

Zonkrachtverwachting, zonkrachtwijzer en de dagelijkse dosis vitamine-D

Jos van Geffen, Michiel van Weele, Jos de Laat (KNMI), Arjan van Dijk (RIVM)

In lente en zomer is de zonkrachtverwachting een terugkerend onderdeel van de weersverwachting. Als er veel zonuren verwacht worden, weerklinken de waarschuwingen voor de mogelijke schadelijke gevolgen van de blootstelling aan de zon. Dat geldt vooral bij blootstelling van de huid tussen 12 en 15 uur 's middags. In dit artikel leggen we uit hoe de zonkrachtverwachting precies tot stand komt en we introduceren de zonkrachtwijzer, sinds de zomer van 2025 gehost door het RIVM. Tenslotte vertellen we ook iets over de dagelijkse UV-dosis die van belang is voor de aanmaak van vitamine-D.

Zonkrachtverwachtingen

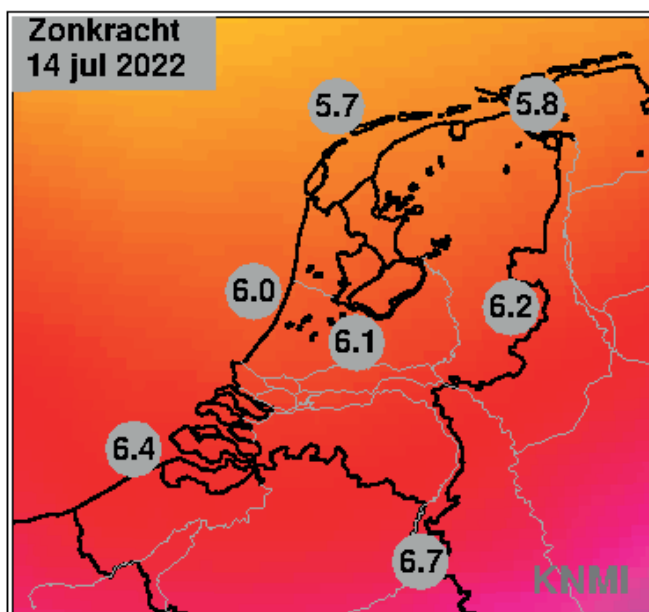
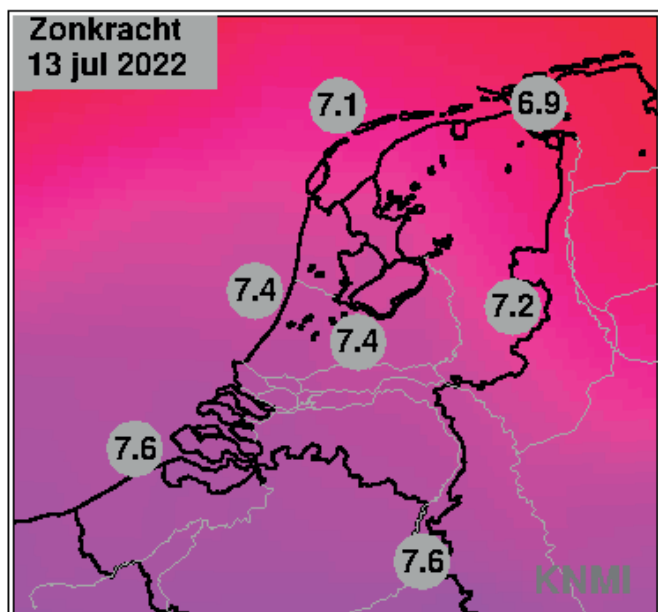
Blootstelling aan straling van de zon is onvermijdelijk voor mensen en daar kleven zowel risico's als voordelen aan. Daarom is er internationaal een maat afgesproken die uitdrukt hoe snel je rood wordt van die straling. In het Nederlands wordt deze maat gewoonlijk 'zonkracht' genoemd, terwijl men internationaal en binnen de wetenschap spreekt van 'UV-index'.

Internationaal is afgesproken om in de communicatie de verwachte maximale UV-index te geven zonder de effecten van bewolking of vervuilde luchtsoorten. Deze maximale UV-index wordt door het KNMI berekend aan de hand van de verwachte dikte van de ozonlaag en de maximale hoogte van de zon boven de horizon en deze varieert daardoor met de seizoenen. De UV-index is een maat voor de effectiviteit van de UV-straling afkomstig van de zon aan het aardoppervlak, bij afwezigheid van bewolking, op het moment dat de zon op het hoogste punt staat. De UV-index is gebaseerd op de gevoeligheid van de Kaukasische huid voor zonnebrand ("erythema"), volgens de officiële beschrijving daarvan door de CIE (= International Commission on Illumination) en zoals vastgelegd door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in 2002.

