



Rijksoverheid

Bescherming Ozonlaag

Een gezonde ozonlaag lijkt dichterbij dan verstandig zongedrag

Brochure voor Wereldozondag, 16 september 2013



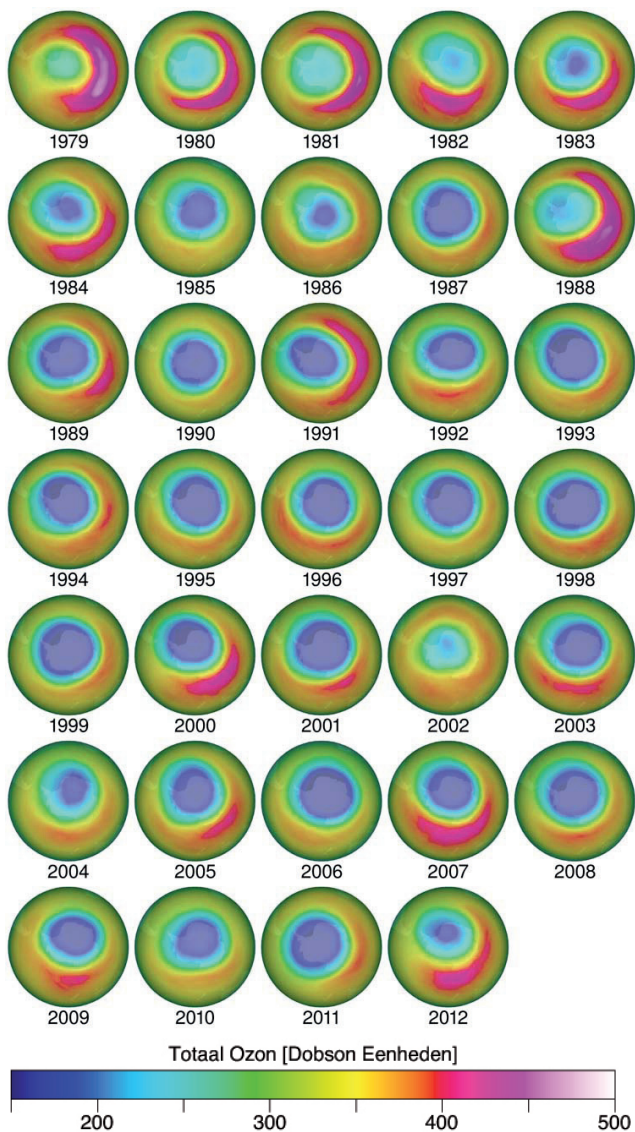
*Uitgave van KNMI en RIVM
Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

Samenvatting

Op 16 september is het Wereldozondag. Deze brochure geeft een overzicht van de laatste inzichten met betrekking tot ozon en ultraviolette straling (UV) boven Nederland en elders:

- Het Montreal Protocol is succesvol. Dankzij de wereldwijde maatregelen die genomen zijn ter bescherming van de ozonlaag lijkt in de afgelopen jaren sprake van een stabilisatie van het ozongat boven de Zuidpool, en zelfs zijn er tekenen van een beginnend herstel.
- In maart-april 2011 is verrassend genoeg boven de Noordpool ozonafbraak waargenomen vergelijkbaar met die in het ozongat boven de Zuidpool. De ozonkolom bereikte echter niet zulke lage waarden als boven de Zuidpool.
- De dikte van de ozonlaag boven Nederland zal zich naar verwachting over ongeveer 20 jaar herstellen op het niveau van 1980.
- Sinds 1980 is de UV-straling in Nederland met 5-10% toegenomen. In de laatste jaren is de ozonlaag iets dikker dan midden jaren negentig, maar de (zomer) bewolking juist iets dunner. De afname van het UV-stralingsniveau door de ozontoe name is door de gelijktijdige verandering in bewolking grotendeels teniet gedaan.
- Er is momenteel sprake van een sterke toename van het aantal gevallen van huidkanker. Dit komt vooral door veranderd zongedrag en vergrijzing. Een verdere sterke toename van huidkanker wordt verwacht. De ozonafbraak van de afgelopen tientallen jaren zal met name rond het midden van deze eeuw bijdragen aan de verdere toename. Die effecten van ozonafbraak zijn echter veel kleiner dan zonder een succesvol Montreal Protocol het geval zou zijn geweest.
- Het beleid voor bescherming van de ozonlaag is niet alleen succesvol in het tegengaan van verdere afbraak van de ozonlaag maar heeft ook aanzienlijk bijgedragen aan het tegengaan van klimaatverandering. Er kan nog meer klimaatwinst worden geboekt als de verwachte sterke groei van klimaat beïnvloedende alternatieven voor ozonlaagafbrekende stoffen (HFK's) ook wordt beperkt.

