8 concludeert het onderzoek en Hoofdstuk 9 beschrijft de discussie en aanbevelingen.

# 1 Onderzoek

---

De uitbreiding van de bouwfysische advisering binnen het team heeft geleid tot de vraag: hoe kan er ontworpen worden voor een koele buitenruimte van een stad? Momenteel adviseert het bouwfysica team op gebouwniveau, echter is het doel om ook te kunnen adviseren op gebiedsniveau. Het onderzoek is tweedelig; enerzijds zal blijken of de effecten van ontwerpmaatregelen op hittestress te kwantificeren zijn, anderzijds of hittestress gesimuleerd kan worden. De huidige kennis omtrent eisen en mogelijkheden gerelateerd aan een comfortabele buitenruimte zijn gelimiteerd, met voorgaande vragen zal een toolbox gecreëerd worden.

## 1.1 Hoofdvraag

Op basis van de benoemde aanleidingen, het verzoek van het stagebedrijf, en de probleemstelling is er een onderzoeksvraag opgesteld welke als volgt wordt beschreven:

**‘Wat is het effect van ontwerpmaatregelen op het verminderen van hittestress?’**

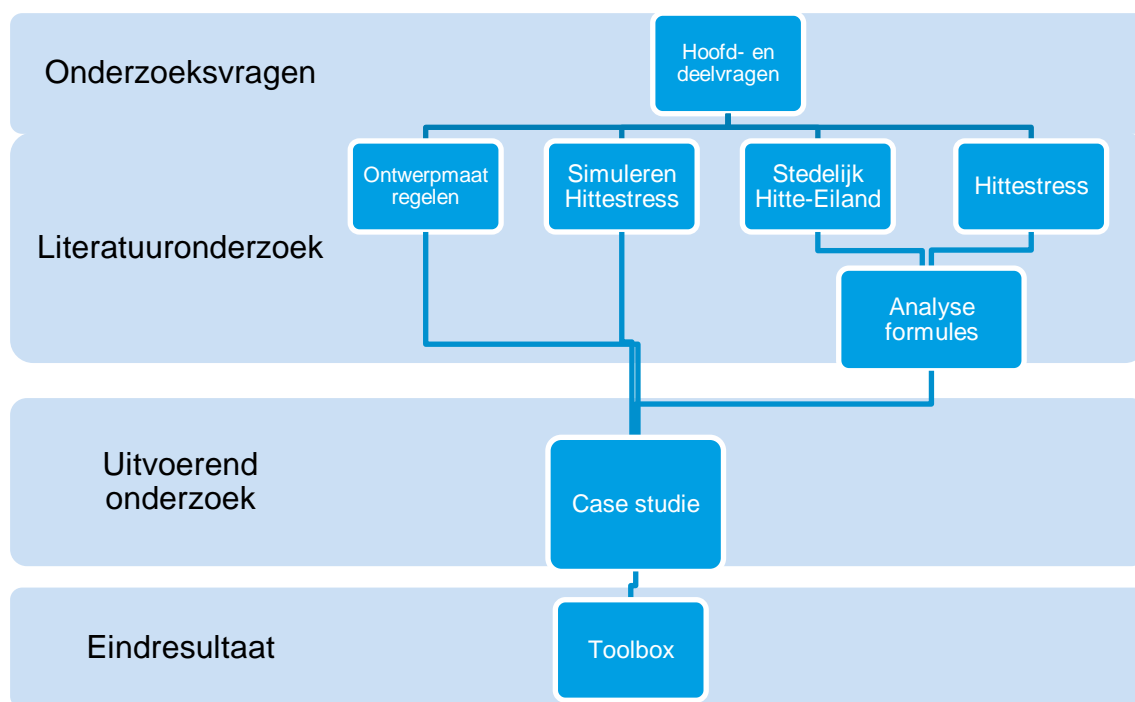
## 1.2 Deelvragen

Om het probleem te begrijpen en antwoord te geven op de hoofdvraag zullen de volgende deelvragen beantwoord worden:

1. Wat is er bekend over hittestress?
2. Wat is er bekend over het stedelijk hitte-eiland effect?
3. Welke ontwerpparameters zijn van belang bij het verminderen van hittestress?
4. Wat zijn de geschikte methodes om hittestress te simuleren?
5. Hoe zijn de ontwerpparameters te kwantificeren?

## 1.3 Onderzoeksmethodiek

Om de verschillende deelvragen en de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn verschillende onderzoeksmethoden gebruikt. Als eerste is in kaart gebracht wat hittestress en het hitte-eiland effect is. Dat is gedaan door middel van literatuurstudies en analyses van bestaande formules. De analyses van de formules brengen daarnaast in kaart welke ontwerpparameters van belang zijn bij het verminderen van hittestress en het hitte-eiland effect. Vervolgens is er onderzocht welke methodes er zijn om hittestress te simuleren en is daar de meest geschikte methode voor de casus gekozen. Als laatste stap voor de casus zijn de diverse ontwerpmaatregelen voor het tegengaan van hittestress onderzocht, daarnaast is het kwantificeren van de ontwerpmaatregelen onderzocht. Op basis van de verschillende ontwerpmaatregelen is een toolbox gemaakt welke gebruikt gaat worden in een casus studie. De uitkomsten van de casus studie zijn uiteindelijk vergeleken met de uitkomst van de gesimuleerde casus. Een visualisatie van de onderzoeksmethodiek is te vinden op de volgende pagina.



Figuur 2: Schema onderzoeksmethodiek

**De onderstaande literatuur is onderzocht in het beginstadium van het onderzoek:**

Climate Proof Cities. (2011). *Hitte en Klimaat in de Stad*. Ministerie van Infrastructuur en milieu.

Hogeschool van Amsterdam. (2019, April). *Mindmap hitte in de stad*. Opgehaald van Hitte Bestendige Stad: <https://www.hittebestendigestad.nl/mindmap/>

Hogeschool van Amsterdam. (2020). *De hittebestendige stad: Coolkit*. Amsterdam.: Kenniscentrum Techniek.

Klok, L., Jacobs, C., & Kluck, J. (2018). *Hoe verkoelend is water nu echt?* Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.

Kluck, J. (2020, mei 18). *Groen en schaduw helpen het beste tegen hitte in de stad*. Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/hittebestendige-stad/>

Malmi, J. K. (2019). *No Experimental Evidence For The Significant Anthropogenic Climate Change*. Turku: University of Turku.

Marieke Koster, M. v. (2014). *Ontwerpen met Klimaatadaptatie*. Velp: Hogeschool van Hall Larenstein.

Pötz, H. (2016). *Groenblauwe netwerken*. N.b.: Atelier GroenBlauw.

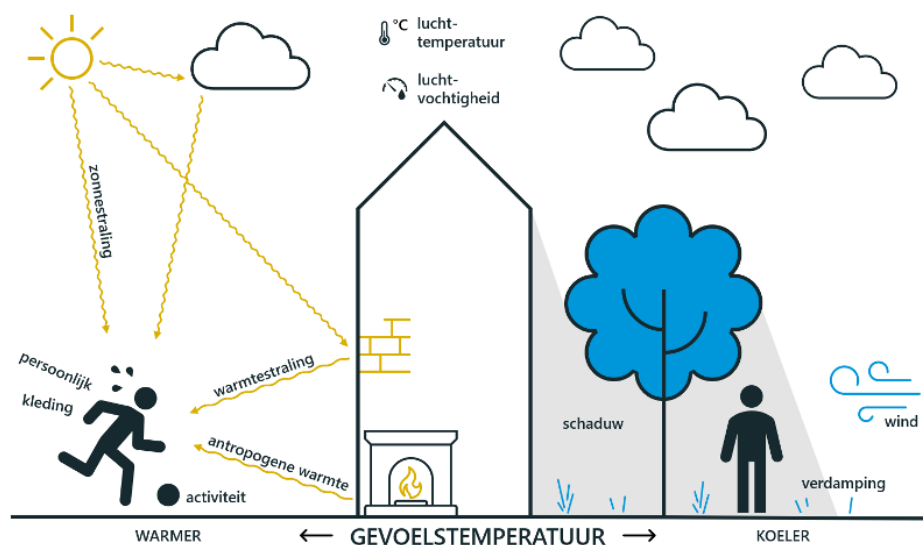
RIVM. (2019). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*. Bilthoven: RIVM.

## 1.4 Projectgrenzen

Het onderzoek focust op ontwerpmaatregelen gericht op het verminderen van hittestress en het stedelijk hitte-eiland effect. Bij het toetsen van de ontwerpmaatregelen is enkel gekeken naar maatregelen toepasbaar in het bestaande gebied. Er is niet gekeken naar ontwerpmaatregelen gericht op transformatie van het gehele gebied, zoals de oriëntatie van straten en de hoogte/breedte verhouding. Ontwerpmaatregelen zijn apart onderzocht waardoor het effect van één ontwerpmaatregel inzichtelijk wordt gemaakt. Ten slotte vallen de eigenschappen van een stad binnen de projectgrenzen, met als doel het beter begrijpen van de opwarming van een stad.

## 2 Hittestress

Hittestress is een aandoening bij mensen en dieren veroorzaakt door extreme hitte, die zich uit in diverse lichamelijke klachten (Algemeen Nederlands Woordenboek, 2017). Hittestress kan ervaren worden wanneer de gevoelstemperatuur te hoog wordt en het lichaam zichzelf niet meer kan koelen door te zweten. Aanwezigheid van hittestress is per persoon en van de omgeving afhankelijk. Hittestress kan ook voorkomen bij dieren en daarom zijn er bijvoorbeeld regels voor wanneer vee in de wei mag lopen. De gevoelstemperatuur wordt beïnvloed door verschillende factoren, zie Figuur 3: Factoren gevoelstemperatuur. De exacte kwalitatieve invloed is onbekend. Wel is er bekend dat de luchttemperatuur, de windsnelheid en de luchtvochtigheid een grote invloed hebben (Klimaatinfo, Z.d.). In dit hoofdstuk worden de factoren van hittestress, de relatie tussen klimaatverandering en hittestress, de gevolgen van hittestress, en het beïnvloeden van de factoren beschreven.



Figuur 3: Factoren gevoelstemperatuur (Klimaat-effectatlas, n.b.)

Hittestress wordt uitgedrukt in een fysiologisch stressniveau. Bij de ontwikkeling van de standaard stresstest hitte is geconcludeerd dat de gevoelstemperatuur onder 29 graden moet blijven. Bij een verhoging van de gevoelstemperatuur nemen de gezondheidsrisico's toe. In de tabel hieronder staan de verschillende gradaties van hittestress.

Tabel 1: Overzicht van gevoelstemperatuur klassen met bijbehorende perceptie van fysiologisch stressniveau (RIVM, 2019)

Gevoelstemperatuur [°C]	Perceptie	Fysiologisch stressniveau
0 – 4	Heel koud	Extreme koudestress
4 – 8	Koud	Sterke koudestress
8 – 13	Koel	Matige koudestress
13 – 18	Fris	Lichte koudestress
18 – 23	Comfortabel	Geen stress
23 – 29	Beetje warm	Lichte warmtestress
29 – 35	Warm	Matige warmtestress
35 – 41	Heet	Grote warmtestress
> 41	Zeer heet	Extreme warmtestress

## 2.1 Luchttemperatuur en straling aarde, zon en gebouwde omgeving

Het klimaatsysteem is een complex systeem met verschillende onderdelen zoals temperatuur, neerslag en zonnestraling. De zonnestraling is het begin van dit klimaatsysteem. De uitwisseling van energie tussen het aardoppervlak en de ruimte vindt uitsluitend plaats via straling. De zonnestraling is de voornaamste factor van de straling op aarde. Op verschillende plekken op aarde zijn andere weersomstandigheden waardoor de straling ervoor zorgt dat het op de ene plek warmer en op de andere plek kouder wordt. Een verschil in temperatuur zorgt ervoor dat er stroming ontstaat, in zowel de lucht als de oceanen.

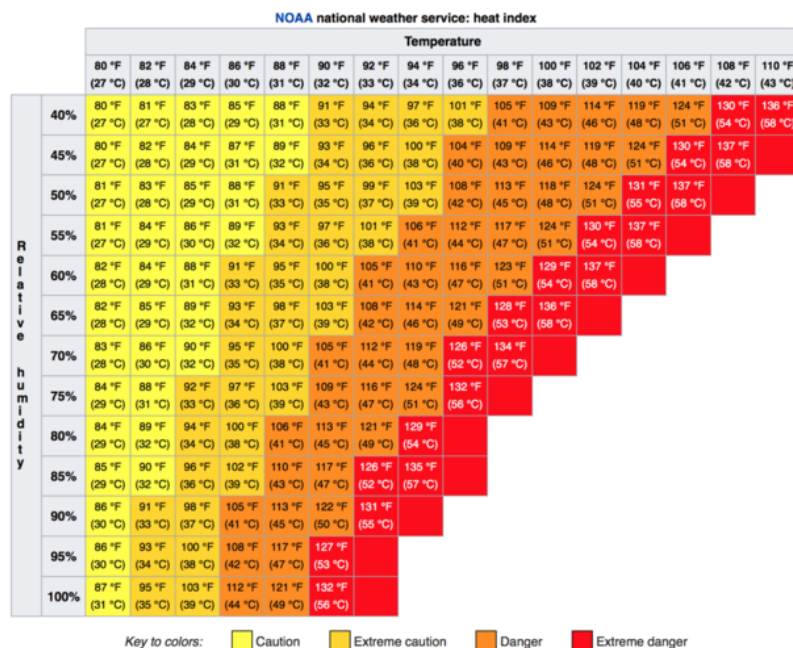
Er zijn twee verschillende soorten straling; korte- en lange golfstraling (KNMI, N.b.). Het grootste deel van de straling van de zon is kortgolvig, dit komt door de hoge temperaturen van de zon (+/- 5500 °C). De golflengtes zijn tussen de 0.2 en 3 micrometer. De meeste zonnestraling wordt opgenomen door het aardoppervlak en de atmosfeer. Daarnaast wordt een deel teruggekaatst door onder andere wolken of sneeuw. De langgolelige straling wordt door het aardoppervlak zelf uitgezonden. Dit komt door de lagere temperatuur op aarde en haar omliggende atmosfeer (+/- 20 °C). Door de lage temperatuur op aarde zijn de golven van de straling langer, variërend van 3 tot 50 micrometer. Als de stralingsflux op een plaats positief is, stijgt de luchttemperatuur. Bij een negatieve waarde daalt de temperatuur.

Naast de straling van de aarde, wordt de straling van de zon opgenomen door de gebouwde omgeving. Materialen hebben verschillende eigenschappen, twee belangrijke eigenschappen voor de temperatuur van het materiaal zijn albedo en de emissiviteit. De albedo is een factor waarmee wordt uitgedrukt hoeveel van de binnenkomende straling wordt geabsorbeerd door het materiaal. Een wit dak reflecteert meer straling dan een zwart dak. De emissiviteit is de mate waarin het materiaal de geabsorbeerde straling weer uitstraalt.

Hoe groter de straling op een bepaalde plek, hoe hoger temperatuur is. Echter kan de hoeveelheid straling van de zon en aarde niet beïnvloed worden door de gebouwde omgeving. Dit wordt hierom niet verder onderzocht in dit onderzoek. De straling van de gebouwde omgeving kan wel beïnvloed worden, op de totale invloed van de gebouwde omgeving wordt later ingegaan.

## 2.2 Luchtvochtigheid

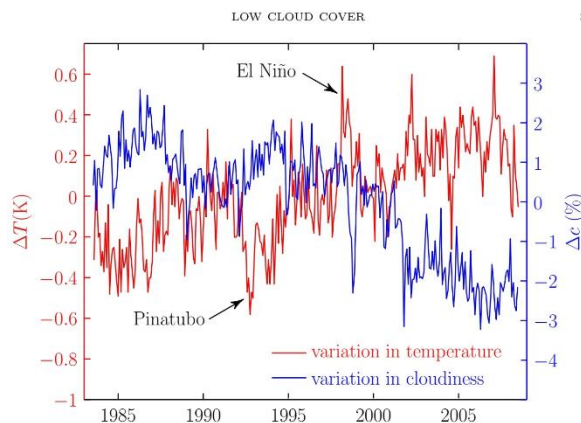
De ideale lichaamstemperatuur van een mens is ongeveer 37 graden. Het lichaam produceert warmte als het actief is en het moet deze warmte kwijt raken om de ideale lichaamstemperatuur te behouden. Door het zweten wordt de huid nat en het zweet verdampt uiteindelijk. De warmte die nodig is voor het verdampen van het zweet wordt onttrokken uit het lichaam. Hoe hoger de luchtvochtigheid, hoe moeilijker het is om het zweet te verdampen en dat resulteert in een hogere gevoelstemperatuur en dus meer hittestress. In de tabel hiernaast van het National Oceanic and Atmospheric Administration staat de relatie tussen de temperatuur (horizontaal) en de relatieve luchtvochtigheid (verticaal) aangegeven. De relatie tussen deze factoren wordt uitgedrukt in de mate van hittestress. Hieruit blijkt dat bij een hogere luchtvochtigheid, meer hittestress ervaren wordt. De luchtvochtigheid van de lucht is niet te beïnvloeden door de gebouwde omgeving omdat het voort komt uit verschillende weersfactoren. Lokaal is de luchtvochtigheid wel te beïnvloeden door bijvoorbeeld het planten van bomen en planten of met vernevelingsinstallaties.



Figuur 4: De relatie tussen hittestress en luchtvochtigheid

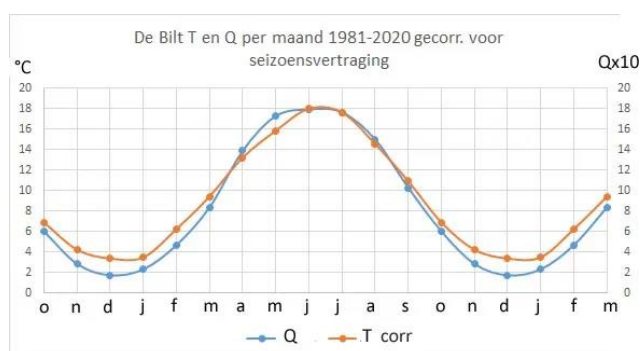
## 2.3 Bewolking

Wolken hebben een grote invloed op de stijging van temperatuur. Als er bewolking aanwezig is, wordt de straling van de zon teruggekaatst waardoor de straling niet het aardoppervlak bereikt. Een onderzoek van J. Kauppinen en P. Malmi naar de relatie tussen de hoeveelheid bewolking en de temperatuur heeft geconcludeerd dat er een direct verband is. In het figuur hieronder is te zien dat als de bewolking afneemt, de temperatuur toeneemt. Vervolgens hebben zij geconcludeerd dat 1% meer lage bewolking leidt tot een temperatuurverlaging van 0,11 C.



