



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte**

Dit rapport bevat een erratum d.d. 19-02-2020  
op pagina 123

RIVM Briefrapport 2019-0008  
T. de Nijs et al.



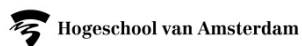


Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte**

Dit rapport bevat een erratum d.d. 19-02-2020  
op pagina 123

RIVM Briefrapport 2019-0008  
T. de Nijs et al.



## Colofon

© RIVM 2019

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2019-0008

T. de Nijs (auteur), RIVM  
P. Bosch (auteur), TNO  
E. Brand (auteur), RIVM  
B. Heusinkveld (auteur), WUR  
F. van der Hoeven (auteur), TU-Delft  
C. Jacobs (auteur), WEnR  
L. Klok (auteur), HvA  
J. Kluck (auteur), HvA  
A. Koekoek (auteur), CAS  
S. Koopmans (auteur), WUR  
K. van Nieuwaal (auteur), CAS  
R. Ronda (auteur), KNMI  
G. Steeneveld (auteur), WUR

Contact:

T. de Nijs  
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid  
Ton.de.nijs@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, DG Water en Bodem in het kader van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
www.rivm.nl

## Publiekssamenvatting

### **Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte**

Door klimaatverandering stijgt de temperatuur, waardoor er meer hittegolven zijn met meer hete dagen en nachten. Alle overheden (gemeenten, provincies en waterschappen) in Nederland moeten daarom vóór 2020 knelpunten van wateroverlast, hitte, droogte en overstromingen in beeld brengen. Het RIVM doet een voorstel om deze 'test voor hittestress' te standaardiseren. Hiertoe is een leidraad opgesteld voor gemeenten waarmee zij 24 mogelijke risico's in kaart kunnen brengen, verdeeld over vijf thema's: gezondheid, netwerken, water, leefbaarheid en buitenruimte.

Om de hittestress te beoordelen is een nieuwe methode ontwikkeld om hittekaarten te berekenen, met de gevoelstemperatuur als uitgangspunt. Met deze nieuwe methode kan de standaard hittekaart met gevoelstemperatuur op een hete dag berekend worden.

Op dit moment zijn er veel hittekaarten beschikbaar die op uiteenlopende wijze de hitte in beeld brengen. In steden is het vaak warmer dan in landelijke gebieden, onder andere door het gebruik van donkere materialen zoals asfalt en door lagere windsnelheden (hitte-eiland). Bij de standaardberekening wordt rekening gehouden met verschillende weersomstandigheden en de plaatselijke ruimtelijke situatie, het landgebruik, en de ligging van gebouwen en bomen. De gestandaardiseerde kaarten zijn in dit onderzoek uitgewerkt voor de stad Wageningen. Om de stresstest beter toepasbaar te maken is het belangrijk dat de nieuwe hittekaarten op nationale schaal worden uitgewerkt en beschikbaar komen in de Klimaat Effect Atlas. In deze digitale atlas is nu al de kaart met het aantal warme nachten opgenomen.

Langdurig aanhoudende hitte kan hinder veroorzaken, variërend van slecht slapen tot een levensbedreigende verstoring van lichamelijke functies zoals bij een zonnesteek. Als gevolg van hitte overlijden meer mensen dan 'normaal', vooral ouderen en mensen met een chronische aandoening als long- en hartklachten. Het RIVM beveelt aan deze gezondheidsrisico's voor Nederland in beeld te brengen. Het gaat daarbij vooral om het aantal extra ziekenhuisopnamen als gevolg van de hitte en het aantal mensen dat extra overlijdt.

Kernwoorden: hittestress, stresstest, standaardisatie, hittekaart, Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA)



## Synopsis

### **Development of a Standard Heat Stress Test**

The temperature is rising due to climate change, resulting in more heat waves and more hot days and nights. All government agencies (municipalities, provincial governments and water boards) in the Netherlands must therefore identify the bottlenecks relating to flooding, heat, drought and floods before 2020. RIVM has proposed standardising the 'test for heat stress'. To this end, a guideline has been drawn up for municipalities to enable them to list 24 possible risks, divided into 5 themes: health, networks, water, quality of life and outdoor space.

A new method has been developed for calculating heat maps, with the wind chill temperature as starting point, that can be used to assess heat stress. Using this new method, the standard heat map, with wind chill temperature, can be calculated on a hot day.

There are currently a lot of heat maps available, all showing the heat in different ways. Urban areas are often warmer than rural ones, partly because of the use of dark materials, such as asphalt, and lower wind speeds (heat island). The standard calculation takes into account various weather parameters, the local spatial situation, the land use and the location of buildings and trees. In this study, standardised maps have been developed for the city of Wageningen. For the stress test to become more applicable, it is important that new heat maps are developed on a national scale and made available in the Climate Effect Atlas. A map with the number of hot nights has already been included in this digital atlas.

Prolonged periods of heat can cause nuisance, varying from a lack of sleep to a life-threatening disturbance of bodily functions, as is the case with sunstroke. More people die than 'normal' when it is very hot; the elderly and people with chronic disorders, such as pulmonary and cardiac complaints, are particularly vulnerable. RIVM recommends the identification of these health risks for the Netherlands. The most important parameters are the number of additional hospitalisations resulting from the heat and the number of deaths in excess of the 'normal' numbers.

Keywords: heat stress, stress test, standardisation, heat map, Delta Plan on Spatial Adaptation (DPRA)





## Inhoudsopgave

### **Dankwoord — 9**

### **Samenvatting — 11**

#### **1 Inleiding — 13**

- 1.1 Ontwikkeling stresstesten — 13
- 1.2 De maatschappelijke opgave hitte — 14
- 1.3 Werkwijze en rapportage — 15
  - 1.3.1 Werkwijze — 15
  - 1.3.2 Leeswijzer — 16

#### **2 Vaststellen uitgangspunten — 17**

- 2.1 Prioritering van impacts — 17
- 2.2 Standaard hittegolf en keuze klimaatscenario — 18
- 2.3 Vaststelling parameters — 18

#### **3 Recept ontwikkeling standaard hittestresskaart — 19**

- 3.1 Introductie en vraagstelling — 19
- 3.2 Achtergrond hitte — 20
  - 3.2.1 Fysische achtergrond — 21
- 3.3 Gevoelstemperatuur — 22
- 3.4 Methodologie — 23
  - 3.4.1 Berekening van fysiologisch equivalente temperatuur (PET) — 23
  - 3.4.2 Meteorologische invoer — 26
  - 3.4.3 PET routewaarnemingen in Wageningen met bakfiets — 26
  - 3.4.4 KNMI'14 klimaatscenario's — 26
  - 3.4.5 Ontwikkeling kaart — 27
- 3.5 PET regressiemodel en kaartproducten — 33
  - 3.5.1 PET regressiemodel — 33
  - 3.5.2 Kaart 2 augustus 2013 en validatie — 34
  - 3.5.3 Aanbevelingen en vooruitzichten voor het PET-model — 39
- 3.6 De Standaard Hittekaarten — 39
  - 3.6.1 PET-Hittekaart overdag — 39
  - 3.6.2 PET-Overschrijdingskaart overdag — 41
  - 3.6.3 PET-Overschrijdingskaart-'s nachts — 42
- 3.7 Hoe verschilt de standaardkaart van andere hittestresskaarten? — 43

#### **4 Leidraad Stresstest Hitte — 47**

- 4.1 Doel van deze leidraad — 47
- 4.2 De hittekaarten — 47
  - 4.2.1 KEA-kaart warme nachten — 48
  - 4.2.2 PET-Hittekaart overdag — 48
  - 4.2.3 PET-Overschrijdingskaarten — 49
- 4.3 Mindmap Hitte in de Stad — 49
- 4.4 Stappen voor de stresstest hitte — 51
- 4.5 Voorbeeld factsheets en teksten leidraad — 51
  - 4.5.1 Stresstest - hitte - gezondheid — 52
  - 4.5.2 Stresstest - hitte - buitenruimte — 57
  - 4.5.3 Stresstest - hitte - leefbaarheid — 60
  - 4.5.4 Stresstest - hitte - water — 64

4.5.5	Stresstest – hitte – netwerken – 67
<b>5</b>	<b>Gebruikersconsultatie – 73</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen – 75</b>
<b>7</b>	<b>Referenties – 79</b>
<b>8</b>	<b>Lijst met afkortingen en symbolen – 83</b>
	<b>Bijlage 1: Standaardisatie hittekaarten V1.0 recept – 87</b>
B1.1	Inleiding – 87
B1.2	Recept – 88
B1.2.1	Luchttemperatuur en luchtvochtigheid – 91
B1.2.2	Zon/schaduw – 93
B1.2.3	Windsnelheid – 94
B1.2.4	PET berekening – 97
B1.2.5	Translatie naar het KNMI WH-scenario – 98
B1.2.6	Hittekaarten – 99
B1.2.7	Look-up tabellen – 107
B1.2.8	Selectie KNMI weerstation – 108
B1.3	Literatuur – 110
B1.4	Bijlage A: Overzicht symbolenlijst. – 112
	<b>Bijlage 2: FAQ PET-Hittekaart overdag – 113</b>
	<b>Bijlage 3: FAQ PET-Overschrijdingskaart overdag – 118</b>
	<b>Bijlage 4: FAQ PET-Overschrijdingskaart 's nachts – 119</b>
	<b>Erratum – 123</b>

## Dankwoord

Klimaatadaptatie is voor iedereen van belang. Daarom is het belangrijk dat er een toepasbare, standaard methode wordt ontwikkeld die aansluit bij de wensen, vragen en informatie uit de praktijk. We willen onderstaande mensen bedanken voor hun bijdragen aan het project, tijdens het opstarten, bij het vaststellen van de uitgangspunten, of gedurende de gebruikersconsultatie:

- Maarten Baan (Buro Boot);
- Michiel Brouwer (CoP Zuidvleugel);
- Ronald Groen (Royal HaskoningDHV);
- Otto Hettinga (gemeente Zwolle);
- Maarten de Hoog (Gebiedsmanagers);
- Arjaan Hoogenboom (gemeente Delft);
- Ron Kaptijn (gemeente Diemen);
- Bert Kiewiet (gemeente Wijdemeren);
- Mark van Kruining (Unie van Waterschappen);
- Kees Kruithof (gemeente Heerhugowaard);
- Petra Mackowiak (gemeente Tilburg);
- Govert ter Mors (Nelen & Schuurmans);
- Lucas Nieuweboer (Sweco);
- Reinout de Oude (Witteveen+Bos);
- Harry Post (gemeente Wageningen);
- Teun Terpstra (HKV);
- Annemiek Roeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu);
- Eefje Vissers (TAUW);
- Emilie van Zinnicq Bergmann (gemeente Amsterdam).



## Samenvatting

Door klimaatverandering stijgt de temperatuur. Volgens de KNMI'14 klimaatscenario's (2014) neemt het aantal zomerse dagen ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) toe van 25 in het huidige klimaat naar  $50 \pm 15$  in 2085. Er zullen meer hittegolven optreden, meer tropische dagen ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) en hete nachten voorkomen.

Daar komt bij dat het in steden nog eens extra warm kan zijn door het stedelijk hitte-eiland effect. In de avond kan de temperatuur in de stad 7 graden hoger zijn dan in het buitengebied. Hoe hoger de buitentemperatuur en hoe langer de hitteperiode, hoe meer mensen last van de hitte zullen hebben. Langdurig aanhoudende hitte kan leiden tot hinder, die kan variëren van slaapverstoring tot levensbedreigende verstoring van fysiologische functies zoals bij een zonnesteek. Als gevolg van hitte zijn er ook in Nederland elk jaar extra sterfgevallen te betreuren, vooral onder ouderen en mensen met een chronische aandoening.

In het kader van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie moeten alle overheden (gemeenten, provincies en waterschappen) in Nederland een klimaatstresstest doen om knelpunten van wateroverlast, hitte, droogte en overstromingen in beeld te brengen.

Op dit moment zijn er een groot aantal hittekaarten beschikbaar die aanzienlijk kunnen verschillen in de wijze waarop de hitte in beeld wordt gebracht. Deze variëteit in hittekaarten heeft geleid tot de wens van zowel gebruikers als ontwikkelaars om meer eenduidigheid te krijgen in zowel invoer, (reken)methodiek als uitvoer.

Deze rapportage geeft invulling aan die wens tot standaardisatie. Hiertoe zijn eerst de uitgangspunten voor deze standaard hittestresstest vastgesteld met alle leden van het consortium. Hierbij is er voor gekozen om de hittekaarten te baseren op de gevoelstemperatuur (PET), en daarmee de hitte op een zomerse dag en de warme nachten in beeld te brengen voor de huidige en toekomstige situatie op basis van het WH scenario van het KNMI. Met deze uitgangspunten is een standaard recept voor de berekening van hittekaarten gedefinieerd waarbij rekening wordt gehouden met variërende meteorologische omstandigheden en de lokale ruimtelijke situatie, landgebruik, ligging van gebouwen en bomen.

Daarnaast is een leidraad voor de gemeenten ontwikkeld op basis van de mindmap "Hitte in de Stad". Aan de hand van deze mindmap kunnen 24 mogelijke risico's van hittestress geïdentificeerd worden, verdeeld over vijf thema's: gezondheid, netwerken, water, leefbaarheid en buitenruimte

Tenslotte zijn het recept voor het berekenen van de hittekaarten, en de leidraad om de potentiële risico's van hitte te identificeren, in een gebruikersconsultatie voorgelegd aan een beperkte groep gebruikers vanuit de gemeenten en adviesbureaus. Tijdens deze consultatie gaven de gemeenten aan dat klimaatadaptatie zoveel mogelijk gekoppeld zou moeten worden aan energietransitie en andere ruimtelijke opgaven in de stad. Om hittestress in de toekomst te verminderen zouden de gemeenten graag zien dat er ook ontwerpcriteria voor hittestress in nieuwe gebiedsontwikkelingen zouden komen.

De komende periode zullen de gemeenten aan de slag gaan met de hittestresstest. Om de stresstest beter toepasbaar te maken is het belangrijk dat de voorstelde hittekaarten worden uitgewerkt op nationale schaal en beschikbaar worden gemaakt in de Klimaat Effect Atlas. Het wordt aanbevolen om de toepassing van de stresstesten te volgen en te evalueren. Op basis van de evaluatie zou bekeken moeten worden welke kennis en informatie aanvullend nodig is om de risicodialoog beter te ondersteunen.

De huidige berekeningsmethode voor hitte is getoetst op een beperkt aantal meetgegevens voor de stad Wageningen. Ontwikkeling en ontsluiting van betrouwbare monitoringsgegevens met betrekking tot hitte(stress) is van groot belang om de berekeningsmethode voor hitte te verbeteren.

Beschikbare middelen voor klimaatadaptatie kunnen efficiënt worden ingezet door de risico's van klimaatverandering (wateroverlast, overstroming, hitte en droogte) vergelijkbaar te maken. De uitgangspunten, methoden en effecten van de verschillende klimaatrisico's zouden daarbij, voor zover mogelijk, op elkaar afgestemd en vertaald moeten worden naar maatschappelijke kosten en baten.

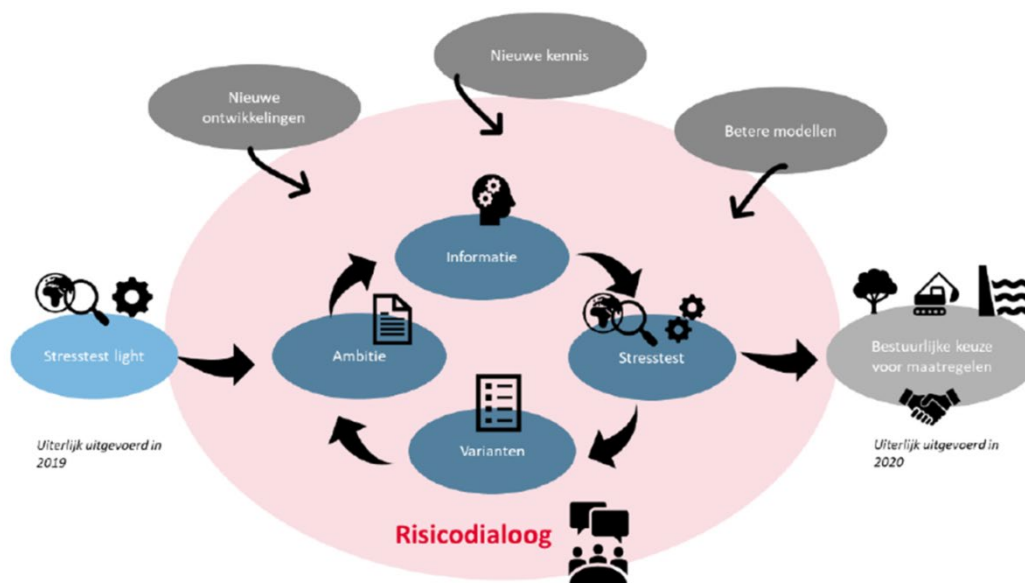
Het recept voor de berekening van de PET-Hittekaart, alsook de mindmap voor het beoordelen van de mogelijke risico's van hitte, kunnen in de nabije toekomst nog aan kleine veranderingen onderhevig kan zijn. Voor de meest actuele informatie wordt verwezen naar de website van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/>  
Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat streeft er naar om de PET-Hittekaart zo snel mogelijk op landelijke schaal beschikbaar te stellen via de Klimaat Effect Atlas.

# 1 Inleiding

## 1.1 Ontwikkeling stresstesten

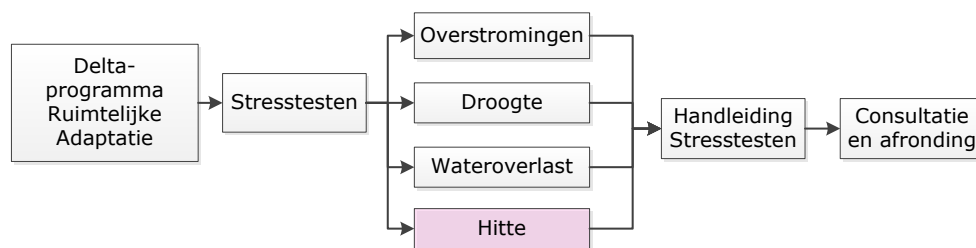
In het kader van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DpRA, 2018) moeten alle overheden (gemeenten, provincies en waterschappen) in Nederland een klimaatstresstest doen om knelpunten van wateroverlast, hitte, droogte en overstromingen in beeld te brengen. Deze stresstesten hebben primair als doel om met de juiste instrumenten de risicodialoog te kunnen ondersteunen (zie ook figuur 1.1). De stresstesten omvatten zowel landelijk als stedelijk gebied en worden uitgevoerd om:

- de mogelijke kwetsbaarheden van een gebied gedetailleerd in beeld te brengen (vitale en kwetsbare functies);
- het effect van eventuele maatregelen te kunnen bepalen en;
- te verkennen welke andere ontwikkelingen de kwetsbaarheid verhogen.



Figuur 1.1: de risicodialoog (overgenomen van AT-Osborne 2018).

De ontwikkeling van de stresstesten voor wateroverlast, overstromingen, droogte en hitte in het kader van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie wordt weergegeven in figuur 1.2. De resultaten van deze stresstesten zijn opgenomen in de geactualiseerde Bijsluiter stresstesten (<https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/>) die ter consultatie is voorgelegd aan gemeenten, waterschappen, provincies en adviesbureaus.



Figuur 1.2: Ontwikkeling van de stresstesten in het kader van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie.

## 1.2 De maatschappelijke opgave hitte

Door klimaatverandering stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde. Volgens de KNMI'14 klimaatscenario's (2014) neemt het aantal zomerse dagen ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) toe van gemiddeld 25 in het huidige klimaat naar  $50 \pm 15$  in 2085. Er zullen meer hittegolven optreden, meer tropische dagen ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) en hete nachten voorkomen. Deze hebben aantoonbare negatieve effecten onder andere op de gezondheid van kwetsbare groepen, de leefbaarheid en arbeidsproductiviteit. Vooral waar veel mensen wonen en werken, in de steden, is het relevant te bedenken hoe we de omgeving aangenaam en leefbaar kunnen houden. Daar komt bij dat het in steden nog eens extra warm kan zijn door het stedelijk hitte-eiland effect. In de avond kan de temperatuur in de stad meer dan 7 graden hoger zijn dan in het buitengebied. Hoe hoger de buitentemperatuur en hoe langer de hitteperiode, hoe meer mensen last van de hitte zullen hebben. Langdurig aanhoudende hitte kan leiden tot hinder, die kan variëren van slaapverstoring tot levensbedreigende verstoring van fysiologische functies zoals bij een zonnesteek. Als gevolg van hitte zijn er ook in Nederland elk jaar extra sterfgevallen te betreuren, vooral onder ouderen en mensen met een chronische aandoening. Deze extra sterfgevallen worden verklaard door de warme weersomstandigheden en ten dele ook door smogvorming en de verslechterde luchtkwaliteit tijdens hittegolven.

In dit rapport concentreren we ons op het stedelijk gebied en maken we onderscheid tussen hitte en hittestress, waarbij hitte een voor Nederland (extreem) hoge temperatuur is en hittestress de effecten van de blootstelling aan deze hitte.

Op dit moment zijn er verschillende aanbieders van hittekaarten voor het stedelijk gebied. Deze kaarten laten zien waar de hitte in de stad het hoogst is. De kaarten worden gemaakt op basis van geo-informatie (zoals landgebruikskaarten, hoogtebestand, bomenbestand).

Verschillende benaderingen en verschillende parameterisaties (zoals schaduwwerking van gebouwen, verdeling en type vegetatie) van de effecten van stedelijke structuren op het hitte-eiland-effect en hittestress leiden op dit moment tot moeilijk vergelijkbare kaarten. De huidige variëteit in hittekaarten heeft geleid tot de wens van zowel gebruikers als ontwikkelaars om meer eenduidigheid te krijgen in zowel invoer, (reken)methodiek als uitvoer (AT-Osborne 2018).

Dit rapport geeft invulling aan de wens tot standaardisatie en beschrijft een (standaard) methode voor het berekenen van de hittekaarten op basis van de gevoelstemperatuur, en een leidraad om op basis van deze hittekaarten de mogelijke risico's te identificeren. De hittekaarten zijn vooralsnog ontwikkeld voor de stad Wageningen. In een vervolgoopdracht zullen deze hittekaarten waarschijnlijk op nationale



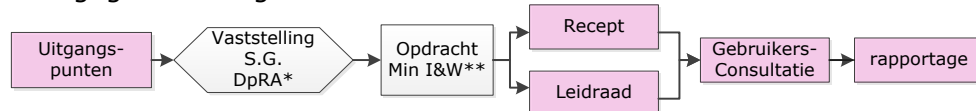
schaal doorgerekend en beschikbaar gemaakt worden in de Klimaat Effect Atlas (<http://www.klimaateffectatlas.nl>).

## 1.3 Werkwijze en rapportage

### 1.3.1

#### Werkwijze

De ontwikkeling van de stresstest voor het thema Hitte wordt weergegeven in Figuur 1.3.



*Figuur 1.3: Ontwikkeling van de stresstest Hitte in het kader van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. De rapportage omvat de gekleurde elementen. S.G. DpRA = Stuurgroep Deltaprogramma ruimtelijke adaptatie, Min I&W = Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.*

Zoals in Figuur 1.3 is aangegeven zijn er verschillende stappen doorlopen in het project:

1. Definitie van de uitgangspunten voor de standaard hittestresstest met alle leden van het consortium.

Op basis hiervan heeft de Stuurgroep Ruimtelijke Adaptatie de parameters voor de hittestresstest vastgesteld. Daarna is een opdracht geformuleerd voor: *"de ontwikkeling van een standaard om de toename van de gevoelstemperatuur in het stedelijk gebied in beeld te brengen voor de huidige en toekomstige situatie inclusief een beschrijving van de te gebruiken geo-informatie (landgebruik, gebouwhoogte, skyview factor, vegetatie) ten einde de verschillen tussen de aanbieders van hitte-kaarten terug te brengen. Voor de toekomstige situatie wordt één klimaatscenario gekozen."*

Op basis van deze opdracht is een werkpakket geformuleerd voor ontwikkeling van de Standaard Hittestresstest bestaande uit de volgende onderdelen:

2. Ontwikkeling van een recept om de hitte te berekenen;
3. Ontwikkeling van een leidraad voor de gemeenten om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's;
4. Gebruikersconsultatie waarin het recept en de leidraad zijn voorgelegd aan een beperkte groep gebruikers vanuit de gemeenten en adviesbureaus en
5. Rapportage van bovengenoemde stappen in dit rapport.

Het recept voor de berekening van de PET-Hittekaart, alsook de mindmap voor het beoordelen van de mogelijke risico's van hitte, kunnen in de nabije toekomst nog aan kleine veranderingen onderhevig kan zijn. Voor de meest actuele informatie wordt verwezen naar de website van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/> Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat streeft er naar om de PET-Hittekaart zo snel mogelijk op landelijke schaal beschikbaar te stellen via de Klimaat Effect Atlas.

### 1.3.2

#### *Leeswijzer*

Dit rapport volgt de stappen zoals weergegeven in figuur 1.3. In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten beschreven zoals die tijdens een workshop met alle partners zijn geselecteerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwikkeling van de standaard methode voor het berekenen van hittekaarten. In hoofdstuk 4 worden, aan de hand van de zogenoemde mindmap voor hitte, de mogelijke gevolgen van hitte inzichtelijk gemaakt. Hoofdstuk 5 schetst kort de opzet en resultaten van de gebruikersconsultatie. In hoofdstuk 6 worden tot slot de conclusies en aanbevelingen beschreven

## 2 Vaststellen uitgangspunten

De stresstest hitte is een gezamenlijke ontwikkeling door een consortium met partners vanuit Wageningen University (WUR), Hogeschool van Amsterdam (HvA), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Wageningen Environmental Research (WEnR), Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Stichting Climate Adaptation Services (CAS) en de Technische Universiteit Delft.

De uitgangspunten voor de standaardmethodiek zijn in 2018 bepaald in een workshop met bovengenoemde consortiumpartners. Tevens waren een beperkt aantal gebruikers, gemeenten betrokken (Zwolle, Wageningen, Community of Practice (CoP) Zuidvleugel). Dit hoofdstuk beperkt zich tot de bevindingen van de workshop.

Vanuit het project Klimaatbestendige stad heeft de HvA een mindmap over hitte in de stad opgesteld (zie Figuur 4.1 Klok en Kluck, 2018). De mindmap schetst de verschillende aspecten waarvoor hittestress een risico op kan leveren. Aan de hand van deze mindmap zijn de verschillende aspecten van hittestress waar de gemeenten verantwoordelijk voor zijn geprioriteerd in de workshop met het consortium. De resultaten van deze workshop worden in onderstaande paragrafen beschreven.

### 2.1 Prioritering van impacts

De volgende impacts zijn door de deelnemers van de workshop geselecteerd met een hoge prioriteit vanwege de verwachte impact en de relevantie voor het thema hitte:

- Leefbaarheid: hierbij wordt de nadruk gelegd op comfort in de stad en gebouwen. Het effect is gerelateerd aan gevoelstemperatuur (in de avond). Gevoelstemperatuur is wetenschappelijk goed te onderbouwen maar moeilijk uit te leggen;
- Gezondheid: met de focus op mortaliteit (sterfte) en morbiditeit (optreden van een specifieke ziekte, ziekenhuisopname);
- Druk op de buitenruimte (aantal mensen dat zich in de buitenruimte bevindt): voornamelijk tijdens evenementen;
- Sociale overlast doordat mensen 's avonds langer buiten zitten.

De volgende impacts kregen een lage prioriteit:

- Buitenruimte: Schade aan groen valt onder het thema droogte en zal worden geadresseerd in de stresstest droogte. Daarom krijgt dit thema binnen de hittestresstest een lage prioriteit;
- Netwerken: probleem voor specifieke netwerken op bepaalde locaties zoals bruggen die vast komen te zitten of rails die krom trekken. De gemeenten zijn meestal niet primair verantwoordelijk voor deze netwerken. De specifieke problemen zijn doorgaans bekend bij de verantwoordelijke (net)beheerders.

- Water: Watervraag en potentiële problemen (drink)waterkwaliteit als gevolg van hogere water temperaturen. Primaire verantwoordelijkheid ligt niet bij de gemeenten maar bij Rijkswaterstaat, de waterschappen en de drinkwaterbedrijven.

## 2.2 Standaard hittegolf en keuze klimaatscenario

Het ministerie van IenW zou graag een standaard hittestress-event gebruiken zoals bij wateroverlast waarbij een 'eens in de 100-jaars bui' wordt gebruikt. Hitte is echter een blootstellingsprobleem. Terwijl bij wateroverlast het risico op een bepaalde hoeveelheid water relevant is en de schade die dat met zich meebrengt, gaat het bij hitte erom wie of wat wordt blootgesteld en voor hoe lang. Naarmate de blootstelling aan hitte langer duurt, zullen de effecten toenemen.

Om de potentiële toekomstige risico's zo goed mogelijk in beeld te brengen wordt, vergelijkbaar met de andere stresstesten, uitgegaan van het worst-case KNMI'14 scenario (KNMI, 2014). Voor hitte is gekozen voor het WH KNMI'14 scenario. Kaarten worden uitgewerkt voor de huidige situatie en voor het WH scenario in 2050.

## 2.3 Vaststelling parameters

Op basis van deze prioritering zijn onderstaande parameters door de stuurgroep Ruimtelijke Adaptatie gekozen om de potentiële impacts van hittestress zo goed mogelijk in beeld te brengen:

- **Comfort buiten overdag**  
uitgedrukt in de gevoelstemperatuur  
*Deze parameter heeft een duidelijke link met de ruimtelijke inrichting. Comfort buiten overdag is van belang voor mensen die zich buiten begeven; mensen op weg van of naar werk, toeristen, winkelend publiek, en 'buitenwerkers'. Het heeft indirect een link met arbeidsproductiviteit buiten en gezondheid. Op kaarten kan bijvoorbeeld worden aangegeven hoe vaak een bepaalde gevoelstemperatuur wordt overschreden (in een jaar).*
- **Comfort in gebouwen**  
uitgedrukt in aantal tropische nachten / jaar, minimale temperatuur  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ .  
*De meeste kantoren zijn gekoeld, maar veel gebouwen waarbinnen mensen verblijven zijn dat niet. Mensen wonen en werken binnen; dit onderdeel van hittestress heeft daarom een link met arbeidsproductiviteit binnen, nachtrust en gezondheid.*

### 3 Recept ontwikkeling standaard hittestresskaart

*Auteurs: Sytse Koopmans, Bert Heusinkveld, Gert-Jan Steeneveld, (WUR), met inbreng van Jeroen Kluck (HvA), Cor Jacobs (WEnR) en Reinder Ronda (KNMI).*

#### 3.1 Introductie en vraagstelling

Dit rapport presenteert de uitkomsten van het onderzoeksproces waarin de standaardhitteskaart v1.0 (2018) tot stand zijn gekomen. Vertrekpunt hierbij zijn de uitkomsten van de in fase 1 vastgestelde uitgangspunten voor een hitteskaart op basis van de gevoelstemperatuur (physiological equivalent temperature - PET) in het stedelijk gebied voor het huidige en het toekomstige klimaat (KNMI'14 WH-scenario met zichtjaar 2050). Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gevolgde methodes, benodigde datasets, de resultaten en de validatie van de gevolgde methodiek. Verder worden in dit hoofdstuk kennisleemtes geïdentificeerd en wordt een visie gegeven op de manier waarop stresstesten voor hitte verder kunnen worden verfijnd. In overleg met de relevante experts binnen het consortium is de ruimtelijke en temporele schaal gekozen, evenals de invoerparameters en geo-informatie. Binnen het consortium is gekozen om de gevoelstemperatuur PET te gebruiken als hitte indicator omdat deze een goede representatie geeft van:

- thermisch comfort in de stad. PET heeft een sterke relatie met zon/schaduw contrasten, windsnelheid, luchtvochtigheid en luchttemperatuur. Hierdoor heeft de PET een duidelijke relatie met de ruimtelijke inrichting en biedt mogelijkheden voor ruimtelijke adaptatie. Comfort in de stad is van belang voor mensen die zich door de stad begeven; mensen op weg van of naar werk, toeristen, winkelend publiek, en 'buitenwerkers'. Comfort in de stad heeft indirect een link met arbeidsproductiviteit buiten en gezondheid (Pogačar et al., 2018). Dit wordt uitgedrukt in verschillende gradaties van hittestress, startend bij een gevoelstemperatuur van PET = 23 °C.
- comfort in gebouwen. De meeste kantoren zijn gekoeld, maar veel gebouwen waarbinnen mensen verblijven zijn dat niet. Daarom heeft PET een relatie met ruimtelijke adaptie, en daarmee de eigen verantwoordelijkheid van gebouweigenaren/ -gebruikers. Mensen wonen en werken binnen; dit onderdeel van hittestress heeft daarom een link met arbeidsproductiviteit binnen, nachtrust en gezondheid.
- Mortaliteit (& Morbiditeit); in de zomer van 2003 zijn door de warmte tussen 1000 en 1400 meer mensen overleden dan normaal; in de warmste periode tussen 3 en 16 augustus 2003 zijn vier- à vijfhonderd meer mensen overleden dan normaal. Mortaliteit is gecorreleerd aan temperatuur en relatieve vochtigheid. De gemiddelde gevoelstemperatuur PET is daarom ook in dit geval een passende variabele (bijvoorbeeld Nastos and Matzarakis, 2012).

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt. Eerst wordt achtergrondinformatie over hitte in de stad gepresenteerd. Daarna wordt de methodiek beschreven waarmee de nieuwe standaard hittekaart is ontwikkeld. Dit omvat een omschrijving van de benodigde dataset, gebruikte rekenmodellen, en een beschrijving van de veldwaarnemingen die zijn gebruikt voor de validatie van de voorgestelde berekeningsmethodiek. Tenslotte zullen de belangrijkste stappen van het recept voor de standaardhittekaarten worden gepresenteerd, inclusief geproduceerde voorbeeld-hittekaarten voor de stad Wageningen. Een compleet stap-voor-stap recept om de kaarten te reproduceren voor marktpartijen staat beschreven in Bijlage 1.2 Recept.

Dit hoofdstuk toont de volgende hoge resolutie (1 m) standaard hittekaarten in 3.6.1:

- PET-hittekaarten overdag voor een hete zomermiddag voor huidig klimaat en toekomstig klimaat. De gemiddelde gevoelstemperatuur wordt getoond voor 1 Juli 2015.
- PET-overschrijdingskaarten overdag (aantal uren PET > 29 °C) voor een representatief zomerhalfjaar voor huidig klimaat en toekomstig klimaat (zichtjaar 2050 voor het KNMI'14 WH-scenario).
- PET-overschrijdingskaarten 's nachts (aantal uren PET > 29 °C) voor een representatief zomerhalfjaar voor huidig klimaat en toekomstig klimaat (zichtjaar 2050 voor het KNMI'14 WH-scenario).

Daarnaast wordt in 3.5.2 de validatie van de PET-hittekaart gepresenteerd, gebaseerd op een warme zomerdag waarop er metingen beschikbaar zijn in de stad (2 Augustus 2013).

Het criterium van 29 °C is gekozen, omdat wetenschappelijk onderzoek laat zien dat vanaf een gevoelstemperatuur van 29 graden matige hittestress kan voorkomen en waarbij gezondheidsproblemen kunnen ontstaan. Bij een hogere gevoelstemperatuur neemt het relatieve risico op overlijden (mortaliteit) toe (Nastos et al, 2012; Sharafkhani et al, 2018). De kaart toont de locaties waar de hittestress (PET > 29 °C) gedurende het jaar relatief het meest voorkomt.

Het recept voor de berekening van de PET-Hittekaart, alsook de mindmap voor het beoordelen van de mogelijke risico's van hitte, kunnen in de nabije toekomst nog aan kleine veranderingen onderhevig kan zijn. Voor de meest actuele informatie wordt verwezen naar de website van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/> Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat streeft er naar om de PET-Hittekaart zo snel mogelijk op landelijke schaal beschikbaar te stellen via de Klimaat Effect Atlas.

