



# Vooronderzoek

Impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving

Weather Impact BV  
Stadsring 57  
3811 HN Amersfoort  
033-4753535  
weatherimpact.nl

Bron figuur: klimaateffectatlas.nl

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van RVO.nl voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy

Door: Stefan Ligtenberg  
December 2023

**Weather Impact**

# Inhoud

1	Inleiding.....	1
2	Inventarisatie .....	2
2.1	Gebouwmodellen en binnenklimaat	2
2.2	NEN5060 klimaatjaar	3
2.3	Stedelijk hitte-eiland effect (SHE)	4
2.4	Toekomstige klimaatjaren: wensen/eisen	5
2.5	KNMI'23 Klimaatscenario's	6
3	Databeschrijving toekomstige klimaatjaren .....	8
4	Samenvatting .....	12
5	Literatuurlijst .....	13
Bijlage A	Overzicht gesprekken.....	14
Bijlage B	NEN5060 klimaatgegevens.....	15

# 1 Inleiding

In dit rapport worden de bevindingen en conclusies beschreven van het vooronderzoek naar de “impact van klimaatscenario’s op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving” dat Weather Impact heeft uitgevoerd in opdracht van RVO en TKI Urban Energy. Het doel van dit vooronderzoek is om 1) het huidige gebruik van klimaatdata in de gebouwde omgeving en bouwsector te inventariseren en 2) de wensen en eisen op te halen die aan eventuele klimaatjaren voor de toekomst worden gesteld. Op basis hiervan is een databeschrijving gemaakt die als basis dient voor het ontwikkelen van deze klimaatjaren voor verschillende toekomstscenario’s.

Aanleiding voor dit onderzoek is dat er momenteel voor de bouwsector enkel historische klimaatjaren beschikbaar zijn. Hierdoor zijn alle analyses en berekeningen gebaseerd op het weer en klimaat van het verleden. In de huidige tijd waarin klimaatverandering zich duidelijk manifesteert en het ene weersextrem het andere opvolgt is dit niet voldoende. Vragen als; “Blijft het binnenshuis comfortabel/leefbaar in een toekomstige hete zomer?”, “Hoe koud zijn toekomstige winters nog en kunnen warmtepompen dat wel/niet aan?” en “Wat voor airco is er nodig in welk type huis?” zijn daarom niet goed te beantwoorden. Met het ontwikkelen van klimaatdata voor verschillende toekomstscenario’s, die speciaal zijn afgestemd op de wensen/eisen van de bouwsector, zal dit wel mogelijk zijn. Dit zal bijdragen aan bijvoorbeeld meer inzicht bij nieuwbouw en renovatie en duidelijkere randvoorwaarden voor de energietransitie.

De energietransitie is de drijvende vraag achter de reeks onderzoeken die zullen volgen op dit vooronderzoek. Voor het energiesysteem van de toekomst is het belangrijk om de balans tussen de energieproductie enerzijds en energievraag anderzijds goed in te schatten om zo de benodigde transport- en opslagcapaciteit van energie te kunnen ontwikkelen. Eén van de grote onbekenden is de toekomstige energievraag van koelsystemen in gebouwen (bijv. airco’s) in de zomer. Zomers zijn al droger en heter dan vroeger en de verwachting is dat dit in de toekomst zal toenemen. Dit zal ook duidelijk merkbaar zijn in gebouwen en waarschijnlijk leiden tot de aanschaf van meer koelsystemen. De mate van klimaatverandering, maar ook de hoeveelheid koelsystemen en het gedrag van mensen, zal deze toekomstige energievraag bepalen. Essentieel voor een realistische schatting hiervan zijn de klimaatjaren voor verschillende toekomstscenario’s waar dit vooronderzoek zich op richt.

Gedurende de zomer van 2023 heeft Weather Impact ca. 15 interviews afgenomen met verschillende experts en organisaties in de bouwsector, zoals bijvoorbeeld beleid/overheid, bouwsoftware en de wetenschap. In Bijlage A is een overzicht van de gesprekken te vinden. Aan het einde van het vooronderzoek zijn de resultaten gepresenteerd en getoetst tijdens een brede expertworkshop.

## Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de opgehaalde informatie uit de bouwsector op basis van gevoerde gesprekken. Hoofdstuk 3 bevat de databeschrijving van de klimaatjaren voor de toekomst en in Hoofdstuk 4 wordt een korte conclusie gegeven.

## 2 Inventarisatie

Om een goed beeld te krijgen van de wensen en eisen betreffende toekomstige klimaatjaren voor de gebouwde omgeving zijn er interviews gehouden met experts uit het werkveld om deze te inventariseren. Vervolgens zijn de resultaten besproken - en waar nodig aangepast - tijdens een workshop aan het einde van het onderzoek. Van juli t/m oktober 2023 zijn er ca. 15 interviews afgenomen met belanghebbenden en experts uit verschillende invalshoeken, bijv. wetenschap, beleid en gebouwsoftware. In Bijlage A is de lijst van geïnterviewden te vinden en op aanvraag zijn de gespreksverslagen beschikbaar. De bevindingen uit de interviews zijn samengevoegd tot een eerste versie van een databeschrijving, welke is gepresenteerd tijdens de expertworkshop van 27 oktober 2023. Met ca. 20 deelnemers vanuit verschillende sectoren zijn de resultaten besproken en is de databeschrijving voor de toekomstige klimaatjaren aangepast tot de uiteindelijke versie die is beschreven in Hoofdstuk 3.

Uit de inventarisatie is gebleken dat er binnen het werkveld een vrij eenduidig beeld is over het gebruik van klimaatdata binnen de bouwsector en over wensen en eisen voor eventuele toekomstige klimaatjaren. Zulke toekomstige klimaatjaren zijn ook zeer gewenst als aanvulling op het huidige beperkte aanbod van klimaatdata en -input. Hieronder staan de bevindingen beschreven van de verschillende onderwerpen die zijn besproken.