Stabilisatie en tekenen van beginnend herstel van het ozongat



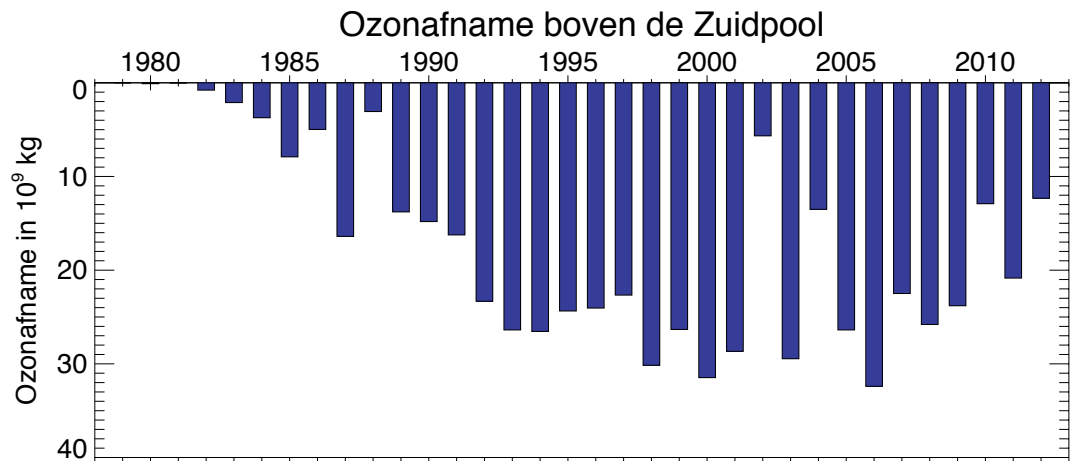
Figuur 1: De ozonverdeling boven de Zuidpool in oktober van 1979 tot 2012, gemeten door meerdere satellieten. Het ozongat is gedefinieerd als het oppervlak waar de ozonkolom lager is dan 220 Dobson Eenheden.

Sinds begin jaren '80 ontstaat er jaarlijks in september boven de Zuidpool een gebied met sterk afgenomen ozon. Dit zogenoemde 'ozongat' bereikt zijn maximale grootte en diepte gewoonlijk rond oktober (zie figuur 1). Het ozongat ontstaat door chemische afbraak van ozon op grote hoogte in de atmosfeer op het moment dat de zon aan het einde van de Zuidpoolwinter weer gaat schijnen. In de daaropvolgende maanden verdwijnt het gat weer door de aanvoer van ozonrijke lucht vanuit de subtropen. In 2010 en 2012 was het ozongat kleiner en minder diep dan in vrijwel alle voorgaande twintig jaren (zie figuur 2). Alleen in 2002 was het ozongat nog kleiner. Door bijzondere omstandigheden in de bovenlucht brak het ozongat toen in september op in twee stukken, waarvan er één wegmengde, zodat er in oktober nauwelijks nog een 'ozongat' was. De opvallend kleine ozongaten van 2010 en 2012 zijn waarschijnlijk vooral veroorzaakt door ongebruikelijke weersomstandigheden die van nature optreden en niet zozeer door beginnend herstel van de ozonlaag. Vanwege dit soort natuurlijke variaties die invloed hebben op de grootte, diepte en duur van het jaarlijkse ozongat staat daadwerkelijk beginnend herstel¹ van de ozonlaag nog niet onomstotelijk

¹Het begin van ozonlaagherstel is door de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) gedefinieerd als "een statistisch significante toename in ozon boven een eerder minimum in ozon welke toe te schrijven valt aan afnemende concentraties van ozonafbrekende stoffen in de atmosfeer." Hoewel er een kleine maar gestage toename in ozon is geconstateerd in de 21e eeuw, en deze mogelijk toe kan worden geschreven aan de afname van ozonafbrekende stoffen, is in statistische zin die toename nog niet "significant" te noemen, en is er dus officieel nog geen sprake van een begin van herstel.

Het ozongat: oorzaken en succesvolle internationale aanpak

De ozonlaag bevindt zich op zo'n 20-30 km hoogte in de atmosfeer en beschermt ons tegen de schadelijke UV-straling van de zon en maakt daarmee het leven op aarde mogelijk. Hoewel er altijd gesproken wordt over een 'ozongat' gaat het feitelijk om een sterke verdunning van de ozonlaag, met name boven de Zuidpool. In sommige jaren kan die verdunning wel 50% bedragen. Het ozongat wordt veroorzaakt door chloor- en fluorhoudende gassen (o.a. cfk's en halonen) die ozon afbreken. Deze gassen komen in de atmosfeer terecht via o.a. spuitbussen en koelsystemen. Sinds 1987 hebben de afspraken onder het Montreal Protocol gezorgd dat de internationale gemeenschap er in is geslaagd het gebruik van deze schadelijke gassen aanzienlijk terug te dringen. Op dit moment ligt het niveau van deze ozonafbrekende stoffen in de atmosfeer al zo'n 10% lager dan het maximum dat in het begin van de 21e eeuw werd vastgesteld.