Het KNMI berekent de UV-index wereldwijd en publiceert de berekeningen voor (professionele) gebruikers via

de TEMIS UV website (<https://www.temis.nl/uvradiation/>). De UV-index wordt berekend op basis van de wereldwijd geassimileerde ozonverdeling. Die ozonverdeling wordt uitgerekend aan de hand van de laatste verwachtingen van de ECMWF weersmodellen en satellietwaarnemingen van de ozonverdeling. Omdat de ECMWF verwachtingen voor meerdere dagen vooruit beschikbaar zijn, kan ook een meerdaagse verwachting van de wereldwijde ozonverdeling gemaakt worden, en daarmee een meerdaagse verwachting van de wereldwijde UV-index voor vandaag en de komende 8 dagen. In de communicatie naar het Nederlandse publiek wordt de UV-index de zonkracht genoemd en de index wordt afgerond naar het dichtstbijzijnde gehele getal. De zonkrachtverwachting voor vandaag (in De Bilt) verschijnt dagelijks in de KNMI app en daarnaast voor vandaag en komende 8 dagen op de website van het KNMI (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/ waarschuwingen-en-verwachtingen/zonkracht/>). De wereldwijde UV-index wordt beschikbaar gesteld via databestanden met meerdere cijfers achter de komma ten behoeve van verder gebruik. De nauwkeurigheid van de UV-index verwachting voor vandaag is 3-5%, bij 4 dagen vooruit tot zo'n 10%; de onzekerheid in de berekening van de UV-index is 7% (zomer) tot 10% (winter) in De Bilt.

Een voorbeeld van de verwachting gemaakt op 13 juli



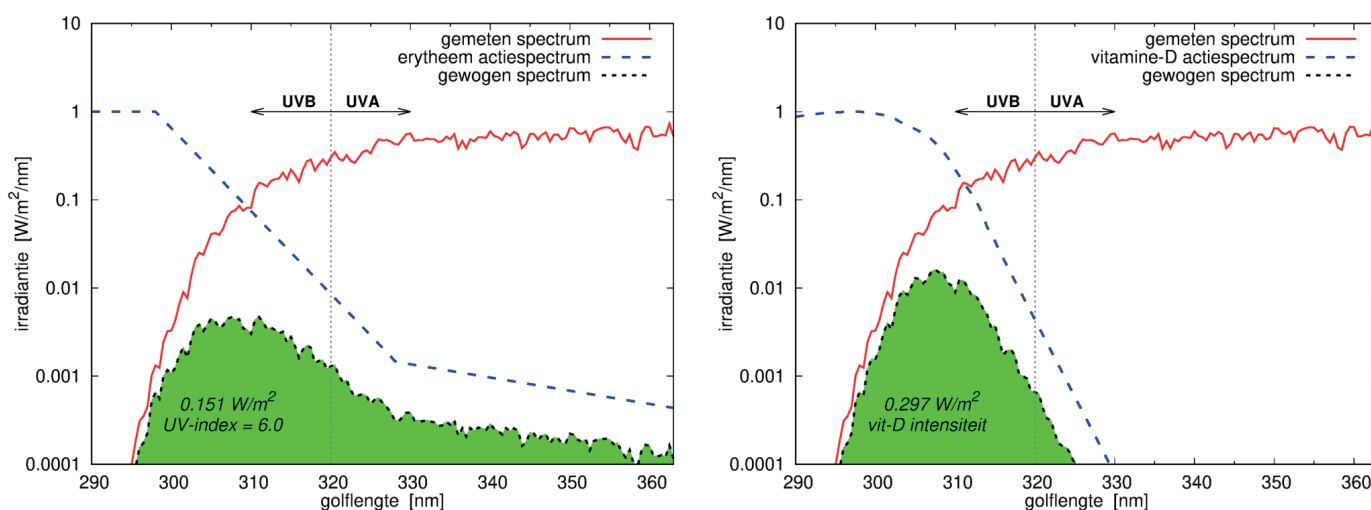
Figuur 1. Zonkrachtverwachting (UV-index) voor Nederland bepaald op 13 juli 2022 voor die dag (links) en de volgende dag (rechts), aangegeven met 1 decimaal om de regionale en dag-tot-dag verschillen te laten zien.