### 2.1 Gebouwmodellen en binnenklimaat

Klimaatdata in de bouwmodelsector wordt voornamelijk gebruikt om het effect van veranderingen in het buitenklimaat ("het weer") op het binnenklimaat in een gebouw te simuleren. In deze modellen worden zo nauwkeurig mogelijk alle details en karakteristieken van een gebouw weergegeven, zoals de grootte van de ramen en de isolatiewaarden van muren, maar ook de oriëntatie van het gebouw ten opzichte van de zon en eventuele overhang van een dak. Afhankelijk van het type model en het doel van de simulatie zijn deze modellen zeer gedetailleerd en zijn bijv. de afmetingen van een raam vaak tot op de millimeter nauwkeurig.

Als het weer buiten verandert dan zullen de omstandigheden in het gebouw, afhankelijk van de karakteristieken ervan, ook veranderen. Naast temperatuur zijn ook andere factoren belangrijk, zoals zonnestraling, wind, vochtigheid en luchtdruk. Zonnestraling door een raam warmt een binnenruimte zeer snel op, terwijl wind langs een gebouw juist zorgt voor een snellere temperatuurverandering (vaak afkoeling). De binnentemperatuur in een gebouw gedurende langere tijd is de balans tussen opwarming gedurende de dag, wanneer de zon schijnt en de luchttemperatuur hoog is, en nachtelijke afkoeling, wanneer het koeler is en de zon niet schijnt. Als deze balans verstoort is kan een gebouw dus langdurig opwarmen of afkoelen waardoor de binnentemperatuur met koel- of verwarmingsinstallaties moet worden aangepast. Naast binnentemperatuur simuleren gebouwmodellen onder andere ook de luchtkwaliteit (bijv. CO<sub>2</sub>) en luchtstromen in een gebouw en daarvoor is ook weerdata van buiten nodig is.



Voor een realistische simulatie van het binnenklimaat is dus een realistisch buitenklimaat nodig. Hiervoor wordt vaak een klimaatjaar of tijdserie gebruikt die bestaat uit uurlijkse waarden van de benodigde meteorologische variabelen: temperatuur, straling, wind, vochtigheid en luchtdruk. Momenteel wordt hiervoor meestal het NEN5060-klimaatjaar gebruikt dat ontwikkeld is als norm. Meer details over NEN5060 zijn hieronder beschreven.

Eén van de dingen die hierbij opvallen is dat gebouwmodellen erg gedetailleerd de gebouw-karakteristieken meenemen, maar dat de klimaatvoer daarentegen veel minder gedetailleerd is. In de praktijk wordt vaak één en hetzelfde klimaatjaar gebruikt waardoor er dus nauwelijks variatie of onzekerheid wordt meegenomen in het buitenklimaat. Ook wordt de omgeving van het gebouw vaak niet of nauwelijks meegenomen in een simulatie. Zoals één expert het treffend omschreef, het is “eigenlijk alsof het gebouw in een leeg weiland naast een weerstation staat”. Echter, er zijn omgevingsfactoren die veel invloed hebben op het buitenklimaat rondom een gebouw: de ligging van het gebouw (stadscentrum/woonwijk/buitengebied), directe groene (natuur), blauwe (water) of grijze (bebouwing) omgeving en schaduwgevende objecten zoals bomen of flatgebouwen. Deze combinatie van factoren leidt er toe dat het klimaat in binnenstedelijke verstedende gebieden meestal warmer is dan in een groen buitengebied en dit wordt ook wel het stedelijk hitte-eiland effect (SHE) genoemd. Hieronder wordt het SHE in meer detail beschreven. Het SHE is enkele tot soms vele graden groot en heeft daarmee dus direct invloed op de simulatie van het binnenklimaat, maar wordt hiervoor nauwelijks meegenomen in deze simulaties.

Ook opvallend is dat het niet bekend is welke weersituaties leiden tot de hoogste binnentemperaturen. Het is niet gebruikelijk om gevoeligheidsanalyses uit te voeren met verschillende buitencondities om te onderzoeken welke resulteren in het warmste binnenklimaat. Er is dus geen eenduidige definitie van maatgevende warmte beschikbaar. Er worden verschillende warmte-definitieën genoemd tijdens de interviews: hittegolf volgens de KNMI definitie, het aantal warme nachten, persistente langdurige hitte, kortdurende extreme hitte in combinatie met zonneschijn. Hierbij moet worden opgemerkt dat verschillende type gebouwen ook verschillend reageren op het weer en dat maatgevende warmte dus ook verschillend is per gebouw. Zo warmt een zwaar, goed geïsoleerd gebouw langzaam op in tegenstelling tot een licht, slecht geïsoleerd gebouw, maar werkt het bij afkoeling natuurlijk precies andersom. Ook raamoppervlak en zonwering zijn hierbij cruciaal.

Samenvattend, door de beperkte beschikbaarheid van (gevarieerde) klimaatdata worden de onzekerheden en verschillen in buitenklimaat momenteel niet voldoende meegenomen in de gebouwssimulaties en is het ook niet duidelijk welke condities en factoren precies zorgen voor de hoogste binnentemperatuur.

## 2.2 NEN5060 klimaatjaar

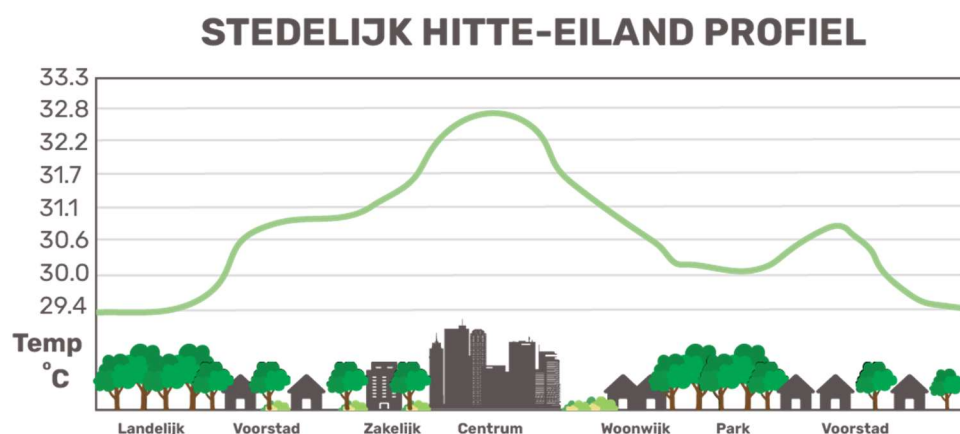
Het NEN5060 klimaatjaar is ontwikkeld door het Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut (NEN) op basis van historische weerobservaties van de afgelopen 20 jaar. Hierdoor is een referentieklimaat beschikbaar dat breed gedragen wordt door de markt en dient als norm voor de bouwsector. Representatieve referentieklimaatgegevens zijn essentieel voor de bepaling van de energieprestatie van gebouwen en voor de dimensionering van

