

# Wetenschappelijke handleiding

bij het 'Skeptics Handbook  
(Handboek voor sceptici)'

Het bewijs dat mensen  
verantwoordelijk zijn voor  
**de opwarming van de aarde**



---

# Dankbetuiging

Een wetenschappelijke handleiding bij het 'Handboek voor sceptici' is geschreven door John Cook (skepticalscience.com). Dit was niet mogelijk geweest zonder de bijdrage van volgende wetenschappers:

- John Bruno  
Collega-professor in Marine Ecologie, Universiteit van Noord Carolina
- Ove Hoegh-Guldberg  
Professor en directeur van het centrum voor oceanologie, Universiteit van Queensland
- Steven Sherwood  
Professor, fysische meteorologie en atmosferische klimaatdynamica, Universiteit van NSW
- Kevin Judd  
Professor, Centrum voor Wiskunde en Statistiek, Universiteit van WA
- Malcolm McCulloch  
Professor, Centrum voor Geowetenschap, Universiteit van WA
- Thomas Stemler  
Collega-professor, Centrum voor Wiskunde en Statistiek, Universiteit van WA
- Julie Trotter  
Collega-professor, Centrum voor Geowetenschap, Universiteit van WA

## Referenties

Alexander, L. V., et al (2006). Globaal geobserveerde veranderingen in dagelijkse klimaatextremen voor temperatuur en neerslag. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 111(D5).

Harries, J. E., et al (2001). Toename in de aandrijving van het klimaat door broeikasgassen, afgeleid uit de uitgaande lange golf stralingsspectra uit 1970 en 1997. *Nature*, 410, 355-357.

Sherwood, S. C., et al, (2008). Robuuste opwarming in de troposfeer achterhaald via herhaaldelijke homogenisering van radiosonde data. *J. Climate*, 21, 5336-5350.

Wang, K., Liang, S., (2009). Atmosferische neerwaartse lange golf straling globaal gezien over het landoppervlak onder alle hemelomstandigheden tussen 1973 en 2008. *Journal of Geophysical Research*, 114 (D19).

Wetenschappelijke handleiding bij het 'Handboek voor sceptici' is een antwoord op het handboek voor sceptici dat beschikbaar is op <http://joannenova.com.au/global-warming/>

---

# Welke bewijzen zijn er dat CO2 verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde?

Sceptici proberen vaak twijfel te zaaien over het feit dat mensen verantwoordelijk zijn voor de opwarming van de aarde door het stellen van de volgende vragen:

1. Is de temperatuurstijging wel degelijk te wijten aan een toename van broeikasgassen?
2. Kwam in het verleden een stijging van CO2 niet altijd pas na een stijging van de temperatuur?
3. Is er nu eigenlijk wel een klimaatopwarming bezig?
4. Is het effect van CO2 niet al verzadigd?

Door deze vier zaken te bestuderen verkrijgen we het antwoord op de eerste vraag, nl. dat CO2 de huidige klimaatopwarming veroorzaakt.

Aanwijzingen vanuit verschillende invalshoeken wijzen allemaal naar hetzelfde antwoord - dat mensen verantwoordelijk zijn voor de huidige opwarming.

## De menselijke vingerafdruk op de klimaatverandering

Als we kijken naar de volledige bewijslast, dan komt er een duidelijk en consistent patroon naar voor:

- Mensen zorgen jaarlijks voor een uitstoot van **miljarden ton CO2**
- De hoeveelheid CO2 in de atmosfeer is nu **40% hoger dan het niveau vóór de industriële revolutie**
- Het **toegenomen broeikaseffect is direct waargenomen** door een waaier van onafhankelijke metingen

In de volgende pagina's, zullen we verschillende bewijzen bestuderen die allemaal wijzen op een consistent antwoord, nl. dat CO2, door mensen uitgestoten, verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde

# Vaststellen van het broeikaseffect

Het broeikaseffect laat een duidelijke spoor na in de atmosfeer.

Broeikasgassen vermijden dat een deel van de warmte de bovenste lagen van de atmosfeer bereikt. Dus we verwachten een opwarming in de lagere atmosfeer (de troposfeer) en een afkoeling in de hogere atmosfeer (de stratosfeer). Dit is exact wat we waarnemen.

## Vaststelling van het broeikaseffect



Klimaatmodellen voorspellen een warme zone op ongeveer 10 km boven de tropen. Dit is bevestigd door de laatste data verzameld door weerballonnen. Een vaak voorkomend misverstand is dat deze warme zone te wijten is aan het broeikaseffect; dat is niet zo. Het is eigenlijk door veranderingen in de **vochtige adiabatische temperatuurgradiënt**.

