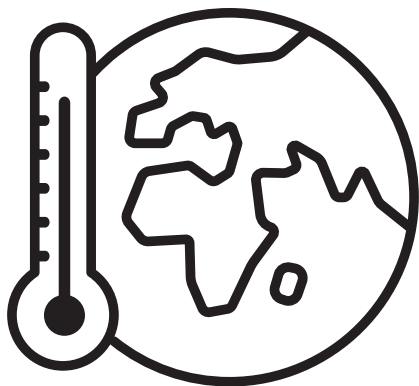


KLIMAAT VERANDERING

Hardnekkige mythes ontkracht



Inhoudsopgave

Inleiding	7
1 Het broeikaseffect: oorzaak en gevolgen	9
2 De rol van waterdamp in klimaatopwarming	15
3 Koolstofdioxide versus methaan en distikstofoxide als belangrijkste broeikasgas	17
4 Relatie tussen het ozongat en klimaatopwarming	19
5 De verstoorde koolstofcyclus	21
6 Antropogene klimaatopwarming: de waarnemingen	27
7 Klimaatopwarming met bokkensprongen	31
8 Perceptie van klimaatverandering op regionale schaal	37
9 Natuurlijke versus antropogene klimaatdrijvers: het laatste millennium	41
10 Het langetermijnperspectief	47
11 Klimaatprognoses en hun consequenties	51
Epiloog	59
Dankwoord	65
Aanbevolen lectuur	67
Bronvermelding illustraties	71
Eindnoten	73

Inleiding

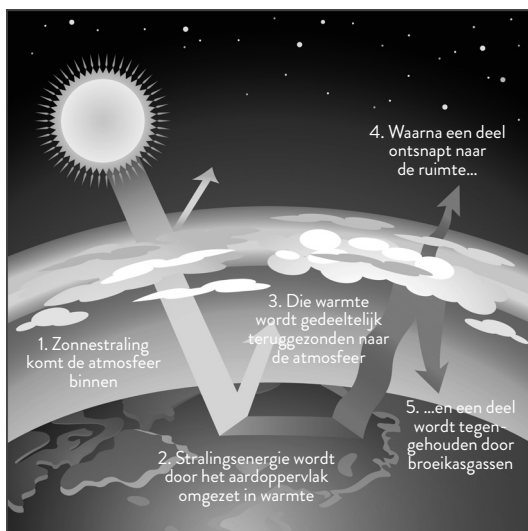
Al in het eerste rapport van het klimaatpanel van de Verenigde Naties (het Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) in 1990 werd gesteld dat als er niets zou worden ondernomen tegen klimaatopwarming, de aarde tegen het einde van de eenentwintigste eeuw met 3 tot 5 °C zou opwarmen. Deze prognose is sindsdien nauwelijks veranderd, en waarnemingen van de gemiddelde jaartemperatuur wereldwijd in de afgelopen dertig jaar tonen daadwerkelijk een stijgende trend in de lijn van die prognose.

Wat wel is veranderd, is de zekerheid waarmee we die opwarming aan menselijke activiteiten kunnen toeschrijven; alsook inzicht in de impact van die opwarming op weersomstandigheden, en de werking van natuurlijke ecosystemen, op regionale schaal. Vermits die globale impact eerder negatieve dan positieve gevolgen heeft voor de leefbaarheid van de planeet, draagt de mens dus een grote verantwoordelijkheid om iets tegen die opwarming te ondernemen. Feiten van klimaatverandering worden echter vaak uit hun context gelicht om mythes en halve waarheden in stand te houden die de dringendheid van acties tegen klimaatverandering ter discussie stellen, en om mistgordijnen op te werpen die het draagvlak voor klimaatactie bij een breed publiek ondergraven.