installaties (NEN, 2021). Voor het NEN5060 klimaatjaar worden klimatologische gegevens over de periode 1996-2015 van het KNMI-weerstation in De Bilt gebruikt. Hierdoor zijn de waarden toepasbaar binnen heel Nederland. De weerobservaties worden statistisch bewerkt op basis van internationale normen (bijv. NEN-EN-ISO 15927), waardoor een synthetisch klimaatjaar ontstaat dat de variaties in weer en klimaat tijdens de observatieperiode afdekt.

Alle meteorologische variabelen die nodig zijn voor gebouwssimulaties zijn beschikbaar: luchttemperatuur op 2m, zonnestraling (direct en diffuus), relatieve luchtvochtigheid, neerslag, wind, bewolking en luchtdruk. Een volledig overzicht van de variabelen is opgenomen in Bijlage B. Naast het standaardklimaatjaar zijn ook nog een 1%- en 5%-jaar beschikbaar die gebruikt worden voor het bepalen van de koellast in de zomer (de hoeveelheid vermogen die nodig is om een gebouw onder een bepaalde temperatuur te houden). Deze jaren bevatten klimatologische data van luchttemperatuur en zonnestraling die in respectievelijk 1% en 5% van de gevallen worden overschreden. Het meeste recente klimaatjaar is van 2018 en bevat data tot en met 2015, waardoor bijvoorbeeld de meest recente hete zomers niet zijn meegenomen. Om de data actueel te houden wordt de klimaatdata elke 5-10 jaar geüpdatet.

### 2.3 Stedelijk hitte-eiland effect (SHE)

In bebouwde en versteende omgevingen is het vaak warmer dan in een groen buitengebied of nabij water, dit wordt ook wel het stedelijk hitte-eiland effect (SHE) genoemd. Dit komt doordat op versteende plekken energie van zonnestraling voornamelijk wordt omgezet in opwarming van de lucht en warmteopslag in stenen en de bodem, in tegenstelling tot een omgeving met water of natuur waar een aanzienlijk deel van de energie wordt gebruikt voor verdamping van water en er dus minder energie overblijft voor opwarming. In Figuur 1 is een schematisch temperatuurprofiel te zien voor een dwarsdoorsnede van een stad, waar de luchttemperatuur in bebouwde gebieden hoger is. Het versteende centrum is in dit voorbeeld zelfs ca. +3°C warmer is dan het landelijke gebied.



Figuur 1 - Schematische dwarsdoorsnede van de stad en bijbehorend temperatuurprofiel (Bron: wikipedia)

De laatste jaren is onderzoek naar het SHE toegenomen, mede vanwege de verwachte gezondheidsrisico's in een opwarmend klimaat. Op basis van observaties en modellen is gekeken naar 1) welke factoren het SHE veroorzaken en 2) variaties in het voorkomen en sterkte van een SHE. Het uiteindelijke doel is om de mate van SHE te kunnen berekenen en

daarmee beter te verwachten. In Nederland zijn verschillende meetcampagnes gedaan die veel inzicht hebben opgeleverd. Bijvoorbeeld in Utrecht en Rotterdam, waar met mobiele metingen op een (bak)fiets verschillen en overeenkomsten met nabij gelegen weerstations zijn onderzocht (Brandsma en Wolters, 2012; Heusinkveld et al., 2014). Momenteel richt het onderzoek zich vooral op het modelleren van stedelijk klimaat op zeer hoge resolutie (100 meter) (Koopmans et al., 2023).

Het SHE varieert van 1) dag tot dag, als gevolg van grootschalige meteorologische situaties, 2) binnen een dag, als gevolg van de dagelijkse gang in het weer en 3) van plaats tot plaats, afhankelijk van de mate van versterking, groen en water. Afhankelijk van de meteorologische situatie kan het SHE variëren van minder dan 1°C tot (in extreme gevallen) meer dan 10°C graden verschil tussen stad en buitengebied. Voornamelijk situaties met veel zonneschijn en weinig wind leiden tot een groot SHE (Theeuwes et al., 2017). De dagelijkse gang in het weer met hoge temperaturen en zonneschijn gedurende de dag zorgt ervoor dat het SHE meestal het grootst is in de vroege avond (paar uur na zonsondergang) doordat de bebouwing dan maximaal is opgewarmd door de zon en het buitengebied veel sneller afkoelt (Theeuwes et al., 2015). Daarentegen is het SHE het kleinst en soms zelfs negatief in de ochtend (paar uur na zonsopkomst). Voor de koelingsvraag is deze dagelijkse gang belangrijk omdat het SHE dus het grootst is op het moment dat de koelingsvraag ook het grootst is; als bewoners willen gaan slapen.

Ruimtelijke variaties in SHE worden voornamelijk veroorzaakt door de mate van versterking en hoogbouw en de aanwezigheid van natuur, bomen, groen en water. Hierdoor varieert het SHE dus van locatie tot locatie en van stad tot stad, wijk tot wijk en straat tot straat, afhankelijk van de lokale situatie. Het is dus complex om een vergelijking af te leiden waarmee het SHE per locatie kan worden bepaald. Theeuwes et al., 2017 hebben dit succesvol gedaan voor stedelijke gebieden in Noordwest-Europa, al is deze SHE-formule enkel geldig om het SHE te bepalen tussen het buitengebied en het stadscentrum. Het is dus een mate voor het maximale SHE effect van een stad, maar kan niet worden gebruikt om binnen een stad variaties te verwachten.