### 3.2 Achtergrond hitte

Het klimaat in de stad is duidelijk anders dan op het platteland. Met name in nachten volgend op heldere zomerdagen met weinig wind kunnen ook Nederlandse steden 5-8 °C warmer worden dan hun omgeving, i.e. dit is het zogenaamde warmte-eiland effect (Steenekveld et al., 2011; Brandsma & Wolters, 2012; Heusinkveld et al., 2014). Met

de voorziene klimaatsverandering en doorzettende verstedelijking (Unger et al., 2006) zal dit effect in de toekomst worden versterkt, en hiermee ontstaat er druk op de stedelijke leefomgeving. Daarom is er een behoefte om stedelijke hitte te kunnen beoordelen en de invloed van maatregelen in de stedelijke inrichting te kwantificeren.

### 3.2.1 *Fysische achtergrond*

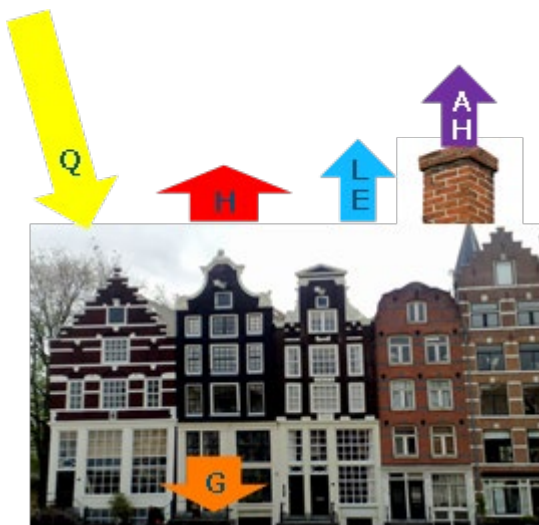
Het stedelijk warmte-eiland is het sterkst in de avond en nacht (Oke, 1982; Heusinkveld et al., 2014). Een verhoogde temperatuur heeft invloed op de menselijke gezondheid (Budd, 2008; Hajat et al., 2010, 2014), arbeidsproductiviteit, energieverbruik en vervoerskeuze (Böcker et al., 2013). Het begrijpen van het stedelijk klimaat en het daarmee waar mogelijk beïnvloeden van het microklimaat kan helpen nadelige effecten van hittestress te verminderen.

Eigenschappen van de stedelijke omgeving beïnvloeden de stralings- en energiebalans. Dit resulteert overdag in een sterke absorptie van straling, en een daarmee gepaard gaande opwarming van gebouwen en andere elementen in de stad. In de avond en nacht wordt de opgenomen energie weer langzaam afgestaan aan de atmosfeer. Wat betreft de stralingsbalans wordt de zonnestraling efficiënt geabsorbeerd door de straatstructuur in steden. Voordat zonnestraling wordt teruggekaatst naar de atmosfeer wordt eerst een aantal interacties met muren en straten aangegaan. Hierdoor wordt er meer zonnestraling geabsorbeerd in de stad vergeleken met het buitengebied.

De straling die netto wordt geabsorbeerd (netto straling) samen met de antropogeen geproduceerde warmte (AH) wordt omgezet in energiestromen en kan worden weergegeven in de energiebalans.

$$Q + AH = H + LE + G \quad (1)$$

waarbij Q de netto straling is, H de voelbare warmtestroom is, LE de latente warmtestroom (LE-verdamping) en G de warmte-opslagterm is. De stad wordt gekarakteriseerd door een verlaagde latente warmtestroom (verdamping) doordat er relatief weinig vegetatie in de stad aanwezig is, en omdat regenwater relatief snel wordt afgevoerd naar het rioolwatersysteem. De warmte-opslagterm (G) is relatief groot (~50 %) ten opzichte van het platteland (10 %). De voelbare warmtestroom (H) is relatief hoog in vergelijking met het platteland en dit leidt direct tot een hogere luchttemperatuur. Bovendien produceren menselijke activiteiten extra warmte in de stad in de vorm van antropogene warmtebronnen (AH), zoals de verwarming van gebouwen en verkeer. Voor Nederlandse steden bedraagt dit ongeveer 20-40 W/m<sup>2</sup> (zie ook Figuur 3.1).



Figuur 3.1: Overzicht van de termen van de energiebalans in de stad.

### 3.3 Gevoelstemperatuur

Er is gekozen voor de PET als indicator voor het ontstaan van problemen met betrekking tot hitte in de stad, omdat de luchttemperatuur alleen niet voldoende is om te beschrijven welk thermisch comfort mensen ervaren op van een bepaalde locatie. Hittestress (en ook koudestress) ontstaan als er een onbalans is in van aan- en afvoer van warmte vanuit het menselijk lichaam (Heusinkveld et al., 2017). De volgende energiestromen zijn hierbij belangrijk:

- Voelbare warmte transport;
- Latente warmte transport;
- Stralingsbelasting.

Bij de berekening van de PET wordt rekening gehouden met bovengenoemde energiestromen, waarbij thermische stress door onbalansen in de energiestromen worden uitgedrukt in een temperatuurschaal.

De meteorologische variabelen die daarbij een rol spelen zijn:

- Luchttemperatuur;
- Luchtvochtigheid;
- Windsnelheid;
- Globale en thermische straling (globale straling is de som van de directe zonnestraling rechtstreeks van de zon en diffuse zonnestraling, afkomstig uit andere richtingen doordat zonlicht wordt weerkaatst voornamelijk door wolken.
- Kledingisolatie;
- Inspanning (metabolisme).

Het menselijk lichaam heeft geen aparte sensoren voor het waarnemen van de individuele weersvariabelen, maar kan alleen de temperatuur van de huid en de temperatuur van de bloedstroom op bepaalde plaatsen voelen. Deze temperaturen worden echter beïnvloed door het gezamenlijke effect van alle weerparameters.

Bij voorkeur moet de waarde en eenheid van de gevoelstemperatuur logisch te interpreteren zijn, waarvan de PET (Physiological Equivalent



Temperature) een goed voorbeeld is. PET heeft een temperatuurschaal gelijk aan de luchttemperatuur (hier in Celsius) en de waarde kan ook worden gerelateerd aan de luchttemperatuur. De PET is per definitie gelijk aan hoe de luchttemperatuur binnenshuis gevoeld wordt waar er geen globale - en thermische straling en windinvloeden zijn. Daarbij wordt de warmtebalans van het lichaam van een standaard persoon aangehouden met een specifieke kledingisolatie en metabolisme (zie methodologie 3.4.1 voor de gebruikte waarden) Fysiologische studies hebben PET uitgedrukt in klassen van thermische perceptie en het stressniveau (Tabel 3.1).

*Tabel 3.1: Overzicht van PET klassen met bijbehorende perceptie en fysiologisch stressniveau.*

<b>PET (°C)</b>	<b>Perceptie</b>	<b>Fysiologisch stressniveau</b>
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

### **3.4 Methodologie**

Deze paragraaf zal door de verschillende stappen lopen die nodig zijn om tot een PET-kaart te komen. Deze paragraaf is derhalve bedoeld om een wetenschappelijke documentatie van de gevolgde procedures aan te bieden. Marktpartijen die de hittekaart willen maken worden voor een compleet recept verwezen naar bijlage 1.2. Eerst is in een experimentele modelomgeving de relatie tussen de meteorologie, conceptuele stadsmorfologieconfiguraties (zie Figuur 3.2) en de PET vastgelegd. Vervolgens is deze relatie toegepast op een kaart op basis van geo-informatie. De stad Wageningen zal hierbij als toonbeeld dienen, wegens de beschikbaarheid van metingen op een afgelegde route van de PET gedurende meerdere momenten per dag in een warme periode.

#### *3.4.1 Berekening van fysiologisch equivalente temperatuur (PET)*

De mate van warmte-uitwisseling tussen de mens en zijn omgeving wordt naast kleding door een aantal meteorologische factoren bepaald. De mens wordt buiten blootgesteld aan luchttemperatuur, luchtvochtigheid, wind en straling. Deze vier componenten samen beïnvloeden de warmtebalans van het lichaam; is deze niet in balans, dat wil zeggen dat de warmteproductie niet in evenwicht is met de warmteafgifte, dan ontstaat er koude- of warmtestress. We kunnen de mate van onbalans uitrekenen via een energiebalans model van de mens. Met zo'n model kunnen we een equivalente temperatuur bepalen voor een complexe buitenomgeving. Die equivalente temperatuurschaal noemen we de fysiologisch equivalente temperatuur. Hierbij worden de 4 meteorologische variabelen meegewogen voor een gestandaardiseerd persoon (man, 35 jaar, 1.75 m, 75 kg, vaste kledingfactor en een

inspanningsniveau gelijk aan wandelen 4 km/u). Stel dat de luchttemperatuur 30 graden is en dat er weinig wind staat en dat de zon fel schijnt. De PET zal dan een stuk hoger zijn dan de luchttemperatuur, bijvoorbeeld 36 °C. Zou nu deze persoon naar een binnenruimte verplaatst worden met luchttemperatuur en temperatuur van de wanden gelijk aan de PET (36 °C) en de luchtvochtigheid zou 50 % zijn, dan zou deze persoon dezelfde huidtemperatuur en zweet intensiteit behouden als de geschetste buitensituatie. PET is dus een goede maat om verschillende microklimaten of stedelijke locaties met elkaar te vergelijken.

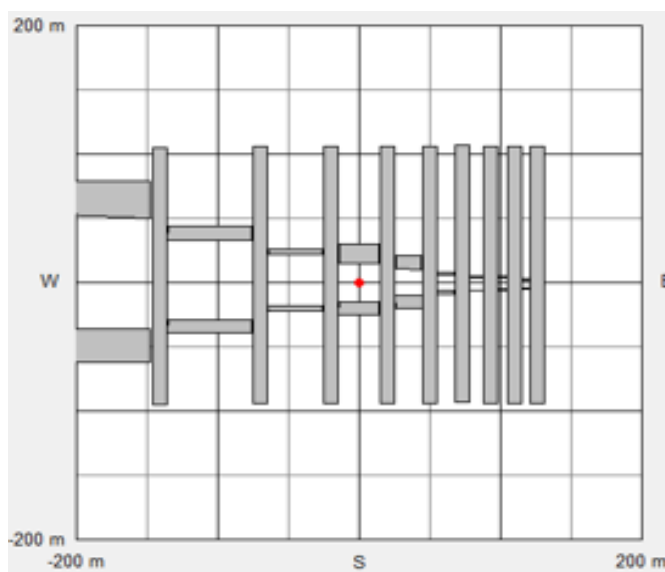
Een menselijke energiebalans uitrekenen voor elke vierkante meter in een stad is niet zo eenvoudig uit te voeren. Straling bijvoorbeeld is heel complex omdat het heel variabel is vanuit de vele richtingen. Er is dus gekozen voor empirische benaderingsformule die goed aansluit bij wat de geografische datasets op dit moment beschikbaar hebben zoals een hoogtekaart, vegetatiekaart en bomenkaart. Het model is getraind met een menselijk energiebalans model Rayman (Matzarakis et al., 2010). Het Rayman model kan de straling modelleren in een complexe omgeving op basis van een 3D straat en vervolgens de invloed van luchttemperatuur, globale straling (diffuus en direct), thermische straling en windsnelheid als invoer gebruiken voor de berekening van de PET. Uiteindelijk kan voor serie typische straten met verschillende hoogte en breedte verhoudingen doorgerekend worden wat de gemiddelde PET tussen 12:00 en 18:00 lokale tijd (10 – 16 UTC) wordt. Deze middeling houdt rekening met het feit dat de PET op een gegeven locatie erg kan variëren door de sterk variërende zon-schaduw patronen op een dag. Een korte periode met hoge PET op een locatie hoeft dus niet te betekenen dat het er structureel warmer is.

Weerstations meten doorgaans alleen globale straling (intensiteit zonnestraling op een horizontaal vlak). De mens ontvangt echter straling uit 6 richtingen. In een stedelijke straat wordt ook de hoeveelheid diffuse straling belangrijk omdat deze straling ook het schaduwdeel bereiken kan. De zonshoogte speelt ook een rol bij de indringing van directe straling in de straat maar ook in de belasting op de mens. De belasting van straling van opzij is groter dan van recht van boven vanwege de vormfactor (de mens als staande cilinder).

Het empirische PET-model werd gevoed met waarnemingen van het Veenkampen weerstation te Wageningen met observaties van 2012 t/m 2014, steeds van maart t/m oktober. Een menselijk energiebalans model Rayman (Matzarakis et al., 2010) dat rekening kan houden met obstakels en als invoer luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en globale straling nodig heeft werd gebruikt als referentie. Alleen situaties met een  $PET \geq 20$  °C werden eruit gefilterd omdat het model alleen gebruikt wordt voor hittestress. Vervolgens werd PET gemodelleerd voor 9 referentiestraten (Figuur 3.2) variërend in straatbreedte. Uit de verhouding tussen gebouwhoogte en straatbreedte kan een sky-view factor uitgerekend worden (zie uitleg in Figuur 3.3). De resulterende sky-view factor varieerde in negen stappen van 1.0 naar 0.05 (zie Figuur 3.2). Tevens werd ook de Bowen verhouding (verhouding opwarming lucht en verdamping) gevarieerd tussen 0.4 en 3, waarbij 3 een typische waarde voor de stad is en 0.4 overeen komt

met goed verdampende vegetatie of open water. Daarna werden de PET-waarden uitgesplitst naar 2 cases: zon of schaduw. Vervolgens werden twee empirische formules gemaakt met een minimum aan invoer variabelen om de berekening zo efficiënt mogelijk te laten verlopen.

Op basis van deze simulaties is een collectie van omgevingsfactoren en bijbehorende PET waarden verzameld. Hierop is een statistische regressie-analyse uitgevoerd, die leidt tot de empirische relaties die voor het aanmaken van de kaarten gebruikt worden.



*Figuur 3.2: Referentie skyview locaties voor Rayman, wanden zijn 10 m hoog, albedo (reflectiefractie van zonnestraling) is 0.3 (Matzarakis et al., 2010). De resulterende sky-view factor varieerde in de volgende stappen van 1.0, 0.809, 0.740, 0.620, 0.525, 0.373, 0.205, 0.152, 0.108 en 0.05.*



*Figuur 3.3: De sky-view factor (SVF) is de fractie van het hemelgewelf dat vanaf een bepaalde locatie te zien is. In het open veld zie je het volledige hemelgewelf is de SVF 1, terwijl de SVF in een afgesloten ruimte 0 is. Bovenstaande fish-eye foto van een typische straat illustreert de SVF. Afhankelijk van het type bebouwing kan de warmtestraling 's nachts meer of minder goed weg.*

### 3.4.2 *Meteorologische invoer*

Voor het produceren van de standaardhittekaart voor andere gemeentes dan Wageningen moet het dichtstbijzijnde KNMI station worden gebruikt. Hiervoor is een lijst aangelegd voor welke gemeente welk KNMI station gebruikt moet worden. Bijlage B1.2.8 geeft voor de Nederlandse gemeente ultimo 1 januari 2019 een overzicht van de te gebruiken KNMI weerstations. Hierbij is een selectie gemaakt van een veertiental weerstations die worden gekenmerkt door de aanwezigheid van meetreeksen die ten minste teruggaan tot 1 januari 1981. Tevens wordt in bijlage B1.2.8 een overzicht gegeven van de bronnen waar de meetreeksen van de verschillende relevante meteorologische variabelen kunnen worden gevonden. Voor Wageningen is KNMI station Deelen het dichtstbijzijnde station. Voor de kaarten is echter station Herwijnen gebruikt, omdat pas in een laat stadium is besloten om alle KNMI stations te gebruiken in plaats van een kleiner aantal gebaseerd op de afstand tot de kust. Voor 1 juli 2015 wijkt het weer niet substantieel af tussen Deelen en Herwijnen (voor overdag zijn de windsnelheidsverschillen minder dan 3% en temperatuurverschil minder dan 0.3 °C)

Voor de validatie zijn de meteorologische gegevens gebruikt van weerstation De Veenkampen van de Wageningen Universiteit. Dit weerstation is gelegen in het binnenveld in de Gelderse Vallei, 2.5 km ten westen van de stad Wageningen, op een vlak gelegen grasveld. De metingen worden verricht op een vlak van gras voorzien terrein dat vrij is van obstakels, en daarmee volgen de metingen de aanbevelingen van de World Meteorological Organization (WMO). Waarnemingen van het station zijn toegankelijk via <http://www.met.wur.nl/veenkampen/Graphs/Cur/graphs.html>

### 3.4.3 *PET routewaarnemingen in Wageningen met bakfiets*

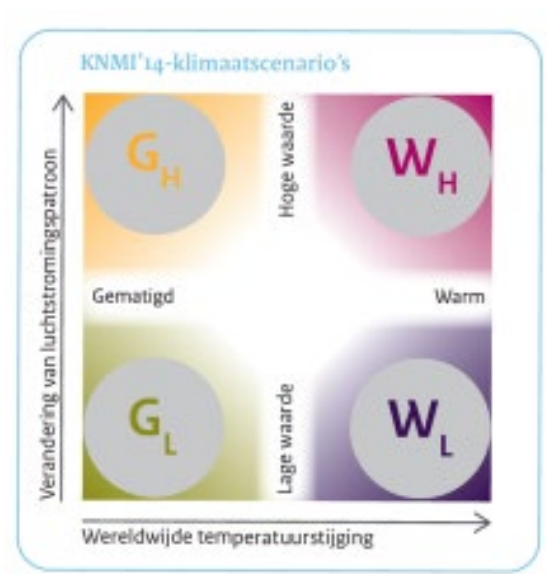
De hittekaart is gevalideerd middels mobiele metingen die alle meteorologische grootheden meten die de menselijke energiebalans beïnvloeden. De meetmethode is beschreven in Heusinkveld et al., (2010). De mobiele meetopstelling bestaat uit een bakfiets die voorzien is van kortgolvlige en thermische stralingssensoren, geventileerde luchttemperatuur en luchtvochtigheidsmeters en een ultrasone anemometer (windmeter). De meetprocedure bestaat uit het volgen van een vooraf geprogrammeerde route die met een gemiddelde snelheid van ongeveer 10 km/u wordt afgelegd waarbij de snelheid geregeld oploopt naar 20 km/u. De windmetingen worden gecorrigeerd voor de fietssnelheid middels wiel en gps snelheidsmetingen. Aangezien de sensoren een bepaalde traagheid hebben is het meetresultaat van elke meting een gemiddelde over ongeveer 40 meter. De ruimtelijke variatie wordt zo in kaart gebracht. Het is niet mogelijk om exact op de vierkante meter te meten vanwege de separatie van de stralingssensoren. Deze zitten niet op 1 plek omdat anders de bestuurder zelf gemeten zou worden. Echter variëren grootheden als temperatuur en windsnelheid ook sterk in de tijd waardoor een validatie van een hittekaart pas zinvol is bij een ruimtelijke middeling.

### 3.4.4 *KNMI'14 klimaatscenario's*

De KNMI'14 scenario's vertalen de resultaten in het IPCC 2013-rapport naar Nederland. De KNMI'14 scenario's omvatten 4 scenario's voor de

ontwikkeling van het klimaat in Nederland tot 2100 (zie Figuur 3.4). Het onderscheid tussen de G-scenario's en W-scenario's wordt gevormd door de verwachte wereldwijde temperatuurstijging als gevolg van verschillende scenario's voor de emissie van broeikasgassen (G: emissiereductie, W: 'business as usual'). Het onderscheid tussen de L en de H-scenario's wordt gevormd door verschillende in de luchtstromingspatronen (L: weinig verandering van luchtstromingspatroon, H: grote verandering luchtstromingspatroon). De H-scenario's hebben hogedrukgebieden een grotere invloed op het weer en komt de wind in de zomer vaker uit het oosten en is er een toename in zonnestraling (KNMI, 2015). Dit weertype is ook bevorderlijk voor het optreden van warmte-eilanden.

Voor het bepalen van de hittekaarten voor de toekomst zijn wij uitgegaan van WH-scenario met het zichtjaar 2050. Daartoe is gebruik gemaakt van de transformatieprocedure, zoals beschreven in Koopmans et al. (2018). Deze procedure is een verfijning van de transformatiesystematiek volgens Bakker en Bessembinder (2012) en maakt het mogelijk om 1) klimaatreeksen te transformeren voor uurlijkse waarden van de relevante meteorologische variabelen en 2) klimaatreeksen te maken voor periodes die afwijken van de periode 1981-2010.



Figuur 3.4: De vier KNMI'14 scenario's voor de ontwikkeling van het klimaat in Nederland tot 2100.

### 3.4.5 Ontwikkeling kaart

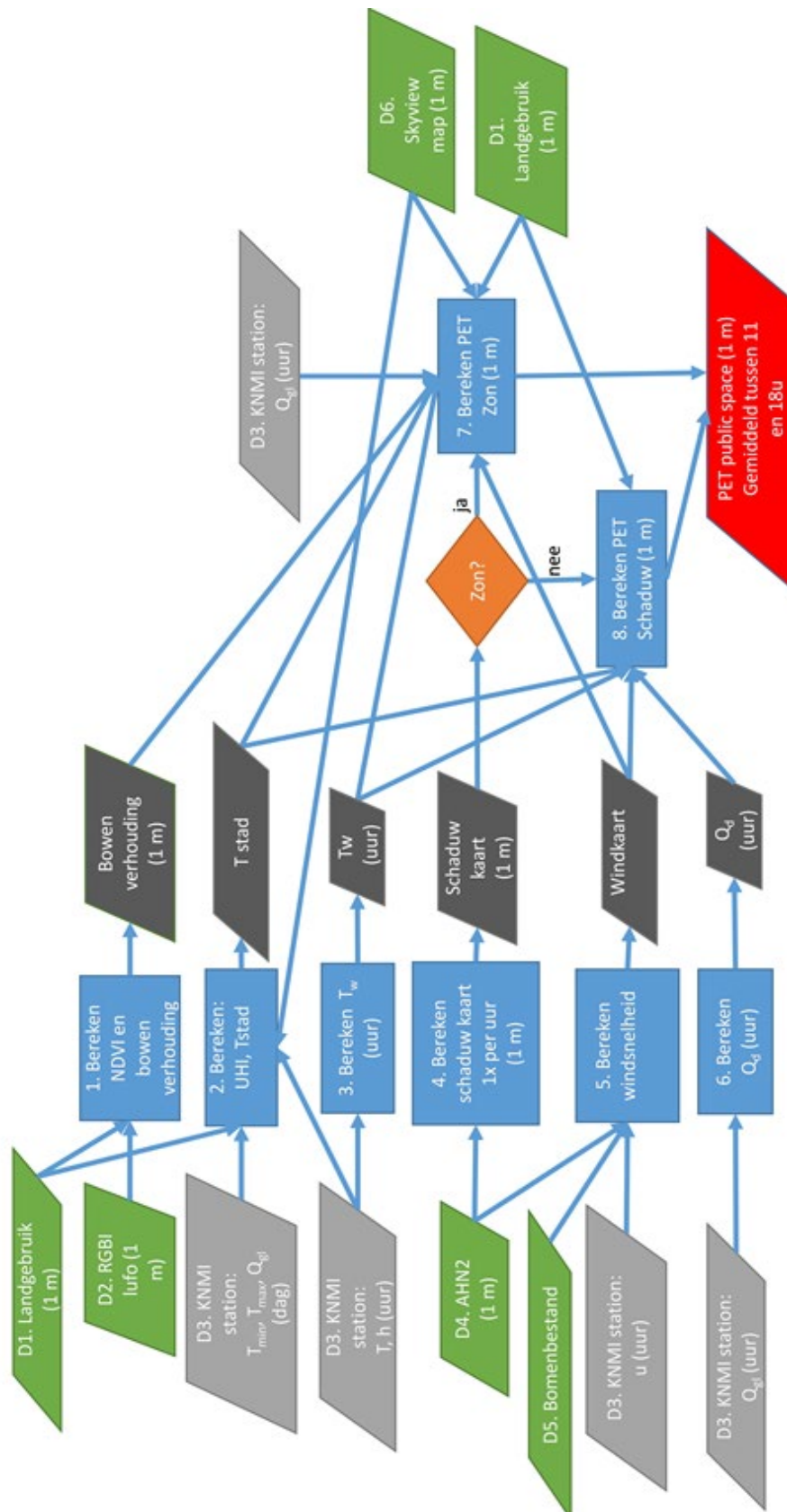
In paragraaf 3.4.1 is kort beschreven hoe uit een breed domein aan omgevingsfactoren de PET kan worden afgeleid met een regressiemethode. Voor de meteorologische informatie baseren we ons op de zonnestraling, windsnelheid en temperatuur. De geo-informatie (Tabel 3.2) bestaat uit een digitaal hoogtemodel (AHN), waaruit de schaduw berekend kan worden. Daarnaast gebruiken we een skyview dataset van het KNMI (eveneens gebaseerd op AHN). Bij de bepaling van de windsnelheid wordt rekening gehouden met bomen. Daarvoor is er een bomenbestand nodig en kadasterdata. Voor de bepaling van de vegetatiefractie is een infrarood luchtfoto nodig en een waterkaart. Het

stroomdiagram wordt gevisualiseerd in Figuur 3.5. Merk op dat het bomenbestand niet gratis beschikbaar is. Een alternatieve manier om aan de boomdata te komen is door AHN te combineren met NDVI (genormaliseerde vegetatie-index). Hiermee kan de locatie van bomen en boomhoogte worden bepaald.

De methoden van belangrijke meteorologische variabelen voor het berekenen van PET worden in de paragrafen, 3.4.5.1 luchttemperatuur, 3.4.5.2 Zon/schaduw en 3.4.5.3 windsnelheid toegelicht. De uitgerekenende variabelen worden gebruikt in de regressievergelijkingen in 3.5.1.

*Tabel 3.2: Overzicht van de gebruikte databronnen en haar locaties in het stroomdiagram (Figuur 3.5). De resolutie die voor de kaart moet worden gebruikt is 1 meter. Tussen haakjes staat de resolutie van de brondata weergegeven.*

<b>Kaart</b>	<b>Resolutie (m of uur)</b>	<b>Stroomdiagram</b>	<b>bron</b>	<b>Open data?</b>
Landgebruik	1 (vectordata)	D1	Gebouwen: OpenStreetMap via www.Geofabrik.de Vegetatie: www.pdok.nl	Ja
Luchtfoto (RGBI)	1 (0.25)	D2	www.pdok.nl	Ja
Ruraal weerstation KNMI of WUR	1	D3	www.knmi.nl www.met.wur.nl/veenkam pen/data	Ja
AHN2 object en maaiveld hoogte	1 (0.5)	D4	www.ahn.nl	Ja
Bomenbestand	1 (vectordata)	D5	www.boomregister.nl	Nee
Skyviewkaart	1	D6	www.knmi.nl	Ja
Waterkaart	1 (vectordata)	D7	OpenStreetMap via www.Geofabrik.de	Ja



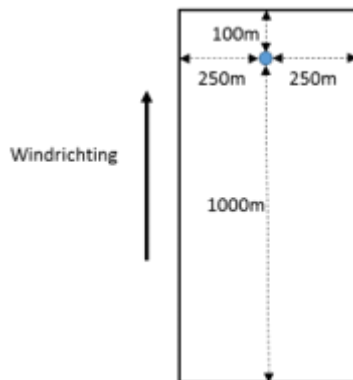
Figuur 3.5: Stroomdiagram van de databronnen (D) en bewerkingen (blauw) om ruimtelijk de gevoelstemperatuur (PET) te berekenen.

### 3.4.5.1 Luchttemperatuur

De grootte van het stedelijk warmte-eiland (hierna UHI van Urban Heat Island) hangt af van de meteorologische condities. Zo is het stedelijk warmte-eiland het sterkst als weinig ventilatie is (weinig wind) en zonnige omstandigheden. Het dagelijks maximale urban heat island (UHI) wordt bepaald door eerst het  $UHI_{max}$  uit te rekenen met een diagnostische vergelijking (Theeuwes et al., 2017):

$$UHI_{max} = (2 - S_{vf} - F_{veg})^4 \sqrt{\frac{S(T_{max} - T_{min})^3}{U}} \quad (2)$$

Waarbij  $S_{vf}$  de gemiddelde sky-view factor en  $F_{veg}$  de vegetatiefractie. De gebruikte brongebied heeft een grootte van 1100x500 m (Figuur 3.6) in de windrichting indien de windsnelheid meer dan 1.5 m/s is. Bij minder wind, wat bijna windstil weer betekent, wordt een gebied van 700x700 m aangehouden. De rechterterm van de vergelijking is de weersafhankelijke term.  $S$  staat voor de gemiddelde uurlijkse globale straling in  $Wm^{-2}$ ,  $T_{max}$  en  $T_{min}$  de maximum - en minimum temperatuur en  $U$  voor de dagelijkse gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte gebaseerd op uurlijkse gemiddelden. Deze weerparameters worden gemeten op het referentie weerstation op het platteland (uurlijkse intervallen) in de periode tussen 8 UTC huidige dag - 7 UTC volgende dag. Deze methode is eerder toegepast om nachtelijke minimumtemperaturen uit te rekenen voor de stad Den Haag (Koopmans et al., 2018).



Figuur 3.6: Brongebied waaruit de gemiddelde sky-view factor en vegetatiefractie berekend wordt.

In deze exercitie gaan we een stap verder door op elk uur een UHI uit te rekenen, door de  $UHI_{max}$  te vermenigvuldigen met de dagelijkse gang van UHI (dagelijkse\_gang[u]). De factoren voor de dagelijkse gang liggen van net iets onder 0 tot een maximale waarde van 1 en kunnen worden geraadpleegd in de look-up tabellen achterin dit recept (Tabel 4 en 5). Deze dagelijkse gang in UHI is initieel gebaseerd op de karakteristieke curve van Oke (1982). Deze curve is gemaakt voor 1 daglengte. Wij hebben deze curve aangepast voor verschillende daglengten rekening houdend met het inzicht dat het maximale UHI wordt waargenomen rond de 4 uur na zonsondergang (Landsberg, 1981; Unger et al., 2001) en de minimale UHI 4 uur na zonsopgang (Theeuwes et al., 2015). De uurlijkse luchttemperatuur op elk veld



( $T_a[h]$ ) wordt als volgt uitgerekend, waarbij  $h$  het uur in UTC is en  $T_{station}$  de temperatuur op het referentie weerstation is:

$$T_a[h] = T_{station} + UHI_{max} * dagelijkse\_gang[h] \quad (3)$$

Voor de vegetatiefractie creëert men twee kaarten, één voor de dag en één voor de nacht. Met name grote wateroppervlakken kunnen overdag verkoelend zijn, doordat ze verdampen en door de bufferende werking van water. In de nacht blijven wateroppervlakken door hun bufferende werking relatief warm (Steenefeld et al., 2014). Daarom is besloten dat overdag water wordt gezien als groen en wordt toegevoegd aan de vegetatiefractie en in de nacht wordt water toegevoegd aan de bebouwde fractie wordt toegevoegd.

Om een representatieve sky-view factor te krijgen op straatniveau zullen de gebouwen moeten worden uitgefilterd. Ook wateroppervlakken hebben geen sky-view factor in de dataset omdat de technologie waarmee de hoogtes worden bepaald (lidar) niet in staat is de hoogte van wateroppervlakken te bepalen (Worstell, 2014) in de dataset en water wordt dus ook niet meegenomen in de sky-view factor. Plekken onder bomen en groen worden ook niet meegenomen in de sky-view, omdat de UHI-formule (vergelijking 2) niet gevalideerd is voor dergelijke locaties.

De Bowen verhouding ( $B_b$ ) is een maat voor verdamping van een oppervlak. Planten die goed verdampen blijven koeler dan een droog wegdek en zal minder thermisch stralen. De Bowen verhouding wordt berekend uit de landgebruikskaart: 3 voor een stad (verhard oppervlak) en een lage Bowen verhouding van 0.4 voor open water en goed verdampende vegetatie

#### 3.4.5.2 Zon/Schaduw

Uit de AHN wordt een schaduwkaart gemaakt. Hiervoor is de gis-tool UMEP gebruikt (Lindberg et al., 2018) in QGIS (QGIS,2018). Deze tool kan op elk uur overdag een schaduwkaart uitrekenen. Meer precies is dit een slagschaduwkaart. Bomen die worden beschenen door de zon geven dus geen schaduw onder de boom. Daarom hebben wij onder de bomen de kaart altijd op schaduw gezet. In werkelijkheid is de PET-waarde onder de bomen iets hoger dan door ons berekend. De zon kan bij lage zonnestand onder het bladerdek doorschijnen en het bladerdek zelf kan voor een gedeelte transparant zijn voor de zon. De warme interessante plekken op de hittekaart worden echter niet gevonden onder bomen en daarom is een verbetering geen prioriteit.

In de statistische PET-vergelijking in B1.2.4 wordt de globale straling ( $Q_{gl}$ ) en de diffuse straling ( $Q_d$ ) gebruikt. De diffuse straling wordt berekend uit de globale straling (zoals gemeten op een ruraal KNMI weerstation) en de zonshoogte, waarbij de zonshoogte ( $\varphi$ ) afhangt van het tijdstip van de dag en de datum.

$$\frac{Q_d}{Q_{gl}} = \begin{cases} 1, & \tau_a < 0.3, \\ 1.6 - 2\tau_a, & 0.3 < \tau_a < 0.7, \\ 0.2, & \tau_a > 0.7. \end{cases} \quad (4)$$

Waarbij is de atmosferische transmissiviteit ( $\tau_a$ ) benaderd via:

$$\tau_a = \frac{Q_{gt}}{1367 \sin(\varphi)} \quad (5)$$

De globale straling van het KNMI station is een som van het afgelopen uur. Om de hoeveelheid straling op het hele uur te schatten wordt de straling van het komende uur en afgelopen uur gemiddeld.

### 3.4.5.3 Windsnelheid

Weerstations staan volgens WMO-richtlijnen in een open gebied boven kort grasland. Vaak willen we weten hoe hard het waait op een locatie met een andere ruwheid. Willen we nu het windprofiel bepalen boven een oppervlak met een andere ruwheid dan kunnen we een vertaalslag maken van de windstatistiek gemeten op een weerstation naar de wind op een andere locatie. De translatie van metingen boven een terrein met de referentieruwheidslengte van  $z_0=0.03$  m naar een terrein met een zekere ruwheid  $z_0$  gaat eerst door middel van een extrapolatie van het windprofiel naar de 'blending height' (gestandaardiseerd op 60 m). Dit is tevens de hoogte waarop de stroming boven een heterogeen oppervlak horizontaal homogeen wordt verondersteld. De wind op deze hoogte wordt de mesowind genoemd.