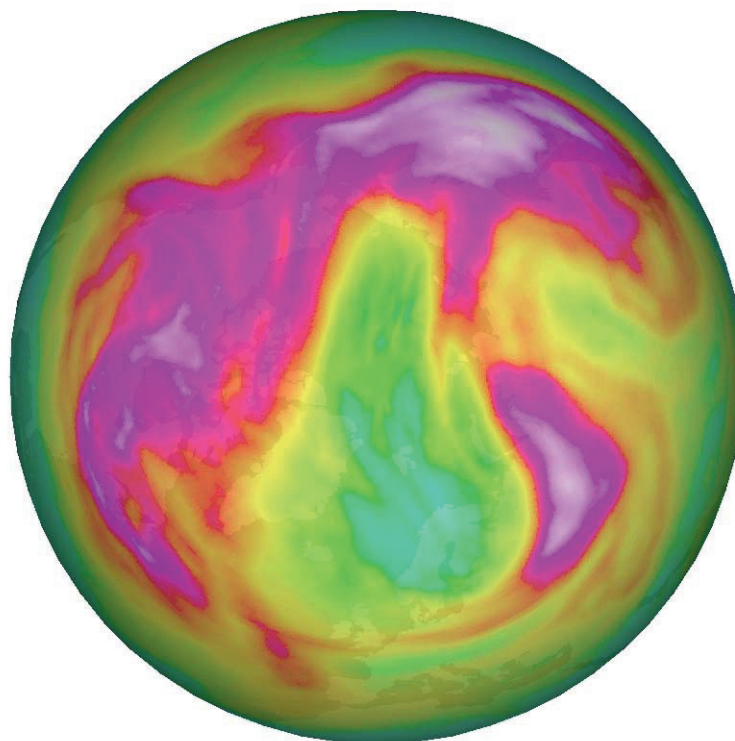
Figuur 2: De afname van de hoeveelheid ozon boven de Zuidpool sinds 1980.

vast. Niettemin lijkt het er op dat het ozongat in de 21^e eeuw langzaam iets minder diep en groot begint te worden, zoals verwacht wordt als gevolg van de afname van ozonafbrekende stoffen door uitvoering van het Montreal Protocol.

Ozonlaag boven de Noordpool heeft verrassingen in petto

De luchtstroming en de menging in de bovenlucht zijn boven de Noordpool veel sterker dan boven de Zuidpool, zodat daar in het voorjaar meer ozonrijke lucht vanuit de tropen wordt aangevoerd. Om die reden zijn de omstandigheden boven de Noordpool zelden vergelijkbaar met die boven de Zuidpool. In maart-april 2011 was de lucht ook boven de Noordpool uitzonderlijk koud en geïsoleerd van de tropen. Daardoor ontstond ook daar een ozongat (zie figuur 3). Hoewel het oppervlak van het Noordpoolozongat in 2011 aanzienlijk kleiner was dan dat

boven de Zuidpool (slechts 60%), bleek de hoeveelheid ozonafbraak relatief vergelijkbaar met die in de grootste ozongaten boven de Zuidpool. De hoeveelheid ozon boven de Noordpool in 2011 was echter lang niet zo laag als typisch is voor het ozongat boven de Zuidpool, want er is door natuurlijke oorzaken in de hoge atmosfeer op het noordelijk halfrond meer ozon dan op het zuidelijk halfrond. Een ozongat is boven de Noordpool ook niet een jaarlijkse terugkerende fenomeen zoals boven de Zuidpool. Het kan alleen ontstaan onder bijzondere



Figuur 3: De uitzonderlijke ozonverdeling boven de Noordpool op 26 maart 2011, gemeten door satellieten. In dat jaar ontstond daar een situatie die leek op het jaarlijks terugkerende ozongat boven de Zuidpool.

Nederland levert een belangrijke bijdrage aan de metingen

Met satellieten wordt de ozonlaag wereldwijd al meer dan 30 jaar continu in de gaten gehouden. Deze satellietwaarnemingen maken het mogelijk een gedetailleerd beeld te krijgen van de veranderingen in de ozonlaag van dag tot dag en van jaar op jaar. Ze zijn cruciaal gebleken om de aantasting van de ozonlaag te kunnen onderzoeken en te verklaren. Nederland levert aan deze monitoren van de veranderingen in de ozonlaag een belangrijke bijdrage met de satellietinstrumenten SCIAMACHY (van 2002 tot 2012), OMI (van 2004 tot nu) en TROPOMI (vanaf 2015). Deze instrumenten zijn voor een groot deel door Nederland gefinancierd en door de Nederlandse industrie gebouwd in een internationaal samenwerkingsverband. De gegevens van deze instrumenten worden verwerkt door het KNMI; daar berust ook de wetenschappelijke leiding van OMI en TROPOMI. Het is van groot belang om met satellieten de ozonlaag te blijven waarnemen om vast te kunnen stellen of het verwachte herstel ook daadwerkelijk zal optreden en om de effecten van de genomen maatregelen te controleren. Tevens kunnen zo eventuele verrassingen, door bijvoorbeeld klimaatverandering of bijzondere meteorologische omstandigheden, in de gaten worden gehouden.

