

Minder zon, meer warmte

De grote opklaring

Is het denkbaar dat de opwarming van de aarde voor een groot deel komt doordat er domweg meer zonlicht op onze planeet valt? Tot verbijstering van steeds meer onderzoekers stapelen de aanwijzingen zich daarvoor op. "Ik kan dit bijna niet geloven."

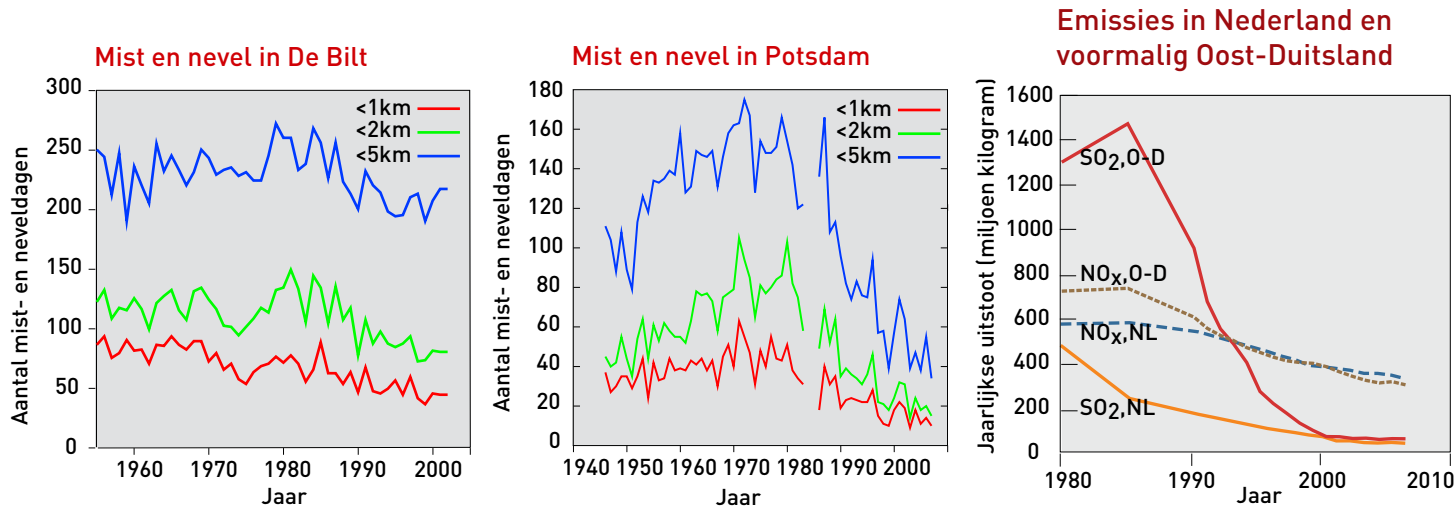
HET HEEFT WEL iets ironisch. Er is de afgelopen decennia hard gewerkt om de lucht in Nederland en andere delen van Europa schoner te maken. Nu dat is gelukt, blijkt dat juist de schonere lucht de opwarming van het klimaat een extra zet geeft. De lucht boven Nederland en grote delen van Europa is zo schoon geworden dat we meer zonlicht ontvangen dan pakweg dertig jaar geleden. Meer zonlicht betekent opwarming. Dit kan wellicht meer dan de helft van de recente snelle opwarming in Nederland sinds de jaren tachtig verklaren. De oplossing van het ene milieuprobleem zou zodoende het klimaatprobleem 'vergroten'. Dat de luchtvervuiling de hoeveelheid zonlicht beïnvloedt, staat vast. De ongelooflijke hoeveelheid roet- en stofdeeltjes (meestal omschreven met de verzamelterm aerosolen) die de industrie in de 20e eeuw begon uit te stoten, maar ook kolenkachels en later het toenemende autogebruik gaven zoveel stof in de lucht, dat de zon er minder goed doorheen kon prikken. Eind jaren tachtig ontdekte de Japanse onderzoeker Atsumu Ohmura, verbonden aan het Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) in Zürich, dat dit effect min of meer wereldwijd meetbaar was (op land althans). Later, in 2001 om precies te zijn, werd dit effect door de Amerikaanse onderzoeker Gerry Stanhill 'global dimming' genoemd, wereldwijde verduistering door luchtvervuiling. Met dank trouwens aan de aanslagen op de Twin Towers: toen het vliegverkeer in de dagen na de aanslagen boven de VS werd verboden – en er dus ook minder vliegtuigsporen waren in de lucht – viel het Stanhill op dat de temperatuur opeens omhoog schoot.