Vervolgens wordt aangenomen dat het windprofiel boven de stad dezelfde mesowind heeft en kan men de wind terugrekenen op 1.2 meter hoogte met behulp van de ruwheid van de stad. De ruwheid van de stad kan worden bepaald uit McDonald (2000). Vervolgens wordt de wind berekend aan de top van de ruwheidslaag  $z_w$  ( $u_{zw}$ ), waarbij  $d$  de nulvlaksverplaatsing is (B1.4):

$$u_{zw} = u_{60} \frac{\ln\left(\frac{z_w-d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{60-d}{z_0}\right)} \quad (6)$$

In de ruwheidslaag is de situatie complexer, omdat het standaard logaritmisch windprofiel niet meer geldt. De stroming in deze laag kent grote ruimtelijke variaties in de buurt van obstakels (huizen, bomen etc.) en het is lastig om dan een berekening van de wind te maken voor een specifieke locatie. Meestal wordt daarom gerekend met een ruimtelijk gemiddeld windprofiel in de canopy layer. We gaan uit van een simpele verdeling van de obstakels in dit geval. De obstakels zijn allemaal even groot (binnen het brongebied, zie Figuur 3.5), met hoogte  $H$  en een frontaal oppervlak  $A_f$ . Dit is het oppervlak van de zijde van het obstakel dat naar de wind gekeerd is. Verder hebben de obstakels een regelmatige ruimtelijke verdeling met een oppervlakte ter grootte  $A_d$  van het obstakel plus het oppervlak rondom elk obstakel. In het algemeen kan men zeggen dat als de dichtheid van de obstakels toeneemt (ofwel  $A_d$  afneemt) vanaf nul, de ruwheidslengte  $z_0$  eerst zal toenemen. Daarna bij een grote dichtheid, als de stroming min of meer over de obstakels heen stroomt en er niet meer tussendoor beweegt, zal  $z_0$  weer afnemen. Dit gebeurt bij een frontale oppervlakedichtheid (frontal area density) van  $\lambda_f \gg 0.20$ , waarbij  $\lambda_f$  gedefinieerd is als:

$$\lambda_f = \frac{A_f}{A_d} \quad (7)$$

Vervolgens kunnen we de wrijvingsnelheid berekenen ( $u^*$ ) ( $d$  en  $z_0$  zijn afhankelijk van  $\lambda_f$ ):

$$u^* = 0.4 \frac{u_{60}}{\ln\left(\frac{60-d}{z_0}\right)} \quad (8)$$

En de wind op gebouwhoogte ( $u_H$ ), waarbij A en B parameters zijn voor het interpoleren van het wind profiel (zie Tabel 3 van B1.2.3):

$$u_H = \frac{-u^*}{B} \ln\left(\frac{A+Bz_w}{A+BH}\right) + u_{z_w} \quad (9)$$

Het blijkt dat het gemiddelde windprofiel in de straat nu te beschrijven is als een exponentieel profiel:

$$u_{1.2} = u_H \exp\left(9.8\lambda \left(\frac{1.2}{H} - 1\right)\right) \quad (10)$$

### 3.5 PET regressiemodel en kaartproducten

#### 3.5.1 PET regressiemodel

De in paragraaf 3.4 beschreven procedure heeft de volgende twee regressievergelijkingen opgeleverd:

Voor schaduwsituaties en voor nachtelijke condities:

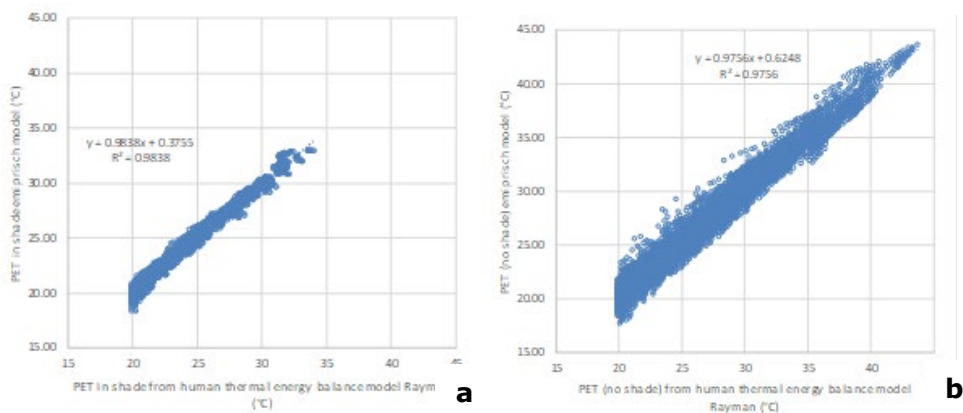
$$PET_{shade,night} = -12.14 + 1.25T_a - 1.47 \ln(u_{1.2}) + 0.060T_w + 0.015S_{vf} Q_d + 0.0060(1 - S_{vf})\sigma(T_a + 273.15)^4 \quad (11)$$

Voor locaties in de zon:

$$PET_{sun} = -13.26 + 1.25T_a + 0.011Q_{gl} - 3.37 \ln(u_{1.2}) + 0.078T_w + 0.0055Q_{gl} \ln(u_{1.2}) + 5.56 \sin(\varphi) - 0.0103Q_{gl} \ln(u_{1.2}) \sin(\varphi) + 0.546B_b + 1.94S_{vf} \quad (12)$$

Waarbij  $T_a$  de 2m luchttemperatuur is ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u$  de windsnelheid op 1.2 m hoogte ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\sigma$  de Stefan Boltzmann constante,  $T_w$  de natteboltemperatuur,  $Q_{diff}$  is de diffuse straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $S_{vf}$  is de sky-view factor,  $Q_{gl}$  is de globale straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\varphi$  is de zonshoogte hoek en  $B_b$  de Bowen verhouding.

Figuur 3.7 vergelijkt voor beide regressiemodellen de gemodelleerde PET met de werkelijke PET. Voor beide modellen liggen de punten goed op de 1:1 lijn. De gemiddelde fout van het empirisch PET model voor de schaduw berekening bedraagt  $0.35^{\circ}\text{C}$  en voor de onbeschaduwde situatie  $0.7^{\circ}\text{C}$ .



Figuur 3.7: Empirisch PET model vergeleken met typische weersvariabelen en stedelijke straten doorgerekend met Rayman voor a) zon, b) schaduw.

### 3.5.2

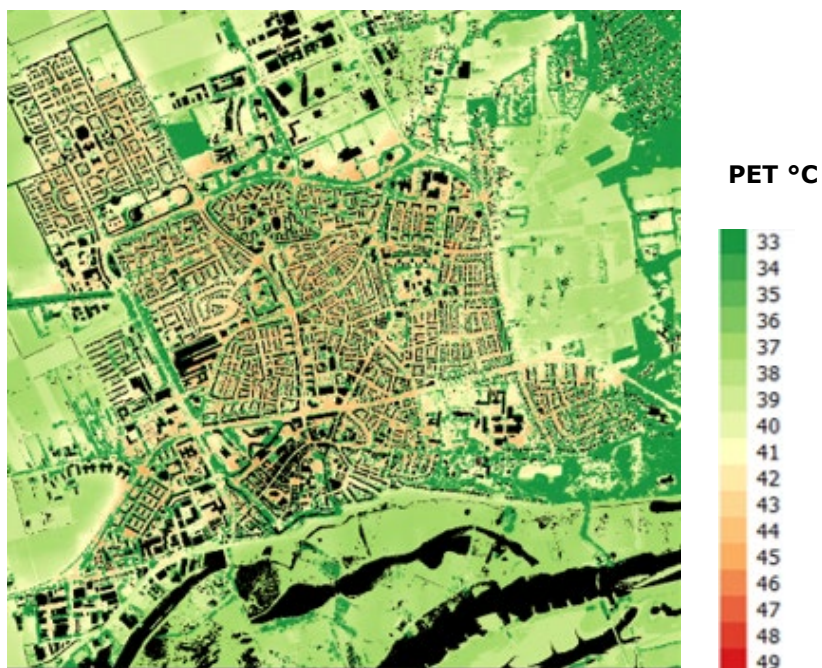
#### Kaart 2 augustus 2013 en validatie

Deze paragraaf presenteert een set kaarten zoals afgeleid met de regressiemodellen in paragraaf 3.5.1. Eerst tonen we een aantal kaarten voor Wageningen voor 2 augustus 2013, een warme dag waarvoor de kaarten ontwikkeld en gevalideerd zijn tegen waarnemingen. Allereerst toont Figuur 3.8 de hittekaart voor een gemiddelde PET voor een periode van 10-16 UTC (12:00 -18:00 lokale tijd) waarbij de weergegevens van het Veenkampen weerstation zijn gebruikt. Daarna toont Figuur 3.9 dezelfde hittekaart qua plaats en tijd, maar dan aangedreven met weergegevens van KNMI weerstation Herwijnen (zoals in de standaard gebruikt zal worden). Beide hittekaarten komen redelijk goed overeen, wat betekent dat voor Wageningen de kaart weinig gevoelig is voor de keuze voor de weergegevens tussen het Wageningse Veenkampen station en KNMI station Herwijnen.

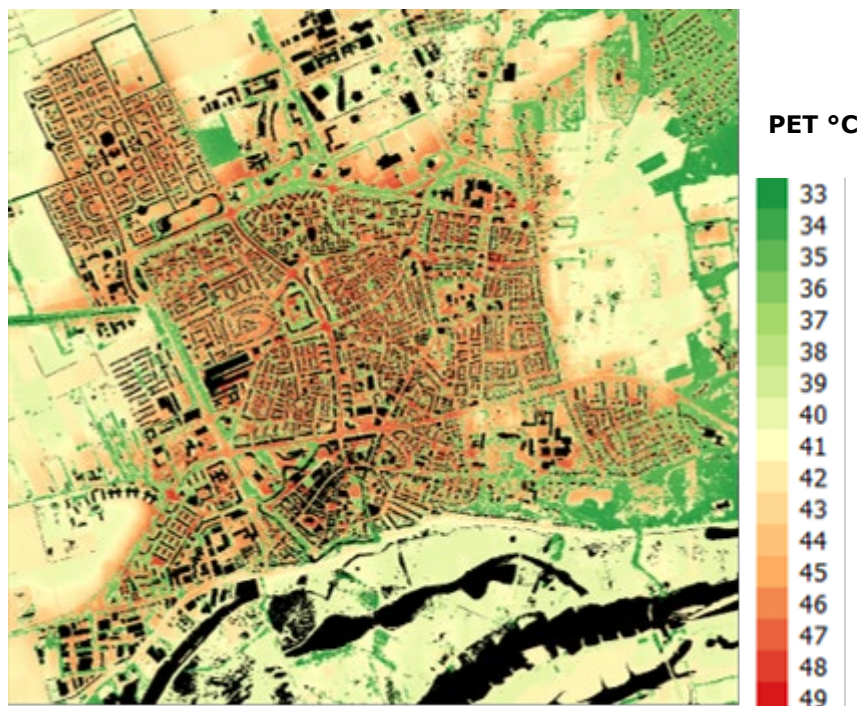
In Figuur 3.10 is de hittekaart van 2 augustus 2013 vertaald naar het toekomstig klimaat met zichtjaar 2050. Een hete zomerdag zoals 2 augustus laat duidelijk veel hogere PET-waarden zien voor het WH-scenario. De warmste plekken in 2013 bereiken een waarde van ca PET = 45 °C terwijl die in de toekomst iets meer dan 48 °C bedraagt.



*Figuur 3.8: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met de weergegevens van het referentiestation De Veenkampen.*



*Figuur 3.9: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met de weergegevens van het referentiestation Herwijnen.*

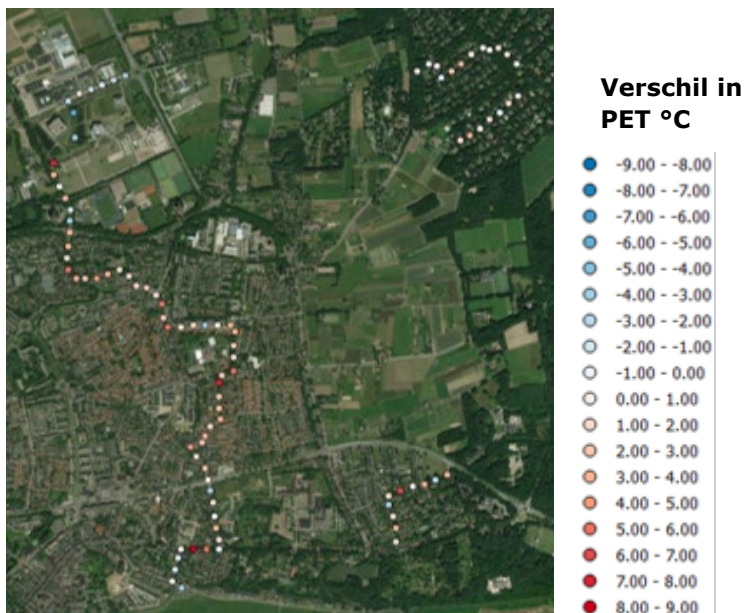


*Figuur 3.10: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met een translatie naar het KNMI'14 WH-scenario met de weergegevens van het referentiestation Herwijnen.*

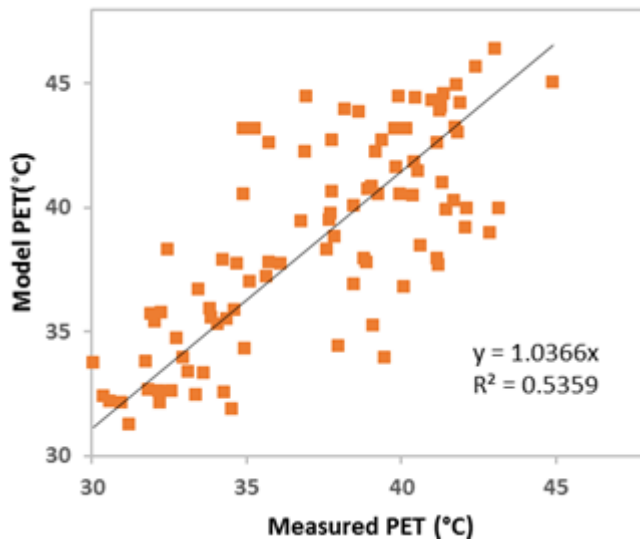
Op 2 augustus 2013 zijn er bakfietsmetingen gedaan om 12 UTC. De gemodelleerde PET-waarden worden vergeleken met de berekende PET-waarden uit de observaties van de bakfiets. Figuur 3.11 hieronder laat op buurtniveau een goed beeld zien van de gemodelleerde en de gemeten PET-waarden. De verschillen worden getoond in Figuur 3.12. De relatief koele gebieden van Wageningen Hoog in het noordoosten worden goed gemodelleerd. In de stad vertonen de gemodelleerde PET-waarden een licht positieve bias met enkele uitschieters naar boven. Op deze plekken werden er kleine windvlagen gemeten die niet zijn gemodelleerd. De wind is niet statisch in de stad en het is aannemelijk dat overdag de wind ook lager kan zijn op deze punten. Tenslotte, laat het spreidingsdiagram (Figuur 3.13) een goed verband zien en de reikwijdte van de gemodelleerde en gemeten PET-waarden komen ook goed overeen. De punten met een grote afwijking zijn voornamelijk gerelateerd aan windverschillen.



*Figuur 3.11: Gemodelleerde PET (links) en gemeten PET (rechts) op 2 augustus 2013 12 UTC (14u lokale tijd).*



*Figuur 3.12: Verificatie PET-waarden 2 augustus 2013 12 UTC (14u lokale tijd).*



Figuur 3.13: Spreidingsdiagram van gemodelleerde en gemeten PET-waarden.

De noodzaak tot middelen van de PET-waarden gedurende een tijdvak overdag wordt geïllustreerd in Figuur 3.14. De kaart geeft voor de binnenstad van Wageningen het verschil aan tussen de PET-waarde om 12 UTC (14u lokale tijd) en de gemiddelde PET-waarde over het tijdvak tussen 10 UTC en 16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd). De diep-rode en diep-blauwe kleuren geven aan dat een instantane waarde (momentopname) bij de hoogste zonnestand, of op het warmst van de dag, het beeld vertekenen. Sommige locaties, met name de straten in het centrum, zijn tot wel 6 graden warmer of kouder door het gekozen tijdvak.



Figuur 3.14: Verschilkaart PET van 12 UTC en gemiddelde PET over 10-16 UTC van 2 augustus 2013.



### 3.5.3 *Aanbevelingen en vooruitzichten voor het PET-model*

In het ontwikkelde recept zijn een aantal vereenvoudigingen opgenomen die het recept vergemakkelijken en rekentijd verlagen. Een voorbeeld hiervan is de tabel waarin voor elke gemeente is aangegeven welke KNMI weerstation dient te worden gebruikt. Aangeraden wordt om in vervolgstappen verdere verfijningen door te voeren. Om de representativiteit van de meteorologische omstandigheden in de rurale achtergrond te vergroten, zou bijvoorbeeld kunnen worden onderzocht of de KNMI weerstations kunnen worden gebruikt waar wel alle relevante meteorologische variabelen worden gemeten, maar die geen meetreeks hebben die teruggaat tot 1 januari 1981. Ook is het aan te raden om voor de toepassing van de stresstest gegeridde datasets van de relevante weervariabelen te ontwikkelen voor zowel het huidige klimaat als het toekomstig klimaat.

Anderzijds zijn een aantal vereenvoudigingen aangebracht wegens beperkt fysisch inzicht in de fundamentele processen, of door gebrek aan geo-informatie:

- De werking van wateroppervlakken of andere vormen van water in de stad op het stedelijk klimaat zijn maar beperkt begrepen. Enerzijds zal een verdampend wateroppervlak verkoelend werken, maar anderzijds dempt water door haar thermische traagheid ook nachtelijke afkoeling van de stad.
- Antropogene warmtebronnen zoals verwarming/verkoeling van gebouwen, verkeer, industrie leveren een substantiële bijdrage aan de temperatuur in de stad. In de ontwikkeling van de huidige kaart is dit niet meegenomen. Er bestaan op dit moment geen robuuste parameterisaties om antropogene warmtebronnen voor Nederland in kaart te brengen op een tijdschaal per uur.
- Daarnaast houden we in deze studie geen rekening met verschillen in thermische eigenschappen van gebouwen op de 1 m ruimtelijke schaal. Gebouwen kunnen ruimtelijk verschillen in kleur en dak- en bouw materiaal, wat invloed kan hebben op het reflectievermogen (albedo) en thermische traagheid.

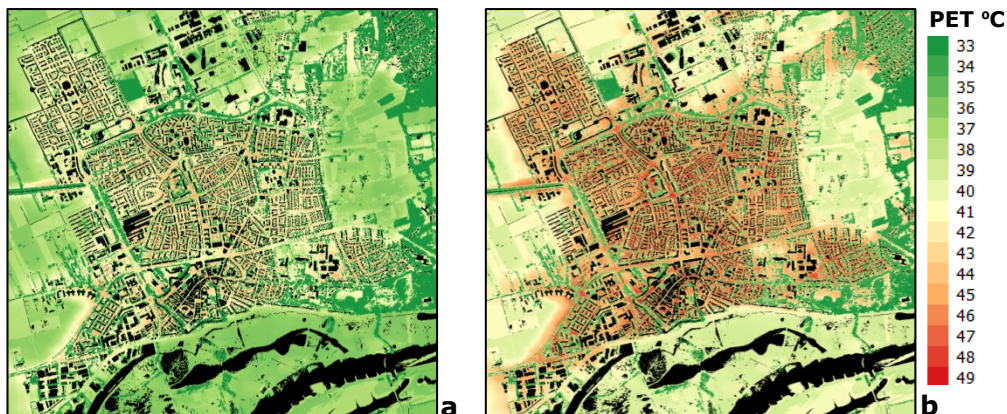
Gewinning aan PET gedurende het seizoen is in deze analyse niet verwerkt. De standaardkaart voldoet aan de aanbeveling van Matzarakis et al. (2010) om PET te middelen over een langere tijdsduur (minstens 3 uur per dag – (persoonlijke communicatie Matzarakis, 2018), maar zijn aanbeveling luidt om periodes van tenminste 2-3 dagen in acht te nemen. De gepresenteerde overschrijdingskaart voorziet hier deels in. Daarnaast kan eventueel nog rekening gehouden worden met gewinning. Een PET van 30 °C in mei voelt als een PET van 33 °C. De literatuur voorziet in mogelijkheden om gewinning in acht te nemen (Charalampopoulos, et al. 2013, 2017).

## 3.6 **De Standaard Hittekaarten**

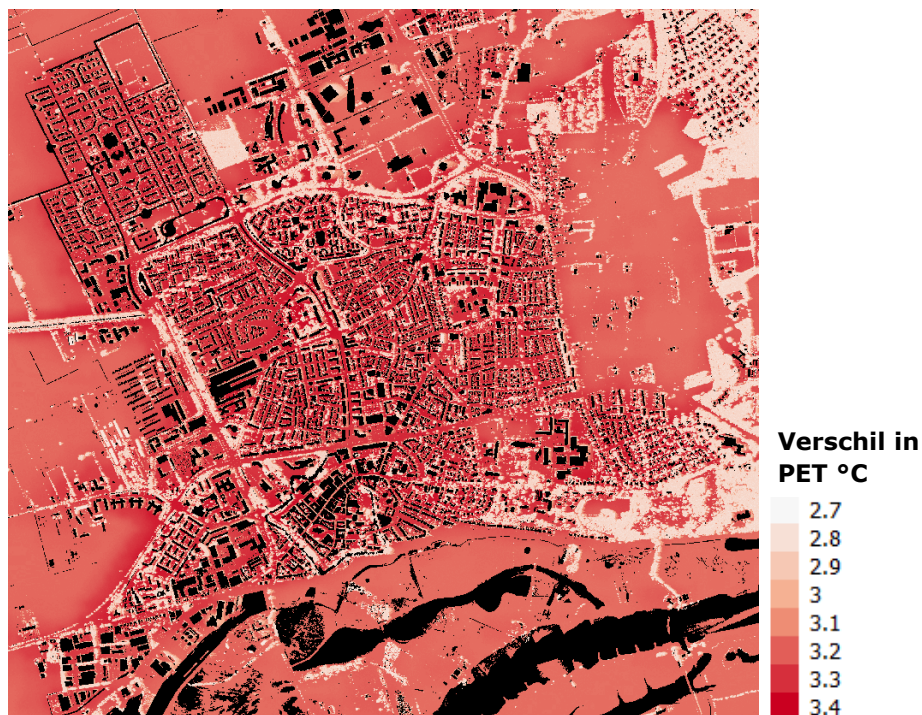
### 3.6.1 *PET-Hittekaart overdag*

De geselecteerde hittedag voor de PET-hittekaart overdag is 1 juli 2015. Dit is de 1 op 1000 hittedag van het referentiestation Herwijnen voor de zomerperiode april tot en met september. Dit komt overeen met een kans van 1 op 5.5 jaar voor het huidige klimaat. De middag-gemiddelde PET-hittekaarten worden getoond in Figuur 3.15a voor het huidige

klimaat en Figuur 3.15b in het toekomstige klimaat (KNMI '14 WH-scenario 2050 ). Figuur 3.16 laat het verschil tussen beide zien. De gemiddelde toename van de PET in het WH-scenario bedraagt 3.2 °C. Ruimtelijk gezien is de PET toename van de beschaduwde plekken onder bomen ca 0.5 °C lager dan voor onbeschaduwde gebieden. Gemiddeld over de middag lijkt 1 juli 2015 sterk op 2 augustus 2013 in het huidige klimaat. Een belangrijk verschil tussen de dagen is dat de wind op 1 juli 2015 meer uit het oosten komt, en daardoor is het relatief warm aan de westzijde van Wageningen.



Figuur 3.15: PET-Hittekaarten overdag voor 1 juli 2015 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen. a) huidig klimaat, b) toekomstig klimaat 2050, translatie naar het WH-scenario.



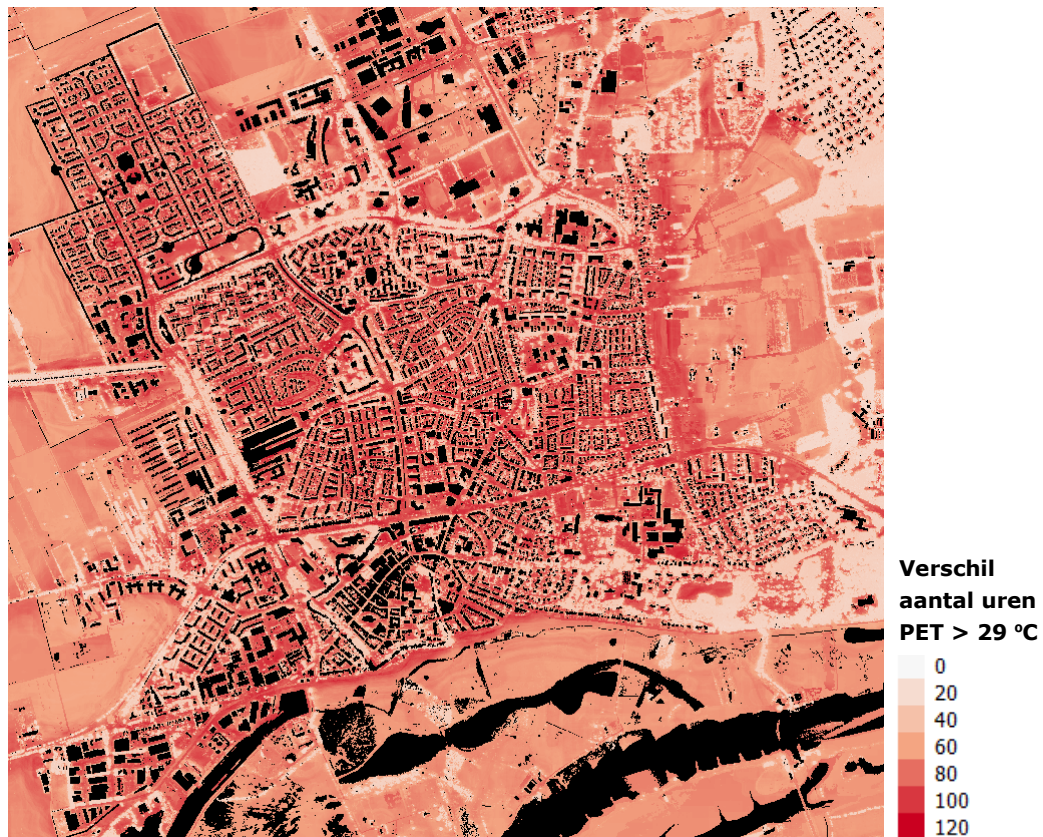
Figuur 3.16: Verschil in PET van 1 juli 2015 overdag 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) tussen het WH-scenario en het huidige klimaat met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.

### 3.6.2 PET-Overschrijdingskaart overdag

De PET-overschrijdingskaarten overdag laten het aantal uren zien voor het jaar 2013 dat een kritische PET-criterium wordt overschreden ( $PET > 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) voor het huidige klimaat en vertaald naar het toekomstige klimaat (Figuur 3.17a en b). Het voordeel van deze kaart is dat het a) een representatie geeft van accumulatie van hitte, en b) dat het probleemgebieden meer kwantitatief in beeld brengt dan voor een geselecteerde dag. De kaart gaat in op de hoeveelheid tijd dat een hitteprobleem aanwezig is. Daarop kan de discussie gevoerd worden, in plaats van de vraag of een graadje meer of minder erg is. Een analoge benadering wordt in Nederland gehanteerd voor luchtkwaliteit, waarbij voor elke substantie een criterium is gesteld waarboven men in principe niet mag uitkomen (of slechts op een beperkt aantal uren). Figuur 3.17a laat zien, dat voor de zomer van 2013, (een heel gemiddelde zomer in de laatste 15 jaar (Schaap, 2018)) er in het buitengebied ca 150 uur overschrijding per jaar is van het criterium  $PET > 29\text{ }^{\circ}\text{C}$  (matige hittestress). Dit loopt tot 450 uren op windluwe en meestentijds onbeschaduwde plaatsen. Voor het WH-scenario wordt op overwegend onbeschaduwde plaatsen een toename van 90-110 PET-overschrijdingsuren verwacht. Voor plaatsen met veel schaduw, en/of windrijke plaatsen is de toename duidelijk lager, i.e. tot ca 30 uren toename onder bomen. Figuur 3.18 toont het verschil in het aantal uren dat de  $PET > 29\text{ }^{\circ}\text{C}$  tussen het WH-scenario in 2050 en het huidige klimaat met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen. Alle uren, zowel overdag als 's nachts in het zomerhalfjaar, van 2013 zijn gebruikt voor de PET-Overschrijdingskaart. In het huidige klimaat komt het niet voor dat de PET van  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  wordt overschreden, in het toekomstige klimaat nauwelijks. Daarom wordt er onderscheid gemaakt tussen een PET-overschrijdingskaart-overdag en een PET-overschrijdingskaart-s'nachts.



Figuur 3.17: PET-Overschrijdingskaarten overdag. Aantal uren dat de PET groter is dan  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 2013 (april tot en met september) met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen. a) huidig klimaat, b) toekomstig klimaat 2050, translatie naar het WH-scenario.



Figuur 3.18: Verschil in aantal uren PET > 29 °C in 2013 tussen het WH-scenario en het huidige klimaat met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.

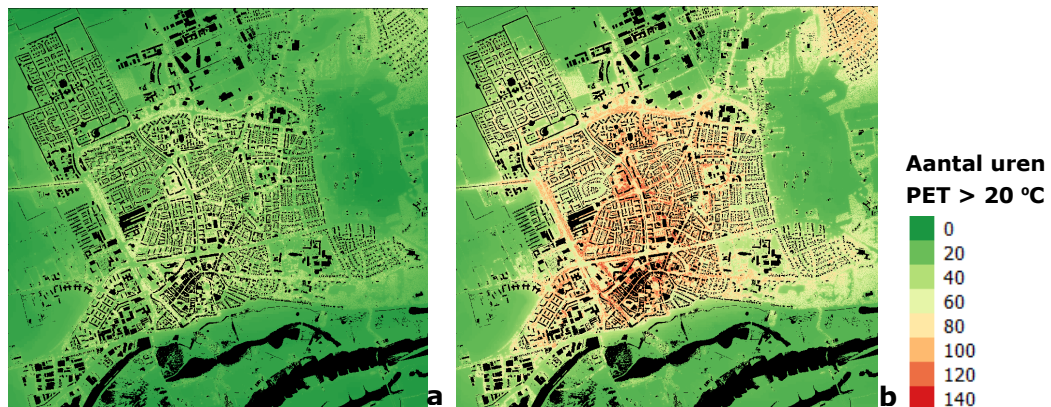
### 3.6.3 PET-Overschrijdingskaart-'s nachts

Als laatste worden de PET-Overschrijdingskaarten-'s nachts gepresenteerd die het aantal uren laten zien dat een PET-criterium wordt overschreden (PET > 20 °C). Dit is weer gedaan voor het huidige en toekomstige klimaat (Figuur 3.19a en b). Ook hier is de analyse gebaseerd op 2013. De nacht is gedefinieerd als de periode waarop de zon onder de horizon is. Terwijl de PET overdag in de zomer vaak hoger is dan de luchttemperatuur door zonnestraling, is de PET in de nacht lager dan de luchttemperatuur door de afwezigheid van zonnestraling. Dit komt menselijk lichaam bij eenzelfde luchttemperatuur buiten meer afkoelt, doordat het kan uitstralen naar de omgeving. Daarnaast zorgt wind eventueel ook voor een lagere PET. Merk op dat de PET binnen gelijk is aan de luchttemperatuur.

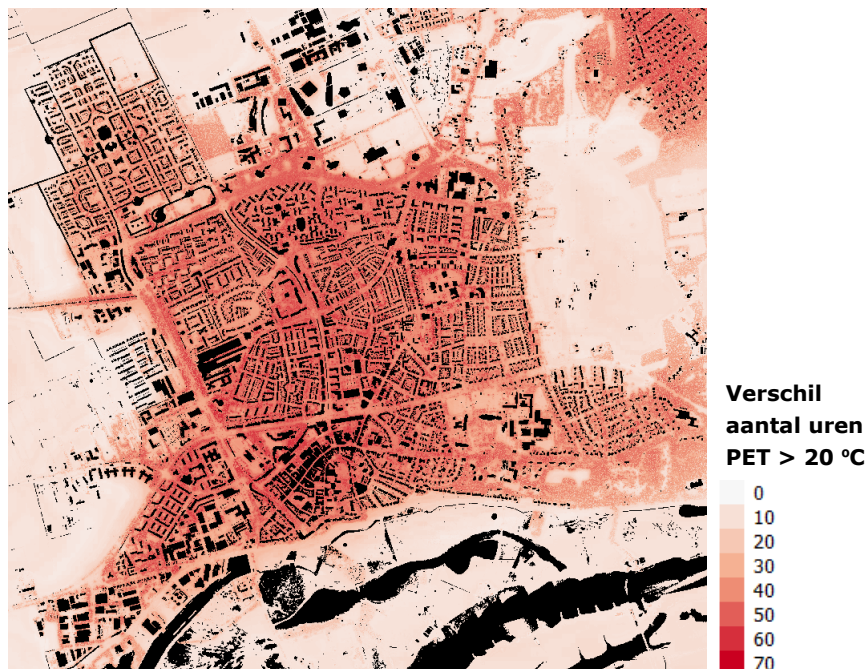
De heetste plekken in de nacht zijn windluwe plekken onder bomen in de binnenstad en centraal in Wageningen. Onder de bomen wordt uitstraling en dus afkoeling tegen gegaan door de verminderde sky-view factor. Dit is berekend op maximaal 80 uur in het huidige klimaat en 140 uur in het toekomstige klimaat. Het aantal uren dat de PET groter is dan 20 °C lijkt in de toekomst meer toe te nemen op hete locaties in de stad (Figuur 3.20).

Twee kanttekeningen moeten worden gemaakt bij het interpreteren van deze kaart: Ten eerste, de nalevering van warmte van individuele muren en straten, grotendeels afhankelijk van de opgenomen hoeveelheid zonneshijn van de voorgaande dag, wordt niet expliciet meegenomen.

Op buurtniveau wordt nalevering van verharde oppervlakken wel meegenomen via de methode voor de luchttemperatuur. Ten tweede blijft het onder de bomen 's nachts warmer doordat de bomen de uitgaande straling tegenhouden (lagere sky-view factor) wat leidt tot meer overschrijdingen van PET >20 °C. Dit aantal is echter wel meer onzeker, omdat de sky-view factor onder bomen relatief lastig te bepalen is met de gebruikte lidartechnologie.



*Figuur 3.19: PET-Overschrijdingskaarten 's nachts. Aantal uur dat PET groter is dan 20 °C in de nacht in 2013 (april tot en met september) met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen. a) huidig klimaat, b) toekomstig klimaat 2050, translatie naar het WH-scenario.*



*Figuur 3.20: Verschil in aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 20 °C in de nacht in 2013 tussen het WH-scenario en het huidige klimaat met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*

### 3.7

#### **Hoe verschilt de standaardkaart van andere hittestresskaarten?**

Deze paragraaf beschrijft kort een aantal verschillen van de standaardkaart ten opzichte van andere kaarten die op de markt beschikbaar zijn. Verschillende publieke en private partijen hebben de

afgelopen jaren hittekaarten ontwikkeld. Deze verschillen in aanpak en methodiek waardoor niet altijd dezelfde conclusies kunnen worden getrokken. Elk van deze benaderingen hebben voordelen. Hieronder vindt u een overzicht van de verschillende methodes en de verschillen ten opzichte van de standaardkaart.

Tabel 3.3: De verschillen tussen hittekaarten.

