



Planbureau voor de Leefomgeving

KLIMAAT- EN WEERSCORRECTIE IN DE KEV

Cees Volkers, Paul Vethman en Michiel van Bruggen
September 2026



De Energiemanager

PBL

Colofon

Klimaat- en weerscorrectie in de KEV

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2026
PBL-publicatienummer: 5663

Contact

cees.volkers@pbl.nl

Auteurs

Cees Volkers, Paul Vethman, Michiel van Bruggen (De Energiemanager)

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan Peter Siegmund (KNMI) voor de informatie hoe de KNMI'23-klimaatsscenario's gebruikt kunnen worden voor de berekeningen voor dit rapport. Ook dank voor het reviewen van het rapport aan Lennart Bours, Jelle van Minnen, Eline Ooms, Sicco Peeters, Arjan Plomp, Martijn van Sebille, Rutger Woolthuis, Emma van der Zanden (allen PBL), Mark Mangnus (CBS) en Joost van Stralen (TNO).

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Volkers C. et al (2026), Klimaat- en weerscorrectie in de KEV, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Gebruik van KNMI klimaatscenario's voor klimaat- en weerscorrectie in de KEV	9
2.1 Beschikbare klimaatscenario's	9
2.2 Keuze van een klimaatscenario voor gebruik in de KEV	10
2.3 Gebruik van de gegevens uit de klimaatscenario's	11
3 Energieverbruik voor ruimteverwarming	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Profielenmethodiek aardgas	13
3.3 Profielenmethodiek aardgas toepassen voor de KEV	21
4 Energieverbruik voor ruimtekoeling	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Ontwikkeling van de koelgraaddagen	28
4.3 Koelgraaddagen als indicator voor de energievraag naar ruimtekoeling in de KEV	30
5 Energieproductie uit zonne-energiesystemen	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Ontwikkeling van de zoninstraling	33
5.3 Zoninstraling als indicator voor de productie uit zonne-energiesystemen in de KEV	34
6 Elektriciteitsproductie uit windenergie	37
6.1 Inleiding	37
6.2 Ontwikkeling van de windsnelheid	37
6.3 Windsnelheid als indicator voor de productie van elektriciteit uit windenergie in de KEV	38
7 Emissies uit landgebruik	41
7.1 Inleiding	41
7.2 Ontwikkeling van de weerparameters ten behoeve van de omzetting van organische koolstof in niet-drassige bovengronden	42
Referenties	48
Bijlagen	50
Bijlage 1 Gebruikte terminologieën	50
Bijlage 2 Getransformeerde tijdreeksen	51

Bijlage 3 Interpolatie klimaatgegevens KNMI	52
Bijlage 4 Omzetting standaardprofiel aardgas 2024 op basis van KNMI'23 klimaatscenario's gegevens	54
Bijlage 5 Formule van Makkink	56
Bijlage 6 Gedetailleerde gegevens gebruikt voor de klimaat- en weerscorrecties	57
Bijlage 7 Weerstations KNMI	67

Voorwoord

Dit rapport is een voortzetting van de eerdere studie over het toepassen van een weerscorrectie voor ruimteverwarming voor de Klimaat- en Energieverkenning, zoals beschreven in het rapport van 2022. Sindsdien zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest in de klimaatscenario's die door het KNMI zijn geïntroduceerd in 2023, welke ons in staat stellen om de profielenmethodiek voor aardgas nauwkeuriger toe te passen in de diverse rekenmodellen die we gebruiken. Deze nieuwe inzichten helpen ons om de energiebehoeften en emissies in Nederland beter te begrijpen en te voorspellen.

In dit rapport breiden we ons onderzoek uit naar de effecten van weer en klimaat op ruimtekoeling, de productie uit zonne-energie en windenergie. Daarnaast onderzoeken we de broeikasgasemissies die voortvloeien uit de verandering van landgebruik. Met de gegevens uit dit rapport kan in de rekenmodellen op een consistente manier rekening gehouden worden met de effecten van weer en klimaat op de resultaten.

Samenvatting

Het rapport “Herziening weerscorrectie voor ruimteverwarming” van PBL (Volkers et al. 2022) introduceert de profielenmethodiek aardgas als de beste manier om energieverbruik te corrigeren voor klimaatverandering. In 2023 werden de KNMI’23-klimaatsscenario’s gepubliceerd, waardoor deze methodiek volledig kan worden toegepast. Naast invloed op ruimteverwarming, wordt nu ook gekeken naar de effecten van klimaatverandering op de energievraag voor ruimtekoeling, zonne- en windenergieproductie en emissies door landgebruik. Per hoofdstuk worden belangrijke weersfactoren en de bijbehorende indicatoren besproken in relatie tot de Klimaat- en Energieverkenning (KEV). Belangrijke onderdelen zijn het effect van klimaatverandering, de onzekerheden in de klimaatverandering, en de jaarlijkse weersinvloeden op energieverbruik.

1 Inleiding

In oktober 2022 is het rapport ‘Herziening weerscorrectie voor ruimteverwarming’ van PBL verschenen (Volkers et al. 2022). In dit rapport wordt beschreven waarom de tot dan toe gebruikte manier (graaddagen op basis van 18°C), om het energieverbruik te corrigeren voor de klimaatverandering en de jaarlijkse weersinvloeden, verbetering behoeft. Uit dit rapport kwam de profielenmethodiek aardgas als beste naar voren, de weerscorrectiemethode die gasleveranciers al jaren gebruiken om het verwachte jaarlijkse aardgasverbruik bij gemiddelde weersomstandigheden (het standaard jaarverbruik, SJV) te berekenen. Het probleem was dat deze niet te gebruiken was vanwege de toen beschikbare klimaatscenario’s (KNMI’14-klimaatscenario’s, KNMI 2015). Op basis van de profielenmethodiek aardgas is toen een afgeleide variant van deze methodiek gemaakt, waarmee het effect van de klimaatverandering en de jaarlijkse weersinvloeden beter gemodelleerd kon worden.

In 2023 zijn de KNMI’23-klimaatscenario’s (KNMI 2023a) gepubliceerd. Klimaatscenario’s laten zien hoe het klimaat verder in de toekomst zou kunnen veranderen. Rond elk zichtjaar in de toekomst wordt voor een periode van 30 jaar gemiddelde en extreme weersomstandigheden berekend. Met deze gegevens kan de profielenmethodiek aardgas nu wel volledig worden toegepast. Naast de temperatuur zijn nu ook gegevens beschikbaar over de zoninstraling en de windsnelheid, over de hoogte van de zeespiegel, hoeveelheid neerslag, droogte, verdamping, vochtigheid en mist. Zodoende zijn meer effecten van klimaatverandering op het energieverbruik en de emissies van broeikasgassen te bepalen. Tevens zijn al deze gegevens nu beschikbaar voor een groot aantal weerstations. Hierdoor is het mogelijk om meer nauwkeurig en representatief de gemiddelde weersomstandigheden voor Nederland te berekenen.

Nu meer gegevens uit de klimaatscenario’s beschikbaar zijn, kan ook naar andere onderwerpen gekeken worden waar het klimaat en het weer invloed op hebben. Naast het energieverbruik naar ruimteverwarming (hoofdstuk 3) kan nu ook naar het effect op de energieproductie uit zonne- en windenergie (hoofdstuk 5 en 6) gekeken worden. Ook heeft het veranderende klimaat invloed op de emissies als gevolg van het landgebruik. In hoofdstuk 7 worden deze effecten besproken. Het berekenen van het effect van klimaatverandering op de emissies vanuit het landgebruik vraagt nog om verder onderzoek.

In elk hoofdstuk wordt eerst beschreven welke weersfactor(en) een belangrijke invloed hebben op de ontwikkeling van het onderwerp dat wordt behandeld. In de paragraaf daarna staat een beschrijving hoe met gegevens over de betreffende weersfactor(en) een indicator is af te leiden die deze invloed(en) beschrijft. In de laatste paragraaf van elk hoofdstuk staat beschreven hoe de betreffende indicator binnen de KEV gebruikt wordt, wat wordt opgesplitst in vier onderdelen:

- **De effecten van klimaatverandering op het verwachte energieverbruik en emissies;**
Door hogere temperaturen als gevolg van opwarming is het in de toekomst mogelijk dat bijvoorbeeld het verbruik van energie voor het verwarmen van woningen omlaag gaat, of dat er als gevolg van klimaatverandering meer wind komt of juist minder zon waardoor de hernieuwbare energieproductie verandert. Deze effecten zijn invoer voor diverse modellen die de berekeningen uitvoeren voor de KEV.
- **De onzekerheid van de effecten van klimaatverandering;**
De verwachte klimaatverandering is in elk klimaatscenario is verschillend. De

klimaatscenario's geven dus een indicatie van de onzekerheid van de effecten van klimaatverandering.

- **De effecten van het weer op het historische (gemeten) energieverbruik en emissies;**
Om goed te kunnen analyseren waarom het energieverbruik of de energieproductie van jaar op jaar verschilt, corrigeren we sommige historische energiegegevens voor effecten van het weer in dat jaar.
- **De onzekerheid van de effecten van het weer ten opzichte van het verwachte klimaat.**
Voor bepaalde beleidsdoelen speelt het weer in het jaar waarvoor het doel geldt een belangrijke rol. Er moet dus ook gekeken worden in hoeverre het weer kan afwijken van het op dat moment heersende klimaat.

In Bijlage 6 staan de resultaten van de verschillende analyses welke gebruikt kunnen worden door de diverse rekenmodellen. Het is mogelijk dat effecten op het energieverbruik en de emissies uiteindelijk dusdanig klein zijn, dat besloten wordt om het resultaat uit deze analyse niet mee te nemen in de modellen. Een voorbeeld van effecten die heel klein zijn, zijn de veranderingen van het klimaat op de verwachte windsnelheid en zoninstraling.

2 Gebruik van KNMI klimaatscenario's voor klimaat- en weerscorrectie in de KEV

2.1 Beschikbare klimaatscenario's

De KNMI'23-klimaatscenario's (KNMI 2023a) bestaan uit vier scenario's die een mogelijk toekomstig klimaat in Nederland rond 2050, 2100 en 2150 beschrijven. Deze paden zijn gebaseerd op het zesde klimaatrapport van het IPCC dat in augustus 2021 is gepubliceerd (IPCC 2021). De scenario's in dit rapport zijn gebaseerd op combinaties van sociaaleconomische ontwikkelingen en klimaatbeleid (Shared Socioeconomic Pathways, SSP's), die leiden tot verschillende concentraties van broeikasgassen.

Elk van de vier KNMI scenario's is gebaseerd op een combinatie van enerzijds de hoeveelheid broeikasgassen die nog zal worden uitgestoten en anderzijds in hoeverre Nederland droger of natter wordt. Per ontwikkeling worden twee scenario's onderscheiden.

Voor de uitstoot van broeikasgassen zijn de volgende scenario's beschikbaar:

- Een scenario waarin de uitstoot snel wordt verminderd en broeikasgassen worden verwijderd uit de atmosfeer. In dit scenario is de mondiale opwarming $1,7^{\circ}\text{C}$ rond 2050 ten opzichte van de periode 1850-1900 en zal daarna stabiel blijven rond die $1,7^{\circ}\text{C}$. Dit scenario is gebaseerd op SSP1-2.6 en wordt vanwege de lage uitstoot aangeduid met een hoofdletter 'L'.
- Een scenario waarin de uitstoot sterk toeneemt tot 2080 en daarna afvlakt. De mondiale opwarming komt dan uit op $4,9^{\circ}\text{C}$ rond 2100 ten opzichte van de periode 1850-1900. Dit scenario is gebaseerd op SSP5-8.5 en wordt vanwege de hoge uitstoot aangeduid met een hoofdletter 'H'.

Voor het droger en natter worden van Nederland zijn de volgende scenario's beschikbaar:

- Een nat scenario waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen. Deze wordt aangeduid met de kleine letter 'n'.
- Een droog scenario waarin de winters licht vernatten en de zomers sterk verdrogen. Deze wordt aangeduid met de kleine letter 'd'.

De combinatie geeft bij elkaar dus vier klimaatscenario's: Ln, Ld, Hn en Hd. Deze scenario's geven als het ware de hoekpunten waarbinnen het Nederlands klimaat zal veranderen. Hierbij is verondersteld dat elk scenario een even grote waarschijnlijkheid heeft.

Naast deze scenario's voor 2050, 2100 en 2150 is er ook een berekening gemaakt voor 2033. De verwachting is dat in 2033 de mondiale opwarming al de $1,5^{\circ}\text{C}$ bereikt. Deze berekening wordt als tussenpunt van beide L-scenario's gebruikt naar 2050.

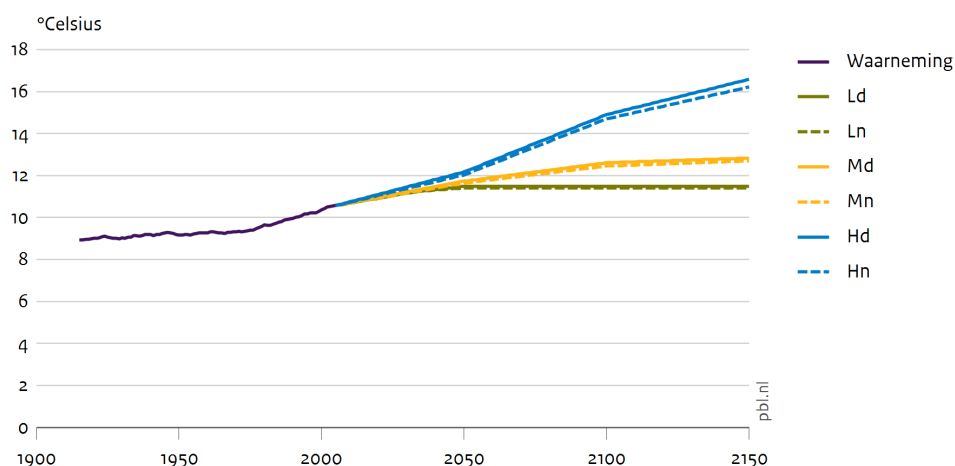
Voor specifieke toepassingen is er ook een apart klimaatscenario beschikbaar waarbij de mondiale opwarming $2,8^{\circ}\text{C}$ in 2100 ten opzichte van de periode 1850-1900 is. Dit zogenaamde M-scenario bevat ook weer een verdrogende (Md) en een vernattende (Mn) variant. Dit scenario is gebaseerd op SSP2-4.5.

Onlangs zijn er nieuwe mondiale emissiescenario's gepubliceerd (Van Vuuren et al. 2026). De klimaatscenario's zijn mede gebaseerd op deze emissiescenario's. Een opvallend verschil met de eerdere emissiescenario's die door het KNMI gebruikt zijn voor het bepalen van de KNMI'23-klimaatscenario's, is dat de bandbreedte kleiner is geworden: het hoogste scenario is minder hoog en het laagste scenario is minder laag. Het hoogste scenario is minder plausibel geworden en het laagste scenario is door de werkelijkheid ingehaald en niet meer haalbaar. De KNMI'23-klimaatscenario's zijn niet één-op-één gekoppeld aan specifieke emissiescenario's, maar gaan uit van een gemiddelde klimaatgevoeligheid. Als blijkt dat de klimaatgevoeligheid toch lager of hoger uitvalt, zijn de resultaten van de klimaatscenario's daarom nog steeds geldig. De nieuwe mondiale emissiescenario's zullen in de komende jaren nog verder worden uitgewerkt. Het is de verwachting dat rond 2030 het KNMI met nieuwe klimaatscenario's komt waarin de nieuwste inzichten zijn verwerkt (KNMI 2026). Om deze nieuwe klimaatscenario's vervolgens weer te gebruiken voor de KEV-analyses is het noodzakelijk dat het KNMI minstens dezelfde resultaten publiceert als voor de huidige klimaatscenario's.

2.2 Keuze van een klimaatscenario voor gebruik in de KEV

In Figuur 1 staan de verschillen tussen de scenario's als alleen naar de temperatuur wordt gekeken. In dit figuur is zichtbaar dat er zo goed als geen verschil in temperatuur is tussen de vernattende en de verdrogende variant van het uitstootscenario. Ook is zichtbaar dat de M-scenario's voor de temperatuur dichterbij de L-scenario's ligt dan bij de H-scenario's.

Figuur 1
30-jarig gemiddelde temperatuur in De Bilt



Voor de profielenmethodiek aardgas zijn ook gegevens over de zoninstraling en de windsnelheid nodig. Daarin zitten echter zeer kleine onderlinge verschillen tussen de verschillende klimaatscenario's. De gemiddelde zoninstraling neemt met zo'n 3 procent toe in 2050 en de gemiddelde windsnelheid met zo'n 2 procent af in 2050 ten opzichte van de periode 1991 tot en met 2020.

In de KEV wordt gerekend met één omgevingsscenario dat de economische groei, de prijzen, maar ook de klimaatverandering omvat. Uit de beschikbare klimaatscenario's moet dus één scenario gekozen worden om voor de KEV te gebruiken. Het KNMI geeft aan dat elk scenario even waarschijnlijk is en dat het uiteindelijk afhangt van het gevoerde beleid welk scenario uiteindelijk de werkelijkheid wordt. Er is iets voor te zeggen om één van de twee M-scenario's als leidend te zien. Echter er is zichtbaar dat dit scenario voor temperatuur meer aan de onderkant van de bandbreedte ligt dan een echt middenscenario zou veronderstellen. Daarom is ervoor gekozen om van de gegevens uit de vier hoofdscenario's het gemiddelde te nemen, zoals ook in het rapport uit 2020 is gedaan (Volkers et al. 2022).

Omdat de KEV alleen naar de effecten op de middellange termijn (vooralsnog tot en met 2040) kijkt, worden alleen de resultaten voor de jaren 2033 en 2050 uit de KNMI'23-klimaatscenario's gebruikt.

2.3 Gebruik van de gegevens uit de klimaatscenario's

Het KNMI biedt via hun dataportaal (KNMI 2023b) alle resultaten van de klimaatscenario's aan. Via de getransformeerde tijdreeksen zijn voor een groot aantal weerstations de resultaten te downloaden.

Een getransformeerde tijdreeks bevat gegevens over een periode van 30 jaren rond een zichtjaar van een scenario. De gegevens samen schetsen het verwachte gemiddelde weer (het klimaat) voor het betreffende zichtjaar en scenario. Elke reeks is een 'transformatie', een soort schaling, van het klimaat van het basisjaar 2005. Dit betekent dat de weergegevens van elke reeks gebaseerd zijn, oftewel een vergelijkbaar patroon hebben, als het waargenomen weer in de periode 1 januari 1991 tot en met 31 december 2020. Elke getransformeerde reeks is op het weer van deze historische periode gebaseerd. Voor zichtjaar 2050 zijn er dus gegevens voor de periode 1 januari 2036 tot en met 31 december 2065. Als naar de getransformeerde reeks rond zichtjaar 2033 wordt gekeken bevat deze ook gegevens voor bijvoorbeeld 1 januari 2036. Deze zijn echter niet gelijk aan elkaar omdat de getransformeerde reeks vanuit 2033 gebaseerd is op het klimaat uit 2033 volgens het L-scenario en de getransformeerde reeks vanuit 2050 gebaseerd is op het klimaat uit 2050 volgens één van de vier scenario's. Zie Bijlage 2 voor een uitgebreidere uitleg over de getransformeerde tijdreeksen.

In dit rapport wordt de volgende terminologie aangehouden in de verwijzing naar de verschillende beschikbare scenario's.

Tabel 1

Beschrijving gebruikte klimaatscenario's.

Naam	Beschrijving
2005	Basisjaar voor de klimaatscenario's. Het klimaat in 2005 is gebaseerd op het waargenomen weer in de periode 1 januari 1991 tot en met 31 december 2020.
2033L	Tussentpunt in het klimaat voor de klimaatscenario's Ld en Ln in het zichtjaar 2033.
2050Ld	Het klimaat in het zichtjaar 2050 volgens het scenario Ld. Het KNMI levert deze gegevens alleen voor het zichtjaar 2100, maar kunnen ook gebruikt worden voor 2050 ¹ .
2050Ln	Het klimaat in het zichtjaar 2050 volgens het scenario Ln. Het KNMI levert deze gegevens alleen voor het zichtjaar 2100, maar kunnen ook gebruikt worden voor 2050 ¹ .
2050Hd	Het klimaat in het zichtjaar 2050 volgens het scenario Hd.
2050Hn	Het klimaat in het zichtjaar 2050 volgens het scenario Hn.

¹ Zie <https://www.klimaatscenarios-data.knmi.nl/kerncijfers> met de uitleg over de kerncijfers.

3 Energieverbruik voor ruimteverwarming

3.1 Inleiding

Voor de gebouwde omgeving is het energieverbruik voor ruimteverwarming één van de grootste onderdelen van het totale energieverbruik. Dit energieverbruik voor ruimteverwarming kan van jaar-op-jaar nogal verschillen door het weer in het betreffende jaar. Bij een koude winter is dit meteen zichtbaar in het energieverbruik. Ook het veranderende klimaat speelt een rol in het toekomstig energieverbruik voor ruimteverwarming.

Om een gedegen inschatting te maken van het effect van het weer en klimaat op het energieverbruik voor ruimteverwarming in historische en toekomstige jaren en te corrigeren daarvoor, is in 2022 een onderzoek naar gedaan naar de beste methode om dit te doen (Volkers et al. 2022). Uit het onderzoek kwam naar voren dat de profielenmethodiek aardgas de beste methode is om dit te doen. In 2022 waren de benodigde gegevens nog niet volledig beschikbaar en is er voor een tussenoplossing gekozen, een afgeleide variant van deze methodiek. Met het verschijnen van de KNMI'23-klimaatscenario's is het wel mogelijk om de profielenmethodiek aardgas geheel te volgen.

In de volgende paragraaf staat een beschrijving van de profielenmethodiek aardgas. In paragraaf 3.3 is beschreven hoe we deze methodiek toepassen in de KEV.