Horizon Maar net als bij zure regen, was het fenomeen tegen de tijd dat het goed in kaart werd gebracht alweer over zijn

hoogtepunt heen. Vanaf de jaren tachtig begonnen met name de rijke westerse landen in Europa en Noord-Amerika de luchtverontreiniging serieus aan te pakken. Global dimming maakte plaats voor een 'global brightening'. En die opklaring gaat gepaard met opwarming. Strikt genomen betekent 'global' overigens helemaal niet 'mondiaal' maar 'van horizon tot horizon'. Dat houdt verband met de verschillende manieren waarop zonlicht het meetinstrument kan bereiken, direct en ongehinderd vanaf de zon, of eerst verstrooid door deeltjes in de atmosfeer. "De termen global dimming en global brightening zijn echter zo populair geworden in de media, dat we als onderzoeksgemeenschap vorig jaar tijdens een workshop besloten hebben ze maar zo te laten", zegt Martin Wild aan de koffietafel van zijn afdeling op het ETH. Wild werkt sinds jaar en dag met Ohmura aan het dimming- en brightening-fenomeen en heeft sinds de pensionering van de Japaner vorig jaar het stokje van hem overgenomen. Hij is inmiddels ook verantwoordelijk voor het Global Energy Balance Archive (GEBA), een gegevensbank met honderdduizenden aan het oppervlak gemeten energiestromen, die indertijd door Ohmura naar Zürich is gehaald. De kroon op hun werk was een publicatie in *Science* in 2005, waarin ze dimming en brightening naast elkaar zetten. Wild: "Vrijwel alle studies laten een afname van zonlicht zien tussen 1960 en 1990. Op de meeste plekken is die afname in de orde van zes tot negen watt per vierkante meter, wat neerkomt op een afname van de hoeveelheid zonnestraling met 4 tot 6 procent. Vanaf 1985 draait het beeld echter volledig om, en registreren vrijwel alle plekken in de wereld een toename van zonlicht, met uitzondering van India waar nog steeds sprake is van dimming." Al met al denkt Wild – maar dat is meer giswerk dan harde wetenschap – dat de

dimming en de brightening elkaar mondiaal min of meer compenseren. "Tussen 1940 en 1970 was er wereldwijd sprake van een lichte afkoeling. De opwarming door het broeikaseffect werd toen tegengewerkt door de dimming. Daarna verdween de maskerende werking van de aerosolen geleidelijk en werd het door mensen veroorzaakte broeikaseffect duidelijker zichtbaar in de temperatuur. Mijn indruk is dat de zon door de luchtverontreiniging nu nog steeds iets minder fel is op het aardoppervlak dan in 1960, en dat er over de hele periode genomen dus eerder sprake is van een lichte dimming dan van een brightening. Ik zou zelf de opwarming die we sinds halverwege de twintigste eeuw gehad hebben dus voornamelijk toeschrijven aan de toename in broeikasgassen."

Mist Luchtvervuiling doet meer dan alleen zonlicht tegenhouden. Ze speelt ook een rol bij wolkenvorming. Stofdeeltjes zijn potentiële condensatiekernen, deeltjes waaromheen regendruppels ontstaan. Zo dragen ze bij aan wolkenvorming, en dus ook aan mist. Want mist is laaghangende bewolking. Geert Jan van Oldenborgh van het KNMI merkte al een paar jaar geleden op dat er een dalende trend is in de hoeveelheid mist in Nederland. Samen met de Franse onderzoekers Robert Vautard en Pascal Yiou analyseerde hij de zichtmetingen van 342 weerstations in Europa. Die bevestigden zijn observatie. "Het aantal mistdagen is in Europa in dertig jaar tijd gehalveerd", ver- ▶



• De afname in mist loopt in zowel Nederland als het voormalige Oost-Duitsland de pas met de teruggelopen uitstoot van zwaveldioxide en stikstofoxiden.

telt Van Oldenborgh in zijn werkkamer op het KNMI. "Voor Nederland betekent dit jaarlijks vijftig mistdagen in plaats van honderd. Goed nieuws dus voor de verkeersveiligheid." Het eerste wat de onderzoekers vervolgens deden, was controleren of de daling in mist verband hield met de afname in luchtverontreiniging. Van Oldenborgh: "Er is namelijk in grote delen van een Europa ook sprake van een afname van de bewolking. De correlatie tussen mist en luchtverontreiniging is echter heel sterk. Dus is de afname van het aantal mistdagen vooral het gevolg van de schonere lucht."