2022 voor die dag en de volgende dag voor Nederland is te zien in Figuur 1. De panelen laten zien (1) dat er de verschillen kunnen zijn tussen het noorden en zuiden, maar ook tussen het oosten en westen van Nederland, en (2) dat de verschillen van dag-tot-dag soms vrij groot kunnen zijn. Deze verschillen worden bepaald door variaties in de verdeling van ozon in de stratosfeer en in de noord-zuid richting ook door de stand van de zon.

De berekening van de UV-index

De golflengte-afhankelijkheid van een bepaald biologisch effect voor straling wordt beschreven door een actiespectrum: het actiespectrum vertaalt de stralingsintensiteit naar biologische effectiviteit. Voor de UV-index is het erythem actiespectrum leidend: dit actiespectrum is rele-

vant voor verbranding door de zon, zichtbaar bijvoorbeeld door het rood worden van de huid. Blootstelling van je huid aan UV-straling leidt daarnaast ook tot de aanmaak van vitamine-D; deze aanmaak heeft een ander actiespectrum. De blauwe onderbroken lijn in de twee panelen van Figuur 2 laat de actiespectra zien van erythema (links) en van de aanmaak van vitamine-D in de huid (rechts). Vermenigvuldiging van het gemeten zonnenspectrum (rode getrokken lijn) met het actiespectrum geeft het gewogen zonnenspectrum (zwarte gestippelde lijn) relevant voor het betreffende biologische effect. De integraal van dit gewogen spectrum – het groene oppervlak onder de zwarte gestippelde lijn – is de bij die meting behorende gewogen intensiteit in W/m². In de communicatie naar het publiek wordt de intensiteit van de erythem-gewogen UV-straling



Figuur 2. Bepaling van de UV-index (het gekleurde oppervlak onder de zwarte gestippelde lijn) voor de actiespectra voor erythema (links) en de aanmaak van vitamine-D (rechts) aan de hand van de spectrale UV-straling gemeten bij het KNMI in De Bilt op 15 juni 2015 om 11:41 UTC.

Berekening van de UV-index en dagelijkse UV-dosis

De met een actiespectrum gewogen intensiteit van de UV-straling [in W/m² bij totale ozonkolom T [in Dobson-eenheden, DU] en zonshoek t.o.v. zenit θ_0 [in graden] wordt gegeven door de volgende parametrisatie (Allaart et al., 2004):

$$I_{\text{UVR}}(T, \theta_0) = I_{\text{UVA}} \cdot \left\{ F \cdot \left(\frac{1000 \cdot \mu_0}{T} \right)^G + \frac{H}{T} + J \right\} \quad \text{met:} \quad \mu_0 = \cos \theta_0$$

waarin het UVA-deel van de UV-straling louter een functie van θ_0 is:

$$I_{\text{UVA}}(\theta_0) = S \cdot \mu_x \cdot \exp(-\tau/\mu_x) \quad \text{met:} \quad \mu_x = \mu_0 \cdot (1 - \epsilon) + \epsilon$$

Deze UV-intensiteit (I_{UVR}) wordt gecorrigeerd voor de afstand Aarde-Zon, het albedo van het aardoppervlak, de hoogte boven zeeniveau en de aanwezigheid van bewolking (niet voor de zonkrachtverwachtingen). Voor de aanwezigheid van aerosolen wordt geen expliciete correctie uitgevoerd; met een stralingstransportmodel is afgeleid dat de impliciete aerosol optische dikte (AOD) bij 368 nm ongeveer 0.30 is, met een UV single scattering albedo van ongeveer 0.9.

De UV-index is I_{UVR} op het moment dat de zon het hoogst aan de hemel staat bij onbewolkte hemel, volgens internationale afspraken omgerekend naar een dimensieloze index middels deling door 0.025 W/m².

De dagelijkse UV-dosis [in kJ/m²] is $I_{\text{UVR}}(T)$ geïntegreerd over de dag, rekening houdend met de variatie in bewolking zoals gemeten door de Meteosat Second Generation (MSG) cloud imagers.

De vergelijkingen bevatten een aantal fitparameters (S , τ , ϵ , F , G , H en J) die bepaald zijn aan de hand van het gekozen actiespectrum en grondwaarnemingen van de UV-straling in De Bilt en Paramaribo. In april 2017 is de parametrisatie opnieuw uitgevoerd, gebruikmakend van meer waarnemingen dan oorspronkelijk in Allaart et al., 2004.