3.2 Profielenmethodiek aardgas

Vanaf de KEV 2024 (PBL 2024) is de profielenmethodiek aardgas² gebruikt om het historisch aardgasverbruik te corrigeren voor de jaarlijkse weersinvloeden en het bepalen van het toekomstig energieverbruik voor ruimteverwarming.

De profielenmethodiek aardgas is een methodiek die voor de gezamenlijke energiebedrijven is ontwikkeld en sinds de liberalisering van de energiemarkt begin deze eeuw wordt gebruikt. Het is een methode die, op basis van het weer, gebruikt wordt om zo goed mogelijk te kunnen inschatten wat per uur het gasverbruik van een eindgebruiker is zodat kan worden bepaald welk gasleverancier verantwoordelijk is voor de kosten en dus hoeveel aardgas per uur elke gasleverancier heeft geleverd. Het is namelijk niet verplicht dat slimme meters van eindgebruikers voortdurend uitgelezen worden, waardoor er niet voldoende meetgegevens over hun

² De profielenmethodiek aardgas was vastgesteld in bijlage 1 van de allocatiecode gas (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0037931/2024-01-01#Bijlagen>). Door de aanpassingen die nodig waren om de profielenmethodiek aardgas toe te passen voor de KEV (zie bladzijde 17) is de allocatiecode gas aangepast en is de feitelijke berekeningswijze buiten de allocatiecode vastgelegd. De methode is ontwikkeld door adviesbureau 'De Energiemanager'.

energieverbruik per uur beschikbaar zijn. Ook na invoering van de nieuwe energiewet op 1 januari 2026 kunnen kleinverbruikers nog steeds het automatisch uitlezen van de meters weigeren (Wettenbank 2026). De profielenmethodiek aardgas is dus ontwikkeld om de financiële boekhouding tussen de verschillende energiemaatschappijen bij te houden³.

De basis voor de profielenmethodiek aardgas zijn het standaard jaarverbruik (SJV) en de profielfracties voor elk uur van het jaar. Het SJV is het gasverbruik van een eindverbruiker bij een normaal jaar wat betreft het weer. Minstens elk jaar wordt dit standaard jaarverbruik door de energieleverancier opnieuw berekend op basis van het werkelijk gemeten verbruik en het waargenomen weer in de betreffende periode. Dit standaard jaarverbruik wordt vervolgens gebruikt om voor elk uur de levering van gas te bepalen. Het standaard jaarverbruik wordt dan vermenigvuldigd met de profielfractie voor dat uur. Deze profielfractie wordt berekend uit een aantal onderdelen, of parameters, die eerst bepaald moeten worden:

- De TAC, de weersparameter. Deze parameter is gebaseerd op de actuele weersomstandigheden (een combinatie van temperatuur, windsnelheid en zoninstraling) in het van toepassing zijnde uur. De parameter is de maat voor het weersafhankelijke energieverbruik voor ruimteverwarming. De TAC wordt dagelijks voor alle uren van de voorgaande dag bepaald.
- De RER, TST en TOP. De parameters van het standaardprofiel aardgas:
 - RER, de regressieparameter, de hellingshoek, oftewel verbruik per eenheid van de weersparameter TAC.
 - TST, de stookparameter. De waarde van de weersparameter TAC waaronder er aardgasverbruik voor verwarmen plaats gaat vinden.
 - TOP, het weersonafhankelijke verbruik.

Deze parameters worden elk toepassingsjaar vooraf opnieuw vastgesteld met behulp van een regressieanalyse op basis van verbruiksgegevens van voorgaande jaren. In de volgende paragrafen worden deze berekeningen verder uitgelegd.

De bepaling van TAC

Voor elk uur van het toepassingsjaar wordt voor elk van de zes gebruikte weerstations (De Bilt, Eelde, Maastricht, De Kooy, Vlissingen en Twenthe) weersparameter (T_f) berekend. Vervolgens wordt dit gecombineerd tot één weersparameter per uur voor Nederland (TAC). Deze berekeningen zijn weergegeven in formules 3 en 4.

De windsnelheid en de zoninstraling worden gedeeld door een weegfactor. Deze weegfactoren zijn bepaald via een regressieanalyse⁴. Zoals is af te leiden uit vergelijking (1) hieronder heeft de weegfactor voor de windsnelheid de eenheid $\sqrt{m/s}/^{\circ}C$ en die voor de zoninstraling $(J/cm^2)/^{\circ}C$. De resulterende TAC in vergelijking (2) heeft dan als eenheid $^{\circ}C$.

³ Met de methodiek wordt per uur op basis van de afzetgegevens per gasontvangststation (de plek waar het gas verdeeld wordt naar de eindgebruikers) bepaald aan welke eindgebruiker dit gas is geleverd. Elke eindgebruiker is aangesloten bij een energiemaatschappij. Als bekend is welke eindgebruiker dit gas heeft afgenomen, is ook bekend welke energiemaatschappij aan de leverancier van het gas de bijbehorende kosten moet betalen.

⁴ Deze regressieanalyse is gemaakt bij de ontwikkeling van de profielenmethodiek aardgas en wordt niet beschreven in dit rapport.

$$(1) \quad T f_u = \frac{6 \times (T_u - \sqrt{W_u}/0,35) + 3 \times (T_{d-1} - \sqrt{W_{d-1}}/0,35) + (T_{d-2} - \sqrt{W_{d-2}}/0,35)}{10} + Q_u/40$$

$$(2) \quad TAC_u = 0,28 \times T f_{u_{De\ Bilt}} + 0,14 \times T f_{u_{Eelde}} + 0,15 \times T f_{u_{Maastricht}} + 0,15 \times T f_{u_{De\ Kooy}} \\ + 0,12 \times T f_{u_{Vlissingen}} + 0,16 \times T f_{u_{Twenthe}}$$

waarin

$T f_u$	Gecombineerde weersparameter met temperatuur, wind en zon in een uur met als eenheid °C.
T_u	Gemiddelde temperatuur in °C in een uur.
T_{d-1}	Gemiddelde temperatuur in °C van de vorige dag.
T_{d-2}	Gemiddelde temperatuur in °C twee dagen terug.
W_u	Gemiddelde windsnelheid in m/s in de laatste 10 minuten van het uur.
W_{d-1}	Gemiddelde windsnelheid in m/s van de vorige dag.
W_{d-2}	Gemiddelde windsnelheid in m/s twee dagen terug.
Q_u	Totale globale zoninstraling in J/cm ² in een uur.
Weegfactor 0,35	Weegfactor voor de windsnelheid met als eenheid $\sqrt{m/s}/^{\circ}C$.
Weegfactor 40	Weegfactor voor de zoninstraling met als eenheid $(J/cm^2)/^{\circ}C$.
TAC_u	De gemeten weersparameter in het betreffende uur met als eenheid °C.

Deze berekening vindt dagelijks voor alle uren van de voorgaande dag plaats.

De bepaling van RER, TST en TOP

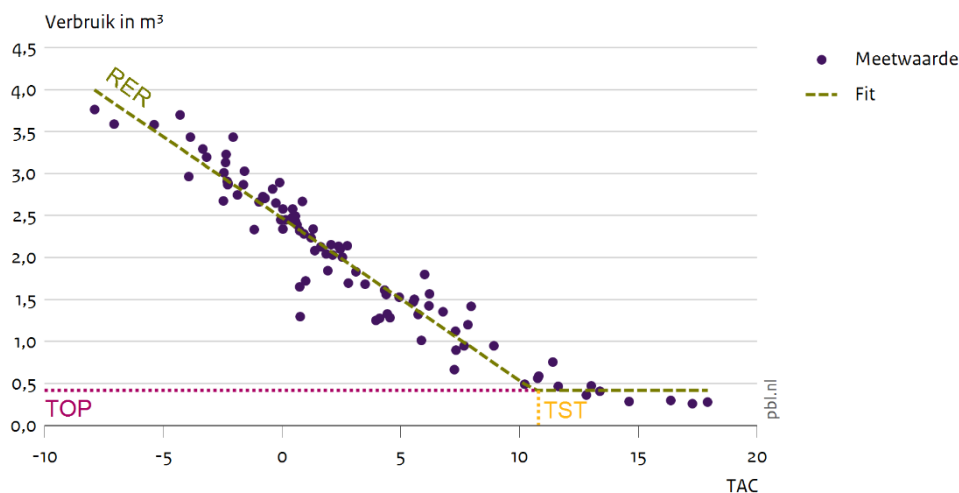
Voor elk uur van twee standaarddagen (werkdag of weekenddag) worden de parameters RER, TST en TOP bepaald. Dit gebeurt met een regressieanalyse⁵ op basis van de totale Nederlandse gaslevering aan G1A⁶ aansluitingen. Dit resulteert in 2 dagen met de 24 waarden voor RER, TST en TOP. Deze twee dagen worden geprojecteerd op het hele toepassingsjaar.

⁵ Er zijn diverse methoden om een verband te bepalen tussen het energieverbruik en het weer. Voor de profielenmethodiek aardgas is gekozen om de regressieanalyse te gebruiken. In deze studie hebben we niet gekeken of een andere methode tot een verschillend resultaat leidt.

⁶ Kleinverbruikers met een standaard jaarverbruik < 5000 m³(n;35,17) en met een gasmeter ≤ G6

Figuur 2

Voorbeeld van een regressieanalyse voor het bepalen van TST, RER en TOP⁷.



Figuur 2 illustreert de regressieanalyse voor één bepaald uur op een standaarddag. Om dan voldoende meetwaardes te hebben voor de regressieanalyse worden de meetwaardes over een periode van drie jaar gebruikt. Voor een werkdag zijn dit 780 meetwaardes (verbruiken van gas). Als deze meetwaarde vervolgens gerelateerd wordt aan de TAC is duidelijk een knippunt in de puntenwolk zichtbaar. Het vlakke gedeelte van de puntenwolk betreft dan het verbruik niet bestemd voor ruimteverwarming in het betreffende uur en de helling aan de linkerkant de relatie tussen de TAC en het verbruik van gas voor ruimteverwarming. Om uit de regressieresultaten een geschat verbruik te berekenen kunnen formules (3) en (4) gebruikt worden.

De initieel uit de regressie verkregen waarde voor RER heeft de eenheid m³/eenheid weersparameter. De initieel uit de regressie verkregen waarde van TOP heeft de eenheid m³. Deze waarden worden zodanig geschaald dat bij de gemiddelde weersomstandigheden (30 jaren historische weersgegevens) de som van het resultaat van formule (3) over alle uren van het jaar gelijk is aan 1. Na deze schaling zijn de definitieve waarden voor RER en TOP verhoudingsgetallen.

De bepaling van de profielfractie

Voor elk uur in een toepassingsjaar wordt vervolgens een profielfractie berekend.

$$(3) \quad Pf_u = \max(TOP_u, (TST_u - TAC_u) \times RER_u + TOP_u)$$

De profielfractie wordt gebruikt om bij de allocatie van gasverbruik een schatting te maken van de daadwerkelijke aardgaslevering door een energieleverancier in het betreffende uur.

⁷ Deze figuur dient als voorbeeld, de getoonde waarden hebben in dit rapport verder geen betekenis.

Het geschatte verbruik (voor een uur) wordt dan berekend aan de hand van de formule:

$$(4) \quad \text{Verbruik}_u = \sum SJV_j \times Pf_u$$

Pf_u	Profielfractie in het betreffende uur.
TOP_u	Weersonafhankelijk deel in het betreffende uur.
TST_u	Weersparameter in het betreffende uur waarboven aardgasverbruik voor ruimteverwarming gaat plaatsvinden.
TAC_u	De gemeten weersparameter in het betreffende uur.
REr_u	De regressieparameter, de hellingshoek van de regressielijn in het betreffende uur.
Verbruik_u	Geschatte werkelijke verbruik van aardgas in het betreffende uur voor één BRP ⁸ .
$\sum SJV_j$	De som van de standaard jaarverbruiken aardgas voor één BRP in het betreffende toepassingsjaar.

Door de profielfracties van alle uren in een toepassingsjaar op te tellen, wordt een indicator verkregen waarmee het weer in het betreffende toepassingsjaar ten opzichte van het historisch gemiddelde kan worden gekenschetst. In een normaal jaar tellen de profielfracties op tot 1. In een koud of warm jaar is de som van de profielfracties respectievelijk groter of kleiner dan 1.

Aanpassingen profielenmethodiek aardgas ten behoeve van de KEV

De profielenmethodiek blijkt een goede methodiek voor het corrigeren van het energieverbruik voor ruimteverwarming naar gemiddelde weersomstandigheden (Volkers et al. 2022). De gemiddelde weersomstandigheden die bij de profielenmethodiek gebruikt worden zijn echter gebaseerd op het verleden (en lopen in feite 15 jaren achter). Terwijl bij de KEV gebruik gemaakt wordt van gemiddelde weersomstandigheden rondom het toepassingsjaar (*jaar* -14 tot en met *jaar* +15) en dus ook toekomstige jaren, met behulp van de klimaatscenario's van het KNMI.

De energiemaatschappijen hebben aangegeven dat ze bereid zijn om de profielenmethodiek aan te passen, zodat deze gebruik gaat maken van de klimaatscenario's en overeenkomt met de aannames van de KEV. Omdat hier een wetswijziging (Allocatiecode aardgas) voor nodig is zal dit waarschijnlijk pas bij het toepassingsjaar 2027 ingevoerd zijn. Vanaf 2027 kunnen dan de standaard jaarverbruiken (SJV's) zonder extra rekenslagen gebruikt worden voor de projecties voor toekomstige jaren. Tot 2027 moeten de SJV's echter bewerkt worden om ze te kunnen omrekenen naar de gemiddelde weersomstandigheden op basis van de KNMI'23-klimaatscenario's.

Bepalen van de benodigde weersgegevens volgens KNMI'23-klimaatscenario's

Om de klimaatscenario's te gebruiken in de profielenmethodiek aardgas moeten:

1. uurlijkse waarden voor temperatuur, zoninstraling en windsnelheid worden afgeleid van de dagwaarden die beschikbaar zijn in de klimaatscenario's.
2. de gemiddelde weersomstandigheden voor een toepassingsjaar worden afgeleid van de zichtjaren die beschikbaar zijn in de klimaatscenario's (2005, 2033 en 2050).

⁸ De 'Balance Responsible Party' is de balansverantwoordelijke partij, dit is meestal de energieleverancier.

Met deze reeksen kunnen de gemiddelde weersomstandigheden voor het opstellen van het standaardprofiel voor het toepassingsjaar bepaald worden. De gemiddelde weersgegevens voor een toepassingsjaar is een reeks met uurwaarden van de over 30 jaren gemiddelde TAC (zie formule (2)). In de profielenmethodiek aardgas wordt deze reeks van gemiddelde waarden van TAC de Standaard Profiel Temperatuur (SPT) genoemd. Zoals volgt uit de formule voor TAC zijn gegevens nodig voor alle zes weerstations.

Om de uiteindelijke SPT reeks te bepalen voor alle toepassingsjaren moet dus eerst voor 30 jaar rondom een toepassingsjaar de TAC worden berekend. Om dit te kunnen berekenen zijn in de basis de volgende gegevens van de zes weerstations nodig:

- Gemiddelde temperatuur per dag, volgens het klimaatscenario L in 2033, en de klimaatscenario's Ld, Ln, Hd en Hn in 2050
- Totale globale zoninstraling per dag, volgens het klimaatscenario L in 2033, en de klimaatscenario's Ld, Ln, Hd en Hn in 2050
- De gemiddelde windsnelheid per dag volgens het klimaatscenario L in 2033, en de klimaatscenario's Ld, Ln, Hd en Hn in 2050
- De waargenomen gemiddelde temperatuur per uur in de periode 1991 tot en met 2020
- De waargenomen globale zoninstraling per uur in de periode 1991 tot en met 2020
- De waargenomen gemiddelde windsnelheid per uur in de periode 1991 tot en met 2020.
- De waargenomen gemiddelde temperatuur per dag in de periode 1991 tot en met 2020
- De waargenomen gemiddelde windsnelheid per dag in de periode 1991 tot en met 2020.

De eerste bewerking is het bepalen van uurwaarden voor temperatuur, windsnelheid en zoninstraling vanuit dagwaarden die beschikbaar zijn in de gebruikte klimaatscenario's. Deze bewerking wordt hieronder beschreven.

De gemiddelde temperatuur en windsnelheid per dag zijn voor de zes weerstations (De Bilt, Eelde, Maastricht, De Kooy, Vlissingen en Twenthe) beschikbaar als getransformeerde tijdreeksen. Echter de gemiddelde temperatuur per uur, de gemiddelde windsnelheid voor de laatste 10 minuten in een uur en de totale globale zoninstraling per uur zijn niet beschikbaar in de getransformeerde tijdreeksen. Wel is de totale globale zoninstraling per dag beschikbaar in de getransformeerde tijdreeksen. Zoals in bijlage 1 over de getransformeerde tijdreeksen kan worden gezien, is er per dag een sterke relatie tussen de waarneming van het weer en de getransformeerde reeks. Na overleg met het KNMI is besloten om aan de hand van de uurlijkse waarnemingen van het KNMI voor de periode 1 januari 1991 tot en met 31 december 2020 en de bijbehorende dagelijkse waarnemingen gecombineerd met de getransformeerde tijdreeksen een getransformeerde tijdreeks per uur te maken.

Om van de dagelijkse getransformeerde reeksen naar de uurlijkse getransformeerde reeksen te komen zijn de volgende formules gebruikt:

Voor de temperatuur

$$(5) \quad Ttr_u = Tw_u + (Ttr_d - Tw_d)$$

Voor de windsnelheid

$$(6) \quad Wtr_u = \max(0, Ww_u + (Wtr_d - Ww_d))$$

Voor de zoninstraling

$$(7) \quad Q_{tr_u} = Q_{tr_d} * (Q_{w_u}/Q_{w_d})$$

T_{tr_u}	Getransformeerde gemiddelde temperatuur in °C in een uur.
T_{w_u}	Waargenomen gemiddelde temperatuur in °C in een uur.
T_{tr_d}	Getransformeerde gemiddelde temperatuur in °C op een dag.
T_{w_d}	Waargenomen gemiddelde temperatuur in °C op een dag.
W_{tr_u}	Getransformeerde gemiddelde windsnelheid in m/s in de laatste 10 minuten van een uur.
W_{w_u}	Waargenomen gemiddelde windsnelheid in m/s in de laatste 10 minuten van een uur.
W_{tr_d}	Getransformeerde gemiddelde windsnelheid in m/s op een dag.
W_{w_d}	Waargenomen gemiddelde windsnelheid in m/s op een dag.
Q_{tr_u}	Getransformeerde totale globale zoninstraling in J/cm ² in een uur.
Q_{w_u}	Waargenomen totale globale zoninstraling in J/cm ² in een uur.
Q_{tr_d}	Getransformeerde totale globale zoninstraling in J/cm ² op een dag.
Q_{w_d}	Waargenomen totale globale zoninstraling in J/cm ² op een dag.

Voor de temperatuur wordt het verschil tussen de gemiddelde dagtemperatuur van de getransformeerde tijdreeks en de gemiddelde dagtemperatuur van de waarnemingen bij de waarneming per uur opgeteld (zie formule (5)). Het gemiddelde van de 24 temperaturen per uur van de getransformeerde reeks is gelijk aan de gemiddelde dagtemperatuur uit de getransformeerde tijdreeks. Als vereenvoudiging is hierbij wel aangenomen dat het temperatuureffect in de transformaties evenredig over de dag is verdeeld. Een effect dat door bijvoorbeeld bewolking de nachten juist minder afkoelen is hierbij dus niet meegenomen.

Voor de wind wordt eigenlijk hetzelfde gedaan als bij temperatuur. Echter hier moet voorkomen worden dat dit leidt tot negatieve windsnelheden. Daarvoor is de minimale windsnelheid altijd nul m/s (zie formule (6)). Als gevolg zal het gemiddelde van windsnelheden per uur niet de gemiddelde windsnelheid per dag zijn. Echter omdat het de windsnelheid van de laatste 10 minuten van een uur betreft, is dat bij de waarnemingen nu ook al het geval. Als extra vereenvoudiging is net als bij de temperatuur aangenomen dat het effect gelijk is verdeeld over de dag.

De berekening van de globale zoninstraling gaat net iets anders. Omdat hier sprake is van een hoeveelheid in plaats van een gemiddelde moet een gewogen correctie plaatsvinden (zie formule (7)). Hierbij wordt meteen voorkomen dat op tijdstippen dat de zon niet kan schijnen (in de nacht, wanneer de globale zoninstraling nul J/cm² is) toch een globale zoninstraling wordt berekend. Met deze berekening is het wel mogelijk dat de totale globale instraling in een uur boven het theoretisch maximum uitkomt. Echter het verschil tussen de getransformeerde tijdreeks en de waarnemingen van de zoninstraling per dag is zo klein dat hier niet voor gecorrigeerd is.

Bepalen van weersgegevens voor de toepassingsjaren van de KEV

Voor elk zichtjaar uit de KNMI'23-klimaatsscenario's zijn nu voor een periode van 30 jaar rond dat zichtjaar de basisgegevens voor de profielenmethodiek aardgas beschikbaar. In de KEV kijken we naar het klimaat van bijvoorbeeld 2030 en dit jaar is niet direct in de KNMI'23-klimaatsscenario's beschikbaar. De volgende stap is daarom het bepalen van de weersomstandigheden rond een toepassingsjaar van de KEV. Dit gebeurt door de in de vorige stap bepaalde gegevens tussen de zichtjaren te interpoleren. Deze stap geldt voor alle toepassingen en is in algemene termen beschreven in Bijlage 3.

Berekenen van de weersafhankelijk aandeel voor elk toepassingsjaar

Na de vorige stappen zijn de basisgegevens voor het bepalen van de TAC van 30 jaren rondom een toepassingsjaar bekend.