Type kaart / Voorbeeld	Verskil ten opzichte van standaardkaart
<p>Daggemiddelde <i>hitte-eilandkaart</i> op basis van luchttemperatuur</p> <p>Atlas Natuurlijk kapitaal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op jaargemiddelden UHI, deze geven een verschilwaarde aan met de temperatuur in het buitengebied</li> <li>• Kaart is gebaseerd op luchttemperatuur en heeft geen directe link met gezondheid en is daarom moeilijker te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Kaart is niet gevalideerd tegen waarnemingen</li> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>
<p><i>Oppervlaktetemperatuurkaart</i></p> <p>BOOT, nationalehittestresskaart.nl</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op satellietproduct van een aantal wolkeloze dagen waarin de gebiedseigenschappen zijn meegenomen</li> <li>• Oppervlaktetemperatuur van bijv. daken en wegen zegt niets over gezondheidseffecten bij de mens</li> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>
<p><i>Sociale</i> hittekaart en een <i>Fysieke</i> hittekaart</p> <p>Amsterwarm, Hotterdam, Haagse Hitte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sociale en fysieke kenmerken van de stad zijn in kaart gebracht middels satellietbeelden, GIS en 3D-modellen</li> <li>• Verbanden tussen stedelijke warmte/oppervlakte energiebalans en de sociale/fysieke kenmerken zijn bepaald aan de hand van multivariabele regressie analyse</li> <li>• Kaart is gevalideerd tegen bovengemiddeld overlijden 75+ers tijdens hittegolf 2006.</li> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>

Type kaart / Voorbeeld	Verschil ten opzichte van standaardkaart
<p>Hittekaart gevoelstemperatuur (PET) op <i>heetst van de dag</i></p> <p>Tauw</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart presenteert kwalitatieve waarden (verschillen in gevoelstemperatuur: warmer en koeler dan buiten de stad)</li> <li>• Kaart is gebaseerd op PET en luchttemperatuur en is daarom te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Gebaseerd op heetste uur van de dag</li> <li>• Gevalideerd tegen waarnemingen in Eindhoven en Groningen</li> <li>• Situatie voor nu (2014) en 2050 (klimaatscenario +2 graden - andere)</li> <li>• Hoog ruimtelijk detail</li> </ul>
<p><i>Local climate zone</i> kaart</p> <p>UrbanClimAdApp</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is kwalitatief uitgedrukt</li> <li>• Geen relatie met blootstelling</li> <li>• Kaart heeft geen directe link met fysiologische effecten bij de mens.</li> <li>• Geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> <li>• Kaart is niet gevalideerd tegen waarnemingen</li> </ul>
<p><i>Urban Climate Assessment and Management Tool</i> UCAM</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tool is gebaseerd op luchttemperatuur</li> <li>• Luchttemperatuur heeft geen directe link met gezondheid en is daardoor moeilijk te relateren aan fysiologische effecten bij de mens. Wel is er een link met luchtkwaliteit.</li> <li>• Stresstest op wijkniveau aan de hand van stedelijke klimaatzones.</li> <li>• Tool is alleen gevalideerd ten opzichte van een waarneming buiten de stad.</li> <li>• Kan meer gerichte planologische veranderingen doorrekenen, zoals albedo en thermische eigenschappen van bouwmaterialen.</li> </ul>
<p><i>Tropische nachten</i>kaart KEA (minimum lucht temp &gt;20 °C)</p> <p>Klimaat-effectatlas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op luchttemperatuur</li> <li>• Luchttemperatuur heeft geen directe link met gezondheid en is daardoor moeilijk te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Kaart is niet uitgebreid gevalideerd tegen waarnemingen</li> <li>• Ruimtelijk detail beperkt</li> </ul>

De nieuwe standaardkaart heeft verschillende voordelen door:

- een gevoelstemperatuur te gebruiken (fysiologische maat) die sterker gerelateerd is aan gezondheid, en waarvoor grenswaardes bestaan;
- alle ingrediënten voor gevoelstemperatuur (zonnestraling (zon/schaduw), temperatuur, wind, luchtvochtigheid) worden in acht genomen, niet alleen luchttemperatuur;
- de gevoelstemperatuur te gebruiken voor een tijdvak (12:00-18:00 lokale tijd) in plaats van 1 toevallig moment overdag. Dit is een betere maat voor de blootstelling;
- de gevoelstemperatuur te gebruiken voor leefniveau (geen dak- of straatniveau);
- een voorgeschreven representatieve dag te kiezen (met een terugkeertijd van 1:1000 zomerdagen).
- de kaart te valideren tegen waarnemingen;
- projecties aan te bieden voor een toekomstig klimaat (KNMI'14 klimaatsscenario).

Toch zijn er ook aandachtspunten voor verbetering van de huidige methoden om de hittekaarten te berekenen. De huidige methode is getoetst op een klein aantal meetgegevens voor de stad Wageningen. Ontwikkeling, ontsluiting van betrouwbare monitoringsgegevens met betrekking tot hittestress in de stad is daarbij van primair belang om de invloed van het ruimtegebruik, inclusief de invloed van water en antropogene warmtebronnen, op de gevoelstemperatuur in de stad beter te kunnen beschrijven. Enerzijds kan een verdampend wateroppervlak verkoelend werken, anderzijds dempt water door haar thermische traagheid ook nachtelijke koeling van de stad. Water wordt al op een basale manier meegenomen in de huidige kaart, maar houdt geen rekening met tijdsafhankelijke invloeden (begin of eind hittegolf) en verschillende typen wateroppervlakken zoals sloten en rivieren. Daarnaast is het de vraag in welke mate antropogene warmtebronnen (airco's, verkeer, industrie) bijdragen aan de temperatuur in de stad. In de standaard kaart wordt geen rekening gehouden met verschillen in thermische eigenschappen van gebouwen door verschillen in kleur, reflectievermogen, albedo en thermische traagheid van bouwmaterialen.



## 4 Leidraad Stresstest Hitte

*Auteurs: Jeroen Kluck en Lisette Klok (HvA) met bijdragen van, Peter Bosch (TNO) en Ria de Wit (Zegge-en-Schrijve).*

### 4.1 Doel van deze leidraad

Klimaatverandering leidt in Nederland tot meer zomerse en tropische dagen. Dat bleek overduidelijk in de zomer van 2018. Het was, volgens het KNMI, de warmste zomer in minimaal drie eeuwen. De gemiddelde temperatuur in De Bilt was in de zomermaanden 18,9 °C. Normaal is dit 17,0 °C. Er waren maar liefst twee hittegolven: periodes met vijf zomerse dagen op rij in De Bilt (25 °C of hoger), waarvan minimaal drie dagen tropisch zijn (30 °C of hoger). Vóór 1975 was een hittegolf een zeldzaam verschijnsel. Meer dan de helft van het aantal hittegolven vond plaats in de afgelopen 28 jaar.

Extreme hitte heeft een groot aantal gevolgen, bijvoorbeeld voor de gezondheid van mensen, de buitenruimte en de leefbaarheid in de stad. Ook heeft hitte gevolgen voor netwerken, drinkwater en oppervlaktewater. Hitte in de gebouwde omgeving mag daarom niet ontbreken in een stresstest.

Deze leidraad voor de stresstest hitte is bedoeld voor iedereen die bij overheden verantwoordelijk is voor het uitvoeren van een stresstest voor het thema hitte, en voor de adviesbureaus die ingeschakeld worden bij de uitvoering ervan. Het doel van de stresstest is een helder beeld te geven van de (ernst van) mogelijke effecten van hitte, waarbij het materiaal uitnodigt tot actie.

Deze leidraad maakt gebruik van de standaard hittekaarten zoals die in het voorgaande hoofdstuk zijn beschreven. Samen met de mindmap in figuur 4.1 worden de mogelijke effecten van hitte inzichtelijk gemaakt. Dit helpt bij het duiden van de urgentie en bij het selecteren van de relevante gevolgen voor een bepaalde gemeente of regio. Alles bij elkaar vormen de standaard hittekaarten en de mindmap een goede basis voor een risicodialoog.

Het recept voor de berekening van de PET-Hittekaart, alsook de mindmap voor het beoordelen van de mogelijke risico's van hitte, kunnen in de nabije toekomst nog aan kleine veranderingen onderhevig kan zijn. Voor de meest actuele informatie wordt verwezen naar de website van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/> Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat streeft er naar om de PET-Hittekaart zo snel mogelijk op landelijke schaal beschikbaar te stellen via de Klimaat Effect Atlas.

### 4.2 De hittekaarten

Om de kwetsbaarheden voor hitte in beeld te brengen, zijn veel soorten kaarten in omloop. Om de kwaliteit en vergelijkbaarheid van stresstest te verbeteren en een werkbare aanpak te verkrijgen, is een standaard

methode ontwikkeld voor de berekening van hittekaarten op basis van de gevoelstemperatuur ofwel Physiological Equivalent Temperature afgekort tot de PET temperatuur (zie hoofdstuk 3). Die gevoelstemperatuur wordt beïnvloed door meerdere factoren zoals de luchttemperatuur, de lokale windsnelheid, de inkomende zonne- en thermische straling, de indirecte straling en de luchtvochtigheid. De gevoelstemperatuur of PET is een gestandaardiseerde weergave van de mate van hittestress die een standaard persoon ondervindt. De hittestress neemt met de klimaatverandering toe, daarom is naast een set met kaarten die de hitte voor de huidige situatie in beeld brengen ook een set met kaarten voor de toekomstige situatie ontwikkeld, op basis van het WH scenario van het KNMI. Voorts, om de mogelijke effecten van hitte goed in te kunnen schatten, speelt naast de hoogte van de gevoelstemperatuur de duur van de blootstelling een rol. Om de mogelijke risico's van de hitte in beeld te brengen wordt in deze leidraad gebruik gemaakt van een tweetal standaardkaarten en een tweetal optionele kaarten die in onderstaande paragrafen nader worden beschreven.

#### 4.2.1 *KEA-kaart warme nachten*

Deze kaart toont het aantal nachten/jaar dat de gevoelstemperatuur  $\geq 20$  °C.

Deze kaart uit de Klimaateffectatlas (KEA) geeft inzicht in het aantal warme nachten, nu en in de toekomst (2050), voor heel Nederland. Uit deze kaart blijkt dat het aantal warme nachten in het gebouwde gebied behoorlijk gaat toenemen. Het aantal warme nachten ( $T > 20$  °C) is een indicator voor gezondheidsproblemen door hitte. Als het buiten niet afkoelt tot onder de 20 °C is het moeilijker om het binnen aangenaam koel te houden en goed te slapen. Dit leidt tot gezondheidsproblemen en een afname van de arbeidsproductiviteit.

#### 4.2.2 *PET-Hittekaart overdag*

Deze kaart toont de gemiddelde gevoelstemperatuur tussen 12.00 en 18:00u.

Hoe warm het is, zegt weinig over de gevoelstemperatuur van de mens. Die gevoelstemperatuur (thermische blootstelling) wordt beïnvloed door meerdere factoren: de luchttemperatuur, de lokale windsnelheid, de inkomende zonnestraling, de indirecte straling en de luchtvochtigheid. Deze blootstelling wordt uitgedrukt in PET (Physiological Equivalent Temperature). Dit is een gestandaardiseerde weergave van de mate van hittestress die een standaard persoon ondervindt.

Het recept om de PET-Hittekaarten te berekenen kan bij de Helpdesk van de Klimaateffectedatlas opgevraagd worden samen met de in- en uitvoergegevens voor de stad Wageningen. Op basis van de gegevens van Wageningen kan gecontroleerd worden of het recept ook correct is geïmplementeerd.

Deze kaarten voor de huidige en toekomstige situatie laten zien op welke plek in de stad het op een hete zomerse dag het warmst is. De kaart helpt bij het nadenken over het koel inrichten van de openbare ruimte. De gevoelstemperatuur en daarmee het comfort in de stad is van belang voor mensen die zich door de stad begeven; mensen op weg van of naar werk, toeristen, winkelend publiek en 'buitenwerkers'.

Comfort in de stad heeft indirect een link met arbeidsproductiviteit buiten en met gezondheid.

#### 4.2.3 *PET-Overschrijdingskaarten*

Om de mogelijke risico's van hitte in beeld te brengen kan optioneel ook gebruik worden gemaakt van de PET-Overschrijdingskaarten:

- de *PET-Overschrijdingskaart overdag* met de gesommeerde blootstellingduur: het totale aantal uur per jaar dat de gevoelstemperatuur (PET) tussen 10.00- 16.00u UTC groter is >29 °C.
- *PET-Overschrijdingskaart 's nachts* met de gesommeerde blootstellingduur: het totale aantal uur per jaar dat de gevoelstemperatuur 's nachts (PET) groter is >20 °C

Deze kaarten laten zien dat dat het in de toekomst overdag en 's nachts veel vaker warm zal zijn.

Deze PET-kaarten zijn momenteel nog niet beschikbaar in de Klimateffectatlas maar dienen per gemeente uitgewerkt te worden volgens het standaard recept<sup>1</sup> zoals beschreven in deze rapportage (zie bijlage 1). Vanuit de overheid wordt er aan gewerkt om de kaarten binnen afzienbare tijd op nationale schaal beschikbaar te maken in de Klimateffectatlas.

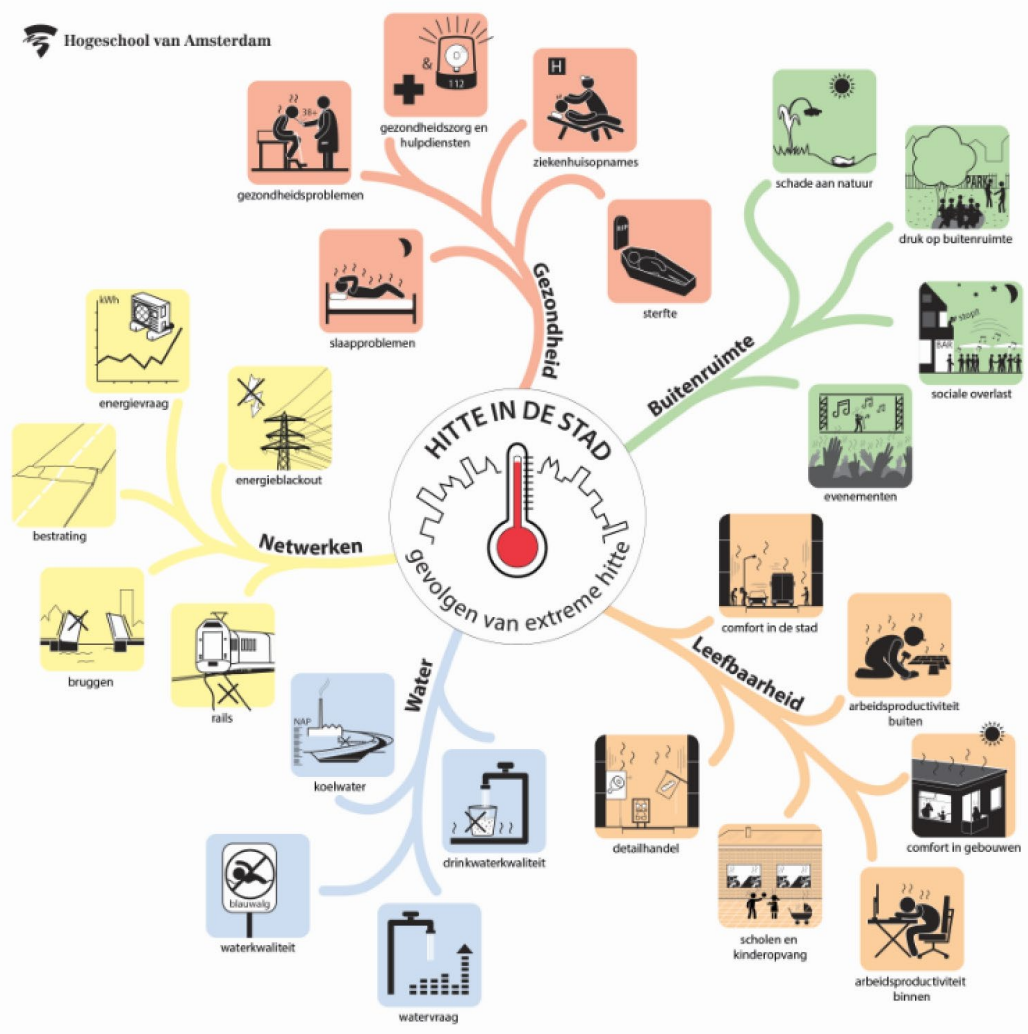
Deze standaard hittekaarten brengen niet alle mogelijke problemen uitgebreid in beeld, maar geven een goede eerste indruk. In combinatie met eigen lokale kennis – zoals: waar zijn kwetsbare objecten en locaties – bieden ze voldoende informatie voor het starten van een risicodialoog. Soms is het nodig om aanvullende informatie te verzamelen. Daar zijn veel mogelijkheden voor, zoals kaarten die zijn toegespitst op een specifiek probleem. Suggesties hiervoor worden gegeven in de teksten bij de mindmap.

### 4.3 **Mindmap Hitte in de Stad**

De mindmap (Klok en Kluck, 2018; Figuur 4.1) helpt bij het verkennen van de problemen die door hittestress kunnen optreden. Dat zijn er 24 in totaal, verdeeld over vijf thema's: gezondheid, netwerken, water, leefbaarheid en buitenruimte. In heldere tekst wordt ieder probleem uitgelegd, is beschreven op welke manier de standaard hittestresskaarten het probleem inzichtelijk maken en welke aanvullende informatie gebruikt kan worden. Iedere tekst sluit af met mogelijke maatregelen en acties, die het probleem voorkomen of verkleinen. Het kan zijn dat voor sommige situaties de mindmap niet compleet is en dat er nog andere hitteproblemen van belang zijn. Het is goed om hierbij even stil te staan als de mindmap gebruikt gaat worden. De getoonde gevolgen zijn bovendien niet allemaal met ruimtelijke adaptatie op te lossen. Zorg voor medemens en aanpassingen aan gebouwen kan nodig of effectiever zijn.

<sup>1</sup> Het recept om de PET-Hittekaarten te berekenen kan bij de Helpdesk van de Klimateffectsatlas opgevraagd worden samen met de in- en uitvoergegevens voor de stad Wageningen. Op basis van de gegevens van Wageningen kan gecontroleerd worden of het recept ook correct is geïmplementeerd.

Het gebruik van de mindmap ondersteunt gemeenten bij het selecteren van de relevante onderwerpen en bij het voorbereiden van de risicodialoog over hitte. Hiertoe komt een actieve pdf of internet site beschikbaar waarop een gebruiker door op verschillende onderdelen van de mindmap te klikken meer informatie kan vinden. Er is extra informatie over de vijf thema's en elk probleem kan worden aangeklikt waarna een factsheet met extra informatie verschijnt. Na het doorlezen van deze informatie kan een gebruiker er voor kiezen het probleem wel of niet te selecteren. Op de mindmap wordt bijgehouden welke problemen zijn geselecteerd. Paragraaf 4.5 geeft een voorbeeld van de factsheets en alle teksten die onder de mindmap hangen.



Figuur 4.1: Mindmap hitte in de stad (versie november 2018, door HvA).

#### 4.4 Stappen voor de stresstest hitte

Voor de uitwerking van de stresstest hitte maken we gebruik van de standaard hittekaarten en de mindmap voor hitte in de stad. Daarbij dienen de volgende stappen gevolgd te worden:

- Check of de standaard PET-hittekaart overdag al beschikbaar is op de Klimaat Effect Atlas. Mocht deze nog niet beschikbaar zijn dan moet deze voor de gemeente uitgewerkt worden conform het standaard recept in bijlage 1;
- Bekijk de kaart met het aantal warme nachten in de Klimaat-effectatlas (KEA-kaart) en de gedetailleerde PET-Hittekaart overdag;
- Overweeg ieder gevolg uit de mindmap: Speelt dat gevolg hier? Is de blootstelling relevant? Zo ja:
  - Waar speelt het?
  - Welke factoren beïnvloeden de gevoeligheid voor gevolgen?
  - Wat zijn de niet-klimatologische factoren die de omvang van de gevolgen kunnen beïnvloeden (bijv. vergrijzing in een bepaalde wijk)?
  - Zijn er al maatregelen genomen, of nog niet?
- Overweeg welke aanvullende informatie de risicodialoog kan ondersteunen;
- Verzamel en communiceer deze informatie.

Je bent nu klaar voor de risicodialoog

- Agendeer het onderwerp;
- Bedenk met de belanghebbenden welke acties gewenst zijn;
- Zoek eventueel aanvullende informatie over de uitvoering van de acties.

#### 4.5 Voorbeeld factsheets en teksten leidraad

In figuur 4.2 wordt een voorbeeld gegeven van een factsheet zoals deze in het portaal ruimtelijke adaptatie kan worden opgenomen. In de daaropvolgende paragrafen worden de volledige teksten beschreven voor:

A. Gezondheid – algemene tekst

1. Slaapprobleem
2. Gezondheidsproblemen
3. Gezondheidszorg en hulpdiensten
4. Ziekenhuisopname
5. Sterfte

B. Buitenruimte – algemene tekst

1. Schade aan natuur
2. Druk op buitenruimte
3. Sociale overlast
4. Evenementen

C. Leefbaarheid – algemene tekst

1. Comfort in de stad
2. Arbeidsproductiviteit buiten
3. Comfort in gebouwen
4. Arbeidsproductiviteit binnen
5. Scholen/kinderopvang

## 6. Verandering in omzet detailhandel

### D. Water – algemene tekst

1. Drinkwaterkwaliteit
2. Watervraag
3. Waterkwaliteit
4. Koelwater

### E. Netwerken – algemene tekst

1. Uitzetting van rails
2. Uitzetting van bruggen
3. Schade aan bestrating
4. Energievraag/emissies
5. Energie-black-out

Stressstest – hitte – buitenruimte – evenementen



**Evenementen**

**De effecten van hitte**

Bezoekers van sportevenementen (zoals marathons en wielervedstrijden) en festivals (muziek, theater, dance) in de open lucht zijn extra gevoelig voor hittestress. Dit komt door de fysieke inspanning en doordat er veel mensen op één plek zijn. Bezoekers en de **organisatoren van festivals** moeten hierop voorbereid zijn. Hitte bij evenementen geeft ook extra druk op de **hulpdiensten**, zoals het **Rode Kruis**.

**Informatie verzamelen**

**Standaard**

- Overzicht van festivals en evenementen in de zomer → om te kunnen bepalen bij welke evenementen kans is op hittestress.
- Gedetailleerde kaart van gevoelstemperatuur (PET-kaart) op een hete zomerdag → om te bepalen op welke plek in het evenementengebied de kans op hittestress het grootst is, en om te bepalen waar geen verkoeling gevonden kan worden.

**Aanvullend**

- Kaart met het aantal zomerse dagen (25°C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om hittestress bij evenementen te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

Organisatoren kunnen:

- Extra watertappunten aanleggen
- Extra hulpverleners inschakelen
- Schaduw creëren
- Het evenement veranderen (verkorten, verplaatsen, programma aanpassen)
- Het evenement afgelasten\*

Bezoekers kunnen:

- Alcoholgebruik verminderen
- Zich beschermen tegen zonnebrand
- Luchtige kleding dragen

\*De gemeente (burgemeester / bevoegd gezag) beslist of een evenement afgelast wordt in verband met hitte of voorspeld noodweer. De GGD'en kunnen de burgemeester en de organisatoren hierin adviseren.

Zie ook: [https://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hitte/Evenementen/Informatie\\_voor\\_organisatoren\\_van\\_evenementen](https://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hitte/Evenementen/Informatie_voor_organisatoren_van_evenementen)

Gevolg meenemen?

Nu

Misschien Later

Hogeschool van Amsterdam

Figuur 4.2: voorbeeld van factsheet zoals die op het portal ruimtelijke adaptatie kan worden opgenomen.

#### 4.5.1

#### Stressstest – hitte – gezondheid

Hitte heeft veel effect op de gezondheid van mensen. Tijdens een hittegolf kan het sterftecijfer in Nederland toenemen met 12 procent. Dat komt neer op ongeveer 40 extra doden per dag ten opzichte van een periode met lagere temperaturen. Vooral in steden vormt hittestress één van de belangrijkste risico's van klimaatverandering voor de mens.

Bij hittestress probeert het lichaam de lichaamswarmte kwijt te raken via de huid (transpireren) en door bloedvatverwijding. Soms werken deze verkoelingsmechanismen onvoldoende, zoals bij ouderen en kleine kinderen. Ook gebruikers van bepaalde medicijnen kunnen moeite hebben om hun lichaamstemperatuur omlaag te krijgen. Andere kwetsbare groepen zijn mensen met een zwakke gezondheid of chronische ziekten, patiënten van verpleeg- of verzorgingstehuizen, mensen met hart-, vaat- of longaandoeningen, diabetespatiënten, dak-

en thuislozen, sporters, deelnemers aan evenementen en mensen die zich op een andere manier zwaar lichamelijk inspannen. Mensen uit deze groepen kunnen last krijgen van warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte uitputting en hitteberoerte.

Hittestress leidt tot:

- Meer slaapproblemen
- Meer gezondheidsproblemen
- Toenemende druk op gezondheidszorg en hulpdiensten
- Meer ziekenhuisopnames
- Meer sterfte

#### 4.5.1.1 Stresstest- hitte – gezondheid – slaapproblemen

##### **De effecten van hitte**

Warme nachten kunnen zorgen voor hoge temperaturen in slaapkamers. Of dit gebeurt – en in welke mate – hangt af van gebouweigenschappen, klimaatbeheersing, de oriëntatie van het raam, ventilatiemogelijkheden, de isolatiegraad en de verdieping in het huis. Ook de locatie in de stad is van invloed: ligt de woning in een warme wijk die te maken heeft met het stedelijk hitte-eilandeffect, of niet? Verder is vooral het eigen gedrag van belang: is er sprake van zonwering en voldoende ventilatie op de goede momenten? Maar wanneer het klimaat verandert, kan iedere inwoner hiermee te maken krijgen.

Hoge temperaturen in slaapkamers veroorzaken slaapproblemen. Mensen slapen minder vast, minder diep, worden vaker wakker en slapen minder snel weer in. Dit heeft gevolgen voor de gezondheid. Slechter slapen leidt ook tot concentratieproblemen overdag en dat heeft gevolgen voor de arbeidsproductiviteit, zowel bij werkzaamheden binnen als buiten.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- KEA-kaart warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. Als het 's nachts buiten niet afkoelt, is het moeilijker om het binnen aangenaam koel te houden, wat nodig is voor een goede nachtrust.

###### *Aanvullend*

- Kaarten met informatie over gebouwen (bijvoorbeeld bouwjaar en energie labels) → om in te schatten welke huizen slecht geïsoleerd en daardoor kwetsbaarder zijn.
- Kaarten met informatie over kwetsbare groepen → om in te schatten waar kwetsbare mensen wonen.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om slaapproblemen door hitte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden
- Gebouwen aanpassen zodat ze beter bestemd zijn tegen hitte
- Beter klimaatbeheersing van de slaapkamer (ventilatie en zonwering)

- Aanpassen van gedrag: slaapkamer op het juiste moment van de dag ventileren, overdag het zonlicht tegenhouden met zonwering, slapen op een koelere plek in huis

#### 4.5.1.2 Stresstest- hitte – gezondheid – gezondheidsproblemen

##### **De effecten van hitte**

Bij hittestress probeert het lichaam de lichaamswarmte kwijt te raken via de huid (transpireren) en door bloedvatverwijding. De hartslag gaat hierdoor omhoog. Soms werken deze verkoelingsmechanismen onvoldoende en dat kan leiden tot gezondheidsproblemen. Dit geldt vooral voor kwetsbare groepen, zoals ouderen en kleine kinderen. Ook gebruikers van bepaalde medicijnen kunnen moeite hebben om hun lichaamstemperatuur omlaag te krijgen. Andere kwetsbare groepen zijn mensen met een zwakke gezondheid of chronische ziekten, patiënten van verpleeg- of verzorgingstehuizen, mensen met hart-, vaat- of longaandoeningen, diabetespatiënten, dak- en thuislozenmensen met overgewicht, mensen in een sociaal isolement, sporters, deelnemers aan evenementen, en mensen die zich op een andere manier zwaar lichamelijk inspannen. Mensen uit deze groepen kunnen last krijgen van warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte. De gezondheidsproblemen kunnen leiden tot een extra druk op de gezondheidszorg en hulpdiensten, meer ziekenhuisopnames en zelfs sterfte.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. Als het 's nachts buiten niet afkoelt, is het moeilijker om het binnen aangenaam koel te houden.
- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het zo heet is dat mensen gezondheidsklachten kunnen krijgen, en laat zien waar het ontbreekt aan plekken om verkoeling te vinden.

###### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft inzicht in het aantal dagen waarop hitte-gerelateerde gezondheidsproblemen zich zullen voordoen.
- Kaarten met informatie over kwetsbare groepen → om in te schatten waar kwetsbare mensen wonen.
- Kaarten met informatie over gebouwen (bijvoorbeeld bouwjaar en energie labels) → om in te schatten welke huizen slecht geïsoleerd en daardoor kwetsbaarder zijn.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om gezondheidsproblemen door hitte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden;
- Gebouwen aanpassen zodat ze beter bestemd zijn tegen hitte;
- Betere klimaatbeheersing van de woning (ventilatie en zonwering);
- Nationaal en/of Lokaal Hitteplan activeren;
- Hitteprotocol instellen;



- Aanpassen van gedrag: voldoende drinken, luchtige kleding dragen, uit de zon blijven.

#### 4.5.1.3 Stresstest- hitte – gezondheid – gezondheidszorg en hulpdiensten

##### **De effecten van hitte**

Hittestress kan leiden tot gezondheidsproblemen. Dit geldt vooral voor kwetsbare groepen, zoals ouderen en kleine kinderen. Ook gebruikers van bepaalde medicijnen kunnen moeite hebben om hun lichaamstemperatuur omlaag te krijgen. Mensen uit deze groepen kunnen last krijgen van warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte.

De gezondheidsproblemen kunnen leiden tot een extra druk op de medewerkers in de gezondheidszorg, bijvoorbeeld in de thuiszorg als sprake is van warme gebouwen. Ook de hulpdiensten krijgen het drukker, bijvoorbeeld tijdens evenementen op hittedagen. Ook kunnen de gezondheidsproblemen leiden tot meer ziekenhuisopnames en zelfs sterfte.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. De druk op de gezondheidszorg neemt toe naarmate het heter wordt.

###### *Aanvullend*

- Kaarten met informatie over kwetsbare groepen → om in te schatten waar kwetsbare mensen wonen en waar de druk op de lokale gezondheidszorg en hulpdiensten het hoogst kan zijn.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om extra druk op de gezondheidszorg en hulpdiensten door hitte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden;
- Gebouwen aanpassen zodat ze beter bestemd zijn tegen hitte;
- Betere klimaatbeheersing van de woning (ventilatie en zonwering);
- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden;
- Nationaal en/of Lokaal Hitteplan activeren;
- Hitteprotocol instellen;
- Aanpassen van gedrag: voldoende drinken, luchtige kleding dragen, uit de zon blijven.

#### 4.5.1.4 Stresstest- hitte – gezondheid –ziekenhuisopname

##### **De effecten van hitte**

Hittestress kan leiden tot gezondheidsproblemen. Dit geldt vooral voor kwetsbare groepen, zoals ouderen en kleine kinderen. Ook gebruikers van bepaalde medicijnen kunnen moeite hebben om hun lichaamstemperatuur omlaag te krijgen. Mensen uit deze groepen kunnen last krijgen van warmteziekten, zoals warmte-uitslag, hittekrampen, hitte-uitputting en hitteberoerte.

De gezondheidsproblemen kunnen leiden tot een extra druk op de gezondheidszorg en hulpdiensten, extra druk op de ziekenhuizen door meer ziekenhuisopnames en zelfs sterfte.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. Het aantal ziekenhuisopnames neemt toe naarmate het heter wordt. Deze kaart geeft een beeld van nu, en van de toekomst.

#### *Aanvullend*

- Is er een ziekenhuis? Of zijn er meerdere? Zo ja, op welke locatie(s)?
- De klimaatschadeschatter van het NKWK (het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat) → geeft inzicht in toename van kosten van ziekenhuisopnames.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om ziekenhuisopname door hitte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden;
- Gebouwen aanpassen zodat ze beter bestemd zijn tegen hitte;
- Betere klimaatbeheersing van de woning (ventilatie en zonwering);
- Nationaal en/of Lokaal Hitteplan activeren;
- Hitteprotocol instellen;
- Extra capaciteit organiseren;
- Aanpassen van gedrag: voldoende drinken, luchtige kleding dragen, uit de zon blijven.

#### 4.5.1.5 Stresstest- hitte – gezondheid – sterfte

##### **De effecten van hitte**

Hittestress kan leiden tot gezondheidsproblemen. Dit geldt vooral voor kwetsbare groepen, zoals ouderen en kleine kinderen. Ook gebruikers van bepaalde medicijnen kunnen moeite hebben om hun lichaamstemperatuur omlaag te krijgen. Vooral bij ouderen treedt tijdens een hittegolf extra sterfte op. Tijdens een hittegolf kan het sterftcijfer in Nederland toenemen met 12 procent. Dat komt neer op ongeveer 40 extra doden per dag ten opzichte van een periode met lagere temperaturen. Gemeenten met veel zelfstandig wonende ouderen en uiteraard verzorgingsinstellingen zijn de eersten die maatregelen moeten nemen.

De gezondheidsproblemen kunnen leiden tot een extra druk op de gezondheidszorg en hulpdiensten, meer ziekenhuisopnames. In het ergste geval kan iemand overlijden aan hitte-uitputting of hitteberoerte.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. Sterfte neemt toe naarmate het heter wordt.

*Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft inzicht in hoe vaak hete dagen optreden en in de verwachte omvang van de hitte gerelateerde sterfte.
- De klimaatschadeschatter van het NKWK (het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat) → geeft inzicht in de economische schade door sterfte.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om sterfte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Ruimtelijke adaptatie om de buitentemperatuur laag te houden;
- Gebouwen aanpassen zodat ze beter bestemd zijn tegen hitte;
- Betere klimaatbeheersing van de woning (ventilatie en zonwering);
- Nationaal en/of Lokaal Hitteplan activeren;
- Hitteprotocol instellen;
- Aanpassen van gedrag: voldoende drinken, luchtige kleding dragen, uit de zon blijven.

**4.5.2** *Stresstest – hitte – buitenruimte*

Extreme hitte heeft gevolgen voor de buitenruimte, zowel in de stad als in de directe omgeving ervan. Hitte, droogte en natuurbranden kunnen schade veroorzaken. Doordat er in de toekomst meer dagen zijn met zomerse en tropische temperaturen, neemt de druk op buitenruimtes toe. Dit geldt bijvoorbeeld voor parken en stadsstranden. Het is van belang om deze gevolgen mee te wegen bij stedelijk ontwerp en ruimtelijke inrichting.

Op lange en warme zomeravonden worden parkjes en buitenruimtes intensiever gebruikt, bijvoorbeeld door barbecueënde gezelschappen. Dit kan leiden tot sociale overlast, zoals stank, geluid en afval. Een ander gevolg van stijgende temperaturen is schade aan de natuur.

Hittestress leidt tot:

- Meer schade aan natuur
- Een hogere druk op de buitenruimte
- Toenemende sociale overlast
- Meer problemen door hittestress bij evenementen

**4.5.2.1** *Stresstest– hitte – buitenruimte – schade aan natuur***De effecten van hitte**

Hitte en droogte veroorzaken schade aan stedelijk groen, zoals bomen, struiken en gras. Ook stadslandbouw, particuliere tuinen en moestuinen lopen schade op. Dor en dood groen leveren minder koelte dan gezond, sappig groen. Het oppervlaktewater warmt op, waardoor de kans toeneemt op botulisme en blauwalgen. Dit treft vooral bewoners van de stad, gebruikers van groengebieden en gemeentelijke afdelingen zoals groenbeheer.

**Informatie verzamelen***Standaard*

- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het door het hitte-eilandeffect extreem warm kan worden.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Locaties van parken, groenstroken, grasvelden, moestuinen → geeft inzicht in de locaties waar problemen op kunnen treden.
- Bomenbestand (met type) → geeft inzicht in de locaties met kwetsbare bomen.

#### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om schade aan natuur te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Kiezen voor klimaatbestendig stedelijk groen;
- Bewateren.

#### 4.5.2.2 Stresstest- hitte – buitenruimte – druk op buitenruimte

##### **De effecten van hitte**

Tijdens warme dagen en avonden zoeken bewoners van de stad verkoeling in de buitenruimte. Ze trekken naar parkjes, groenstroken, stedelijk water (plassen, grachten, kanalen), stadsstranden, zwemwater, fontein en pierenbadjes. Dit leidt tot meer beheer en onderhoud door de gemeente. De trek naar buiten kan ook leiden tot een toename van sociale overlast.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het door het hitte-eiland effect extreem warm kan worden.

###### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Kaart met aantrekkelijke plekken → geeft inzicht in waar de druk op de buitenruimte toeneemt.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om problemen door druk op de buitenruimte te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Meer verkoelende buitenruimte creëren;
- Zorgen voor meer zwemwatervoorzieningen;
- Letten op de kwaliteit van het zwemwater;
- Vaker schoonmaken (beheer en onderhoud).

#### 4.5.2.3 Stresstest- hitte – buitenruimte – sociale overlast

##### **De effecten van hitte**

Warme dagen – en met name avonden – zorgen voor een toename van de buitenrecreatie. Mensen zitten in hun tuin, op hun balkon, op openbare terreinen of op horeca-terrassen. Dit leidt tot meer geluidsoverlast, stankoverlast door barbecues en meer afval. De politie krijgt vaker klachten.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het door het hitte-eiland effect extreem warm kan worden.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Kaart met aantrekkelijke plekken (buitenruimten, terrassen en parken) → geeft inzicht in waar overlast kan ontstaan.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen sociale overlast te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Plaatselijk rook- en stookverbod opleggen;
- Plekken aanwijzen waar barbecueën wel is toegestaan.

#### 4.5.2.4 Stresstest- hitte – buitenruimte – evenementen

### **De effecten van hitte**

Bezoekers van sportevenementen (zoals marathons en wielervedstrijden) en festivals (muziek, theater, *dance*) in de open lucht zijn extra gevoelig voor hittestress. Dit komt door de fysieke inspanning en doordat er veel mensen op één plek zijn. Bezoekers en de organisatoren van festivals moeten hierop voorbereid zijn. Hitte bij evenementen geeft ook extra druk op de hulpdiensten, zoals het Rode Kruis.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- Overzicht van festivals en evenementen in de zomer → om te kunnen bepalen bij welke evenementen kans is op hittestress.
- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen op welke plek in het evenementengebied de kans op hittestress het grootst is, en om te bepalen waar geen verkoeling gevonden kan worden.