De hiernavolgende uiteenzetting heeft als voornaamste doel een aantal van deze mythes te ontkrachten, om op die manier de voornaamste feiten over antropogene klimaatverandering kracht bij te zetten.¹

1 Het broeikaseffect: oorzaak en gevolgen

Het broeikaseffect is het algemene proces waarbij zonnestraling de atmosfeer (dampkring) binnenkomt, en door het aardoppervlak wordt omgezet in warmte die dan door de atmosfeer wordt vastgehouden (**figuur 1**). Mocht de aardse atmosfeer geen broeikasgassen bevatten, dan zou die warmte worden uitgestraald naar de ruimte, en zou de op jaarbasis gemiddelde temperatuur op aarde (en ook uitgemiddeld over alle breedtegraden) $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ bedragen.



Figuur 1 Algemeen principe van het broeikaseffect.

De gezamenlijke stralingswarmte van natuurlijke broeikasgassen, ± 150 watt/m² per jaar, en diverse terugkoppelingsprocessen verhogen de temperatuur met ongeveer 33 °C tot een gemiddelde van 15 °C over alle seizoenen en breedtegraden. De aanwezigheid van broeikasgassen is dus essentieel om te zorgen dat de stralingswarmte van de zon een leefbare omgeving creëert op onze kleine blauwe planeet. Overigens danken we dit blauwe uitzicht precies aan het feit dat bij de heersende temperaturen, water hoofdzakelijk in vloeibare vorm voorkomt eerder dan in vaste vorm (ijs) of als gas (waterdamp).²

Het overgrote deel van de broeikasgassen bevindt zich in de troposfeer, de onderste en meest dense laag van de atmosfeer die als een dunne schil van ongeveer 10 km (dikker aan de evenaar, dunner aan de polen) rondom de aarde hangt. Deze 'lucht' bestaat grotendeels uit stikstofgas (N₂; 78%) en zuurstofgas (O₂; 21%), enkel de resterende 1% zijn broeikasgassen: in belangrijke mate waterdamp (H₂O; 0,9%) en verder vooral koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en distikstofoxide (N₂O; samen 0,1%). De broeikasgassen zijn 'infrarood-actief' omdat ze uit asymmetrische moleculen bestaan, moleculen samengesteld uit verschillende soorten atomen die constant touwtrekken om de elektronen die als een wolk rondom de atoomkernen zweven. De onregelmatige beweging van die elektronen veroorzaakt vibratie, en die vangt de stralingswarmte afkomstig van het aardoppervlak op. Ook ozon (O₃) is infrarood-actief, hoewel het enkel uit zuurstofatomen bestaat.

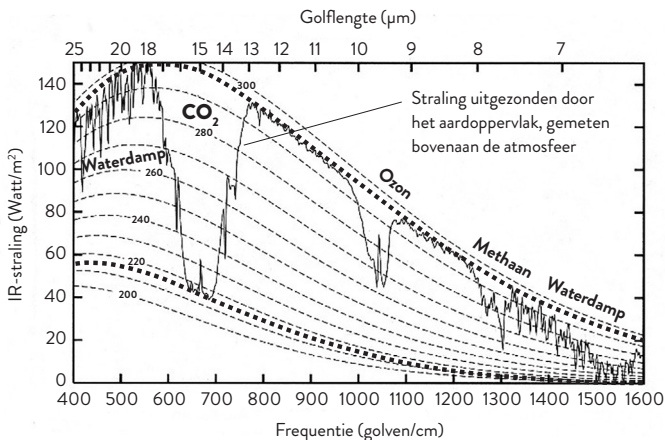
Op lange tijdschalen is de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer niet stabiel, wat mee aan de oorsprong ligt van natuurlijke klimaatvariatie zoals de grote ijstijden van het boven-pleistoceen (de laatste 800.000 jaar). Maar ook vanaf het einde van de achttiende eeuw, en vooral sinds de beginfase van de industriële

revolutie rond 1850, is door uitstoot gerelateerd aan menselijke activiteiten de concentratie broeikasgassen fel toegenomen. Zo is de concentratie koolstofdioxide gestegen van 0,028% naar 0,041% (van 280 naar 410 *ppm*, deeltjes per miljoen) en is het methaangehalte meer dan verdubbeld van 0,00008% naar 0,00018% (van 800 naar 1800 *ppb*, deeltjes per miljard).

De uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten, de zogenaamde antropogene emissies, vertegenwoordigt een bijkomende stralingswarmte van ± 3 watt/m² per jaar. Dat is dus maar 2% boven op het natuurlijke broeikaseffect. Bovendien wordt deze emissie deels gecompenseerd door het afkoelend effect van luchtvervuiling, omdat de stofdeeltjes en aerosolen van luchtvervuiling de inkomende zonnestraling eerder reflecteren dan absorberen. Vanuit zuiver natuurkundig perspectief (maar uiteraard niet ernstig overwogen) is luchtvervuiling dus eigenlijk een goede remedie tegen klimaatopwarming.

Een eerste **mythe** rond klimaatverandering, die voortkomt uit het feit dat de diverse broeikasgassen in verschillende mate warmte vasthouden, is **dat methaan en waterdamp sterkere broeikasgassen zijn dan koolstofdioxide**. Uitgedrukt in de hoeveelheid energie die per molecule wordt vastgehouden zijn dit inderdaad sterkere broeikasgassen dan CO₂. De reden hiervoor kan worden afgeleid uit het emissiespectrum van de infraroodstraling (IR) die aan de top van de atmosfeer wordt gemeten (**figuur 2**).

In deze grafiek toont de dunne zwarte lijn de hoeveelheid infraroodstraling die wordt gemeten voor elke golflengte tussen 6 en 25 μm . Zichtbaar licht en ultravioletstraling (uv) hebben kortere golflengtes; hun stralingsspectrum bevindt zich dus rechts van deze figuur. De afwijking van de hoeveelheid infraroodstraling die wordt verwacht in het geval de straling uitgaat van een lichaam



Figuur 2 Het emissiespectrum van de infraroodstraling gemeten door een satelliet gepositioneerd bovenaan de atmosfeer (dunne zwarte lijn), in relatie tot de verwachte emissiespectra van lichamen met een gemiddelde temperatuur van die bovenaan de atmosfeer (onderste dikke stippellijn; in °K) en die aan het aardoppervlak (bovenste dikke stippellijn).

met gemiddelde temperatuur gelijk aan die van het aardoppervlak (bovenste dikke stippellijn), is een indicatie voor de hoeveelheid straling die tijdens haar transit door de atmosfeer wordt opgevangen door broeikasgassen. Zo zien we dat CO₂ voornamelijk infraroodstraling opvangt met golflengtes tussen 13 en 18 μm, methaan vooral straling van 7,7 tot 8 μm opvangt, en waterdamp actief is zowel op korte (6-8 μm) als lange (18-25 μm) golflengtes. Uit de grafiek blijkt duidelijk dat CO₂ de grootste 'hap' uit het stralingsspectrum neemt; op dit punt is CO₂ dus zonder meer het belangrijkste broeikasgas in de aardse atmosfeer. De 'hap' is zelfs zo groot dat in de golflengtes waar CO₂ het meest actief is, alle

stralingswarmte wordt opgevangen: de dunne zwarte lijn reikt er tot de onderste dikke stippellijn, wat betekent dat de hoeveelheid gemeten infraroodstraling is gereduceerd tot die welke zich lokaal aan de top van de atmosfeer bevindt.

Het fenomeen dat CO_2 bijna alle infraroodstraling vangt van de golflengtes die het kan opvangen noemt men de ‘verzadiging’ van de atmosfeer met CO_2 . Dat was al in belangrijke mate het geval vóór de sterke toename van antropogene emissies³ in de negentiende eeuw, toen de CO_2 -concentratie 280 ppm bedroeg. Het afnemend logaritmisches verband tussen de totale warmteabsorptie door CO_2 en haar concentratie verklaart ook waarom de wereld niet overkookte tijdens de hoogdagen van de dinosauriërs in het krijt (tussen 145 en 66 miljoen jaar geleden), toen de CO_2 -concentratie in de atmosfeer nog acht- tot tienmaal hoger was dan vandaag.