Figuur 5: De relatie tussen bewolking en temperatuur (Malmi, 2019)

Wereldwijd daalde de hoeveelheid bewolking vanaf de jaren tachtig maar steeg de gemiddelde temperatuur op aarde (Compendium voor de Leefomgeving, 2018). In Nederland steeg het gemiddelde aantal zonuren over een periode van 40 jaar met ongeveer 25%. Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de relatie tussen de zonnestraling en de gemiddelde temperatuur in Nederland. In Nederland heeft de temperatuur van het zeewater invloed op de luchttemperatuur. Waardoor de opwarming van de lucht afgeremd wordt, er is een vertraging tussen het gevolg van de hoeveelheid zonnestraling en de temperatuur. In de grafiek hiernaast is te zien dat er een direct verband is tussen de hoeveelheid zonnestraling en de luchttemperatuur.



Figuur 6: De relatie tussen de gemiddelde temperatuur en de zonnestraling

## 2.4 Wind

Wind is een belangrijke factor voor zowel de lucht- als gevoelstemperatuur. Wind stimuleert de uitwisseling van warmte tussen de bodem en de lucht maar ook tussen het lichaam en de lucht. Overdag voert de wind zowel de vocht en de warmte af. 's Nachts is de invloed van de wind anders dan overdag. Er is geen zonnestraling en dus zal het aardoppervlak afkoelen, maar de lucht zal nauwelijks afkoelen. Het verschil in temperatuur kan ervoor zorgen dat er condensatie optreedt, hiervoor moet de temperatuur van de bodem onder het dauwpunt zijn. Daarnaast kan de lagere temperatuur van het aardoppervlak ervoor zorgen dat er meer warmte van de lucht naar het aardoppervlak gaat. Als dit het geval is, werkt de wind juist verwarmend voor de aarde. Dit is vaak het geval gedurende de nazomer in de kustgebieden. Het zeewater, en dus de lucht, is warmer waardoor het een aantal graden warmer is in vergelijking met landinwaarts. De windsnelheid in een stad wordt beïnvloed door de gebouwde omgeving, hier wordt in het volgende hoofdstuk verder op ingegaan.



## 2.5 Verdamping

Bij het verdampen van een vloeistof is warmte nodig, externe of interne warmte. Het verdampen van water heeft een externe warmtebron nodig, ofwel het verdampen van water is een endotherm proces. Daardoor zorgt het verdampen ervoor dat de temperatuur in de buurt van het water lager wordt (Kennisportaal klimaatadaptatie, 2018). Daarnaast kan er onderscheid gemaakt worden tussen open water en gebroken water zoals fonteinen. Open water zal een sterker verkoelend effect hebben dan gebroken water omdat open water stroomt en de warmte wordt afgevoerd. In Bijlage B Berekening Verdamping staat een berekening van de verdamping van open water op 08-08-2020. Verdamping vindt ook plaats bij planten en bomen. Het proces fotosynthese heeft de energie van het zonlicht nodig om uiteindelijk kooldioxide en water om te zetten in suiker en zuurstof. Het heeft een positieve invloed op de hoeveelheid zonlicht dat de lucht kan verwarmen en de verdamping zorgt daarbovenop ervoor dat er warmte wordt onttrokken (Examenoverzicht, n.b.).

Het onderzoek 'Are urban water bodies really cooling?' onderzocht vier verschillende typisch Nederlandse oppervlaktewateren; een vijver, een singel, een greppel en een gracht. De oppervlaktewateren werden vervolgens getoetst door het toepassen van een Computational Fluid Dynamics model (CFD) model. De gevoelstemperatuur werd gesimuleerd waaruit een gemiddeld PET (Physiological Equivalent Temperature = gevoelstemperatuur) vermindering van 0,6 °C en een maximum van 1,9 °C. Dit is een kleine vermindering van de gevoelstemperatuur, in vergelijking met de gemeten hittestress zorgt het water er niet voor dat de hittestress een schaal verlaagd wordt, zie Tabel 1: Overzicht van PET klassen met bijbehorende perceptie van fysiologisch stressniveau (RIVM, 2019). Alleen het realiseren van oppervlaktewater wordt daarom niet gezien als effectieve maatregel. Als oppervlaktewater zo ontworpen wordt dat het een verblijfsplek is, kan het wel bijdragen aan het reduceren van hittestress.

## 2.6 Schaduw

Het creëren van schaduw kan resulteren in een gevoelstemperatuur van ongeveer 10 – 15 graden lager dan in de zon (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Dat komt onder andere omdat de hoeveelheid zonnestraling wat het oppervlak bereikt al snel 10x kleiner is (Shahidan, 2015). In een centrum zorgt de hoogbouw ervoor dat er al veel schaduw aanwezig is, echter zorgt hoogbouw er ook voor dat zonnestraling intern wordt gereflecteerd wat juist weer voor een verhoging van de temperatuur zorgt. Bomen in tegendeel, zorgen ook voor schaduw maar hebben niet dit ongewenste bijkomend effect. Hiernaast zorgen bomen ook voor verdamping, wat voor verkoeling kan zorgen. Te veel schaduw in een gebied kan ervoor zorgen dat de gevoelstemperatuur in de winter onaangenaam wordt, bomen die de bladeren verliezen in de herfst zorgen ervoor dat dit minder snel voorkomt.

## 2.7 Antropogeen

Antropogene activiteiten zorgen ervoor dat omgeving opgewarmd wordt. Antropogene warmte is de warmte die vrijkomt bij menselijke activiteiten (Klok, ten Broeke, Verhagen, Kok, & Zwart, 2010). Een aantal voorbeelden hiervan zijn het verkeer, de koeling van gebouwen en de warmteproductie door productieprocessen. De totale invloed van de antropogene activiteiten op het UHI is onduidelijk maar wordt voor Nederland minimaal geschat (Pötz, 2016). Een warme dag zorgt ervoor dat de energie die nodig is voor de koeling van een gebouw verhoogd wordt. Een stijging van de gemiddelde temperatuur door klimaatverandering zorgt ervoor dat er meer energie nodig is voor de koeling van gebouwen.

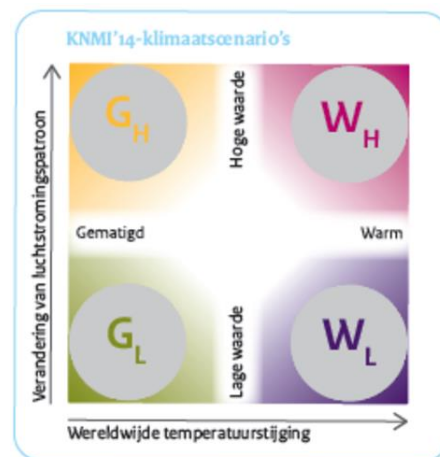
## 2.8 Fysieke gesteldheid mens

Per persoon verschilt het hoeveel hittestress wordt ervaren. De fysieke gesteldheid en de leeftijd van een persoon kan ervoor zorgen dat er bij een combinatie van omstandigheden het lichaam de warmte niet meer kwijt kan. Mensen die obesitas hebben zullen sneller hittestress ervaren in vergelijking met gezonde mensen. Daarnaast heeft bijvoorbeeld de kledingkeuze een grote invloed. De plek waar iemand zich bevindt, zoals in de schaduw of in de zon is ook belangrijk voor de hoeveelheid hittestress.

## 2.9 Klimaatverandering

Het klimaat verandert wereldwijd en om zo goed mogelijk voorbereid te zijn op de toekomst heeft het KNMI vier verschillende klimaatscenario's opgesteld. Er wordt rekening gehouden met een verschillende temperatuur stijging (Gematigd of Warm) en luchtstromingspatronen (Lage of Hoge waarde) (KNMI, 2015). Dit resulteert in de klimaatscenario's  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$ , zie de figuur hieronder. De verschillende scenario's komen voort uit het rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change uit 2013. Ze geven een inschatting van het klimaat rond 2050 in vergelijking met de periode van 1981-2010.

In Tabel 2 staan de verwachtingen van de verschillende klimaatscenario's weergegeven. Hierin is te zien dat de gemiddelde temperatuur stijgt met 1,0 – 2,3 °C in het jaar 2050. Daarnaast neemt het aantal 'koude dagen' af en stijgt het aantal zomerdagen met 22 – 70 %.

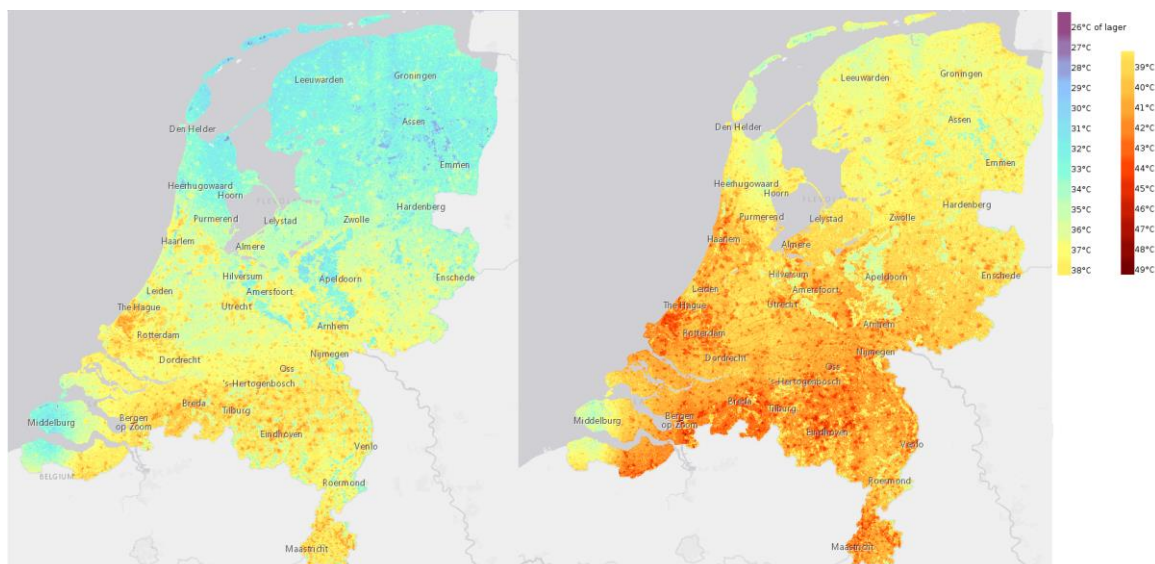


Figuur 7: Klimaatscenario's (KNMI, n.b.)

Tabel 2: Scenario veranderingen voor het klimaat rond 2050 (2036 - 2060) (KNMI, 2015)

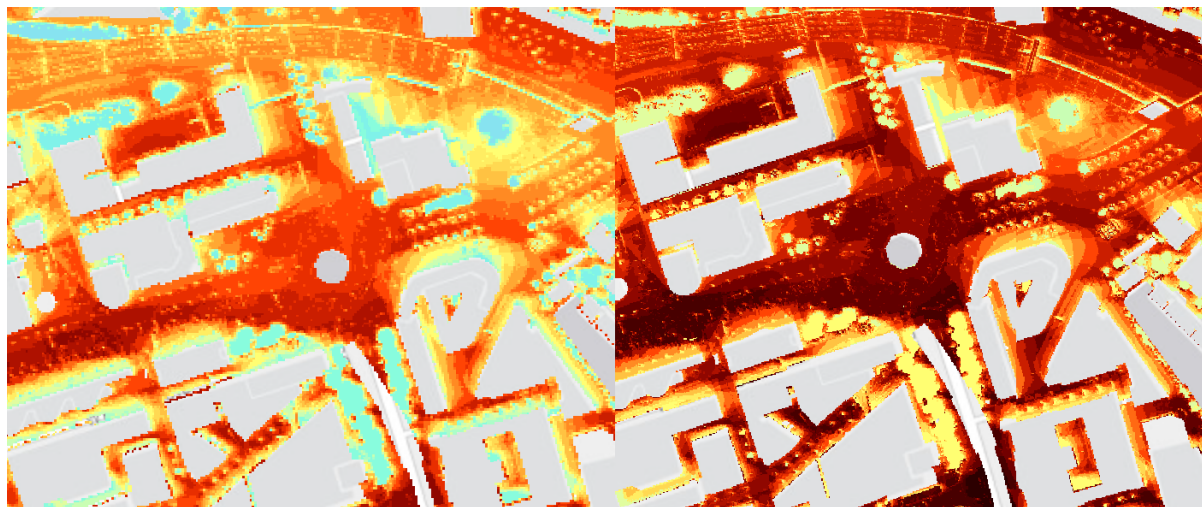
Indicatoren	1951-1980	1980-2010	$G_L$	$G_H$	$W_L$	$W_H$
Gemiddelde Temperatuur	9,2 °C	10,1 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,0 °C	+2,3 °C
Zomerdagen (max $\geq$ 25 graden)	13 dagen	21 dagen	+22 %	+35 %	+40 %	+70 %
Gemiddelde Temperatuur zomer	16,1 °C	17,0 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+1,7 °C	+2,3 °C
Aantal vorstdagen (min $<$ 0 graden)	42 dagen	38 dagen	-30 %	-45 %	-50 %	-60 %
Aantal ijsdagen (max $<$ 0 graden)	11 dagen	7,2 dagen	-50 %	-70 %	-70 %	-90 %

De gemiddelde temperatuur stijgt in Nederland en daarmee stijgt ook de gemiddelde gevoelstemperatuur omdat de gevoelstemperatuur in relatie staat met de luchttemperatuur. In de figuur op de volgende pagina is links de weermeting van de gevoelstemperatuur te zien op 1 juli 2015, een zomerse dag die eens in de 5,5 jaar voorkomt. Op de rechterkaart van Nederland is de gevoelstemperatuur te zien bij een klimaatverandering van het  $W_H$ -scenario in het jaar 2050. De kaart laat de gemiddelde waarde zien van de gevoelstemperatuur op een hete zomerdag in het tijdvak 12:00-18:00. Uit de figuur hieronder is op te maken dat de gevoelstemperatuur enorm stijgt als het scenario uitkomt.



Figuur 8: Vergelijking huidig klimaat en W<sub>h</sub>- scenario (Klimaat-effect Atlas, N.b.)

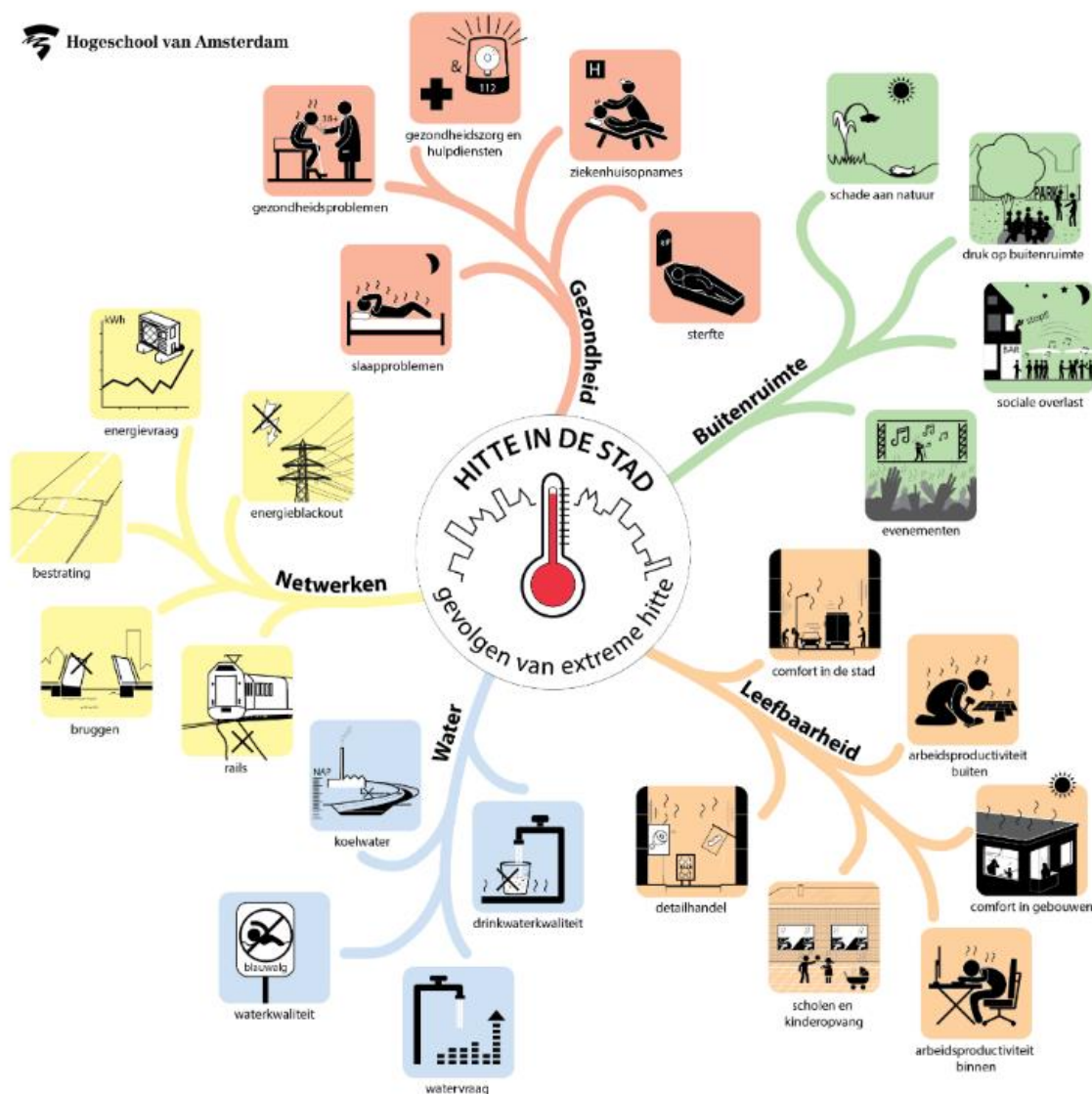
Daarnaast kan de temperatuur lokaal verschillen van de landelijke kaart. Zo is te zien op de figuur hieronder dat de temperatuur op het Hofplein in Rotterdam ongeveer 44 graden is bij omstandigheden van de weermetingen op 1 juli 2015, deze weersomstandigheden komen ongeveer elke 5,5 jaar voor. In vergelijking met de figuur daarnaast, waar de temperatuur minstens 49 graden is, stijgt de gevoelstemperatuur tot ondragelijk in dit voorbeeld. De verwachtingen bevestigen dat hittestress in stedelijk gebied in het huidige klimaat aanwezig is en in de toekomst met klimaatverandering alleen maar zal toenemen.



Figuur 9: Vergelijking lokale gevolgen hitte W<sub>h</sub> - scenario (Klimaat-effect Atlas, N.b.)

## 2.10 Gevolgen hittestress

Hittestress gaat vaak gepaard met een periode van hoge temperaturen en langdurige droogte. De gevolgen van hittestress kunnen enorm zijn en hebben invloed op verschillende aspecten. Deze zijn opgedeeld in vijf soorten gevolgen (Hogeschool van Amsterdam, 2019): water, netwerken, gezondheid, buitenruimte en leefbaarheid. In de figuur hieronder is een overzicht te zien van de gevolgen.