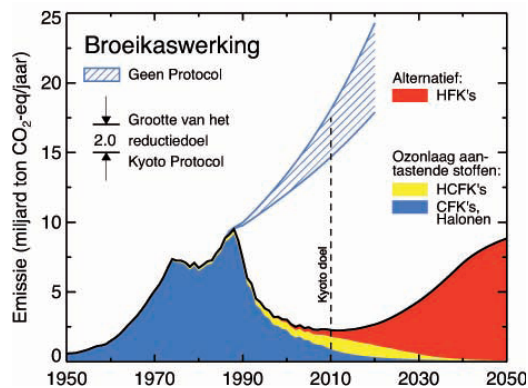
Ook vanaf de grond wordt de ozonlaag in de gaten gehouden. Nederland draagt daar bij aan een internationaal netwerk van meetstations met het Brewer ozoninstrument en de ozonsonde in De Bilt, met ozonmetingen in Paramaribo (in samenwerking met Suriname), en met ozonlidar metingen in Lauder (in samenwerking met Nieuw-Zeeland). Deze nauwkeurige ozonmetingen vanaf de grond dienen zowel voor onderzoek als om de kwaliteit van de satellietmetingen te evalueren en de metingen van nieuwe satellieten goed aan te laten sluiten op die van eerdere. UV-stralingsniveaus aan het aardoppervlak worden behalve door de zonneshoogte en de dikte van de ozonlaag ook door bewolking beïnvloed en kunnen alleen middels grondwaarnemingen direct nauwkeurig worden bepaald. Het RIVM meet de voor gezondheidseffecten relevante UV-straling (zonkracht) in Bilthoven sinds 1994 en presenteert deze dagelijks op haar website.

meteorologische omstandigheden zoals in 2011. Hoewel het ontstaan van een nieuw ozongat boven de Noordpool niet valt uit te sluiten, is de kans daarop niet erg groot. Bovendien wordt deze kans nog kleiner als door de afname van ozonafbrekende stoffen de aantasting van de ozonlaag de komende decennia afneemt.

Succesvol beleid met nieuwe uitdagingen

Het Montreal Protocol is erg succesvol gebleken in het terugdringen van het gebruik van ozonlaag afbrekende stoffen. Het huidige gebruik is nog geen 3% van het gebruik in de jaren tachtig. Hiermee is de belangrijkste bron van de aantasting van de ozonlaag weggenomen. Het duurt echter nog wel tientallen jaren voordat de stoffen via natuurlijke processen uit de atmosfeer zijn verdwenen. Naast het belang voor het herstel van de ozonlaag hebben de maatregelen een wezenlijke bijdrage geleverd aan het tegengaan van klimaatverandering. Zonder het Montreal Protocol zou de bijdrage van ozonlaagaf-

brekende stoffen aan het broeikas effect zijn blijven toenemen en momenteel ongeveer de helft kunnen bedragen van die van kooldioxide, het belangrijkste broeikasgas. Dit klimaatvoordeel van het protocol kan aanzienlijk worden vergroot als het gebruik van bepaalde alternatieven, fluorkoolwaterstoffen (HFK's) voor het gebruik als koelmiddel of in schuimen, net zoals CFK's tot een minimum wordt beperkt. Sinds een paar jaar staat dit onderwerp ook op de agenda van het Montreal Protocol.



Figuur 4: De blauwe en gele vlakken tonen de broeikasbijdrage van ozonlaag afbrekende stoffen die onder de afspraken van het Montreal Protocol vallen. De gestreepte band toont hoe het mogelijke verloop van die broeikasbijdrage zonder het Montreal Protocol. De beperking van het broeikas effect door het Montreal Protocol is vijf keer zo groot als het eerste doel van het Kyoto Protocol voor 2008-2012. Het rode vlak toont de geschatte toekomstige broeikasbijdrage door enkele alternatieven voor ozonafbrekende stoffen (HFK's) welke mogelijk door verdere maatregelen vermeden kan worden.

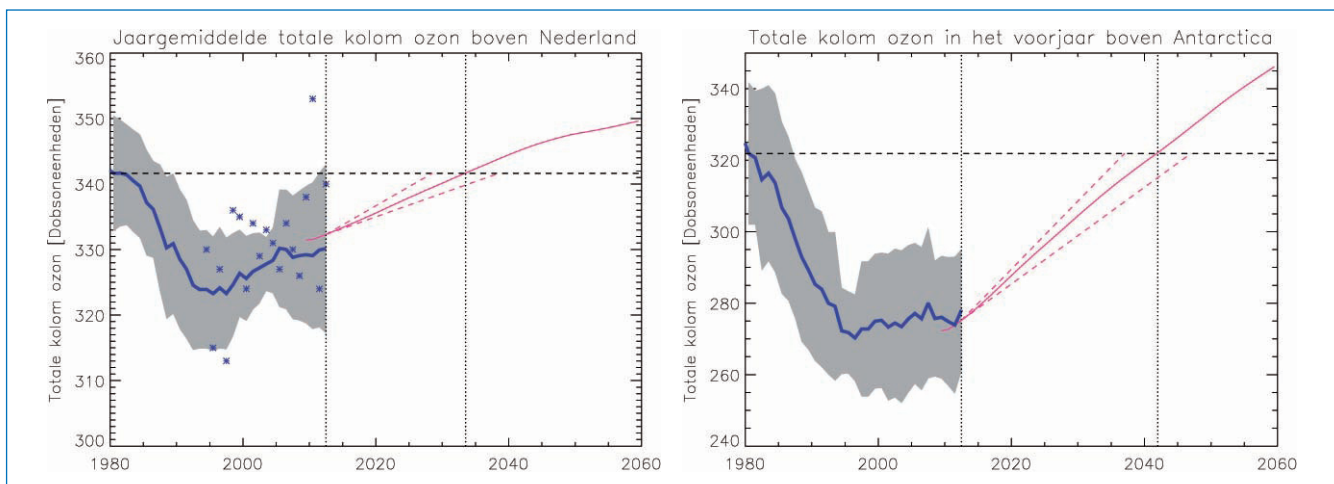
Montreal Protocol: het meest succesvolle internationale milieuverdrag