De volgende stap is met deze basisgegevens de TAC berekenen voor alle uren over deze gehele periode en vervolgens over de 30 jaren te middelen, zodat één reeks met TAC voor alle uren van een toepassingsjaar bekend is. Dit betreft dan de SPT voor het betreffende toepassingsjaar. Van deze SPT wordt vervolgens het weersafhankelijk aandeel (TAP) afgesplitst. Deze berekening wordt hieronder beschreven.

Voor elk uur van de 30-jarige periode rondom het toepassingsjaar wordt de TAC bepaald op basis van de geïnterpoleerde reeksen met weergegevens, zie formule (2).

Van het standaardprofiel aardgas in het referentiejaar (meestal meest recente historische jaar) wordt de reeks met TST (stookparameters) van het G1A profiel genomen. Dit betreffen 8760⁹ waarden voor TST. Deze waarden worden op de 30 jarige periode geprojecteerd zodat de waarde van TST bij het dagtype (weekdag of weekenddag) en het juiste uurnummer past.

Vervolgens worden de waarden van TAC gemaximeerd op de bij dat betreffende uur horende waarden van TST. Hiermee wordt het deel van de TAC dat niet relevant is voor het stookgedrag verwijderd.

Vervolgens worden de 30 jaren gemiddeld. De jaren worden (per jaar) in een matrix gezet en vervolgens worden de jaren zo verschoven dat op een rij altijd een waarde staat met hetzelfde dagtype en hetzelfde uurnummer. De referentie daarvoor is de tijdstempelreeks van het toepassingsjaar. De rijen worden vervolgens gemiddeld.

Het resultaat is een tijdreeks van gemiddelde waarden voor TAC voor elk uur voor het toepassingsjaar. Deze waarden zijn de basis waarmee de profielfracties, die de gemiddelde weersomstandigheden voor een jaar weergeven, bepaald worden.

Bepalen parameter voor berekening energieverbruik voor ruimteverwarming in een toepassingsjaar rekening houdend met klimaatverandering

Nu de standaardprofielen aardgas bekend zijn kan, voor een toekomstig toepassingsjaar, de benodigde weerscorrectiefactor en het geprognosticeerde weersgecorrigeerde energieverbruik voor ruimteverwarming worden bepaald.

De eerste stap is het bepalen van de weerscorrectiefactor. Dit is de TAP, het weersafhankelijke aandeel van het standaard jaarverbruik uitgedrukt als een factor. De hiervoor benodigde gegevens (per uur) zijn:

- De profielparameters TST en RER van het G1A profiel in het referentiejaar (doorgaans meest recente historische jaar, voor de berekening voor de KEV is gebruik gemaakt van het referentiejaar 2024).
- De weersparameters TAC voor het referentiejaar.

⁹ De complicaties ten gevolge van schrikkeljaren worden hier buiten beschouwing gelaten.

- De SPT (gemiddelde TAC op basis van de KNMI'23-klimaatsscenario's) per uur in het toepassingsjaar.
- De (som van) standaard jaarverbruiken (SJV's) in het referentiejaar.

Eerst wordt het weersafhankelijke deel en weersonafhankelijke deel van het verbruik in het referentiejaar bepaald, beiden uitgedrukt als factor. De waarde TAP_{ref} is de weerscorrectiefactor voor het referentiejaar:

$$(8) \quad TAP_{ref} = \sum_u \max(0, (TST_{ref;u} - TAC_{ref;u}) \times RER_{ref;u})$$

$$(9) \quad TOP_{ref} = \sum_u TOP_{ref;u}$$

Vervolgens wordt het weersafhankelijke deel in het (toekomstige) toepassingsjaar bepaald, door in formule (8) in plaats van TAC, de SPT van het toepassingsjaar te gebruiken:

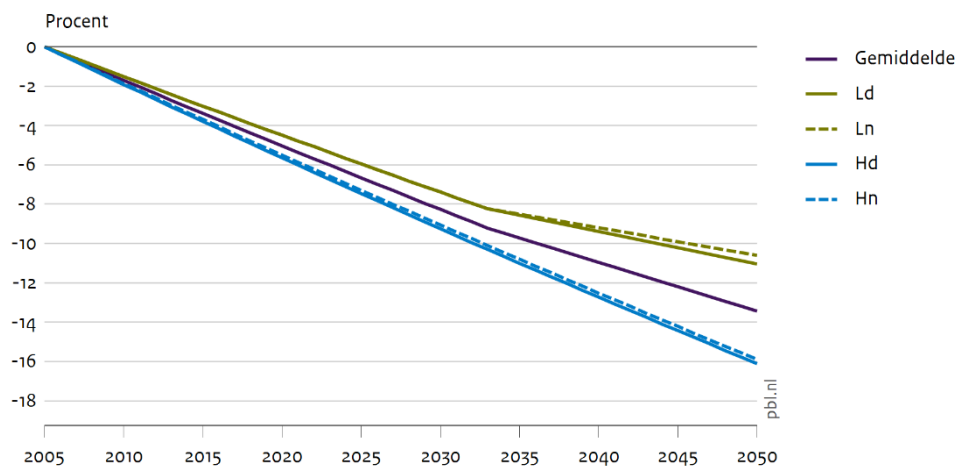
$$(10) \quad TAP_{toepas} = \sum_u \max(0, (TST_{ref;u} - SPT_{toepas;u}) \times RER_{ref;u})$$

3.3 Profielenmethodiek aardgas toepassen voor de KEV

Scenario voor de KEV vanwege toekomstige klimaatverandering

De waarde van TAP_{toepas} is de correctiefactor voor het toepassingsjaar waarmee voor de KEV de relevante modellen de berekeningen kunnen maken om het toekomstige energieverbruik voor ruimteverwarming mee te berekenen. In Figuur 3 is het verloop van TAP_{toepas} (zie Tabel 12 in Bijlage 6 voor de achterliggende gegevens) gegeven voor de verschillende KNMI'23-klimaatsscenario's en voor het gemiddelde van deze scenario's. Het gemiddelde wordt gebruikt voor de correctie vanwege het veranderende klimaat in de KEV.

Figuur 3
Procentuele afname TAP



Met de correctiefactor TAP_{toepas} kan uiteindelijk het voor klimaat gecorrigeerde energieverbruik in m^3 in het toepassingsjaar worden bepaald, het SJV_{TAP} . Dit gebeurt via de formule hieronder:

$$(11) \quad \begin{aligned} SJV_{TAP;ref} &= (1 - TOP_{ref}) * SJV_{ref} \\ SJV_{TAP;toepas} &= SJV_{TAP;ref} * TAP_{ref} / TAP_{toepas} \end{aligned}$$

Waarin:

TAP_{ref}	De weerscorrectiefactor, het weersafhankelijke deel van het verbruik uitgedrukt als factor, in het referentiejaar
$TST_{ref;u}$	Stookparameter, de waarde van de weersparameter waarbij energiegebruik voor ruimteverwarming plaats gaat vinden in uur u van het referentiejaar
$TAC_{ref;u}$	De weersparameter voor uur u in het referentiejaar
$RER_{ref;u}$	De regressieparameter (temperatuurafhankelijkheid) voor uur u van het referentiejaar
TOP_{ref}	Het weersonafhankelijke deel van het verbruik uitgedrukt als factor in het referentiejaar
$TOP_{ref;u}$	Het weersonafhankelijke deel van het verbruik uitgedrukt als factor in uur u van het referentiejaar
TAP_{toepas}	De weerscorrectiefactor, het weersafhankelijke deel van het verbruik uitgedrukt als factor, in het toepassingsjaar
$SPT_{toepas;u}$	SPT, de standaard profieltemperatuur (KNMI'23) in uur u van het toepassingsjaar
$SJV_{TAP;ref}$	Het weersafhankelijke deel van de som van standaard jaarverbruiken in het referentiejaar in m^3 (of andere energiedrager) per jaar
SJV_{ref}	De som van de standaard jaarverbruiken in het referentiejaar in m^3 per jaar
$SJV_{TAP;toepas}$	Het weersafhankelijke deel van de som van de standaard jaarverbruiken in het toepassingsjaar in m^3 per jaar.

Onzekerheden in het klimaat

De verschillende modellen in de KEV nemen aan dat het klimaat zich ontwikkelt volgens het “gemiddelde” scenario uit Figuur 3 en berekenen volgens dit scenario het effect van klimaatverandering op het energieverbruik voor ruimteverwarming. In de resultaten van de vier klimaatscenario's is echter te zien dat het effect van klimaatverandering minder (Ld en Ln) of juist meer (Hd en Hn) kan zijn. Om ook rekening te houden met deze mogelijke uitkomsten wordt in de onzekerhedenberekening hier rekening mee gehouden.

Voor de onzekerhedenberekening wordt het klimaatscenario Hd gebruikt als grootst mogelijk klimaatverandering en het klimaatscenario Ln als kleinste mogelijk klimaatverandering. Zoals te zien in Figuur 3, zijn deze scenario's volgens de aanpak van de profielenmethodiek aardgas te beschouwen als de uiterste grenzen van klimaatverandering. Voor de KEV gaan we echter uit van een 90 procent bandbreedte (percentiel van 5 procent tot en met 95 procent). Ook is de kans op elk klimaatscenario en elk resultaat er tussenin even groot, wat betekent dat de bandbreedte een uniforme verdeling heeft. Om bij een uniforme verdeling van een 100 procent bandbreedte (de uiterste scenario's) naar een 90 procent bandbreedte te komen moet elke 100 procent-waarde vermenigvuldigd worden met een factor $90/100^{\text{ste}}$. In Tabel 2 staat een overzicht van de te gebruiken onzekerheden, dus de 90 procent bandbreedtes van het klimaateffect op ruimteverwarming.

Tabel 2

Onzekerheid vanuit klimaat voor ruimteverwarming (percentuele afwijking ten opzichte van het “gemiddelde” klimaatscenario)

Jaar	Onderwaarde TAP (warmer klimaat)	Bovenwaarde TAP (kouder klimaat)
2030	-0,96%	+0,87%
2035	-1,28%	+1,20%
2040	-1,78%	+1,78%

Zie Tabel 12 in Bijlage 6 voor de hele reeks met gegevens waarmee deze onzekerheid te berekenen is.

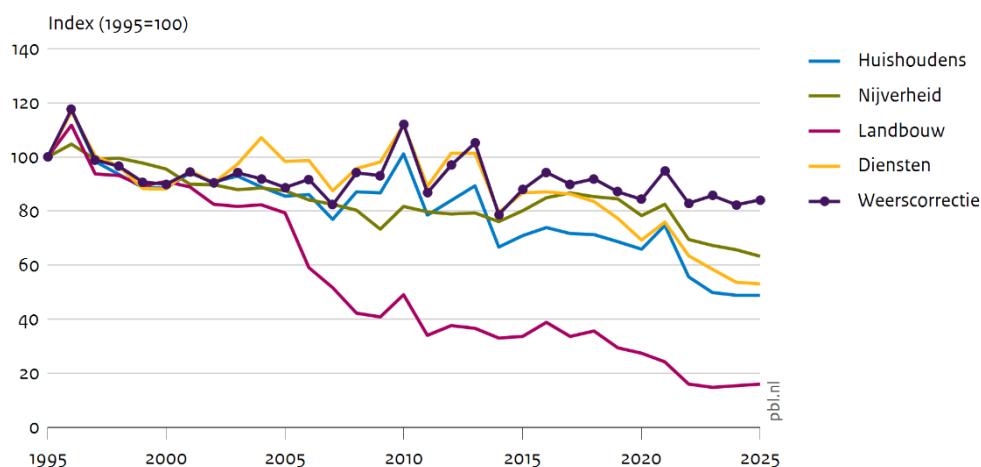
Verwerken voor berekening weersgecorrigeerd verbruik

Aardgas

In de energiestatistieken is duidelijk zichtbaar dat van jaar-op-jaar het aardgasverbruik van bepaalde sectoren flink kan veranderen. Bij koude winters is het aardgasverbruik veel hoger dan bij milde winters. In Figuur 4 hieronder is dit duidelijk zichtbaar voor de sector huishoudens en diensten. Dit wordt veroorzaakt doordat met name het gasverbruik voor ruimteverwarming gevoelig is voor de weersomstandigheden. Ook bij de landbouw is een effect te zien, al is het hier wat lastiger. Het afnemend verbruik bij de landbouw veroorzaakt dat de pieken en dalen in het verbruik ook kleiner worden. Bij de nijverheid lijkt in een aantal jaren (1996 en 2021) wel een effect zichtbaar dat bij een relatief koud jaar het verbruik van aardgas hoger uitkomt. Echter die relatie is veel kleiner dan in de andere sectoren. Dit wordt veroorzaakt doordat er in de nijverheid relatief veel gas wordt verbruikt voor andere doeleinden (bijvoorbeeld in ovens en drogers) dan ruimteverwarming.

Figuur 4

Trend energetisch verbruik aardgas diverse sectoren en trend van de factor voor de weerscorrectie



Het resultaat van deze analyse is dat we alleen de sectoren huishoudens, diensten en landbouw voor de jaarlijkse weersinvloeden gaan corrigeren. Dit wordt gedaan om beter de veranderingen in het historische energieverbruik te kunnen duiden. Als het energieverbruik voor de invloed van het weer is gecorrigeerd kan beter in kaart worden gebracht wat het effect van besparing (thermostaat omlaag, beter isoleren) of verandering van energiedrager (zoals elektriciteit en hout) is.

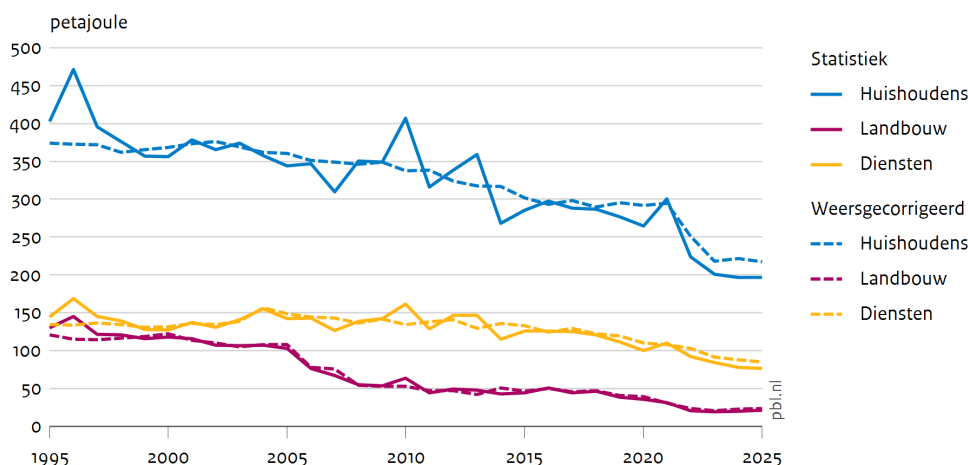
Ook is er voor gekozen om alleen het energetisch verbruik voor het weer te corrigeren. Naast het energetisch verbruik van aardgas, wordt er ook aardgas verbruikt in warmte-kracht-installaties (WKK) om naast warmte ook elektriciteit te produceren. Een deel van de warmteproductie uit deze installaties zal ook gebruikt worden voor ruimteverwarming. Echter de inzet van deze installaties zal niet alleen gestuurd worden door de vraag naar ruimteverwarming maar ook vanwege een gunstige verhouding van de gas- en elektriciteitsprijs. Op deze momenten worden deze installaties dus ingezet om met name elektriciteit te produceren. Vanwege deze dubbele functies van de WKK-installaties is het niet mogelijk om hier ook een weerscorrectie specifiek gericht op ruimteverwarming op toe te passen.

Zoals echter al eerder is vermeld worden de huidige standaardprofielen aardgas nog berekend aan de hand van het klimaat gebaseerd op 30 historische jaren. Om de weerscorrectie van het historische energieverbruik conform de methodiek voor het klimaat te kunnen doen, moet er tot 2027 een extra berekening worden gemaakt om de weerscorrectiefactor volgens het klimaat van *jaar-14* tot met *jaar+15* te kunnen bepalen. In Bijlage 4 is deze extra berekening beschreven. Het verloop van deze weerscorrectiefactor is al in bovenstaand figuur weergegeven.

Als uiteindelijk het energetisch verbruik van aardgas van de huishoudens, diensten en landbouw wordt gecorrigeerd voor het weer in het betreffende jaar, leidt dit tot onderstaand figuur. Hieronder is goed te zien dat de pieken en dalen in het energieverbruik zijn weg gecorrigeerd. Vanuit de gecorrigeerde kan vervolgens de andere effecten worden geanalyseerd. Hierin is dus duidelijk het effect van de hoge energieprijzen vanaf 2022 goed te zien.

Figuur 5

Aardgasverbruik van diverse sectoren volgens de statistiek en als voor het weer in een jaar wordt gecorrigeerd



In Tabel 13 van Bijlage 6 staan alle te gebruiken profielfactoren voor de periode 1995 tot en met 2024, waarmee het aardgasverbruik volgens de statistiek gecorrigeerd kan worden naar een weersgecorrigeerd aardgasverbruik.

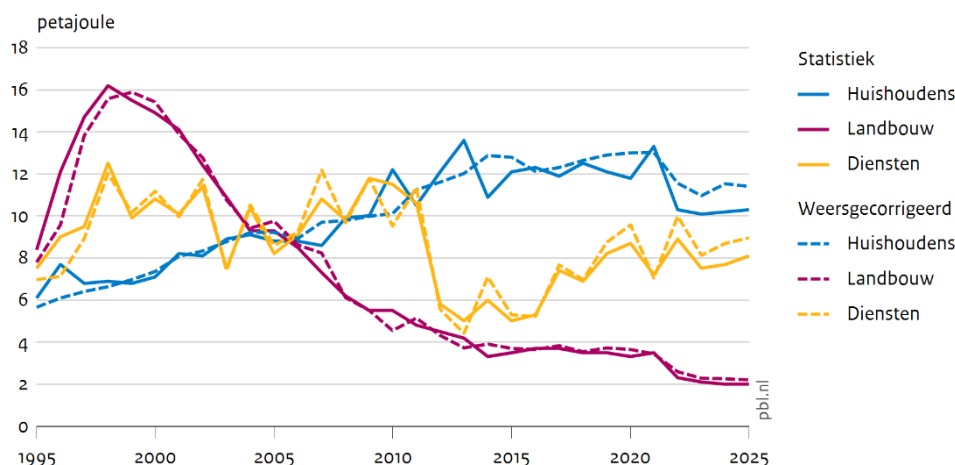
Overige energiedragers

Naast aardgas wordt er tegenwoordig ook veel meer elektriciteit verbruikt voor ruimteverwarming en ook is er ook warmte uit stadsverwarmingsnetten voor ruimteverwarming. Bij elektriciteit speelt het probleem dat elektriciteit meer voor andere doeleinden (bijvoorbeeld verlichting, witgoed, maar ook de koeling van ruimtes) wordt gebruikt dan voor ruimteverwarming. De hoeveelheid elektriciteit die gebruikt wordt voor de koeling van de ruimtes is ook afhankelijk van het weer. Om het elektriciteitsverbruik dus goed te kunnen corrigeren, moet met beide rekening worden gehouden. Het ontbreekt echter aan goede gegevens over hoeveel elektriciteit er nu precies voor ruimteverwarming en ruimtekooling wordt gebruikt. Dit is de reden om het statistisch elektriciteitsverbruik niet te corrigeren voor de invloed van het weer. Dit houdt wel in dat bij analyses van het historisch elektriciteitsverbruik hier apart rekening mee moet worden gehouden.

Het verbruik van warmte uit stadsverwarmingsnetten volgt redelijk het patroon van het gasverbruik. Ook de geleverde warmte wordt met name gebruikt voor de verwarming van de ruimtes. Het is wel mogelijk om hier een correctie op toe te passen. Omdat de toepassingen van de geleverde warmte zo goed als hetzelfde zijn als de toepassingen aardgasverbruik, kan hier ook de weerscorrectiefactor uit de profielenmethodiek aardgas gebruikt worden. Als deze correctie wordt toegepast leidt dit tot Figuur 6 hieronder.

Figuur 6

Levering van warmte aan diverse sectoren volgens de statistiek en als voor het weer in een jaar wordt gecorrigeerd



In bovenstaand figuur is goed te zien dat bij de sectoren huishoudens en landbouw de grootste pieken en dalen zijn weg gecorrigeerd. Echter bij de diensten veroorzaakt deze correctie juist extra pieken en dalen. Dit wordt veroorzaakt doordat de statistiek van de warmtelevering aan de diensten grote onzekerheden bevatte. Pas zeer recent heeft het CBS (CBS 2025) hier betere gegevens over beschikbaar, die nu langzamerhand verwerkt worden in de statistieken. Door deze onzekere statistiek van de warmteleveringen aan de diensten, corrigeren we vooralsnog alleen de warmteleveringen aan de huishoudens en de landbouw voor de invloed van het weer.

Consequenties voor de energiebalans

Doordat het aardgasverbruik en de leveringen van warmte voor het weer zijn gecorrigeerd heeft dit ook effect op andere posten in de energiebalans. Dat verschil in het verbruik van aardgas en de levering van warmte moet toch ergens worden opgevangen. De verschillen in de warmteleveringen worden verwerkt in de sector energiebedrijven. Daar zal een WKK dit verschil gaan oplossen waarbij geldt dat er 0,5 petajoule aardgas meer of minder wordt ingezet om 1 petajoule aan warmte respectievelijk meer of minder te leveren (ECN 2001). Dit heeft dan geen invloed op de elektriciteitsproductie. Een kanttekening is dat deze aanpak werkt zolang er nog warmte wordt geleverd vanuit WKK's op aardgas. Waarschijnlijk in de nabije toekomst moet deze aanpak worden aangepast.

Het uiteindelijk verschil in het aardgasverbruik (zowel bij de huishoudens, diensten, landbouw en energiebedrijven) wordt opgevangen door meer of minder invoer van aardgas.