Figuur 10: Gevolgen van hittestress (Hogeschool van Amsterdam, 2019)

### 2.10.1 Water

De gevolgen voor het water in Nederland hebben betrekking op de beschikbaarheid van koel- en drinkwater en de kwaliteit van drink- en oppervlaktewater. Het koelwater wordt gebruikt door bijvoorbeeld datacenters en energiecentrales. Het energie verbruik stijgt als het water wat gekoeld moet worden een hogere temperatuur heeft. Bij warme en droge periodes wordt de vraag naar water vaak groter, meer mensen hebben het water nodig. Een tekort aan water verlaagt de druk in waterleidingen waardoor de waterkwaliteit ook lager wordt. Een stijging van de temperatuur in oppervlaktewater stimuleert onder andere de algengroei en ziekteverwekkende organismen.

### 2.10.2 Netwerken

Naast de gevolgen voor het water heeft hitte invloed op de grootschalige netwerken, denk hierbij aan de energievraag, de bestrating, de bruggen en de rails. Energiebedrijven merken op dat er ongeveer 10 procent meer energievraag is ten opzichte van een gemiddelde dag als er temperaturen voorkomen van ongeveer 30 graden. Bruggen en rails reageren op een temperatuurstijging doordat ze uitzetten, dit heeft als gevolg dat bruggen niet meer open of dicht kunnen en rails kunnen ombuigen. Bestrating is vaak gemaakt in de vorm van asfalt en een te hoge temperatuurstijging voor het asfalt zorgt ervoor dat de bestrating beschadigd raakt.

### 2.10.3 Gezondheid

De gezondheid van mensen wordt sterk beïnvloed door hittestress en dat resulteert in hogere sterftcijfers gedurende een hittegolf, een stijging van het aantal ziekenhuisopnames, slaapproblemen en andere gezondheidsproblemen. Als er meer mensen ziek worden, is er over het algemeen meer gezondheidszorg nodig en dus zorgt het er ook voor dat de druk op de zorg toeneemt.

### 2.10.4 Buitenruimte

Hitte treft niet alleen de mens maar ook de buitenruimte zoals de natuur. Planten kunnen dood gaan omdat ze niet bestand zijn tegen de hitte en droogte. Dieren kunnen, net als mensen, hittestress ervaren waardoor dieren door kunnen gaan. Gedurende een hittegolf wordt de druk op de buitenruimte groter omdat veel mensen de openbare ruimte intrekken om verkoeling te zoeken. Daarnaast zijn mensen langer buiten en is de kans op overlast groter. Als laatste gevolg voor de buitenruimte, kunnen evenementen extra last ervaren. Op een evenement is er vaak meer fysieke inspanning waardoor er eerder hittestress ervaren kan worden.

### 2.10.5 Leefbaarheid

De algemene leefbaarheid van een gebied wat een hittegolf heeft neemt af. Men kan minder fysieke inspanning leveren en dus gaat de algehele arbeidsproductiviteit omlaag, zowel binnen als buiten en voor zowel op werk als op school. Een stad is niet meer comfortabel om in te verblijven en dat geldt ook voor gebouwen. Daardoor gaan minder mensen winkelen of even de stad in waardoor de detailhandel minder omzet maakt.

## 2.11 Beïnvloeden van de gevoelstemperatuur

Hittestress kan ervaren worden wanneer de gevoelstemperatuur een bepaalde waarde heeft bereikt. Zoals eerder is verteld zijn er veel factoren die invloed hebben op de gevoelstemperatuur van een mens. Methodes hoe de gevoelstemperatuur wordt berekend zijn niet volledig en verschillende onderzoeken zijn hier mee bezig. Mensen ervaren hittestress als de gevoelstemperatuur hoger is dan 29,0 graden (Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, 2020). Eerder in dit hoofdstuk zijn de verschillende invloeden op de gevoelstemperatuur beschreven. In het overzicht hieronder staat beschreven of ontwerpmaatregelen van de gebouwde omgeving invloed hebben op de factor:

1. Luchttemperatuur: De luchttemperatuur wordt bepaald door weersinvloeden maar ook door de gebouwde omgeving als deze optimaal ontworpen is.
2. Straling aardoppervlak: De hoeveelheid straling van de zon op het aardoppervlak kan niet beïnvloed worden door de gebouwde omgeving.
3. Directe zonnestraling: De hoeveelheid directe zonnestraling wordt mede bepaald door de hoeveelheid wolken aanwezig in de lucht. Daarnaast heeft het te maken met de schaduw. De directe zonnestraling wordt beïnvloed door de gebouwde omgeving.



4. Straling vanuit de gebouwde omgeving: De straling van de gebouwde omgeving wordt beïnvloed door de gebouwde omgeving. De materiaaleigenschappen van een stad bepalen de hoeveelheid straling.
5. Luchtvochtigheid: De luchtvochtigheid kan lokaal beïnvloed worden door de hoeveelheid water wat aanwezig is in een gebied. Echter, wordt de luchtvochtigheid grotendeels bepaald door de weersomstandigheden.
6. Bewolking: De hoeveelheid bewolking wordt bepaald door weersinvloeden en kan niet beïnvloed worden door de gebouwde omgeving.
7. Wind: Grotendeels wordt de hoeveelheid wind bepaald door weerinvloeden maar wel kan er lokaal wind gecreëerd worden. Daarnaast kan een optimale indeling van een stad de windsnelheid bevorderen
8. Schaduw: De hoeveelheid schaduw in een gebied kan beïnvloed worden door de gebouwde omgeving. Bijvoorbeeld door het plaatsen van bomen.
9. De mens: De gebouwde omgeving heeft deels invloed op de mentale en fysieke gesteldheid van een mens. Een mens wat zich prettig voelt zal minder snel hittestress ervaren.

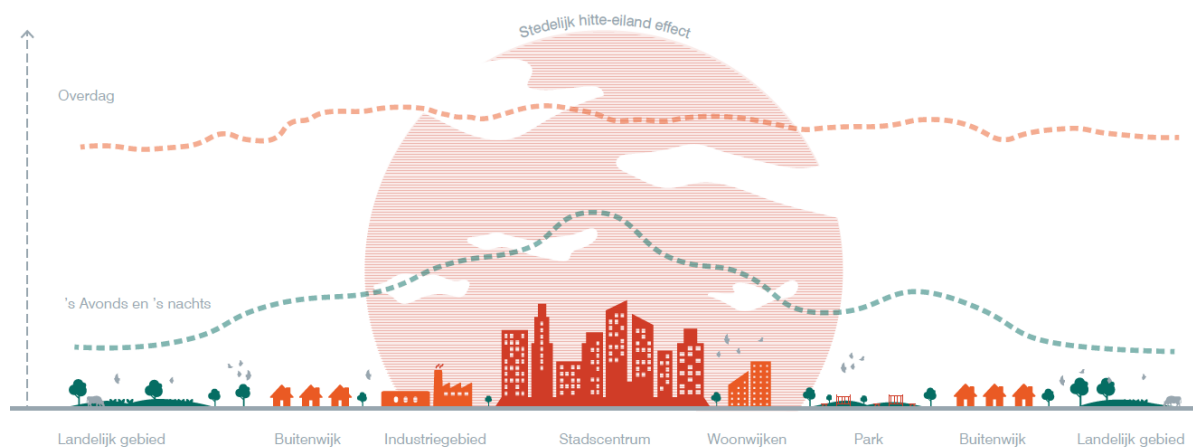
De factoren van de gebouwde omgeving welke de gevoelstemperatuur beïnvloeden zijn: schaduw, directe zonnestraling en straling vanuit de gebouwde omgeving. Daarnaast zijn de luchtvochtigheid en wind beïnvloedbaar door de gebouwde omgeving maar in mindere mate. De factoren kunnen onderverdeeld worden in verkoelingsprincipes. Zo kunnen ontwerpmaatregelen worden getroffen welke betrekking hebben op de verdamping, schaduw, reflectie en ventilatie. Ontwerpmaatregelen welke koelen volgens het principe van schaduw en verdamping zijn het efficiëntst.



### 3 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 (Climate Proof Cities, 2011). De hoogbouw verstoort het natuurlijke windpatroon waardoor er minder wind is en de ventilatie werking van de wind minder optreedt (Atlas Leefomgeving, N.b.). Daarnaast, wordt warmte langer vastgehouden omdat een groot deel van een stad bebouwd en verhard is (Marieke Koster, 2014).

In de figuur hieronder is te zien dat de luchttemperatuur gedurende een dag minimaal verschil heeft, maar de oppervlaktetemperatuur sterk verschilt tussen het centrum en de omringende gebieden. 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 hoogbouw centrum weinig afkoelt.



Figuur 11: het stedelijk hitte-eiland effect (Pötz, 2016)

Het Hitte-Eiland Effect (Urban Heat Island: UHI) kan in 3 typen onderscheiden worden (Climate Proof Cities, 2011):

- Het oppervlakte UHI, het verschil in oppervlaktetemperatuur tussen stad en omringende platteland;
- Het atmosferische UHI, het verschil in luchttemperatuur tussen stad en omringende platteland. Het atmosferische UHI kan worden onderverdeeld in:
  - UHI van de atmosferisch grenslaag boven de stad ('Urban Boundary Layer UHI') waarvan de intensiteit afhangt van de geografische ligging van de stad, algemene configuratie en morfologie.
  - UHI op leefniveau ('Urban Canopy Layer UHI'), waar de aanwezigheid van gebouwen, straatoppervlak, bomen en water een direct, merkbaar effect heeft op het klimaat op leefniveau (microklimaat).

De UHI op leefniveau heeft het meeste invloed op de mate waarin hittestress ervaren wordt. Doordat de verschillende aspecten van hittestress terug te vinden zijn in de beschrijving van de UHI op leefniveau.

### 3.1.1 Formule Stedelijk hitte eiland effect

De formule voor het berekenen van het  $UHI_{max}$ , temperatuur verschil tussen het stadscentrum en het omliggende landelijke gebied, bestaat uit verschillende variabelen (RIVM, 2019). De Sky View Factor (SVF) en de vegetatiefactor ( $F_{veg}$ ) zijn variabelen welke beïnvloed worden door het ontwerpen van stedelijke gebieden. De SVF is een factor van de hoeveelheid lucht wat 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 temperatuur en de gemiddelde windsnelheid komen voort uit de weersinvloeden.

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

Waarin:

$UHI_{max}$	= Dagelijks maximale urban heat island	[°C]
SVF	= Sky View Factor	[-]
$F_{veg}$	= Vegetatiefactor	[-]
S	= Gemiddelde uurlijkse globale straling	[W/m <sub>2</sub> ]
$T_{max}$	= Maximum temperatuur	[°C]
$T_{min}$	= Minimum temperatuur	[°C]
u	= Gemiddelde windsnelheid	[m/s]

#### Analyse formule

De invloed van de variabelen wordt bepaald aan de hand van een minimale en maximale waarde. Daarnaast is er een standaard scenario samengesteld wat 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 maximum temperatuur, en gemiddelde windsnelheid in staan, wordt de invloed van de SVF en  $F_{veg}$  berekend. Volgens (N.E. Theeuwes, 2017) varieert de  $F_{veg}$  en SVF in Nederlandse steden respectievelijk van 0 – 0.4 en 0.2 – 0.9. Daarnaast beïnvloedt de gebouwde omgeving de gemiddelde uurlijkse globale straling, min- en maximum temperatuur en de gemiddelde windsnelheid niet. Voor deze factoren worden de waarden van 08-08-2020 aangenomen, in Bijlage A Weergegevens hittegolf 2020 is de complete tabel te vinden waarin de waardes staan. Hieronder is een overzicht te zien van het bereik, de uitkomst en het standaard scenario:

Tabel 4: Uitkomst analyse UHI

Factor	Bereik	Eenheid	Bereik uitkomst	Eenheid
SVF	0,2 ≤ 0.9	[-]	4,02 ≤ 7,32	[°C]
$F_{veg}$	0,0 ≤ 0.4	[-]	4,96 ≤ 6,85	[°C]

#### Conclusie

Uit de analyse van de formule is op te maken dat het verschil in  $UHI_{max}$  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 effectiefst om rekening te houden met de SVF, echter is het aanpassen van de SVF 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  $F_{veg}$ .

Tabel 3: Standaard scenario hittegolf 2020 en gemiddelde waarden SVF en  $F_{veg}$

Factor	Waarde	Eenheid
S	461	[W/m <sub>2</sub> ]
$T_{max}$	33,90	[°C]
$T_{min}$	21,60	[°C]
U	2,45	[m/s]
SVF	0,55	[-]
$F_{veg}$	0,2	[-]

## 3.2 Oorzaken stedelijk hitte-eiland effect

De stad heeft een hogere temperatuur dan het buitengebied omdat hier gebruik wordt gemaakt van bouwmaterialen die eigenschappen hebben welke hitte vasthouden. De chemische samenstelling van een materiaal bepaalt de eigenschappen. Er zijn verschillende soorten eigenschappen: mechanische, thermische, chemische, fysische, akoestische en optische. Naast de eigenschappen van de bouwmaterialen is er een verschil in de aanwezigheid van vegetatie, groene gebieden hebben een effect dat het de stad koelt (Climate Proof Cities, 2011).

### 3.2.1 Albedo/emissiviteit

Het reflecterend vermogen van een stad wordt bepaald door de materiaaleigenschappen albedo en emissiviteit. De emissiviteit van een materiaal bepaald de hoeveelheid uitgezonden langgolvlige straling van het oppervlak. De albedo heeft een waarde tussen 0 en 1 waarmee de factor van het reflecterende zonlicht wordt bepaald. Deze twee eigenschappen hebben invloed op de oppervlaktetemperatuur (Pötz, 2016). In stedelijke gebieden is de albedo gemiddeld slechts 0,05, dat houdt in dat er weinig straling wordt teruggekaatst en veel straling wordt opgenomen door het materiaal waardoor de temperatuur stijgt (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Het verhogen van het albedo zorgt ervoor dat de temperatuur van het materiaal lager wordt (Hogeschool van Amsterdam, 2020). In de tabel op de volgende pagina staat het albedo van verschillende materiaalsoorten, hierin valt op dat witte en donkere betonnen dakpannen een groot verschil hebben in albedo.

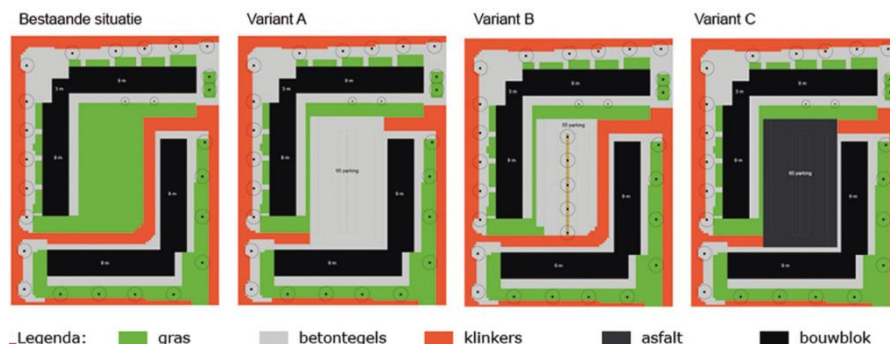
Naast de albedo van een materiaal is ook de emissiviteit belangrijk. De meeste bouwmaterialen, met uitzondering van metalen, hebben hoge emissiviteitscoëfficiënten. Dat betekent dat deze materialen bij een kleine opwarming al warmte gaan uitstralen. Als een materiaal is afgewerkt met bijvoorbeeld lak, dan zal de emissiviteit van de lak leidend zijn. De emissiviteit van bijvoorbeeld bestaande gebouwen of straten kan beïnvloed worden door een nieuw afwerkingsmateriaal aan te brengen. In de tabel hieronder staat de emissiviteit van verschillende materiaalsoorten. Theoretisch gezien is een zo hoog mogelijke albedo en een zo laag mogelijke emissiviteitscoëfficiënt het meest gunstig.

Tabel 5: De albedowaarden van gevel-, dak- en bestratingsmateriaal (ir. L. Kleerekoper, 2012) (Maroy, Carbonez, Steeman, Van de Vijver, & Van Den Bossche, 2015)

Materiaal	Type/kleur	Albedo	Emissiviteit
Beton stoeptegels	-	0,40	0,54
Asfalt	-	0,20	0,83
Zandgrond	-	0,30	0,94
Bitumen	Zwart	0,05	0,95
Dakbedekking	Wit Ecoséal	0,85	0,92
Keramische dakpannen	Rood	0,30	0,90
Aluminium/roestvrijstaal	Blank	0,60	0,10
Baksteen	Wit/licht kleur	0,40	0,68
Baksteen	Rood	0,20	0,85
Baksteen	Donker	0,10	0,93

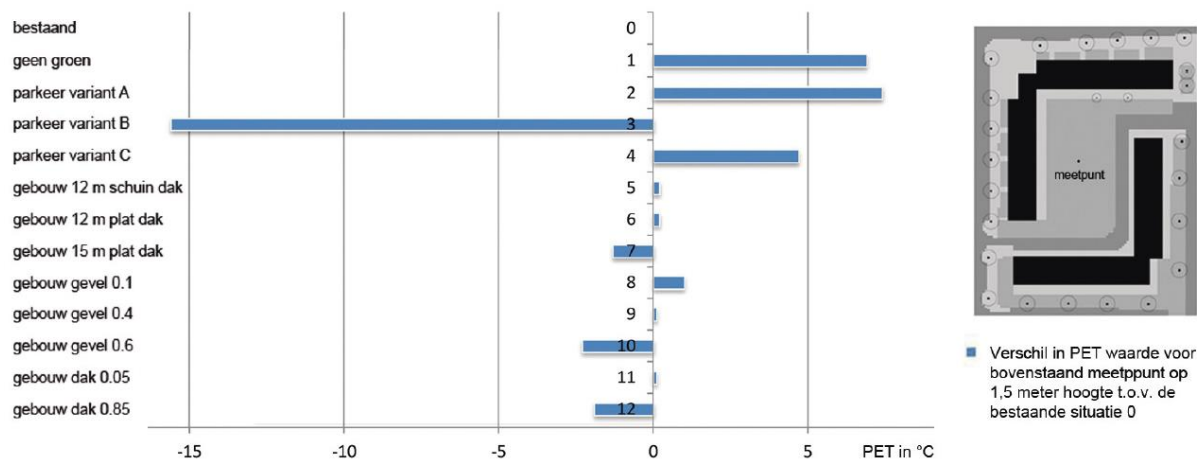
### Voorbeelden onderzoeken

Het onderzoek 'Thermisch Comfort in de Stad' van het onderzoeksprogramma Climate Proof Cities heeft onderzocht wat het effect is van drie verschillende varianten van een parkeerplaats. Hierin is de bestaande parkeerplaats als basis aangehouden en hebben de verschillende varianten aanpassingen met onder andere betontegels, klinkers en asfalt. In de figuur hieronder zijn de verschillende varianten te zien.