Het Montreal Protocol van de Verenigde Naties betreffende stoffen die de ozonlaag afbreken werd op 16 september 1987 opgesteld en is inmiddels door alle landen van de wereld ondertekend. Het doel van het Montreal Protocol is het beschermen van de ozonlaag door de productie en consumptie van ozonafbrekende stoffen in stappen terug te dringen en uiteindelijk te verbieden. De stoffen die vooral verantwoordelijk zijn voor de afbraak van de ozonlaag, cfk's en halonen, zijn sinds 2010 overal in de wereld verboden. HCFK's, die als vervangers worden gebruikt voor deze stoffen, en minder slecht zijn voor de ozonlaag, mogen nog tot 2020 in westerse landen worden gebruikt en tot 2030 in ontwikkelingslanden.

Herstel ozonlaag boven Nederland verwacht over ongeveer twintig jaar

Als gevolg van de sinds 1987 afgesproken maatregelen lijkt de ozonlaag boven Nederland zich langzaam maar zeker te herstellen. Met herstel bedoelen we hier dat de dikte van de ozonlaag weer ongeveer hetzelfde wordt als in 1980. Figuur 5a toont de waargenomen veranderingen in de ozonlaag boven Nederland sinds 1980 tot nu en een toekomstscenario van 2010 tot 2060 gebaseerd op modelberekeningen. Op basis van dit scenario is de verwachting dat de ozonlaag boven Nederland zich over ongeveer 20 jaar, rond 2035, heeft hersteld. Het herstel verloopt op gematigde Noordelijke breedten mogelijk wat sneller dan elders doordat klimaatverandering het transport versterkt van ozon vanuit de tropen - waar het wordt aangemaakt - naar onze streken.

Boven de Zuidpool laat het herstel wat langer op zich wachten. Figuur 5b toont op soortgelijke wijze als 5a voor Nederland waarnemingen en een berekend toekomstscenario voor het herstel van de ozonlaag boven de Zuidpool in het voorjaar aldaar. Door het jaarlijks terugkerende ozongat is de ozonlaag daar gemiddeld een stuk dunner dan boven Nederland. Volgens het getoonde scenario duurt het nog ongeveer 30 jaar voordat de ozonlaag zich ook boven de Zuidpool heeft hersteld. Verwachtingen voor het herstel van de ozonlaag zijn vooral onzeker doordat we niet precies weten hoe snel de chloorverbindingen uit de ozonlaag zullen verdwijnen. Ook is de precieze invloed van de snelle toename in broeikasgassen op het herstel van de ozonlaag in verschillende regio's nog erg onzeker.