Voor verdere details en referenties, zie <https://www.temis.nl/uvradiation/product/uvi-uvd.html>.

omgerekend naar een dimensieloze UV-index. De figuren laten zien dat het UVB-deel van de straling het zwaarst weegt voor beide biologische effecten, maar dat er bij erythema ook een duidelijke bijdrage komt van het UVA-deel van het zonnenspectrum, terwijl de UVA-bijdrage bij vitamine-D veel kleiner is.

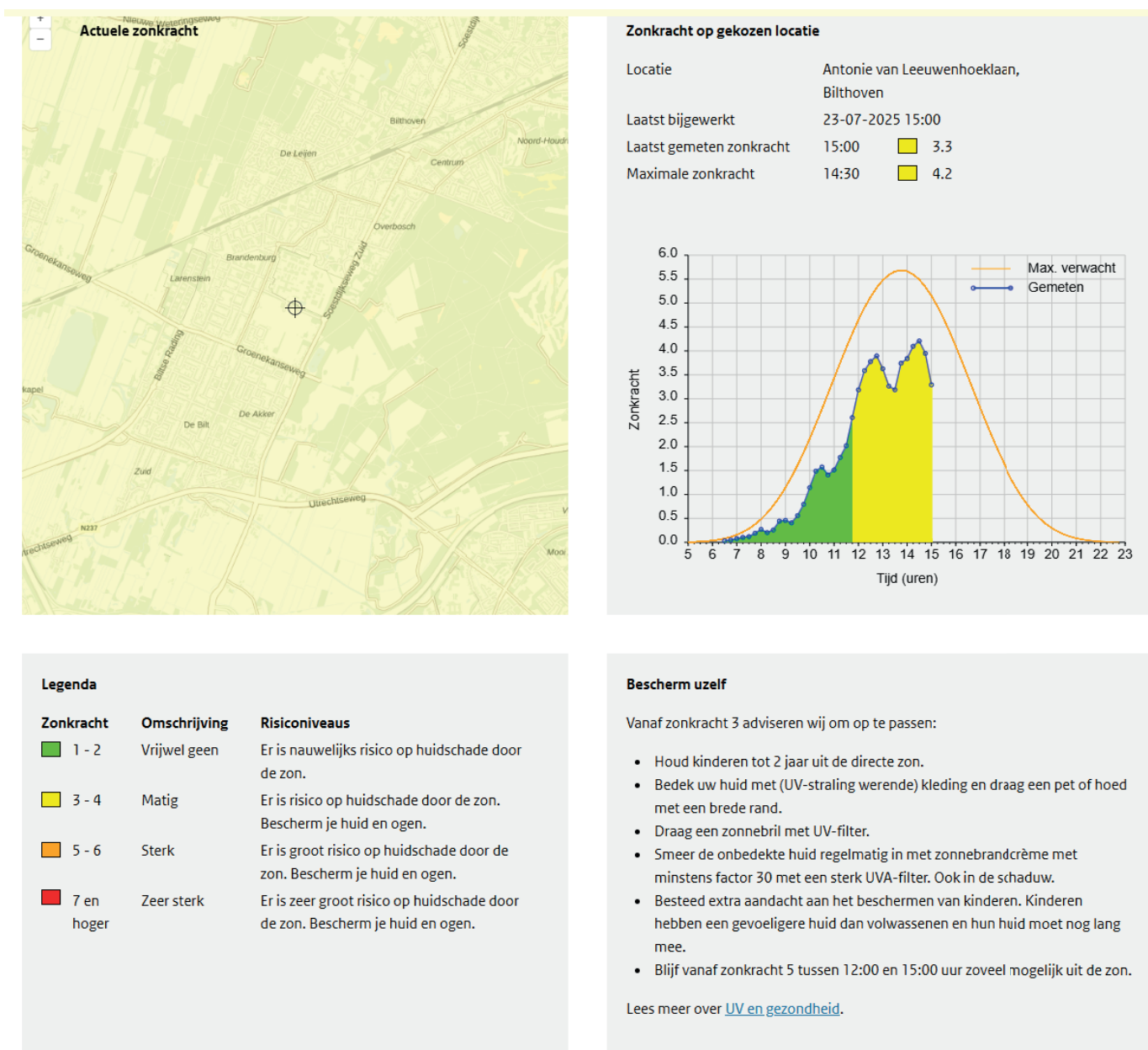
De sterke afname van de intensiteit van het zonlicht bij korte golflengten wordt bepaald door de absorptie van UV-straling door ozon in de atmosfeer. Het gemiddelde stralingsniveau in het UVA wordt bij heldere hemel vooral bepaald door de stand van de zon boven de horizon. Daarnaast spelen de afstand Aarde-Zon, de hoogte boven zeeniveau en het albedo van het aardoppervlak van een rol. Deze parameters hangen af van het uur van de dag, de dag van het jaar en de plaats op aarde.