Een vaak voorkomend misverstand is dat de warme zone te wijten zou zijn aan het broeikaseffect; dat is niet zo.

Hoe hoger in de atmosfeer, hoe kouder. Als het koud genoeg is, kan waterdamp condenseren en komt warmte vrij. Dit compenseert gedeeltelijk de afkoeling bij toenemende hoogte. In de tropen, waar de lucht vochtiger is, komt er meer warmte vrij door dit effect. De warme zone is dus een gevolg van eender welke opwarming aan het aardoppervlak en is daarom niet uniek voor een opwarming door het broeikaseffect.

De temperatuur van de atmosfeer wordt gemeten via satellieten en weerballonnen. Verschillende factoren, zoals opwarming van de ballonnen door zonlicht, beïnvloeden deze metingen. Eens deze effecten in rekening gebracht zijn, blijkt dat er wel degelijk een warme zone boven de tropen bestaat.

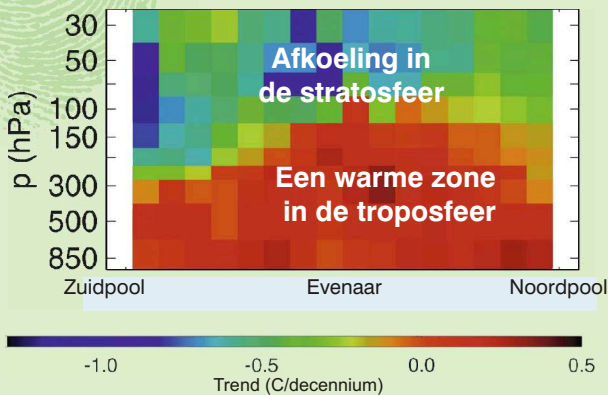
Deze warme zone wordt bevestigd door metingen van windpatronen. Aangezien er een direct verband is tussen temperatuur en windschering, levert dit een onafhankelijke manier op om de temperatuurtrends te berekenen. Ook deze methode toont aan dat er boven de tropen een opwarming is, zoals verwacht.

Een kenmerk van broeikasgassen is een opwarming in de troposfeer en een afkoeling in de stratosfeer... en dit is exact wat we waarnemen.

## Menselijke vingerafdruk #1

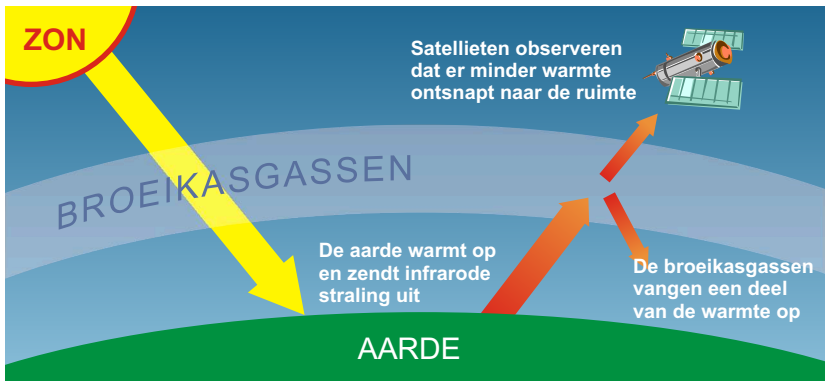
### Afkoeling in de stratosfeer

Metingen via satellieten en weerballonnen geven aan dat er een opwarming is in de troposfeer en afkoeling in de stratosfeer: een heel duidelijk teken van het broeikas effect



## De bewijzen dat een stijging van CO2 zorgt voor opwarming

Koolstofdioxide 'vangt' warmte. Dit kan rechtstreeks gemeten worden door satellieten en het blijkt dat gedurende de laatste decennia minder warmte ontsnapt naar de ruimte (cf. Menselijke vingerafdruk #2 ). Dat is een directe aanwijzing dat CO2 opwarming veroorzaakt.



Data gehaald uit ijskernen toont aan dat in het verleden CO2 omhoog ging na een temperatuurstijging. Dit betekent dat temperatuur de hoeveelheid CO2 in de atmosfeer beïnvloedt. Een opwarming zorgt voor meer CO2 en meer CO2 zorgt voor opwarming. Als je deze twee elementen samenneemt krijg je positieve terugkoppeling.

Wanneer de aarde in het verleden opwarmde, zorgde dit ervoor dat de oceanen CO2 afstonden aan de atmosfeer. Dit had verschillende gevolgen:

- De extra CO2 in de atmosfeer **versterkte de oorspronkelijke opwarming**. Dat is de positieve terugkoppeling.
- De extra CO2 verspreidde zich over de atmosfeer en daarmee ook de opwarming over de ganse planeet.

