

## Achtergrondinformatie “Warm weer in Nederland” behorend bij GGD richtlijn Medische Milieukunde: Hitte en Gezondheid

Dit achtergronddocument beschrijft meteorologische begrippen, het vóórkomen van warme weersomstandigheden in Nederland en scenario’s voor klimaatverandering.

### Inhoud

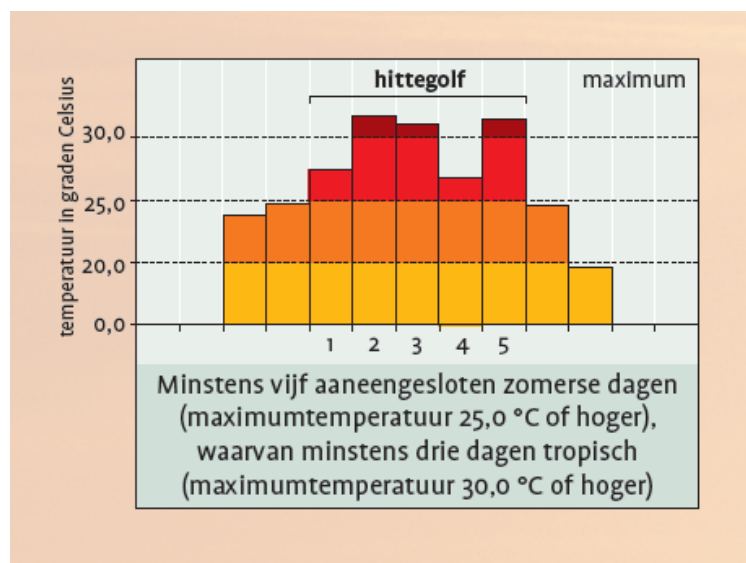
Meteorologische begrippen.....	1
Het Nederlandse klimaat .....	2
Temperatuur .....	2
Zomerse en tropische dagen in Nederland.....	4
Regionale verschillen .....	4
Klimaatverandering.....	5
Klimaatscenario’s voor Nederland .....	5
Waargenomen veranderingen .....	6
Stedelijke hitte-eilanden.....	7
Klimaat-effectatlas .....	9
Referenties.....	9

### Meteorologische begrippen

Op basis van de temperatuur wordt onderscheid gemaakt in ‘warme’, ‘zomerse’, ‘tropische’ en ‘extreem warme dagen’ (zie Tabel 1). Van een hittegolf is sprake bij minimaal vijf aaneengesloten zomerse dagen ( $\geq 25$  °C) waarvan minimaal drie tropisch ( $\geq 30$  °C) (zie Figuur 1). Een hittegolf kan pas achteraf worden vastgesteld. Er wordt bij het vaststellen van een hittegolf geen rekening gehouden met de relatieve luchtvochtigheid. Bovendien wordt in de definitie geen rekening gehouden met geografische variatie: de situatie in De Bilt wordt als representatief beschouwd voor het gehele land. Het begrip ‘hittegolf’ moet meer gezien worden als een statistische grootheid dan een maat voor hittebelasting. Hittebelasting refereert naar in hoeverre mensen belast worden door de warme weersomstandigheden (zie ook Inzicht in de hittebelasting van personen). Een actuele lijst van hittegolven sinds 1901 is te vinden op de website van het [KNMI](#). Gezien de verdeling van het aantal zomerse en tropische dagen over het land zal de hittegolfddefinitie een onderschatting geven van het aantal hittegolven voor het zuidoosten en een overschatting voor het noordwesten van het land.

Tabel 1. Definities van meteorologische begrippen

Meteorologisch begrip	Definitie
Warme dag	Maximumtemperatuur 20,0 °C of hoger
Zomerse dag	Maximumtemperatuur 25,0 °C of hoger
Tropische dag	Maximumtemperatuur 30,0 °C of hoger
Extreem warme dag	Maximumtemperatuur 35,0 °C of hoger
Hittegolf	Een periode met aanhoudende warmte wordt een landelijke hittegolf genoemd als op het KNMI-station De Bilt minimaal vijf aaneengesloten dagen zomers verlopen. Minimaal drie van de vijf dagen dienen tropisch te zijn.