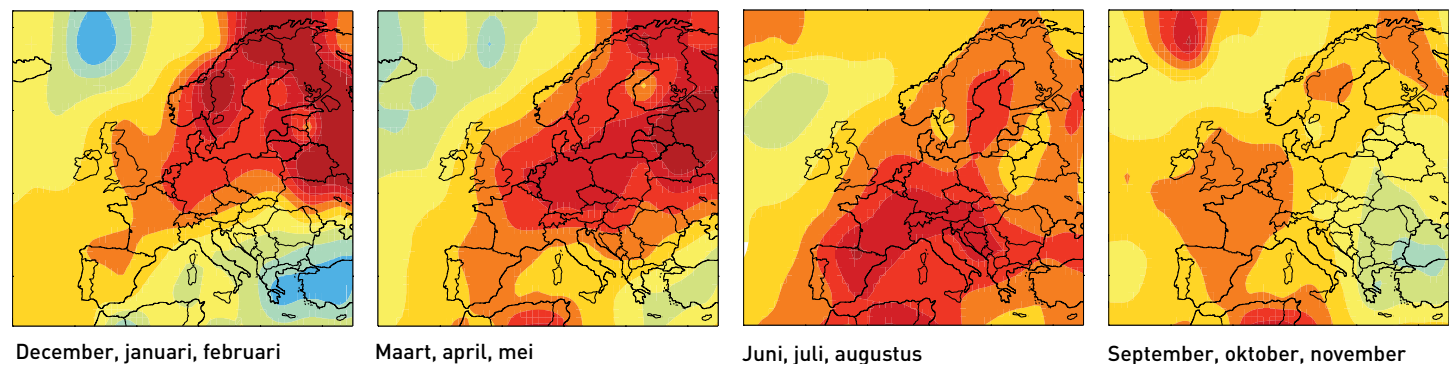
Hun analyse werd onlangs gepubliceerd in *Nature Geoscience*. Minder mist betekent echter weer meer zonlicht aan het aardoppervlak en dus opwarming. En laten nou uitgerekend Nederland en grote delen van Europa veel sterker zijn opgewarmd dan de aarde als geheel. Het KNMI-weerstation in De Bilt noteerde sinds 1950 een opwarming van 1,5°C. Wereldwijd bedroeg de opwarming naar schatting zo'n 0,6°C. De opwarming in De Bilt verliep dus 2,5 keer zo snel als het wereldwijd gemiddelde.

Kan de daling van het aantal mistdagen daarbij een rol hebben gespeeld? Om die vraag te beantwoorden, moesten de onderzoekers

• Nederland warmde de afgelopen halve eeuw veel sneller op dan het wereldgemiddelde.

Europa warmt sneller op

De kaartjes tonen de opwarming per seizoen van Europa ten opzichte van de wereldwijde opwarming sinds 1950. Een factor 1,0 komt overeen met die wereldwijde trend.



de trukendoos opengooien. Van Oldenborgh: "Bij een meetstation met mist zochten we binnen een straal van honderd kilometer een station zonder mist. Was er zo'n station, dan gingen we ervan uit dat het verschil in temperatuur tussen die twee stations voornamelijk was toe te schrijven aan de mist. Op die manier vonden we een verschil van pakweg 2°C tussen mist en geen mist."

Omgerekend naar de afname in het aantal mistdagen kan dit naar schatting 10 tot 20 procent van de opwarming in Nederland overdag verklaren. Overdag, want alleen dan speelt de zonneshijn immers een rol. Van Oldenborgh: "In ons persbericht hebben we het daarom over de helft, 5 tot 10 procent van de totale opwarming." In Oost-Europa, dat na de val van de Muur een nog sterkere afname in luchtverontreiniging liet zien, is de bijdrage zelfs 50 procent van de dagopwarming, ofwel 25 procent van de totale opwarming in de laatste dertig jaar, de periode waarover er goede zichtmetingen beschikbaar waren.