Figuur 12: Gesimuleerde parkeervarianten (ir. L. Kleerekoper, 2012)

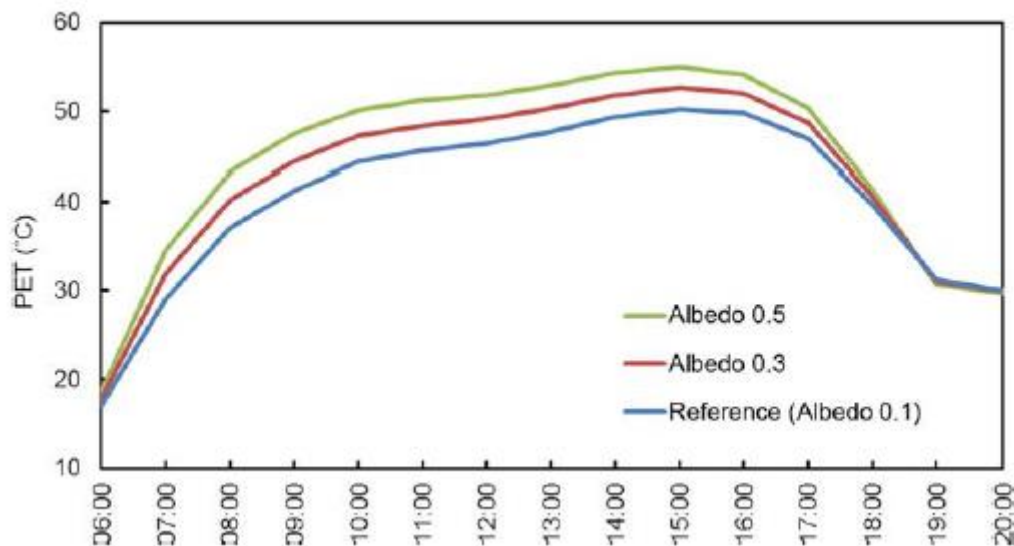
Aan de hand van het simulatieprogramma Envi-met is een Computational Fluid Dynamics model gemaakt. Dit simulatieprogramma neemt de evaporatie, transpiratie en warmteoverdracht tussen vegetatie en de lucht door conductie mee en rekent de oppervlaktetemperatuur van elke cel apart uit. De uitgangspunten met betrekking tot de weersinvloeden zijn voor alle varianten gelijk. Met het programma is de lucht- en gevoelstemperatuur berekend en uiteindelijk vergeleken met de bestaande situatie. De resultaten zijn te zien in de afbeeldingen hieronder. De analyse zijn gemaakt door verschillende situaties te simuleren. De albedo van de gevels en daken van de gebouwen, de hoogte van de gebouwen en het type dak zijn veranderlijk. Hiermee is in kaart gebracht wat het effect van de variabelen is.



Figuur 13: Effect van verschillende varianten op luchttemperatuur op twee meter hoogte (ir. L. Kleerekoper, 2012)

Uit de bovenstaande resultaten is op te maken dat het verschil in lucht- en gevoelstemperatuur bij de verschillende varianten opmerkelijke resultaten heeft. Variant 1 (zonder groen) heeft een lagere gevoelstemperatuur dan variant 2 (met betontegels i.p.v. het groene grasveld). Een verklaring hiervoor is dat de luchtstroom wordt afgeremd door het aanwezige groen. Het is dus van belang dat alle factoren worden meegenomen in berekeningen met betrekking tot de gevoelstemperatuur. Gedurende het ontwerpen van een gebied moet rekening worden gehouden met het materiaalgebruik, optimaal materiaalgebruik kan ervoor zorgen dat de lucht- en gevoelstemperatuur aangenamer is.

Een ander 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 afbeelding hieronder is te zien dat het verloop van de gevoelstemperatuur nagenoeg gelijk blijft.

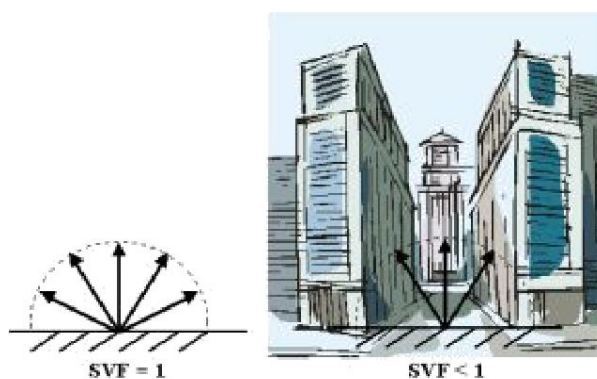


Figuur 14: Resultaten verhogen albedo (Taleghani & Berardi, 2017)

Het verhogen van de albedo zorgt niet altijd voor een verlaging 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.

### 3.2.2 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 wat zichtbaar is vanaf een bepaald punt op het 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 straat niveau, maar in gebieden waar hoogbouw de norm is, kan de zonnestraling terugkaatsen tussen de twee gebouwen wat resulteert in een temperatuur verhoging. In het figuur hierboven is te zien dat een volledige vrije ruimte een SVF van 1 heeft en een hoogbouw gebied een SVF lager dan 1 heeft.



Figuur 15: Visualisatie Sky View Factor (M. Dirksen, 2019)

## Formule SVF

Een onderzoek naar de berekening van de SVF en de toepassing in het stedelijk hitte-eiland effect heeft een versimpelde, 2-D formule opgesteld (M. Dirksen, 2019):

$$SVF, 2d = \cos(\arctan \frac{H}{0.5W})$$

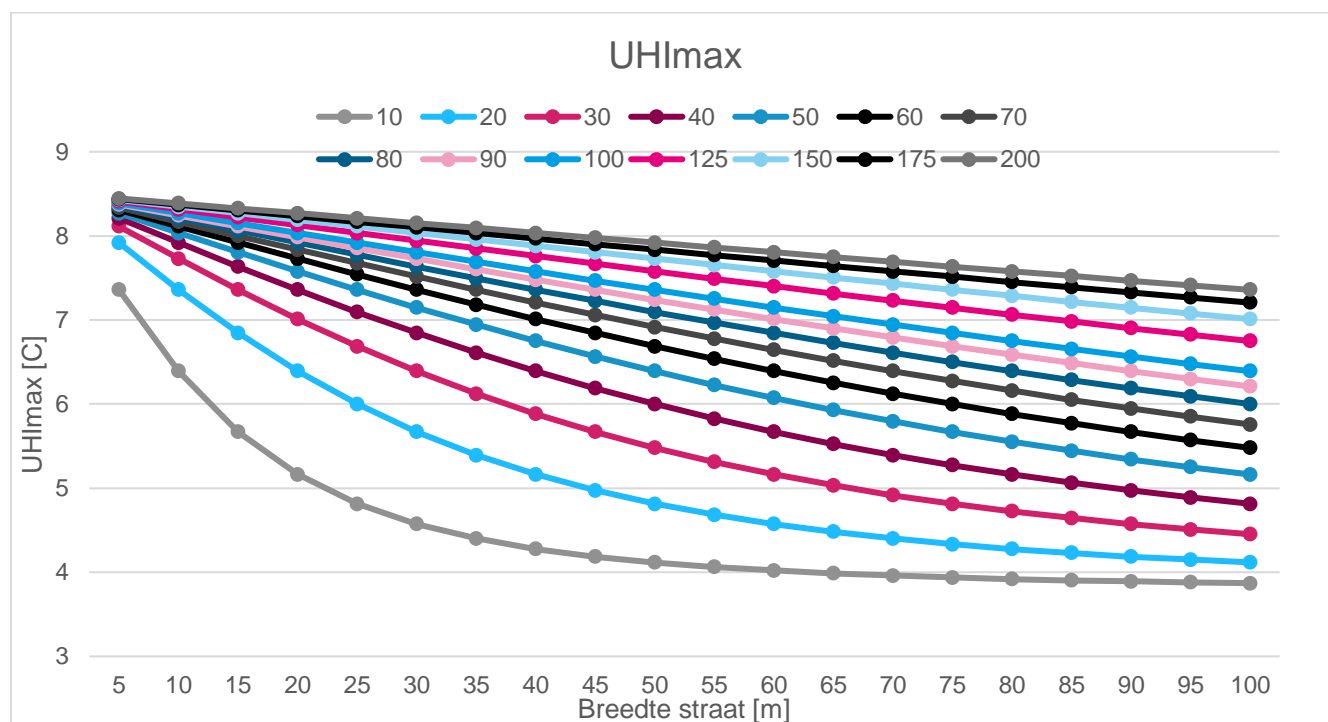
Waarin:

H = hoogte van de obstakels [m]

W = afstand tussen obstakels [m]

## Grafiek

Aan de hand van de formule van  $SVF_{2D}$  en de formule van het  $UHI_{max}$  (zie 3.1.1) 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, welke variëren van 10 tot 200 meter. De horizontale as is de breedte van de straat, welke 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 hieronder.



Figuur 16: Grafiek UHI<sub>max</sub>

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 dimensionaal variabele is. Een aanpassing van de SVF wordt niet gezien als geschikte ontwerpmaatregel voor bestaande gebieden maar wel bij het ontwerpen van nieuwe gebieden.

### 3.2.3 Ventilatie

Een windstroom in de stad zorgt ervoor dat de warmte-uitwisseling tussen het lichaam en de omgeving positief beïnvloed wordt. Als de lichaamstemperatuur hoger is dan de luchttemperatuur, zal de lichaamstemperatuur afnemen. Grote en hoge gebouwen blokkeren de windstroom waardoor er minder wind aanwezig is en dus het lichaam minder warmte kwijt kan. Het onderzoek 'Introducing the Urban Wind Island Effect' heeft het verschil in windsnelheid tussen een stad en het platteland gemeten. Daaruit is geconcludeerd dat het in steden harder kan waaien dan op het platteland, dit komt omdat er nauwe straten en hoge gebouwen aanwezig zijn, dit effect wordt het stedelijk windeilandeffect genoemd. De wind is gemeten op dak niveau maar kan in een stad lastig beneden op straat komen. Daarnaast is er een sterk verschil in windsnelheid gemeten per straat in een stad. Windstromen naar een stad kunnen gecreëerd worden door de bebouwing om een stad zo te ontwerpen dat de wind richting de stad kan waaien, in de figuur hiernaast staat daar een voorbeeld van.



Figuur 17: Visualisatie Urban Wind Island Effect (Droste, 2018)



## 4 Hittestress simuleren

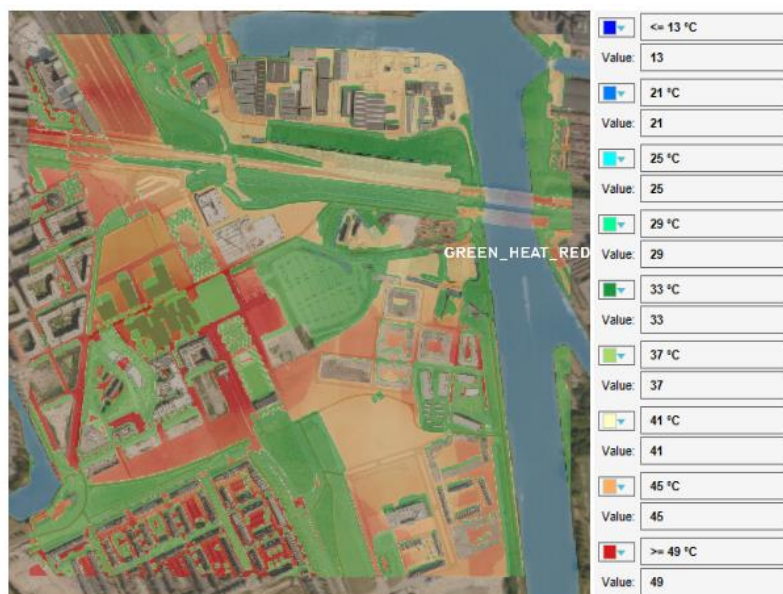
Om het hitte-eiland effect en hittestress te kunnen verminderen, is het van belang dat dit gesimuleerd kan worden. Met behulp van simulaties kan er efficiënt in kaart worden gebracht hoe sterk het effect is en hoe dit gemakkelijk te verminderen is. Een drietal mogelijkheden is onderzocht: Tygron, CitySim en een combinatie van Ladybug en Grashopper.

### 4.1 Tygron

Het Tygron Platform is een simulatie programma waarmee vraagstukken over de ruimtelijke inrichting opgelost kunnen worden. Er wordt gebruik gemaakt van publiek toegankelijke data is zoals de hoogtekaart van Nederland en PDOK (Publieke Dienstverlening Op de Kaart). Het kan integraal worden gebruikt omdat meerdere instanties aan een project kunnen worden toegevoegd om inzicht te krijgen in diverse problemen zoals overstromingen, droogte, hittegolven, energie, woningbouw, leefbaarheid, economie en infrastructuur.

Er zijn veel mogelijkheden binnen Tygron en er wordt constant gewerkt aan updates. Daarnaast is er de mogelijkheid om zelf software te schrijven. Data kan handmatig worden aangepast, 3D-gebouwen kunnen worden ingeladen vanuit Autocad, Sketchup en BIM. Hoe het programma gebruikt wordt, staat duidelijk omschreven in de Tygron Academy. Daarbovenop kunnen er vragen gesteld worden via het forum en staan er verschillende filmpjes online.

Vanuit het programma kunnen verschillende types kaarten geladen worden. Kijkend naar het tegengaan van hittestress kunnen de factoren voor hittestress overzichtelijk gemaakt worden. In de hittestress module kunnen weergegevens ingeladen worden zodat de realiteit gesimuleerd wordt. In de afbeelding hiernaast is een kaart te zien van het Berlijnplein in Utrecht met de hittestress module. Voor dit gebied is een pilot gemaakt om erachter te komen wat de mogelijkheden zijn voor het verlagen van de temperatuur en daarmee de hittestress. Het resultaat is een overzichtelijke kaart van het gebied met daarbij kleuren waarmee hittestress geïndiceerd wordt.



Figuur 18: Hitte module overlay Tygron

Het is een ingewikkeld programma wat vele mogelijkheden heeft, maar dankzij de opgestelde documentaties en beschikbare filmpjes kan het programma eenvoudig geleerd worden. Als het softwareprogramma gebruikt gaat worden zullen niet alle functies van toepassing zijn, enkel de toepassingen welke betrekking hebben op het tegengaan van hittestress worden gebruikt.

Er zijn meer simulatieprogramma's welke gebruikt kunnen worden bij het simuleren van hittestress. Met een combinatie van Ladybug en Grashopper kan aan de hand van een CFD-model de werkelijke situatie geprogrammeerd worden. Dat is minder gebruiksvriendelijk omdat het programmeren lastig is. Een ander simulatieprogramma, Citysim, is een plugin for Sketchup. Daarnaast maakt het gebruik van weergegevens die omgewerkt moeten worden, wat het minder makkelijk maakt om te gebruiken. Ter conclusie kan worden vastgesteld dat Tygron gebruiksvriendelijk is en als gevolg zal dit programma gebruikt worden. De rekenprincipes van Tygron staan in Bijlage D Rekenprincipes Tygron.

## 5 Ontwerpmaatregelen

In dit hoofdstuk worden de verschillende ontwerpmaatregelen getoetst aan de toepasbaarheid in het onderzoek. Voor het onderzoek is het van belang dat de maatregelen voldoende effect hebben op de reductie van hittestress en dus de gevoelstemperatuur van mensen. Eerdere bevindingen over het effect van de ontwerpmaatregelen worden gekoppeld aan de ontwerpmaatregelen. De ontwerpmaatregelen zijn gecategoriseerd in een drietal ontwerprichtlijnen: koelen met groen,- water en grijs. Het doel van dit hoofdstuk is om de relevante ontwerpmaatregelen verder te onderzoeken. Als laatste worden de ontwerpmaatregelen onderverdeeld in koelprincipes. Hierdoor wordt in kaart gebracht wat voor koelprincipes het effectiefst zijn. Er zijn vier koelprincipes: reflectie, schaduw, ventilatie en verdamping. Sommige ontwerpmaatregelen koelen de omgeving aan de hand van meerdere koelprincipes.

### 5.1 Koelen met groen

#### 5.1.1 Groengebieden aanleggen, behouden, verbeteren en oppervlakken ontharden

Kleine groengebieden hebben een grote invloed op het microklimaat. De lucht-, gevoels-, en oppervlaktetemperaturen zijn minder hoog in vergelijking met een stedelijk gebied. Schaduw wordt gecreëerd door de bomen maar het belangrijkste koelprincipe is de verdamping door de evapotranspiratie. De afstand van het voelbare effect van een groengebied, rijkt tot ongeveer de helft van de diameter van het park (Pötz, 2016). Het aanleggen van grasvelden in combinatie met bloemenweiden zorgt ervoor dat de biodiversiteit toeneemt, de waterhuishouding verbeterd, de luchtkwaliteit verhoogd, en de belevingswaarde verbeterd. Er zijn verschillende toepassingen van deze maatregel, waarbij het aanleggen, behouden en verbeteren wordt gezien als geschikt maatregel.

#### Ontharden en bodem verbeteren: tegel eruit, groen erin

Niet alleen het ontharden van privé-tuinen kan ervoor zorgen dat een stad minder heet wordt, maar ook stedelijke oppervlaktes kunnen onthard worden. Het groen houdt de ondergrond koeler, met als gevolg dat het grondwater wordt aangevuld door het regenwater wat niet door het riool wordt afgevoerd en zorgt voor een hogere biodiversiteit. Daarnaast kan een uitgedroogd oppervlak minder water afvoeren en de beplanting zorgt ervoor dat het infiltratievermogen toeneemt (Pötz, 2016). Een oppervlak ontharden kan in de vorm van grasbetontegels of gras aanleggen. Het is een simpele maar effectieve maatregel en wordt dus toegepast in de casus en verder onderzocht.

Parkeerplaatsen kunnen groen worden gemaakt door het toepassen van grasbetontegels, zie de figuur hiernaast. Grasbetontegels zorgen ervoor dat er verdamping plaatsvindt maar ook dat er meer water wordt opgenomen door de bodem. Industrie-, haven en bedrijfsterrinen behoren tot de warmste gebieden in een stad en dat kan gereduceerd worden door parkeerplaatsen groener te maken. Naast het effect op de temperatuur van de buitenruimte, wordt de temperatuur van de auto ook lager wat ervoor zorgt dat er minder brandstof wordt gebruikt (Pötz, 2016). Het ontharden van oppervlakken wordt gezien als geschikte maatregel, daarnaast draagt het bij aan de wateropgave van het gebied.



Figuur 19: Grasbeton (O2D Environmet, n.b.)

### Groene pleinen en speelplaatsen (park of groene wiggen)

Groene pleinen en speelplaatsen kunnen groener ingericht worden zodat het nog meer voor verkoeling zorgt. Daarnaast is het een aantrekkelijke plek voor mensen om te verblijven. Speelplaatsen kunnen multifunctioneel gemaakt worden door er waterpleinen van te maken. Stadsbossen hebben een nog groter effect omdat er meer lucht wordt gezuiverd, het een grotere plek is en dus meer biodiversiteit en er meer schaduw aanwezig is. Bij alle maatregelen gaat de belevingswaarde van het gebied omhoog. Een bos planten in een stedelijk gebied wordt niet gezien als geschikte maatregel omdat de ruimte in een stad schaars is. Geconcludeerd kan worden dat het multifunctioneel maken van pleinen en speelplaatsen een kans is om verschillende problemen aan te pakken.