Onzekerheden in het weer

Een belangrijk onderdeel van de KEV is het berekenen hoe groot de kans is dat de klimaat- en energiedoelen gehaald worden. Veelal gelden deze doelen voor een specifiek jaar. Het toevallige weer in dat jaar bepaalt dus in belangrijke mate in hoeverre dit doel behaald wordt. Dit is dus ook het geval voor het energieverbruik voor ruimteverwarming en de bijbehorende emissies.

Voor de onzekerheid in het weer is gekeken in welke mate het weer per jaar afwijkt van het klimaat. Dit is gedaan voor elk jaar uit de periode 2005 tot en met 2024. Het liefst was dit gedaan voor een

periode van 30 jaar, maar vanwege ontbrekende gegevens voor 2004 en eerder is dit niet mogelijk. Elk jaar in mei komen de gegevens beschikbaar over het voorgaande jaar. Deze zullen dan in de analyse worden meegenomen.

De gemiddelde afwijking van het weer ten opzichte van het klimaat uit deze periode is 0,97. Dit houdt in dat het in de periode 2005 tot en met 2024 gemiddeld 3 procent warmer was dan het klimaat berekend met de KNMI'23-klimaatscenario's. Op basis van dit gemiddelde en een berekende standaarddeviatie van 0,10, is dan statistisch te berekenen wat de 5 tot 95 procent afwijkingen zijn. Er wordt daarbij vanuit gegaan dat de verdeling van het weer rondom het klimaat een normale verdeling is. Dit houdt in dat de kans dat het weer gelijk aan het klimaat is, groter is dan de uitschieters naar boven en naar beneden. Dit is de onzekerheidsbandbreedte zoals getoond in Tabel 3.

Tabel 3
Onzekerheid vanuit het weer voor ruimteverwarming ten opzichte van het gemiddelde klimaat

Jaar	Onderwaarde (warmer weer dan gemiddeld)	Bovenwaarde (kouder weer dan gemiddeld)
2030	-20,0%	+13,8%
2035	-20,0%	+13,8%
2040	-20,0%	+13,8%

Zie Tabel 14 in Bijlage 6 voor de basisgegevens voor het bepalen van de onzekerheid als gevolg van het weer.

4 Energieverbruik voor ruimtekoeling

4.1 Inleiding

Een opkomende energieverbruiker is het energieverbruik voor ruimtekoeling¹⁰. Nieuwe kantoren hebben vrijwel altijd de één of andere vorm van een airconditioning. Ook woningen worden steeds meer voorzien van een airconditioner (Rovers et al. 2024).

Door de klimaatverandering zal de vraag naar ruimtekoeling steeds meer stijgen. Voor de correctie ten behoeve van de energievraag voor ruimtekoeling wordt de zogenaamde methode met de koelgraaddagen gebruikt. Dit is eigenlijk het tegenovergestelde van de normale graaddagen methode die tot voor kort gebruikt werd voor onder andere de KEV om het energieverbruik voor ruimteverwarming mee te corrigeren (Volkers et al. 2022). In de methode voor de koelgraaddagen wordt gekeken wat het verschil is tussen de gemiddelde temperatuur op een dag en een referentietemperatuur (vergelijkbaar met de stookparameter bij ruimteverwarming). Alleen als de gemiddelde temperatuur per dag boven de referentietemperatuur uitkomt, wordt het verschil meegenomen. Al deze verschillen per jaar bij elkaar opgeteld, levert dan het aantal koelgraaddagen per jaar.

4.2 Ontwikkeling van de koelgraaddagen

Op verschillende plekken wordt op een verschillende manier met deze referentietemperatuur omgegaan. In de EU (JRC 2024) wordt een methode gebruikt waar de referentietemperatuur 21°C is, maar die graden tellen slechts mee als de gemiddelde temperatuur boven de 24°C uitkomt. In de Verenigde Staten (EIA 2024) gebruikt men 65°F (is gelijk aan 18,3°C) als referentietemperatuur. In Nederland wordt door diverse partijen een verschillende referentietemperatuur gebruikt. In (RVB 2019) wordt uitgegaan van een temperatuur van 22°C en in (Rovers 2022) juist weer van 18°C.

De referentietemperatuur is een gemiddelde temperatuur over de hele dag. In de meeste gevallen zal het overdag warmer zijn en in de nacht juist wat koeler. In de modellen wordt de ontwikkeling in de koelgraaddagen alleen gebruikt als er daadwerkelijk ruimtekoeling aanwezig is. Op het energieverbruik in de gebouwen zonder koeling heeft deze analyse helemaal geen invloed. Als er ruimtekoeling aanwezig is dan is men genegen die ruimtekoeling bij lagere temperaturen te gaan benutten (Yiwen Jian et al. 2022). Vanuit deze overwegingen is er voor de KEV gekozen om een referentietemperatuur van 18°C te gebruiken. Voor de ontwikkeling van de energievraag voor ruimtekoeling naar de toekomst toe maakt de hoogte van de referentietemperatuur wel verschil. Hoe lager de referentietemperatuur, hoe kleiner het effect op de ontwikkeling van de energievraag is. Bij een lagere referentietemperatuur zijn het totaal aantal koelgraaddagen hoger. Relatief zal een stijging van koelgraaddagen dan kleiner zijn. In het basispad van de KEV wordt dus uitgegaan

¹⁰ Ruimtekoeling omvat geen koeling in bijvoorbeeld koelcellen. Dit wordt meegenomen in de rekenmodellen als productkoeling waar vooralsnog voor wordt aangenomen dat het veranderende klimaat geen invloed heeft.

van een behoudende groei in de energievraag naar ruimtekoeling. De formule voor het bepalen van het aantal koelgraaddagen in een jaar is daarmee als volgt:

$$(12) \quad KGD_j = \sum_{d=1}^{\text{aantal dagen in het jaar}} \max(0, T_d - 18)$$

KGD_j Aantal koelgraaddagen in een jaar.
 T_d Gemiddelde temperatuur in °C op een dag.

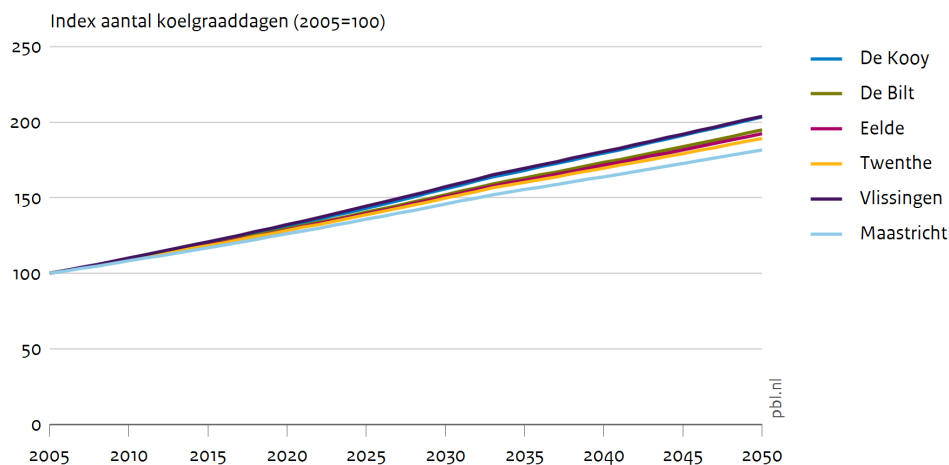
Omdat de onzekerheid voor de gekozen referentietemperatuur groot is, wordt voor de onzekerheidsberekeningen ook meegenomen dat de referentietemperatuur 22°C zou kunnen zijn.

In Nederland is het ook belangrijk om te kijken van welk weerstation de gemiddelde temperatuur gebruikt wordt. In het oosten van het land zijn de zomertemperaturen hoger dan in het westen en zal daar dan ook meer gekoeld worden. Er zijn echter geen gegevens beschikbaar over de verdeling van apparatuur voor ruimtekoeling in Nederland. In de KEV wordt dan ook uitgegaan dat dit gemiddeld over Nederland verdeeld is. De Bilt ligt redelijk in het midden van Nederland en dicht bij de Randstad waar de meeste gebouwen staan, daarom is er voor gekozen om alleen naar de gemiddelde temperatuur van het weerstation De Bilt te kijken.

In onderstaand figuur wordt deze keuze ook bevestigd. De weerstations De Kooy en Vlissingen hebben de grootste groei in het aantal koelgraaddagen, terwijl het weerstation Maastricht de laagste groei kent. Dit wordt met name veroorzaakt doordat aan de kust de gemiddelde temperatuur lager is dan het binnenland en een stijging percentueel gezien een groter effect heeft. Ook is te zien dat de groei van het aantal koelgraaddagen van het weerstation De Bilt een gemiddelde is van de zes getoonde weerstations.

Figuur 7

Groei aantal koelgraaddagen (op basis van gemiddelde temperatuur van 18°C per dag) per jaar voor zes weerstations



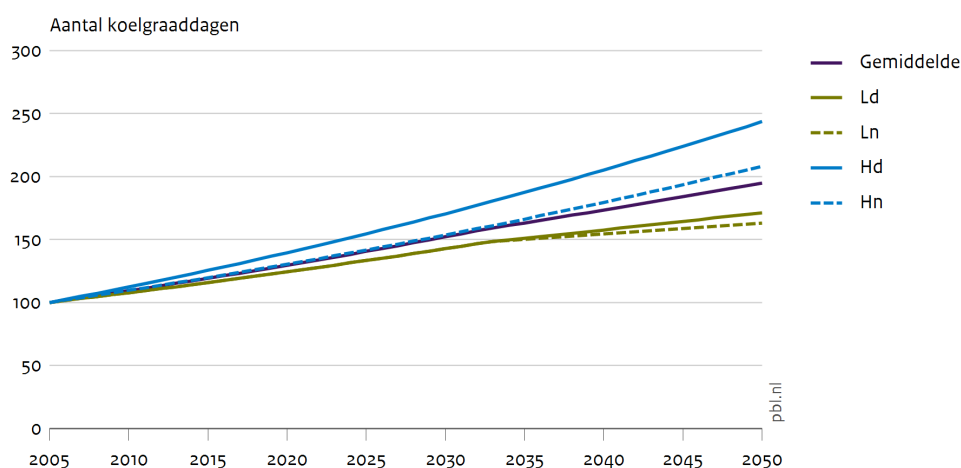
4.3 Koelgraaddagen als indicator voor de energievraag naar ruimtekoeling in de KEV

Scenario voor de KEV vanwege toekomstige klimaatverandering

Op basis van de methode zoals beschreven in paragraaf 4.2 kan voor ieder klimaatscenario de koelgraaddagen en het gemiddelde daarvan worden berekend. Hierbij worden de getransformeerde tijdreeksen voor de gemiddelde temperatuur van het weerstation De Bilt eerst geïnterpoleerd voor de toepassingsjaren die niet in de klimaatscenario's beschikbaar zijn. In Bijlage 3 wordt deze interpolatie nader beschreven. Op basis van die interpolatie is er dan een berekende gemiddelde temperatuur volgens het klimaat beschikbaar voor alle vier de scenario's en voor alle jaren vanaf 2005 tot en met 2050. Van deze gemiddelde temperatuur wordt op basis van die gegevens wordt vervolgens voor ieder jaar de koelgraaddagen volgens het klimaat berekend met een referentietemperatuur van 18°C. Dit leidt dan tot onderstaand figuur.

Figuur 8

Aantal koelgraaddagen in de KNMI'23-klimaatscenario's op basis van een referentietemperatuur van 18°C voor weerstation De Bilt



In dit figuur is duidelijk te zien dat het aantal koelgraaddagen stijgt en dat de vraag naar ruimtekoeling navenant zal stijgen. In modellen die het energieverbruik voor ruimtekoeling berekenen, wordt er rekening mee gehouden dat nog niet alle gebouwen voorzien zijn van ruimtekoeling. Ook zit in die modellen verwerkt dat vanwege deze stijging van de koelgraaddagen, het aantal gebouwen dat uitgerust is met de één of andere vorm van ruimtekoeling toeneemt. In Tabel 15 in Bijlage 6 staan de achterliggende gegevens.

Onzekerheden in het klimaat

Bij de ruimtekoeling spelen twee onzekerheden vanuit de ontwikkeling van het klimaat. De eerste onzekerheid betreft de bandbreedte in het klimaat. In de KEV wordt uitgegaan van een gemiddelde groei van de koelgraaddagen, terwijl dit ook het klimaatscenario Ln of Hd kan zijn (de uiterste lijnen in Figuur 8). Dit resulteert uiteindelijk tot de 5 tot 95 procent bandbreedte in onderstaande tabel.

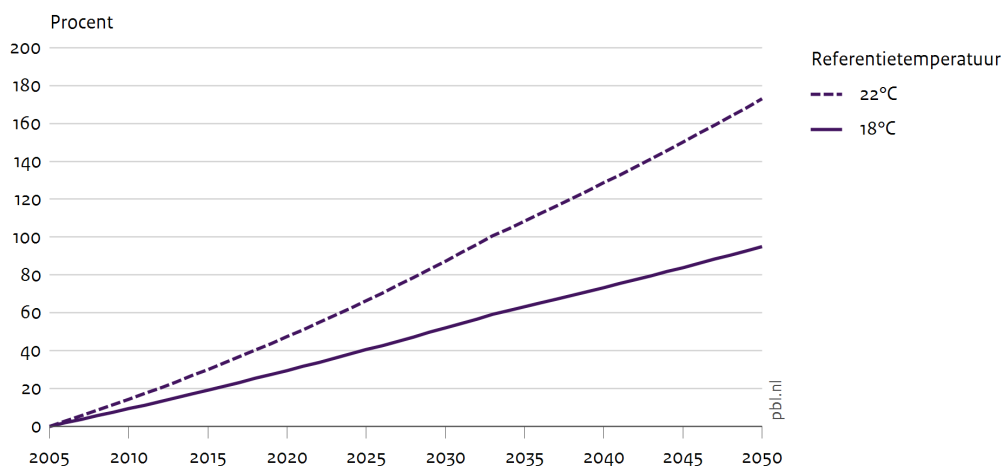
Tabel 4
Onzekerheid vanuit klimaat voor ruimtekoeling

Jaar	Onderband (kouder klimaat)	Bovenband (warmer klimaat)
2030	-5,5%	+10,9%
2035	-7,2%	+13,4%
2040	-9,9%	+16,5%

Daarnaast speelt nog de onzekerheid dat nog niet wetenschappelijk bepaald is welke referentietemperatuur nu gebruikt moet worden om het energie-effect op ruimtekoeling goed in te schatten. Waarschijnlijk moet het een variant zijn op de profielenmethodiek aardgas, waarbij naast temperatuur ook de zoninstraling en de windsnelheid een rol spelen. Echter daarvoor ontbreken op dit moment de juiste gegevens. Om de onzekerheid in de ontwikkeling van de ruimtekoeling in te schatten, wordt daarom naar het verschil gekeken als voor de referentietemperatuur 18°C of 22°C wordt genomen.

In onderstaand figuur staat het verschil in de groei van de koelgraaddagen tussen een referentietemperatuur van 18°C en die van 22°C. Doordat het aantal koelgraaddagen in 2005 bij een referentietemperatuur van 18°C veel groter is dan bij een referentietemperatuur van 22°C groeien de koelgraaddagen bij een referentietemperatuur van 22°C relatief veel sneller dan bij een referentietemperatuur van 18°C. Bij een referentietemperatuur van 18°C groeien het aantal koelgraaddagen van 100 in 2005 naar 195 in 2050, terwijl dit bij een referentietemperatuur van 22°C van 14 naar 38 is. Dit betekent dat dan de energievraag naar ruimtekoeling ook veel sneller groeit.

Figuur 9
Groeï gemiddeld aantal koelgraaddagen bij verschillende referentietemperaturen



In onderstaande tabel staat dan wat dit betekent voor de onzekerheden. In 2030 is de vraag naar ruimtekoeling met een referentietemperatuur van 22°C dus 68 procent hoger dan bij een referentietemperatuur van 18°C.

Tabel 5

Onzekerheid vanuit klimaat vanwege keuze referentietemperatuur

Jaar	Onderband (18°C)	Bovenband (22°C)
2030	0%	+68,1%
2035	0%	+71,8%
2040	0%	+75,5%

Weersgecorrigeerd verbruik

In Nederland worden de ruimtes in de gebouwde omgeving met name door elektrische warmtepompen gekoeld (als er sprake is van ruimtekoeling). Derhalve zit in het elektriciteitsverbruik dus het effect dat het ene jaar er een hoger verbruik is (warmere zomer) en het andere jaar een lager verbruik (koudere zomer). Het elektriciteitsverbruik voor ruimtekoeling is slechts een relatief klein deel van het totale elektriciteitsverbruik. Steeds meer wordt er overgegaan om ook voor ruimteverwarming elektriciteit te gaan gebruiken en daarnaast wordt er ook elektriciteit verbruikt voor allerlei andere doeleinden. In tegenstelling tot aardgas, waarvan het grootste deel in de gebouwde omgeving gebruikt wordt voor ruimteverwarming, is het dus lastig om het historisch elektriciteitsverbruik te corrigeren voor de jaarlijkse weersfluctuaties. Hier worden dan ook geen aannames voor gemaakt.

Onzekerheden in het weer

Ondanks dat er geen aannames zijn gemaakt om het historisch elektriciteitsverbruik te corrigeren voor de jaarlijkse weersfluctuaties, is het weer in een toekomstig jaar uiteindelijk wel van invloed op dat elektriciteitsverbruik vanwege ruimtekoeling en hoe deze elektriciteit vervolgens dan geproduceerd wordt.

Voor de onzekerheid in het weer is gekeken in hoeverre in de periode 1996 tot en met 2025 de berekende koelgraaddagen op basis van het waargenomen weer in De Bilt afwijkt van de berekende koelgraaddagen volgens het klimaat. Voor de periode 1996 tot en met 2025 is de gemiddelde afwijking 0,92. Dit houdt in dat in de periode 1996 tot en met 2025 gemiddeld 8 procent minder koelgraaddagen waren dan berekend volgens het klimaat. De standaard deviatie uit de analyse is 0,33. Dit leidt dan tot de 5 tot 95 procent onzekerheid zoals getoond in onderstaande tabel.

Tabel 6

Onzekerheid vanuit het weer voor ruimtekoeling ten opzichte van het gemiddelde klimaat

Jaar	Onderband (kouder weer dan gemiddeld)	Bovenband (warmer weer dan gemiddeld)
2030	-62,5%	+47,0%
2035	-62,5%	+47,0%
2040	-62,5%	+47,0%

Zie Tabel 17 in Bijlage 6 voor de basisgegevens voor het bepalen van de onzekerheid als gevolg van het weer.

5 Energieproductie uit zonne-energiesystemen

5.1 Inleiding

De energieproductie met technieken die met behulp van de zon energie maken is afhankelijk van het weer. Het veranderende klimaat heeft invloed op de hoeveelheid energie die in de toekomst geproduceerd kan worden.

In het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie (RVO 2022) wordt voor de Nederlandse situatie beschreven hoe de warmte- en elektriciteitsproductie uit zonne-energie berekend kan worden. Voor zonnewarmte wordt uitgegaan van een vaste waarde van 4,28 GJ/m²/jaar voor de zoninstraling. Hier wordt dus geen rekening gehouden met de variaties in het weer van jaar tot jaar. Voor zonnestroom wordt voor de grote systemen gebruik gemaakt van de gegevens die voor de SDE-subsidie worden aangeleverd. De elektriciteitsproductie uit de overige systemen worden berekend aan de hand van de zoninstraling op het platte vlak.

5.2 Ontwikkeling van de zoninstraling

Voor de productie van elektriciteit uit zonne-energie bij systemen waar geen productiegegevens over bekend zijn, wordt gerekend met een gemiddelde productie van 875 kWh per kW geïnstalleerd piekvermogen (kWp). Dit is de gemiddelde productie in Nederland. Voor andere landen kan dit meer of minder zijn, afhankelijk van de breedtegraad waar dit land zich bevindt. Deze productie wordt vervolgens gecorrigeerd voor de waargenomen zoninstraling. Voor deze zoninstraling wordt het dichtstbijzijnde weerstation gebruikt. Hiervoor wordt de volgende formule (CBS 2023) gebruikt.

$$(13) \quad E_j = K \times \left(\frac{Q_{r,j}}{Q_{NL}} \right) \times P$$

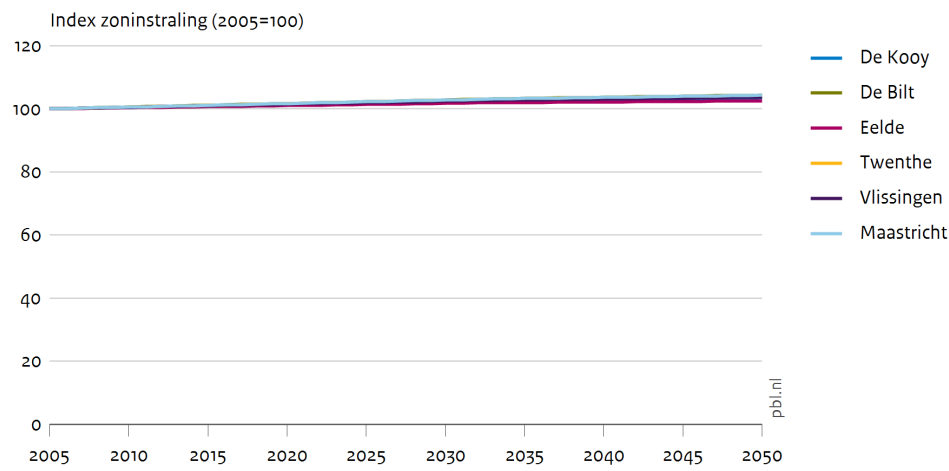
E_j	Energieproductie (kWh) van de installatie in een jaar.
K	Kengetal, 875 kWh/kWp.
$Q_{r,j}$	Zoninstraling van het meest nabijgelegen KNMI weerstation in jaar j (J/cm ²).
Q_{NL}	Langjarig gemiddelde zoninstraling van weerstation De Bilt van 1981 tot en met 2010. Dit is gelijk aan 368.292 J/cm ² .
P	Vermogen van de installatie (kWp).