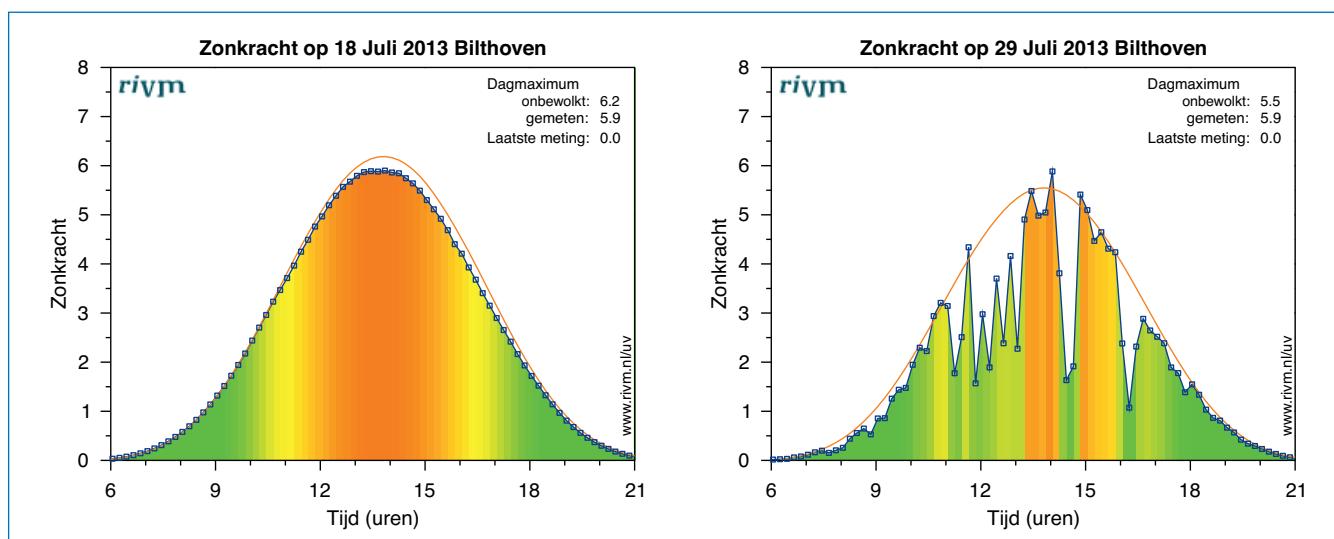
Figuur 5: Linker figuur (5a): Waargenomen en verwachte veranderingen in de ozonlaag boven Nederland. De blauwe lijn toont de jaargemiddelde dikte van de ozonlaag voor gematigde breedtes (50-60° N) op het noordelijke halfrond afgeleid uit metingen door meerdere satellieten vanaf 1980. De grijze band geeft de ruimtelijke variaties in oost-westrichting weer. De blauwe sterretjes tonen de dikte van de ozonlaag zoals vanaf de grond sinds 1994 wordt gemeten in De Bilt. De rode lijn geeft een toekomstscenario vanaf 2010 gebaseerd op modelberekeningen (Cionni et al, 2011). De stippellijnen geven een schatting van de onzekerheid daarin. Rechter figuur (5b): Hetzelfde, maar dan voor de Zuidpool (60-90° S) in het voorjaar (september - november).

UV-straling in Nederland: bewolkingseffect compenseert mogelijk beginnend ozonherstel

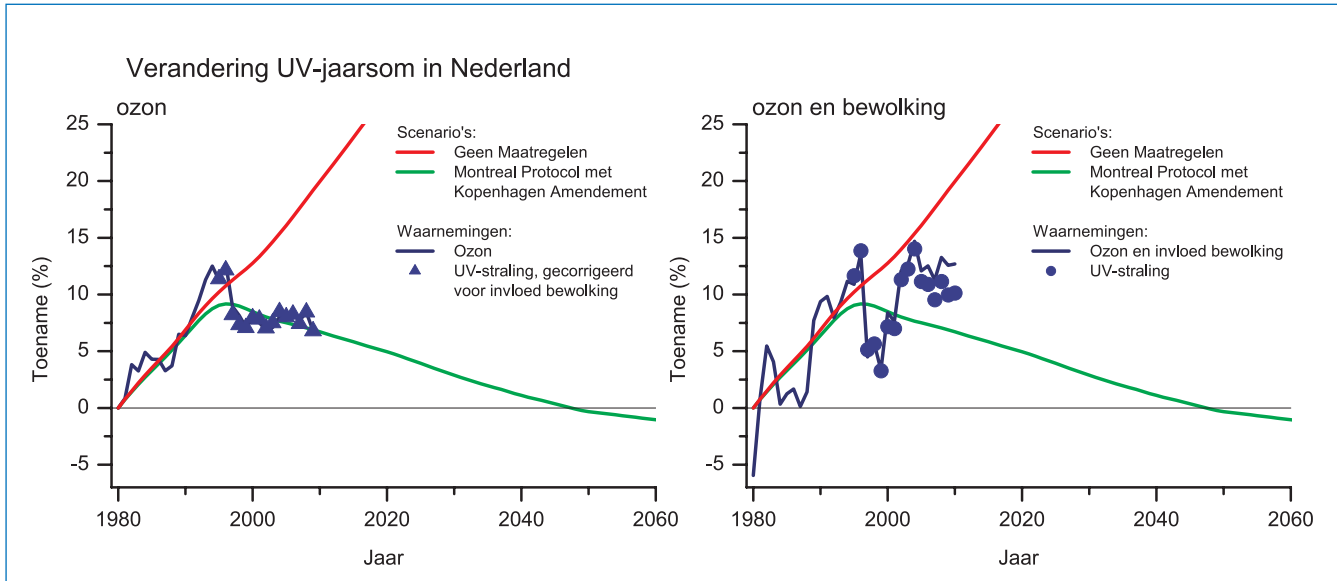
De hoeveelheid UV-straling hangt af van de zonnestand, de dikte van de ozonlaag, de bewolking en stofdeeltjes in de atmosfeer. Dagelijks wordt de zonkracht in Bilthoven gemeten door het RIVM. De zonkracht is een maat voor de snelheid waarmee de huid zonnebrand kan oplopen door UV-straling van de zon. Bij een lage zonkracht (0-4) verbrandt de huid minder snel dan bij een hoge zonkracht (5 en hoger). Op een wolkenloze dag wordt het berekende verloop doorgaans goed gevolgd door de metingen (figuur 6 links), al kunnen hoge sluierbewolking en/of stofdeeltjes zorgen voor afwijkingen van de theoretische berekening. Bewolking kan zorgen voor grote schommelingen gedurende de dag (figuur 6 rechts). De maximale zonkracht in Nederland in de zomerperiode bedraagt zes tot zeven,

maar in december komt de zonkracht doorgaans niet boven de 0,5.