### Groene privé-tuinen

In Nederland worden steeds vaker verharde tuinen aangelegd en meer dan de helft van een stedelijk gebied is privé eigendom. Het groener maken van privé tuinen kan een groot effect hebben op het micro- en macro klimaat (Pötz, 2016). Een groene privé tuin vergroot de biodiversiteit en zorgt ervoor dat er minder water afgevoerd wordt naar het riool. Daarnaast is het percentage groene privé-tuinen afgenomen van 46 % in 2002 naar 39 % in 2011 en het totaal aantal vierkante kilometer aan tuinen in Nederland is 560 km<sup>2</sup> (Rietkerk, Hommes, Mastop, Dirven, & Schyns, 2016). De grootte van de privé-tuinen in Nederland is groter dan Amsterdam en Rotterdam bij elkaar, respectievelijk 219,3 km<sup>2</sup> + 324,1 km<sup>2</sup> = 543,4 km<sup>2</sup>). Het groener maken van privé-tuinen wordt gezien als een deel van de collectieve oplossing voor hittestress en wateroverlast.

### Zonwering door groen

Het creëren van een zonwering door middel van groen zorgt ervoor dat de gevoelstemperatuur lager wordt omdat er minder zonlicht direct op het lichaam schijnt. Daarnaast zorgt het ervoor dat de luchttemperatuur daalt door verdamping. Bij het tactisch neerzetten van bladverliezende bomen wordt de zon in de zomer tegengehouden echter schijnt de zon in de winter wel door de bomen heen doordat de bomen de bladeren verliezen. Het toepassen van groen vergroot de biodiversiteit tevens zorgt het voor geluidsreductie (Pötz, 2016). Het maken van zonwering en dus schaduw wordt gezien als geschikte ontwerpmaatregel tegen hittestress.

### Groene gevels

Het plaatsen van groene gevels heeft een aantal voordelen: zo zorgt het ervoor dat de gevels minder opwarmen tevens minder warmte verliezen, het beïnvloed het straatbeeld positief, het bindt fijnstof maar het belangrijkste voordeel is dat het zorgt voor een minder hoge temperatuur in het stadsklimaat. Doordat zonnestraling niet direct op de gevel schijnt, warmt de gevel minder op. Daarnaast absorbeert een groene gevel 2,5 dB tot 3,0 dB (Pötz, 2016). De effecten van groene gevels zijn onder andere afhankelijk van de breedte van de straat. Hoe smaller de straat, hoe groter het effect (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Groene gevels zorgen voor minder opwarming van het gebouw zelf maar ook van de omgeving, het effect zal echter klein zijn.



Figuur 20: Groene gevel (Hassink, 2021)

### Straatbomen en bomenlanen (aanleggen van bomen)

Het toepassen van straatbomen en bomenlanen resulteert in schaduw en evapotranspiratie en als gevolg zal de gevoelstemperatuur lager worden. Bij het plaatsen van bomen langs een drukke weg moet rekening worden gehouden met de uitstoot van de voertuigen. De kronen van de bomen moeten er niet voor zorgen dat er te veel uitlaatgassen blijven hangen (Pötz, 2016). Het effect van het plaatsen van bomen is afhankelijk van het lokale klimaat, boomtype en grootte maar kan variëren van 3,4 tot 19,0 graden Celsius op de gevoelstemperatuur (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Daarnaast gaat door het toepassen van bomen gaat de belevingswaarde omhoog, wordt de luchtkwaliteit hoger en gaat de biodiversiteit omhoog. Ter conclusie kan gesteld worden dat het aanleggen van bomen wordt gezien als effectiefste maatregel bij het tegengaan van hittestress.

## 5.1.2 Multifunctioneel dak

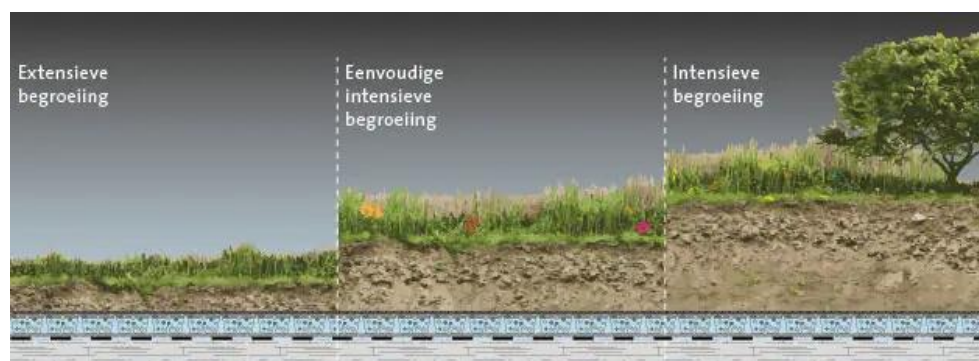
### Polder- en waterdaken

Platte daken van gebouwen kunnen multifunctioneel gebruikt worden. Eén van de toepassingen is een waterdak. Bij een waterdak wordt de neerslag tijdelijk opgeslagen op het dak en vertraagd afgevoerd naar het riool. Er bestaan waterdaken met een geavanceerd systeem waarmee de volgende bui voorspeld wordt en dus het water op tijd is afgevoerd zodat er genoeg capaciteit is voor de volgende bui, dit wordt een polderdak genoemd. De belangrijkste functie van een waterdak is het beperken van wateroverlast, tevens zorgt het voor verkoeling van een gebouw. De verkoeling van het gebouw is, net als de verkoeling van de omgeving, beperkt. Dit heeft als gevolg dat polder- en waterdaken niet gezien worden als effectieve oplossing tegen hittestress maar wel voor de wateropgave.

### Groene daken (extensief en intensief)

Extensieve groene daken zijn opgebouwd uit een mos/sedumbegroeiing, een substraat laag, drainagelaag, wortelwerende laag en vervolgens de dakconstructie (Pötz, 2016). Deze daken hebben als voordeel dat er water wordt opgenomen door de bodem waardoor er minder water afgevoerd wordt naar het riool. Het verkoelende effect op de luchttemperatuur is op stadsniveau van 0 tot 1,8 graden en lokaal van 0 tot 0,8 graden (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Het effect op stadsniveau is het grootst als alle daken in de stad groen zijn. Extensieve groene daken moeten elk jaar gecheckt worden op zaadjes van grote bomen omdat deze de wortelwerende laag kunnen beschadigen. Met als gevolg dat er minder geluidshinder plaats vindt en de belevingswaarde omhoog gaat.

Intensieve groene daken hebben een dikkere substraatlaag in vergelijking met extensieve groene daken. Op dit soort daken kunnen grotere plantsoorten en bomen groeien. Dit zorgt ervoor dat de biodiversiteit nog groter wordt maar ook heeft dit type meer onderhoud nodig (Pötz, 2016). Daarnaast gaat de luchtkwaliteit omhoog, vindt er geluidsreductie plaats en gaat de belevingswaarde omhoog. Het realiseren van groene daken (extensief en intensief) wordt verder onderzocht of het een geschikte maatregel is.



Figuur 21: Typen groene daken (Papagreen, 2020)



## 5.2 Koelen met blauw

### 5.2.1 Besproeiing/verneveling (besprenkeling van de straten)

Met het besproeien van een oppervlakte wordt de temperatuur verlaagd door middel van verdamping (Pötz, 2016). Het water kan opgevangen worden door middel van regentonnen zodat er minder water naar het riool afgevoerd wordt. Een vernevelingsinstallatie kan lokaal de luchttemperatuur verlagen met 0,7 tot 3,0 graden (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Bij het toepassen van verneveling dient aandacht te worden besteed aan tegengaan van legionella. De legionellabacterie groeit in water bij een temperatuur tussen de 20 en 50 graden Celsius (RIVM, 2021). Het toepassen van een vernevelingsinstallatie wordt daarom niet gezien als geschikte ontwerpmaatregel in de openbare ruimte.

### 5.2.2 Singels, grachten of sloten aanbrengen/aanpassen

Het aanbrengen van singels, grachten of sloten zorgt ervoor dat de lucht- en gevoelstemperatuur verlaagd wordt (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Het precieze aantal graden, hangt af van de grootte van de aangebrachte maatregel. Het toepassen van groene oevers heeft als effect dat de biodiversiteit vergroot wordt. De verkoelende effecten op de lucht- en gevoelstemperatuur zijn tussen 0,1 en 2,0 graden (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Deze maatregelen zorgen ervoor dat de belevingswaarde omhoog gaat omdat water als prettig ervaren wordt. Concluderend wordt het aanbrengen/aanpassen van singels, grachten of sloten niet gezien als effectieve maatregel.

### 5.2.3 Aanleggen van vijvers, meren of fontein

Bij het aanleggen van een vijver, meer of fontein is niet alleen de temperatuurverlaging een effect, tevens kan het gebruikt worden als opslag voor het hemelwater. De kwaliteit van het water kan echter achteruit gaan door de wisselende temperaturen (Pötz, 2016). De effect hangen af van het temperatuurverschil tussen het water en de lucht maar ook van de grootte van het waterlichaam (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Zowel de biodiversiteit als de belevingswaarde worden verbeterd. Ter conclusie is gesteld dat het aanleggen van vijvers, meren of fontein niet gezien wordt als effectieve maatregel voor het tegengaan van hittestress.

## 5.3 Koelen met grijs

### 5.3.1 Koele verhardingsmaterialen, witte daken, lichte gevels en bestrating

Het toepassen van koele verhardingsmaterialen kan ervoor zorgen dat de temperatuur in een stad verlaagd wordt. Dit komt omdat 30 % tot 40 % van een stad verhardingsmaterialen zijn en asfalt en beton in de zomermaanden een temperatuur van ongeveer 45 tot 70 graden kunnen bereiken. Bij het kiezen van koele materialen zijn de albedo, de thermische absorptie-eigenschappen, de warmtetransport-eigenschappen, de ruwheid van het oppervlak, de emissiviteit en de doorlatendheid van lucht en water van belang (Pötz, 2016). Een bijkomend effect bij een lagere temperatuur is dat er minder energie nodig is binnen gebouwen om te koelen. Bij het toepassen van lichte/koele verhardingsmaterialen is het van belang dat er onderzocht wordt of het gewenste effect bereikt wordt. Het aanpassen naar koele/lichte verhardingsmaterialen kan ervoor zorgen dat de gevoelstemperatuur omhoog gaat. Daarbij is het van belang dat er onderzocht wordt of de gevoelstemperatuur omlaag gaat.

### 5.3.2 Koele daken en gevels

Bij koele daken wordt het dak bedekt door een combinatie van folies, pannen, metalen, speciale dakbedekkingsmaterialen en een speciale coating zodat de temperatuur van een dak minder hoog wordt (Urban Technology, 2021). Traditionele daken kunnen ongeveer 85 graden worden en koele daken kunnen ongeveer 55 graden worden (United States Environmental Protection Agency, 2021). Bovenop het reduceren van het stedelijk hitte-eiland effect, zorgen koele daken ervoor dat het energieverbruik van het gebouw minder hoog is waardoor het bijdraagt aan het reduceren van luchtvervuiling. Daarnaast heeft een minder hoge binnentemperatuur als gevolg dat de gezondheid van een mens beter wordt. Koele gevels kunnen gerealiseerd worden door de gevels van licht gekleurde materialen met minder massa te maken zodat deze minder warmte opslaat.

### 5.3.3 Steden- bouwkundige zonwering

Doordat er zorgvuldig gekozen kan worden waar de zonwering geplaatst moet worden, wordt er op de juiste plekken schaduw gecreëerd. Bouwkundige zonwering heeft een positief effect op de hittestress, omdat er schaduw gecreëerd wordt. Dit kan gerealiseerd worden in de vorm van canvasdoeken over een looproute of pergola's. Daarnaast kunnen de canvasdoeken in de winter worden weggehaald zodat het niet zorgt voor koudestress in de winter. Schaduw zorgt ervoor dat de gevoelstemperatuur 2 – 17 graden lager ligt in vergelijking met de zon (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Het creëren van schaduw door steden- bouwkundige zonweringen is een effectieve maatregel tegen hittestress.

### 5.3.4 Windcorridors

Door het goed in kaart brengen van de koele gebieden in een stad en deze vervolgens met elkaar te verbinden door middel van groenstroken, fiets- en wandelpaden wordt de koude wind verspreid door de stad. Dit zorgt ervoor dat het lokaal harder gaat waaien wat de warmte-uitwisseling bevordert. Windcorridors kunnen de windsnelheid verhogen met 1,5 m/s maar het effect op de lucht- en gevoelstemperatuur is niet gekwantificeerd (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Daarnaast kan een ventilatie netwerk de luchtkwaliteit en energiebesparing positief beïnvloeden. Op fietspaden is het niet wenselijk dat het harder gaat waaien waardoor deze maatregel niet geschikt is.

### 5.3.5 Grote open ruimtes

Het creëren van grote oppervlaktes heeft als gevolg dat de SVF hoger wordt. Een 10% hogere SVF zorgt ervoor dat de windsnelheid met 8% toeneemt (Hogeschool van Amsterdam, 2020). Het totale effect van de maatregelen hangt daarnaast af van de albedo, vegetatiefactor en de hoogte/breedte verhouding. Grote oppervlaktes als pleinen en parken zorgen voor een betere belevingswaarde van de omgeving en een betere luchtkwaliteit omdat er een vrijere luchtstroom is. Als grote open ruimtes verbonden worden kan er een ventilatie netwerk ontstaan in een stad. De bebouwing van een stad houdt luchtstromen tegen waardoor de koele lucht 's nachts minder makkelijk een stad bereikt. Als een groenstrook tot in het centrum van de stad reikt, zorgt het voor koelere omstandigheden in vergelijking met verharding. Daarnaast ontstaat er een drukverschil en dus ontstaan er luchtbewegingen. Concluderend wordt het realiseren van grote open ruimtes gezien als geschikte maatregel voor het herontwerpen van gebieden.

## 5.4 Geschikte ontwerpmaatregelen

Het overzicht van de geschikte ontwerpmaatregelen is hieronder te zien. De ontwerpmaatregelen waar een gebiedstransformatie voor nodig is, zijn niet meegenomen. Net als het principe koelen met blauw, dit wordt wel meegenomen in de toolbox maar niet in de casus studie omdat het effect te klein is. Daarnaast moet het effect van de ontwerpmaatregel als effectief gezien worden. De complete tabel met meekoppelkansen en koelprincipes is te vinden in Bijlage E Overzicht Ontwerpmaatregelen.

**Reflectie:** Het albedo veranderen, waar het koelprincipe Reflectie op gebaseerd is, van verticale oppervlakken is een goede maatregel maar er moet rekening gehouden worden met het effect op de gevoelstemperatuur. Verschillende onderzoeken, zie hoofdstuk 3.2.1, bevestigen dat het verhogen van de albedo niet altijd het gewenste effect geeft (Hogeschool van Amsterdam, 2020).

**Schaduw:** Schaduw betekent dat de zonnestraling niet direct op een mens schijnt. In de schaduw kan de gevoelstemperatuur 16 graden lager zijn in vergelijking met de zon. Het creëren van schaduw is een effectieve ontwerpmaatregel.

**Ventilatie:** Een goede ventilatie zorgt zowel binnen als buiten voor een bevordering van de warmte-uitwisseling tussen ons lichaam en de omgeving, wel is van belang dat de lichaamstemperatuur hoger is dan de luchttemperatuur. In steden wordt wind vaak geblokkeerd door hoge gebouwen waardoor het in bepaalde gebieden warmer wordt (Hogeschool van Amsterdam, 2020). In een stad kan de windsnelheid verschillen per straat, afhankelijk van de windrichting.

**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 (Hogeschool van Amsterdam, 2020).

In de onderstaande tabellen staan de ontwerpmaatregelen welke als effectief gezien worden. Een aantal ontwerpmaatregelen kunnen niet toegepast worden in de case studie. Dit komt omdat deze maatregelen nog niet in Tygron staan. De maatregelen welke wel gebruikt gaan worden zijn: groengebieden aanleggen, behouden, verbeteren en oppervlakken ontharden, straatbomen en bomenlanen, en groene pleinen en speelplaatsen. De overige ontwerpmaatregelen zijn niet toepasbaar in Tygron of worden niet als effectief gezien, maar worden wel als effectief gezien voor de toolbox.

Tabel 6: Ontwerpmaatregelen 'Koelen met Groen'

Nr.	Ontwerpmaatregel	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 7: Ontwerpmaatregelen 'Koelen met Grijs'

Nr.	Ontwerpmaatregel	Koelprincipe			
		Reflectie	Schaduw	Ventilatie	Verdamping
1	Koele verhardingsmaterialen, witte daken, lichte gevels en bestrating	X			
2	Koele daken en gevels	X			
3	Steden- bouwkundige zonwering		X		

Tabel 8: Ontwerpmaatregelen 'koelen met Blauw'

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

## 6 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 zal in Tygron gesimuleerd worden, waarna er een eis wordt gesteld aan de gevoelstemperatuur van het gebied gedurende de warmste dag van de hittegolf van 2020, dat is 08-08-2020. Als eerste is de beginsituatie gemodelleerd zodat de gebiedseigenschappen duidelijk zijn. Vervolgens worden de verschillende situaties vergeleken met de beginsituatie.

### 6.1 Omschrijving

Het Berlijnplein in Utrecht is onderdeel van het gebied ten Westen van de Leidsche Rijntunnel (snelweg A2). Het gebied wordt langzamerhand gevuld met bebouwing. De eis voor de casus studie is dat de ontwerpmaatregelen het gebied één klasse hittestress, dat staat gelijk aan 6 C, lager moet zijn. In de afbeelding hiernaast is de locatie van het projectgebied te zien met projectgrenzen, het gebied is 336.353 m<sup>2</sup>.



Figuur 22: Projectgrenzen Berlijnplein

#### 6.1.1 Gebiedseigenschappen

Als eerste zijn de eigenschappen van het gebied in kaart gebracht. Dit is gedaan zodat er een duidelijk beeld ontstaat van wat er in het gebied aanwezig is en er uiteindelijk een vergelijking gemaakt kan worden tussen het braakliggende terrein en het ontwerp. In Bijlage F GIS-kaarten Casus, is de GIS (Geographical Information System) kaart te vinden. Hiernaast staat de tabel met de oppervlaktes per onderdeel.

Tabel 9: Gebiedseigenschappen huidig gebied

Wat?	Hoeveel?
<b>Braakliggend</b>	299.548 m <sup>2</sup>
<b>Wegen</b>	34.162 m <sup>2</sup>
<b>Water</b>	2.643 m <sup>2</sup>

Vervolgens is de hittestress gesimuleerd in Tygron, de gemiddelde waarde van het warmste moment van de dag, 13:00, zal als uitgangspunt gebruikt gaan worden. Vanuit het programma QGIS kunnen de statistieken gehaald worden. De gemiddelde gevoelstemperatuur in het projectgebied is 46,38 °C, de maximale waarde is 48,94 °C en de minimale waarde is 33,48 °C.