Figuur 1. Definitie van een hittegolf (Siegmund et al., 2021)

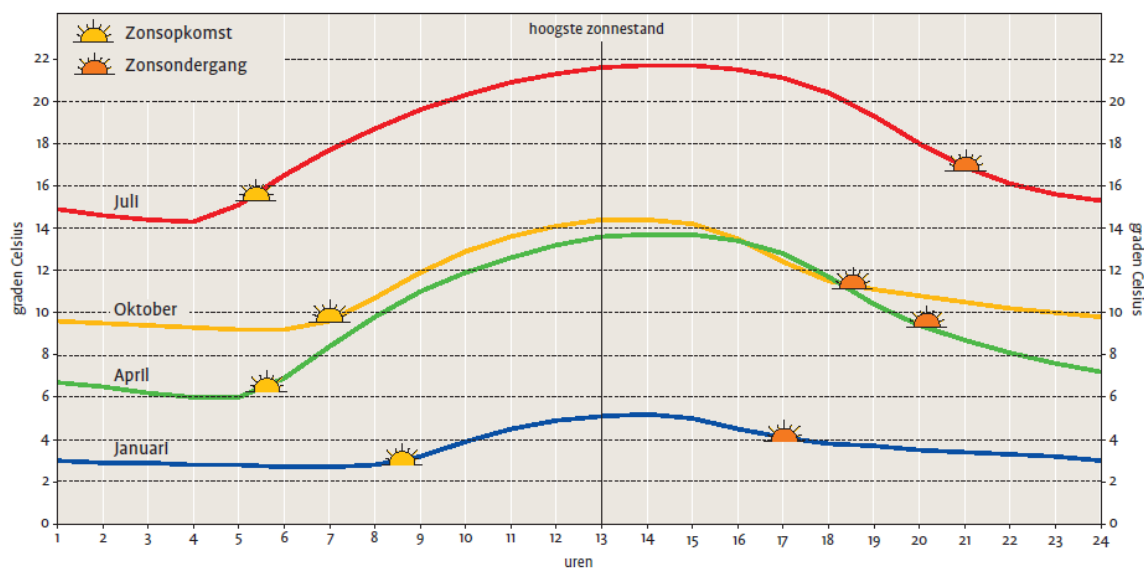
## Het Nederlandse klimaat

De beschrijving van een klimaat gaat over de kenmerken van het weer gedurende een langere periode. Het gaat niet alleen over gemiddelden, maar ook over afwijkingen van die gemiddelden en de kans dat deze afwijkingen voorkomen. Nederland heeft een gematigd zeeklimaat. De statistieken die van belang zijn voor het Nederlandse klimaat zijn beschreven in de Bosatlas van weer en klimaat (Siegmund et al., 2021) en te vinden op de website van het [KNMI](#).

## Temperatuur

De temperatuur in Nederland volgt een jaarlijkse cyclus die samenhangt met de zonnestand. Het verloop van de temperatuur gedurende de dag is afhankelijk van de zonnestraling en van de temperatuur in het gebied waar de lucht vandaan komt. De hoeveelheid straling van de zon is, bij afwezigheid van bewolking, direct gekoppeld aan de hoogte van de zon boven de horizon. De maximale instraling zal bereikt worden op het moment dat de zonshoogte maximaal is. Dat is om 12.00 uur 'ware zonnetijd', wanneer de zon precies in het zuiden staat. Rekening houdend met het draaien van de aarde en de zomertijd valt dit zonnemaximum in ons land gemiddeld rond 13.30 uur (Midden-Europese zomertijd).

Gemiddeld is de temperatuur het laagst aan het einde van de nacht, rond zonsopkomst. Na zonsopkomst stijgt de temperatuur. In de middag tussen 12.00 en 18.00 uur is de temperatuur het hoogst (zie Figuur 2). Van jaar tot jaar en van dag tot dag komen afwijkingen van het gemiddelde beeld voor die samenhangen met de natuurlijke variabiliteit van het weer.

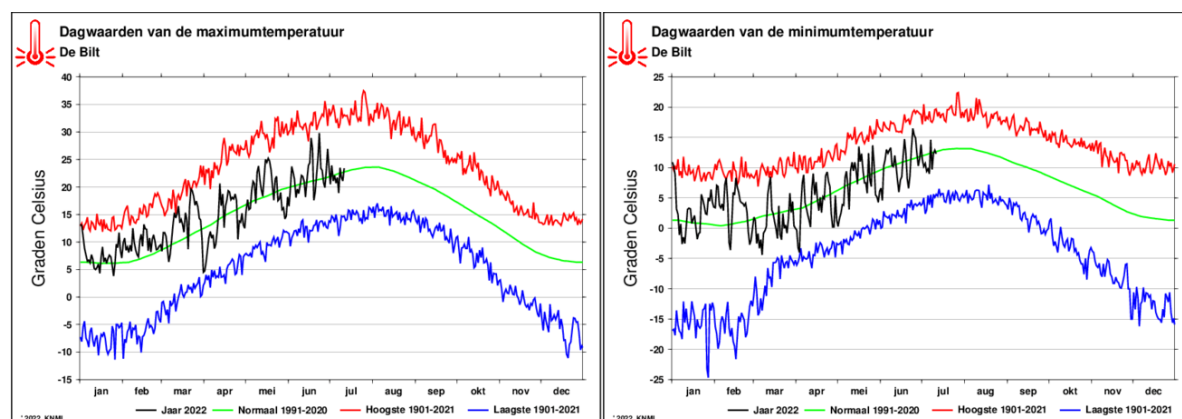


Figuur 2. Dagelijks temperatuurverloop (langjarig gemiddelde 1991-2020) in De Bilt (Siegmund et al., 2021).