In de energiestatistieken wordt dus uitgegaan dat er een één-op-één relatie bestaat tussen de zoninstraling en de geproduceerde elektriciteit.

In de KEV zijn geen gegevens beschikbaar over waar de elektriciteitsproductie uit zonne-energie precies plaatsvindt. Er moet dus gekeken worden welke weerstation (of combinatie van weerstations) het meest representatief is. Op basis van statistieken van het CBS is het mogelijk om een gewogen gemiddelde van de zoninstraling te maken naargelang de verspreiding van de zonnestroom over de provincies. Uit die statistieken blijkt dat de provincie Noord-Brabant het

grootste vermogen aan zonnestroom heeft, gevolgd door Gelderland en de provincies Zuid- en Noord-Holland. Deze provincies liggen precies in een cirkel om De Bilt. Voor de eenvoud is dan ook gekozen om alleen te kijken naar de zoninstraling van het weerstation De Bilt. Ook is het zo dat in de KNMI'23-klimaatscenario's de verandering in de loop van de tijd van de zoninstraling niet al te veel verschilt tussen de verschillende weerstations. In onderstaand figuur is duidelijk dat voor alle zes de weerstations de groei in zoninstraling ongeveer gelijk is. Voor het gebruik in de KEV is uiteindelijk de groei ten opzichte van een basisjaar het belangrijkste.

Figuur 10
Groei totale zoninstraling per jaar voor zes weerstations



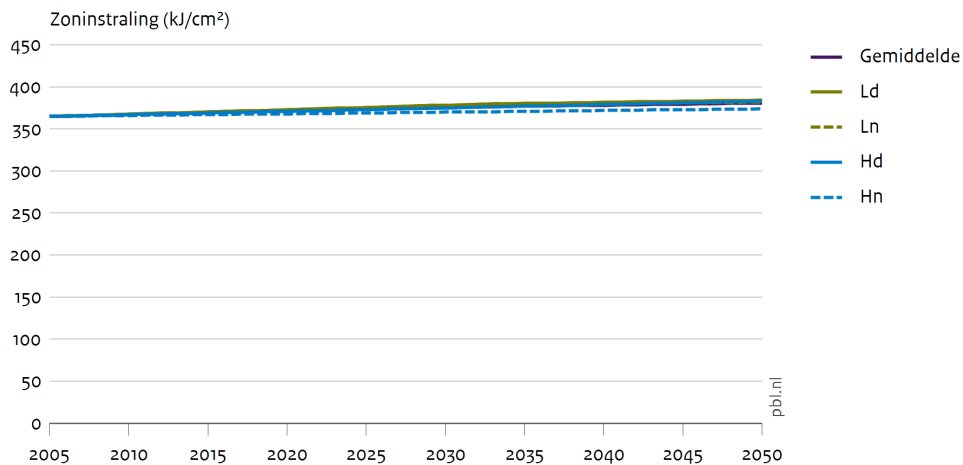
5.3 Zoninstraling als indicator voor de productie uit zonne-energiesystemen in de KEV

Scenario voor de KEV vanwege toekomstige klimaatverandering

Uit onderstaand figuur is op te maken dat de zoninstraling in de loop van de tijd licht zal stijgen. Bij het natte scenario met een hoge CO₂-emissie is deze stijging het minst en de overige klimaatscenario's zijn ongeveer gelijk. In 2030 is de gemiddelde zoninstraling 2,8 procent hoger dan volgens het klimaat in 2005, ten opzichte van het huidige klimaat (2025) is dit echter slechts 0,6 procent. Zie hiervoor ook de gegevens in Tabel 18 van Bijlage 6.

Figuur 11

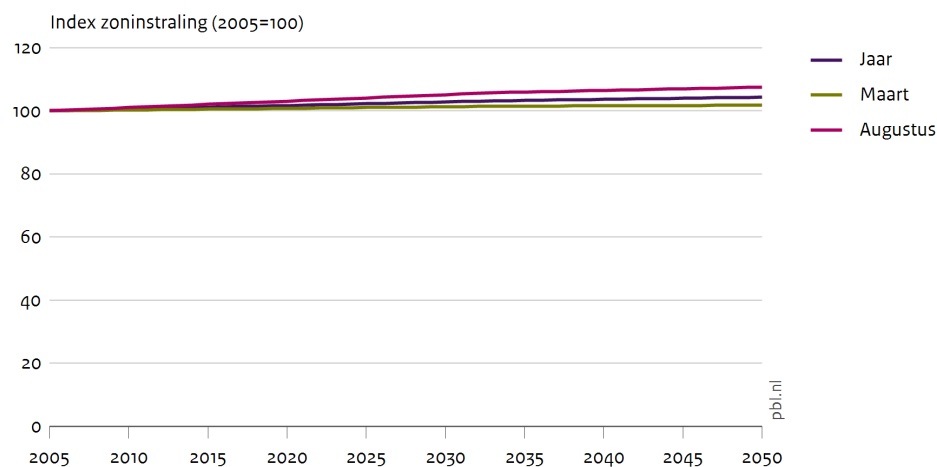
Totale zoninstraling in de KNMI'23-klimaatscenario's voor weerstation De Bilt



Het is relevant of de groei van de zoninstraling in bepaalde maanden groter is dan in andere maanden. Dit kan er toe leiden dat zonne-installaties vaker moeten worden uitgeschakeld vanwege een overschot van elektriciteit. Uit de analyse blijkt dat met name in de maanden juli en augustus de groei van de zoninstraling groter is dan de gemiddelde groei over het hele jaar. Mogelijk is dat op bepaalde momenten de elektriciteitsproductie groter zal zijn dan de vraag naar elektriciteit. Of dit zal gaan gebeuren, en of dit dan specifiek door de hogere zoninstraling veroorzaakt wordt, hangt ook af van de ontwikkeling van de vraag naar elektriciteit en van de ontwikkeling van andere methodes van elektriciteitsproductie zoals bijvoorbeeld uit wind.

Figuur 12

Relatieve groei van de zoninstraling voor weerstation De Bilt over het jaar, de maand met de grootste groei (augustus) en de maand met de laagste groei (maart) volgens het gemiddelde klimaatscenario



Uiteindelijk is het aan de sectorexperts van de modellen waarin zonne-energie een rol speelt op welke manier deze relatief kleine wijziging in het klimaat moet worden meegenomen. De productie en verbruik van elektriciteit speelt zich af op een internationale markt. Dus ook de productie en verbruik in onze buurlanden zijn van invloed op de effecten in Nederland. Het is dus belangrijk om hiervoor één consistent klimaatscenario te gebruiken. De klimaatscenario's van het KNMI zijn met name op Nederland gericht.

Onzekerheden in het klimaat

Zoals uit Figuur 11 en de gegevens in Tabel 18 van Bijlage 6 is af te leiden stijgt de zoninstraling in het scenario met een hoge CO₂-uitstoot in een vernattend klimaat (Hn) net iets langzamer dan in ons gemiddelde scenario. In het scenario met een lage CO₂-uitstoot en een verdrogend klimaat stijgt de zoninstraling net iets sneller. In onderstaande tabel staan de betreffende effecten.

Tabel 7

Onzekerheid vanuit klimaat voor de zoninstraling

Jaar	Onderband (minder zoninstraling)	Bovenband (meer zoninstraling)
2030	-1,3%	+0,7%
2035	-1,5%	+0,8%
2040	-1,5%	+0,8%

Weersgecorrigeerde productie

Voor de modellering van de energieproductie uit zonne-energie is het niet nodig om een weersgecorrigeerde productie te berekenen. In de modellering is het geïnstalleerd vermogen de basis voor de ontwikkeling van de zonnepanelen. Met vaste productiefactoren (waarin onder andere rekening is gehouden met de oriëntatie van geplaatste systemen) wordt dit vervolgens omgerekend naar warmte- en elektriciteitsproductie.

Onzekerheden in het weer

De onzekerheid van de variatie in de zoninstraling van jaar tot jaar is relevant. Er is immers een directe wisselwerking met de energieproductie door andere energiedragers en daarmee een effect op de CO₂-emissies en het primair verbruik. Omdat de productie van zonne-energie niet genormaliseerd wordt (zie windenergie), speelt de hoogte van de zoninstraling ook een rol bij de productie van zonnestroom (niet bij zonnewarmte, want dit wordt met een vaste factor berekend).

Voor de onzekerheid in het weer is gekeken in hoeverre de waargenomen zoninstraling in De Bilt afwijkt van het klimaat. Voor de periode 1996 tot en met 2025 is de gemiddelde afwijking 1,02 (dus gemiddeld 2% meer zoninstraling) met een standaard deviatie van 0,06. Dit leidt tot de 5 tot 95 procent bandbreedte in onderstaande tabel.

Tabel 8

Onzekerheid vanuit het weer van de zoninstraling ten behoeve van de productie van elektriciteit uit zonne-energie

Jaar	Onderband (minder zoninstraling)	Bovenband (meer zoninstraling)
2030	-7,8%	+12,0%
2035	-7,8%	+12,0%
2040	-7,8%	+12,0%

Zie Tabel 19 in Bijlage 6 voor de basisgegevens voor het bepalen van de onzekerheid als gevolg van het weer.

6 Elektriciteitsproductie uit windenergie

6.1 Inleiding

De elektriciteitsproductie uit windenergie verandert als gevolg van de klimaatverandering en ook van jaar tot jaar varieert de wind. Voor de elektriciteitsproductie uit windenergie is logischerwijs de windsnelheid een zeer goed indicator en dit blijkt ook wel uit de wet van Betz (Betz 1966), hieronder:

$$(14) \quad P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$$

P	Vermogen van de wind in Watt
ρ	Dichtheid van de lucht in kg/m ³ , standaard is dit 1,225 kg/m ³
A	Oppervlak waarop de wind zijn kracht uitoefent in m ²
v	Windsnelheid in m/s

Met bovenstaande formule uit de wet van Betz wordt het maximale vermogen dat uit de wind gehaald kan worden berekend. Een windturbine zal nooit dit maximale vermogen uit de wind kunnen halen, dit zou namelijk betekenen dat het achter een windturbine niet meer waait. Ook heeft een windturbine een minimale windsnelheid nodig om te gaan draaien en is een windturbine ontworpen voor een bepaalde maximale windsnelheid. Boven deze windsnelheid zal de windturbine niet meer elektriciteit gaan produceren en in verband met de veiligheid op een bepaald moment zelfs daarmee stoppen. Vanuit de formule van de wet van Betz is dus te zien dat als de windsnelheid verdubbelt, het productievermogen zal verachtvoudigen.

6.2 Ontwikkeling van de windsnelheid

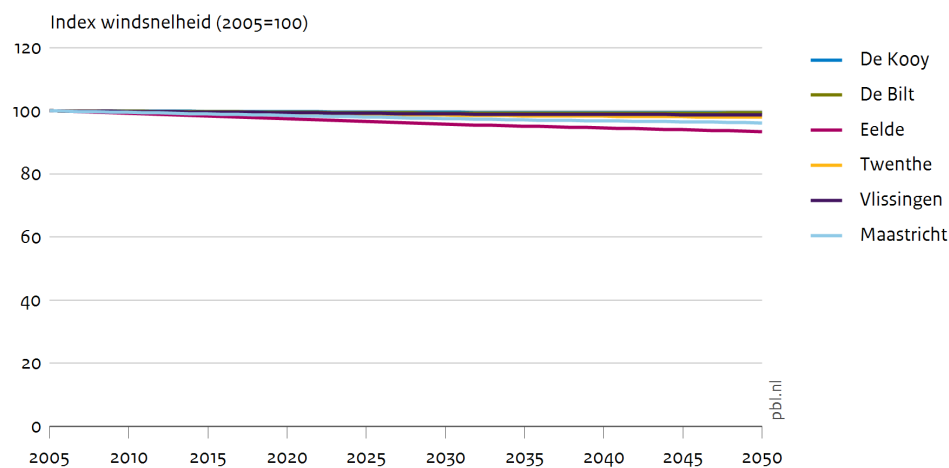
Net als bij zoninstraling is er in de KEV geen regionale verdeling bekend over de plaatsing van windturbines op land. Voor wind op zee wordt gebruik gemaakt van de routekaart (RVO 2024). Voor wind op land moet dus gekeken worden naar een weerstation dat representatief is voor al het beschikbare vermogen. Daarnaast zijn in de KNMI'23-klimaatsscenario's geen gegevens beschikbaar voor weerstations op zee.

Eind 2024 stond volgens het CBS 11.702 MW aan elektrisch vermogen van windturbines in Nederland opgesteld. Daarvan was 4.748 MW opgesteld op zee en 5.767 MW opgesteld in de provincies die direct aan grote wateroppervlaktes grenzen (Groningen, Friesland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland en Flevoland). Bij elkaar is dat bijna 90 procent van het totaal opgesteld vermogen.

In onderstaand figuur is te zien dat in twee van de zes weerstations de gemiddelde windsnelheid afneemt. Dit betreft de weerstations Eelde en Maastricht. Maastricht valt geheel buiten de regio waar de meeste windturbines staan opgesteld. De relatief grote afname van de gemiddelde windsnelheid van weerstation Eelde kan nog wel invloed hebben op de productie in de provincies

Groningen en Friesland. De grootste uitbreiding van windparken vindt echter op zee plaats. Omdat vanuit de KNMI'23-klimaatsscenario's geen gegevens beschikbaar zijn voor weerstations op zee moeten dus de gegevens gebruikt worden van een weerstation zo dicht mogelijk aan zee. Dit betreft dan de weerstations De Kooy en Vlissingen. Voor zowel de zee als de kustregio (waar de meeste windturbines op land staan) is het weerstation De Kooy dan de meest logische keuze. Ook speelt een rol dat er nauwelijks verschil is in de wijziging van de gemiddelde windsnelheid tussen de weerstations De Kooy en die van Vlissingen.

Figuur 13
Groeï gemiddelde windsnelheid per jaar voor zes weerstations



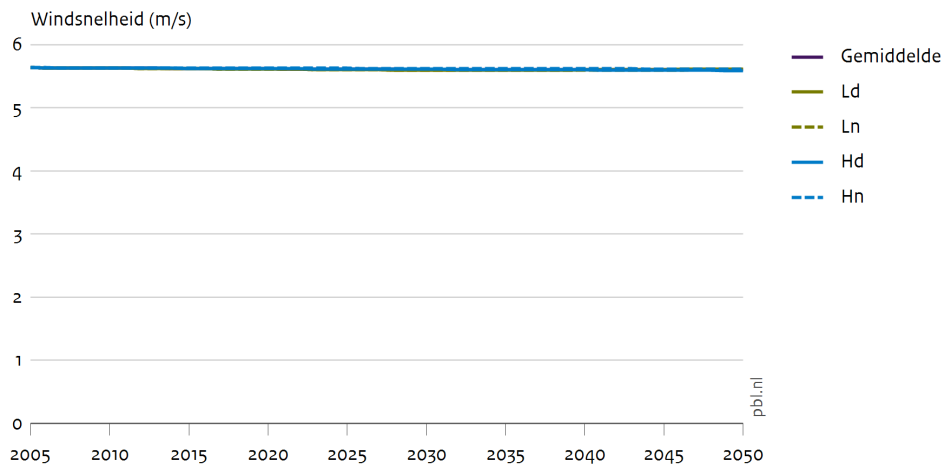
6.3 Windsnelheid als indicator voor de productie van elektriciteit uit windenergie in de KEV

Scenario voor de KEV vanwege toekomstige klimaatverandering

In onderstaand figuur staat de gemiddelde windsnelheid volgens het klimaat voor het weerstation De Kooy. Deze is voor de hele periode 5,6 m/s. Dit betekent dat er vanuit de KNMI'23-klimaatsscenario's geen aanleiding is om het tot nu toe in de KEV gebruikte windpatroon aan te passen.

Figuur 14

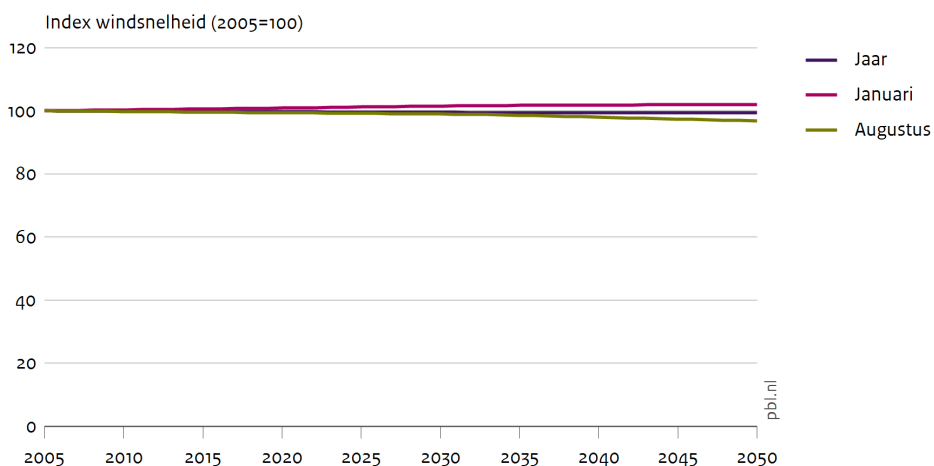
Gemiddelde windsnelheid in de KNMI'23-klimaatscenario's voor weerstation De Kooy



Net als bij de zoninstraling is het ook bij de gemiddelde windsnelheid belangrijk om te kijken in hoeverre de gemiddelde windsnelheid per maand wijzigt. Tot en met 2035 laten alleen de maanden januari en april een lichte stijging zien van de gemiddelde windsnelheid. Na 2035 stijgt de gemiddelde windsnelheid ook weer in de maanden februari en mei. De grootste daling van de gemiddelde windsnelheid vindt plaats in de zomermaanden juli tot en met september. De verschillen van de gemiddelde windsnelheid per maand met de jaargemiddelde windsnelheid zijn echter dusdanig klein dat hier niets iets specifiek mee moet worden gedaan.

Figuur 15

Relatieve groei windsnelheid voor weerstation De Kooy over het jaar en de maand met de grootste groei (januari) en de maand met de grootste daling (augustus)



Onzekerheden in het klimaat

Zoals al in Figuur 14 gezien kan worden is er nauwelijks verschil in de gemiddelde windsnelheid tussen de verschillende klimaatscenario's. Voor de onzekerheden hoeft hier dus niets mee gedaan te worden.

Weersgecorrigeerde productie

Er is voor de KEV geen weerscorrectie nodig van de elektriciteitsproductie uit windenergie. Voor de berekening van het aandeel hernieuwbare energie wordt de elektriciteitsproductie uit windenergie genormaliseerd (RVO 2022). Dit houdt in dat voor de laatste vijf jaar berekend wordt wat de gemiddelde productiefactor is uitgesplitst naar wind op land en wind op zee. Met de gemiddelde productiefactor wordt vervolgens de genormaliseerde elektriciteitsproductie uit windenergie berekend. Deze genormaliseerde elektriciteitsproductie is dus al weersgecorrigeerd.

In de energiebalansen van CBS wordt de gemeten elektriciteitsproductie uit wind gerapporteerd. Op voorhand worden hier echter geen correcties voor gemaakt. De modellering van windenergie gaat namelijk, net als bij zonne-energie, op basis van het geïnstalleerd vermogen met standaard bedrijfstijden op basis van ouderdom en de locatie van de betreffende windturbine.

Onzekerheden in het weer

Als over de afgelopen 30 jaar gekeken wordt naar de jaarlijkse afwijkingen van de gemiddelde windsnelheid ten opzichte van het berekende klimaat in het betreffende jaar, dan kan het ene jaar harder waaien en het andere jaar juist relatief zachter. Dit heeft invloed op de productie van elektriciteit met andere middelen en dus ook op de CO₂-emissies en het primair verbruik. Het is dus belangrijk om deze onzekerheden in beeld te hebben.

Deze onzekerheden gelden dus alleen maar voor een eventueel effect op de emissies en het primair verbruik. Voor hernieuwbare energie wordt al met de onzekerheid in de elektriciteitsproductie uit windenergie rekening gehouden door middel van de hiervoor beschreven normalisatie.

De gemiddelde afwijking van de waargenomen gemiddelde windsnelheid ten opzichte van het klimaat is 0,97 (dus gemiddeld 3% minder gemiddelde windsnelheid) met een standaard deviatie van 0,05. Dit leidt dan tot de 5 tot 95 procent bandbreedte in onderstaande tabel.

Tabel 9

Onzekerheid vanuit het weer voor de gemiddelde windsnelheid ten behoeve van de productie van elektriciteit uit windenergie

Jaar	Onderband (minder wind)	Bovenband (meer wind)
2030	-10,4%	+4,9%
2035	-10,4%	+4,9%
2040	-10,4%	+4,9%

Zie Tabel 21 in Bijlage 6 voor de basisgegevens voor het bepalen van de onzekerheid als gevolg van het weer.

7 Emissies uit landgebruik

7.1 Inleiding

Naast de hierboven beschreven weers- en klimaatinvloeden op het energieverbruik en -productie heeft het weer en het veranderende klimaat ook direct invloed op de broeikasgasemissies. Voor de KEV betreft dit met name emissies vanuit het landgebruik of veranderingen daarin.

Binnen deze categorie van emissies zijn een aantal bronnen te benoemen waarvan de grootte van de emissies beïnvloed worden door het weer (en dus ook het veranderende klimaat) (van Baren et al. 2024):

- omzetting van organische koolstof in niet-drassige bovengronden;
- ontwikkeling van de bossen;
- ontwikkeling van de veenweidegebieden.