Opklaring Een argeloze lezer zou nu vermoeden dat die 5 tot 10 procent opwarming het volledige effect is van brightening en dat de overige 90 procent toch echt wordt veroorzaakt door het

broeikaseffect of iets anders. Maar zo is het niet. Ook op 'gewone' dagen is er immers meer zonneshijn doordat er minder vervuiling, voornamelijk in de vorm van zwaveldioxide en stikstofoxiden, in de lucht hangt. Ook als er geen mist is, bereikt dus meer zonlicht de aarde. Ziedaar wat Stanhill waarnam op de vliegtuigloze dagen na 9/11.

Dat effect is niet goed gekwantificeerd voor Nederland, maar Van Oldenborgh schat dat het aanzienlijk groter is dan het effect van het uitblijven van mist. "Vanaf 1985 verklaart de afname van de luchtverontreiniging grofweg de helft van de opwarming, denk ik." Zwitserse en Duitse onderzoekers kwamen vorig jaar op basis van meer onderbouwde schattingen zelfs uit op een nog grotere bijdrage. Op basis van metingen uit Duitsland en Zwitserland, concludeerden ze dat de toegenomen helderheid zeer waarschijnlijk sterk heeft bijgedragen aan de opwarming in Europa.

In een publicatie die eind januari verscheen in het blad *Geophysical Research Letters*, vroeg de Zwitserse onderzoeker Rolf Philipona van Meteo Swiss in Payerne zich af of je uit elkaar kunt rafelen wat nou het effect is van opklaring, en wat de bijdrage van het broeikaseffect is aan de waargenomen temperatuurstijging.

Philipona had wel een idee hoe je daar achter kunt komen. Vanwege het door mensen veroorzaakte broeikaseffect absorbeert de atmosfeer meer van de infrarode straling die het aardoppervlak uitzendt. Deze langgolelige straling wordt ook weer uitgezonden door de atmosfeer, en dus zou je aan het oppervlak een toename van deze straling moeten kunnen waarnemen. Dat zou de ultieme manier zijn om het versterkte broeikaseffect te meten, waarbij je alleen nog goed rekening moet houden met eventuele veranderingen in de hoeveelheid waterdamp, eveneens een belangrijk broeikasgas. Tot zo ver de theorie, want helaas beschikken wetenschappers bij lange na niet over een goed, werelddekkend netwerk van meetstations die zo'n onderzoek mogelijk zou maken. Onderzoekers moeten het dus stellen met regionale analyses zoals die van Philipona en zijn promovendus Christian Ruckstuhl.

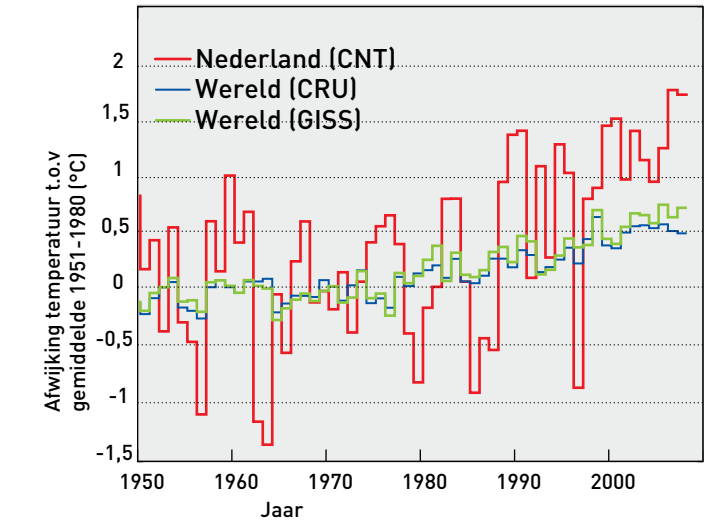
In 2005 eindigde Philipona een artikel nog met de zin: "De toename in neerwaartse langgolelige straling (...) wordt veroorzaakt door een toename in broeikasgassen en waterdampfeedback en bewijst de broeikas'theorie' met waarnemingen."