Aan de hand van grondwaarnemingen van de UV-straling in De Bilt en Paramaribo (voor het meenemen van de

hoogste zonnestanden en UV-indices die in De Bilt niet worden gehaald) is een empirische relatie gelegd tussen de gewogen UV-intensiteit als functie van de totale ozonkolom en de stand van de zon – zie kader. Het is deze parametrisatie die door TEMIS wordt gebruikt om de UV-index en de dagelijkse UV-dosis te bepalen uit de wereldwijde ozonverdeling. De UV-index wordt berekend op een rooster van $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Voor de publiekscommunicatie wordt de erytheem-gewogen UV-index gehanteerd op het moment dat de zon op het hoogste punt staat.

Zonkrachtwijzer

De waarde voor De Bilt bij onbewolkte hemel als zonkrachtverwachting op het middaguur is een redelijke aanname voor heel Nederland, omdat de zonnestand min of meer hetzelfde is voor het hele land en omdat de ozonverdeling meestal redelijk glad is (zie Figuur 1). De actuele



Figuur 3. Afbeelding van de zonkrachtwijzer op de website van het RIVM. Door het invullen van een adres of het klikken op een kaart verschijnt een grafiek met de maximaal verwachte zonkracht (getrokken lijn) en de gemeten zonkracht (lijn met punten) door de dag heen voor dat adres. Het blok linksonder toont de legenda van de kleuren voor de verschillende risiconiveaus, terwijl algemene adviezen ten aanzien van de zonkracht rechtsonder gegeven worden.

zonkracht wordt gemeten op het landelijke meetpunt van het RIVM in Bilthoven (<https://www.rivm.nl/zonkracht/landelijk-meetpunt-zonkracht-bilthoven>) en dat laat voor die plek daarmee ook de invloed van bewolking zien. De bewolking kan nogal verschillen over het land en door de dag heen, waardoor dat ene punt niet representatief is voor het hele land.

Om mensen in Nederland beter inzicht te geven in de actuele zonkracht op de eigen locatie is er op de publieke website van het RIVM sinds de zomer van 2025 de zonkrachtwijzer (<https://www.rivm.nl/zonkracht/zonkrachtwijzer>), die dagelijks de actuele en de verwachte maximale zonkracht laat zien voor een gekozen locatie; zie Figuur 3. Voor deze service wordt elke 15 minuten de verwachte maximale zonkracht voor heel Nederland op een hogere resolutie dan de standaard TEMIS resolutie bepaald, namelijk op $0.05^\circ \times 0.05^\circ$, en gecombineerd met actuele wolkeninformatie die uit de waarnemingen van de Meteosat Second Generation (MSG) satellieten volgen (zie verderop). Omdat het ophalen en verwerken van de satellietwaarnemingen enige tijd in beslag neemt, is de actuele zonkracht gemiddeld met drie kwartier vertraging beschikbaar in de zonkrachtwijzer.