#### *Aanvullend*

- Kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om hittestress bij evenementen te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

Organisatoren kunnen:

- Extra watertappunten aanleggen;
- Extra hulpverleners inschakelen;
- Schaduw creëren;
- Het evenement veranderen (verkorten, verplaatsen, programma aanpassen);
- Het evenement afgelasten.

Bezoekers kunnen:

- Alcoholgebruik verminderen en veel water drinken;
- Zich beschermen tegen zonnebrand;
- Luchtige kleding dragen.

Zie ook:

[https://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hitte/Evenementen/Informatie\\_vo\\_or\\_organisatoren\\_van\\_evenementen](https://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hitte/Evenementen/Informatie_vo_or_organisatoren_van_evenementen)

#### 4.5.3 *Stresstest – hitte – leefbaarheid*

In een leefbare stad is het prettig en aangenaam wonen, werken en recreëren. Extreme hitte beïnvloedt het comfort op straat en in gebouwen. Daardoor heeft hitte ook invloed op de arbeidsproductiviteit. Mensen nemen tijdens hitte meer kleine pauzes en maken meer fouten. Ook het ziekteverzuim stijgt door hoge temperaturen. Tijdens de hittegolf in 2003 steeg het van 3,4 naar 11,5 procent.

Tijdens tropische dagen ondervinden veel mensen 'hittehinder'. Hun welzijn en functioneren gaat achteruit. Dit geldt met name voor kwetsbare groepen, zoals ouderen en mensen met een beperking. Veel van hen drinken te laat en te weinig. Als het in hun eigen woning te warm wordt, zijn ze minder goed in staat om op een andere plek verkoeling te zoeken.

Hitte leidt tot:

- Minder comfort in de stad;
- Minder comfort in gebouwen;
- Afname van de arbeidsproductiviteit buiten;
- Afname van de arbeidsproductiviteit binnen;
- Hittestress op scholen en kinderopvang;
- Verandering in de omzet van de detailhandel.

##### 4.5.3.1 *Stresstest – hitte – leefbaarheid – comfort in de stad*

#### **De effecten van hitte**

Als het heel heet is, vermindert het comfort op veel plekken in de stad. Hierdoor wordt de buitenruimte van het bebouwde gebied onaangenaam om te verblijven, winkelen of recreëren. Dit geldt voor alle gebruikers van de stad: bewoners, werkenden en toeristen. Het geldt ook voor alle locaties, maar in het bijzonder voor de plekken waar de gevoelstemperatuur hoog is.

Met name, de inrichters van de stad kunnen ervoor zorgen dat er voldoende koele plekken zijn om te vertoeven en dat straten en pleinen voldoende koel en aangenaam zijn.

#### **Informatie verzamelen**

##### *Standaard*

- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het onaangenaam heet is.

##### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.

- Kaarten met gebiedsfuncties → om te bepalen welk type gebied (wonen, werken, bedrijven, ontspanning) voldoende koel ingericht moet zijn.
- Schaduwanalyses → om te bepalen wat de mogelijkheden zijn van schaduw voor het bieden van verkoeling.
- Inventarisatie van koelteplekken; dit zijn aangename plekken om te vertoeven tijdens tropische dagen, zoals stadsstranden, fonteinen en parkjes.
- Afstand-tot-koelte kaarten → om te bepalen welke gebieden op onvoldoende afstand van een koelteplek liggen.

#### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

- Ruimtelijke adaptatie: de aanleg van schaduw, groen en specifieke watervormen, zodat de buitentemperatuur en de gevoelstemperatuur laag blijven en er voldoende plekken in de stad ontstaan waar verkoeling te vinden is.

#### 4.5.3.2 Stresstest – hitte – leefbaarheid – arbeidsproductiviteit buiten

##### **De effecten van hitte**

Mensen die buiten werken, hebben veel last van hitte. Op tropische dagen, als de zon fel schijnt, verliezen ze veel vocht en warmt het lichaam sneller op bij lichamelijke inspanning. Dit leidt tot een natuurlijk verlies aan arbeidsproductiviteit doordat er meer gepauzeerd wordt. Ook kan hitte leiden tot meer ongelukken door concentratieverlies, en uiteindelijk tot gezondheidsproblemen. Kwetsbare groepen zijn onder meer straat- en dakwerkers, verkeersregelaars, politiemensen, wegwerkers, bouwvakkers, mensen die in de groensector werken. Afhankelijk van hun werkzaamheden zijn ook werknemers in de logistiek en het toerisme kwetsbaar. Het comfort in de stad speelt hierbij een rol: een door bomen beschaduwde werkplek is beter dan een open bouwplaats zonder enige schaduw.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- PET Hittekaart → geeft inzicht in de plekken waar het te heet is om te werken.

###### *Aanvullend*

- Veel voorkomende locaties van buitenwerkers.
- De klimaatschadeschatter van NKWK (het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat) → geeft inzicht in de schade door het verlies van arbeidsproductiviteit per gemeente.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om te voorkomen dat de arbeidsproductiviteit buiten afneemt. Deze opsomming is niet compleet.

- Creëren van schaduw door (tijdelijke) voorzieningen;
- Tropenrooster instellen: niet werken op de heetste uren van de dag;
- Nagaan of werken in de warmte wel noodzakelijk is;
- De werkzaamheden in de warmte inkorten;
- De werkzaamheden buiten afwisselen met werken op een koelere plek;
- Koele dranken aanbieden;

- Persoonlijke beschermingsmiddelen aanbieden (pet, zonnebrand).

#### 4.5.3.3 Stresstest – hitte – leefbaarheid – comfort in gebouwen

##### **De effecten van hitte**

In een periode van hitte kan de temperatuur in gebouwen flink oplopen. Dit gebeurt vooral in gebouwen met slechte isolatie, gebouwen zonder airconditioning of ventilatie, op de bovenste etages van hoge gebouwen en in gebouwen in warme wijken die te maken hebben met het stedelijk hitte-eilandeffect. Veel moderne, goed geïsoleerde gebouwen met veel glas raken de ingevangen warmte niet meer kwijt. De hoge temperatuur in de gebouwen zorgt voor gezondheidsproblemen, slaapproblemen en verminderde arbeidsproductiviteit. Ook scholen en locaties voor kinderopvang zijn kwetsbaar.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten in de bebouwde kom, nu en in de toekomst. Als het 's nachts buiten niet afkoelt, is het moeilijker om gebouwen aangenaam koel te houden.

###### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Kaarten met informatie over gebouwen (bijvoorbeeld het bouwjaar en de energie labels) → om in te schatten welke gebouwen slecht geïsoleerd zijn en onaangenaam warm worden.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om gezondheidsproblemen door een slecht comfort in gebouwen te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Een koelere buitenruimte bij het gebouw creëren, door de aanleg van schaduw en groen;
- Zonwering en overstekken om te voorkomen dat te veel warmte binnenkomt (vooral van belang in goed geïsoleerde gebouwen waar veel zon binnenkomt);
- Passieve ventilatie.

#### 4.5.3.4 Stresstest – hitte – leefbaarheid – arbeidsproductiviteit binnen

##### **De effecten van hitte**

Veel mensen werken in gebouwen. In een periode van hitte kan de binnentemperatuur flink oplopen. Dit gebeurt vooral in gebouwen met slechte isolatie, gebouwen zonder airconditioning of ventilatie, op de bovenste etages van hoge gebouwen. In warme wijken die te maken hebben met het stedelijk hitte-eilandeffect, is het enige graden warmer dan buiten de stad. Dat maakt de problemen groter. De hoge temperatuur in de gebouwen zorgt voor gezondheidsproblemen en verminderde arbeidsproductiviteit. Dit effect is niet alleen van belang voor beheerders van kantoor- en industriegebouwen, maar geldt ook voor scholen en locaties voor kinderopvang.



### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- KEA-kaart aantal warme nachten → geeft inzicht in het aantal warme nachten, nu en in de toekomst. Als het 's nachts buiten niet afkoelt, is het moeilijker om gebouwen en kantoren aangenaam koel te houden.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Kaarten met informatie over gebouwen (bijvoorbeeld bouwjaar en energie labels) → om in te schatten welke gebouwen slecht geïsoleerd zijn en onaangenaam warm worden, waardoor de arbeidsproductiviteit afneemt.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om te voorkomen dat de arbeidsproductiviteit binnen afneemt. Deze opsomming is niet compleet.

- Werkomgeving koelen door verkoelende apparatuur en installaties;
- Zon weren;
- Voorlichting geven over slim ventileringsgedrag;
- Een tropenrooster instellen en werkzaamheden aanpassen.

#### 4.5.3.5 Stresstest – hitte – leefbaarheid – scholen en kinderopvang

##### **De effecten van hitte**

In een periode van hitte kan de temperatuur in schoollokalen en kinderopvanglocaties flink oplopen. Dit gebeurt vooral in gebouwen met slechte isolatie, gebouwen zonder airconditioning of ventilatie en op de bovenste etages van hoge gebouwen. In scholen en kinderopvanglocaties in warme wijken, die te maken hebben met het stedelijk hitte-eilandeffect, zijn de temperaturen mogelijk enige graden hoger; daardoor kunnen de problemen groter zijn. De hoge temperatuur in schoolgebouwen zorgt voor gezondheidsproblemen. Kinderen kunnen last krijgen van vermoeidheid, concentratieproblemen, benauwdheid, hoofdpijn, oververhitting en uitdroging.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen op welke speelpleinen en pleinen rondom de scholen de kans op hittestress het grootst is, en om te bepalen waar geen verkoeling gevonden kan worden.
- Overzicht van de locaties van scholen en kinderopvangcentra.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Kaarten met informatie over gebouwen (bijvoorbeeld bouwjaar en energie labels) → om in te schatten welke gebouwen slecht geïsoleerd zijn en onaangenaam warm worden, waardoor kinderen op scholen en kinderopvang last krijgen.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen.**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om gezondheidsproblemen in scholen en kinderopvanglocaties te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Extra schaduw creëren op het speelplein;
- Zonwering aanbrengen;
- Zorgen voor voldoende ventilatie;
- Aantal brandende lampen beperken;
- Hitteprotocol opstellen en gebruiken;
- Rustige spelletjes doen, in de schaduw;
- Waterspelletjes organiseren;
- Extra drinken;
- Sportdagen aanpassen.

## 4.5.3.6 Stresstest – hitte – leefbaarheid – verandering omzet detailhandel

**De effecten van hitte**

Op warme dagen gaan minder mensen winkelen. Dit geldt vooral voor winkelgebieden die onaangenaam warm zijn. Gekoelde winkelomgevingen krijgen het mogelijk drukker. Tegelijkertijd stijgt de vraag naar verkoelende levensmiddelen en producten, zoals ijsjes, frisdrank, airco's en ventilatoren.

**Informatie verzamelen***Standaard*

- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen of winkelgebieden voldoende koel en aangenaam zijn om te winkelen.

*Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om een slecht comfort in winkelgebieden te beperken. Deze opsomming is niet compleet.

- Schaduw creëren door bomen, zonneschermen, of zeilen boven de straat;
- Zorgen voor verkoeling in de winkelstraten door verneveling;
- Winkeltijden aanpassen.

4.5.4 *Stresstest – hitte – water*

Hitte heeft gevolgen voor de *waterkwaliteit* en de *waterkwantiteit*.

Tijdens een lange periode van warm weer of extreme hitte is er meer vraag naar drink- en koelwater. Een voorbeeld hiervan is de drukbezochte en tropisch hete proloog van de Tour de France in juli 2015 in Utrecht. Drinkwaterbedrijf Vitens pompte op die dag 30 miljoen liter water naar Utrecht. Dit is het dubbele van een normale dag.

Hitte beïnvloedt de kwaliteit van drinkwater. Als de waterleidingen niet diep genoeg in de grond liggen, neemt de temperatuur van het drinkwater langzaam toe. Dit kan leiden tot groei van micro-organismen en ziekteverwekkers. Ook de kwaliteit van het oppervlaktewater kan achteruitgaan door hogere temperaturen, bijvoorbeeld door de groei van blauwalgen. Tot slot kunnen in de stad problemen ontstaan doordat

bedrijven – met name elektriciteitsbedrijven – geen koelwater meer mogen gebruiken omdat anders het oppervlaktewater te warm wordt.

Hitte leidt tot:

- Een slechtere drinkwaterkwaliteit;
- Stijging van de watervraag;
- Een slechtere oppervlaktewaterkwaliteit;
- Meer problemen met koelwatervoorziening.

#### 4.5.4.1 Stresstest – hitte – water – drinkwaterkwaliteit

##### **De effecten van hitte**

Als de temperatuur van het drinkwater stijgt, daalt de kwaliteit. In warm drinkwater kunnen micro-organismen, zoals legionella, te snel groeien. Dit is met name een probleem voor de waterleidingbedrijven. Het drinkwater uit de kraan dient niet warmer te zijn dan 25 graden. De watertemperatuur stijgt als leidingen dicht onder het maaiveld liggen en als het grondoppervlak heet wordt. Ook leidingen in bijvoorbeeld appartementencomplexen, die een lange weg door het gebouw afleggen, kunnen warm worden.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen waar waterleidingen gevaar lopen op te warmen.

###### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- De locatie of de lengte van bekende en kwetsbare drinkwaterleidingen.
- Schaduw- en groenanalyses → om te bepalen wat de mogelijkheden zijn van schaduw en groene oppervlakken voor het verkoelen van het netwerk.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om opwarming van drinkwaterleidingen te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Drinkwaterleidingen dieper aanleggen;
- Drinkwaterleidingen zoveel mogelijk aanleggen in beschaduwde zones;
- Voorkomen dat het water te lang stil staat.

#### 4.5.4.2 Stresstest – hitte – water – watervraag

##### **De effecten van hitte**

In een periode van hitte en droogte krijgen de waterleidingbedrijven te maken met een stijgende watervraag. Ook zijn er meer pieken in het verbruik van water. Dit komt onder meer doordat veel mensen hun tuinen besproeien. Een stijgende watervraag kan op termijn leiden tot watertekort. Ook de gemeente heeft hierin een rol als gebruiker van water.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- Niet van toepassing, want dit speelt overal.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen.
- Ramingen van de watervraag in de toekomst, inclusief een hitte-effect, vergeleken met de productiecapaciteit.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om watertekort te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Voorlichting geven aan particulieren en bedrijven over drinkwatergebruik;
- Een plan maken voor rantsoenering bij langdurige hitte en droogte;
- Op langere termijn: rekening houden met piekverbruiken door capaciteitsplanning;

Nadenken over een protocol voor de besproeiing van het stedelijk groen in hete perioden.

#### 4.5.4.3 Stresstest – hitte – water – waterkwaliteit

##### **De effecten van hitte**

In een langdurige warmteperiode stijgt de temperatuur van het oppervlaktewater. Dit leidt tot algengroei (blauwalgen) en de groei van andere, ziekteverwekkende organismen (pathogenen). Als het tegelijkertijd langdurig droog is, is er minder wateraanvoer en neemt de waterkwaliteit verder af. Dit geldt vooral voor ondiep en stilstaand water. Dit zijn juist de plekken die tijdens zomerse dagen in trek zijn als zwemwater. De afname van de waterkwaliteit is met name een aandachtspunt voor gemeenten en waterschappen.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen waar oppervlaktewater gevaar lopen op te warmen.
- Overzicht van de locaties van oppervlaktewater → geeft inzicht in de locaties waar waterkwaliteit een probleem kan geven.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal aaneengesloten dagen waarbij water warmer is dan 20 °C → geeft inzicht in de locaties waar waterkwaliteit een probleem kan geven.
- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen met betrekking tot waterkwaliteit.
- Locaties van ondiepe en stilstaande waterlichamen → geeft inzicht in de meest kwetsbare waterpartijen.
- Overzicht van zwemlocaties in de gemeente.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om een afname van de oppervlaktewaterkwaliteit te voorkomen of om problemen bij hitte te beperken. Deze opsomming is niet compleet.

- Doorspoelen;
- Zorgen voor schaduw op het water;
- Water voldoende diep houden door te baggeren.

#### 4.5.4.4 Stresstest – hitte – water – koelwater

##### **De effecten van hitte**

Een langdurige periode van hitte, in combinatie met droogte, kan leiden tot problemen bij de energiebedrijven en andere bedrijven die koelwater gebruiken. Lage waterstand veroorzaakt een tekort aan koelwater; hoge temperaturen verhogen de temperatuur van het koelwater dat er nog is. En als het oppervlaktewater te warm wordt, mag geen warmte meer geloosd worden. Deze situaties leiden tot een verminderde productiecapaciteit. Voor energiebedrijven kan dit uiteindelijk kan betekenen dat energiecentrales worden afgeschakeld. Ook is een energie-black-out mogelijk.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- Niet van toepassing, dit speelt overal.

###### *Aanvullend*

- De locatie van de energiecentrales, in combinatie met de kwetsbaarheid van het koelwater bij hitte en droogte.
- Kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen met betrekking tot koelwater.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om problemen met koelwater te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Netwerkredundantie: ervoor zorgen dat er alternatieven beschikbaar zijn;
- Netwerkflexibiliteit;
- Extra fysieke voorzieningen rond koelwatervoorziening zodat bij watertekorten de productie niet in gevaar komt.

#### 4.5.5 *Stresstest – hitte – netwerken*

Hitte kan problemen geven in transport- en elektriciteitsnetwerken in de stad. Hoge temperaturen leiden tot het uitzetten van bruggen, waardoor deze niet meer open of dicht kunnen. Ook rails kunnen uitzetten door hitte, wat leidt tot ontsporingen. Op wegen leidt hitte tot schade, bijvoorbeeld doordat het asfalt smelt.

In een hitteperiode stijgt de ook energievraag door een toenemend gebruik van koelsystemen en airco's. Hitte – in combinatie met droogte – kan ook leiden tot stroomstoringen, wanneer elektriciteitscentrales door een gebrek aan koelwater niet, of minder, kunnen produceren.

Hitte leidt tot:

- Toename van de uitzetting van rails;
- Toename van de uitzetting van bruggen;
- Meer schade aan bestrating;
- Toename van de energievraag en emissies;
- Meer kans op een energie-black-out.

#### 4.5.5.1 Stresstest – hitte – netwerken – uitzetting van rails

##### **De effecten van hitte**

Door hitte neemt de temperatuur van rails fors toe en kunnen ze uitzetten. Dit uitzetten of ombuigen van de rails heet ook wel 'spoorpat' (in het Engels *buckling*). Spoorpat leidt tot ontsporingen en soms tot falen van het seinsysteem. Dit is met name een probleem voor de railbeheerders (ProRail of gemeentelijke vervoersbedrijven) en voor gemeenten waar tramrails of lightrails zijn aangelegd.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- Niet van toepassing, dit speelt overal.

###### *Aanvullend*

- Kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft een indicatie van de toename van de problemen met betrekking tot uitzetting van rails en van het aantal dagen waarop problemen door spoorpat kunnen optreden.
- Locaties van de railinfrastructuur → om te bepalen waar de kwetsbare plekken zijn.

##### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om uitzetting van rails te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Meer inspecties van de rails tijdens een hitteperiode.

#### 4.5.5.2 Stresstest – hitte – netwerken – uitzetting van bruggen

##### **De effecten van hitte**

Door hitte zet staal uit. Beweegbare stalen bruggen kunnen, als ze te heet worden, niet meer openen of sluiten. In gemeenten met beweegbare stalen bruggen leidt dit tot problemen op de weg (als de brug niet meer dicht kan) of op het water (als de brug niet meer open kan). In de zomer van 2018 ging het in Friesland alleen al om 70 bruggen die op een bepaald moment gesloten bleven. In Amsterdam bleven 12 bruggen dicht, waardoor twee hoofdroutes door de stad niet meer bevaarbaar waren. Dit is vooral een probleem voor vervoerders en beheerders van wegen en bruggen.

##### **Informatie verzamelen**

###### *Standaard*

- Locaties van de beweegbare stalen bruggen → om te bepalen welke plekken kwetsbaar zijn.

*Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft inzicht in aantal dagen met problemen door het uitzetten van staal.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om uitzetting van bruggen te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Bruggen nathouden met watersproeiers;
- Bruggen aanpassen (bijslijpen) zodat de uitzetting geen problemen geeft;
- Ervoor zorgen dat alternatieve routes beschikbaar zijn.

## 4.5.5.3 Stresstest – hitte – netwerken – schade aan bestrating

**De effecten van hitte**

Hitte maakt asfalt zacht en plakkerig, door het smelten van het bindmiddel (bitumen) in de toplaag. Op kruispunten, bij verkeerslichten en in bochten blijft het asfalt aan de autobanden plakken en ontstaan gaten in het wegdek. Ook stoeptegels en betonplaten hebben last van hitte: ze zetten uit, komen omhoog en kunnen breken. Dit is met name een probleem voor wegbeheerders.

**Informatie verzamelen***Standaard*

- PET-Hittekaart overdag → om te bepalen waar bestrating gevaar loopt teveel op te warmen

*Aanbevolen informatie op maat:*

- Locaties van asfaltwegen.
- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft inzicht in het aantal dagen dat problemen met bestrating kunnen optreden.
- Verkeersintensiteiten om te bepalen welke drukke plekken prioriteit hebben bij het nemen van maatregelen.

**Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om schade aan bestrating te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Het mengsel van het asfalt veranderen, bijvoorbeeld door hardere bitumen of polymeren erin te verwerken. Ook het toevoegen van witte steentjes, die meer straling terugkaatsen dan donkere, verlaagt de temperatuur van het oppervlak.
- Als noodmaatregel – toen het asfalt al zacht was – is in de zomer van 2018 zout gestrooid. Zout trekt vocht aan uit de buitenlucht, waardoor het asfalt koelt. Daarnaast onttrekt zout vocht aan het asfalt waardoor het minder vloeibaar wordt.

## 4.5.5.4 Stresstest – hitte – netwerken – energievraag/emissies

**De effecten van hitte**

In een periode met veel warme dagen en nachten gebruiken veel mensen apparaten voor koeling: airconditioners en ventilatoren. Tijdens een periode met temperaturen van 28 tot 30 °C verbruikt Nederland 8 tot 10 procent meer stroom. Energiebedrijven merken dan ook dat de energievraag toeneemt. Bij elektriciteitsproductie in conventionele

centrales leidt dit tot meer emissies van kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en luchtverontreinigende stoffen zoals stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>).

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- *Geen speelt overal*

#### *Aanvullend*

- Kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → geeft inzicht in het aantal dagen dat de energievraag toeneemt.

### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om een toename van de energievraag te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Zonwering;
- Passieve koeling in gebouwen, waarbij door isolatie, zonneschermen en natuurlijke ventilatie het gebouw koeler blijft, zonder energieverbruik;
- Een ventilator gebruikt veel minder energie dan een airconditioner, dus de keuze voor koelende apparatuur is ook belangrijk.

#### 4.5.5.5 Stresstest – hitte – netwerken – energie-black-out

##### **De effecten van hitte**

In extreme gevallen kan hitte leiden tot het moeten uitschakelen van elektriciteitscentrales. Hierbij spelen vaak droogte en hitte tegelijkertijd een rol. Droogte veroorzaakt een lage waterstand in rivieren en daardoor een gebrek aan koelwater; hitte veroorzaakt een te hoge temperatuur van het koelwater. In Nederland kan het uitvallen van de elektriciteitsvoorziening meestal worden opgevangen: er is een dicht hoogspanningsnet en andere, eventueel buitenlandse bronnen, kunnen in noodsituaties bijspringen. In Canada heeft een hittegolf geleid tot een black-out in een groot deel van het land. Ook in Nederland is een black-out niet denkbeeldig: bijvoorbeeld als het uitvallen van elektriciteitscentrales samengaat met andere calamiteiten, zoals een plotselinge stijging in de energievraag en het uitvallen van knooppunten in de elektriciteits-infrastructuur. Energiebedrijven en netwerkbeheerders moeten voorkomen dat dit in de toekomst werkelijkheid wordt.

### **Informatie verzamelen**

#### *Standaard*

- Locatie van de energiecentrales en informatie over hun specifieke gevoeligheid voor problemen met de koelwatervoorziening.

#### *Aanvullend*

- KEA-kaart met het aantal zomerse dagen (25 °C of meer) nu en in de toekomst → inzicht in het aantal dagen waarop de energievraag toeneemt en energie-black-out kan optreden.
- Inzicht in de afname van de rivierafvoeren



### **Mogelijke maatregelen en richtlijnen**

Een greep uit de mogelijke maatregelen om een energie-black-out te voorkomen. Deze opsomming is niet compleet.

- Netwerkredundantie: extra fysieke voorzieningen in de elektriciteitsvoorziening en het elektriciteitsnetwerk die bij calamiteiten kunnen worden ingezet.
- Netwerkflexibiliteit: mogelijkheden om zo in het netwerk te schakelen dat bij een calamiteit een andere route gebruikt kan worden.



## 5 Gebruikersconsultatie

Een belangrijk onderdeel van dit project was een gebruikersconsultatie die plaats vond op 21 september 2018 in Bussum. In de ochtend namen vertegenwoordigers van zes gemeenten deel, in de middag vertegenwoordigers van zes adviesbureaus. De bijeenkomst werd georganiseerd door Stichting CAS (Climate Adaptation Services). CAS heeft veel en goede ervaring met het actief betrekken van gebruikers bij de ontwikkeling van klimaatdiensten. Dit gebeurt bijvoorbeeld standaard en met regelmaat bij de klimaat effect atlas en het kennisportaal ruimtelijke adaptatie. Ook deze bijeenkomst bewees weer hoe waardevol het is om potentiële gebruikers actief in contact te brengen met de ontwikkelaars vanuit de kenniswereld. Vanuit het projectteam namen vertegenwoordigers deel van RIVM, KNMI, WUR, TNO, HvA, CAS en IenW.

Zowel in de ochtend als in de middag werden de deelnemers in een drietal presentaties geïnformeerd over de opzet en de resultaten van de standaard hittestresstest bestaande uit:

- Inleiding: Standaard stresstest hitte, Reinder J. Ronda (KNMI)
- Recept Standaardhittekaart v1.0, Gert-Jan Steeneveld (WUR)
- Leidraad bij het recept, Jeroen Kluck (HvA)

De deelnemers werden met de presentaties meegenomen in de aanleiding voor het ontwikkelen van een standaard stresstest hitte en hoe dat past in het grotere plaatje van de stresstesten. Waarna een eerste opzet voor een recept standaardhittekaart werd besproken met uitleg over de gevoelstemperatuur. En tenslotte werd toegelicht hoe de leidraad op basis van de mindmap gebruikt kan worden bij de uitvoering van de stresstest hitte.

De kennisinstellingen kregen zo direct vanuit de gemeenten en adviesbureaus feedback op hun werk in uitvoering. Dat bleek voor beide partijen enorm waardevol. De kennisinstellingen waren natuurlijk ontzettend benieuwd naar de reacties op hun concept-verhaal. Maar ook de gemeenten en adviesbureaus bleken zeer gretig om actief de inhoudelijke discussie aan te gaan. Twee werelden komen zo bij elkaar, maar ze delen de fascinatie – en ook het enthousiasme – voor de materie. De projectpartijen raakten na afloop van de bijeenkomsten maar niet uitgepraat over wat nu precies de consequenties zouden moeten zijn van alles wat ze mee kregen vanuit 'de praktijk'. Vanuit de gemeenten ontving CAS nadien meerdere bedankjes voor de bijeenkomst, iemand had zelfs 'genoten'. Van de twee bijeenkomsten zijn verslagen gemaakt (op te vragen via CAS), vooral bedoeld voor de kennisinstellingen om het recept en de leidraad verder vorm te geven, zo goed als mogelijk afgestemd op de gebruikersbehoeften.

Interessant aan de bijeenkomst, opgedeeld in twee onderdelen, is dat de gemeenten in de ochtend nog 'een boodschap' meegaven aan de adviesbureaus in de middag. Sommige gemeenten hebben wel "al acht verschillende hittekaarten gezien met acht keer een andere uitkomst". Ze vinden het niet alleen de rol van adviesbureaus om geschikte kaarten

op te leveren, maar ook om te verbinding te leggen met andere klimaateffecten ("de meeste marktpartijen denken toch nog primair vanuit water") en dossiers en vooral ook met het oog op (keuzen voor) te nemen maatregelen. Toch vinden gemeenten het lastig om te bepalen welke partijen kennis hebben over hittestress. De adviesbureaus namen deze opmerking – het belang van de standaard stresstest hitte benadrukkend – in de middag ter harte.

Ook gaven de gemeenten een meer algemeen inkijkje in hun praktijk van klimaatadaptatie. De aanwezige gemeenten gaven te kennen allen goed op weg te zijn om hittestress te analyseren en te verminderen. Toch erkennen ze dat ze voor de helft van het gebied binnen de gemeente invloed hebben om het omlaag brengen van hittestress, de andere helft is in de handen van particulieren. Gemeenten vinden dat klimaatadaptatie zoveel mogelijk moet worden mee gekoppeld met energietransitie, aangezien dat toch een meer dominant beleidsdossier is. Normen over hittestress moeten er komen, zo vond men. Er worden veel huizen bijgebouwd en gemeenten willen aan woningbouwcorporaties normen meegeven wat hittestress in de toekomst kan verminderen. Ook werd opgemerkt dat sommige gemeenten er niet voor kiezen om heel erg in detail te gaan analyseren en ontwerpen, maar er bijvoorbeeld voor kiezen om als ambitie te hebben zo veel als mogelijk te vergroenen.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

Binnen dit project is een standaard methode ontwikkeld om de toename van de gevoelstemperatuur in het stedelijk gebied in beeld te brengen voor de huidige en toekomstige situatie door:

1. Definitie van de uitgangspunten voor de standaard hittestresstest met alle leden van het consortium. Hierbij is gekozen om de hittekaarten te baseren op de gevoelstemperatuur (PET), daarmee de hitte op een zomerse dag en de warme nachten in beeld te brengen voor de huidige en toekomstige situatie op basis van het WH scenario van het KNMI;
2. Ontwikkeling van een recept om hittekaarten op een resolutie van 1 meter te berekenen:
  - PET-Hittekaart overdag met de gevoelstemperatuur: de gemiddelde gevoelstemperatuur (PET) tussen 10.00 – 16.00u UTC voor een hete dag.
  - PET-Overschrijdingskaart overdag met de gesommeerde blootstellingduur: het totale aantal uur per jaar dat de gevoelstemperatuur (PET) tussen 10.00- 16.00u UTC groter is dan 29 °C.  
Deze kaarten laten zien dat we in de toekomst veel vaker te maken gaan krijgen met hitte overdag.
  - PET-Overschrijdingskaart 's nachts kaart met de gesommeerde blootstellingduur: het totale aantal uur per jaar dat de gevoelstemperatuur 's nachts (PET) groter is dan 20 °C  
In de berekening van deze hitte kaarten wordt rekening gehouden met de meteorologische omstandigheden zoals luchttemperatuur, globale straling, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid, en lokale ruimtelijke inrichting, landgebruik, gebouwen en bomen.
3. Ontwikkeling van een leidraad voor de gemeenten om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's met behulp van de mindmap "Hitte in de Stad". Op basis van deze mindmap, de KEA warme nachten kaart en de PET Hittekaart overdag kunnen 24 mogelijke risico's geïdentificeerd worden, verdeeld over vijf thema's: gezondheid, netwerken, water, leefbaarheid en buitenruimte. Per risico zijn de mogelijke effecten toegelicht. Tevens worden informatiebronnen en mogelijke maatregelen aangereikt.
4. Gebruikersconsultatie, waarin het recept en de leidraad zijn voorgelegd aan een beperkte groep gebruikers vanuit de gemeenten en adviesbureaus. Tijdens de consultatie is de opzet van de standaard hittestress test gepresenteerd en bediscussieerd. Gemeenten waren verheugd dat er een standaard hittestress test beschikbaar komt, en gaven aan dat klimaatadaptatie zoveel mogelijk moet worden gekoppeld aan de energietransitie. Tevens is er behoefte aan ontwerpcriteria voor hittestress bij gebiedsontwikkelingen om deze in de toekomst te verminderen.
5. Rapportage van bovengenoemde stappen in dit rapport.

De komende periode zullen de gemeenten en adviesbureaus aan de slag gaan met de nieuwe hittestresstest. Het wordt aanbevolen om de toepassing ervan te ondersteunen met een informatiecampagne. er wordt gedacht aan artikelen in de Nieuwsbrief Ruimtelijke Adaptatie, Binnenlands Bestuur, VNG Magazine, Stadswerk alsook vaktijdschriften zoals Lucht en Meteorologica, etc. Daarnaast wordt het aanbevolen om de toepassing van de stresstesten door gemeenten en adviesbureaus te volgen en te evalueren. Hoe landt de test bij de gebruikers? Hoe worden het recept, de kaarten en de leidraad gebruikt? Welke knelpunten zijn er en welke verbeteringen zijn er nodig?

Om de stresstest beter toepasbaar te maken is het belangrijk dat het huidige recept wordt uitgewerkt in een set met standaard hittekaarten op nationale schaal die ontsloten worden in de Klimaat Effect Atlas. Het gaat daarbij om kaarten met de huidige en toekomstige hittestress cf. WH-scenario.

Op basis van de evaluatie kan worden bekeken welke kennis en informatie aanvullend beschikbaar moet komen om de risicodialoog beter te ondersteunen door bijvoorbeeld:

- de risico's zoals die in de mindmap zijn opgenomen verder uit te werken naar voorbeeld van gezondheid (sterfte en ziekenhuisopnamen) en arbeidsproductiviteit;
- eenvoudige tools te ontwikkelen die het effect van klimaatmaatregelen op lokale schaal interactief in beeld kunnen brengen. Tools die gebruikt kunnen worden tijdens stakeholder bijeenkomsten en ter ondersteuning van het planproces. Als het kan, inclusief de maatschappelijke kosten en baten van klimaatverandering, maar ook voor gezondheid, leefbaarheid, mobiliteit, energietransitie etc.
- ontwikkeling van ontwerpcriteria t.a.v. hitte voor nieuwe woonwijken en bedrijfslocaties.

Daarnaast dient er aandacht te zijn voor verbetering van de huidige methoden om de hittekaarten te berekenen. De huidige methode is getoetst op een klein aantal meetgegevens voor de stad Wageningen. Het verkrijgen of ontsluiten van betrouwbare monitoringsgegevens van hittestress in de stad is daarbij van primair belang. Ze zijn nodig om de invloed van het ruimtegebruik, inclusief de invloed van water en antropogene warmtebronnen, op de gevoelstemperatuur in de stad beter te kunnen beschrijven. Enerzijds kan een verdampend wateroppervlak verkoelend werken, anderzijds dempt water door haar thermische traagheid ook nachtelijke koeling van de stad. Water wordt al op een basale manier meegenomen in de huidige kaart, maar houdt geen rekening met tijdsafhankelijke invloeden (begin of eind hittegolf) en verschillende typen wateroppervlakken zoals sloten en rivieren. Daarnaast is het de vraag in welke mate antropogene warmtebronnen (airco's, verkeer, industrie) bijdragen aan de temperatuur in de stad. Er wordt nog geen rekening gehouden met verschillen in thermische eigenschappen van gebouwen door verschillen in kleur, reflectievermogen, albedo en thermische traagheid van bouwmaterialen.

Het wordt aanbevolen om de risico's van klimaatverandering door wateroverlast, overstroming, hitte en droogte vergelijkbaar te maken,

waardoor de beschikbare middelen voor klimaatadaptatie zo efficiënt mogelijk kunnen worden ingezet. De uitgangspunten, methoden en effecten van de verschillende klimaatrisico's zouden daarbij, voor zover mogelijk, op elkaar afgestemd en vertaald moeten worden naar maatschappelijke kosten en baten.