Zoals hierboven ook beschreven neemt een gebouwmodel de omgeving vaak nauwelijks mee en het SHE dus ook niet. Als het te simuleren gebouw echter in een verstedend stadscentrum staat of het een windstille zomerdag betreft leidt het niet meenemen van het SHE dus tot een (grote) onderschatting van buitentemperatuur rondom het gebouw.

## 2.4 Toekomstige klimaatjaren: wensen/eisen

Interesse voor toekomstige klimaatjaren richt zich vooral op de relatief korte termijn, tot 2050. De periode daarna, tot 2100, is voor een groot deel van de bouwsector weinig bruikbaar omdat deze nog te ver weg ligt. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat huizen die momenteel worden gebouwd worden beoogd ten minste te blijven staan tot 2100. Het zichtjaar 2100 is overigens binnen de wetenschap wel erg gewenst. Vanuit praktisch oogpunt wordt een zichtjaar tussen 'nu' en 2050, bijv. 2035, daarentegen vaak genoemd, vooral omdat renovatiewerkzaamheden zich op deze periode richten.

Per zichtjaar zijn verschillende scenario's gewenst, waarbij wordt aangegeven dat "3 of 5 scenario's al heel mooi zou zijn". Binnen deze scenario's is het belangrijk om de onzekerheid en variabiliteit in klimaat goed te representeren, door bijv. een extreem warme zomer mee te nemen, maar ook een gemiddeld jaar. Ondanks dat de focus ligt op de hitte in de zomer is het ook belangrijk dat de toekomstige klimaatjaren óók bruikbaar zijn voor het winter-halfjaar om bijvoorbeeld verwarmingsinstallaties te dimensioneren. Het risico met meerdere zichtjaren, scenario's en klimaatjaren is dat er een wirwar aan data ontstaat wat de duidelijkheid en bruikbaarheid niet ten goede komt. Het is dus belangrijk om logische en duidelijke keuzes te maken voor de verschillende klimaatjaren en de bijbehorende keuzes en onzekerheden goed toe te lichten.

Een breed gedeelde eis voor toekomstige klimaatdata is dat deze op uurlijkse resolutie beschikbaar is, want dat is essentieel voor gebouwmodellen. Daarnaast zijn vrijwel alle modellen gemaakt om met de NEN-klimaatjaren te rekenen, dus eenzelfde soort format en variabelen zal de bruikbaarheid van de toekomstige klimaatjaren verhogen.

## 2.5 KNMI'23 Klimaatscenario's

Om goede toekomstige klimaatjaren te kunnen ontwikkelen zijn realistische toekomstscenario's en data nodig. In oktober 2023 zijn de meeste recente klimaatscenario's van het KNMI gepresenteerd welke als ideale basis dienen voor de te ontwikkelen klimaatjaren (KNMI, 2023). De KNMI'23 Klimaatscenario's zijn een vertaling van de wereldwijde klimaatprojecties van het *IPCC Sixth Assessment Report* (IPCC, 2022) naar Nederland. Het KNMI schetst in vier nieuwe scenario's de bandbreedte van het toekomstige klimaat in Nederland. Deze scenario's vormen de basis voor onderzoek naar de effecten van klimaatverandering en -adaptatie.

Omdat zowel de mate van klimaatverandering als de precieze effecten ervan een bepaalde onzekerheid hebben, zijn er 4 scenario's ontwikkeld op basis van onzekerheden op 2 gebieden: 1) de mondiale temperatuurstijging en 2) neerslagpatronen boven Nederland. Het eerste hangt af van de hoeveelheid broeikasgassen die nog zal worden uitgestoten en van de gevoeligheid van het klimaatsysteem. Het KNMI kiest hiervoor twee scenario's:

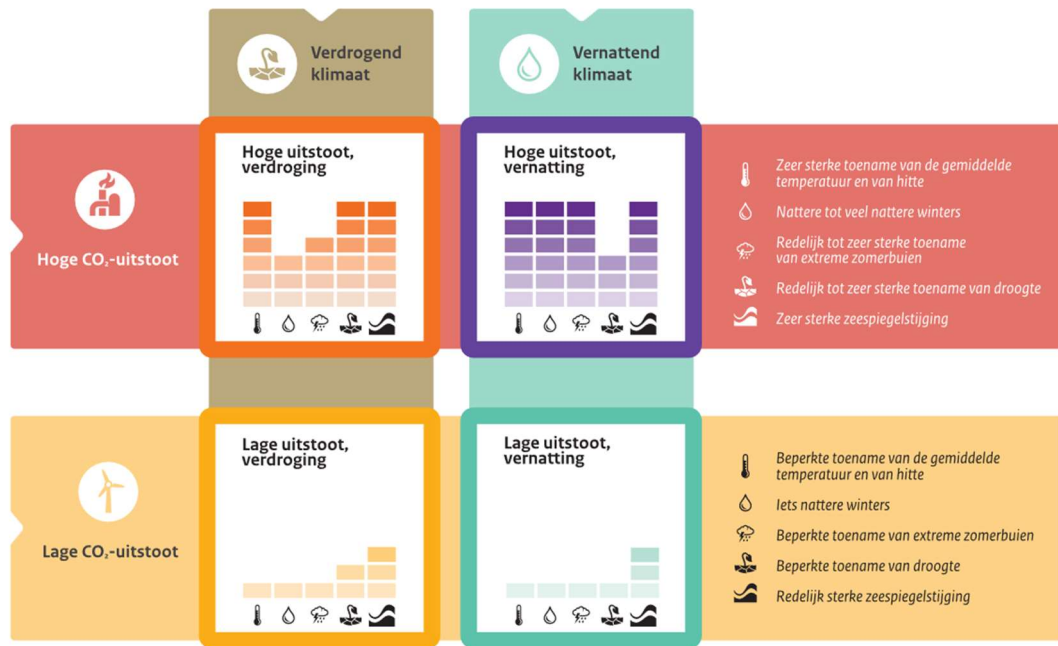
- Hoge uitstootsscenario ('H') waarin de uitstoot in gelijke mate blijft toenemen tot 2080 en daarna afvlakt. De mondiale opwarming rond 2100 is dan +4,0°C extra.
- Lage uitstootsscenario ('L') waarin de uitstoot snel wordt verminderd en broeikasgassen worden verwijderd uit de atmosfeer in lijn met het Klimaatakkoord van Parijs. De mondiale opwarming rond 2100 is dan +0,8°C extra.