Dagelijkse UV-dosis voor de aanmaak van vitamine-D

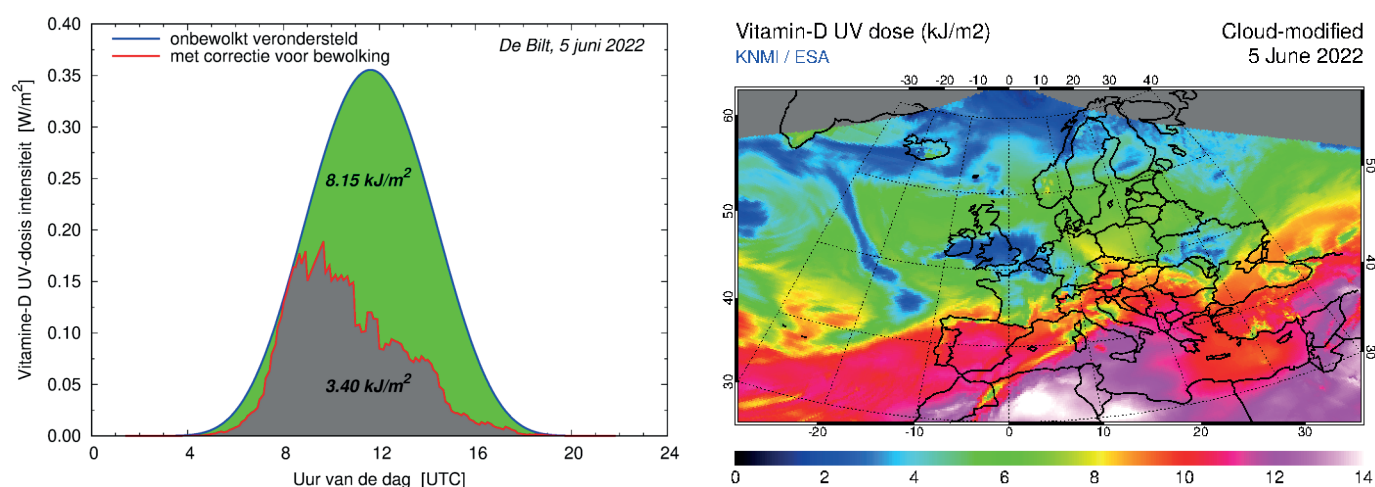
De stand van de zon varieert door de dag heen en levert de UV-intensiteit (zie kader). De blauwe curve in het linkerpaneel van Figuur 4 toont de dagelijkse gang van de UV-intensiteit gewogen met het actiespectrum voor de aanmaak van vitamine-D voor 5 juni 2022. Het groene oppervlak onder de curve geeft de UV-dosis voor deze dag, dat is de dosis die beschikbaar is voor degene die de hele dag buiten is en vrij zicht op de horizon heeft, nog aannemende dat er geen bewolking is. In werkelijkheid was er op 5 juni 2022 in De Bilt wel degelijk bewolking, alleen rond 08 uur UTC was het even vrijwel onbewolkt. De bewolking zorgt voor afname van de UV-straling aan de grond. De rode curve in het linkerpaneel van Figuur 4 geeft de voor bewolking gecorrigeerde UV-intensiteit door de dag heen, en het grijze oppervlak de voor bewolking gecorrigeerde UV-dosis van die dag; op deze dag zorgt de

bewolking voor meer dan een halvering van de dagelijkse UV-dosis.

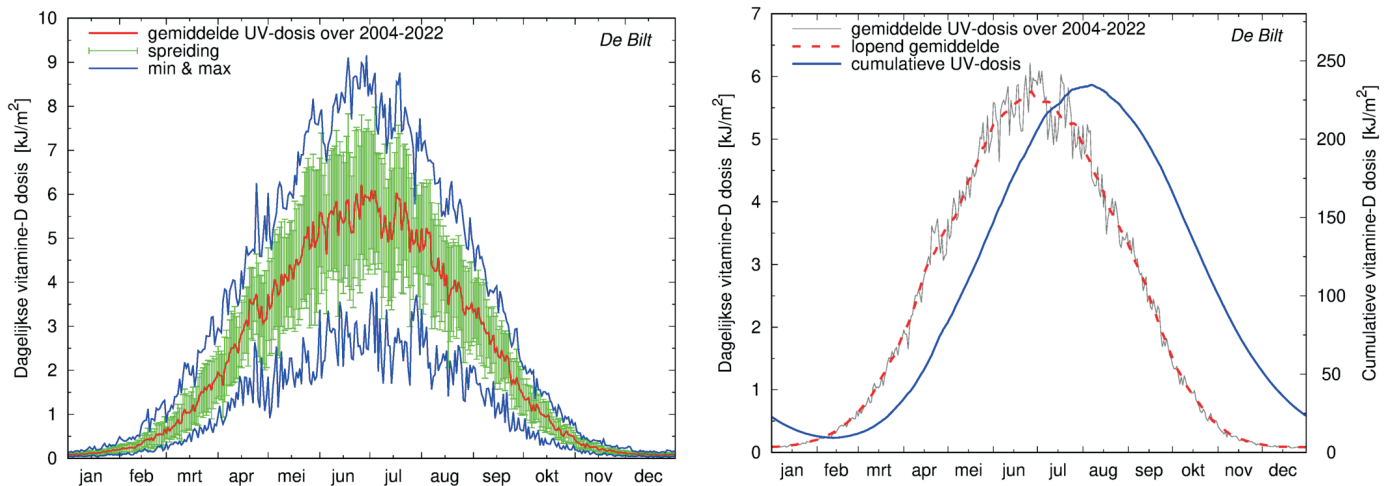
De afname door bewolking van de UV-intensiteit wordt bepaald op basis van waarnemingen van de Meteosat Second Generation (MSG) satellieten; specifiek wordt hiervoor gebruik gemaakt van de "surface downwelling shortwave radiation" (SDS) uit de MSG Cloud Physical Properties (CPP) data (<https://msgcpp.knmi.nl/>). De correctiefactor voor de UV-intensiteit is de verhouding tussen de SDS uit MSG waarnemingen en de SDS die verwacht wordt als er geen bewolking zou zijn geweest, met nog een kleine correctie om de breedbandige SDS om te zetten naar waarden die representatief zijn voor het UV-deel van de zonnestraling. Elke 15 minuten is er een nieuwe correctiefactor beschikbaar. Het rechterpaneel in Figuur 4 geeft een voorbeeld van de voor bewolking gecorrigeerde dagelijkse UV-dosis boven Europa voor 5 juni 2022, zoals dat te vinden is op de TEMIS website. De waarnemingen van MSG zijn sinds januari 2004 beschikbaar voor een groot deel van Europa, Afrika, de Atlantische Oceaan, inclusief de Caribische Eilanden, en een deel van Zuid-Amerika.