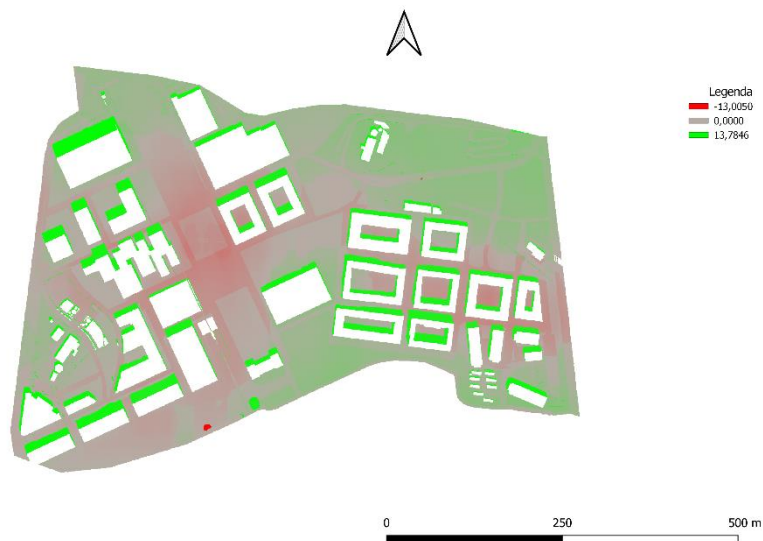
Als streven voor de gebiedsontwikkeling is gesteld dat de gemiddelde gevoelstemperatuur 6,0 graden Celsius moet dalen. Dat komt overeen met één fysiologisch hittestressniveau lager. De eis voor de gebiedsontwikkeling luidt als volgt: 'De gemiddelde waarde gevoelstemperatuur tijdens een dag in een hittegolf vergelijkbaar met 08-08-2020 van het projectgebied moet lager zijn dan (46,38 – 6,0 =) 40,38 °C.'



Figuur 23: Gevoelstemperatuur braakliggende terrein

## 6.2 Variant met gebouwen

Vervolgens is het gebied verder ontworpen met de gebouwen en wegen erin. De precieze ontwikkeling van het gebied is nog niet helemaal bepaald. Voor het ontwikkelen van dit gebied is aangehouden dat er genoeg woningen moeten komen in combinatie met kantoorgebouwen. Daarnaast moeten er genoeg wegen gerealiseerd worden zodat alles goed bereikbaar is. De analyses van de GIS-kaarten zijn te vinden in Bijlage F GIS-kaarten Casus. Volgens het literatuuronderzoek zal de plaatsing van gebouwen onder andere als gevolg hebben dat er schaduw gecreëerd wordt en schaduw heeft een positieve invloed op de gevoelstemperatuur. Daarnaast zal de verharding van het gebied een negatieve invloed hebben op de gevoelstemperatuur. De figuur hieronder laat het verschil zien tussen het 'lege' projectgebied en het projectgebied met gebouwen en verharding.



Tabel 10: Gebiedseigenschappen met gebouwen en infrastructuur

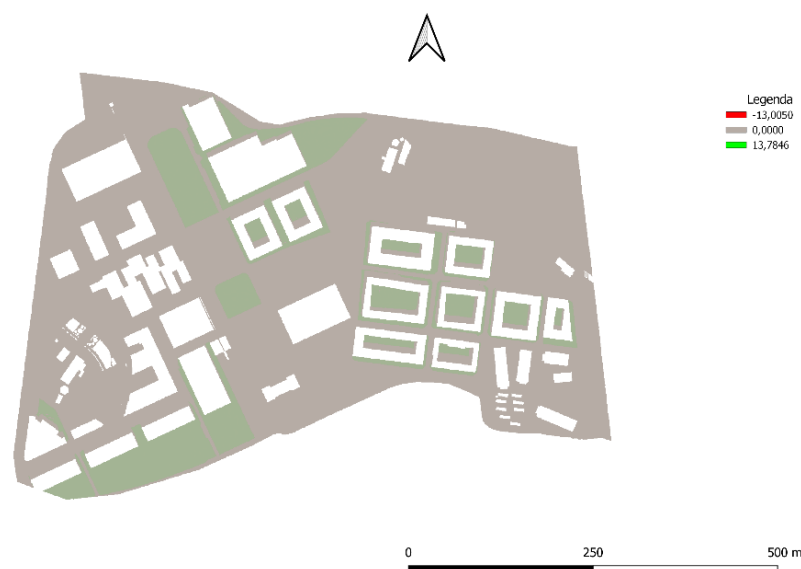
Wat?	Hoeveel?
Gras	138.308 m <sup>2</sup>
Verhard	88.710 m <sup>2</sup>
Gebouwen	80.105 m <sup>2</sup>

Figuur 24: Verschil gevoelstemperatuur tussen braakliggend terrein en variant met gebouwen

Net als bij de eerste variant zijn de statistieken uit QGIS gehaald. De gemiddelde hittestress in het projectgebied is 45,94 °C. Daarnaast is het gemiddelde verschil tussen de twee gebieden 1,14 °C. De gemiddelde temperatuurstijging tussen de twee gebieden moet opgelost worden door het toepassen van ontwerpmaatregelen. De gebouwen blijven gedurende de casus studie hetzelfde net als de infrastructuur van het gebied.

## 6.3 Variant met gebouwen en groen (1)

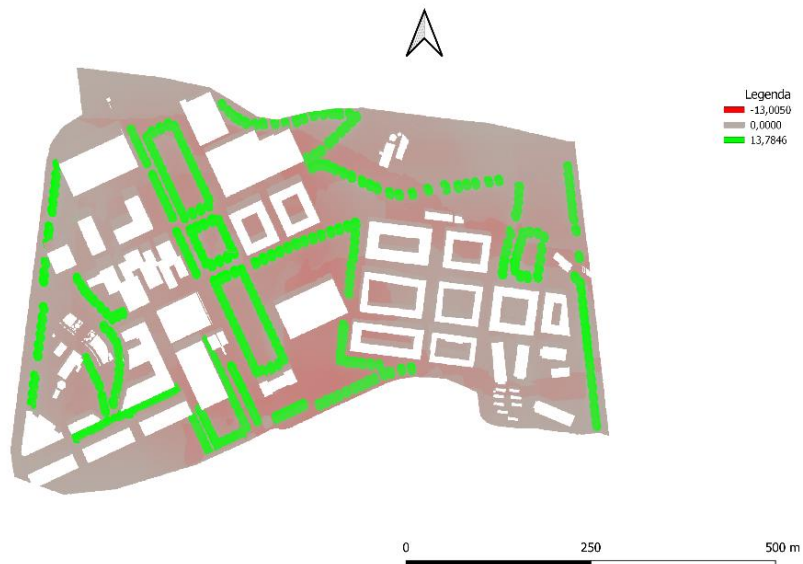
Als eerste stap is gekozen om de verhardingen van de binnenplaatsen, pleinen en braakliggende terreinen van gras te maken. Gras zorgt ervoor dat er minder warmte wordt opgeslagen in het materiaal wat resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur. In de afbeelding hieronder is het effect te zien, de kaart laat het verschil tussen de variant met gebouwen en deze variant zien. In totaal is 41.888 m<sup>2</sup> onthard naar gras, dit resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van het gebied ten opzichte van de vorige variant van 0,28 °C.



Figuur 25: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant gebouwen en variant 1

## 6.4 Variant met gebouwen en bomen (2)

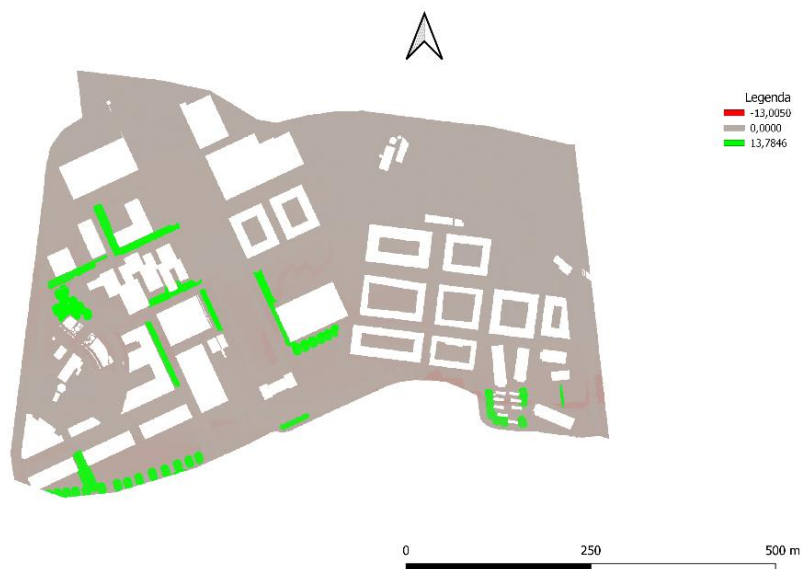
De beste ontwerpmaatregel is het planten van bomen. Als eerste worden langs de hoofdwegen bomen toegepast. In totaal zijn er 340 bomen gerealiseerd. Het effect van bomen op de gevoelstemperatuur wordt voornamelijk veroorzaakt door het creëren van schaduw. Het plaatsen van de 340 bomen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 1,11 °C.



Figuur 26: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 1 en 2

## 6.5 Variant met struiken en bomen (3)

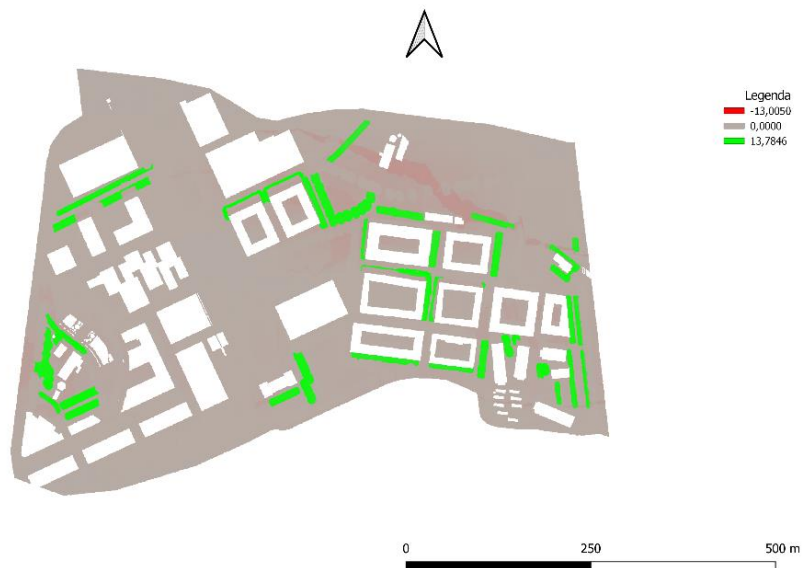
Vervolgens zijn er struiken langs paden toegevoegd en bomen langs voetpaden. In totaal zijn er 380 bomen en 3.552 m<sup>2</sup> aan struiken gerealiseerd. Het realiseren van deze ontwerpmaatregelen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 0,87 °C.



Figuur 27: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 2 en 3

## 6.6 Variant met nog meer bomen en struiken (4)

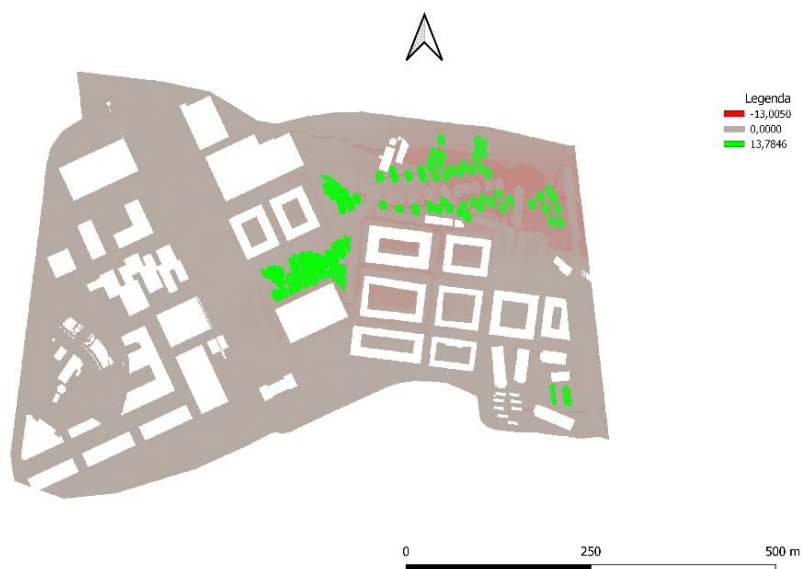
Vervolgens zijn er meer struiken langs paden toegevoegd, naar een totaal van 6.273 m<sup>2</sup>. Het toepassen van deze ontwerpmaatregelen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 0,28 °C.



Figuur 28: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 3 en 4

## 6.7 Variant met twee parken erbij (5)

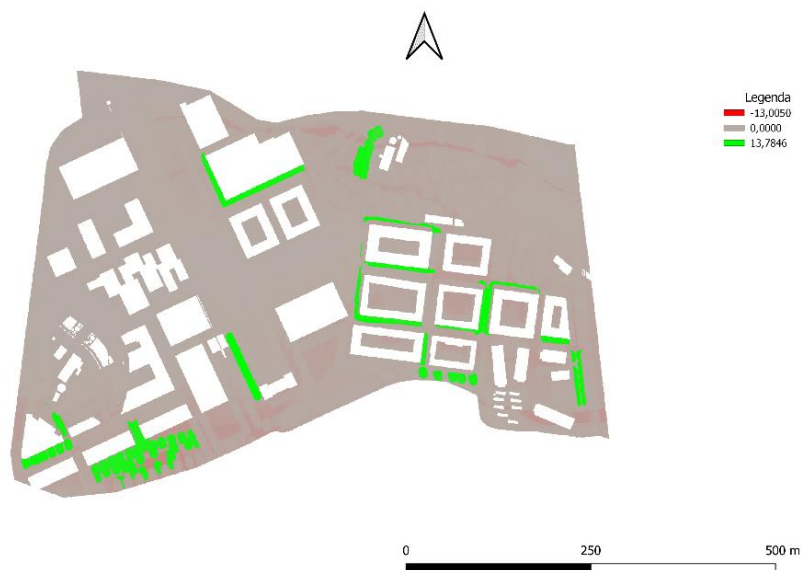
Vervolgens zijn er twee parken toegevoegd wat uiteindelijk neerkomt op een 536 bomen en 6.273 m<sup>2</sup> aan struiken. Het toepassen van deze ontwerpmaatregelen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 0,34 °C.



Figuur 29: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 4 en 5

## 6.8 Variant met bomen op binnenplaatsen en groen maken plantsoen (6)

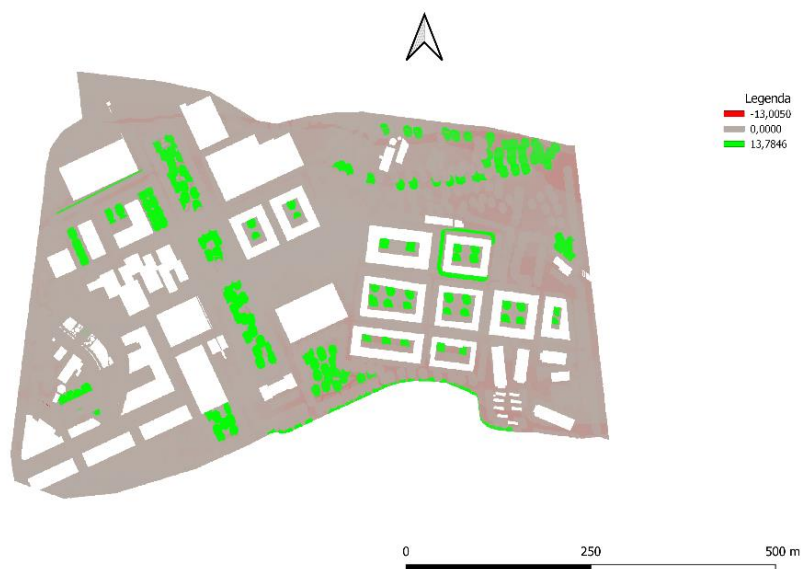
Vervolgens zijn er bomen toegepast op de binnenplaatsen van de gebouwen en is de tuin van het plantsoen groen gemaakt. Dat komt neer op 564 bomen en 11.986 m<sup>2</sup>. Het toepassen van deze ontwerpmaatregelen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 0,54 °C.



Figuur 30: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 5 en 6

## 6.9 Variant met de randen gevuld met bomen en bosjes (7)

Vervolgens zijn de geschikte voetpaden onverhard gemaakt, is er een park in het midden gemaakt en zijn de randen van het projectgebied gevuld met bomen en bosjes. Dat komt neer op een totaal van 703 bomen en 12.936 m<sup>2</sup> aan bosjes. Het toepassen van deze ontwerpmaatregelen resulteert in een verlaging van de gevoelstemperatuur van 0,90 °C. Dat komt omdat de wegen aan de randen van het projectgebied beschaduwd worden door de gerealiseerde bomen en bosjes.