Op de [website van het KNMI](#) zijn de grafieken voor minimum, maximum en gemiddelde dagtemperatuur van het lopende jaar actueel te volgen. De waarden van het lopende jaar worden hier vergeleken met de gemiddelde waarde van de meest recente dertigjarige periode (1991-2020) en met de hoogst en laagst gemeten dagwaarde ooit in de periode 1901 – 2021, zie Figuur 3 voor een voorbeeldgrafiek van de maximale dagtemperaturen.

Zomerse warmte (maximumtemperatuur  $\geq 25$  °C) kan voorkomen van eind maart tot begin oktober. Tropische dagen (maximumtemperatuur  $\geq 30$  °C) komen voor van mei tot en met september. De grafiek laat verder zien dat de dagtemperatuur elk jaar anders is en sterk kan afwijken van het gemiddelde (zie Figuur 3).

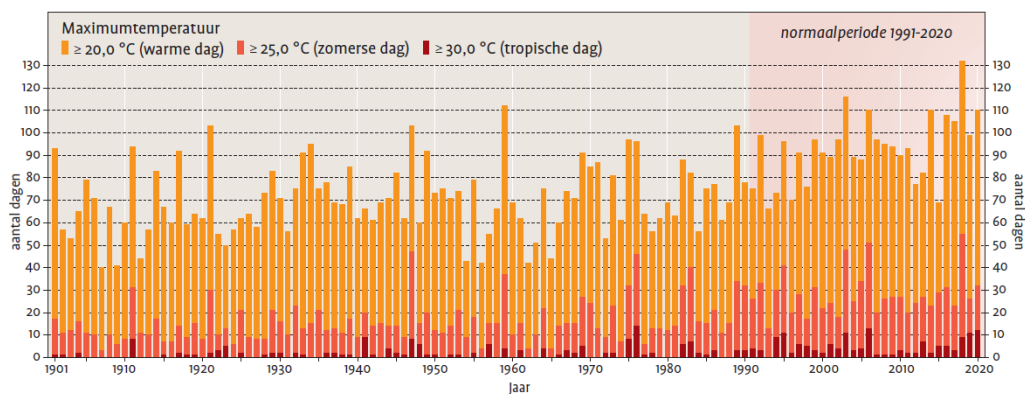
Tijdens zomerse omstandigheden is niet alleen de maximumtemperatuur van belang voor de hittebelasting van de mens, maar ook de hoogte van (nachtelijke) minimumtemperatuur (zie Figuur 3). Bij warme nachten is het niet meer mogelijk om 's nachts de woning te koelen. Het wordt dan lastiger om te herstellen van de hitte overdag.



Figuur 3. Verloop van de dagelijkse maximum (links) en minimum (rechts) temperatuur in De Bilt. De bovenste (rode) kromme verbindt de hoogst gemeten waarden per kalenderdag en de onderste (blauwe) kromme verbindt de laagst gemeten waarden. De groene kromme toont voor iedere dag van het jaar de gemiddelde maximumtemperatuur over het tijdvak 1991-2020. De zwarte kromme toont de maximumtemperatuur in 2022 tot half juli klimaatverandering. (Bron: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/grafieken/jaar>).

