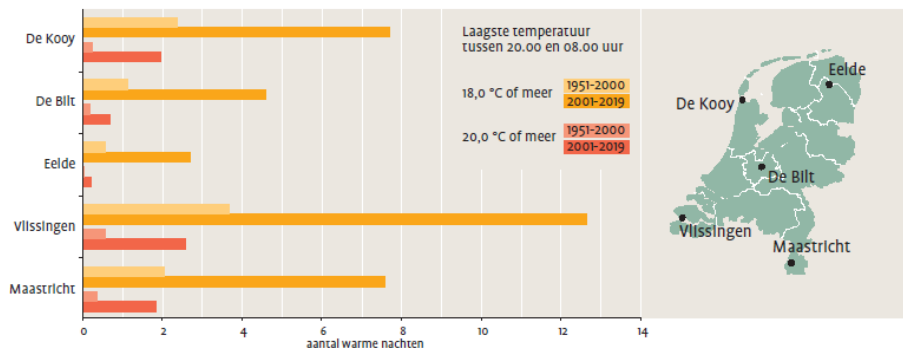


met meer landinwaarts. Er is langs de kust minder verschil tussen de dag- en de nachttemperatuur. Het aantal warme nachten in Nederland met een temperatuur van 18,0 of 20,0 °C en hoger is in de laatste twee decennia toegenomen ten opzichte van de 50 jaar daarvoor (Figuur 6). De toename is het grootst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

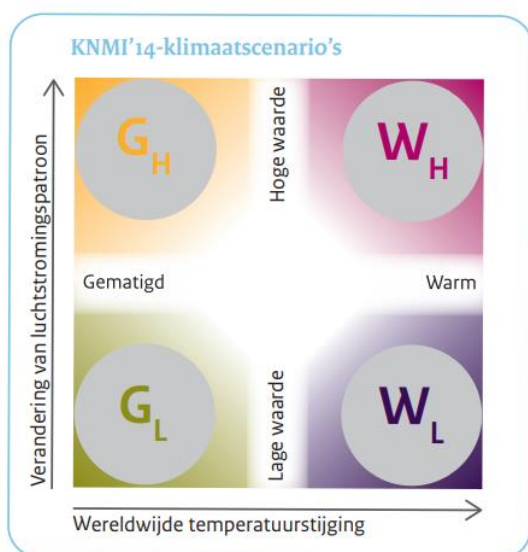


Figuur 6. Aantal nachten per jaar met een laagste temperatuur van 18 of 20°C tussen 20 uur 's avonds en 8 uur 's ochtends, in de perioden 1951-2000 en 2001-2019 (Siegmund et al., 2021).

Klimaatverandering

Klimaatscenario's voor Nederland

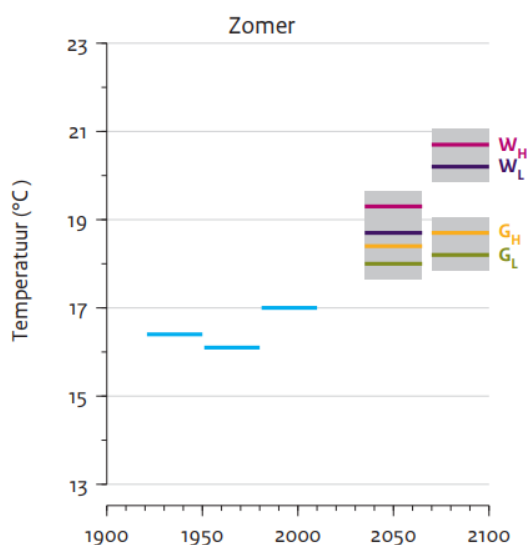
Het KNMI maakt klimaatscenario's: consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. De meest recente scenario's dateren uit 2014. Op basis van de wereldwijde temperatuurstijging en veranderingen in de luchtstromingspatronen in onze omgeving zijn vier scenario's geformuleerd (Figuur 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.