Figuur 31: Verschil gevoelstemperatuur tussen variant 6 en 7



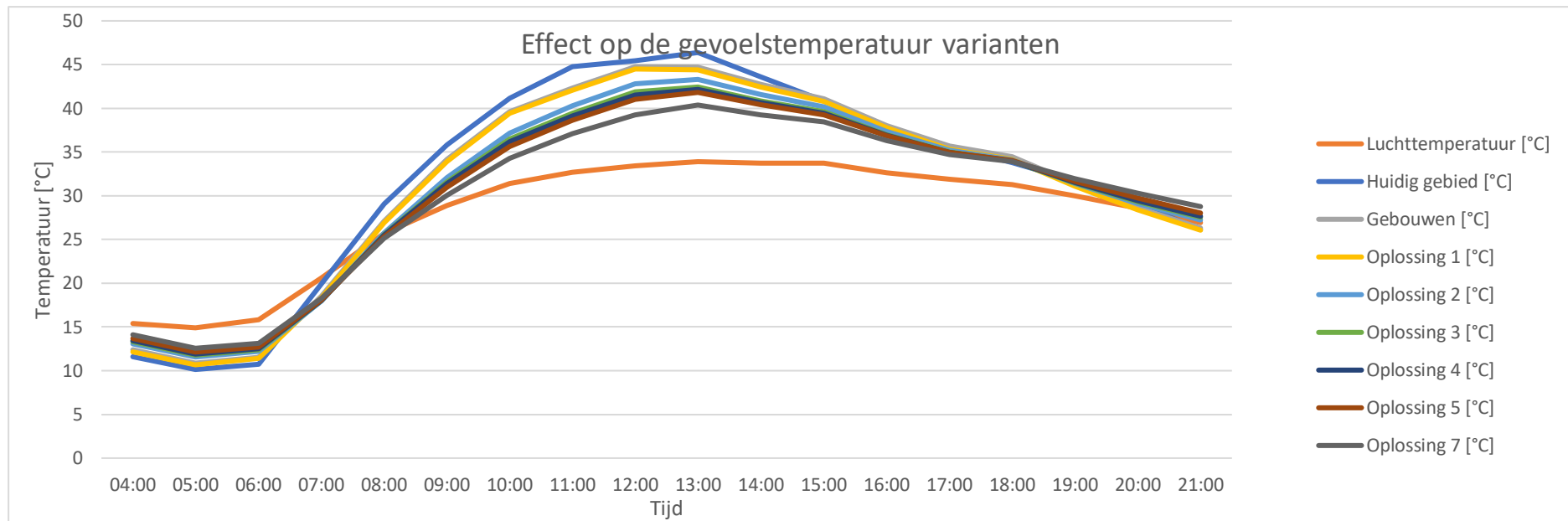
## 6.10 Analyse varianten

In de onderstaande tabel staan alle waarden voor de onderzochte varianten van 04:00 tot 21:00. Deze tijden zijn gekozen omdat de zonnestraling begint aan het einde van 05:00 tot 20:00, zie Bijlage A Weergegevens hittegolf 2020 voor de complete tabel van weergegevens. Een uur voor en een uur na het begin van de zonnestraling creëert een beeld wat er gebeurt als de zonnestraling begint. Uit de onderstaande tabel is op te maken dat de ontwerpmaatregelen resulteren in een verlaging en verhoging van de gevoelstemperatuur, de grafiek is te vinden op de volgende pagina. De verlaging is te verklaren door de toegepaste ontwerpmaatregelen en de verhoging is te verklaren doordat de windsnelheid verlaagd wordt door het toepassen van bomen. Op de volgende pagina is de analyse van de windsnelheid te vinden.

Tabel 11: Vergelijking oplossingen casus studie

Gemiddelde gevoelstemperatuur											
Tijd	Luchttemperatuur [°C]	Huidig gebied [°C]	Gebouwen [°C]	Oplossing 1 [°C]	Oplossing 2 [°C]	Oplossing 3 [°C]	Oplossing 4 [°C]	Oplossing 5 [°C]	Oplossing 6 [°C]	Oplossing 7 [°C]	Verschil Opls 7 - huidig [°C]
04:00	15,4	11,61	12,41	12,16	13,09	13,31	13,43	13,68	13,85	14,13	2,520
05:00	14,9	10,14	10,86	10,67	11,56	11,78	11,89	12,13	12,29	12,56	2,424
06:00	15,8	10,77	11,56	11,41	12,22	12,41	12,52	12,73	12,87	13,12	2,350
07:00	20,6	19,91	18,51	18,34	17,98	18,02	18,03	18,11	18,18	18,30	-1,605
08:00	25,7	29,07	27,09	26,90	25,76	25,59	25,50	25,34	25,25	25,16	-3,908
09:00	28,9	35,81	34,14	33,92	32,07	31,61	31,37	30,97	30,66	30,08	-5,732
10:00	31,4	41,12	39,64	39,41	37,19	36,50	36,20	35,66	35,17	34,26	-6,855
11:00	32,7	44,74	42,30	42,05	40,27	39,46	39,13	38,65	38,05	37,08	-7,659
12:00	33,4	45,47	44,75	44,49	42,83	41,88	41,52	41,04	40,33	39,24	-6,229
13:00	33,9	46,38	44,69	44,41	43,30	42,44	42,16	41,82	41,28	40,37	-6,005
14:00	33,7	43,61	42,72	42,44	41,58	40,86	40,64	40,40	39,96	39,26	-4,350
15:00	33,7	40,84	41,06	40,79	40,16	39,59	39,40	39,26	38,92	38,43	-2,417
16:00	32,6	37,89	38,04	37,75	37,37	37,00	36,90	36,85	36,60	36,29	-1,609
17:00	31,9	35,64	35,67	35,35	35,21	35,00	34,96	34,97	34,84	34,70	-0,940
18:00	31,3	33,79	34,46	34,14	34,08	34,00	33,97	34,03	33,97	33,92	0,129
19:00	30,0	31,73	31,38	31,06	31,39	31,46	31,51	31,67	31,76	31,96	0,225
20:00	28,6	29,06	28,66	28,38	29,13	29,31	29,44	29,73	29,93	30,32	1,258
21:00	26,9	26,14	26,34	26,04	27,21	27,51	27,68	28,04	28,29	28,76	2,613





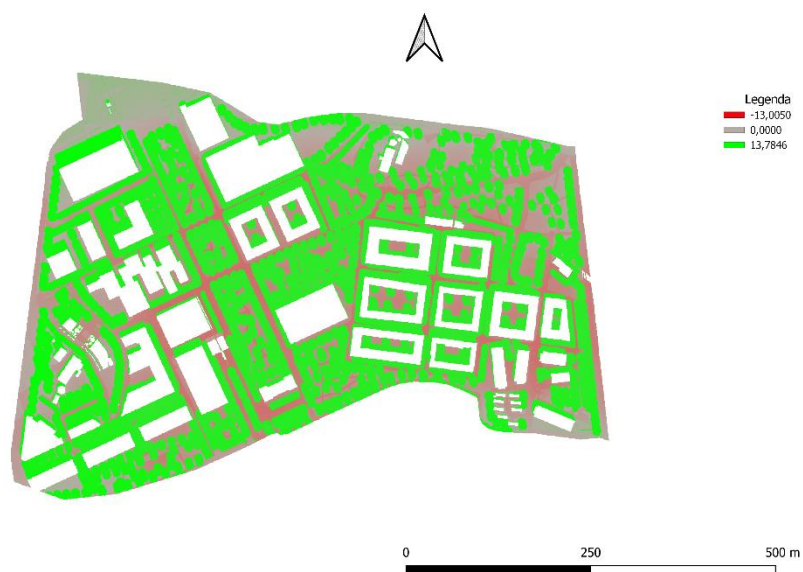
De invloed van de ontwerpmaatregelen is onderzocht voor het tijdvak 15:00, dit is het moment van de dag dat de windsnelheid het hoogst is. De kruin van bomen houden wind tegen net als gebouwen. Zoals onderzocht in het literatuuronderzoek resulteert het blokkeren van de wind, dus een verlaging van de windsnelheid in een verhoging van de gevoelstemperatuur.

Tabel 12: Analyse windsnelheid na toepassen ontwerpmaatregelen

Variant	Windsnelheid [m/s]
Basis	2,421
Gebouw	1,628
Oplossing 1	1,628
Oplossing 2	1,271
Oplossing 3	1,270
Oplossing 4	1,226
Oplossing 5	1,191
Oplossing 6	1,032
Oplossing 7	0,907
Totale verlaging	1,514

## 6.11 Conclusie

In totaal zijn er 703 bomen en 12.963 m<sup>2</sup> aan struiken gerealiseerd, in de figuur hieronder is het verschil tussen het braakliggende gebied en variant 7 te zien. Tijdens het piekmoment, om 13:00, geven de ontwerpmaatregelen een totale verlaging van de gemiddelde gevoelstemperatuur van 6,005 °C. Het projectgebied is 336.353 m<sup>2</sup> groot en kijkend naar de ontwerpmaatregelen komt dat neer op 1 boom per gebied van 21,78 x 21,78 meter en voor 1 m<sup>2</sup> struik komt dat neer op een gebied van 5,09 x 5,09 meter. Met de casus studie zijn alleen de ontwerpmaatregelen toegepast welke in het gebied toegepast kunnen worden. Elk gebied heeft andere eigenschappen en dus andere mogelijkheden voor ontwerpmaatregelen. Het toepassen van zoveel bomen en struiken bevestigt dat het verlagen van de gemiddelde gevoelstemperatuur in een gebied lastig is tijdens een dag in een hittegolf.



Figuur 32: Verschil gevoelstemperatuur tussen braakliggend gebied en variant 7

## 7 Toolbox

In dit hoofdstuk wordt de toolbox beschreven welke voort is gekomen uit het onderzoek. Het doel van de toolbox is om in een vroeg stadium van een projectontwikkeling in beeld te krijgen wat de efficiëntste maatregelen zijn om hittestress tegen te gaan. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een complete gebiedsindeling en een kleinschaliger ontwerp van een gebied. De analyse van de verschillende ontwerpmaatregelen is gedaan in het tijdvak van 04:00 tot 21:00. De zonnestraling begint tussen 05:00 en 06:00 een deel van het uur en het eerste volledige uur is 07:00. Het eerste volledige uur zonder zonnestraling is tussen 21:00 en 22:00. Om een duidelijk beeld te krijgen hoe de gevoelstemperatuur beïnvloed wordt door de ontwerpmaatregelen, is gekozen om een uur voor en na het begin en einde van de zonnestraling de effecten te onderzoeken. De toolbox uitgewerkt in Adobe Indesign, is te vinden in Bijlage H Toolbox.

Uitgangspunten toolbox:

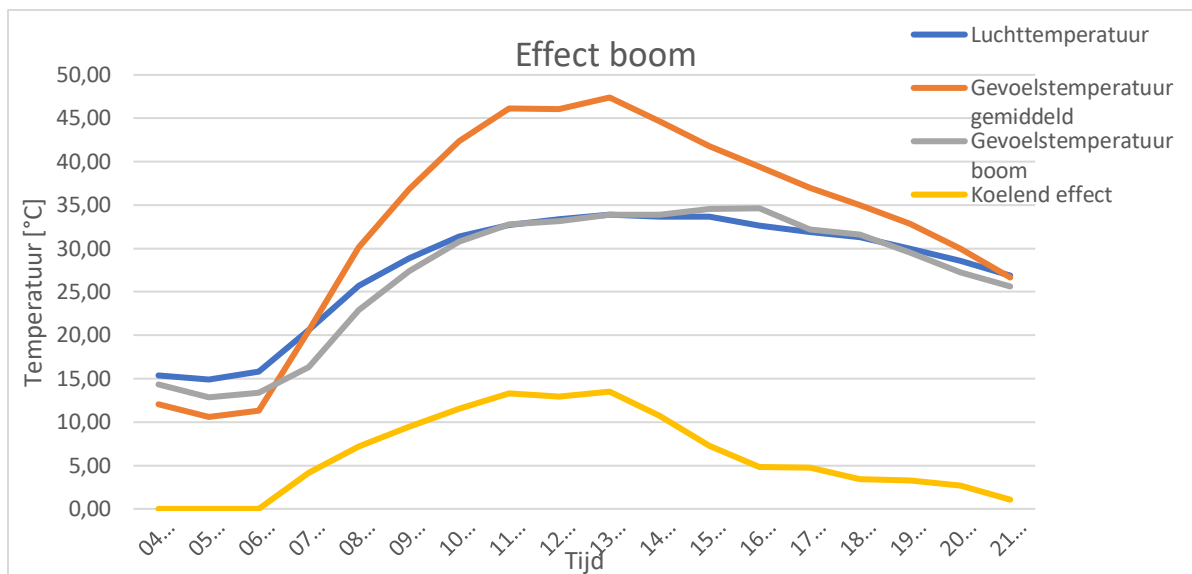
- De albedo verhogen op een plein is niet per se gunstig om hittestress tegen te gaan;
- Het effect van water op de gevoelstemperatuur reikt niet ver, als het ontworpen wordt als verblijfplaats is het gunstig;
- Het koelprincipe schaduw is het effectiefst;
- De meeste ontwerpmaatregelen hebben meerdere meekoppelkansen.

### 7.1 Analyse effect bomen

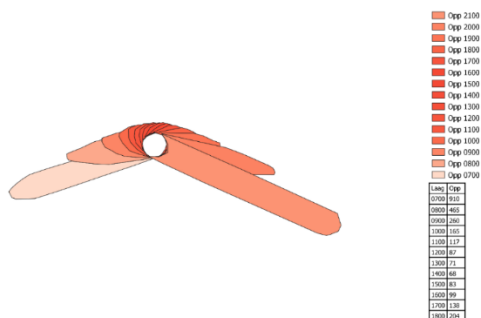
De analyse van het effect op de gevoelstemperatuur van een boom is gedaan door één boom te plaatsen in een braakliggend gebied. In Bijlage G GIS-kaarten ontwerpmaatregelen staat de volledige analyse van het effect van een boom op de gevoelstemperatuur. De gevoelstemperatuur van een boom is gemeten in het midden van de totale oppervlakte van het koelend effect van de boom. Uit de onderstaande tabel is te concluderen dat het maximale koelend effect 13,51 °C is. De oppervlakte van het koelend effect is maximaal 1409 m<sup>2</sup> maar het koelend effect is 1,09 °C dus het heeft dan weinig effect.

Tabel 14: Effecten boom op de gevoelstemperatuur

Effecten Boom Gevoelstemperatuur					
Tijd	Luchttemperatuur [°C]	Gevoelstemperatuur [°C]		Koelend effect [°C]	Oppervlakte koelend effect [m <sup>2</sup> ]
	Lokaal	Gem.	Boom		
04:00	15,40	12,07	14,37	-	-
05:00	14,90	10,59	12,85	-	-
06:00	15,80	11,28	13,38	-	-
07:00	20,60	20,52	16,35	4,17	910
08:00	25,70	30,09	22,90	7,19	465
09:00	28,90	36,85	27,36	9,49	260
10:00	31,40	42,35	30,81	11,54	165
11:00	32,70	46,10	32,80	13,30	117
12:00	33,40	46,07	33,12	12,95	87
13:00	33,90	47,40	33,89	13,51	71
14:00	33,70	44,64	33,92	10,72	68
15:00	33,70	41,76	34,52	7,24	83
16:00	32,60	39,44	34,63	4,81	99
17:00	31,90	36,97	32,22	4,75	138
18:00	31,30	34,99	31,60	3,39	204
19:00	30,00	32,84	29,57	3,27	333
20:00	28,60	29,95	27,25	2,70	689
21:00	26,90	26,69	25,60	1,09	1409



Het verloop van de gevoelstemperatuur is nagenoeg gelijk aan het verloop van de luchttemperatuur. In de afbeelding hieronder is het verloop van de schaduw te zien van 04:00 tot 21:00 op 08-08-2020. Het totale oppervlak waar de schaduw van de boom 3.095 m<sup>2</sup>. Het verschil per moment hoeveel de verlaging van de gevoelstemperatuur is en hoe groot het oppervlak is wat gekoeld wordt.



Figuur 33: Verloop van de schaduw bij een boom op 08-08-2020

## 7.2 Analyse effect typen daken

Het effect van verschillende typen daken is onderzocht door een gebouw aan te passen en de resultaten van de gevoelstemperatuur te vergelijken. Het gebouw wat onderzocht is, heeft een hoogte van 28 meter (8 verdiepingen) en heeft een oppervlakte van 5.000 m<sup>2</sup>. De verschillende typen daken, zoals beschreven in hoofdstuk 5.1.2 Multifunctioneel dak, hebben verschillende meekoppelkansen maar kijkend naar het effect op de gevoelstemperatuur is het geen geschikte maatregel. De tabel hieronder bevestigt het geringe effect. Een intensief groen dak heeft het meeste effect maar dit zal niet merkbaar zijn op straatniveau. De GIS-kaarten zijn te zien in Bijlage G GIS-kaarten ontwerpmaatregelen.

Tabel 15: Effecten gevoelstemperatuur verschillende typen daken

Effecten verschillende typen daken						
Tijd	Luchttemperatuur [°C]	Gemiddelde gevoelstemperatuur [°C]				
	Lokaal	Normaal dak	Groen dak intensief	Groen dak extensief	Waterdak	
04:00	15,4	12,77	12,80	12,75	12,76	
05:00	14,9	11,22	11,29	11,21	11,22	
06:00	15,8	11,91	11,98	11,91	11,91	
07:00	20,6	19,79	19,77	19,78	19,79	
08:00	25,7	27,53	27,52	27,53	27,53	
09:00	28,9	33,38	33,12	33,38	33,38	
10:00	31,4	38,18	37,80	38,18	38,17	
11:00	32,7	41,70	41,18	41,70	41,70	
12:00	33,4	42,78	42,34	42,78	42,78	
13:00	33,9	45,17	44,83	45,17	45,17	
14:00	33,7	43,04	42,76	43,04	43,04	
15:00	33,7	40,40	40,22	40,40	40,40	
16:00	32,6	37,70	37,75	37,69	37,70	
17:00	31,9	35,61	35,69	35,61	35,61	
18:00	31,3	33,48	33,50	33,47	33,48	
19:00	30,0	31,21	31,29	31,21	31,21	
20:00	28,6	28,81	28,90	28,80	28,81	
21:00	26,9	26,58	26,67	26,56	26,58	

### 7.3 Analyse effect struiken

Voor de analyse van het toepassen van struiken is gekozen voor om 2 varianten struiken te onderzoeken. Het toepassen van een struik aan één kan van de weg en aan beide kanten van de weg, voor beide varianten is de struikhoogte 1 meter. In de onderstaande tabel is op te maken dat één struik een maximale gevoelstemperatuur reductie heeft van 11,05 C ten opzichte van de gemiddelde gevoelstemperatuur op 12:00. Het toepassen van 2 struiken geeft een maximale reductie van de gevoelstemperatuur van 10,87 C ten opzichte van de gemiddelde gevoelstemperatuur. De gemiddelde gevoelstemperatuur bij twee struiken is 0,3 °C lager dan bij één struik. De GIS-kaarten zijn te zien in Bijlage G GIS-kaarten ontwerpmaatregelen.

Tabel 16: Analyse gevoelstemperatuur struiken

Vergelijking struiken									
Tijd	Luchttemperatuur [°C]	Gevoelstemperatuur [°C]							
	Lokaal	1 struik			2 struiken				Verskil koelend effect [°C]
		Gem.	Struik	Verskil	Gem.	Struiken	Verskil		
04:00	15,40	11,83	11,79	0,04	11,84	11,82	0,02		0,03
05:00	14,90	10,28	10,24	0,04	10,28	10,26	0,02		0,02
06:00	15,80	11,01	10,98	0,03	11,01	10,98	0,03		0,00
07:00	20,60	19,08	16,33	2,75	18,97	16,33	2,64		0,11
08:00	25,70	28,43	22,82	5,61	28,25	22,82	5,43		0,18
09:00	28,90	35,19	27,29	7,90	34,96	27,27	7,69		0,21
10:00	31,40	40,60	30,68	9,92	40,32	30,66	9,66		0,26
11:00	32,70	42,22	32,03	10,19	41,94	31,92	10,02		0,17
12:00	33,40	44,15	33,10	11,05	43,85	32,98	10,87		0,19
13:00	33,90	42,87	33,13	9,74	42,61	33,09	9,52		0,22
14:00	33,70	40,83	33,51	7,32	40,63	33,47	7,16		0,15
15:00	33,70	39,97	34,77	5,20	39,83	34,66	5,17		0,03
16:00	32,60	38,03	34,26	3,77	37,92	34,30	3,62		0,14
17:00	31,90	35,58	32,68	2,90	35,50	32,71	2,79		0,11
18:00	31,30	34,49	31,41	3,08	34,40	31,40	3,00		0,08
19:00	30,00	31,29	28,96	2,33	31,21	28,96	2,25		0,08
20:00	28,60	28,10	27,14	0,96	28,08	27,14	0,94		0,02
21:00	26,90	25,55	25,47	0,08	25,55	25,50	0,05		0,03

## 8 Conclusie

---

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: **‘Wat is het effect van ontwerpmaatregelen op het verminderen van hittestress?’** Hiervoor is een kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar ontwerpmaatregelen en de effecten daarvan op het verminderen van hittestress.