Meer opwarming betekent dat de Nederlandse zomers droger en de winters natter worden, maar de mate waarin is nog onbekend. Het KNMI kiest daarom 2 scenario's:

- Een nat scenario ('n') waarin winters sterk vernatten en zomers licht verdrogen.
- Een droog scenario ('d') waarin winters licht vernatten en zomers sterk verdrogen.

Door bovenstaande scenario's te combineren ontstaan er 4 klimaatscenario's: Hn, Hd, Ln en Ld. Dit zijn de KNMI'23 klimaatscenario's en deze zijn schematisch weergegeven in Figuur 2 inclusief de verwachte klimaateffecten. Het is zeer waarschijnlijk dat de klimaatverandering in Nederland zich voltrekt binnen de grenzen van deze vier klimaatscenario's.





Figuur 2 - De vier KNMI'23 Klimaatscenario's (overgenomen uit KNMI, 2023)

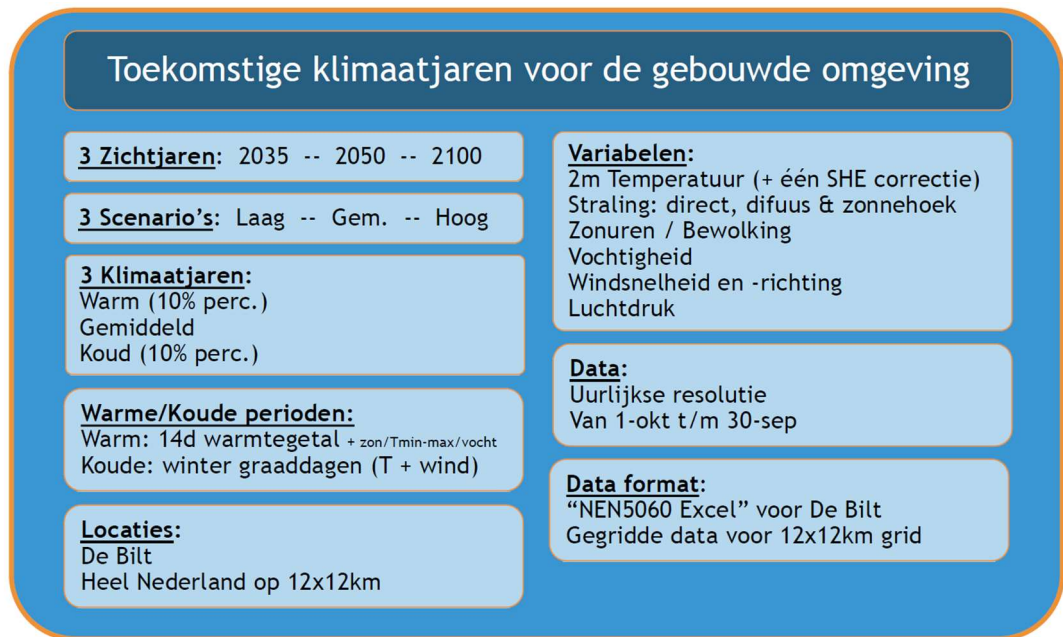
Als gevolg van klimaatverandering beschrijft het KNMI vijf duidelijke effecten voor Nederland: 1) toename van temperatuur en meer hitte, 2) meer winterneerslag, 3) minder zomerneerslag en dus meer droogte, 4) extremere zomerbuien inclusief wateroverlast en 5) zeespiegelstijging. Voor dit vooronderzoek is voornamelijk het eerste punt (meer hitte) van belang en dat wordt hier daarom kort besproken.

Momenteel bedraagt de temperatuurstijging in Nederland ruim +2°C sinds de pre-industriële periode (1850-1900). Afhankelijk van het klimaatscenario zal de gemiddelde temperatuur in 2050 nog +0,9 tot +1,6°C (en in 2100 +0,9 tot +4,4°C) extra stijgen. Door de ligging ten opzichte van de Noordzee en de Atlantische Oceaan zal de stijging in het noordwesten van Nederland iets minder hoog zijn en in het zuidoosten juist iets sterker. Vanwege het samenspel met een uitdrogende bodem in de zomer, zal de temperatuurstoename in dat seizoen het grootst zijn.

Naast de toename in gemiddelde temperatuur is de verwachting dat de extremen ook toenemen. Eén voorbeeld hiervan is de het aantal tropische nachten per zomer ( $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$ ) in De Bilt: in het huidige klimaat is dit 0,3 (lees: 1 tropische nacht per 3 jaar), terwijl dit toeneemt tot 3 (in 2050) en 19 (in 2100) in de 'H'-scenario's. Als een ander voorbeeld heeft het KNMI berekend hoe de hittegolf van juli 2019 (meer dan 40°C in Zuid- en Oost-Nederland) eruit zou hebben gezien in een 2°C-warmer klimaat. De maximale temperatuur in grote delen van Nederland zou dan (ver) boven de 40°C zijn geweest met maxima tot 45°C. Beide voorbeelden zouden direct een groot effect hebben op de binnentemperatuur van gebouwen en tonen daarmee aan dat toekomstige klimaatjaren essentieel zijn om realistische simulaties daarvan te maken.

### 3 Databeschrijving toekomstige klimaatjaren

Op basis van de hierboven beschreven informatie uit de inventarisatie onder experts en de discussies tijdens de workshop eind oktober 2023 is een databeschrijving gemaakt voor de toekomstige klimaatjaren. In Figuur 3 is een beknopt overzicht te zien van de databeschrijving, die in dit hoofdstuk in meer detail zal worden beschreven.