### Zomerse en tropische dagen in Nederland

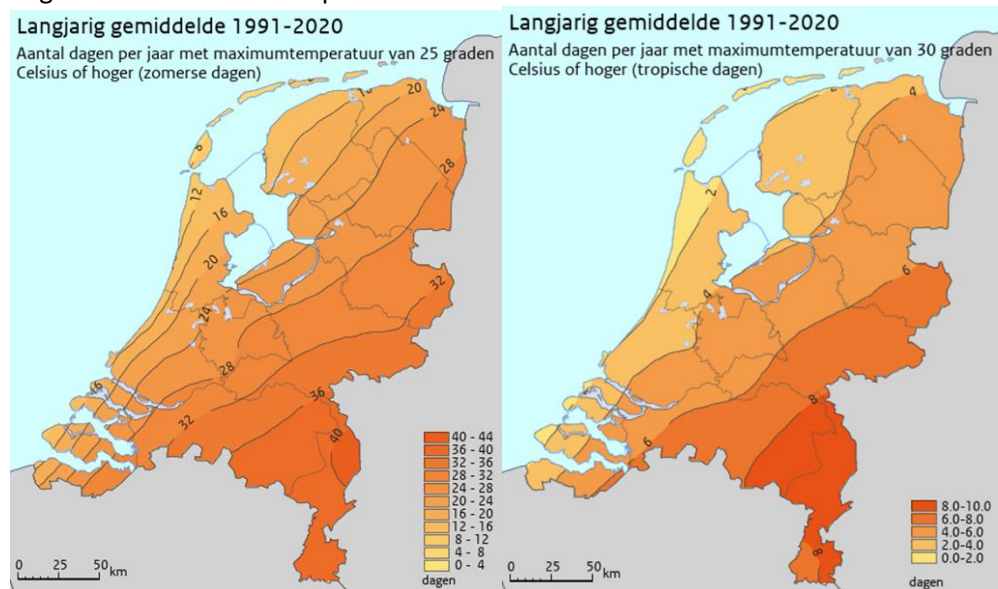
De hoogste temperaturen worden in ons land het meest gemeten bij een aflandige wind (zuid- tot oostenwind). De lucht wordt in dat geval aangevoerd over het continent dat in de zomer is opgewarmd. Van jaar tot jaar loopt het aantal zomerse en tropische dagen flink uiteen. In sommige jaren wordt er geen enkele tropische dag geregistreerd, terwijl er in andere jaren meerdere voorkomen. Zo werden in 2020 in De Bilt 32 zomerse dagen en 12 tropische dagen genoteerd.



Figuur 4. Het aantal warme, zomerse en tropische dagen in De Bilt, tijdvak 1901-2020 (Siegmond et al., 2021).

### Regionale verschillen

Binnen Nederland zijn er behoorlijke regionale verschillen in temperatuur. De hoogste temperaturen worden in ons land vrijwel altijd in het binnenland gemeten. Het relatief koele zeewater heeft een temperende invloed op de temperatuur in de kustregio's. Het langjarig gemiddeld aantal tropische dagen varieert van twee op de Wadden tot acht in het zuidoosten tussen 1991 en 2020 (Figuur 5).

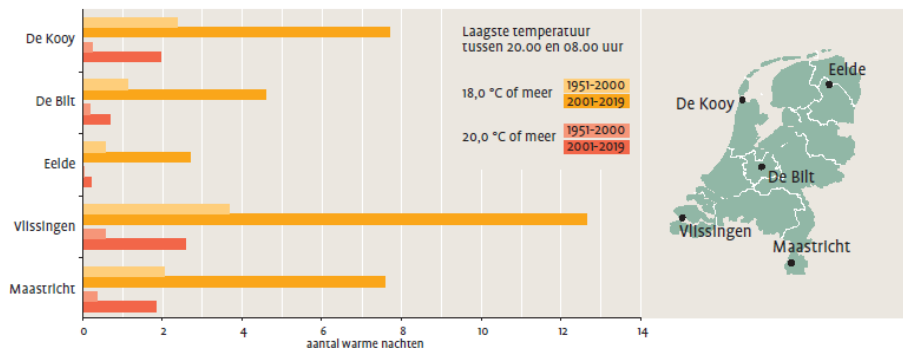


Figuur 5. Langjarig gemiddelde van het aantal zomerse (links) en tropische (rechts) dagen, tijdvak 1991-2020 (Bron: <https://www.knmi.nl/klimaat-viewer>)

De hoogste temperatuur tot nu toe gemeten in Nederland is 40,7 °C. Dat was op 25 juli 2019 in Gilze-Rijen.

Het aantal warme nachten per jaar is het grootst in het zuiden van het land en in de buurt van de zee. Langs de kust zorgt het opgewarmde water ervoor dat het 's nachts minder afkoelt vergeleken

met meer landinwaarts. Er is langs de kust minder verschil tussen de dag- en de nachttemperatuur. Het aantal warme nachten in Nederland met een temperatuur van 18,0 of 20,0 °C en hoger is in de laatste twee decennia toegenomen ten opzichte van de 50 jaar daarvoor (Figuur 6). De toename is het grootst in Zeeland.