## 7 Referenties

- AT-Osborne, (2018). Advies voor een verbeteragenda klimaatstresstest. Werkplan voor verdere standaardisatie en verbetering van klimaatstresstesten ten behoeve van de risicodialoog. AT-Osborne, Baarn, Nederland. Referentie 2017373/ODGMG-GST-IGM/HBS/TVE/SVI
- Bakker A., en Bessembinder J., (2012). Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI'06 climate scenarios. KNMI, De Bilt, Nederland. Technical Report TR-326
- Böcker L., Dijst M., Prillwitz J., (2013). Impact of Everyday Weather on Individual Daily Travel Behaviours in Perspective: A Literature Review. *Transport reviews*. ISSN 0144-1647
- Brandsma, T., Wolters, D., (2012). Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands). *J. Appl. Meteor. and climatol.* **51**, 1046-1060. doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0206.1>
- Budd G.M., (2001). Assessment of thermal stress—The essentials, *J. Therm. Biol.*, 26, 371–374, doi:10.1016/S0306-4565(01)00046-8.
- DpRA, (2018). Deltaplan Ruimtelijke adaptatie. Maatregelen om Nederland klimaatbestendig en waterrobuust in te richten. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken, Den Haag, Nederland <https://deltaprogramma2018.deltacommissaris.nl/viewer/chapter/1/2-deltaprogramma-/chapter/deltaplan-ruimtelijke-adaptatie> (retrieved on 5-12-2018)
- Charalampopoulos I., Tsiros I., Chronopoulou-Sereli A., Matzarakis A., (2013). Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece, *Urban Ecosyst* (2013) 16:217–233, DOI 10.1007/s11252-012-0252-5
- Charalampopoulos I., Tsiros I., Chronopoulou-Sereli A., Matzarakis A., (2017). A methodology for the evaluation of the human-bioclimate performance of open spaces. *Theor Appl Climatol*, 128:811–820. DOI 10.1007/s00704-016-1742-9
- Heusinkveld, B.G., van Hove, L.W.A., Jacobs, C.M.J., Steeneveld, G.J., Elbers, J.A., Moors, E.J., Holtslag, A.A.M., (2010). Use of a mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam, in *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 12-14 April 2010*, Ber. 20:433–438, Meteorol. Inst., Univ. Freiburg, Freiburg, Germany
- Heusinkveld, B.G., Steeneveld, G.J., van Hove, L.W.A., Jacobs, C.M.J., Holtslag, A.A.M., (2014). Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119:77–692. DOI 10.1002/2012JD019399
- Heusinkveld B.G., Sterenborg G., Steeneveld G.J., Attema J.J., Ronda R.J., Holtslag A.A.M., (2017). Smartphone App brings human thermal comfort forecast in your hands. *Bulletin of the American Meteorological Soc.*, 98:2533–2541

- KNMI, (2015). Toelichting Transformatie tijdreeksen.  
[http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig\\_weer/transformatie/Toelichting\\_TP.pdf](http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig_weer/transformatie/Toelichting_TP.pdf)
- Klok, E.K., Kluck, J., (2018). Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands). *Urban Climate* 23; 342-351
- KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds), Jisk Attema, Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Reinout Boers, Theo Brandsma, Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Henk Eskes, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Geert Lenderink, Jessica Loriaux, Erik van Meijgaard, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Frank Selten, Pier Siebesma, Andreas Sterl, Hylke de Vries, Michiel van Weele, Renske de Winter and Gerd-Jan van Zadelhoff. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.
- Koopmans S., Ronda R.J., Steeneveld G.J., Holtslag A.A.M., Klein-Tank A., (2018). Quantifying the effect of different urban planning strategies on heat stress in current and future climates in the Netherlands, *Atmosphere* 9: 353
- Landsberg H.E., (1981). The urban climate. International Geophysics Series, Vol.28, Academic Press, New York, United States of America
- Lindberg F., Grimmond C.S.B., Gabey A., Huang B., Kent C.W., Sun T., Theeuwes N., Jarvi L., Ward H., Capel-Timms I., Chang Y.Y., Jonsson P., Krave N., Liu D., Meyer D., Olofson F., Tan J.G., Wastberg D., Xue L., Zhang Z., (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (Umep) - an integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*, 99: 70-89
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H., (2010). Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54: 131-139.
- McDonald R.W., (2000): Modelling the mean velocity profile in the urban canopy layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 97: 25-45
- Molenaar R.E., Heusinkveld B.G., Steeneveld G.J., (2016). Projection of rural and urban human thermal comfort in the Netherlands for 2050. *Int. J. Climatol.*, 36: 1708-1723
- Nastos, T.P. and A Matzarakis, (2012). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece, *Theor Appl Climatol* 108: 591-599.
- Oke T.R., (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108(455): 1-24.
- Oke T.R., (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108(455): 1-24.
- Pogačar T., Casanueva A., Kozjek K., (2018). The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. *Int J Biometeorol.* 62(7):1251-1264
- QGIS Development Team, (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.  
<https://qgis.org/en/site/>

- Schaap., (2018). Zomers 1901-2018, De Bilt, <https://www.mscha.org/knmi/summer.cgi?station=260&sort=year> (retrieved on 5-12-2018)
- Steenefeld G.J., Koopmans S., Heusinkveld B.G., van Hove L.W.A., Holtslag A.A.M., (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in The Netherlands. *J. Geophys. Res.*, 116, D20129, doi:10.1029/2011JD015988
- Steenefeld G.J., Koopmans S., Heusinkveld B.G., Theeuwes N.E. (2014). Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning*, 121: 92-96. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.09.001
- Steenefeld G.J., Klompaker J.O., Groen R.J., Holtslag A.A.M., (2018). An Urban Climate Assessment and Management tool for combined heat and air quality judgements at neighbourhood scales. *Resources, Conservation, and Recycling*, 132: 204-217.
- Sharafkhani, R., Narges Khanjani, Bahram Bakhtiari, Yunes Jahani, Jafar Sadegh Tabrizi, (2018). Physiological Equivalent Temperature Index and mortality in Tabriz (The northwest of Iran), *Journal of Thermal Biology*, 71:195-201.
- Theeuwes, N.E., Steenefeld G.J., Ronda R.J., Rotach, M.W., Holtslag A.A.M., (2015). Cool city mornings by urban heat. *Environ. Res. Lett.* 10, 114022. DOI 10.1088/1748-9326/10/11/114022
- Theeuwes N.E., Steenefeld G.J., Ronda R.J., Holtslag A.A.M., (2017) A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *Int. J. Climatol.*, 37: 443-454
- Unger J., Sümeghy Z., Gulyás Á., Bottyán Z., Mucsi L., (2006). Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Met. Apps*, 8: 189-194
- Wolters, D., Brandsma, T., (2012). Estimating the urban heat island in residential areas in the Netherlands using observations by weather amateurs. *J. Appl. Meteor. And Climatol.* 51: 711-722. doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0135.1>
- Worstell B.B., Poppenga S., Evans G.A., Prince S., (2014). Lidar point density analysis: implications for identifying water bodies. Technical report, US Geological Survey



## 8 Lijst met afkortingen en symbolen

*Lijst met afkortingen*

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
BGT	Basisregistratie Grootchalige Topografie
CAS	Stichting Climate Adaptation Services
Clo	Eenheid kledingisolatie
CO <sub>2</sub>	Chemische formule koolstofdioxide
CoP	Community of Practice
DpRA	Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie
G	Symbool in formule: warmte-opslagterm
H	Symbool in formule: voelbare warmtestroom of hoogte
HvA	Hogeschool van Amsterdam
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KEA	Klimaat Effect Atlas
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KNMI'14 klimaat- scenario's	De klimaatscenario's van het KNMI geven aan welke klimaatveranderingen in Nederland in de toekomst plausibel zijn. De KNMI'14-klimaatscenario's laten een beeld zien van hogere temperaturen, een sneller stijgende zeespiegel, nattere winters, heviger buien en kans op drogere zomers. Het WH-scenario kenmerkt zich door een wereldwijde grote temperatuurstijging (warm versus gematigd) en een grote verandering in luchtstromingspatroon.
LE	Symbool in formule: verdamping
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NKWK	Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat
NO <sub>x</sub>	Chemische formule voor de stoffen stikstofdioxide en stikstofdioxide gezamenlijk
PET	EN: physiological equivalent temperature ook wel gevoelstemperatuur genoemd
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RGBI	Multispectrale digitale beelden - Rood, Groen, Blauw, intensiteit
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
UHI	Urban Heat Island ofwel stedelijk warmte-eiland
UTC	Coordinated Universal Time
VNG	Vereniging van Nederlandse Gemeenten
WEnR	Wageningen Environmental Research
WMO	World Meteorological Organization
WUR	Wageningen University

*Lijst met symbolen*

<b>Symbol</b>	<b>Grootheid</b>	<b>Eenheid</b>
A	Parameter voor interpolatie wind profiel	-
AH	Warmte bronnen door menselijke activiteiten	W/m <sup>2</sup>
A <sub>d</sub>	Oppervlakte van het obstakel plus het oppervlak rondom elk obstakel	m <sup>2</sup>
A <sub>f</sub>	Frontaal oppervlak	m <sup>2</sup>
B	Parameter voor interpolatie wind profiel	-
B <sub>b</sub>	Bowen verhouding (voelbare warmtestroom/latente warmtestroom)	-
d	Nulvlakverplaatsing	m
F <sub>veg</sub>	Vegetatiefractie	-
φ	Zonshoogte	°
G	Warmte-opslagterm	W/m <sup>2</sup>
λ <sub>bomen</sub>	Frontale oppervlakedichtheid door bomen	-
λ <sub>f</sub>	Frontale oppervlakedichtheid	-
λ <sub>gebouwen</sub>	Frontale oppervlakedichtheid door gebouwen	-
h	Uurlijkse relatieve luchtvochtigheid	%
H	Gebouwhoogte	m
HFX	Voelbare warmtestroom	W/m <sup>2</sup>
I	Infraroodwaarde vegetatiekaart	-
LE	Latente warmtestroom	W/m <sup>2</sup>
PET	Physiological Equivalent Temperature	°C
Q	Uurlijkse netto straling	W/m <sup>2</sup>
Q <sub>d</sub>	Uurlijkse diffuse kortgolvlige straling	W/m <sup>2</sup>
Q <sub>gl</sub>	Uurlijkse globale straling	W/m <sup>2</sup>
R	Roodwaarde vegetatiekaart	-
σ	Stefan Boltzmann constante	W/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup>
S	Daggemiddelde globale straling KNMI	K m/s
S <sub>VF</sub>	Sky-view factor	-
τ <sub>a</sub>	transmissiviteit	-
T <sub>a</sub>	Uurlijkse luchttemperatuur	°C
T <sub>gem</sub>	Gemiddelde temperatuur	°C
T <sub>max</sub>	Maximumtemperatuur	°C
T <sub>min</sub>	Minimumtemperatuur	°C
T <sub>w</sub>	Natteboltemperatuur	°C
U	Daggemiddelde windsnelheid KNMI station	m/s
u <sub>1.2</sub>	Uurlijkse wind op 1.2 m hoogte in de stad	m/s
u <sub>10</sub>	Uurlijkse wind op 10 m hoogte op	m/s

<b>Symbool</b>	<b>Grootheid</b>	<b>Eenheid</b>
	KNMI station	
$u_{60}$	Uurlijkse wind op 60 m hoogte op KNMI station, mesowind	m/s
UHI	Stedelijk warmte-eiland	°C
$u^*$	Wrijvingsnelheid	m/s
$u_H$	Windsnelheid op dakhoogte	m/s
$z_0$	Ruwheidslengte	m
$z_w$	Hoogte ruwheidslaag	m





## Bijlage 1: Standaardisatie hittekaarten V1.0 recept

*Auteurs: Sytse Koopmans, Bert Heusinkveld, Gert-Jan Steeneveld, (WUR) met inbreng van Jeroen Kluck (HvA), Cor Jacobs (WEnR) en Reinder Ronda (KNMI).*

### **B1.1 Inleiding**

Gemeentes en andere overheden voeren momenteel klimaatstresstesten uit. Dit document voorziet in een recept voor een standaardhittekaart ten behoeve van de hittestresstest. Dit recept kan door private en publieke partijen worden gebruikt om op een uniforme manier hittekaarten te produceren en op basis daarvan de discussie met stakeholders aan te gaan.

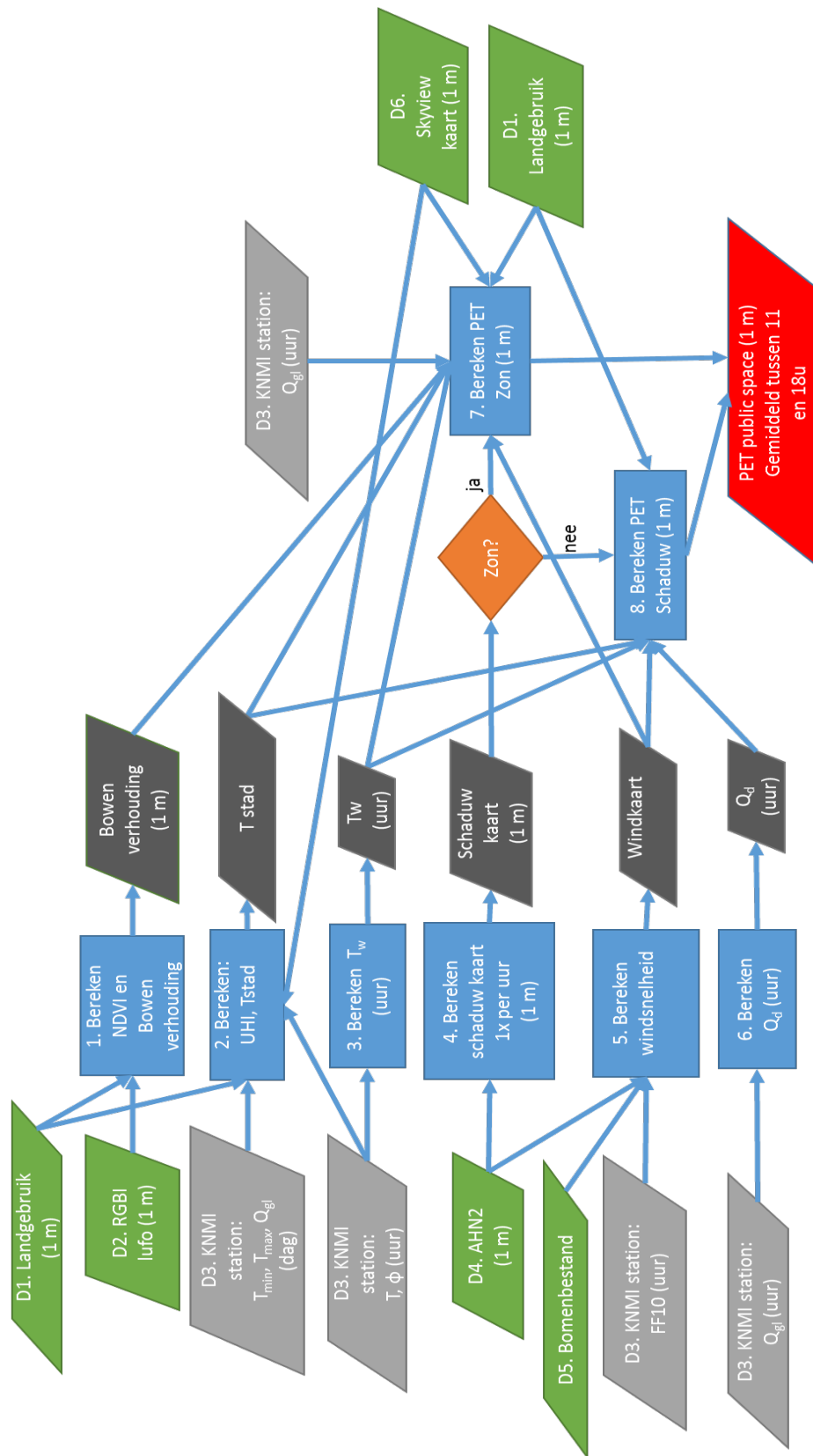
De ruimtelijke verdeling van het weer in Nederland wordt voor een deel beïnvloed door het landgebruik, wat kan leiden tot microklimaten, bijvoorbeeld het klimaat in de stad. De ruimtelijke variatie van landgebruik en stedelijke morfologie maakt de thermische blootstelling van stedelingen ook heel ruimtelijk variabel. De thermische blootstelling wordt beïnvloed door vier grootheden: temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en straling. In een bebouwd gebied vinden we grote verschillen in windsnelheid en straling op meter-schaal resolutie. De ruimtelijke variatie in temperatuur en luchtvochtigheid heeft meestal een wat grovere schaal. Om de effecten van de combinatie van de vier meteorologische blootstellingsvariabelen uit te drukken in een warmtebelasting wordt vaak gebruik gemaakt van de fysiologische equivalente temperatuur (in Engels Physiological Equivalent Temperature (PET, zie: Mayer & Höppe, 1987; Fischereit and Schlünzen, 2018). De PET is de temperatuur waarbij een gestandaardiseerd persoon die buiten blootstaat aan het complexe microklimaat dezelfde fysiologische respons (zweeten, huid temperatuur) zou hebben in een klimaatkamer waarbij de luchttemperatuur de PET waarde heeft. Voor PET zijn criteria opgesteld op basis van deze fysiologische respons. De PET is dus goed geschikt om de ruimtelijke verdeling van bijvoorbeeld stedelijke hitte in kaart te brengen.

De kaart wordt gemaakt op een ruimtelijke resolutie van 1 m. Een kaart gebaseerd op een enkel tijdstip is niet representatief voor de hittedosis omdat bijvoorbeeld voor een zonnige locatie op nabijgelegen uren weer schaduw kan optreden (Charalampopoulos et al., 2017). Daarom is het advies om een gemiddelde kaart te maken van meerdere uren op de middag tussen 10 en 16 UTC (12:00 en 18:00 lokale zomertijd). Verder kiezen we hier voor een representatieve zomerdag. In de volgende paragrafen zal het recept gepresenteerd worden, samen met een aantal voorbeeldkaarten. Een verklarende symbolenlijst is te vinden in Bijlage B1.4. Voor achtergrond van de belangrijke fysische processen van het stedelijk warmte-eiland verwijzen we naar geaffilieerd RIVM rapport/hoofdstuk 3.2 Achtergrond hitte en 3.3 Gevoelstemperatuur.

## B1.2 Recept

Deze paragraaf beschrijft de procedure van het recept voor de hittekaart en de toetsing daarvan aan waarnemingen. Gebruikers wordt aanbevolen om het recept eerst uit te voeren voor een aangeboden referentiecasi voor de stad Wageningen (zie hieronder) om zo de eigen werkwijze te kunnen controleren. De te volgen stappen zijn beschreven in de stroomdiagram in Figuur 1, en de benodigde databronnen staan samengevat in Tabel 1. De berekeningen en de resoluties van de uit te rekenen parameters worden weergegeven in Tabel 2. Het juiste referentiestation kan worden bepaald in Bijlage B1.2.8. Deze bijlage geeft voor de Nederlandse gemeente ultimo 1 januari 2019 een overzicht van de te gebruiken KNMI weerstations. Voor de testcase van Wageningen is referentiestation Herwijnen gebruikt en voor de validatie het weerstation De Veenkampen van de Wageningen Universiteit. Uit Bijlage B1.2.8 wordt Wageningen gekoppeld aan Deelen. Herwijnen is gebruikt, omdat pas in een laat stadium is besloten om alle KNMI stations te gebruiken in plaats van een kleiner aantal gebaseerd op de afstand tot de kust.

Het recept voor de berekening van de PET-Hittekaart, alsook de mindmap voor het beoordelen van de mogelijke risico's van hitte, kunnen in de nabije toekomst nog aan kleine veranderingen onderhevig kan zijn. Voor de meest actuele informatie wordt verwezen naar de website van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/> Het ministerie van IenW streeft er naar om de PET-Hittekaart zo snel mogelijk op landelijke schaal beschikbaar te stellen via de Klimaat Effect Atlas.



Figuur 1: Stroomdiagram van de databronnen (D) en bewerkingen (blauw) om ruimtelijk de gevoelstemperatuur (PET) te berekenen. Zie bijlage B1.4 voor de verklarende symbolenlijst.

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte databronnen en haar locaties in het stroomdiagram (Figuur 1). De resolutie die voor de kaart moet worden gebruikt is 1 meter. Tussen haakjes staat de resolutie van de brondata weergegeven.

Kaart	Resolutie (m of uur)	Stroomdiagram	bron	Open data ?
Landgeb ruik	1 (vectordata)	D1	Gebouwen OpenStreetMap via Geofabrik: <a href="http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip">http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip</a> (gis.osm_buildings_a_free.shp) Vegetatie PDOK (bgt): <a href="https://mijn.pdok.nl/nl/producten/pdok-downloads/download-basisregistratie-grootschalige-topografie">https://mijn.pdok.nl/nl/producten/pdok-downloads/download-basisregistratie-grootschalige-topografie</a> (bgt_begroeidterreindeel)	Ja
Luchtfoto (RGBI)	1 (0.25)	D2	PDOK: De Luchtfoto 2016 Ortho 25cm RGB en de Luchtfoto 2016 Ortho 25cm Infrarood is verkregen via de PDOK services plugin binnen QGIS	Ja
Ruraal weerstation KNMI (of WUR voor de voor verificatie kaarten)	1	D3	KNMI: <a href="https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens">https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens</a> WUR: <a href="http://www.met.wur.nl/veenkampen/data">www.met.wur.nl/veenkampen/data</a>	Ja
AHN2 object en maaiveld hoogte	1 (0.5)	D4	<a href="http://www.ahn.nl">www.ahn.nl</a> (originele bron) kaartbladen: selecteer dataset Ahn2 bladindex op <a href="https://www.pdok.nl/viewer">https://www.pdok.nl/viewer</a> objecthoogte: <a href="http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_ruw.xml">http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_ruw.xml</a> maaiveldhoogte: <a href="http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml">http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml</a>	Ja
Bomenbestand	1 (vectordata)	D5	<a href="http://www.boomregister.nl">www.boomregister.nl</a>	Nee
Skyview kaart	1	D6	KNMI: <a href="ftp://data.knmi.nl/download/sky_view_factor_netherlands/1.0/noversion/2007/01/01/">ftp://data.knmi.nl/download/sky_view_factor_netherlands/1.0/noversion/2007/01/01/</a>	Ja
Waterkaart	1 (vectordata)	D7	OpenStreetMap via Geofabrik: <a href="http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip">http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip</a> (gis.osm_water_a_free.shp)	Ja

Tabel 2: Overzicht berekeningsstappen, en haar locaties in het stroomdiagram. De luchttemperatuur en windsnelheidskaart is respectievelijk van van 35 en 25 m naar 1 m geïnterpoleerd, voordat de PET berekeningen wordt uitgevoerd (B.1.2.4).

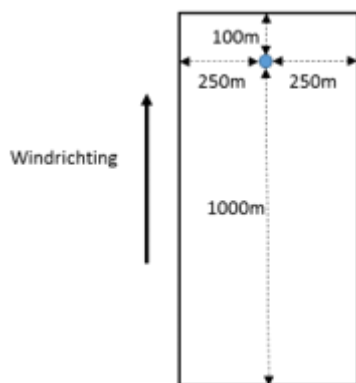
Berekening	Resolutie (m)	Stroomdiagram	Bewerking en sectie in dit recept.
Vegetatie per pixel en Bowen verhouding per pixel	1	1	Twee stappen: 1. Groen pixel als $(I-R)/(I+R) > 0.16$ 2. Bowen verhouding=3 in stad en 0.4 bij water, bos en grasland. (goed verdampend) I= infraroodwaarde R=roodwaarde
T <sub>stad</sub> , UHI, vegetatiefractie en gem. skyview	1 (25)	2	Zie B1.2.1
Natteboltemperatuur T <sub>w</sub>	-	3	Als functie van T <sub>a</sub> en Φ, zie hieronder
Schaduwkaart	1	4	Slagschaduw berekenen voor 1 uur intervallen met de AHN2 hoogtekaart (voor het hele jaar 2013 is een 2 uur interval gebruikt voor praktische redenen). Per maanddecade moet een nieuwe slagschaduw worden berekend.
Windsnelheidskaart	1 (35)	5	Translatie wind van referentiestation naar mesowind op 60 m hoogte en vervolgens via methode McDonald (2000) vertalen naar straatniveau (zie 2.3).
Diffuse straling	-	6	Zie B1.2.2
PET in de zon	1	7	Zie B1.2.4
PET in de schaduw	1	8	Zie B1.2.4

### B1.2.1 Luchttemperatuur en luchtvochtigheid

De grootte van het stedelijk warmte-eiland (hierna UHI van Urban Heat Island) hangt af van de meteorologische condities. Zo is het stedelijk warmte-eiland het sterkst als weinig ventilatie is (weinig wind) en zonnige omstandigheden. Het dagelijks maximale urban heat island (UHI) wordt bepaald door eerst het  $UHI_{max}$  uit te rekenen met een diagnostische vergelijking (Theeuwes et al., 2017):

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

Waarbij  $S_{vf}$  de gemiddelde sky-view factor is en  $F_{veg}$  de vegetatiefractie is van een brongebied van 700x700 m als er geen wind is, en 1100m\*500 m in de windrichting bij een windsnelheid van meer dan 1.5 m/s (Figuur 2). Zoals is Tabel 2 vermeld is een resolutie van 25 meter voldoende. De rechterterm van de vergelijking is de weersafhankelijke term.  $S$  staat voor de gemiddelde uurlijkse globale straling in  $Kms^{-1}$ ,  $T_{max}$  en  $T_{min}$  de maximum - en minimum temperatuur en  $U$  voor de dagelijkse gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte gebaseerd op uurlijkse gemiddelden. Deze weerparameters worden gemeten op het referentie weerstation op het platteland (uurlijkse intervallen) in de periode tussen 8 UTC huidige dag – 7 UTC volgende dag. Deze methode is eerder toegepast om nachtelijke minimumtemperaturen uit te rekenen voor de stad Den Haag (Koopmans et al., 2018).



Figuur 2: Brongebied waaruit de gemiddelde sky-view factor en vegetatiefractie berekend wordt.

In deze exercitie gaan we een stap verder door op elk uur een UHI uit te rekenen, door de  $UHI_{max}$  te vermenigvuldigen met de dagelijkse gang van UHI (*dagelijkse\_gang[h]*). De factoren voor de dagelijkse gang liggen van net iets onder 0 tot een maximale waarde van 1 en kunnen worden geraadpleegd in de look-up tabellen achterin dit recept (Tabel 4 en 5). Deze dagelijkse gang in UHI is initieel gebaseerd op de karakteristieke curve van Oke (1982). Deze curve is gemaakt voor 1 daglengte. Wij hebben deze curve aangepast voor verschillende daglengten rekening houdend met het inzicht dat het maximale UHI wordt waargenomen rond de 4 uur na zonsondergang (Landsberg, 1981; Unger et al., 2001) en de minimale UHI 4 uur na zonsopgang (Theeuwes et al., 2015). De uurlijkse luchttemperatuur op elk veld ( $T_a[h]$ ) wordt als volgt uitgerekend, waarbij  $h$  het uur in UTC is en  $T_{station}$  de temperatuur op het referentie weerstation is:

$$T_a[h] = T_{station} + UHI_{max} * dagelijkse\_gang[h] \quad (2)$$

Voor de vegetatiefractie creëert men twee kaarten, één voor de dag en één voor de nacht.

Met name grote wateroppervlakken kunnen overdag verkoelend zijn, doordat ze verdampen en door de bufferende werking van water. In de nacht blijven wateroppervlakken door hun bufferende werking relatief warm (Steenefeld et al., 2014). Daarom is besloten dat overdag water wordt gezien als groen en wordt toegevoegd aan de vegetatiefractie en in de nacht wordt water toegevoegd aan de bebouwde fractie.

Daarnaast worden akkers die een lagere ndvi hebben van 0.16 of lager wel als groen gezien voor de vegetatiefractiekaart. Dit kan worden vastgesteld met de bgt\_begroeidterrein deel (Tabel 1 D1).

Achterliggende gedachte is dat in vergelijking 1 alles wat geen vegetatie is verondersteld wordt als verhard oppervlak (gebouwen, straten).

Verhard oppervlak heeft een hogere warmte-opslagterm en leidt daardoor tot een hogere maximum UHI.

Om een representatieve sky-view factor te krijgen op straatniveau zullen de gebouwen moeten worden uitgefilterd. Wateroppervlakken hebben geen sky-view factor in de dataset en water wordt dus ook niet meegenomen in de sky-view factor. Locaties onder bomen en groen moeten ook worden uitgefilterd. Indien de resterende oppervlakte voor een locatie 10% of minder is, dan wordt een sky-view factor van 1 toegekend, omdat dit kleine deel niet als representatief gezien kan worden. Als de oppervlakte tussen de 10 en 20 % van het brongebied bedraagt, dan wordt de sky-view factor gelineariseerd tussen SVF=1 en de gemiddelde sky-view factor voor alle niet-uitgefilterde punten.

In dit recept wordt de absolute luchtvochtigheid in de stad gelijk verondersteld met de achtergrond waarde. De natteboltemperatuur ( $T_w$ ) wordt berekend volgens (Stull, 1988):

$$T_w = T_a \operatorname{atan}(0.151977(\phi + 8.313659)^{0.5}) + \operatorname{atan}(T_a + \phi) - \operatorname{atan}(\phi - 1.676331) + 0.00391838\phi^{\left(\frac{3}{2}\right)} \operatorname{atan}(0.023101\phi) - 4.686035 \quad (3)$$

Waarin  $T_a$  de luchttemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) is en  $\phi$  de relatieve vochtigheid (%).

De Bowen verhouding ( $B_b$ ) is een maat voor verdamping van een oppervlak. Planten die goed verdampen blijven koeler dan een droog wegdek en zal minder thermisch stralen. De Bowen verhouding wordt berekend uit de landgebruikskaart: 3 voor een stad (verhard oppervlak) en een lage Bowen verhouding van 0.4 voor open water en goed verdampende vegetatie.

### B1.2.2 Zon/schaduw

Uit de AHN wordt een schaduwkaart gemaakt. Hiervoor is de gis-tool UMEP gebruikt (Lindberg et al, 2018) in QGIS (QGIS,2018). Deze tool kan op elk uur overdag een schaduwkaart uitrekenen. Meer precies is dit een slagschaduwkaart. Bomen die worden beschenen door de zon geven dus geen schaduw onder de boom. Daarom hebben wij onder de bomen de kaart altijd op schaduw gezet. Dit is alleen gedaan voor punten die volgens de AHN een hogere objecthoogte hebben dan 2 meter. Punten die lager zijn komen overeen met de rand van de boom en de zon kan gemakkelijk onder een hoek de persoon bereiken bij afwezigheid van andere objecten. In werkelijkheid is de PET-waarde onder de bomen iets hoger dan door ons berekend. De zon kan bij lage zonnestand onder het bladerdek doorschijnen en het bladerdek zelf kan voor een gedeelte transparant zijn voor de zon. De warme interessante plekken op de hittekaart worden echter niet gevonden onder bomen en daarom is een verbetering geen prioriteit.

In de statistische PET-vergelijking in B1.2.4 wordt de globale straling ( $Q_{gl}$ ) en de diffuse straling ( $Q_d$ ) gebruikt. De diffuse straling ( $Q_d$ ) wordt

berekend uit de globale straling ( $Q_{gl}$ ) als gemeten op het KNMI weerstation, en de zonshoogte, waarbij de zonshoogte ( $\varphi$ ) afhangt van het tijdstip van de dag en de datum.

$$\frac{Q_d}{Q_{gl}} = \begin{cases} 1, & \tau_a < 0.3, \\ 1.6 - 2\tau_a, & 0.3 < \tau_a < 0.7, \\ 0.2, & \tau_a > 0.7. \end{cases} \quad (4)$$

Waarbij is de atmosferische transmissiviteit ( $\tau_a$ ) benaderd via:

$$\tau_a = \frac{Q_{gl}}{1367 \sin(\varphi)} \quad (5)$$

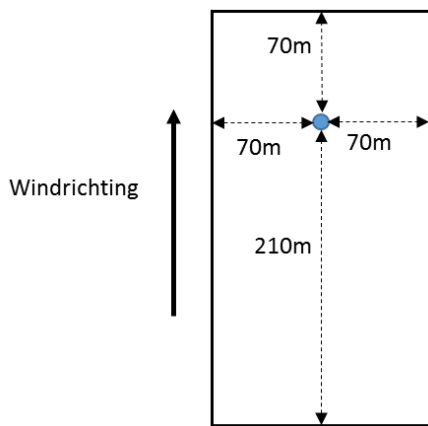
De globale straling van het KNMI station is een som van het afgelopen uur. Om de hoeveelheid straling op het hele uur te schatten wordt de straling van het komende uur en afgelopen uur gemiddeld.

### B1.2.3 Windsnelheid

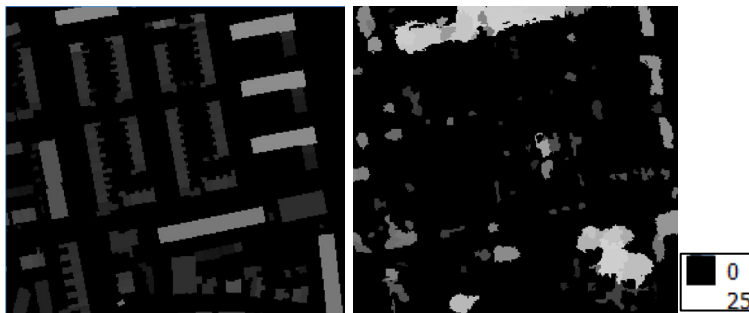
De windsnelheid op straatniveau (1.2 m) wordt berekend via een translatie van de 10 m windsnelheid gemeten op een ruraal KNMI station. Deze translatie is lineair met de windsnelheid. Daarom kan er één windreductieveld per windrichting (noord, oost, zuid, west) worden uitgerekend waarmee de wind op het referentiestation kan worden vermenigvuldigd. De wind in de stad wordt in de basis uitgerekend met de McDonald (2000) methode. Het dwarsoppervlak per oppervlakte van gebouwen bepaald in hoeverre de wind wordt afgeremd. Deze methode is uitgebreid met het meenemen van dwarsoppervlakken van bomen.

1. Neem als startpunt een 1 m/s referentiewind op 10 meter hoogte ( $u_{10}$ ). Alle berekende windsnelheden in het windreductieveld kunnen dan als vermenigvuldigingsfactor gebruikt worden voor de echte wind op 10 m.
2. Windsnelheid vertalen naar 60 m hoogte:
 
$$u_{60} = 1.3084 u_{10} \quad (6)$$
3. Uit AHN2 per rechthoek (280x140m) (zie Figuur 3): Bepaal de gemiddelde obstakelhoogte voor bomen en gebouwen en projecteer dit apart op een 1 meter raster zoals hieronder in Figuur 4 is weergegeven. Gebouwen met een gemiddelde hoogte onder de 2 meter worden niet meegenomen. (voor Wageningen komt dit nauwelijks voor). De hoogte van de bomen kan worden gehaald uit het bomenbestand en de hoogte van de gebouwen uit de AHN (objecthoogte – maaiveldhoogte) en het gebouwenbestand. (de ruwe AHN data moet worden opgevuld, omdat er voor water geen hoogtes bekend zijn, een zoekafstand van 100 m voor Wageningen is voldoende) Voor 10 m windsnelheden op het referentiestation van onder de 1.5 m/s wordt een vierkant rondom het punt (175mx175m) gebruikt.