De bewolking varieert van seizoen tot seizoen en van jaar tot jaar – veel meer dan de dikte van de ozonlaag – zodat de variatie in de dagelijkse UV-dosis vooral bepaald wordt door bewolking. Het linkerpaneel van Figuur 5 laat de variatie zien in de UV-dosis voor de aanmaak van vitamine-D in De Bilt voor de periode 2004–2022: de rode lijn toont de gemiddelde UV-dosis; de minimum- en maximumwaarden zijn aangegeven met blauwe lijnen. Het rechterpaneel van Figuur 5 geeft de gemiddelde UV-dosis nogmaals, nu als grijze lijn. Om het algemene verloop hiervan beter te laten zien is met een rode onderbroken lijn daar een lopend gemiddelde doorheen getrokken. Deze lijn laat duidelijk zien dat, zoals verwacht, de UV-dosis een maximum heeft rond midzomer en een minimum rond midwinter.

In de menselijke huid wordt vitamine-D aangemaakt door UV-straling. Tegelijkertijd wordt vitamine-D in het lichaam ook weer afgebroken door biologische processen. Deze afbraak van vitamine-D wordt in de literatuur beschreven door een exponentiële afname met een half



Figuur 4. Links: De variatie door de dag heen van de UV-intensiteit met de aanname van heldere hemel (blauwe curve) en met een correctie voor bewolking (rode curve), voor 5 juni 2022 in De Bilt. Rechts: Kaart van de dagelijkse UV-dosis boven Europa voor dezelfde dag; het grijze gebied valt buiten het bereik van de MSG satellieten waar de wolkeninformatie vandaan komt. In beide gevallen betreft het de UV-dosis gewogen met het actiespectrum voor de aanmaak van vitamine-D.



Figuur 5. Links toont de variatie van de dagelijkse UV-dosis voor De Bilt: de rode lijn in het midden is het gemiddelde over de jaren 2004–2022, waarbij met groene lijnen de standaarddeviatie van deze middeling is aangegeven en met blauwe lijnen de minimum en maximum waarden. Rechts toont de gemiddelde dagelijkse UV-dosis over de jaren 2004–2022 uit het linkerpaneel (grijze lijn, eenheden op linker y-as) met een lopend gemiddelde (rode onderbroken lijn) vergeleken met de dagelijkse cumulatief-gewogen UV-dosis (blauwe lijn, eenheden op rechter y-as). In beide gevallen betreft het de UV-dosis gewogen met het actiespectrum voor de aanmaak van vitamine-D.

waardetijd van ongeveer 35 dagen. Door de dagelijkse UV-dosis (UVD) gedurende een periode van zo'n 4 maanden voorafgaand aan een bepaalde datum te wegen met de exponentiële afname en het product te sommeren volgt de cumulatiefgewogen UV-dosis per dag ('cw-UVD') voor de aanmaak van vitamine-D. De cw-UVD is daarmee een goede maat om te vergelijken met de daadwerkelijke aanwezigheid van vitamine-D in het lichaam door het jaar heen.