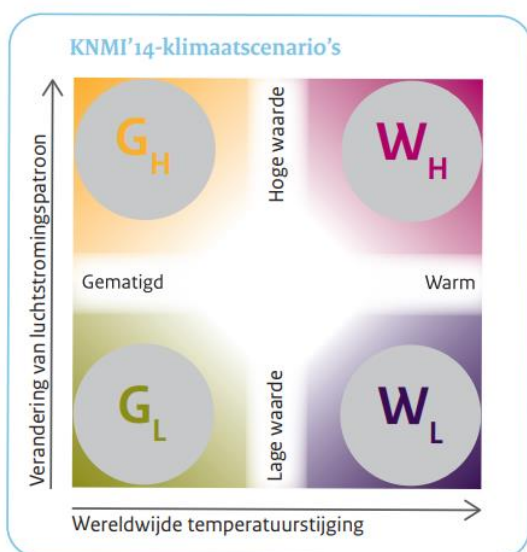


Figuur 6. Aantal nachten per jaar met een laagste temperatuur van 18 of 20°C tussen 20 uur 's avonds en 8 uur 's ochtends, in de perioden 1951-2000 en 2001-2019 (Siegmund et al., 2021).

## Klimaatverandering

### Klimaatscenario's voor Nederland

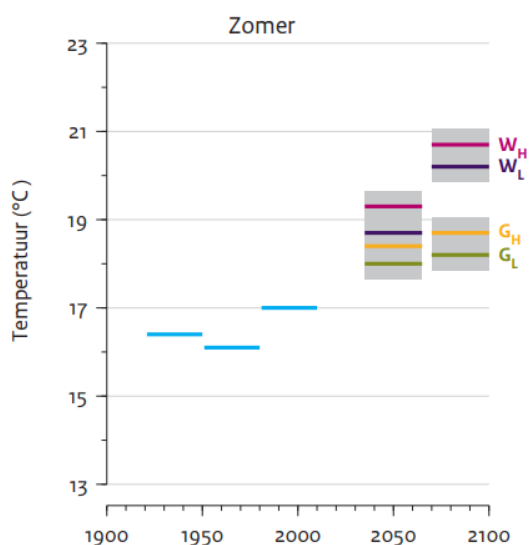
Het KNMI maakt klimaatscenario's: consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. De meest recente scenario's dateren uit 2014. Op basis van de wereldwijde temperatuurstijging en veranderingen in de luchtstromingspatronen in onze omgeving zijn vier scenario's geformuleerd (Figuur 7). De gematigde scenario's (G) gaan uit van 1 °C wereldwijde temperatuurstijging in 2050, de warme scenario's (W) gaan uit van 2 °C wereldwijde temperatuurstijging in 2050, ten opzichte van 1981-2010. De scenario's die uitgaan van een verandering in luchtstromingspatronen zijn aangegeven met een H. In 2023 brengt het KNMI nieuwe klimaatscenario's uit.



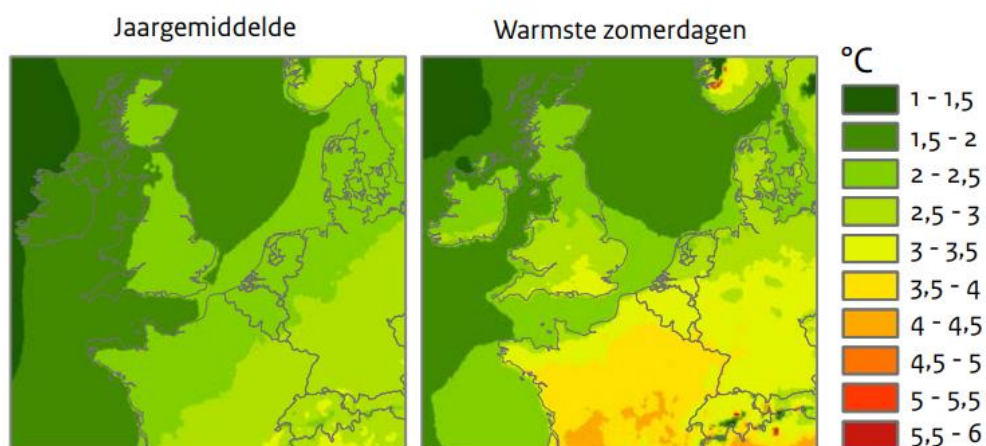
Figuur 7. Schematisch overzicht van de vier KNMI'14-klimaatscenario's. (Bron: [Brochure KNMI14\\_NL.pdf](#))

Alle vier de scenario's laten een stijging zien van de gemiddelde temperatuur in Nederland, ook in de zomer (Figuur 8). Door de opwarming wordt verwacht dat er vaker extremer weer zal zijn. Tijdens de

zomers zal dit er naar verwachting toe leiden dat er meer warme dagen en hogere temperaturen zullen voorkomen. Op de warmste zomerdagen is de opwarming groter dan de jaargemiddelde opwarming (Figuur 9).