Figuur 3 - Beknopte databeschrijving van de toekomstige klimaatjaren voor de gebouwde omgeving

De basis van de toekomstige klimaatjaren voor de gebouwde omgeving wordt gevormd door de keuze voor zichtjaren, klimaatscenario's en variaties in warmte en koude daarin. Er is gekozen voor 3 zichtjaren, 3 klimaatscenario's en 3 variaties, waardoor er in totaal dus  $3 \times 3 \times 3 = 27$  klimaatjaren zullen worden ontwikkeld. Deze hoeveelheid klimaatjaren geeft de gebruiker voldoende keuze, doet recht aan de onzekerheid in toekomstig klimaat, maar zijn tegelijkertijd ook nog overzichtelijk en gebruiksvriendelijk.

#### *Zichtjaren*

Er is gekozen voor 3 zichtjaren: 2035, 2050 en 2100. De laatste twee hiervan (2050, 2100) zijn vrij standaard in klimaatonderzoek en -toepassingen en komen ook overeen met de zichtjaren gebruikt in de KNMI'23 Klimaatscenario's. Het zichtjaar 2100 is voor veel praktische toepassingen binnen de gebouwde omgeving te ver vooruit, maar voor onderzoeksdoeleinden wel gewenst. Het zichtjaar 2035 daarentegen is veelvuldig genoemd vanuit praktisch oogpunt, vooral met het oog op keuzes voor huidig renovatiewerk en verwarmings-/koelings-installaties.

#### *Klimaatscenario's*

Er is gekozen om 3 klimaatscenario's te gebruiken: 'laag', 'gemiddeld' en 'hoog'. De KNMI'23 Klimaatscenario's bestaan uit 4 klimaatscenario's (zie Hoofdstuk 2.5) met variaties in mondiale opwarming en neerslagpatronen boven Nederland. Neerslag is voor het

binnenklimaat in woningen relatief onbelangrijk en variaties daarin worden daarom hier dus ook niet meegenomen. Voor klimaatscenario ‘laag’ worden de klimaatjaren genomen uit een combinatie van KNMI’23 klimaatscenario’s ‘Ln’ en ‘Ld’, terwijl voor klimaatscenario ‘hoog’ klimaatjaren worden genomen uit een combinatie van ‘Hn’ en ‘Hd’. Naast de 4 gepubliceerde scenario’s heeft het KNMI ook gemiddelde scenario’s (‘Mn’ en ‘Md’) ontwikkeld die niet zijn beschreven in het rapport KNMI’23 Klimaatscenario’s maar wel online beschikbaar zijn. Deze scenario’s vallen logischerwijs tussen ‘laag’ en ‘hoog’ en dienen daarom als invoer door klimaatscenario ‘gemiddeld’.

### ***Klimaatjaren: variaties in warmte & koude***

Binnen een bepaald zichtjaar en klimaatscenario is het ook gewenst om natuurlijke variaties van jaar tot jaar mee te nemen, zoals een warme zomer of een koude winter. Er is gekozen om 3 klimaatjaren uit te rekenen: “koude winter”, “gemiddeld” en “warme zomer”. Op basis van maatgevende koude en warmte (zie *Maatgevende warmte en koude*) worden deze klimaatjaren bepaald uit modeldata van het regionale weermodel RACMO, die ook de basis zijn voor de KNMI’23 Klimaatscenario’s. Per zichtjaar en per klimaatscenario worden voor alle beschikbare RACMO-jaren de maatgevende warmte/koude uitgerekend, waarna de jaren vervolgens worden gerangschikt.

Voor klimaatjaar “koude winter” wordt het 10<sup>e</sup> percentiel van de maatgevende koude gekozen, terwijl voor klimaatjaar “warme zomer” het 90<sup>e</sup> percentiel wordt gekozen van maatgevende warmte. In beide gevallen betekent dit dat dit jaar representatief is voor een winter, danwel zomer, die eens in 10 jaar voorkomt gegeven het zichtjaar en klimaatscenario. Voor klimaatjaar “gemiddeld” wordt een jaar gekozen dat het dichtst bij het klimatologische gemiddelde ligt voor het zichtjaar en scenario.

### ***Maatgevende warmte en koude***

In Hoofdstuk 2.1 is beschreven dat er niet één duidelijke definitie voor maatgevende warmte voor de gebouwde omgeving is. Er is gekozen om het 14-daags cumulatief warmtegetal te nemen voor maatgevende hitte. Het warmtegetal<sup>1</sup> is gedefinieerd als het aantal graden dat de gemiddelde dagtemperatuur boven de 18°C is. Hierdoor worden zowel hoge dag- als nachttemperaturen meegenomen. Er is gekozen om het warmtegetal te sommeren over 14 aaneengesloten dagen (2 weken) zodat ook langere warme perioden worden meegenomen. Naast temperatuur zijn ook andere factoren van belang en daarom wordt bij de uiteindelijke keuze voor een bepaald warm klimaatjaar ook rekening gehouden met:

- Zonnestraling, er moet langdurig en sterke zonneschijn zijn gedurende de periode;
- Maximumtemperatuur, het voorkomen van een hoge extreem is interessant;
- Minimumtemperatuur, het voorkomen van tropische nachten is interessant in verband met nachtelijke afkoeling;
- Relatieve vochtigheid, het voorkomen van hoge vochtigheidsgraad is interessant in verband met gevoelstemperatuur en eventuele gezondheidsrisico’s.

Voor maatgevende koude is gekozen om graaddagen te gebruiken op basis van de effectieve temperatuur ( $T_{\text{eff}}$ ), welke afhangt van temperatuur en wind (KNMI, 2008). Hoe lager de temperatuur en hoe hoger de windsnelheid, hoe sneller een gebouw afkoelt. Graaddagen en  $T_{\text{eff}}$

<sup>1</sup> <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/warmtegetal>

werden de afgelopen jaren ook gebruikt om de gasvraag te schatten en zijn dus bewezen parameters om koud weer en verwarmingsvraag te kwantificeren.