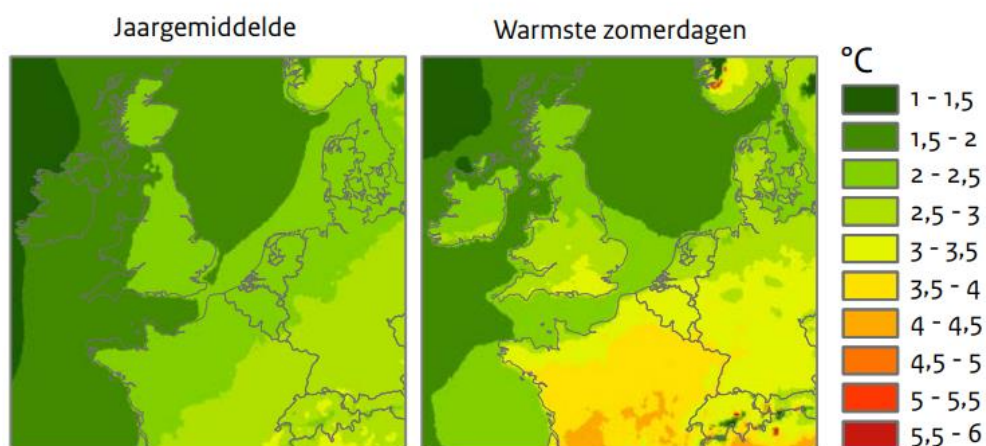
Figuur 7. Schematisch overzicht van de vier KNMI'14-klimaatscenario's. (Bron: [Brochure KNMI14_NL.pdf](#))

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](#)).

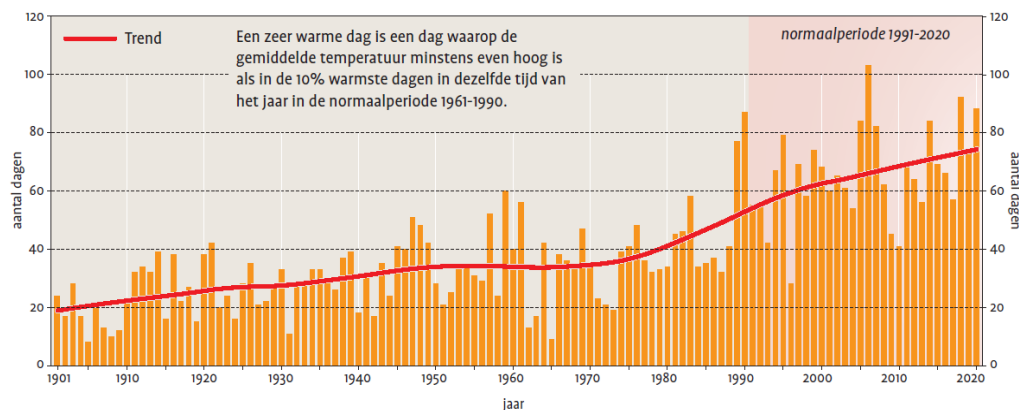
Waargenomen veranderingen

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

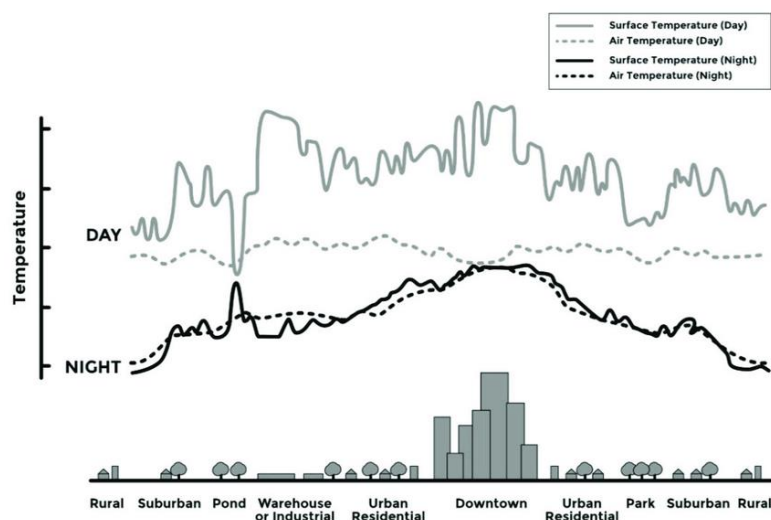
Het stedelijk hitte-eilandeffect (Urban Heat Island, ofwel UHI-effect) is het fenomeen dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied. Het verschil tussen de temperatuur in de stad en op het platteland neemt daarbij af van het centrum van de stad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