Omzetting van organische koolstof in niet-drassige bovengronden

Het rekenmodel dat voor deze berekeningen gebruikt wordt is RothC (Coleman et al. 2024). Dit model neemt voor het weer als input mee:

- neerslag per maand;
- open panverdamping per maand;
- gemiddelde temperatuur per maand.

Vanuit de waarnemingen van het KNMI zijn deze gegevens allemaal beschikbaar. Voor de open panverdamping wordt van de KNMI-gegevens de referentiegewasverdamping volgens Makkink (KNMI 2005) gebruikt. In de KNMI'23-klimaatscenario's zijn echter geen gegevens beschikbaar over deze referentiegewasverdamping, maar vanuit de gegevens over de temperatuur en de zoninstraling is met de formule van Makkink wel de verdamping te berekenen die overeenkomt met de beschikbare gegevens uit de waarnemingen. Zie Bijlage 5 voor een beschrijving van de formule van Makkink.

Ontwikkeling van de bossen

Voor de ontwikkeling van de bossen wordt het rekenmodel EFISCEN-Space gebruikt (Schelhaas et al. 2016). Dit model heeft verschillende klimaatscenario's ingebouwd. Het is mogelijk om eigen klimaatscenario's toe te voegen, maar dit is veel werk en het is een vraag of dit tot relevante andere uitkomsten leidt. Voor de KEV is dan ook gekozen om één van de ingebouwde scenario's te gebruiken voor het middenpad van de KEV. Voor de onzekerheden wordt gebruik gemaakt van de overige beschikbare scenario's. Omdat hier dus exogene scenario's gebruikt worden, zal in de rest van dit rapport hier geen aandacht meer aan worden besteed.

Ontwikkeling van de veenweidegebieden

Voor de ontwikkeling van de emissies uit veenweidegebieden wordt op dit moment gebruik gemaakt van een studie van Erkens et al. uit 2021. Hieruit zijn resultaten beschikbaar voor een scenario waarin een milde bodemdaling en een beperkte klimaatverandering is verondersteld. Dit scenario sluit aan bij het gemiddelde klimaatscenario van de KEV. Op het moment dat er een nieuwe studie naar deze emissies wordt uitgevoerd, zal gekeken worden in hoeverre de veronderstellingen uit 2021 nog aansluiten bij de KNMI'23-klimaatscenario's. Ook aan dit onderwerp wordt dus geen nadere aandacht meer besteed in het vervolg van dit rapport.

7.2 Ontwikkeling van de weerparameters ten behoeve van de omzetting van organische koolstof in niet-drassige bovengronden

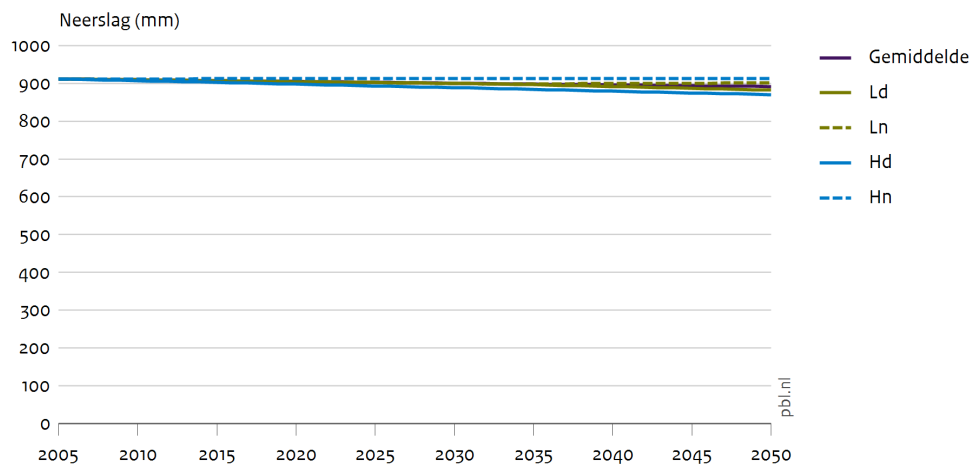
In deze paragraaf wordt een analyse gemaakt van de drie weerparameters die een rol spelen voor het bepalen van de emissies als gevolg van de omzetting van organische koolstof in de niet-drassige bovengronden. Omdat voor het bepalen van deze emissies het weer per maand nodig is, wordt ook een vergelijking gemaakt hoe de ontwikkeling per maand is. Allereerst wordt ingegaan op de neerslag, gevolgd door de temperatuur en als laatste de verdamping. Vervolgens wordt nog ingegaan hoe een consistent beeld voor heel Nederland gemaakt kan worden conform de methodiek die in de vorige hoofdstukken is gehanteerd.

Neerslag

Als naar de totale neerslag per jaar in De Bilt wordt gekeken wijzigt het gemiddelde scenario in het model nauwelijks. Dit is zichtbaar in Figuur 16. Wel is te zien dat het natte scenario hoger uitkomt dan het niet natte scenario.

Figuur 16

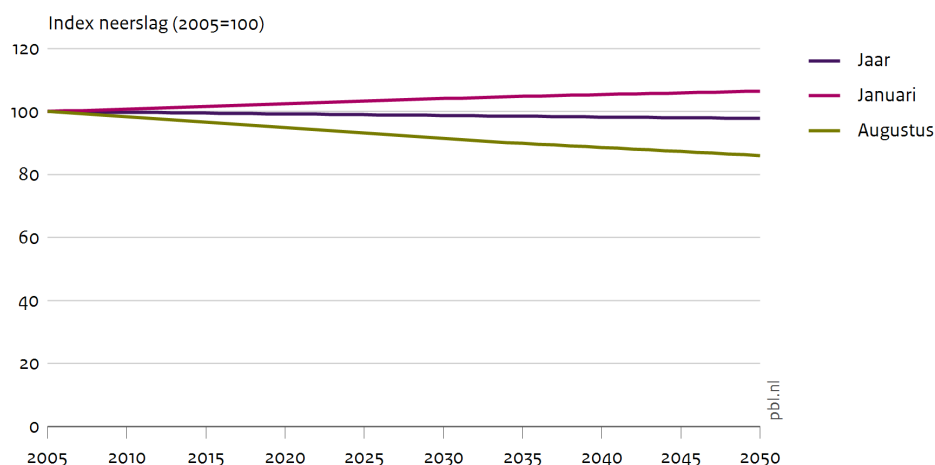
Totale jaarlijkse neerslag voor weerstation De Bilt volgens de klimaatscenario's



Als er echter naar specifieke maanden wordt gekeken dan zijn er wel grote wijzigingen. Met name de herfst en winter worden natter, terwijl de zomermaanden droger worden. Zie als voorbeeld de neerslag voor weerstation De Bilt voor de maand die relatief het meest natter wordt (januari) en de maand die relatief het meest droger wordt.

Figuur 17

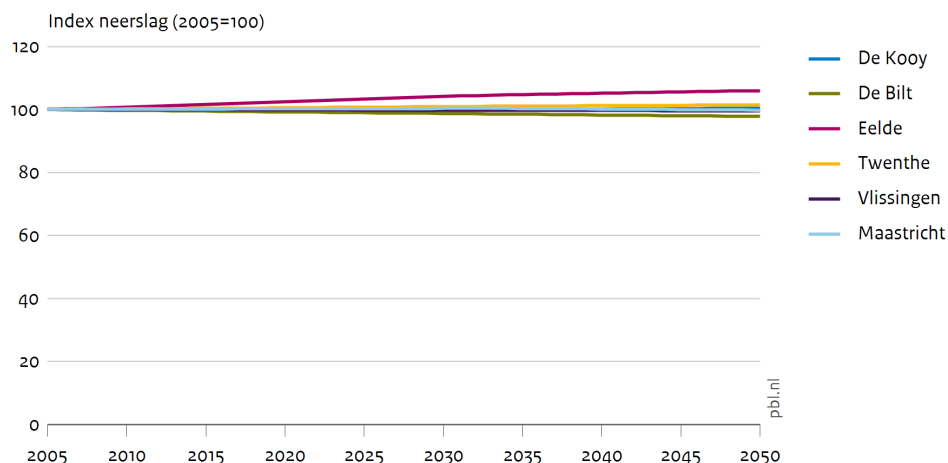
Relatieve groei van de hoeveelheid neerslag voor weerstation De Bilt over het jaar en de maand met de grootste groei (januari) en de maand met de grootste daling (augustus) volgens het gemiddelde klimaatscenario



Bovenstaande voorbeelden gaan over het weerstation De Bilt. Als echter naar andere weerstations worden gekeken dan valt de reeks van het weerstation Eelde op. Onderstaande figuur laat zien dat de hoeveelheid neerslag in Eelde sneller toeneemt dan bij de andere weerstations.

Figuur 18

Index van de hoeveelheid jaarlijkse neerslag voor verschillende weerstations volgens het gemiddelde klimaatscenario

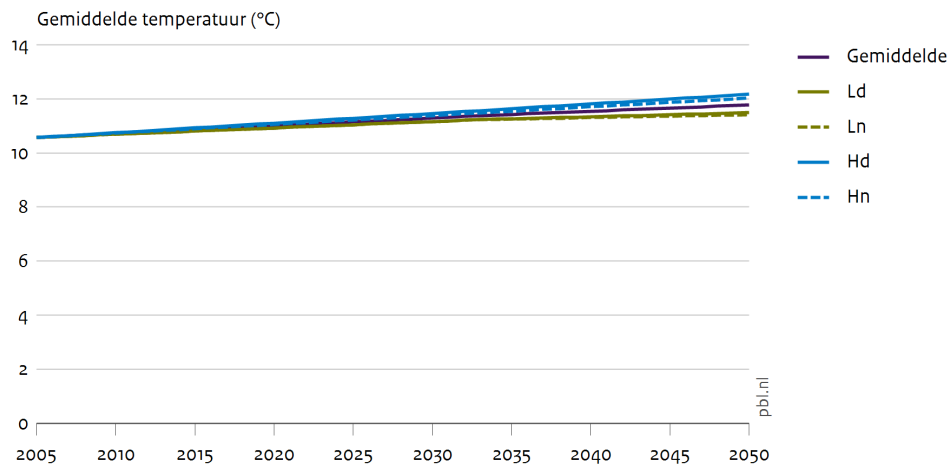


Temperatuur

Bij de gemiddelde temperatuur per jaar is duidelijk een stijging in het gemiddelde scenario en de vier klimaatscenario's te zien.

Figuur 19

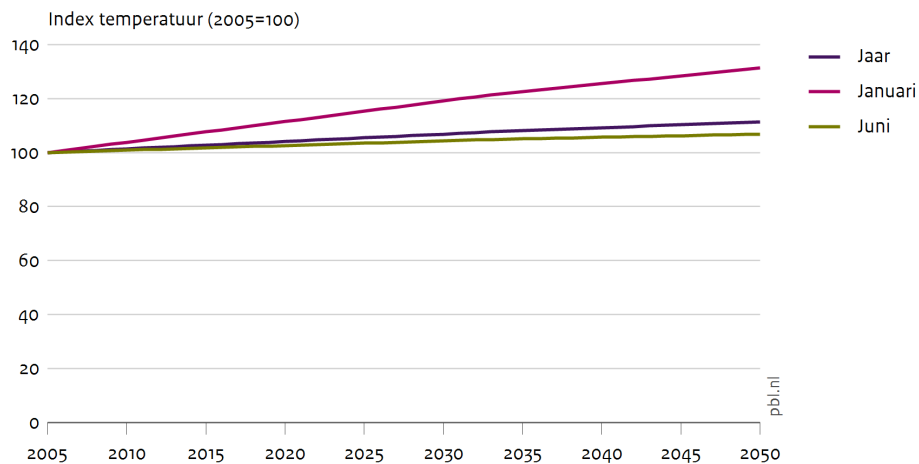
Jaarlijks gemiddelde temperatuur voor weerstation De Bilt volgens de klimaatscenario's



Vooral in de wintermaanden is de relatieve stijging het grootst, zoals in onderstaand figuur voor de maand januari in De Bilt te zien is.

Figuur 20

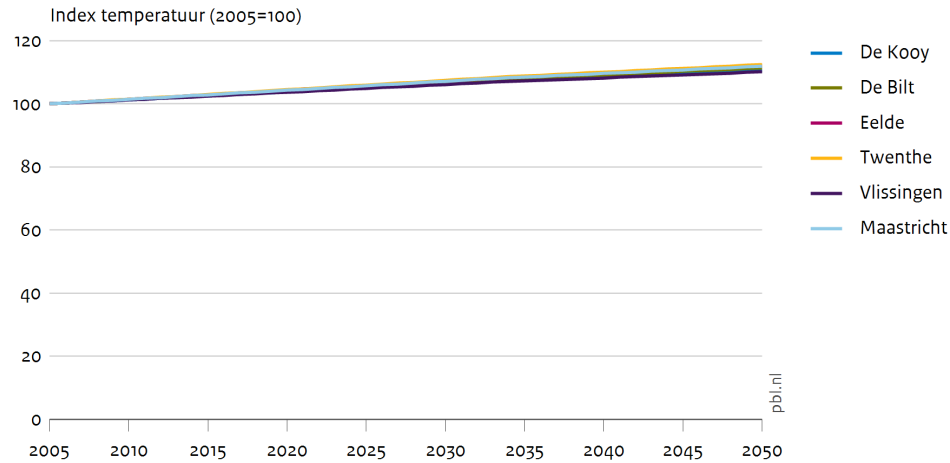
Relatieve groei gemiddelde temperatuur voor weerstation De Bilt over het jaar en de maand met de grootste groei (januari) en de maand met de laagste groei (juni) volgens het gemiddelde klimaatscenario



Over een jaar genomen tonen de verschillende weerstations dezelfde opgaande trend, te zien in de volgende figuur. Als echter specifiek naar een maand (bijvoorbeeld januari in Figuur 22) wordt gekeken is er weer wel een verschil tussen de weerstations.

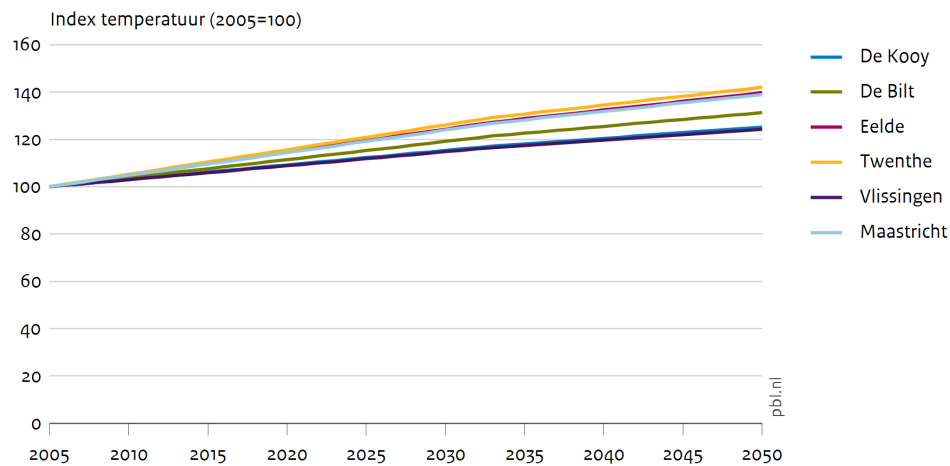
Figuur 21

Index van gemiddelde jaarlijkse temperatuur voor verschillende weerstations volgens het gemiddelde klimaatscenario



Figuur 22

Index van gemiddelde maandelijkse temperatuur in januari voor verschillende weerstations volgens het gemiddelde klimaatscenario

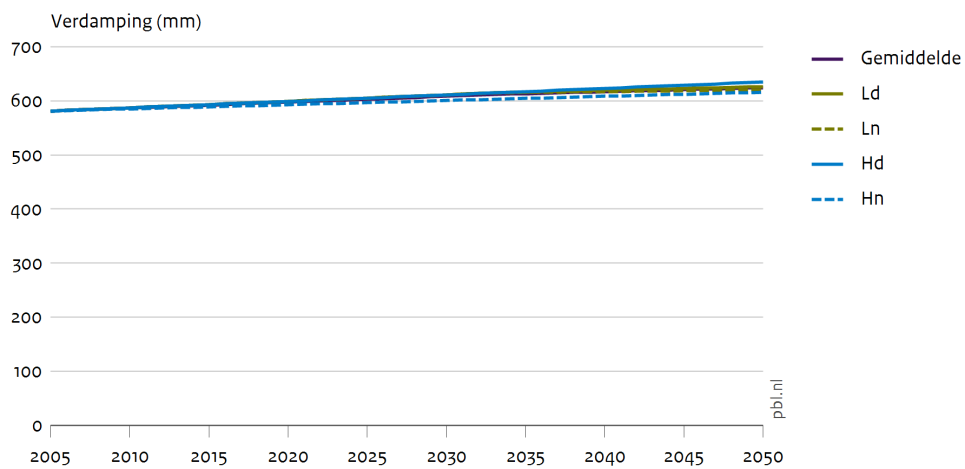


Verdamping

Omdat de verdamping onder andere ook beïnvloed door en zodoende berekend wordt op basis van de gemiddelde temperatuur, is daar ook een duidelijke toename te zien.

Figuur 23

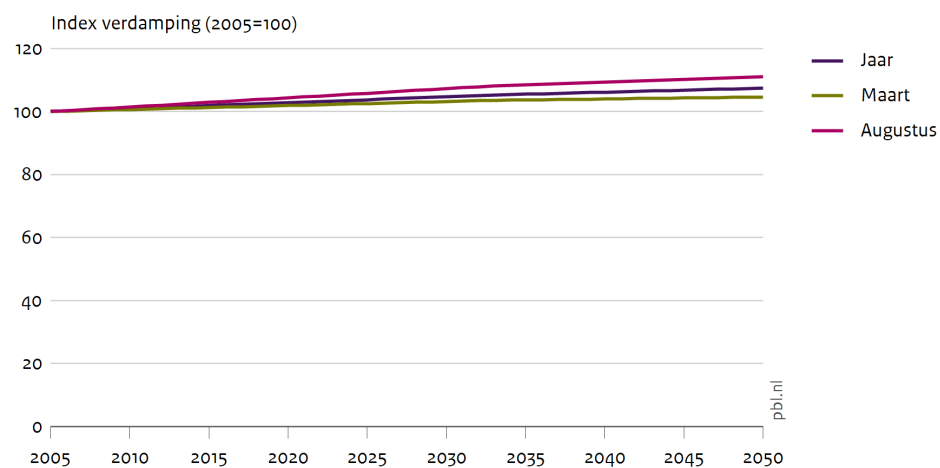
Totale jaarlijkse verdamping voor weerstation De Bilt volgens de klimaatscenario's



Per maand wijkt de trend nauwelijks af van de trend per jaar, zoals onderstaande figuur laat zien.

Figuur 24

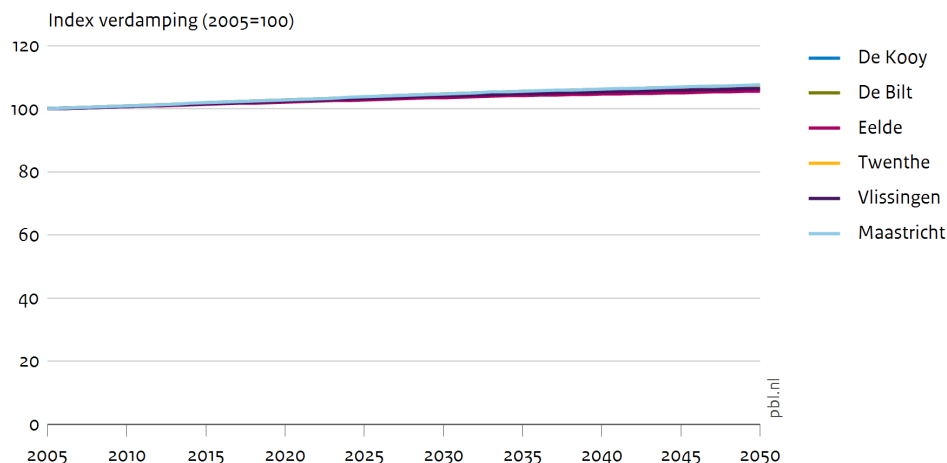
Relatieve groei van de verdamping voor weerstation De Bilt over het jaar, de maand met de grootste groei (augustus) en de maand met de laagste groei (maart) volgens het gemiddelde klimaatscenario



Ook zit er nauwelijks een verschil tussen de verschillende weerstations, te zien in de volgende figuur.

Figuur 25

Index van de totale jaarlijkse verdamping voor verschillende weerstations volgens het gemiddelde klimaat



Gegevens voor heel Nederland

De niet-drassige bovengronden waar RothC naar kijkt, zijn over heel Nederland verspreid. Uit de analyse in het eerste stuk van deze paragraaf blijkt dat de wijziging in temperatuur en neerslag bij het ene weerstation groter is dan bij een andere weerstation, terwijl de verdamping een gelijke trend heeft voor de verschillende weerstations. Deze verschillen zijn uiteindelijk dusdanig groot dat eigenlijk niet met één gemiddelde factor voor Nederland volstaan kan worden (zie bijvoorbeeld Figuur 18). Daarnaast blijkt dat ook de verschillen per maand nog groter zijn dat dus eigenlijk voor elke maand een eigen factor bepaald moet worden (zie bijvoorbeeld Figuur 20). Het maakt het dus lastig om de methodiek die voor de ruimteverwarming, ruimtekoeling, zonne-energie en windenergie is gebruikt, rechtstreeks te gebruiken om de weerscorrectiefactoren te bepalen voor het RothC model. Er moet eigenlijk een verdeling worden gemaakt over het land, met daarbij ook nog maandelijkse fluctuaties.