### ***Meteorologische data***

Omdat de huidige gebouwmodellen en -software veelal werken met het NEN5060-klimaatjaar is er gekozen om de data van de toekomstige klimaatjaren zoveel mogelijk op dezelfde manier te genereren (zie ook *Data format*). Dit draagt bij aan de gebruiksvriendelijkheid van de data. De benodigde meteorologische variabelen zijn daarom hetzelfde als in het NEN5060-klimaatjaar (NEN, 2021 en Bijlage B):

- Temperatuur op 2m (in 0.1 °C)
- Straling (in W/m<sup>2</sup>), globale, diffuse, directe en directe normale zonnestraling
- Vochtigheid, relatief (in %) en absoluut (in 0.1 g/kg)
- Neerslag (in 0.1 mm)
- Wind, snelheid (in 0.1 m/s) en richting (in 0-360 graden)
- Bewolking (in achtsten)
- Zonneschijnduur (in 0.1 uur)
- Luchtdruk (in 0.1 hPa)

De meteorologische data zal worden uitgevoerd op uurlijkse resolutie net zoals in het NEN5060-klimaatjaar. Omdat in de toekomstige klimaatjaren zowel het zomer- als winterhalfjaar gebruikt zal worden is een jaar van 1-jan t/m 31-dec ongewenst vanwege de onnatuurlijke “knip” in de winter. Er is daarom gekozen om het klimaatjaar van 1-okt t/m 30-sep te laten lopen, wat hetzelfde is als bijv. het hydrologische jaar. Omdat sommige gebouwmodellen enkel in hele kalenderjaren kunnen rekenen (dus vanaf 1-jan) zal de data aan het begin en eind van het klimaatjaar licht worden aangepast om een onnatuurlijke overgang van 30-sep naar 1-okt te voorkomen. Aanpassing betekent dat de data van 28-sep t/m 30-sep en van 1-okt t/m 3-okt op elkaar wordt afgestemd zodat er een geleidelijke overgang in weer plaatsvindt.

### ***Stedelijke hitte-eiland***

Zoals in Hoofdstuk 2.3 beschreven is het stedelijk hitte-eiland effect (SHE) een belangrijk en niet te negeren fenomeen in de stedelijke omgeving en daarmee de gebouwde omgeving. Echter, er is momenteel nog geen eenduidige beschrijving of formule beschikbaar om het SHE met alle variaties in tijd en ruimte naar tevredenheid te berekenen. Het is bijvoorbeeld onmogelijk om voor elke wijk/stad aparte data of klimaatjaren te genereren. Variaties in de tijd (bijv. dagelijkse gang) en per meteorologische situatie lijken wel mogelijk om mee te nemen. Daarom is er gekozen om één SHE-correctie toe te passen op alle klimaatjaren op basis van Theeuwes et al., 2017. Tijdens het ontwikkelen van de klimaatjaren zal het KNMI verder onderzoek doen naar het SHE en de toe te passen correctie en deze eventueel aanpassen.

Qua data zal dit leiden tot een klimaatjaar met 2 temperatuur-tijdseries (één zonder SHE en één met SHE). Tijdens het gebruik van de klimaatjaren voor een specifiek gebouw of wijk moet de gebruiker zelf bepalen welke van de twee tijdseries het meeste geschikt is op basis van de ligging en omgeving van het gebouw.

### ***Locaties***

Ondanks dat er momenteel geen ruimtelijke variatie beschikbaar is in klimaatvoer voor de gebouwde omgeving is dit wel gewenst. Zeker qua extremen zijn er in het huidige en toekomstige klimaat grote verschillen mogelijk binnen Nederland (bijv. zomerse hitte in Zuid-Nederland is veel extremer dan in de noordelijke provincies). Omdat binnen de KNMI'23 Klimaatscenario's data beschikbaar is voor heel Nederland op een raster van 12x12 km, zal dit worden gebruikt om de 27 klimaatjaren te genereren voor elk rasterpunt. Zo is het mogelijk om een gewenst klimaatjaar te kiezen voor elke locatie in Nederland. Dit zorgt wel voor een grote hoeveelheid data (27 klimaatjaren op ruim 200 gridpunten) die niet voor alle gebruikers nodig en gewenst is en daarom is het klimaatjaar voor het rasterpunt "De Bilt" ook los beschikbaar.

### ***Data format***

Vanwege de gebruiksvriendelijkheid worden de 27 klimaatjaren voor "De Bilt" ontwikkeld in Excel met dezelfde variabelen en in hetzelfde format als het NEN5060-klimaatjaar. Hierdoor zijn ze direct bruikbaar voor de meeste gebruikers die al met dit soort klimaatdata werken. Een overzicht van de data van het NEN5060-klimaatjaar is te vinden in Bijlage B.

Voor de locatie-specifieke klimaatjaren per 12x12km rasterpunt (zie *Locaties*) is de hoeveelheid data niet passend om op te leveren in Excel en is gekozen voor een data format dat beter past bij raster data: netCDF. Hiermee kan alle data in één bestand worden opgeslagen. Omdat de meeste gebruikers weinig bekend zullen zijn met dit type data format is het nodig om een beschrijving te maken van de data en hoe deze te gebruiken.



## 4 Samenvatting

De effecten van klimaatverandering zijn de laatste jaren steeds duidelijker en zullen in de toekomst alleen maar toenemen. Eén van de effecten van klimaatverandering is de toename van extreme hitte in de zomer, wat in Nederlandse steden zal leiden tot veel hittestress. De mate van hittestress binnenin gebouwen en woningen, en de impact daarvan, is echter nog onvoldoende duidelijk. Voornamelijk omdat de benodigde klimaatdata ontbreekt om dit te simuleren. Het doel van dit vooronderzoek is om in kaart te brengen waar klimaatinput voor toekomstscenario's aan moet voldoen om bruikbaar te zijn voor de bouwsector. Op basis daarvan is een databeschrijving opgesteld.

Tijdens een inventarisatieronde langs verschillende experts is gebleken dat de wensen en eisen voor toekomstige klimaatjaren vrij eenduidig zijn binnen de bouwsector. Ook is duidelijk dat deze data zeer gewenst is omdat deze momenteel ontbreekt, maar vanuit het werkveld en de markt de vragen omtrent de toekomst wel steeds luider worden. Momenteel wordt voornamelijk het NEN5060-klimaatjaar gebruikt dat op basis van historische observaties is berekend. Het is gewenst dat toekomstige klimaatjaren qua variabelen en format zoveel mogelijk hierop lijken in verband met gebruiksvriendelijkheid.