*Figuur 3: Brongebied waaruit de gemiddelde wind berekend wordt. In de tests wordt dit brongebied 35 meter verschoven in zowel de noord-zuid als oost west richting. Met kubieke interpolatie wordt hier uiteindelijk een windveld gerealiseerd op 1 meter resolutie.*



*Figuur 4: Hoogteraster van gebouwen (links) en bomen (rechts) voor een wijk in Wageningen.*

4. Bepaal gemiddelde obstakelhoogte  $H$  (gewogen naar oppervlak).
5. Uit AHN2 per rechthoek: Bepaal frontale oppervlaktedichtheid  $\lambda$  (-) in windrichting (totaal dwarsoppervlak/oppervlak rechthoek) voor bomen en gebouwen. De hoogte van de bomen zijn bepaald uit het bomenbestand. Bomen hebben hierbij een kleinere frontale oppervlaktedichtheid, doordat het bladerdak gedeeltelijk de wind door laat. Daarnaast heeft een boom door de vorm een kleiner dwarsoppervlak dan op basis van een rechthoek verwacht mag worden. Ook voor gebouwen is een factor kleiner dan 1 gebruikt, omdat windsnelheden anders teveel worden gereduceerd. Een belangrijk argument is dat ook dwarsoppervlakken van woonblokken die dicht op elkaar staan worden meegeteld. In de experimentele opstelling van McDonald (2000) komt dit niet voor. In Wageningen wordt de wind maximaal 80 % gereduceerd ten opzichte van het referentiestation. De gecorrigeerde  $\lambda$  wordt als volgt uitgerekend:

$$\lambda_{\text{cor}} = 0.6\lambda_{\text{gebouwen}} + 0.3\lambda_{\text{bomen}} + 0.015$$

(7)

De gecorrigeerde  $\lambda$  die bij deze maximale windreductie hoort is 0.24 (bij zuidenwind).

6. Bereken de gewogen gemiddelde hoogte van bomen en gebouwen, waarbij 4 meter als minimumgrens wordt aangehouden.
7. Bepaal uit tabel (McDonald, 2000):  $d$ ,  $z_w$ ,  $z_0$ ,  $A$  en  $B$ .

Tabel 3: McDonald, (2000).  $d$  is de nulvlakverplaatsing,  $z_w$  de top van de ruwheidslaag,  $z_0$  de ruwheidslengte en  $A$  en  $B$  de parameters zijn voor interpolatie van het windprofiel.

Patroon	$\lambda_{cor}$	$d/H$	$z_w/H$	$z_0/H$	$A/H$	$B$
Regelmatig	0.05 ( $<0.08$ )	0.066	2	0.048	-0.35	0.56
"	0.11 ( $<0.135$ )	0.26	2.5	0.071	-0.35	0.50
"	0.16 ( $<0.18$ )	0.32	2.7	0.084	-0.34	0.48
"	0.20 ( $<0.265$ )	0.47	1.5	0.08	-0.56	0.66
"	0.33 ( $=>0.265$ )	0.57	1.2	0.077	-0.85	0.92

Bij voldoende dwarsoppervlak, voor  $0.6\lambda_{gebouwen} + 0.3\lambda_{bomen} > \frac{25}{\text{brongebied in m}^2}$  wordt de wind in de stad als volgt uitgerekend.

$$8. \text{ Bereken } u_{zw} = u_{60} \frac{\ln\left(\frac{z_w-d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{60-d}{z_0}\right)} \quad (9)$$

$$9. \text{ Bereken } u^* = 0.4 \frac{u_{60}}{\ln\left(\frac{60-d}{z_0}\right)} \quad (10)$$

$$10. \text{ Bereken } u_H = \frac{-u^*}{B} \ln\left(\frac{A+Bz_w}{A+BH}\right) + u_{zw} \quad (11)$$

$$11. \text{ Bereken } u_{1.2} = u_H \exp\left(9.8\lambda\left(\frac{1.2}{H} - 1\right)\right) \quad (12)$$

Bij een kleiner dwarsoppervlak gaat de McDonald methode niet meer op en kan de wind direct vertaald kan worden naar 1.2 meter op basis van het logaritmisch windprofiel boven gras.

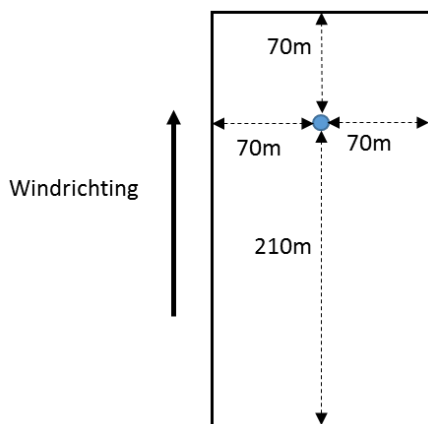
$$u_{1.2} = 0.6350 u_{10} \quad (13)$$

Merk op dat de windsnelheid op voetgangershoogte (1.2 m) voor elke vierkante meter opnieuw wordt berekend (als verschoven centrum een rechthoek zodat het grootste oppervlak in de bovenwindse richting zit, zie 5). Dit brongebied wordt in stappen van 35 meter verschoven in zowel de noord-zuid als oost west richting. Met kubieke interpolatie wordt een effen windveld gecreëerd op 1 meter resolutie. Het windreductieveld op 1.2m hoogte voor de omgeving van Wageningen bedraagt voor zuidenwind tussen de 0.0796 en 0.6350 ten opzichte van

de 10 meter wind op het referentiestation. Door middel van verificatie is een reductie met een factor van 0.0796 te sterk. Daarom wordt de echte 10m wind ( $FF_{10}$ ) van het referentiestation als volgt geschaald:

$$\text{geschaalde } u_{1.2} = FF_{10}((u_{1.2} - 0.0796)0.9175 + 0.1254) \quad (13)$$

Merk op dat wanneer er geen windreductie is door objecten, de windreductie van 10 meter naar 1.2 meter van 0.6350 gehandhaafd blijft (zie vergelijking 8). De geschaalde  $u_{1.2}$  wordt gebruikt in de PET berekening in B1.2.4.



Figuur 5: Brongebied waaruit de gemiddelde wind berekend wordt. In de tests wordt dit brongebied 35 meter verschoven in zowel de noord-zuid als oost-west richting. Met kubieke interpolatie wordt hier uiteindelijk een windveld gerealiseerd op 1 meter resolutie.

#### B1.2.4 PET berekening

Tenslotte wordt de gevoelstemperatuur PET voor twee mogelijke opties berekend met de volgende regressievergelijkingen, te weten een schaduw/nacht of zon plek. Dit wordt berekend met een uurlijkse frequentie.

$$PET_{\text{shade,night}} = -12.14 + 1.25T_a - 1.47 \ln(u) + 0.060T_w + 0.015S_{vf} Q_d + 0.0060(1 - S_{vf})\sigma(T_a + 273.15)^4 \quad (14)$$

$$PET_{\text{sun}} = -13.26 + 1.25T_a + 0.011Q_{gl} - 3.37 \ln(u) + 0.078T_w + 0.0055Q_{gl} \ln(u) + 5.56 \sin(\varphi) - 0.0103Q_{gl} \ln(u) \sin(\varphi) + 0.546B_b + 1.94S_{vf} \quad (15)$$

Waarbij  $T_a$  de 2m luchttemperatuur is ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u$  de windsnelheid op 1.2 m hoogte ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\sigma$  de Stefan Boltzmann constante,  $T_w$  de natteboltemperatuur,  $Q_{diff}$  is de diffuse straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $S_{vf}$  is de sky-view factor,  $Q_{gl}$  is de globale straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\varphi$  is de zonshoogte hoek en  $B_b$  de Bowen verhouding.

Voor de PET berekening wordt een windsnelheid van 0.5 m/s als minimum gehanteerd. Voor lagere windsnelheden is de gevoeligheid in PET te groot. Merk op dat de windsnelheid op KNMI referentiestations een resolutie hebben van 1 m/s. Deze nog steeds lage grens, betekent

dat de berekende PET-waarden representatief is voor een persoon die stilstaat. Een wandelend persoon creëert met 1.4 m/s (5 km/u) met zijn verplaatsing al meer afkoeling met de lucht dan een stilstaand persoon bij een wind van 0.5 m/s.

Met deze vergelijkingen zijn 2 typen hittekaarten te maken op 1 meter resolutie en zullen worden getoond in B1.2.6;

- PET-hittekaart representatief voor 1 uur voor, 1 July 2015 12 UTC. Dit is de zogenaamde testhittekaart voor marktpartijen om te evalueren of ze deze testhittekaart kunnen reproduceren (Figuur 9).
- PET-hittekaarten overdag voor een hete zomermiddag (10 – 16 UTC) voor huidig klimaat en toekomstig klimaat. De gemiddelde gevoelstemperatuur wordt getoond voor 1 Juli 2015.
- PET-overschrijdingskaarten overdag (aantal uren PET > 29 °C) en PET-overschrijdingskaarten 's nachts (aantal nachtelijke uren PET > 20 °C) voor een representatief zomerhalfjaar voor huidig klimaat en toekomstig klimaat.

#### B1.2.5 *Translatie naar het KNMI WH-scenario*

In het toekomstige WH-scenario wordt de uurlijkse -, etmaalgemiddelde -, minimum - en maximum temperatuur ( $T_a$ ,  $T_{gem}$ ,  $T_{min}$  en  $T_{max}$ ) getransformeerd naar het toekomstige klimaat in 2050. Deze methode is gepubliceerd in Koopmans et al (2018) en is een uitbreiding op de methodiek van Molenaar et al. (2016). Daarnaast is er ook een transformatie uitgevoerd op de inkomende zonnestraling.

Voor een transformatie is het noodzakelijk een klimaatperiode aan te nemen. Voor het voorbeeld in deze handleiding is een 15-jarige periode genomen (2004-2018) (april tot en met september) die getransformeerd wordt naar het klimaat rond 2050. De lengte van 15 jaar is een minimum. Klimaatgemiddelden worden normaliter bepaald over 30 jaar. Deze periode hebben per maand en dagelijkse percentielen (1%, 5 %, 50 %, 95 % en 99 %) een specifieke verandering in etmaalgemiddelde temperatuur (KNMI, 2015) en een specifieke verandering in straling per maand. Bij de straling wordt rekening gehouden dat de maximale maandelijkse hoeveelheid zonnestraling niet overschreden kan worden (KNMI, 2015).

Met de getransformeerde  $T_{gem}$ ,  $T_{min}$  en  $T_{max}$  kan de uurlijkse temperatuurwaarden geïnterpoleerd worden (Koopmans et al, 2018). De  $\Delta HTD(h)$  kan gezien worden als een boekhoudkundige term die er voor zorgt dat de toename in etmaalgemiddelde temperatuur op een specifieke dag identiek is als de toename in 24-uurgemiddelde temperatuur.

$$T^f(h) = T^c(h) + \Delta T(d) + \Delta HTD(h) - \overline{\Delta HTD(h)} \quad (16)$$

$$\Delta HTD(h) = \frac{(T^c(h) - T_{min}^c)}{(T_{max}^c - T_{min}^c)} * \Delta DTR \quad (17)$$

Waarbij:

$T^c(h)$  = uurlijkse temperatuur in het huidige klimaat.

- $T_{\min}^c$  = minimum dagelijkse temperatuur, 8 UTC tot 8 UTC volgende dag  
 $T_{\max}^c$  = maximum dagelijkse temperatuur, 8 UTC tot 8 UTC volgende dag  
 $T^f(h)$  = uurlijkse temperatuur toekomstige klimaat  
 $\Delta T(d)$  = daggemiddelde temperatuurtoename naar toekomstige klimaat  
 $\Delta DTR$  = verandering in gemiddelde dagelijkse temperatuur range ( $T_{\max} - T_{\min}$ )  
 $\Delta HTD(h)$  = uurlijkse temperatuur variatie  
 $\overline{\Delta HTD(h)}$  = etmaalgemiddelde bias van de uurlijkse temperatuurvariatie.

### B1.2.6 *Hittekaarten*

Als voorbeeld zijn er een aantal hittekaarten opgenomen in het recept. De eerste vijf hittekaarten zijn voor 2 augustus 2013. Deze dag is relevant doordat er bakfietsmetingen beschikbaar zijn voor de stad Wageningen. Deze warme dag heeft vergelijkbare daggemiddelde PET-waarden als die op 1 juli 2015. De eerste kaart toont de gemiddelde hittekaart van de middag periode tussen 10 en 16 UTC (12:00-18:00 lokale zomertijd), zie Figuur 6. Het weerstation De Veenkampen van Wageningen Universiteit is het dichtstbijzijnde professionele station en hier is ook de verificatie mee uitgevoerd. De tweede hittekaart beslaat dezelfde periode maar dan met het referentie station Herwijnen zie Figuur 7. Het verschil tussen het gebruik van weerstation Herwijnen en weerstation De Veenkampen blijkt niet groot te zijn. Weerstation De Veenkampen is iets warmer, wat onder andere komt door wat meer zonnestraling op dit station. In de zon is het verschil veelal niet groter dan 0.5 °C. Het WH-scenario, representatief voor het klimaat rond 2050, is in de stad ongeveer 3 °C warmer vergeleken met het huidige klimaat, zie Figuur 8. 2 °C is op conto van de opwarming en 1 °C, door een toename van straling als gevolg van minder bewolking in dit scenario. Voor de stad tonen Figuur 9 en Figuur 10 de PET-waarden op 12 UTC en 16 UTC (14:00 en 18:00 lokale tijd). De PET-waarden van 16 UTC zijn sterk gereduceerd door opkomende bewolking in Herwijnen. Daarnaast is de zonnestand substantieel lager rond dat tijdstip, zodat de hoge PET-waarden van 12 UTC ook bij zonnig weer niet gehaald kunnen worden.

De geselecteerde hittedag voor de PET-hittekaart overdag is 1 juli 2015. Dit is de 1 op 1000 hittedag voor het referentiestation Herwijnen voor de zomerperiode april tot en met september. Dit komt overeen met een kans van 1 op 5.5 jaar voor het huidige klimaat. De middag-gemiddelde hittekaarten voor 1 juli 2015 worden getoond in Figuur 11 voor het huidige klimaat en Figuur 12 in het toekomstige klimaat (WH-scenario 2050). Gemiddeld over de middag lijkt deze dag sterk op 2 augustus 2013. De toename in PET in het WH-scenario is ook vergelijkbaar (toename van 3.2 °C). Een verschil is dat de wind meer uit het oosten komt. Er is warmteadvectie aan de westzijde van Wageningen. Rond het busstation van Wageningen is het bijvoorbeeld ruim 2 graden koeler op 1 juli 2015 (huidige klimaat), zie Figuur 13, doordat er minder objecten (vooral verminderd dwarsoppervlak) zijn in oostelijke richting ten opzichte van het centrum ten zuiden van het busstation. Dit bevestigt het gebruik van een windrichtingafhankelijke analyse van de standaardisatie van de hittekaarten.

De twee opvolgende hittekaarten Figuur 14 en Figuur 15 laten de overschrijdingen zien voor het jaar 2013. Dit zijn de PET-overschrijdingskaarten overdag (PET >29 °C). 2013 is qua warmte en zonneshijn een representatieve zomer voor de 15-jarige periode 2004-2018 (Schaap, 2018) voor het hoofd KNMI-station de Bilt. Het aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 29 °C in het huidige klimaat wordt geschat op 30 in windrijke schaduwplekken buiten de stad tot ~450 op windluwe plekken in de stad. In het toekomstige klimaat in 2050 (op basis van het jaar 2013) wordt het aantal uurlijkse PET-overschrijdingen geschat op 60 uur op windrijke schaduwplekken buiten de stad tot ~550 op windluwe plekken in de stad. Ook op zonnige plekken in of net buiten de stad met meer wind met kan het aantal uur PET-overschrijdingen toenemen met 90-100 uren. Dit zijn gebieden met typische aantal overschrijdingen vanaf 220 en hoger (huidig klimaat geldig voor het jaar 2013). Alle uren zowel overdag als 's nachts in het zomerhalfjaar van 2013 zijn gebruikt voor de PET-Overschrijdingskaart. In de praktijk komt dit niet voor in de nacht (uren waarop de zon onder is) in het huidige klimaat en nauwelijks in het toekomstige klimaat. Daarom wordt om het onderscheid met de PET-Overschrijdingskaart nacht te maken, deze kaart PET-Overschrijdingskaart overdag genoemd.

De laatste twee hittekaarten Figuur 16 en Figuur 17 laten de PET-Overschrijdingskaarten 's nachts zien voor het huidige en toekomstige klimaat waarbij een fysiologisch criterium van 20 °C wordt gebruikt (PET > 20 °) De nacht is hier gedefinieerd als de periode waarop de zon onder de horizon is. Terwijl de PET overdag in de zomer vaak hoger is dan de luchttemperatuur door zonnestraling, is de PET in de nacht lager dan de luchttemperatuur door de afwezigheid van zonnestraling. De heetste plekken in de nacht zijn op windluwe plekken onder bomen in de binnenstad en centraal in Wageningen. Onder de bomen wordt uitstraling en dus afkoeling tegengegaan door de verminderde sky-view factor. Dit is berekend op maximaal 80 uur in het huidige klimaat en 140 uur in het toekomstige klimaat. Het aantal verwachte PET > 20 °C overschrijdingen lijken in de toekomst meer toe te nemen op hete locaties (Figuur 17). Dit komt, doordat deze overschrijdingen voorkomen bij lagere temperaturen op het KNMI referentiestation en deze lagere temperaturen vaker voorkomen.

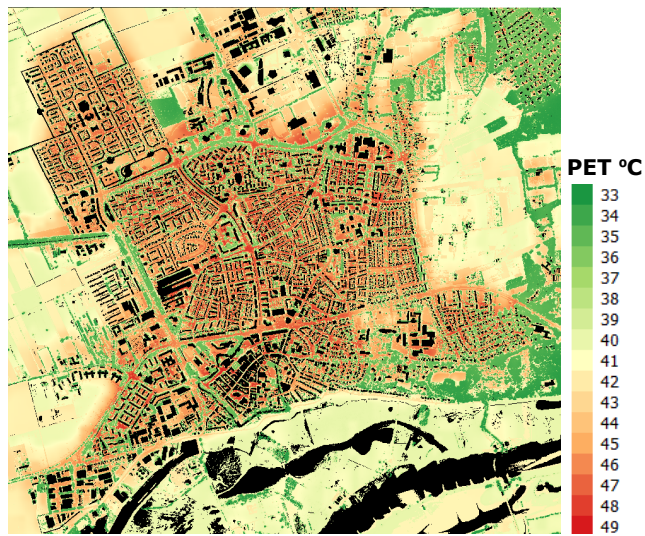
Twee kanttekeningen moeten worden gemaakt bij het interpreteren van deze kaart: Ten eerste, de nalevering van warmte van individuele muren en straten, grotendeels afhankelijk van de opgenomen hoeveelheid zonneshijn van de voorgaande dag, wordt niet expliciet meegenomen. Op buurtniveau wordt nalevering van verharde oppervlakken wel meegenomen via de methode voor de luchttemperatuur. Ten tweede blijft het onder de bomen 's nachts warmer doordat de bomen de uitgaande straling tegenhouden (lagere sky-view factor) wat leidt tot meer overschrijdingen van PET > 20 °C . Dit aantal is echter wel meer onzeker, omdat de sky-view factor onder bomen relatief lastig te bepalen is met de gebruikte lidartechnologie (databron Tabel 1 D6).



Figuur 6: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met de weergegevens van het referentiestation De Veenkampen.



Figuur 7: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.



Figuur 8: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 10-16 UTC (12:00-18:00 lokale tijd) met een translatie naar het KNMI'14 WH-scenario met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.



Figuur 9: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 12 UTC met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.

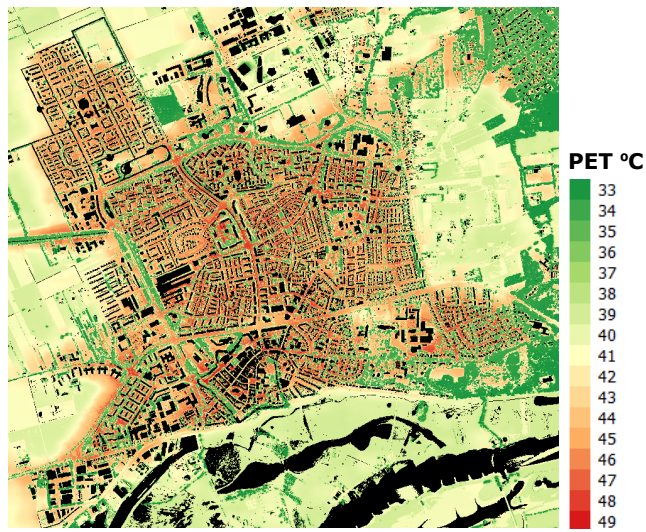




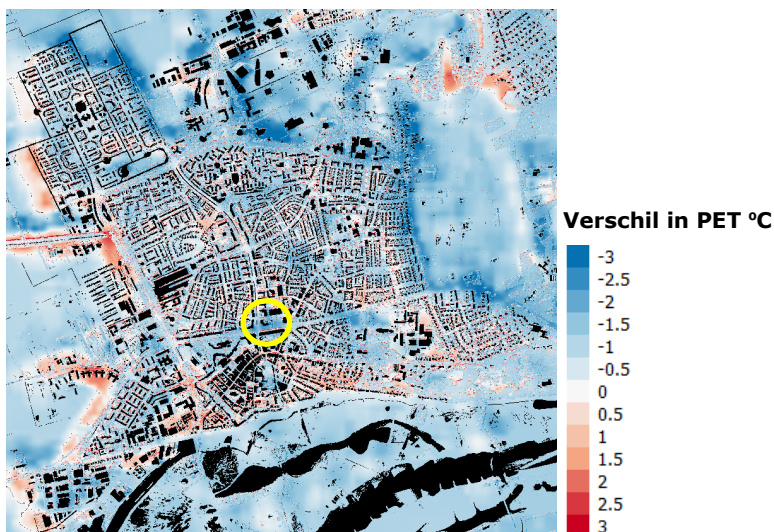
*Figuur 10: PET-Hittekaart overdag voor 2 augustus 2013 16 UTC met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*



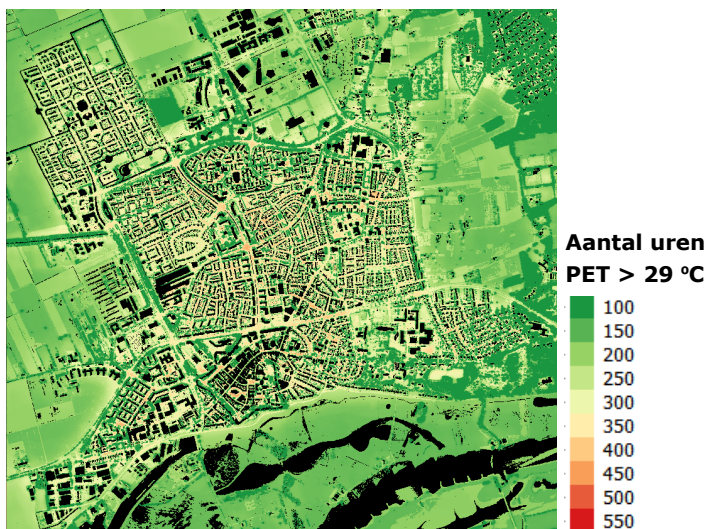
*Figuur 11: PET-Hittekaart overdag van 1 juli 2015 tussen 10-16 UTC met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*



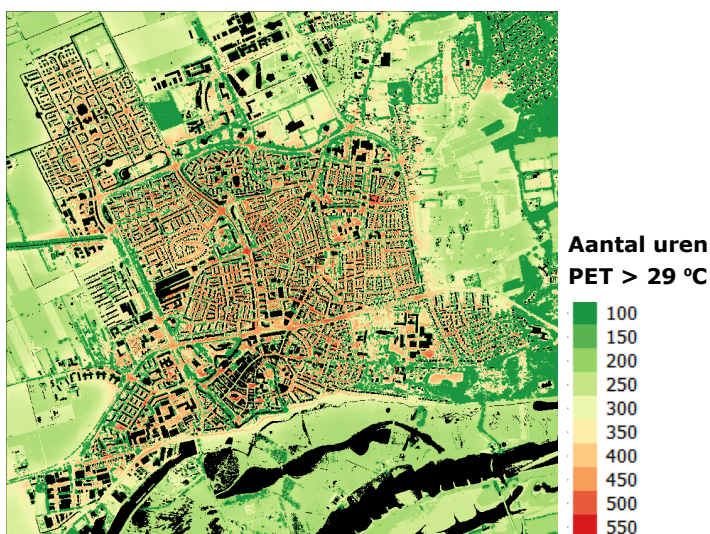
Figuur 12: PET-Hittekaart overdag voor 1 juli 2015 tussen 10-16 UTC met een translatie naar het WH-scenario met het de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.



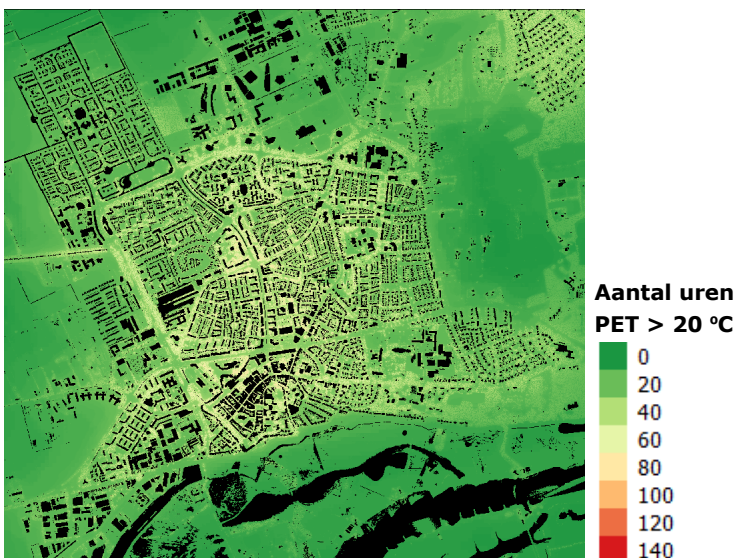
Figuur 13: Verschil in PET tussen 1 juli 2015 (10-16 UTC) (voornamelijk oostenwind) en 2 augustus 2013 (10-16 UTC) (voornamelijk zuidenwind). Het busstation is geel omcirkeld.



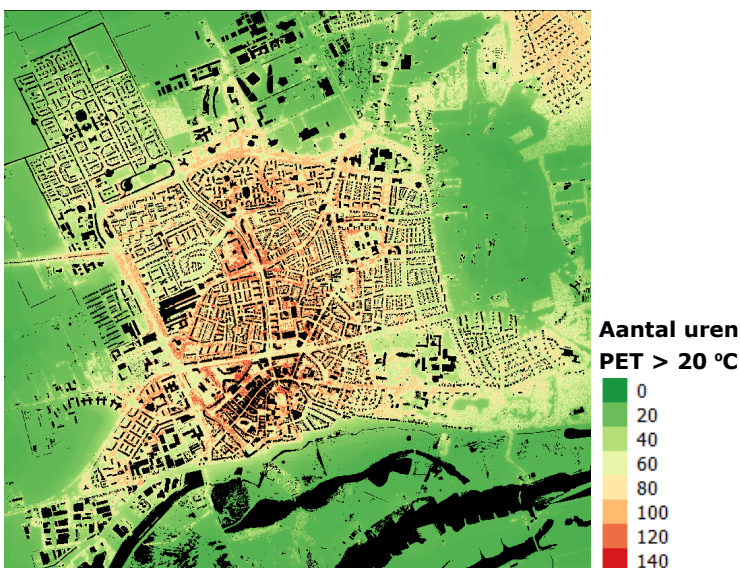
*Figuur 14: PET-Overschrijdingskaart overdag huidig klimaat. Aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 29 °C in 2013 (april tot en met september) op basis van de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*



*Figuur 15: PET-Overschrijdingskaart overdag toekomstig klimaat. Aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 29 °C in 2013 (april tot en met september) met translatie naar het WH-scenario (2050) op basis van de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*



*Figuur 16: PET-Overschrijdingskaarten 's nachts huidig klimaat. Aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 20 °C in de nacht voor 2013 (april tot en met september) met de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*



*Figuur 17: PET-Overschrijdingskaarten 's nachts toekomstig klimaat. Aantal uurlijkse PET-overschrijdingen boven de 20 °C in de nacht voor 2013 (april tot en met september) met translatie naar het WH-scenario (2050) op basis van de meteorologie van het referentiestation Herwijnen.*

### B1.2.7 Look-up tabellen

De correcties op de  $\text{UHI}_{\text{max}}$  zijn afhankelijk van het tijdstip van zonsopgang en zonsondergang.

Tabel 4: Zonsopkomst- en zonsondergangtijden

periode	Zonsopkomst / zonsondergang (in UTC)
1 april t/m 19 april	5/18
13 april t/m 20 april	5/19
20 april t/m 19 mei	4/19
20 mei t/m 25 mei	4/20
26 mei t/m 10 juli	3/20
11 juli t/m 30 juli	4/20
31 juli t/m 21 augustus	4/19
22 augustus t/m 30 augustus	5/19
31 augustus t/m 24 september	5/18
25 september t/m 27 september	5/17
28 september t/m 30 september	6/17

Tabel 5: UHI-factoren voor de tijden van zonsopkomst en zonsondergang (in UTC).

Zonsopkomst/ondergang	6/17	5/17	5/18	5/19	4/19	4/20	3/20
<b>UTC 0</b>	0.748	0.728	0.807	0.910	0.900	1.000	1.000
<b>1</b>	0.667	0.640	0.704	0.780	0.757	0.888	0.866
<b>2</b>	0.602	0.573	0.617	0.675	0.710	0.728	0.690
<b>3</b>	0.525	0.490	0.533	0.590	0.543	0.609	0.560
<b>4</b>	0.449	0.355	0.435	0.490	0.413	0.490	0.380
<b>5</b>	0.281	0.150	0.227	0.320	0.150	0.256	0.107
<b>6</b>	0.127	0.078	0.095	0.120	0.057	0.079	0.015
<b>7</b>	0.063	0.025	0.032	0.040	0.000	0.007	-0.020
<b>8</b>	0.019	-0.013	-0.009	-0.005	-0.020	-0.020	-0.007
<b>9</b>	-0.015	-0.020	-0.020	-0.020	-0.005	-0.006	0.007
<b>10</b>	-0.020	-0.001	-0.003	-0.004	0.013	0.010	0.029
<b>11</b>	0.000	0.025	0.020	0.016	0.037	0.033	0.050
<b>12</b>	0.030	0.056	0.048	0.042	0.063	0.056	0.074
<b>13</b>	0.065	0.090	0.080	0.071	0.090	0.082	0.108
<b>14</b>	0.117	0.165	0.136	0.111	0.150	0.128	0.161
<b>15</b>	0.205	0.270	0.215	0.176	0.222	0.184	0.228
<b>16</b>	0.335	0.413	0.325	0.270	0.318	0.270	0.312
<b>17</b>	0.532	0.600	0.485	0.386	0.450	0.366	0.424
<b>18</b>	0.747	0.803	0.662	0.546	0.600	0.506	0.556
<b>19</b>	0.906	0.920	0.849	0.716	0.762	0.651	0.695
<b>20</b>	0.975	0.978	0.932	0.877	0.890	0.803	0.838
<b>21</b>	1.000	1.000	0.979	0.941	0.950	0.901	0.911
<b>22</b>	0.931	0.925	1.000	0.981	0.982	0.958	0.964
<b>23</b>	0.849	0.830	0.918	1.000	1.000	0.983	0.984

### B1.2.8 Selectie KNMI weerstation

Deze bijlage geeft een:

1. Links naar de relevante meetreeksen op de website van het KNMI;
2. Tabel met de KNMI weerstations die in het recept voor de gemeenten gebruikt moeten worden en
3. Kaart met de KNMI weerstations die in het recept voor de gemeenten gebruikt moeten worden.

De geselecteerde KNMI stations worden gekenmerkt door de aanwezigheid van meetreeksen die tenminste teruggaan tot 1 januari 1981.