De KNMI'23 klimaatscenario's bieden hiervoor in theorie wel een oplossing. Naast de gegevens van specifieke weerstations die voor de analyses in hoofdstuk 3 tot en met 6 zijn gebruikt, zijn er ook gridkaarten van Nederland beschikbaar over onder andere temperatuur, neerslag en potentiële evapotranspiratie (vergelijkbaar met de open pasverdamping en referentiegewasverdamping). De methodiek voor het bepalen van de gegevens voor deze gridkaarten is echter anders dan de methodiek die gebruikt is voor het bepalen van de gegevens die voor de andere toepassingen zijn gebruikt. Voor de toepassingen in de eerdere hoofdstukken zijn de zogenaamde getransformeerde tijdreeksen gebruikt. Dit zijn tijdreeksen van hoe de waarnemingen in de referentieperiode zo goed mogelijk passen bij het klimaat volgens de klimaatscenario's (zie Bijlage 2). De gridkaarten zijn modelresultaten geheel gebaseerd op het regionale klimaatmodel RACMO en hebben geen relatie met het historisch waargenomen weer (Van den Brink et al. 2023).

Voor deze studie ontbrak de tijd om te onderzoeken hoe deze gridkaarten op een betrouwbare manier gebruikt kunnen worden voor het model RothC. Dit zal in de toekomst verder worden uitgewerkt.

Referenties

- Betz (1966), *Introduction to the Theory of Flow Machines*, (Vertaling D.G. Randall), Oxford, Pergamon Press.
- CBS (2023), *Onderzoek naar productiefactoren zonnestroom in 2022*, <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/diversen/2023/onderzoek-naar-productiefactoren-zonnestroom-in-2022>, Den Haag, CBS.
- CBS (2025), *Verbeterd zicht op warmtenetten*, <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2025/verbeterd-zicht-op-warmtenetten>, Den Haag, CBS.
- Coleman, K., J.M. Prout, A.E. Milne (2024), *RothC – A model for the turnover of carbon in soil*, Harpenden, Rothamsted Research.
- ECN (2001), *Protocol monitoring energiebesparing*, Petten, ECN.
- EIA (2024), *What is a degree day?*, <https://www.eia.gov/energyexplained/units-and-calculators/degree-days.php>, U.S. Energy Information Administration.
- IPCC (2021), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- JRC (2024), *Monthly Heating and Cooling Degree Days in the European Union*, <https://agriqcast.jrc.ec.europa.eu/DataPortal/>, Joint Research Centre, AgriqCast.
- KNMI (2005), *Handboek Waarnemingen; Hoofdstuk 10, Verdamping*, De Bilt, KNMI.
- KNMI (2015), *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*, De Bilt, KNMI.
- KNMI (2023a), *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*, <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s>, De Bilt, KNMI.
- KNMI (2023b), *KNMI'23-klimaatscenario's Dataportaal*, <https://www.klimaatscenario-data.knmi.nl/>, De Bilt, KNMI.
- KNMI (2026), *Wat betekenen de nieuwe emissiescenario's voor de KNMI klimaatscenario's?*, <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/wat-betekenen-de-nieuwe-emissiescenario-s-voor-de-knmi-klimaatscenario-s>, De Bilt, KNMI.
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2024), *Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rovers, V., et al (2022), *Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen*, Amsterdam, TNO EnergieTransitie.
- Rovers, V., et al (2024), *Schatting van de elektriciteitsvraag van airconditioners in Nederlandse woningen*, Amsterdam, TNO Energy & Materials Transition.
- RVB (2019), *Handreiking Klimaatadaptatie*, Rijksvastgoedbedrijf.
- RVO (2022), *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie*, Den Haag, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- RVO (2024), *Routekaart Windenergie op zee 21 GW*, Den Haag, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Schelhaas M.J., G.J. Nabuurs, P.J. Verkerk (2016), *Description of the modelling approach of the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 4.1)*, Wageningen en Joensuu, European Forreest Institute.

- Van Baren, S., J.P. Lesschen (2024), *Ramingen van emissies van broeikasgassen en verwijdering van CO₂ door de LULUCF-sector 2023-2040: Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Van den Brink H.W., C.F. de Valk (2023), *Guidance on the use of meteorological time series constructed to match the KNMI'23 climate scenarios*, De Bilt, KNMI.
- Van Vuuren, D. P., O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Sanderson, B. M., Chini, L. P., Friedlingstein, P., Hasegawa, T., Riahi, K., Govindasamy, B., Bauer, N., Eyring, V., Fall, C. M. N., Frieler, K., Gidden, M. J., Gohar, L. K., Högnér, A., Jones, A. D., Kikstra, J., King, A., Knutti, R., Kriegler, E., Lawrence, P., Lennard, C., Lowe, J., Mathison, C., Mehmood, S., Nicholls, Z., Prado, L. F., Zhang, Q., Rose, S. K., Ruane, A. C., Sandstad, M., Schleussner, C.-F., Seferian, R., Sillmann, J., Smith, C., Sörensson, A. A., Panickal, S., Tachiiri, K., Vaughan, N., Vishwanathan, S. S., Yokohata, T., Zecchetto, M., and Ziehn, T. (2026), *The Scenario Model Intercomparison Project for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7)*, *Geosci. Model Dev.*, 19, 2627–2656, <https://doi.org/10.5194/gmd-19-2627-2026>.
- Volkers C., P. Vethman, M. van Bruggen (2022), *Herziening weerscorrectie voor ruimteverwarming*, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Wettenbank (2026), *Energiewet*, https://wetten.overheid.nl/BWBR0050714/2026-07-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.3_Paragraaf3.3.6_Artikel3.53.
- Yiwen Jian, Jingjing Liu, Ze Pei, Jiujiu Chen (2022), *Occupants' tolerance of thermal discomfort before turning on air conditioning in summer and the effects of age and gender*, *Journal of Building Engineering*, Volume 50, 2022, 104099, ISSN 2352-7102,

Bijlagen

Bijlage 1 Gebruikte terminologieën

Tabel 10
Gebruikte terminologieën

Term	Beschrijving
Getransformeerde reeks	De projectie van het weer, d.w.z. het verwachte weer zoals berekend met de modellen van het KNMI, voor een zichtjaar op basis van werkelijke ontwikkelingen in het weer uit een historische periode. De basis van de projectie zijn de weersgegevens over de periode van 1 januari 1991 tot en met 31 december 2020. Zie Bijlage 2 voor een beschrijving.
Klimaat	De gemiddelde weersomstandigheden in een jaar op basis van de weersomstandigheden in de 30 jaren rond (j-14 tot en met j+15) het betreffende jaar.
Profielfactor	De over het jaar gesommeerde profielfracties. Dit telt bij een normaal jaar op tot een factor 1. Met deze gemiddelde factor voor heel Nederland wordt het gemeten gasverbruik (volgens de statistiek) gecorrigeerd voor het weer.
Profielfractie	Het resultaat van de berekening met de profielparameters (RER, TST, TOP) en de weersparameter TAC voor een specifiek uur. De profielfractie is een fractie van het standaard jaarverbruik.
Referentiejaar	Het meest recente historische jaar waarmee de diverse parameters voor de profielenmethode aardgas bepaald zijn. Voor de analyses voor de KEV is het jaar 2024 gebruikt.
RER	Regressieparameter, het verbruik per eenheid van de TAC.
SPT	Gemiddelde klimaat in een toepassingsjaar.
Standaard jaarverbruik (SJV)	Het jaarverbruik van aardgas onder normale (gelijk aan het heersende klimaat) weersomstandigheden.
TAC	Parameter met de actuele weersomstandigheden (temperatuur, windsnelheid en zonstraling) per uur voor geheel Nederland.
TAP	Klimaatfactor welke het weersafhankelijke verbruik weergeeft.
Toepassingsjaar	Het jaar waarop de betreffende methode wordt toegepast. Dit kan een zichtjaar uit de klimaatscenario's zijn, maar ook een tussenliggend jaar.
TOP	Factor welke het weersonafhankelijke verbruik representeert.
TST	Stookparameter, de waarde van de TAC waar beneden er aardgasverbruik voor ruimteverwarming plaats vindt.
Weer	De werkelijke weersomstandigheden in een jaar.
Zichtjaar	Een jaar waarvoor een klimaatscenario van het KNMI beschikbaar is.
Open panverdamping	Directe meting van de verdamping uit een gestandaardiseerde bak met water.
Potentiële evapotranspiratie	De theoretische, maximale hoeveelheid water die kan verdampen uit de bodem én transpireren via planten, aannemende dat er onbeperkt water beschikbaar is.
Referentie gewasverdamping	De berekende verdamping van een hypothetisch, gestandaardiseerd grasveld dat perfect is voorzien van water (formule van Makkink).

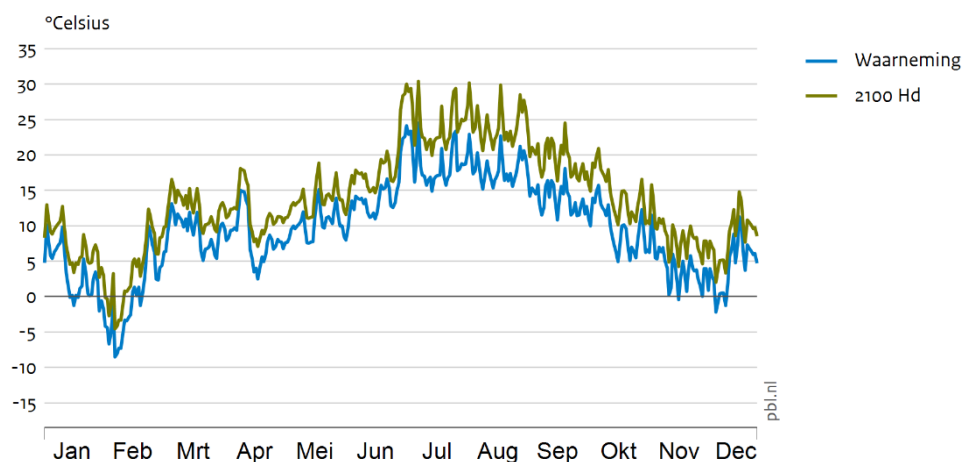
Bijlage 2 Getransformeerde tijdreeksen

De getransformeerde reeksen zijn reeksen met dagwaarden over een periode van 30 jaar voor een tijdshorizon in de toekomst. De getransformeerde tijdreeksen geven zo goed mogelijk aan hoe de waarnemingen passen bij het klimaat in de toekomst volgens de KNMI'23-klimaatscenario's. Ze geven daarmee een indruk van hoe het weer in de toekomst van dag tot dag eruit kan zien. Ze zijn géén voorspelling van het weer in de toekomst op een bepaalde dag of in een bepaald jaar.

In Figuur 26 staat een voorbeeld van een getransformeerde tijdreeks voor de gemiddelde temperatuur in De Bilt. Dit betreft de waargenomen reeks voor de periode 1 januari 1991 tot en met 31 december 1991 vergeleken met de getransformeerde reeks uit het klimaatscenario Hd in 2100. In dit scenario betreft het dan het fictieve weer voor de periode 1 januari 2086 tot en met 31 december 2086.

Figuur 26

Getransformeerde temperatuur De Bilt 1991 voor het klimaatscenario Hd in 2100



In het figuur is duidelijk te zien dat de getransformeerde tijdreeks voor het klimaatscenario Hd voor 2100 het patroon in de temperatuur volgt uit de waargenomen temperatuur in 1991. Alleen door het effect van de veronderstelde klimaatverandering ligt de gehele lijn hoger. Al is het wel zo dat het effect van de klimaatverandering in de winter anders uitpakt dan in de zomer, het verschil is dus niet over de gehele periode exact gelijk. Ook voor andere variabelen (bijvoorbeeld zoninstraling en windsnelheid) zijn dezelfde soorten effecten te zien. Al is het ook mogelijk dat onder invloed van het seizoen de ene keer de getransformeerde reeks boven de waargenomen reeks ligt en de andere keer eronder.

Bijlage 3 Interpolatie klimaatgegevens KNMI

Vanuit de KNMI'23-klimaatscenario's is het klimaat slechts voor een beperkt aantal jaren beschikbaar. Het klimaat van 2005 is gebruikt als basisjaar en vervolgens is er één scenario voor 2033 en vier scenario's voor 2050. Voor de KEV is ook het klimaat nodig voor de tussenliggende jaren. Er is gekozen om eerst alle benodigde basisgegevens te interpoleren en vervolgens vanuit deze geïnterpoleerde basisgegevens de gegevens voor het gemiddelde klimaat (het gemiddelde van de vier klimaatscenario's) te berekenen. Dit ziet er dan als volgt uit:

$$(15) \quad x_j = x_{j_eerder} + \frac{x_{j_later} - x_{j_eerder}}{(j_{later} - j_{eerder})} * (j - j_{eerder})$$

Waarin:

x_j	De waarde in het toepassingsjaar, het jaar waarvoor een geïnterpoleerde waarde wordt berekend.
x_{j_later}	De waarde in het eerstvolgende jaar na het toepassingsjaar, dat beschikbaar is in de klimaatscenario's.
x_{j_eerder}	De waarde in het jaar voorafgaand aan het toepassingsjaar, dat beschikbaar is in de klimaatscenario's.
j	Het toepassingsjaar
j_{later}	Het jaartal van x_{j_later}
j_{eerder}	Het jaartal van x_{j_eerder} .

Dit wordt voor alle relevante weerstations, alle relevante scenario's gedaan en alle te gebruiken gegevens gedaan. Voor de profielenmethodiek aardgas wordt dit ook gedaan voor de gegevens op uurbasis. De te hanteren scenario's en jaartallen bij het bepalen van het geïnterpoleerde jaar zijn hieronder weergegeven.

Tabel 11
Te gebruiken gegevens voor interpolatie klimaatscenario's

Scenario	Toepassingsjaren (j)	Gebruikt scenario x_{j_eerder}	Gebruikt scenario x_{j_later}	j_{eerder}	j_{later}
Ld	2005 tot en met 2033	2005	2033L	2005	2033
Ld	2034 tot en met 2050	2033L	2050Ld	2033	2050
Ln	2005 tot en met 2033	2005	2033L	2005	2033
Ln	2034 tot en met 2050	2033L	2050Ln	2033	2050
Hd	2005 tot en met 2050	2005	2050Hd	2005	2050
Hn	2005 tot en met 2050	2005	2050Hn	2005	2050

Als voorbeeld voor het toepassingsjaar 2018 voor het scenario Ld, worden als volgt de gemiddelde waarden van een dag bepaald op basis van het basisjaar 2005 en het scenario 2033L (de eerste regel uit bovenstaande tabel):

$$(16) \quad x_{2018} = x_{2005} + \frac{x_{2033} - x_{2005}}{(2033 - 2005)} \times (2018 - 2005)$$

Na deze berekening voor alle scenario's zijn per scenario 30 jaren met basisgegevens per dag of uur rond het toepassingsjaar voor de relevante weerstations bekend. De gegevens van alle scenario's worden vervolgens gemiddeld:

(17)

$$x = \frac{x_{Ld} + x_{Ln} + x_{Hd} + x_{Hn}}{4}$$

x

Gemiddelde waarde voor een bepaalde dag of uur

x_{Ld}

Ld waarde. De geïnterpoleerde waarde voor een bepaalde dag of uur voor klimaatscenario Ld

x_{Ln}

Ln waarde. De geïnterpoleerde waarde voor een bepaalde dag of uur voor klimaatscenario Ln

x_{Hd}

Hd waarde. De geïnterpoleerde waarde voor een bepaalde dag of uur voor klimaatscenario Hd

x_{Hn}

Hn waarde. De geïnterpoleerde waarde voor een bepaalde dag of uur voor klimaatscenario Hn.

Bijlage 4 Omzetting standaardprofiel aardgas 2024 op basis van KNMI'23 klimaatscenario's gegevens

Voor het actuele weer in een jaar is, ten behoeve van de KEV weerscorrectie, een weerscorrectiefactor nodig die staat voor de afwijking van het weer ten opzichte van het klimaat in dat jaar op basis van de KNMI'23 klimaatscenario's. Tot 2027 zijn alle standaardprofielen aardgas gebaseerd op historische weersgegevens. Om toch de weerscorrectie voor een jaar op basis van de KNMI'23 klimaatscenario's te kunnen bepalen wordt het standaardprofiel aardgas 2024¹¹ omgezet tot een standaardprofiel dat een som van de profielfracties van 1 heeft bij het klimaat volgens de KNMI'23 klimaatscenario's. Met dit profiel en de TAC van het betreffende jaar kunnen profielfracties bepaald worden die dan de basis vormen voor de KEV weerscorrectie.

De omzetting van het standaardprofiel aardgas verloopt als volgt:

Gebruik de SPT_{KNMI23} voor het jaar waarvoor de weerscorrectiefactor bepaald moet worden met het standaardprofiel aardgas voor 2024 om het weersafhankelijke deel te bepalen:

$$(18) \quad TAP_{reken} = \sum_u \max(0, (TST_{hist;2024;u} - SPT_{knmi23;j;u}) * RER_{hist;2024;u})$$

Normaliseer het profiel zodat de som van de profielfracties bij gebruik van $SPT_{knmi23;j}$ gelijk is aan 1. Bepaal daarvoor eerst de correctiefactor:

$$(19) \quad f = \frac{1 - TOP_{hist;2024}}{TAP_{reken}}$$

Gebruik deze correctiefactor om alle waarden van RER te corrigeren:

$$(20) \quad RER_{knmi23;j;u} = f * RER_{hist;2024;u}$$

Waarin

TAP_{reken}	Een waarde van TAP die gebruikt wordt voor het normaliseren.
$TST_{hist;2024;u}$	De stookparameters TST in uur u van het standaardprofiel aardgas voor 2024 gebaseerd op historische weersgegevens.
$SPT_{knmi23;j;u}$	De standaard profieltemperatuur in uur u op basis van de KNMI'23-klimaatscenario's voor het betreffende jaar.
$RER_{hist;2024;u}$	De regressieparameter RER in uur u van het standaardprofiel aardgas voor 2024 gebaseerd op historische weersgegevens.
$TOP_{hist;2024}$	Het weersafhankelijke deel van het standaardprofiel aardgas voor 2024 op basis van historische weersgegevens.

¹¹ Het standaardprofiel voor 2024 was het meest recente beschikbare profiel bij de start van het onderzoek.

$RER_{knmi23;ref;u}$

De regressieparameter RER in uur u van het op basis van de KNMI'23-klimaatscenario's genormaliseerde profiel voor het referentiejaar.

Nu is het omgezette standaardprofiel beschikbaar met RER, TST en TOP waarbij de som van de profiel fracties gelijk is aan 1 bij het gebruik van $SPT_{knmi23;j}$. Dit profiel kan gebruikt worden met TAC in het betreffende jaar om tot de profiel fracties (TAP en TOP) te komen alsof het profiel gebaseerd zou zijn op de KNMI'23-klimaatscenario's (zie formules (8) - (11)).

Bijlage 5 Formule van Makkink

Met behulp van de formule van Makkink berekent het KNMI vanuit de gemiddelde temperatuur per dag en de dagelijkse zoninstraling de referentie gewasverdamping per dag (KNMI 2005). De referentie gewasverdamping is de hoeveelheid water die verdampt van een grasveld. Het gras voelt van buiten droog aan, is gelijkmatig verdeeld, heeft een lengte van ongeveer 8 tot 15 cm, en krijgt voldoende watertoevoer. Met onderstaande formules kan dan de verdamping berekend worden.

$$\begin{aligned}
 (21) \quad & e_s(T) = 6,107 \times 10^{7,5 \times \frac{T}{237,3+T}} \\
 (22) \quad & \delta(T) = \frac{7,5 \times 237,3}{(237,3 + T)^2} \times \ln(10) \times e_s(T) \\
 (23) \quad & \gamma(T) = 0,646 + 0,0006 \times T \\
 (24) \quad & \lambda(T) = 1000 \times (2501 - 2,38 \times T) \\
 (25) \quad & \rho = 1000 \\
 (26) \quad & E_r = \frac{1000 \times 0,65 \times \delta(T)}{(\delta(T) + \gamma(T)) \times \rho \times \lambda(T)} \times Q
 \end{aligned}$$

Waarin:

$e_s(T)$	Verzadigde dampspanning ten opzichte van water in hPa
$\delta(T)$	Verzadigde dampspanningsgradiënt ten opzichte van water in hPa/°C
$\gamma(T)$	Psychrometerconstante in hPa/°C
$\lambda(T)$	Verdampingswarmte van water in J/kg
ρ	Soortelijke massa van water in kg/m³
Q	Dagsom globale straling in J/m²
T	Etmaalgemiddelde luchttemperatuur in °C
E_r	Verdamping in mm/etmaal

Bijlage 6 Gedetailleerde gegevens gebruikt voor de klimaat- en weerscorrecties

In onderstaande tabel staat de weerscorrectiefactor, waarmee het energieverbruik voor ruimteverwarming voor het veranderende klimaat naar de toekomst toe kan worden gecorrigeerd. De weerscorrectiefactor is berekend aan de hand van het standaardprofiel aardgas in 2024 (zie Figuur 2). Met deze factor wordt de energievraag naar ruimteverwarming gecorrigeerd. In 2030 is de energievraag dus 8,3 procent lager dan in 2005 ($0,778 / 0,848 - 1$). In de modellen gebruikt voor de KEV kan deze gewijzigde energievraag naar ruimteverwarming vervolgens worden ingevuld met warmtepompen, hybride ketels, warmtelevering of een andere opwekkingstechniek.

De gegevens uit onderstaande tabel zijn ook gebruikt om de onzekerheid rond het klimaat op het energieverbruik voor ruimteverwarming te berekenen.

Tabel 12

Weerscorrectiefactor als indicator voor het klimaat voor ruimteverwarming voor de vier klimaatscenario's en het gemiddelde daarvan.