Als gevolg van die verzadiging is elke bijkomende CO_2 -molecule die wij uitstoten niet echt efficiënt in het opvangen van bijkomende warmte: de ‘hap’ in het stralingsspectrum kan nog enigszins verbreden, maar niet meer verdiepen. Bij methaan is die verzadiging er niet, zodat elke bijkomende molecule een belangrijke hoeveelheid bijkomende warmte opvangt. Ook bij waterdamp is er geen verzadiging aan warmte-opvang, hoewel de atmosfeer ongeveer 20 keer meer waterdamp bevat dan CO_2 . Dit kan deels worden verklaard doordat waterdampmoleculen een veel breder gamma infraroodstraling opvangen, van zowel korte als lange golflengtes. Het verschil in efficiëntie is de hoofdreden waarom, althans per molecule, waterdamp en methaan sterkere broeikasgassen zijn dan CO_2 . Waterdamp is daarnaast ook met voorsprong het meest abundante broeikasgas in onze atmosfeer, en is dus logischerwijs verantwoordelijk voor het grootste aandeel in de totale warmteabsorptie. Het betekent echter niet dat, in de context van

klimaatverandering, waterdamp en methaan meer zorgwekkende broeikasgassen zijn dan CO₂. In secties 2 en 3 wordt die mythe in twee stappen ontkracht.

2 De rol van waterdamp in klimaatopwarming

Omstreeks 1800 bedroeg de concentratie CO_2 in de atmosfeer 280 ppm, terwijl ze tegen het eind van de eenentwintigste eeuw mogelijks de grootteorde van 560 ppm bereikt (zie sectie 11). Deze mogelijke verdubbeling gaf aanleiding tot een experiment waarmee klimatologen in de jaren 1980 en 1990 de broeikasgasgevoeligheid van klimaatmodellen onderling vergeleken. In dit experiment resulteerde de verdubbeling van CO_2 op zich in een gemiddelde opwarming van $1,25\text{ }^\circ\text{C}$ (**figuur 3**); dat is relatief weinig, als gevolg van het eerder vermelde fenomeen van CO_2 -verzadiging. Maar die opwarming leidt tot meer verdamping uit de oceanen en bijgevolg is er meer waterdamp in de atmosfeer. Die verhoogde concentratie waterdamp veroorzaakt een bijkomende opwarming van $2,5\text{ }^\circ\text{C}$, meer dan die van het CO_2 zelf want waterdamp heeft geen last van absorptieverzadiging. Waterdamp is als broeikasgas in zijn totaliteit dus twee keer sterker dan CO_2 .

Er is echter een limiet aan de hoeveelheid waterdamp die zich in de atmosfeer kan opstapelen zonder dat dit aanleiding geeft tot condensatie. Bij een teveel aan waterdamp worden er immers wolken gevormd die, met hun witte oppervlak, zonnestraling reflecteren en dus de opwarming tegenwerken⁴, met gemiddeld $1,85\text{ }^\circ\text{C}$. Tegelijkertijd blijft door de toegenomen temperatuur de wintersneeuw minder lang liggen en smelt het drijvend poolijs deels af, waardoor dit type wit reflecterend vlak juist in oppervlak afneemt en de opwarming verder wordt aangezwengeld, met ongeveer $0,6\text{ }^\circ\text{C}$.

Uitgeverij Academia Press
Ampla House
Coupure Rechts 88
9000 Gent
België

www.academiapress.be

Uitgeverij Academia Press maakt deel uit van Lannoo Uitgeverij,
de boeken- en multimediodivisie van Uitgeverij Lannoo nv.

ISBN 978 94 014 6385 0 – D/2019/45/449 – NUR 740

Dirk Verschuren
Klimaatverandering. Hardnekkige mythes ontkracht
Gent, Academia Press, 2019, 80p.

Eerste druk, 2019
Vormgeving cover: Studio Lannoo
Vormgeving en zetwerk binnenwerk: Studio Lannoo

© Dirk Verschuren & Uitgeverij Lannoo nv, Tielt

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk,
fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder
voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.