De blauwe lijn in het rechterpaneel van Figuur 5 laat de cw-UVD zien voor De Bilt, gebaseerd op de langjarig gemiddelde UV-dosis. Duidelijk is dat de cw-UVD een maximum heeft niet rond midzomer maar rond 10 augustus, en een minimum niet rond midwinter maar rond 10 februari. Daarmee kan 10 februari voor De Bilt en dus voor Nederland gezien worden als het midden van wat wel de "vitamine-D winter" genoemd wordt: de periode waarin het lichaam de grootste kans heeft op een tekort aan vitamine-D. In meerdere studies wordt de cw-UVD op basis van TEMIS UV data vergeleken met bloedwaarden van mensen als functie van de stad of regio waar ze wonen (zie referenties). Deze studies bevestigen de grote rol van blootstelling van de huid aan UV-straling van de zon voor de aanmaak van vitamine-D. De dagelijkse blootstelling van bijvoorbeeld buitenwerkers en kantoorwerkers zal natuurlijk verschillen, maar de seizoensgang van de bloedwaarden van beide groepen zal synchroon verlopen. Een beetje UVstraling is dus goed voor de gezondheid, maar dit effect sluit het belang van de waarschuwingen voor de schadelijke gevolgen van UV-straling niet uit.

Slotopmerkingen

Nederland is sinds het begin van deze eeuw zonniger geworden, vooral in de lente en zomer. Er is sprake van zowel een toename in zonuren van zo'n 27% over de afgelopen 30 jaar (<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/zonneschijnduur-in-de-lente-is-2-keer-zoveel-toegenomen-als-de-zonnestraling>) als van een sterkere gemiddelde instraling (klimatdashboard KNMI, <https://www.knmi.nl/klimaat>). De toename in zonneschijn in

Nederland komt deels door een verbeterde luchtkwaliteit (dit was waarschijnlijk vooral effectief in de vorige eeuw), deels doordat er vaker hogedrukgebieden zijn in het voorjaar en de zomer, en deels door minder verdamping boven land in deze seizoenen. De relatieve vochtigheid neemt verder af doordat vochtige lucht die vanuit zee binnendrijft boven land opwarmt, waarmee vorming van bewolking wordt onderdrukt. Hoeveel deze verschillende verklaringen hebben bijgedragen aan de waargenomen toename in zonneschijn deze eeuw is nog niet goed gekwantificeerd en vraagt om nader onderzoek.

De waargenomen toename in zonneschijn en daardoor in de gemiddelde zonkracht is van belang voor de blootstelling aan UV-straling. Ook een toename in het aantal warme en zomerse dagen maakt dat we vaker buiten te vinden zijn en dan onze huid minder bedekken met kleding. De dagelijkse zonkrachtverwachtingen, aangevuld sinds de zomer van 2025 met de zonkrachtwijzer voor jouw eigen locatie, helpen bij de publiekscampagnes. Deze campagnes worden gecoördineerd door onder andere het Huidfonds om mensen telkens weer te waarschuwen voor de schadelijke gevolgen voor huid en ogen van een teveel aan UV-straling – "Geniet, maar verbrand niet!" – en te vertellen hoe ze die risico's laag kunnen houden: "Weren, kleren, smeren".

Referenties

TEMIS UV data service:

Allaart M., Van Weele, M., Fortuin, P. and Kelder, H.: 2004, *Meteorol. Appl.* 11, 59–65, 2004. Zempila, M.M., Van Geffen, J.H.G.M., Taylor, M., Fountoulakis, I., Koukoulis, M.E., Van Weele, M., Van der A, R.J., Bais, A., Meleti, C. and Balis, D.: 2017, *Atmos. Chem. Phys.* 17, 7157–7174, 2017.

Cumulatief-gewogen vitamine-D UV-dosis:

O'Sullivan, F., Laird, E., Kelly, D., van Geffen, J., van Weele, M., McNulty, H., Hoey, L., Healy, M., McCarroll, K., Cunningham, C., Casey, M., Ward, M., Strain, J.J., Molloy, A.M. and Zgaga, L.: 2017, *J. Nutrition* 147, no. 5, 858–868, 2017. Khanna, T., Shraim, R., Zarkovic, M., van Weele, M., van Geffen, J. and Zgaga, L.: *Nutrients* 14, 5189–5204, 2022.