In Nederland is de jaarsom van de UV-straling sinds 1980 met 5-10% toegenomen. Uit metingen van het RIVM blijkt dat sinds het midden van de jaren negentig geen verdere toename plaatsvindt (figuur 7). Als de UV-metingen worden gecorrigeerd voor bewolking blijkt dat de UV-stralingsniveaus midden jaren negentig het hoogst waren en daarna op een iets lager niveau lagen. Dit klopt met een (licht) herstel van de ozonlaag (linkerpanel). Echter, door veranderingen in bewolking ligt de totale UV-belasting nog altijd vrijwel op het niveau van midden jaren negentig (rechterpanel). Het lijkt er dus op dat de afgenomen bewolking het effect van de ozon-



Figuur 6: Twee voorbeelden van het gemeten dagelijks verloop van de zonkracht (blauwe lijn) www.rivm.nl/zonkracht. De oranje lijn toont een berekening (zonder wolken). De linker figuur geldt voor een wolkenloze zomerse dag, de rechter figuur voor een zomerse dag met bewolking, die sterke variaties veroorzaakt.



Figuur 7: De procentuele verandering van de jaarlijkse UV-straling in Nederland ten opzichte van 1980. De rode lijn toont een scenario-berekening van de toename door ozonafbraak die opgetreden zou zijn zonder het Montreal Protocol en de groene lijn geeft het scenario bij naleving van dit protocol. De blauwe lijn geeft de veranderingen in UV berekend op basis van waargenomen ozonveranderingen (links), of op basis van zowel ozon- als bewolgingsveranderingen (rechts). De symbolen geven de UV-metingen van RIVM in Bilthoven, steeds als gemiddelde van drie opeenvolgende jaren: de driehoeken (links) zijn gecorrigeerd voor toevallige bewolgingsveranderingen, en de cirkels (rechts) geven de ongecorrigeerde jaarsommen.

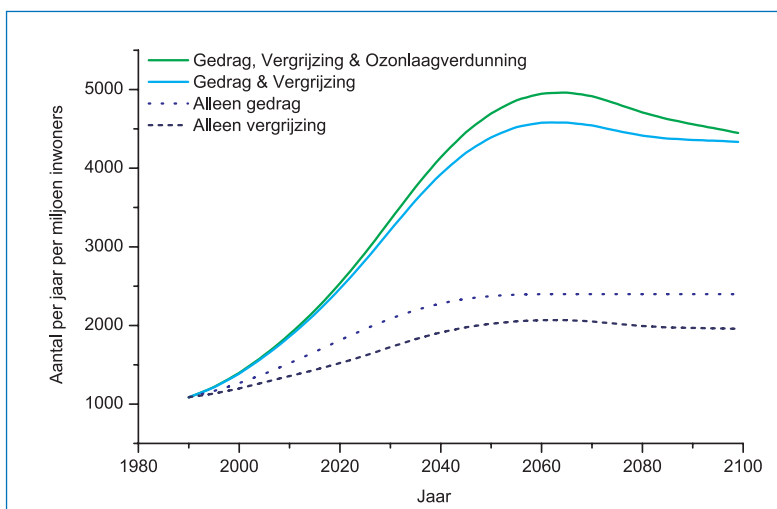
toename op UV-straling compenseert. We kunnen concluderen dat de sterke UV-toename die zonder mondiale afspraken om de ozonlaag te beschermen verwacht mocht worden, niet optreedt (de rode lijn in figuur 7). Ook is duidelijk dat de UV-straling in Nederland ten opzichte van midden jaren negentig iets is afgenomen, overeenkomend met een verwacht beginnend herstel van de ozonlaag.

Aantal huidkankergevallen neemt sterk toe, maar vooral door veranderd zongedrag

De effecten van extra blootstelling aan UV door aantasting van de ozonlaag zullen pas in het midden van deze eeuw maximaal zichtbaar worden in het extra aantal gevallen van huidkanker, zoals goed te zien is in figuur 8. Zonder de mondiale maatregelen ter beperking van de uitstoot van ozonafbrekende stoffen hadden we rekening moeten houden met een verdubbeling van het aantal gevallen van huidkanker na het midden van deze eeuw en een verviervoudiging aan het eind ervan. Door de geno-

men maatregelen blijft de toename tot een tiental procenten beperkt. Veranderingen in het risico door ozonafbraak versterken de effecten van vergrijzing en gewijzigd zongedrag.