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2005	0,848	0,848	0,848	0,848	0,848
2006	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845
2007	0,842	0,843	0,843	0,841	0,842
2008	0,839	0,840	0,840	0,838	0,838
2009	0,836	0,838	0,838	0,835	0,835
2010	0,833	0,835	0,835	0,832	0,832
2011	0,831	0,832	0,832	0,828	0,829
2012	0,828	0,830	0,830	0,825	0,826
2013	0,825	0,827	0,827	0,822	0,823
2014	0,822	0,825	0,825	0,819	0,820
2015	0,819	0,822	0,822	0,816	0,817
2016	0,816	0,820	0,820	0,812	0,813
2017	0,814	0,817	0,817	0,809	0,810
2018	0,811	0,815	0,815	0,806	0,807
2019	0,808	0,812	0,812	0,803	0,804
2020	0,805	0,810	0,810	0,800	0,801
2021	0,802	0,807	0,807	0,797	0,798
2022	0,800	0,805	0,805	0,794	0,795
2023	0,797	0,802	0,802	0,791	0,792
2024	0,794	0,800	0,800	0,788	0,789
2025	0,791	0,797	0,797	0,785	0,786
2026	0,789	0,795	0,795	0,782	0,783
2027	0,786	0,793	0,793	0,778	0,780
2028	0,783	0,790	0,790	0,775	0,777
2029	0,780	0,788	0,788	0,772	0,774
2030	0,778	0,785	0,785	0,769	0,771
2031	0,775	0,783	0,783	0,766	0,768
2032	0,772	0,780	0,780	0,763	0,765
2033	0,770	0,778	0,778	0,760	0,762
2034	0,768	0,777	0,777	0,758	0,759
2035	0,765	0,775	0,776	0,755	0,756
2036	0,763	0,774	0,774	0,752	0,753

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2037	0,761	0,772	0,773	0,749	0,750
2038	0,759	0,771	0,772	0,746	0,747
2039	0,757	0,770	0,771	0,743	0,745
2040	0,755	0,768	0,770	0,740	0,742
2041	0,753	0,767	0,769	0,737	0,739
2042	0,751	0,765	0,767	0,734	0,736
2043	0,749	0,764	0,766	0,731	0,733
2044	0,746	0,763	0,765	0,728	0,730
2045	0,744	0,761	0,764	0,725	0,727
2046	0,742	0,760	0,763	0,723	0,724
2047	0,740	0,758	0,762	0,720	0,722
2048	0,738	0,757	0,760	0,717	0,719
2049	0,736	0,756	0,759	0,714	0,716
2050	0,734	0,754	0,758	0,711	0,713

In onderstaande tabel staat de profielfactor waarmee het gemeten aardgasverbruik gecorrigeerd kan worden naar een verbruik waarin de jaarlijkse weersfluctuaties zijn gecorrigeerd. Een factor 1 houdt in dat het weer in het betreffende jaar gelijk was aan het klimaat in het betreffende jaar, een factor groter dan 1 betekent dat het relatief kouder was in het betreffende jaar en een factor kleiner dan 1 relatief warmer dan het klimaat. Deze profielfactor is berekend aan de hand van het standaardprofiel aardgas in het betreffende jaar.

Tabel 13
Gerealiseerde profielfactor (PF)

Jaar	Profielfactor op basis van het klimaat t-30 t/m t-1	Profielfactor op basis van het klimaat t-14 t/m t+15	Profielfactor herberekend op basis profiel 2024	Profielfactor voor berekening weersgecorrigeerd verbruik
1995			1,088	1,076
1996			1,279	1,265
1997			1,075	1,064
1998			1,051	1,039
1999			0,986	0,975
2000			0,977	0,967
2001			1,026	1,015
2002			0,982	0,972
2003			1,025	1,013
2004			0,999	0,989
2005		0,954	0,964	0,954
2006		0,986	0,994	0,986
2007		0,886	0,891	0,886
2008	0,960	1,013	1,011	1,013
2009	0,960	1,002	1,001	1,002
2010	1,125	1,206	1,202	1,206
2011	0,921	0,933	0,928	0,933
2012	1,014	1,043	1,030	1,043
2013	1,101	1,131	1,118	1,131
2014	0,849	0,846	0,834	0,846
2015	0,935	0,946	0,929	0,946
2016	0,986	1,015	0,986	1,015
2017	0,946	0,966	0,944	0,966

Jaar	Profielfactor op basis van het klimaat t-30 t/m t-1	Profielfactor op basis van het klimaat t-14 t/m t+15	Profielfactor herberekend op basis profiel 2024	Profielfactor voor berekening weersgecorrigeerd verbruik
2018	0,956	0,988	0,962	0,988
2019	0,901	0,937	0,910	0,937
2020	0,861	0,908	0,875	0,908
2021	0,985	1,021	0,984	1,021
2022	0,872	0,891	0,859	0,891
2023	0,903	0,922	0,884	0,922
2024	0,848	0,885	0,848	0,885
2025	0,866	0,904	0,864	0,904

Voor de onzekerheden in het weer wordt gekeken in hoeverre het weer in een bepaald jaar afwijkt van het klimaat. Het klimaat is bepaald aan de hand van het afnameprofiel voor 2024. Dus ook in onderstaande tabel is de gerealiseerde TAP berekend aan de hand van het afnameprofiel in 2024, terwijl het in de tabel hierboven bepaald is met het afnameprofiel in het betreffende jaar. Ook zit in de profielfactor hierboven zowel het weersafhankelijke deel (TAP) als het weersonafhankelijke deel (TOP), terwijl we voor de onzekerheid in het weer alleen kijken naar het weersafhankelijke deel.

Tabel 14
Onzekerheid in het weer ten opzichte van het klimaat voor ruimteverwarming

Jaar	Gerealiseerde TAP	Afwijking ten opzichte van klimaat
2005	0,790	0,945
2006	0,822	0,983
2007	0,722	0,864
2008	0,849	1,015
2009	0,838	1,002
2010	1,042	1,246
2011	0,770	0,920
2012	0,879	1,052
2013	0,968	1,157
2014	0,683	0,816
2015	0,782	0,935
2016	0,851	1,018
2017	0,803	0,960
2018	0,824	0,986
2019	0,774	0,925
2020	0,744	0,890
2021	0,857	1,025
2022	0,728	0,870
2023	0,758	0,907
2024	0,721	0,862
2025	0,740	0,885

In onderstaande tabel staat het aantal koelgraaddagen berekend vanuit de KNMI'23-klimaatsscenario's bij een referentietemperatuur van 18°C. De gemiddelde waarde dient als invoer voor de relevante modellen die gebruikt worden in de KEV om de energievraag naar ruimtekoeling aan te passen.

Tabel 15

Aantal koelgraaddagen bij referentietemperatuur van 18°C voor weerstation De Bilt volgens het klimaat van 30 jaar rond een toepassingsjaar

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2005	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1
2006	101,9	101,6	101,6	102,5	101,9
2007	103,7	103,1	103,1	104,8	103,8
2008	105,6	104,6	104,6	107,3	105,7
2009	107,4	106,2	106,2	109,8	107,6
2010	109,3	107,7	107,7	112,3	109,6
2011	111,2	109,3	109,3	114,9	111,5
2012	113,2	110,9	110,9	117,5	113,5
2013	115,1	112,5	112,5	120,1	115,6
2014	117,1	114,2	114,2	122,8	117,6
2015	119,1	115,8	115,8	125,5	119,7
2016	121,2	117,5	117,5	128,2	121,8
2017	123,2	119,2	119,2	131,0	123,9
2018	125,3	120,9	120,9	133,8	126,0
2019	127,4	122,6	122,6	136,6	128,2
2020	129,5	124,3	124,3	139,5	130,4
2021	131,7	126,1	126,1	142,4	132,6
2022	133,8	127,9	127,9	145,4	134,8
2023	136,0	129,7	129,7	148,4	137,0
2024	138,2	131,5	131,5	151,5	139,3
2025	140,5	133,3	133,3	154,5	141,6
2026	142,8	135,1	135,1	157,7	144,0
2027	145,1	137,0	137,0	160,8	146,3
2028	147,4	138,9	138,9	164,0	148,7
2029	149,7	140,8	140,8	167,2	151,1
2030	152,1	142,7	142,7	170,5	153,6
2031	154,4	144,6	144,6	173,8	156,0
2032	156,8	146,6	146,6	177,1	158,5
2033	159,2	148,5	148,5	180,5	161,1
2034	161,2	149,8	149,3	184,0	163,6
2035	163,2	151,1	150,2	187,4	166,2
2036	165,2	152,4	151,0	190,9	168,8
2037	167,2	153,7	151,8	194,4	171,4
2038	169,3	155,0	152,7	198,0	174,1
2039	171,3	156,3	153,5	201,6	176,8
2040	173,4	157,6	154,4	205,2	179,5
2041	175,5	158,9	155,2	208,9	182,2
2042	177,6	160,3	156,1	212,6	185,0
2043	179,7	161,6	157,0	216,4	187,8
2044	181,9	163,0	157,8	220,2	190,6
2045	184,0	164,4	158,7	224,0	193,5
2046	186,2	165,7	159,6	227,8	196,4
2047	188,4	167,1	160,5	231,7	199,3
2048	190,6	168,5	161,4	235,6	202,2
2049	192,8	169,9	162,3	239,6	205,2
2050	195,0	171,3	163,2	243,6	208,2

In onderstaande tabel staat het aantal koelgraaddagen berekend vanuit de KNMI'23-klimaatsscenario's bij een referentietemperatuur van 22°C. Met de gemiddelde waarde wordt een onzekerheidsmarge berekend voor de energievraag naar ruimtekoeling.

Tabel 16

Aantal koelgraaddagen bij referentietemperatuur van 22°C voor weerstation De Bilt volgens het klimaat van 30 jaar rond een toepassingsjaar

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2005	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
2006	14,4	14,4	14,4	14,6	14,5
2007	14,8	14,7	14,7	15,1	14,8
2008	15,2	15,0	15,0	15,7	15,3
2009	15,6	15,3	15,3	16,2	15,7
2010	16,1	15,7	15,7	16,8	16,1
2011	16,5	16,0	16,0	17,4	16,5
2012	16,9	16,4	16,4	18,0	17,0
2013	17,4	16,7	16,7	18,6	17,4
2014	17,8	17,1	17,1	19,2	17,9
2015	18,3	17,5	17,5	19,9	18,4
2016	18,7	17,8	17,8	20,5	18,8
2017	19,2	18,2	18,2	21,2	19,3
2018	19,7	18,6	18,6	21,9	19,8
2019	20,2	19,0	19,0	22,6	20,3
2020	20,7	19,4	19,4	23,4	20,9
2021	21,2	19,8	19,8	24,1	21,4
2022	21,7	20,2	20,2	24,9	21,9
2023	22,3	20,7	20,7	25,6	22,5
2024	22,8	21,1	21,1	26,4	23,0
2025	23,4	21,5	21,5	27,3	23,6
2026	23,9	22,0	22,0	28,1	24,2
2027	24,5	22,4	22,4	28,9	24,8
2028	25,1	22,9	22,9	29,8	25,4
2029	25,7	23,4	23,4	30,6	26,0
2030	26,3	23,9	23,9	31,5	26,6
2031	26,9	24,4	24,4	32,5	27,2
2032	27,6	24,8	24,8	33,4	27,8
2033	28,2	25,3	25,3	34,3	28,5
2034	28,7	25,7	25,5	35,3	29,1
2035	29,3	26,1	25,7	36,3	29,8
2036	29,8	26,6	25,9	37,3	30,5
2037	30,4	27,0	26,1	38,3	31,2
2038	31,0	27,4	26,3	39,4	31,9
2039	31,5	27,8	26,5	40,4	32,6
2040	32,1	28,2	26,7	41,5	33,4
2041	32,7	28,6	27,0	42,6	34,1
2042	33,3	29,1	27,2	43,7	34,8
2043	33,9	29,5	27,4	44,8	35,6
2044	34,5	30,0	27,6	46,0	36,4
2045	35,2	30,4	27,9	47,2	37,2
2046	35,8	30,8	28,1	48,4	37,9
2047	36,4	31,3	28,3	49,7	38,7
2048	37,1	31,8	28,6	50,9	39,6

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2049	37,7	32,2	28,8	52,2	40,4
2050	38,4	32,7	29,1	53,5	41,2

Voor de onzekerheden in het weer wordt gekeken in hoeverre het weer in de afgelopen 30 jaar afwijkt van het klimaat voor ruimtekoeling in het betreffende jaar. Met behulp van de gegevens uit onderstaande tabel kan dat worden berekend.

Tabel 17

Onzekerheid in het weer ten opzichte van het klimaat voor ruimtekoeling bij een referentietemperatuur van 18°C voor weerstation De Bilt

Jaar	Gerealiseerde koelgraaddagen	Klimaat voor periode t-14 t/m t+15	Afwijking ten opzichte van klimaat
1996	55,5	87,5	0,63
1997	115,4	86,6	1,33
1998	55,2	85,5	0,65
1999	99,6	86,8	1,15
2000	59,5	88,7	0,67
2001	104,6	90,2	1,16
2002	76,1	91,5	0,83
2003	133,4	97,0	1,37
2004	81,1	98,1	0,83
2005	95,1	100,1	0,95
2006	201,3	101,9	1,98
2007	52,5	103,7	0,51
2008	79,8	105,6	0,76
2009	77,7	107,4	0,72
2010	95,3	109,3	0,87
2011	43,3	111,2	0,39
2012	86,6	113,2	0,77
2013	101,8	115,1	0,88
2014	90,7	117,1	0,77
2015	95,2	119,1	0,80
2016	113,9	121,2	0,94
2017	79,6	123,2	0,65
2018	196	125,3	1,56
2019	130,9	127,4	1,03
2020	145,6	129,5	1,12
2021	59,4	131,7	0,45
2022	138,3	133,8	1,03
2023	142,7	136,0	1,05
2024	126,7	138,2	0,92
2025	126,5	140,5	0,90

In onderstaande tabel staat de zoninstraling berekend vanuit de KNMI'23-klimaatsscenario's. De gemiddelde waarde kan als invoer dienen om de productie uit zonne-energie aan te passen.

Tabel 18

Totale zinstraling voor weerstation De Bilt in kJ/cm² volgens het klimaat van 30 jaar rond een toepassingsjaar

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2005	364,8	364,8	364,8	364,8	364,8
2006	365,3	365,4	365,4	365,3	365,0
2007	365,7	365,9	365,9	365,7	365,2
2008	366,1	366,4	366,4	366,1	365,4
2009	366,5	367,0	367,0	366,5	365,6
2010	366,9	367,5	367,5	366,9	365,8
2011	367,3	368,0	368,0	367,3	366,0
2012	367,8	368,6	368,6	367,7	366,2
2013	368,2	369,1	369,1	368,1	366,4
2014	368,6	369,6	369,6	368,5	366,6
2015	369,0	370,1	370,1	368,9	366,8
2016	369,4	370,7	370,7	369,3	367,0
2017	369,8	371,2	371,2	369,7	367,2
2018	370,2	371,7	371,7	370,1	367,4
2019	370,7	372,3	372,3	370,5	367,6
2020	371,1	372,8	372,8	370,9	367,8
2021	371,5	373,3	373,3	371,3	368,0
2022	371,9	373,8	373,8	371,7	368,2
2023	372,3	374,4	374,4	372,1	368,4
2024	372,7	374,9	374,9	372,5	368,6
2025	373,1	375,4	375,4	372,9	368,8
2026	373,6	376,0	376,0	373,3	369,0
2027	374,0	376,5	376,5	373,7	369,2
2028	374,4	377,0	377,0	374,1	369,4
2029	374,8	377,5	377,5	374,5	369,6
2030	375,2	378,1	378,1	374,9	369,8
2031	375,6	378,6	378,6	375,3	370,0
2032	376,0	379,1	379,1	375,7	370,2
2033	376,5	379,7	379,7	376,1	370,4
2034	376,7	379,9	379,8	376,5	370,6
2035	377,0	380,2	379,9	376,9	370,8
2036	377,2	380,5	380,0	377,3	371,0
2037	377,4	380,7	380,1	377,7	371,2
2038	377,7	381,0	380,2	378,1	371,4
2039	377,9	381,3	380,3	378,5	371,6
2040	378,2	381,5	380,4	378,9	371,8
2041	378,4	381,8	380,5	379,3	372,0
2042	378,7	382,1	380,7	379,7	372,2
2043	378,9	382,3	380,8	380,1	372,4
2044	379,2	382,6	380,9	380,5	372,6
2045	379,4	382,9	381,0	380,9	372,8
2046	379,6	383,1	381,1	381,3	373,0
2047	379,9	383,4	381,2	381,7	373,2
2048	380,1	383,7	381,3	382,1	373,4
2049	380,4	383,9	381,4	382,5	373,6
2050	380,6	384,2	381,5	382,9	373,8

Voor de onzekerheden in het weer wordt gekeken in hoeverre het weer in de afgelopen 30 jaar afwijkt van het klimaat voor zinstraling in het betreffende jaar. Met behulp van de gegevens uit onderstaande tabel kan dat worden berekend.

Tabel 19

Onzekerheid in het weer ten opzichte van het klimaat voor zinstraling voor weerstation De Bilt in kJ/cm²

Jaar	Gerealiseerde zinstraling	Klimaat voor periode t-14 t/m t+15	Afwijking ten opzichte van klimaat
1996	342,3	355,4	0,96
1997	352,9	354,7	1,00
1998	310,3	355,1	0,87
1999	362,5	356,7	1,02
2000	337,9	358,5	0,94
2001	358,7	358,8	1,00
2002	361,5	360,1	1,00
2003	398,8	362,9	1,10
2004	359,8	363,6	0,99
2005	371,1	364,8	1,02
2006	369,2	365,3	1,01
2007	361,4	365,7	0,99
2008	363,0	366,1	0,99
2009	381,4	366,5	1,04
2010	375,4	366,9	1,02
2011	369,3	367,3	1,01
2012	355,9	367,8	0,97
2013	361,2	368,2	0,98
2014	374,6	368,6	1,02
2015	386,3	369,0	1,05
2016	374,2	369,4	1,01
2017	367,2	369,8	0,99
2018	409,4	370,2	1,11
2019	395,5	370,7	1,07
2020	405,1	371,1	1,09
2021	371,6	371,5	1,00
2022	430,3	371,9	1,16
2023	394,5	372,3	1,06
2024	374,4	372,7	1,00
2025	436,1	373,1	1,17

In onderstaande tabel staat de gemiddelde windsnelheid berekend vanuit de KNMI'23-klimaatscenario's. De gemiddelde waarde kan als invoer dienen om de productie uit windenergie aan te passen. Echter zoals zichtbaar in de tabel vindt hier helemaal geen verandering plaats.

Tabel 20

Gemiddelde windsnelheid voor weerstation De Kooy in m/s volgens het klimaat van 30 jaar rond een toepassingsjaar

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2005	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2006	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2007	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6

Jaar	Gemiddelde	Ld	Ln	Hd	Hn
2008	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2009	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2010	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2011	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2012	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2013	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2014	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2015	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2016	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2017	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2018	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2019	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2020	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2021	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2022	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2023	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2024	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2025	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2026	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2027	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2028	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2029	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2030	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2031	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2032	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2033	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2034	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2035	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2036	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2037	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2038	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2039	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2040	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2041	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2042	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2043	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2044	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2045	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2046	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2047	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2048	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2049	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
2050	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6

Voor de onzekerheden in het weer wordt gekeken in hoeverre het weer in de afgelopen 30 jaar afwijkt van het klimaat voor de gemiddelde windsnelheid in het betreffende jaar. Met behulp van de gegevens uit onderstaande tabel kan dat worden berekend.

Tabel 21

Onzekerheid in het weer ten opzichte van het klimaat voor de gemiddelde windsnelheid voor
weerstation De Kooy in m/s

Jaar	Gerealiseerde gemiddelde windsnelheid	Klimaat voor periode t-14 t/m t+15	Afwijking ten opzichte van klimaat
1996	5,5	5,8	0,95
1997	5,4	5,8	0,93
1998	6,1	5,8	1,05
1999	5,8	5,7	1,01
2000	5,8	5,7	1,01
2001	5,4	5,7	0,95
2002	5,7	5,7	0,99
2003	5,2	5,7	0,92
2004	5,6	5,6	0,99
2005	5,4	5,6	0,95
2006	5,6	5,6	0,99
2007	5,8	5,6	1,03
2008	6,0	5,6	1,07
2009	5,5	5,6	0,97
2010	5,0	5,6	0,90
2011	5,6	5,6	1,00
2012	5,5	5,6	0,97
2013	5,6	5,6	0,99
2014	5,4	5,6	0,96
2015	5,9	5,6	1,04
2016	5,2	5,6	0,92
2017	5,4	5,6	0,96
2018	5,3	5,6	0,94
2019	5,3	5,6	0,95
2020	5,8	5,6	1,03
2021	5,0	5,6	0,90
2022	5,2	5,6	0,93
2023	5,6	5,6	0,99
2024	5,4	5,6	0,96
2025	5,0	5,6	0,90

Bijlage 7 Weerstations KNMI

In dit rapport worden de gegevens van diverse weerstations van het KNMI gebruikt. Zo goed als alle waarnemingen zijn afkomstig uit automatische metingen. Alleen de waarnemingen van de neerslag betreffen handmatige metingen. In de klimaatscenario's van het KNMI zijn de stationsnummers van de handmatige metingen verwerkt in de bestandsnaam en de stationsnummers van de automatische metingen zijn zichtbaar als identificatienummer in de gegevens.

Tabel 22
Beschrijving weerstations KNMI

Weerstation	Stationsnummer automatische metingen	Stationsnummer handmatige metingen	Longitude	Latitude
De Kooy	235	025	E 4,8°	N 52,9°
De Bilt	260	550	E 5,2°	N 52,1°
Eelde	280	161	E 6,6°	N 53,1°
Twenthe	290	670	E 6,9°	N 52,3°
Vlissingen	310	733	E 3,6°	N 51,4°
Maastricht	380	973	E 5,8°	N 50,9°