In een café in Zürich komt Philipona echter minder stellig over. De titel van zijn recente artikel luidt dan nog wel 'Hoe een afname in aerosolen en een toename in broeikasgassen de snelle opwarming in Europa sinds 1980 veroorzaakten', maar tijdens het gesprek lijkt hij vooral verrast over de relatief kleine bijdrage van CO₂ die hij ziet door de lichtstraling aan het aardoppervlak uiteen te rafelen.

"Grofweg bestaat tweederde van de totale toename van straling op het oppervlak sinds 1980 uit kortgolelige (meer blauwachtige, red.) straling en een derde uit langgolelige infraroodstraling. De toename van die kortgolelige straling komt vooral door de grotere helderheid, de brightening. De toename in infraroodstraling bestaat uit twee componenten: het directe effect van broeikasgassen, en een bijdrage van de toegenomen hoeveelheid waterdamp. Het directe effect van broeikasgassen hebben we gehaald uit een publicatie uit 2006 van David Hofmann. Hij stelt dat dat effect een toename van 0,35 watt per vierkante meter per decennium is. Met die bijdrage komen we tot de conclusie dat ongeveer tweederde van de snelle opwarming sinds 1980 wordt veroorzaakt door het brightening-effect, de toegenomen helderheid van de zon."

Maar wat Philipona vooral dwarszit, is dat de door hem gebruikte energietoename door CO₂ mogelijk nog naar beneden bijgesteld

Jaargemiddelde temperatuur in Nederland en de wereld



moet worden. "De cijfers van Hofmann gelden voor de tropopauze, het bovenste deel van de troposfeer (op zo'n tien kilometer hoogte, red.). Maar Richard Allan, een klimaatonderzoeker uit Reading, vertelde me dat het effect op de grond kleiner zal zijn. Ik kan dit bijna niet geloven. Als de energietoename door broeikasgassen zo klein wordt, hoe zou dan de temperatuur op het aardoppervlak dan nog toe kunnen nemen als gevolg van broeikasgassen?"

Westenwind Twijfel dus bij Philipona, maar ook twijfel bij zijn collega's of zo'n analyse op regionale schaal wel zin heeft. Er zijn immers meer processen die een rol kunnen spelen.

Neem alleen al een verandering in de atmosferische circulatie. Stel dat er om wat voor reden ook meer warme lucht naar Zwitserland wordt getransporteerd: ook dat zou meer infraroodstraling geven aan het aardoppervlak.

Van Oldenborgh pakte het daarom heel anders aan in een eveneens recent verschenen artikel in het online vakblad *Climate of the Past*. "Feit is dat West-Europa veel sneller is opgewarmd dan we verwachten op basis van de klimaatmodellen. Uit mijn analyse blijkt dat in vrijwel ieder seizoen andere processen een rol spelen." Hij somt er een aantal op: "Vooral in maart hebben wij in Nederland en in grote delen van Noordwest-Europa vaker te maken gehad met warme westenwinden. In het Baltisch gebied kan een afname in sneeuwbedekking hebben bijgedragen aan de extra opwarming in de winter en het voorjaar. In de zomer lijkt de verdroging van de grond in Zuid-Europa een grote rol te spelen. Die zorgt in de modellen voor minder bewolking in het Alpengebied, maar waarnemingen bevestigen dat nog niet. Daarnaast speelt de afname in aerosolen ook nog een rol, 's zomers meer dan 's winters, omdat er nu eenmaal veel meer zon is in de zomer. Er is kortom niet één factor die alle veranderingen in Europa kan verklaren."

De komende jaren worden interessant, omdat alle onderzoekers het erover eens zijn dat het brightening-effect in Europa wel min of meer is uitgewerkt. Aerosolconcentraties kunnen nauwelijks meer omlaag. Het is dus niet waarschijnlijk dat het aantal mistdagen nog verder zal afnemen en ook de toename in zonnestraling zal vermoedelijk stagneren. Wat zal dat betekenen voor de temperatuur in Europa? Van Oldenborgh en Philipona gaan ervan uit dat de verwachte 0,2°C opwarming per decennium door broeikasgassen dan de boventoon voeren. De klimaatwetenschap heeft een interessante puzzel voor de boeg. ●