Ondanks de genomen maatregelen ter bescherming van de ozonlaag is in de afgelopen 20 jaar het aantal huidkankergevallen in Nederland meer dan verdubbeld. Dat geldt voor alle vormen van huidkanker. De UV-toename door ozonlaagafbraak is, mede door de genomen maatregelen, te gering om deze toename in het aantal gevallen van huidkanker te verklaren. Ongeveer een kwart is toe te schrijven aan vergrijzing van de bevolking: hoe ouder men wordt, hoe groter de kans op huidkanker. De belangrijkste oorzaak is echter vermoedelijk gelegen in ons gedrag: we zijn ons meer gaan blootstellen. Door de toename van de hoeveelheid vrije tijd, zomermode met meer ontbloot huidoppervlak, en de toename van het aantal zonvakanties is de blootstelling aan UV sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw waarschijnlijk fors toegenomen. Binnenwerken die zich in de vakantie of vrije tijd uitbundig blootstellen aan een krachtige zomerzon zullen door een weinig aan zon gewende huid gemakkelijk een zonverbranding oplopen. Juist verbranding kan leiden tot de meest ernstige, vaak dodelijke, vorm van huidkanker, het melanoom. Tenslotte kan het zijn dat mensen zonnebrandcrème niet gebruiken om hun UV-dosis te beperken, maar om langer in de zon te kunnen zitten, of de zonnebrandcrème niet goed aanbrengen. Als ons zongedrag niet wijzigt zal het aantal gevallen van huidkanker ook de komende decennia sterk blijven toenemen (zie figuur 8).



Figuur 8: Blauwe lijnen geven het aantal huidkankergevallen voor drie scenario's: de onderbroken donkerblauwe lijn voor vergrijzing van de bevolking, maar geen verandering in blootstelling. De blauwe stippellijn, een aangenomen verdubbeling van de blootstelling aan UV door veranderd zongedrag tussen 1950 en 1980. De lichtblauwe doorgetrokken lijn geeft beide scenario's samen, en de groene doorgetrokken lijn geeft in aanvulling daarop het berekende extra effect van het verwachte scenario voor de ozonlaagverdunding, rekening houdend met de afgesproken maatregelen ter bescherming van de ozonlaag. Zonder maatregelen ter bescherming van de ozonlaag zou elk van de getoonde scenario's in de tweede helft van deze eeuw nog twee- tot viermaal hoger uitvallen.

Meer informatie op internet

Satellietwaarnemingen ozonlaag: www.temis.nl

UV-straling: www.rivm.nl/zonkracht en www.rivm.nl/uv

Satellietinstrumenten: www.knmi.nl/omi, www.tropomi.eu

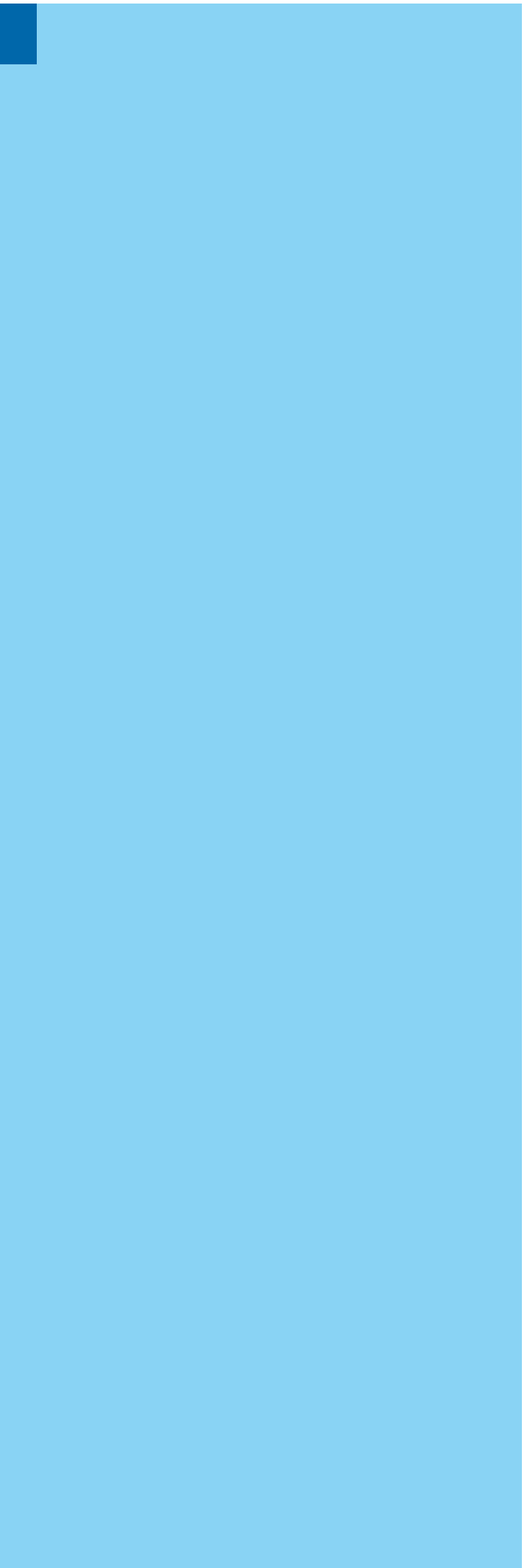

Colofon

Auteurs

Peter van Velthoven, Guus Velders, Piet Stammes, Harry Slaper, Gudi Alkemade

Layout

Jaap Kwakkel, Grafisch Centrum KNMI



Deze brochure is een uitgave van:

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI),
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM),
Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM)

september 2013