Figuur 8. Zomertemperatuur (juni-augustus) in De Bilt. Waarnemingen (drie 30-jaar gemiddelden, in blauw), KNMI'14-scenario's (2050 en 2085, in vier kleuren) en natuurlijke variaties (in grijs). Dit zijn natuurlijke variaties van 30-jaar gemiddelden (Bron: [Brochure KNMI14\\_NL.pdf](#)).



Figuur 9. Opwarming van de warmste zomerdagen (rechts) vergeleken met de jaargemiddelde opwarming (links) bij het WH-scenario voor 2050 ten opzichte van 1981-2010 (Bron: [Brochure KNMI14\\_NL.pdf](#)).

### Waargenomen veranderingen

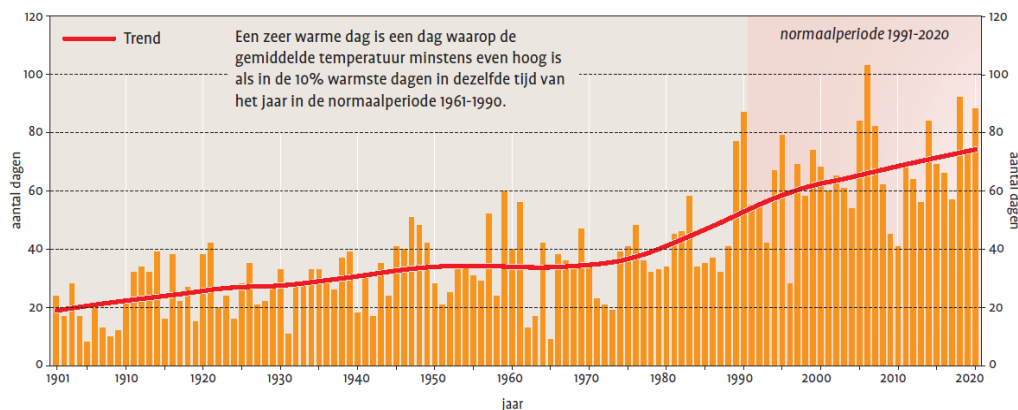
In het [Klimaat signaal 21 \(KNMI\)](#) staat dat in Nederland in de afgelopen dertig jaar de temperatuur, de zonnestraling, de neerslag, de verdamping en het neerslagtekort zijn toegenomen. De windsnelheid is afgenomen.

### Hogere temperaturen

De hogere temperaturen van de afgelopen jaren hebben geleid tot voor Nederland atypische verschijnselen zoals terrasbezoek in februari en stranddagen in april. De opwarming blijkt ook uit de toegenomen frequentie van zeer warme dagen (zie Figuur 10). Een zeer warme dag is hierbij een dag waarop de gemiddelde temperatuur minstens even hoog is als in de 10% warmste dagen in dezelfde



tijd van het jaar in de normaalperiode 1961-1990. Een zeer warme dag kan dus ook in de winter voorkomen. Vooral het jaar 2006 scoort met 103 warme dagen hoog.



Figuur 10. Aantal zeer warme dagen, 1901-2020 in De Bilt (Siegmund et al., 2021).

### Meer zonnestraling

Sinds de jaren 90 is de toegenomen zonnestraling 3% per tien jaar. Hierdoor is ook de UV-straling toegenomen. De toename is het grootst in de lente, met ruim 4% per tien jaar. De toename in zonnestraling is vooral het gevolg van een afname in bewolking (zie [Figuur 1.1c in Klimaatsignaal 21, KNMI](#)).

### Meer neerslag en meer neerslagtekort

In de periode 1906-2020 is de jaarlijkse neerslag met 21% toegenomen. Hierbij werden de natte dagen natter; het *aantal* natte dagen veranderde niet of nauwelijks. Het aantal droge dagen in de lente is sterk toegenomen. De verdamping in alle seizoenen is toegenomen, vooral in de lente. Dit heeft, samen met de afgenomen neerslag in de lente geleid tot een toename van het neerslagtekort. Sinds 2000 is de jaarlijkse neerslag nauwelijks verder toegenomen, echter de neerslag in de winter en – in mindere mate – in de zomer is sinds 2000 nog wel verder toegenomen. Door de toename van de temperatuur kan de lucht meer waterdamp bevatten en daarmee kan de neerslag toenemen.