Om recht te doen aan variaties en onzekerheid in het toekomstige klimaat is er gekozen om voor 3 zichtjaren (2035, 2050, 2100), 3 klimaatscenario's ("laag", "midden", "hoog") en 3 weervariaties ("koude winter", "gemiddeld", "warme zomer") klimaatjaren te ontwikkelen. Dit resulteert dus in totaal in 27 klimaatjaren. Deze klimaatjaren worden berekend vanuit de recent gepubliceerde KNMI'23 Klimaatscenario's voor elke locatie in Nederland op een raster van 12x12 km. Hierdoor kunnen verschillen binnen Nederland voor het eerst worden meegenomen in gebouwsimulaties, want tot nu toe was er alleen klimaatinput beschikbaar voor "De Bilt". Ook wordt aan de toekomstige klimaatjaren een correctie toegevoegd voor het stedelijk hitte-eiland effect (SHE) aangezien de meeste gebouwen in een versteende omgeving staan en dus direct beïnvloed worden door het SHE.

Op basis van dit vooronderzoek en de databeschrijving in Hoofdstuk 3 zal er een vervolgoopdracht aan het KNMI worden verstrekt om deze klimaatjaren te ontwikkelen. De verwachting is dat dit ongeveer een half jaar kost waardoor deze rond de zomer van 2024 beschikbaar zijn. Met deze nieuwe klimaatjaren voor verschillende toekomstscenario's zullen gebouwsimulaties een beter beeld kunnen schetsen van het verwachte effect van klimaatverandering (en specifiek hitte) op het binnenklimaat in gebouwen. Dit geeft inzicht in de mogelijke gezondheidsrisico's en leefcomfort in bepaalde typen gebouwen, maar ook voor de verwachte koelingsvraag van de gebouwde omgeving, een essentiële parameter voor de energietransitie.

## 5 Literatuurlijst

Brandsma, T., D. Wolters, 2012, "Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands)", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51,6, p1046-1060.

Heusinkveld, B.G., G.J. Steeneveld, L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, A.A.M. Holtslag, 2014, "Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use", *JGR Atmospheres*, 119, 2, p677-692.

IPCC, 2022, "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

NEN, 2021, "NEN 6050:2018+A1:2021 Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens".

KNMI, 2008, "Effectieve temperatuur en graaddagen, Klimatologie en klimaatscenario's", KNMI, De Bil, KNMI-Publicatie 219.

KNMI, 2023, "KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland", KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.

Koopmans, S., R. van Haren, N. Theeuwes, R. Ronda, R. Uijlenhoet, A.A.M. Holtslag, G. J. Steeneveld, 2023, "The set-up and evaluation of fine-scale data assimilation for the urban climate of Amsterdam", *Quarterly Journal of the RMS*, 149, 750, p171-191.

Theeuwes, N.E., G.J. Steeneveld, R. J. Ronda, A.A.M. Holtslag, 2017, "A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe", *International Journal of Climatology*, 37, p443-454.

Theeuwes, N.E., G.J. Steeneveld, R. J. Ronda, M. Rotach, A.A.M. Holtslag, 2015, "Cool city mornings by urban heat", *Environmental Research Letters*, 10, 114022.

## Bijlage A Overzicht gesprekken

Datum	Geïnterviewde(n) en organisatie
12-07-2023	Niels Soeverijns, Filip Lefebre, Raf Theunissen VITO (België)
14-07-2023	Jan Engels Klimaatverbond
17-07-2023	Ivo Pothof Deltares
18-07-2023	Wim Plokker Vabi Software
19-07-2023	Pieter Nuiten, Anne Offermans W/E Adviseurs
24-07-2023	Vera Rovers TNO
03-08-2023	Harm Valk Nieman Raadgevende Ingenieurs
04-08-2023	Annet van der Horn NEN
09-08-2023	Gert Jan Steeneveld Wageningen University and Research
23-08-2023	Jeroen Kluck Hogeschool van Amsterdam
25-08-2023	Sabine Jansen Ministerie van BZK
28-08-2023	Nicolaas van Everdingen Plushuis
30-08-2023	Henk van den Brink KNMI
14-09-2023	Hans Bosch DGMR
15-09-2023	Natalie Theeuwes KNMI
21-09-2023	Regina Bokel TU Delft
06-11-2023	Roel Loonen TU Eindhoven

## Bijlage B NEN5060 klimaatgegevens

Gegevens in Excel-bestand:

Tijd en datum op basis van [A1> GMT (zie D.1.3)<A1]

GG	xxx	$G_{sol,g}$	globale zonnestraling	$W/m^2$
GD	xxx	$G_{sol,dif}$	diffuse zonnestraling	$W/m^2$
GB	xxx	$G_{sol,dir}$	directe zonnestraling	$W/m^2$
GN	xxx	$G_{sol,b}$	neerwaartse directe zonnestraling	$W/m^2$
T	xxx	$\vartheta$	uurgemiddelde temperatuur (droge bol)	$\times 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
RV	xx	$\varphi$	relatieve vochtigheid	%
H	xxx	$H$	absolute vochtigheid	$\times 0,1 \text{ g/kg}$
R	xxxx	$r$	neerslaghoeveelheid	$\times 0,1 \text{ mm}$
U	xx	$u_{10}$	windsnelheid	$\times 0,1 \text{ m/s}$
WD	xxx	$w_d$	windrichting	$^\circ$
N	x	$N$	bewolkingsgraad in achtsten	-
ZDU	xx	$Z$	zonnenschijnduur in tienden	$\times 0,1 \text{ h}$
h	xx.x	$h$	enthalpie	$\text{kJ/kg}$
PS	xxxxx	$p_s$	verzadigde waterdampdruk	Pa
P	xxxxx	$p$	luchtdruk	$\times 0,1 \text{ hPa}$

Figuur B1 - Tabel met databeschrijving van NEN5060 klimaatjaar, met van links naar rechts: afkorting, grootte van het getal (aantal 'x'), natuurkundige notatie, tekstuele beschrijving, eenheid. (kopie uit NEN, 2021)