#### Links naar de relevante meetreeksen op de website van het KNMI.

Luchttemperatuur (T):

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>

Globale straling (Q):

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>

Relatieve vochtigheid (U):

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>

Potentiele wind (UP):

[http://projects.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele\\_wind-sigma/](http://projects.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind-sigma/)

*Tabel 6. Overzicht van de KNMI weerstations die in de berekening van de hittekaart voor de gemeenten gebruikt worden.*

De Bilt (6260)
Almere, Amersfoort, Baarn, Blaricum, Bunnik, Bunschoten, Buren, Culemborg, De Bilt, Eemnes, Gooise Meren, Hilversum, Houten, Huizen, IJsselstein, Laren, Lelystad, Leusden, Lopik, Montfoort, Nieuwegein, Nijkerk, Oudewater, Scherpenzeel, Soest, Stichtse Vecht, Tiel, Utrecht, Utrechtse Heuvelrug, Vijfheerenlanden, West-Betuwe, Wijdemeren, Wijk bij Duurstede, Woerden, Woudenberg, Zeewolde, Zeist
De Kooy, 6235
Bergen (NH.), Den Helder, Drechterland, Enkhuizen, Heerhugowaard, Hollands Kroon, Hoorn, Koggenland, Langedijk, Medemblik, Opmeer, Schagen, Stede Broec, Texel, Vlieland
Deelen 6275
Apeldoorn, Arnhem, Barneveld, Beuningen, Bronckhorst, Brummen, Deventer, Doesburg, Doetinchem, Dronten, Duiven, Ede, Elburg, Epe, Ermelo, Harderwijk, Hattem, Heerde, Kampen, Lingewaard, Lochem, Montferland, Neder-Betuwe, Nunspeet, Oldebroek, Olst-Wijhe, Oude IJsselstreek, Overbetuwe, Putten, Renkum, Renswoude, Rheden, Rhenen, Rozendaal, Veenendaal, Voorst, Wageningen, Westervoort, Zevenaar, Zutphen, Zwartewaterland, Zwolle
Eelde 6280
Aa en Hunze, Appingedam, Assen, Borger-Odoorn, Coevorden, De Wolden, Delfzijl, Emmen, Groningen, Haren, Het Hogeland, Hogeveen, Loppersum, Meppel, Midden-Drenthe, Midden-Groningen, Noordenveld, Oldambt, Ooststellingwerf, Pekela, Stadskanaal, Staphorst, Steenwijkerland, Tynaarlo, Veendam, Westerkwartier, Westerveld, Westerwolde

Eindhoven 6370
Asten, Bergeijk, Best, Bladel, Boxtel, Cranendonck, Eersel, Eindhoven, Geldrop-Mierlo, Heeze-Leende, Helmond, Hilvarenbeek, Nederweert, Nuenen, Gerwen en Nederwetten, Oirschot, Oisterwijk, Reusel-De Mierden, Someren, Son en Breugel, Valkenswaard, Veldhoven, Vught, Waalre, Weert
Gilze Rijen 6350
Alphen-Chaam, Altena, Baarle-Nassau, Bergen op Zoom, Breda, Dongen, Drimmelen, Etten-Leur, Geertruidenberg, Gilze en Rijen, Goirle, Gorinchem, Haaren, Halderberge, Hardinxveld-Giessendam, Heusden, Loon op Zand, Moerdijk, Oosterhout, Roosendaal, Rucphen, Steenbergen, Tilburg, Waalwijk, Woensdrecht, Zaltbommel, Zundert
Leeuwarden 6270
Achtkarspelen, Ameland, Dantumadiel, De Fryske Marren, Harlingen, Heerenveen, Leeuwarden, Noardeast-Fryslân, Noordoostpolder, Opsterland, Schiermonnikoog, Smallingerland, Súdwest-Fryslân, Terschelling, Tytsjerksteradiel, Urk, Waadhoeke, Weststellingwerf
Maastricht 6380
Beek, Beekdaelen, Beesel, Brunssum, Echt-Susteren, Eijsden-Margraten, Gulpen-Witterm, Heerlen, Kerkrade, Landgraaf, Leudal, Maasgouw, Maastricht, Meerssen, Roerdalen, Roermond, Simpelveld, Sittard-Geleen, Stein, Vaals, Valkenburg aan de Geul, Voerendaal
Schiphol 6240
Aalsmeer, Alkmaar, Amstelveen, Amsterdam, Beemster, Beverwijk, Bloemendaal, Castricum, De Ronde Venen, Diemen, Edam-Volendam, Haarlem, Haarlemmermeer, Heemskerk, Heemstede, Heiloo, Hillegom, Landsmeer, Nieuwkoop, Oostzaan, Ouder-Amstel, Purmerend, Uitgeest, Uithoorn, Velsen, Waterland, Weesp, Wormerland, Zaanstad, Zandvoort
Twenthe 6290
Aalten, Almelo, Berkelland, Borne, Dalfsen, Dinkelland, Enschede, Haaksbergen, Hellendoorn, Hengelo, Hof van Twente, Losser, Oldenzaal, Ommen, Oost Gelre, Raalte, Rijssen-Holten, Tubbergen, Twenterand, Wierden, Winterswijk
Valkenburg 6210
Alphen aan den Rijn, Kaag en Braassem, Katwijk, Leiden, Leiderdorp, Leidschendam-Voorburg, Lisse, Noordwijk, Oegstgeest, 's-Gravenhage, Teylingen, Voorschoten, Wassenaar, Zoeterwoude
Vlissingen 6310
Borsele, Goes, Hulst, Kapelle, Middelburg, Noord-Beveland, Reimerswaal, Schouwen-Duiveland, Sluis, Terneuzen, Tholen, Veere, Vlissingen
Volkel 6375
Berg en Dal, Bergen (L.), Bernheze, Boekel, Boxmeer, Cuijk, Deurne, Druten, Gemert-Bakel, Gennep, Grave, Heumen, Horst aan de Maas, Laarbeek, Landerd, Maasdriel, Meierijstad, Mill en Sint Hubert, Mook en Middelaar, Nijmegen, Oss, Peel en Maas, 's-Hertogenbosch, Sint Anthonis, Sint-Michielsgestel, Uden, Venlo, Venray, West Maas en Waal, Wijchen
Zestienhoven 6344
Alblasserdam, Albrandswaard, Barendrecht, Bodegraven-Reeuwijk, Brielle, Capelle aan den IJssel, Delft, Dordrecht, Goeree-Overflakkee, Gouda, Hellevoetsluis, Hendrik-Ido-Ambacht, Hoeksche waard, Krimpen aan den IJssel, Krimpenerwaard, Lansingerland, Maassluis, Midden-Delfland, Molenlanden, Nissewaard, Papendrecht, Pijnacker-Nootdorp, Ridderkerk, Rijswijk, Rotterdam, Schiedam, Sliedrecht, Vlaardingen, Waddinxveen, Westland, Westvoorne, Zoetermeer, Zuidplas, Zwijndrecht



*Figuur 15. Overzicht van de KNMI weerstations die voor de verschillende gemeenten in het Standaard Recept gebruikt moeten worden.*

### B1.3 Literatuur

- Charalampopoulos I., Tsiros I., Chronopoulou-Sereli A., Matzarakis A., (2017). A methodology for the evaluation of the human-bioclimate performance of open spaces. *Theor Appl Climatol*, 128:811–820. DOI 10.1007/s00704-016-1742-9
- Fischereit J., Schlünzen K.H., (2018). Evaluation of thermal indices for their applicability in obstacle-resolving meteorology models, *International Journal of Biometeorology*, 62, 1887–1900
- Höppe P.R., (1999). The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International J. Biometeorol.* 43. 71-5. 10.1007/s004840050118
- Koopmans S., Ronda R.J., Steeneveld G.J., Holtslag A.A.M., Klein-Tank A., (2018). Quantifying the effect of different urban planning strategies on heat stress in current and future climates in the Netherlands, *Atmosphere*, 9, 353



- KNMI, (2015). Toelichting Transformatie tijdreeksen.  
[http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig\\_weer/transformatie/Toelichting\\_TP.pdf](http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig_weer/transformatie/Toelichting_TP.pdf)
- KNMI, (2018). Uurgegevens van het weer in Nederland.  
<http://projects.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/selectie.cgi>  
(retrieved on 5-12-2018)
- Landsberg H.E., (1981). The urban climate. International Geophysics Series, Vol.28, Academic Press, New York, United States of America
- Mayer, H.P., Höpfe, P., (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol*, 38: 43-49.
- McDonald R.W., (2000): Modelling the mean velocity profile in the urban canopy layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 97, 25-45
- Oke T.R., (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108(455): 1-24.
- Schaap., (2018). Zomers 1901-2018, De Bilt,  
<https://www.mscha.org/knmi/summer.cgi?station=260&sort=year>  
(retrieved on 5-12-2018)
- Stull R.B., (1988). An introduction to boundary layer meteorology, ISBN 978-94-009-3027-8.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.J., Ronda R.J., Rotach M.W., Holtslag A.A.M., (2015). Cool city mornings by urban heat, *Env. Res. Lett.*, 10, 114022.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.J., Ronda R.J., Holtslag A.A.M., (2017) A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *Int. J. Climatol.*, 37, 443-454
- Unger J., Sümegehy Z., Gulyás Á., Bottyán Z., Mucsi L., (2001). Land - use and meteorological aspects of the urban heat island. *Met. Apps*, 8: 189-194

**B1.4 Bijlage A: Overzicht symbolenlijst.**

<b>Symbool</b>	<b>Grootheid</b>	<b>Eenheid</b>
A	Parameter voor interpolatie wind profiel	-
B	Parameter voor interpolatie wind profiel	-
B <sub>b</sub>	Bowen verhouding (voelbare warmtestroom/latente warmtestroom)	-
d	Nulvlakverplaatsing	m
F <sub>veg</sub>	Vegetatiefractie	-
φ	Zonshoogte	°
λ <sub>bomen</sub>	Frontale oppervlakedichtheid door bomen	-
λ <sub>f</sub>	Frontale oppervlakedichtheid	-
λ <sub>gebouwen</sub>	Frontale oppervlakedichtheid door gebouwen	-
h	Uurlijkse relatieve luchtvochtigheid	%
H	Gebouwhoogte	m
I	Infraroodwaarde vegetatiekaart	-
PET	Physiological Equivalent Temperature	°C
φ	Relatieve vochtigheid	%
Q <sub>d</sub>	Uurlijkse diffuse kortgolvlige straling	W/m <sup>2</sup>
Q <sub>gl</sub>	Uurlijkse globale straling	W/m <sup>2</sup>
R	Roodwaarde vegetatiekaart	-
σ	Stefan Boltzmann constante	W/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup>
S	Daggemiddelde globale straling KNMI	K m/s
S <sub>VF</sub>	Sky-view factor	-
τ <sub>a</sub>	transmissiviteit	-
T <sub>a</sub>	Uurlijkse luchttemperatuur	°C
T <sub>gem</sub>	Gemiddelde temperatuur	°C
T <sub>max</sub>	Maximumtemperatuur	°C
T <sub>min</sub>	Minimumtemperatuur	°C
T <sub>w</sub>	Natteboltemperatuur	°C
U	Daggemiddelde windsnelheid KNMI station	m/s
u <sub>1.2</sub>	Uurlijkse wind op 1.2 m hoogte in de stad	m/s
u <sub>10</sub>	Uurlijkse wind op 10 m hoogte op KNMI station	m/s
u <sub>60</sub>	Uurlijkse wind op 60 m hoogte op KNMI station, mesowind	m/s
UHI	Stedelijk warmte-eiland	°C
u*	Wrijvingssnelheid	m/s
u <sub>H</sub>	Windsnelheid op dakhoogte	m/s
z <sub>0</sub>	Ruwheidslengte	m
z <sub>w</sub>	Hoogte ruwheidslaag	m

## Bijlage 2: FAQ PET-Hittekaart overdag



Hierboven ziet u de standaard PET-Hittekaart overdag zoals die is ontwikkeld voor het DPRA voor gebruik in de stresstest, geïllustreerd voor de stad Wageningen. De kaart geeft een indruk van het thermisch comfort in de stad op een 1 m<sup>2</sup> ruimtelijke resolutie. De kaart presenteert de gemiddelde gevoelstemperatuur (de zogenoemde fysiologisch equivalente temperatuur, PET (in °C)) voor het tijdvak van 12:00-18:00 lokale tijd (10-16 UTC) voor een hete zomerdag. Deze dag, 1 Juli 2015, is de 1 op 1000 hittedag voor de zomerperiode april tot en met september gebaseerd voor het tijdvak 2004-2018. In de toekomst zullen hoge gevoelstemperaturen vaker voorkomen en zal een huidige 1:1000 hittedag een 1:450 hittedag worden. Met deze kaart kunnen lokale overheden een indruk krijgen waar in de gemeente hete plekken voorkomen.

## FAQ's:

1. *Wat is de gevoelstemperatuur?*

De gevoelstemperatuur is een temperatuur die aangeeft hoe warm een persoon bepaalde weersituatie beleeft, i.e. hoe gemakkelijk een persoon warmte kan afstaan. Niet alleen temperatuur, maar ook zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepalen de gevoelstemperatuur. Bijvoorbeeld, in de zon en uit de wind is het warmer dan in de schaduw. In het eerste geval kan het voelen alsof je in een kamer met de verwarming op 30 °C zit (de PET is dan ook 30 °C) terwijl de temperatuur die je in de schaduw ervaart veel meer overeenkomt met de feitelijk gemeten temperatuur (bijvoorbeeld een PET van 25 °C).

2. *Vanaf welke waarde van de gevoelstemperatuur treden er problemen op?*

Onderstaande tabel (Santos Nouri et al., 2018) geeft voor een domain van PET waardes de mate van fysiologische stress weer. Veel mensen lijken deze 'drempelwaarden' ook in de praktijk te herkennen. Thermo fysiologische studies (Höppe., 1999) hebben laten zien dat bij een gevoelstemperatuur van 23 °C lichte hittestress optreedt. Vanaf 29 °C is er sprake van matige hittestress. Bij het voorbeeld in de kaart hierboven zien we dat bepaalde openbare plekken in de klasse "extreme heat stress" vallen.

PET	Physiological Stress Grade	
18°C	Slight Cold Stress	Existing Grades
	No Thermal Stress	
23°C	Slight Heat Stress	
29°C	Moderate Heat Stress	
35°C	Strong Heat Stress	
41°C	Extreme Heat Stress (LV1)	New Required Grades
46°C	Extreme Heat Stress (LV2)	
51°C	Extreme Heat Stress (LV3)	
>56°C	Extreme Heat Stress (LV4)	

3. *Waarom gebruikt de kaart een gemiddelde waarde over de dag?*

Een hittestkaart voor een moment op de dag kan een vertekend beeld geven omdat de zonnestand voortdurend verandert. Dat betekent dat een straat die kortdurend opwarmt wanneer de zon hoog aan de hemel staat een uur later alweer schaduw kan hebben. Locaties die over een langere tijd gedurende dag hittestress vertonen zullen in deze kaart dus hoger worden aangeslagen. Hiermee geeft de kaart dus een meer representatieve indicator voor probleemlocaties.

4. *Hoe is de kaart tot stand gekomen?*

Voor het maken van de kaart is gebruik gemaakt van verschillende bestanden met ruimtelijke factoren die van invloed zijn op de gevoelstemperatuur, zoals groen, gebouw en hoogte informatie (Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN), Object Hoogtekaart Nederland (OHN), het bomenregister, BGT, luchtfoto's).

5. *Hoe kan een gevoelstemperatuur berekend worden?*

De gevoelstemperatuur voor een bepaalde locatie kan worden berekend door voor die plek een aantal weersvariabelen (temperatuur, zonnestraling, windsnelheid, relatieve vochtigheid), en een aantal morfologische eigenschappen van de bebouwde omgeving (straatbreedte, gebouwhoogte, bomen) in een formule voor de PET te stoppen (Matzarakis et al., 2007).

6. *Is de kaart gevalideerd?*

Gevoelstemperaturen worden niet routinematig in de stad gemeten. Wageningen Universiteit heeft voor de maand augustus 2013 een rijke verzameling gevoelstemperaturen gemeten voor met een bakfiets trajecten langs gevarieerd bebouwd terrein te rijden. De kaart is tegen deze waarnemingen gevalideerd, en de gemodelleerde waarden bleken goed overeen te komen met de gemeten waarden.

7. *Waarom wordt hier ingezoomd op de dag situatie?*

Ondanks dat het stedelijk warmte-eiland het sterkst is aan het eind van de avond en het begin van de nacht is de hittedosis die mensen oplopen groter gedurende dag dan gedurende de nacht.

8. *Hoe verschilt deze kaart van andere hittekaarten?*

Deze paragraaf beschrijft kort een aantal verschillen van de standaardkaart ten opzichte van andere kaarten die op de markt beschikbaar zijn. Verschillende publieke en private partijen hebben de afgelopen jaren hittekaarten ontwikkeld. Deze verschillen in aanpak en methodiek waardoor niet altijd dezelfde conclusies kunnen worden getrokken. Elk van deze benaderingen hebben voordelen. Hieronder vindt u een overzicht van de verschillende methodes en de verschillen ten opzichte van de standaardkaart.

Tabel 1: De verschillen tussen hittekaarten.

Type kaart / Voorbeeld	Vershil ten opzichte van standaardkaart
Daggemiddelde <i>hitte-eilandkaart</i> op basis van luchttemperatuur  Atlas Natuurlijk kapitaal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op jaargemiddelden UHI, deze geven een verschilwaarde aan met de temperatuur in het buitengebied</li> <li>• Kaart is gebaseerd op luchttemperatuur en heeft geen directe link met gezondheid en is daarom moeilijker te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Kaart is niet gevalideerd tegen waarnemingen</li> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>
<i>Oppervlaktetemperatuurkaart</i>  BOOT, nationalehittestresskaart.nl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op satellietproduct van een aantal wolkenloze dagen waarin de gebiedseigenschappen zijn meegenomen</li> <li>• Oppervlaktetemperatuur van bijv daken en wegen zegt niets over gezondheidseffecten bij de mens</li> </ul>

Type kaart / Voorbeeld	Vershil ten opzichte van standaardkaart
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>
<p><i>Sociale</i> hittekaart en een <i>Fysieke</i> hittekaart</p> <p>Amsterwarm, Hotterdam, Haagse Hitte</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sociale en fysieke kenmerken van de stad zijn in kaart gebracht middels satellietbeelden, GIS en 3D-modellen</li> <li>• Verbanden tussen stedelijke warmte/oppervlakte energiebalans en de sociale/fysieke kenmerken zijn bepaald aan de hand van multivariabele regressie analyse</li> <li>• Kaart is gevalideerd tegen bovengemiddeld overlijden 75+ers tijdens hittegolf 2006.</li> <li>• Kaart geeft geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> </ul>
<p>Hittekaart gevoelstemperatuur (PET) op <i>heetst van de dag</i></p> <p>Tauw</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart presenteert kwalitatieve waarden (verschillen in gevoelstemperatuur: warmer en koeler dan buiten de stad)</li> <li>• Kaart is gebaseerd op PET en luchttemperatuur en is daarom te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Gebaseerd op heetste uur van de dag</li> <li>• Gevalideerd tegen waarnemingen in Eindhoven en Groningen</li> <li>• Situatie voor nu (2014) en 2050 (klimaatscenario +2 graden – andere)</li> <li>• Hoog ruimtelijk detail</li> </ul>
<p><i>Local climate zone</i> kaart</p> <p>UrbanClimAdApp</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is kwalitatief uitgedrukt</li> <li>• Geen relatie met blootstelling</li> <li>• Kaart heeft geen directe link met fysiologische effecten bij de mens.</li> <li>• Geen projectie voor toekomstig klimaat (KNMI'14 scenario's)</li> <li>• Kaart is niet gevalideerd tegen waarnemingen</li> </ul>
<p><i>Urban Climate Assessment and Management Tool</i> UCAM</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tool is gebaseerd op luchttemperatuur</li> <li>• Luchttemperatuur heeft geen directe link met gezondheid en is daardoor moeilijk te relateren aan fysiologische effecten bij de mens. Wel is er een link met luchtkwaliteit.</li> <li>• Stresstest op wijkniveau aan de hand van stedelijke klimaatzones.</li> <li>• Tool is alleen gevalideerd ten opzichte van een waarnemingen buiten de stad.</li> <li>• Kan meer gerichte planologische veranderingen doorrekenen, zoals albedo en thermische eigenschappen van bouwmaterialen.</li> </ul>
<p><i>Tropische nachten</i>kaart KEA (minimum lucht temp &gt; 20 °C)</p> <p>Klimaateffectatlas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaart is gebaseerd op luchttemperatuur</li> <li>• Luchttemperatuur heeft geen directe link met gezondheid en is daardoor moeilijk te relateren aan fysiologische effecten bij de mens</li> <li>• Kaart is niet uitgebreid gevalideerd tegen waarnemingen</li> <li>• Ruimtelijk detail beperkt</li> </ul>

De nieuwe standaardkaart kent een aantal verbeteringen door:

- een gevoelstemperatuur te gebruiken (fysiologische maat) die sterker gerelateerd is aan gezondheid, en waarvoor grenswaardes bestaan;

- alle ingrediënten voor gevoelstemperatuur (zonnestraling (zon/schaduw), temperatuur, wind, luchtvochtigheid) worden in acht genomen, niet alleen luchttemperatuur;
- de gevoelstemperatuur te gebruiken voor een tijdvak (12:00-18:00 lokale tijd) in plaats van 1 toevallig moment overdag. Dit is een betere maat voor de blootstelling;
- de gevoelstemperatuur te gebruiken voor leefniveau (geen dak- of straatniveau);
- een voorgeschreven representatieve dag te kiezen (met een terugkeertijd van 1:1000 zomerdagen).
- de kaart te valideren tegen waarnemingen;
- projecties aan te bieden voor een toekomstig klimaat (KNMI'14 klimaatscenario).

Toch zijn er ook aandachtspunten voor verbetering van de huidige methoden om de hittekaarten te berekenen. De huidige methode is getoetst op een beperkt aantal meetgegevens voor de stad Wageningen. Ontwikkeling, ontsluiting van betrouwbare monitoringsgegevens met betrekking tot hittestress in de stad is daarbij van primair belang om de invloed van het ruimtegebruik, inclusief de invloed van water en antropogene warmtebronnen, op de gevoelstemperatuur in de stad beter te kunnen beschrijven. Enerzijds kan een verdampend wateroppervlak verkoelend werken, anderzijds dempt water door haar thermische traagheid ook nachtelijke koeling van de stad. Daarnaast is het de vraag in welke mate antropogene warmtebronnen (airco's, verkeer, industrie) bijdragen aan de temperatuur in de stad. In de standaard kaart wordt geen rekening gehouden met verschillen in thermische eigenschappen van gebouwen door verschillen in kleur, reflectievermogen, albedo en thermische traagheid van bouwmaterialen.

#### **Referenties:**

- Höppe, P.R., 1999: The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of biometeorology*. 43. 71-5. 10.1007/s004840050118
- Matzarakis, A., F. Rutz, H. Mayer, 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model, *Int. J. Biometeorology* 51(4):323-34
- Santos Nouri, A., A. Lopes, J. Pedro Costa, A. Matzarakis, 2018: Confronting potential future augmentations of the physiologically equivalent temperature through public space design: The case of Rossio, Lisbon, *Sustainable Cities and Society* 37, 7-25

### Bijlage 3: FAQ PET-Overschrijdingskaart overdag



Hierboven ziet u de PET-Overschrijdingskaart overdag zoals die is ontwikkeld voor het DPRA voor gebruik in de stresstest, geïllustreerd voor de stad Wageningen. De kaart geeft een indruk van het thermisch comfort in de stad op een 1 m<sup>2</sup> ruimtelijke resolutie. De kaart presenteert dit in de vorm van het aantal uren dat de gevoelstemperatuur (de zogenoemde fysiologisch equivalente temperatuur, PET (in °C)) de kritische gezondheidsgrens van 29 °C overschrijdt. Deze kaart geeft dus aan hoeveel uren per jaar een bepaalde locatie een probleemlocatie is, uitgaande van die genoemde grens. Met deze kaart kunnen lokale overheden een indruk krijgen waar in de gemeente warme plekken gedurende lange tijd voorkomen. Ook is de kaart geschikt voor een risicodialoog en om effectiviteit van maatregelen in kaart te brengen door reductie van het aantal uren met problematische PET waardes.



## Bijlage 4: FAQ PET-Overschrijdingskaart 's nachts



Hierboven ziet u de PET-Overschrijdingskaart 's nachts zoals die is ontwikkeld voor het DPRA voor gebruik in de stresstest, geïllustreerd voor de stad Wageningen. De kaart geeft een indruk van het thermisch comfort in de nacht in de stad op een 1 m<sup>2</sup> ruimtelijke resolutie. De kaart presenteert dit in de vorm van het aantal uren dat de gevoelstemperatuur (de zogenoemde fysiologisch equivalente temperatuur, PET (in °C)) het criterium van 20 °C overschrijdt in de nacht. Locaties met veel overschrijdingen duiden op plekken waar het 's nachts relatief warm blijft in combinatie met weinig ventilatie. Met deze kaart kunnen lokale overheden een indruk krijgen waar in de gemeente de warmtegevoelige plekken liggen in de nacht tijdens perioden met hitte. Ook is de kaart geschikt voor een risicodialoog en om effectiviteit van maatregelen in kaart te brengen door reductie van het aantal uren met problematische PET waarden.

## FAQs:

1. *Wat is de gevoelstemperatuur?*

De gevoelstemperatuur is een temperatuur die aangeeft hoe warm een persoon bepaalde weersituatie beleeft, i.e. hoe gemakkelijk een persoon warmte kan afstaan. Niet alleen temperatuur, maar ook zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepalen de gevoelstemperatuur. Bijvoorbeeld, in de zon en uit de wind is het warmer dan in de schaduw. In het eerste geval kan het voelen alsof je in een kamer met de verwarming op 30 °C zit (de PET is dan ook 30 °C) terwijl de temperatuur die je in de schaduw ervaart.

2. *Vanaf welke waarde van de gevoelstemperatuur treden er problemen op?*

Onderstaande tabel (Santos Nouri et al., 2018) geeft voor een domain van PET waardes de mate van fysiologische stress weer. Veel mensen lijken deze 'drempelwaarden' ook in de praktijk te herkennen. Thermofysiologische studies (Höppe., 1999) hebben laten zien dat bij een gevoelstemperatuur van 23 °C lichte hittestress optreedt. Vanaf 29 °C is er sprake van matige hittestress. Bij het voorbeeld in de kaart hierboven zien we dat bepaalde openbare plekken in de klasse "extreme heat stress" vallen.

PET	Physiological Stress Grade
18°C	Slight Cold Stress
23°C	No Thermal Stress
29°C	Slight Heat Stress
35°C	Moderate Heat Stress
41°C	Strong Heat Stress
46°C	Extreme Heat Stress (LV1)
51°C	Extreme Heat Stress (LV2)
>56°C	Extreme Heat Stress (LV3)
	Extreme Heat Stress (LV4)

Existing Grades

New Required Grades

3. *Waarom is er voor 29 °C als criterium gekozen?*

Vanaf 29 °C is er sprake van matige hittestress, en biometeorologen adviseren dit criterium te gebruiken op basis van ervaring in Duitsland.

4. *Op welke manier is deze kaart te gebruiken?*

Deze kaart heeft een sterke analogie met bestaande manier van duiding van problemen met de luchtkwaliteit. Voor meerdere luchtverontreinigingen is er een criterium opgesteld op basis van de EU or WHO norm. Deze norm mag dan vaak een aantal dagen per jaar worden overschreden.

5. *Waarom gebruikt de kaart een uursom van PET-overschrijding?*

Een hittekaart voor een moment op de dag kan een vertekend beeld geven omdat de zonnestand voortdurend verandert. Dat betekent dat een straat die kortdurend opwarmt wanneer de zon hoog aan de hemel staat een uur later alweer in de schaduw kan

liggen. Locaties die over een langere tijd gedurende dag hittestress vertonen zullen in deze kaart dus hoger worden aangeslagen. Hiermee geeft de kaart dus een meer representatieve indicator voor probleemlocaties.

6. *Hoe is de kaart tot stand gekomen?*  
Voor het maken van de kaart is gebruik gemaakt van verschillende bestanden met ruimtelijke factoren die van invloed zijn op de gevoelstemperatuur, zoals groen, gebouw en hoogte informatie (Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN), het bomenregister, BGT, luchtfoto's).
7. *Is de kaart gevalideerd?*  
Gevoelstemperaturen worden niet routinematig in de stad gemeten. Wageningen Universiteit heeft voor de maand augustus 2013 een rijke verzameling gevoelstemperaturen gemeten voor met een bakfiets trajecten langs gevarieerd bebouwd terrein te rijden. De kaart is tegen deze waarnemingen gevalideerd, en de gemodelleerde waarden bleken goed overeen te komen met de gemeten waarden.
8. *Hoeveel uur aan overschrijding van de gevoelstemperatuur is nog een "veilige waarde"?*  
Boven het gekozen criterium treedt gezondheidsschade op. Een veilige waarde valt dus niet te noemen, analoog aan luchtkwaliteit waarbij gezondheidsschade optreedt voor elke concentratie, maar overschrijding van de norm tijdelijk toch is toegestaan. Ter indicatie: in het klimaat dat rond 1950 werd de gevoelstemperatuur van 29 °C ca 85 uur per jaar overschreden op het platteland in het midden van Nederland. In het toekomstig klimaat (2050) wordt ongeveer een verdubbeling van het aantal overschrijdingsuren voorzien.
9. *Wat betekent een gevoelstemperatuur van 29 °C in de praktijk?*  
In de praktijk betekent een gevoelstemperatuur van 29 °C een verhoogd risico op hitteschade bij kwetsbare groepen, en uit zich in een toename van ziekenhuisopnames. Mensen ervaren slaapproblemen, en de arbeidsproductiviteit (zowel binnen als buiten) neemt af. Daarnaast neemt de sociale overlast toe.
10. *Wat betekent een gevoelstemperatuur van 20 °C in de nacht in de praktijk?*  
In de praktijk betekent een gevoelstemperatuur van 20 °C of meer in de nacht dat het moeilijker wordt om binnenshuis te koelen. Daarmee wordt een adequaat herstel van de warmte overdag voorkomen en leidt tot een verhoogd risico op slaapgebrek en de arbeidsproductiviteit (zowel binnen als buiten) neemt af. Bij kwetsbare groepen is er een verhoogd risico op hitteschade en dit uit zich in een toename van ziekenhuisopnames.
11. *Wat kan ik wel en niet met deze kaarten?*  
Deze kaarten zijn wel geschikt om een beeld te krijgen welke locaties in uw gemeente hotspots zijn qua hitte. De kaarten zijn geschikt om een risicodialoog te voeren met stakeholders. Daarnaast biedt de kwantitatieve benadering van methodiek achter de kaart de mogelijkheid om concrete interventies te beoordelen, en met stakeholders doelen af te spreken qua hittebelasting in bepaalde specifieke locaties. De kaarten zijn niet geschikt als weersverwachting voor een individuele zomerdag.



## Erratum

### **Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte**

Bilthoven: 18 februari 2020  
Onderwerp: Erratum bij rapport 2019-0008

In het RIVM rapport 2019-0008 getiteld *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte* zijn helaas fouten opgetreden.

In de originele rapportage zijn een aantal foutieve kengetallen en onduidelijkheden aangetroffen waardoor het moeilijk is het testscenario voor de hittekaart van Wageningen te reproduceren.

Dit erratum verduidelijkt de toepassing van de methode van de standaard hitte stresstest en levert de juiste kengetallen voor de berekening van windsnelheid op 1.2 meter en correctie van  $\lambda_{cor}$ .

Alle wijzigingen ten opzichte van de originele rapportage zijn vetgedrukt weergegeven in dit erratum.

dr. Ton de Nijs  
Programmahouder Standaard Stresstest Hitte

**Blz. 28. Tabel 3.2**

De inhoud van tabel 3.2 op bladzijde 28 is gewijzigd. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven

*Tabel 3.2: Overzicht van de gebruikte databronnen en haar locaties in het stroomdiagram (Figuur 3.5). De resolutie die voor de kaart moet worden gebruikt is 1 meter. Tussen haakjes staat de resolutie van de brondata weergegeven.*

Kaart	Resolutie (m of uur)	Stroomdiagram	bron	Open data?
Landgebruik	1 (vectordata)	D1	Gebouwen <b>en Waterkaart:</b> OpenStreetMap via <a href="http://www.Geofabrik.de">www.Geofabrik.de</a> Vegetatie: <a href="http://www.pdok.nl">www.pdok.nl</a>	Ja
Luchtfoto (RGBI)	1 (0.25)	D2	<a href="http://www.pdok.nl">www.pdok.nl</a>	Ja
Ruraal weerstation KNMI of WUR	1	D3	<a href="http://www.knmi.nl">www.knmi.nl</a> <a href="http://www.met.wur.nl/veenkampen/data">www.met.wur.nl/veenkampen/data</a>	Ja
AHN2 object en maaiveld hoogte	1 (0.5)	D4	<a href="http://www.ahn.nl">www.ahn.nl</a>	Ja
Bomenbestand	1 (vectordata)	D5	<a href="http://www.boomregister.nl">www.boomregister.nl</a>	Nee
Skyviewkaart	1	D6	<a href="http://www.knmi.nl">www.knmi.nl</a>	Ja

**Blz. 33. Vergelijking 10**

Vergelijking 10 op bladzijde 33 is aangepast door 9.8 te wijzigen naar 9.6. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven

$$u_{1,2} = u_H \exp(9.6\lambda \left(\frac{1.2}{H} - 1\right)) \quad (10)$$

**Blz. 90. Tabel 1**

De inhoud van de tabel 1 op bladzijde 91 is gewijzigd. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage zijn vetgedrukt weergegeven

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte databronnen en haar locaties in het stroomdiagram (Figuur 1). De resolutie die voor de kaart moet worden gebruikt is 1 meter. Tussen haakjes staat de resolutie van de brondata weergegeven.

Kaart	Resolutie (m of uur)	Stroomdiagram	bron	Open data?
<b>Landgebruik</b>	1 (vectordata)	D1	Gebouwen OpenStreetMap via Geofabrik: <a href="http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip">http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html/netherlands-latest-free.shp.zip</a> (gis.osm_buildings_a_free.shp) Vegetatie PDOK (bgt): <a href="https://mijn.pdok.nl/nl/producten/pdok-downloads/download-basisregistratie-grootschalige-topografie">https://mijn.pdok.nl/nl/producten/pdok-downloads/download-basisregistratie-grootschalige-topografie</a> (bgt_begroeidterreindeel) <b>Water</b> <b>OpenStreetMap via Geofabrik:</b> <b><a href="http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html">http://download.geofabrik.de/europe/netherlands.html</a></b> <b>(netherlands-latest-free.shp.zip)</b> <b>(gis.osm_water_a_free.shp)</b>	Ja
Luchtfoto (RGBI)	1 (0.25)	D2	PDOK: De Luchtfoto 2016 Ortho 25cm RGB en de Luchtfoto 2016 Ortho 25cm Infrarood is verkregen via de PDOK services plugin binnen QGIS	Ja
Ruraal weerstation KNMI (of WUR voor de voor verificatie kaarten)	1	D3	KNMI: <a href="https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens">https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens</a> WUR: <a href="http://www.met.wur.nl/veenkampen/data">www.met.wur.nl/veenkampen/data</a>	Ja
AHN2 object en maaiveld hoogte	1 (0.5)	D4	<a href="http://www.ahn.nl">www.ahn.nl</a> (originele bron) kaartbladen: <a href="https://www.pdok.nl/viewerwebmap">https://www.pdok.nl/viewerwebmap</a> objecthoogte: <a href="http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_ruw.xml">http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_ruw.xml</a> maaiveldhoogte: <a href="http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml">http://geodata.nationaalgeoregister.nl/ahn2/atom/ahn2_05m_int.xml</a>	Ja
Bomenbestand	1 (vectordata)	D5	<a href="http://www.boomregister.nl">www.boomregister.nl</a>	Nee
Skyview kaart	1	D6	KNMI: <a href="ftp://data.knmi.nl/download/sky_view_fact_or_netherlands/1.0/noversion/2007/01/01/">ftp://data.knmi.nl/download/sky_view_fact_or_netherlands/1.0/noversion/2007/01/01/</a>	Ja

### **Blz 91. Tabel 2.**

Het bovenschrift van tabel 2 op bladzijde 91 bevatte een typefout. De wijziging t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven.

*Tabel 2: Overzicht berekeningsstappen, en haar locaties in het stroomdiagram. De luchttemperatuur en windsnelheidskaart is respectievelijk van **25 en 35 m** naar 1 m geïnterpoleerd, voordat de PET berekeningen worden uitgevoerd (B.1.2.4).*

### **Blz. 91. Sectie B1.2.1**

Sectie B1.2.1 op bladzijde 91 bevatte een typefout. De wijziging t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven.

*Luchttemperatuur en luchtvochtigheid*

*De grootte van het stedelijk warmte-eiland (hierna UHI van Urban Heat Island) hangt af van de meteorologische condities. Zo is het stedelijk warmte-eiland het sterkst als **er** weinig ventilatie is (weinig wind) en zonnige omstandigheden. Het dagelijks maximale urban heat island (UHI) wordt bepaald door eerst het UHI<sub>max</sub> uit te rekenen met een diagnostische vergelijking (Theeuwes et al., 2017):*

### **Blz. 93. Sectie B1.2.1**

Sectie B1.2.1 is aangevuld op bladzijde 92. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage zijn vetgedrukt weergegeven.

*Om een representatieve sky-view factor te krijgen op straatniveau zullen de gebouwen moeten worden uitgefilterd. Wateroppervlakken hebben geen sky-view factor in de dataset en water wordt dus ook niet meegenomen in de sky-view factor. **In de hittekaarten is daarom geen PET berekend voor gebouwen en wateroppervlakken. Voor de bepaling van de luchttemperatuur moet de sky-view factor ook op locaties onder bomen en groen worden uitgefilterd. Hierna kan de gemiddelde sky-viewfactor worden bepaald over het brongebied.** Indien de resterende oppervlakte voor een locatie 10% **van het brongebied** of minder is, dan wordt een sky-view factor van 1 toegekend, omdat dit kleine deel niet als representatief gezien kan worden. **Als de oppervlakte meer dan 20 % bedraagt van het brongebied dan wordt de sky-view factor eenvoudig bepaald door het gemiddelde van de niet-uitgefilterde punten.** Als de oppervlakte tussen de 10 en 20 % van het brongebied bedraagt, dan wordt de sky-view factor gelineariseerd tussen SVF=1 en de gemiddelde sky-view factor voor alle niet-uitgefilterde punten.*



**Blz. 96. Tabel 3**

De waarde voor correctie van  $\lambda_{cor}$  in tabel 3 op bladzijde 96 is gewijzigd. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage zijn vetgedrukt weergegeven.

Tabel 3: McDonald, (2000).  $d$  is de nulvlakverplaatsing,  $z_w$  de top van de ruwheidslaag,  $z_0$  de ruwheidslengte en  $A$  en  $B$  de parameters zijn voor interpolatie van het windprofiel.

Patroon	$\lambda_{cor}$	$d/H$	$z_w/H$	$z_0/H$	$A/H$	$B$
Regelmatig	<b>0.05</b> ( <b>&lt; 0.08</b> )	0.066	2	0.048	-0.35	0.56
"	<b>0.11</b> ( <b>0.08 tot 0.135</b> )	0.26	2.5	0.071	-0.35	0.50
"	<b>0.16</b> ( <b>0.135 tot 0.18</b> )	0.32	2.7	0.084	-0.34	0.48
"	<b>0.20</b> ( <b>0.18 tot 0.265</b> )	0.47	1.5	0.08	-0.56	0.66
"	<b>0.33</b> ( <b>=&gt; 0.265</b> )	0.57	1.2	0.077	-0.85	0.92

**Blz. 96. Vergelijking 12**

Vergelijking 12 op bladzijde 96 is aangepast door 9.8 te wijzigen naar 9.6. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven.

$$u_{1.2} = u_H \exp(9.6\lambda \left(\frac{1.2}{H} - 1\right)) \quad (12)$$

**Blz. 97. Sectie B1.2.4**

Sectie B1.2.4 is aangevuld op bladzijde 97. De wijzigingen t.o.v. originele rapportage is vetgedrukt weergegeven.

Waarbij  $T_a$  de 2m luchttemperatuur is ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u$  de windsnelheid op 1.2 m hoogte ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\sigma$  de Stefan Boltzmann constante,  $T_w$  de natteboltemperatuur,  $Q_{diff}$  is de diffuse straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $S_{vf}$  is de sky-view factor,  $Q_{gl}$  is de globale straling ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\varphi$  is de zonshoogte hoek en  $B_b$  de Bowen verhouding. **Met  $S_{vf}$  wordt hier de lokale sky-view factor op 1m resolutie bedoeld (van databron Tabel 1 D6) en niet het gebiedsgemiddelde sky-view factor dat nodig is voor de bepaling van de luchttemperatuur.**

**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*