### Klimaatattributie

Klimaatattributie is het duiden van de relatie van extreme weergebeurtenissen met klimaatverandering. Er wordt bepaald hoe zeldzaam het extreme weer is en hoe dit in de tijd is veranderd. Vervolgens wordt nagegaan welk deel van de waargenomen trend kan worden toegeschreven aan klimaatverandering. Uit een attributieonderzoek uit 2021 blijkt dat van de sterfgevallen door hitte in Nederland tussen 1991 en 2018 31% kan worden toegeschreven aan klimaatverandering. Dat komt neer op bijna 250 sterfgevallen per jaar door klimaatverandering, die voor het grootste deel door de mens veroorzaakt is (Vicedo-Cabrera et al., 2021). Nadat er extreem weer is opgetreden volgt vaak direct de vraag wat de rol van klimaatverandering was. Met [klimaatattributie](#) kan de wetenschap sinds enkele jaren deze vraag beantwoorden.

### Stedelijke hitte-eilanden

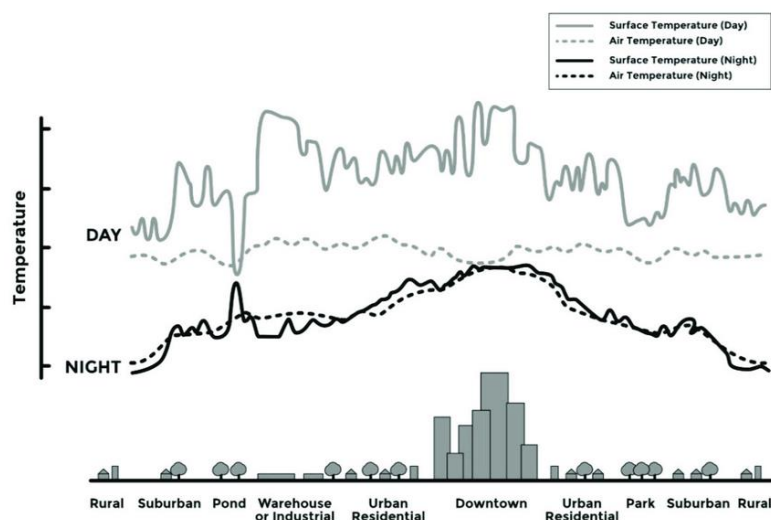
Het stedelijk hitte-eilandeffect (Urban Heat Island, ofwel UHI-effect) is het fenomeen dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied. Het verschil tussen de temperatuur in de stad en op het platteland neemt daarbij af van het centrum van de stad naar de buitenwijken en is vooral afhankelijk van de omvang en geometrie van de stad, het tijdstip van dag en de weersomstandigheden.

Hitte-eilandeffecten kunnen binnen een stad heel lokaal optreden, afhankelijk van de bebouwing, grondbedekking en aan- of afwezigheid van beplanting. Echter ook in kleinere kernen kan het hitte-

eilandeffect optreden. Tegenwoordig wordt daarom ook de term micro urban heat island (MUHI) gebruikt. Uit een onderzoek in de provincie Overijssel is gebleken dat zelfs in het landelijk gebied overdag grote temperatuurvariaties kunnen optreden afhankelijk van grondgebruik en inrichting (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2019).

Hitte-eilanden ontstaan doordat wegen en (hoge) gebouwen overdag hitte absorberen en vervolgens gedurende de nacht de warmte afgeven aan de omgeving. De wegen en meeste gebouwen zijn donker van kleur, waardoor ze veel warmte absorberen. Bouwmaterialen zoals bitumen, beton, hout, steen, asfalt en glas absorberen ongeveer 90 procent van de warmte van zonnestraling. Door het grote oppervlak van dergelijk materiaal kunnen steden tot tweemaal zo veel warmte opslaan in vergelijking met niet-stedelijke gebieden. Wanneer gebouwen dicht bij elkaar staan wordt zonlicht (via glas of ander reflecterend materiaal) weerkaatst op het gebouw ernaast, wat zorgt voor extra opwarming. Ook is het zo dat er in een stad vaak minder wind is dan in het omliggende gebied, waardoor minder warmte met de wind wordt afgevoerd. Tot slot speelt de bevolkingsdichtheid mee: in de stad rijden meer auto's en wordt meer gebruik gemaakt van airco's en andere warmteproducerende apparatuur. Dit allemaal samen zorgt ervoor dat het 's nachts in de dichter bebouwde gebieden warmer blijft. Bij opeenvolgende warme dagen leidt dit tot temperatuurverschillen tussen stad en platteland. Spreiding van hoogbouw draagt bij aan beperking van stedelijke hitte-eilanden. In de stedenbouwkundige planning kunnen het stratenplan en natuurlijke elementen bijdragen aan beperking van stedelijke hitte-eilanden. Bredere straten laten meer wind toe wat een verkoelend effect heeft en natuurlijke vegetatie draagt bij aan verkoeling. Het onderdeel [Gebouw- en gebiedsadvisering van de richtlijn](#) gaat verder in op maatregelen voor de inrichting van een hittebestendige omgeving.