### 8.1 Conclusie hoofdvraag

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 verminderd de hoeveelheid directe zonnestraling, wat 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 hebben tot slot uitgewezen dat het planten van bomen van 12 meter hoog de gevoelstemperatuur maximaal verlagen met 13,51 °C om 13:00 bij weersomstandigheden gelijk aan die van 08-08-2020 in Utrecht. Deze maatregel is het effectiefst van de onderzochte ontwerpmaatregelen.

### 8.2 Conclusies deelvragen

Tevens zijn er deelvragen opgesteld aan het begin van het onderzoek. De conclusie per deelvraag ter verduidelijking van het proces is hieronder omschreven.

#### 1. *Wat is er bekend over hittestress?*

Hittestress wordt ervaren door mensen wanneer de gevoelstemperatuur hoger is dan 23 graden Celsius. Echter, wordt hittestress vanaf 29 graden Celsius een aandoening. De gevoelstemperatuur van mensen komt voort uit de invloed van verschillende factoren, namelijk vanuit de gebouwde omgeving, weersomstandigheden en de fysieke gesteldheid van de mens. De factoren welke invloed hebben op de gevoelstemperatuur zijn: de luchttemperatuur, de straling van de zon, aarde en gebouwde omgeving, de luchtvochtigheid, de bewolking, de wind, de verdamping, de schaduw, antropogene activiteiten en de fysieke gesteldheid van een mens. Daarnaast is er nagegaan welke factoren beïnvloedbaar zijn door de gebouwde omgeving. Dat is gedaan om inzichtelijk te maken waarmee de gevoelstemperatuur positief beïnvloedbaar is. De factoren welke te beïnvloeden zijn door het toepassen van ontwerpmaatregelen zijn: de schaduw, directe zonnestraling en straling van de gebouwde omgeving. De gevolgen van hittestress hebben niet alleen betrekking tot de gezondheid van de mens maar treffen de gehele samenleving. De beschikbaarheid en kwaliteit van water gaat achteruit, de infrastructuur raakt beschadigt en de leefbaarheid van zowel de binnen- als buitenruimte gaat achteruit.



## **2. Wat is er bekend over het stedelijk hitte-eiland effect?**

De eigenschappen van een stad hebben nadelige effecten op de temperatuur. Doordat er veel verharding aanwezig is en groen vaak ontbreekt, wordt warmte langer vastgehouden. Daarnaast zijn gebouwen vaak hoog, wat de windstroming blokkeert. Dit heeft als gevolg dat het op sommige plekken zachter gaat waaien, terwijl het op andere plekken harder gaat waaien. Daardoor neemt de warmte-uitwisseling tussen mensen en de lucht af, wat voor een verhoging van de gevoelstemperatuur zorgt. Tot slot, zorgt de hoogbouw ervoor dat de SVF lager is in vergelijking met het omliggende gebied. De zonnestraling reflecteert intern tussen hoge gebouwen waardoor de temperatuur stijgt.

## **3. Welke ontwerpparameters zijn van belang bij het verminderen van hittestress?**

De ontwerpparameters welke van belang zijn komen voort uit de eigenschappen van een stad en factoren van de gevoelstemperatuur. Daardoor zijn ontwerpmaatregelen geschikt welke de omgeving koelen volgens de principes: reflectie, schaduw, ventilatie en verdamping. Het reflecterend vermogen heeft te maken met de eigenschappen van de verhardingen waardoor er minder warmte opgeslagen wordt. Het creëren van schaduw zorgt ervoor dat de zonnestraling niet direct op een mens komt, waardoor de gevoelstemperatuur daalt. Wind stimuleert de warmte-uitwisseling tussen de mens en de lucht waardoor er bij een hogere windsnelheid, de gevoelstemperatuur omlaag gaat. Als laatste, heeft verdamping een positieve invloed op de luchttemperatuur omdat verdamping een endotherm proces is waardoor het warmte nodig heeft. De warmte bij de verdamping van water wordt uit de lucht gehaald.

## **4. Wat zijn de geschikte methodes om hittestress te simuleren?**

Het simuleren van hittestress kan middels verschillende simulatieprogramma's gedaan worden. Met een combinatie van Ladybug en Grashopper kan hittestress geprogrammeerd en vervolgens gemodelleerd worden. Doordat het model geprogrammeerd moet worden, is deze optie niet gebruiksvriendelijk. Vervolgens is er het programma Citysim, wat een plug-in is voor Sketchup waarmee in een model hittestress berekend kan worden. Tot slot is het programma Tygron onderzocht, waarmee een digitaal model wordt ingeladen op basis van publiek toegankelijke data. Daarnaast is het mogelijk om weergegevens van het KNMI in te laden waarna het programma de invalshoek van de zon bepaald op basis van een datum. Bovendien kan het digitale model aangepast worden zodat er een realistischer model ontstaat. Tygron is gebruikt om hittestress te simuleren omdat dit als meest geschikte methode gezien wordt.

## **5. Hoe zijn de ontwerpparameters te kwantificeren?**

De ontwerpmaatregelen zijn gekwantificeerd door analyses uit te voeren in Tygron. Door de gemiddelde gevoelstemperatuur te vergelijken met de gevoelstemperatuur van de ontwerpmaatregel wordt duidelijk hoeveel de vermindering is. Een drietal zijn gekwantificeerd omdat een aantal ontwerpmaatregelen (nog) niet te kwantificeren zijn in Tygron. Het plaatsen van bomen en struiken en het realiseren van multifunctionele daken zijn gekwantificeerd. Het planten van bomen is de meest geschikte ontwerpmaatregel en dat bevestigen de resultaten. Bij omstandigheden gelijk aan 08-08-2020 is het maximale verschil tussen de gemiddelde gevoelstemperatuur en de boom 13,51 °C. Het maximale verschil bij struiken is 11,05 °C, maar daarbij is het belangrijk hoe de struiken zijn geplaatst ten opzichte van het gebied. Tot slot, zijn verschillende typen daken onderzocht. Een vergelijking is gemaakt tussen een normaal-, intensief-, extensief en een waterdak. Daaruit is de conclusie getrokken dat het effect op de gemiddelde gevoelstemperatuur gering is.

## 9 Discussie en aanbevelingen

---

Voor dit onderzoek zijn ontwerpmaatregelen onderzocht om het effect op de gevoelstemperatuur te kwantificeren. De ontwerpmaatregelen zijn gekwantificeerd door analyse uit te voeren met het simulatieprogramma Tygron. Door te onderzoeken wat het effect is op de gemiddelde gevoelstemperatuur is inzicht gecreëerd of de ontwerpmaatregelen de gevoelstemperatuur verminderen. De rekenmodule hittestress van Tygron is gebaseerd op de ontwikkeling van de standaard stresstest van het RIVM. Op basis hiervan kan gesteld worden dat de resultaten van het onderzoek valide zijn en dat bij een herhaling van het onderzoek de resultaten hetzelfde zouden zijn.

Uit de analyse van de effecten van ontwerpmaatregelen op de gevoelstemperatuur bleek dat het realiseren van multifunctionele daken weinig effect heeft op de gevoelstemperatuur op straatniveau. Tygron berekent niet de gevoelstemperatuur op het dak waardoor het als 'geen data' wordt gezien. Daardoor weerspiegelt het effect op de gemiddelde gevoelstemperatuur niet de realiteit. Daardoor staat het resultaat van multifunctionele daken niet in lijn met de verwachting dat het de gemiddelde gevoelstemperatuur verlaagd.

Het huidige onderzoek heeft gebruik gemaakt van Tygron, echter zijn de mogelijkheden met het toepassen van ontwerpmaatregelen voor het verlagen van hittestress beperkt. Daardoor konden niet alle onderzochte ontwerpmaatregelen gekwantificeerd worden. Uit de literatuurstudie en onderzochte ontwerpmaatregelen is gebleken dat het creëren van schaduw het effectiefst is waardoor de ontwerpmaatregel 'het planten van bomen' als meest geschikte ontwerpmaatregel gezien kan worden.

Hierbij moet rekening worden gehouden met dat de meeste ontwerpmaatregelen meerdere meekoppelkansen hebben. Daardoor zullen meerdere ontwerpmaatregelen, welke minder geschikt zijn voor het verminderen van hittestress, wel bijdragen aan andere aspecten van de gebouwde omgeving. De toekomstige problemen in steden door klimaatverandering beperken zich niet alleen tot hittestress.

Ontwerpmaatregelen kunnen gecombineerd worden, waardoor het effect op het verminderen van hittestress groter kan zijn dan een ontwerpmaatregel alleen. Daardoor zijn er meer mogelijkheden om hittestress te verminderen. Daardoor wordt geadviseerd om een vervolgonderzoek te doen naar alle ontwerpmaatregelen welke tekortkomingen van een stad verminderen. Daarnaast wordt geadviseerd om een soortgelijk onderzoek uit te voeren wanneer er meer mogelijkheden zijn met betrekking tot het kwantificeren van ontwerpmaatregelen.

## 10 Bibliografie

- 
- Algemeen Nederlands Woordenboek. (2017, mei 30). *Hittestress*. Opgehaald van Ensie:  
<https://www.ensie.nl/anw/hittestress>
- Atlas Leefomgeving. (N.b., N.b. N.b.). *Omgevingseffecten bouw*. Opgehaald van Atlas Leefomgeving - Verken en ontdek je leefomgeving: <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/bouw/omgevingseffecten-bouw>
- CBS. (2019, 09 10). *Sterke groei in steden en randgemeenten verwacht*. Opgehaald van CBS:  
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/37/sterke-groei-in-steden-en-randgemeenten-verwacht>
- CBS. (2020, augustus 21). *Iets hogere sterfte in warme week*. Opgehaald van Centraal Bureau voor de Statistiek:  
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/34/iets-hogere-sterfte-in-warme-week>
- Climate Proof Cities. (2011). *Hitte en Klimaat in de Stad*. Ministerie van Infrastructuur en milieu.
- Compendium voor de Leefomgeving. (2018, april 25). *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1906 - 2017*. Opgehaald van Compendium voor de Leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl022613-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland#:~:text=De%20wereldgemiddelde%20temperatuur%20is%20over,de%20mens%20veroorzaakte%20versterkte%20broeikaseneffect>.
- Droste, A. (2018). *Introducing the urban wind island effect*. Wageningen: Wageningen University.
- Examenoverzicht. (n.b., n.b. n.b.). *Fotosynthese*. Opgehaald van Examenoverzicht:  
<https://www.examenoverzicht.nl/biologie/fotosynthese>
- (n.b.). *Factsheet Groen in de stad; Klimaat in de stad*. Den Haag: Wageningen Universiteit.
- Hassink, d. J. (2021, december 1). *Impactmeting BuurtGroenBedrijf Spijkerkwartier Arnhem*. Opgehaald van Wageningen Universiteit: <https://www.wur.nl/nl/project/Impactmeting-BuurtGroenBedrijf-Spijkerkwartier-Arnhem.htm>
- Heusinkveld, B., van Hove, B., & Jacobs, C. (2011). *Ruimtelijke analyse van het stadsklimaat in Rotterdam*. Wageningen: Wageningen Universiteit.
- Hittestress: een onderschat probleem*. (2016, juli 26). Opgehaald van Openbare Ruimte:  
<https://deopenbareruimte.nu/hittestress-onderschat-probleem/>
- Hogeschool van Amsterdam. (2019, April). *Mindmap hitte in de stad*. Opgehaald van Hitte Bestendige Stad:  
<https://www.hittebestendigestad.nl/mindmap/>
- Hogeschool van Amsterdam. (2020). *De hittebestendige stad: Coolkit*. Amsterdam.: Kenniscentrum Techniek.
- ir. L. Kleerekoper, p. d. (2012). *Thermisch comfort in de stad*. n.b.: Climate Proof Cities.
- Kennisportaal klimaatadaptatie. (2018, december 18). *Water: een koelelement in de warme stad?* Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/interview-klok-sol/>
- Klimaat-effect Atlas. (N.b., N.b. N.b.). *Hittekaart gevoelstemperatuur*. Opgehaald van Klimaat-effect Atlas:  
<https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/hittekaart-gevoelstemperatuur>
- Klimaat-effectatlas. (n.b., n.b. n.b.). *Hittekaart gevoelstemperatuur*. Opgehaald van Klimaat-effectatlas:  
<https://www.architectuur.nl/kennis/landelijke-hittekaart-gevoelstemperatuur-gelanceerd/>
- Klimaatinfo. (Z.d., Z.d. Z.d.). *Gevoelstemperatuur*. Opgeroepen op oktober 19, 2021, van Klimaatinfo:  
<https://klimaatinfo.nl/informatie/gevoelstemperatuur/>
-

- Klok, L., Jacobs, C., & Kluck, J. (2018). *Hoe verkoelend is water nu echt?* Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Klok, L., ten Broeke, H., Verhagen, H., Kok, H., & Zwart, S. (2010). *Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect*. Utrecht: TNO.
- Kluck, J. (2020, mei 18). *Groen en schaduw helpen het beste tegen hitte in de stad*. Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/hittebestendige-stad/>
- Kluck, J. (2020, mei 28). *Groen en schaduw helpen het beste tegen hitte in de stad*. (K. Klimaatadaptatie, Interviewer)
- KNMI. (2015). *KNMI' 14 Klimaatscenario's voor Nederland*. De Bilt: KNMI.
- KNMI. (n.b., n.b. n.b.). *Energiebalans van de aarde*. Opgeroepen op oktober 19, 2021, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/energiebalans-van-de-aarde>
- KNMI. (n.b., n.b. n.b.). *Hittegolf*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/hittegolf>
- KNMI. (n.b., n.b. n.b.). *Hittegolven*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>
- KNMI. (n.b.). *KNMI-klimaatscenario's*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/knmi-klimaatscenario-s>
- KNMI. (n.b., n.b. n.b.). *Uurgegevens van het weer in Nederland*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>
- M. Dirksen, R. R. (2019). *Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies*. Wageningen: KNMI.
- Malmi, J. K. (2019). *No Experimental Evidence For The Significant Anthropogenic Climate Change*. Turku: University of Turku.
- Marieke Koster, M. v. (2014). *Ontwerpen met Klimaatadaptatie*. Velp: Hogeschool van Hall Larenstein.
- Maroy, K., Carbonez, K., Steeman, M., Van de Vijver, S., & Van Den Bossche, N. (2015). *Thermografie als graadmeter van de gebouwschil*. Gent: Universiteit Gent.
- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. (2020). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*. Bilthoven: Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.
- N.E. Theeuwes, G. S. (2017). *A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern*. Wageningen: Wageningen University.
- Nu.nl. (2019, 03 29). *Klimaatverandering: hoeveel warmer wordt het nou eigenlijk?* Opgehaald van Nu.nl: <https://www.nu.nl/weekend/5816718/klimaatverandering-hoeveel-warmer-wordt-het-nou-eigenlijk.html>
- O2D Environmet. (n.b., n.b. n.b.). *Groene parkeerplaats: principes en voordelen*. Opgehaald van O2D Environment: <https://www.o2d-environnement.com/nl/toepassingen/groene-parkeerplaats-duurzame-parking-gazon/>
- Papagreen. (2020, September 28). *Soorten groen dak*. Opgehaald van Papagreen: <https://papagreen.org/groen/soorten-groen-dak/>
- Pötz, H. (2016). *Groenblauwe netwerken*. N.b.: Atelier GroenBlauw.
- Prado, R. T. (2004). *Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials*. São Paulo: Building System Laboratory of Escola Politécnica at University of São Paulo.

- PWC. (sd). *Versnellende verstedelijking*. Opgeroepen op oktober 18, 2021, van PwC: <https://www.pwc.nl/nl/themas/megatrends/urbanisatie.html>
- Rietkerk, M., Hommes, S., Mastop, J., Dirven, L., & Schyns, P. (2016). *Klimaatbestendige tuinen - stap doorgronden: gedragsanalyse*. n.b.: Deltares.
- RIVM. (2019). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM. (2021, november 18). *Legionella*. Opgehaald van RIVM: <https://www.rivm.nl/legionella#:~:text=Een%20natte%20koeltoren%20vernevelt%20water,inademing%20kunnen%20legionellabacteri%C3%ABn%20gevaarlijk%20zijn.>
- Rovers, V. (2014). *Factsheet Hittestress*. Den Haag: TNO.
- Santamouris, M. (2012). *Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments*. Athens: University of Athens.
- 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.
- Taleghani, M., & Berardi, U. (2017). *The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto*. Manchester: University of Salford.
- Timmer, L., & Visser, P. (2012). *Hitte in de stad*. Rotterdam: Hogeschool Rotterdam.
- TU Delft. (n.b.). *Hydrologie*. Delft: TU Delft.
- Tuinadvies. (n.b., n.b. n.b.). *De voordelen van een groene gevel*. Opgehaald van Tuinadvies: [https://www.tuinadvies.nl/artikels/de\\_voordelen\\_van\\_een\\_groene\\_gevel](https://www.tuinadvies.nl/artikels/de_voordelen_van_een_groene_gevel)
- United States Environmental Protection Agency. (2021, July 15). *Using Cool Roofs to Reduce Heat Islands*. Opgehaald van Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/heatislands/using-cool-roofs-reduce-heat-islands>
- Urban Technology. (2021, juli 13). *Koele bestratingsmaterialen*. Opgehaald van Hogeschool van Amsterdam: <https://www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/contentgroep/klimaatbestendige-stad/resultaten/efc-bestrating.html#:~:text=De%20emissiviteit%20van%20een%20materiaal,de%20temperatuur%20van%20het%20oppervlak.>
- Versnellende verstedelijking*. (n.d., n.d. n.d.). Opgeroepen op 10 12, 2021, van PricewaterhouseCoopers: <https://www.pwc.nl/nl/themas/megatrends/urbanisatie.html>
- Wat is een hitte-eiland?* (n.d., n.d. n.d.). Opgeroepen op 10 12, 2021, van Hitte-eilanden: <https://hitte-eilanden.nl/wat-is-een-hitte-eiland/>

## Bijlage A Weergegevens hittegolf 2020

---

## Bijlage B Analyse Verdamping

---



# Bijlage C Analyse Sky View Factor

---

## Bijlage D Rekenprincipes Tygron

---

## Bijlage E Overzicht Ontwerpmaatregelen

---

## Bijlage F GIS-kaarten Casus

---

## Bijlage G GIS-kaarten ontwerpmaatregelen

---

# Bijlage H Toolbox

---