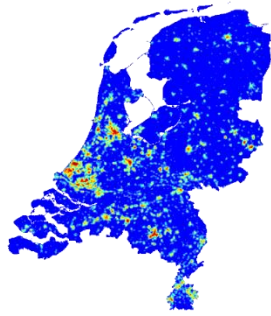
Figuur 11 laat de temperatuur zien gedurende de dag (grijs) en gedurende de nacht (zwart) in verschillende gebieden: platteland, rand van de stad, een meer, industrieterrein, stedelijk woongebied, centrum van de stad en een park. De doorgetrokken lijnen geven de temperatuur van het oppervlak aan (muren/wegen), de gestippelde lijnen geven de luchttemperatuur aan. Wat opvalt, is het grote verschil overdag tussen de oppervlaktetemperatuur en de luchttemperatuur, vooral in industriegebied, stedelijk woongebied en centrum-stedelijk gebied. Door absorptie loopt de oppervlaktetemperatuur in deze gebieden hoog op. In de nacht is het verschil tussen oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur marginaal. In centrum-stedelijk gebied is de luchttemperatuur 's nachts gelijk aan de luchttemperatuur overdag, wat betekent dat gedurende de nacht geen afkoeling plaats kan vinden.



Figuur 11. Dag- en nacht temperatuur (van lucht en oppervlakken) in verschillende gebiedstypen (Bron: [Learn About Heat Islands | US EPA](#)).



In de Atlas Leefomgeving is op de kaarten ‘[Stedelijke Hitte-eilandeffect](#)’ voor de Nederlandse situatie te zien wat het temperatuurverschil is tussen de stad en het platteland. Op de kaarten zijn jaargemiddelde waarden weergegeven. Het aangegeven temperatuurverschil tussen stad en omringend gebied blijft daardoor onder de 3 °C. In de praktijk kan in een stad van 200.000 inwoners het temperatuurverschil oplopen tot 7 °C. Dergelijke verschillen treden op tijdens heldere, windstille nachten. Uit de kaarten is op te maken dat het stedelijk hitte-eilandeffect vooral optreedt in de randstad en in grote steden in het zuiden en oosten van het land (Figuur 12 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).



Figuur 12. Stedelijk hitte-eilandeffect in Nederland (Atlas Leefomgeving, data 2017)

### Klimaateffectatlas

De [Klimaateffectatlas](#) is bedoeld voor professionals die zich direct of indirect bezighouden met klimaatadaptatie, maar ook andere geïnteresseerden kunnen de atlas gebruiken. Eén van de kaarten is de Hittekaart gevoelstemperatuur. Deze kaart laat zien waar het relatief warmer voelt en welke plekken in de stad dan het minst comfortabel zijn. Het gaat hier om de gevoelstemperatuur buiten, dus niet binnen in gebouwen. De kaart presenteert de gemiddelde gevoelstemperatuur in °C voor het tijdvak 12:00-18:00 op een hete zomerdag. Die temperatuur noemen we ook wel de fysiologisch equivalente temperatuur of Physiological Equivalent Temperature (PET). De PET is berekend voor een julidag in 2015 en 2050. Als input voor deze PET is gebruik gemaakt van meteorologische data (naast temperatuur ook o.a. windrichting en zonhoogte) en ruimtelijke data (o.a. landgebruik, de ligging van gebouwen en bomen). De kaart is gebaseerd op de door het RIVM ontwikkelde [Standaard Stresstest Hitte](#) (Nijs et al, 2019). De kaart kan gebruikt worden bij adviezen aan gemeenten over waar in een stad hete plekken zijn (zie richtlijn onderdeel [advisering lokale hitteplannen](#)).

### Referenties

- Kennisportaal Klimaatadaptatie, (2019) [Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel](#)
- KNMI, 2015: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt.
- KNMI, 2021: KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt.
- Nijs, T., Bosch, P., Brand, E., Heusinkveld, B., Van der Hoeven, F., Jacobs, C., Klok, L., Kluck, J., Koekoek, A., Koopmans, S., Van Nieuwaal, K., Ronda, R. & Steeneveld, G. (2019). [Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte](#). Bilthoven: RIVM.
- Siegmund, P. et al., (2021). *De Bosatlas van weer en klimaat*. KNMI, De Bilt.
- Vicedo-Cabrera et al., (2021). [The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change](#). *Nature climate change* 11, 492–500.