De geschiedenis van het CO<sub>2</sub> niveau is volledig consistent met het opwarmend effect van CO<sub>2</sub>. In feite is de opwarming door CO<sub>2</sub> zowel een verklaring voor de dramatische temperatuursveranderingen in het verleden alsook voor het spreiden van de opwarming over de hele planeet. De vertraging tussen een initiële opwarming en een daaropvolgende stijging van CO<sub>2</sub> is net een duidelijke aanwijzing van een positieve klimaat terugkoppeling.

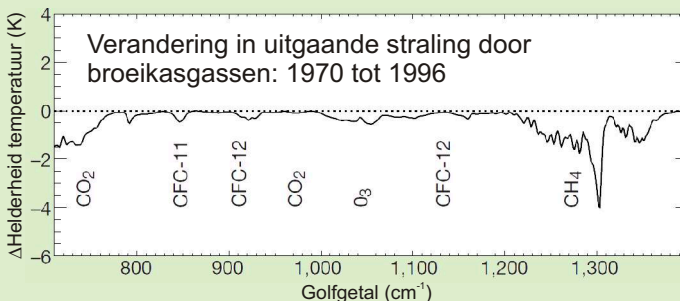
Het achterblijven van een CO<sub>2</sub>-stijging bij een temperatuurstijging ontkracht niet het opwarmingseffect van CO<sub>2</sub>. In tegendeel, het is een bewijs van een positieve terugkoppeling in het klimaat.

## Menselijke vingerafdruk #2

### Minder warmte ontsnapt naar de ruimte

Speciale satellieten meten hoeveel infrarode straling (warmte) er naar de ruimte ontsnapt. Een vergelijking tussen de gegevens uit 1970 en die uit 1996 tonen aan dat er minder energie naar de ruimte ontsnapt op golflengtes die geabsorbeerd worden door broeikasgassen. Onderzoekers beschrijven dit als *“een rechtstreeks experimenteel bewijs dat er een significant grotere verhoging is van het broeikas effect op aarde”*

Dit resultaat is bevestigd door recentere studies die gegevens afkomstig van verschillende satellieten gebruiken.



(Harries et al 2001)

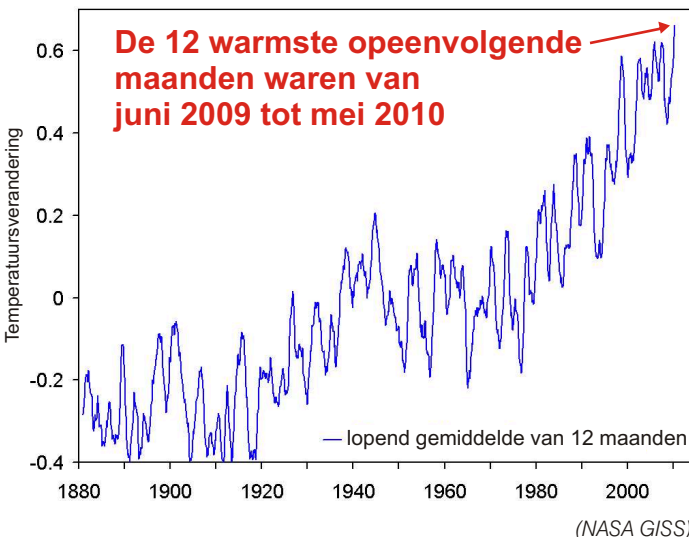
# De realiteit van de klimaatopwarming

Sceptici beweren dat een groot deel van de gemeten klimaatopwarming afkomstig is van weerstations die geplaatst zijn naast airconditioning of parkings. We weten dat dit niet waar is om verschillende redenen.

Om te beginnen is de opwarmingstrend dezelfde bij zogenoemd 'goed' en 'slecht' geplaatste weerstations.

Een andere manier om de nauwkeurigheid te controleren van temperatuurmetingen van weerstations is die te vergelijken met temperatuurmetingen afkomstig van satellieten. Beide tonen dezelfde hoeveelheid opwarming. Aangezien er geen parkings of airconditioners in de ruimte zijn, bevestigt dit dat de temperatuurmetingen van weerstations een betrouwbaar beeld geven.

Sceptici beweren ook dat er geen opwarming was de laatste jaren. Er is echter wel een sterke opwarmingstrend in die periode. Sinds het begin van



de temperatuurmetingen is het record voor de 12 warmste opeenvolgende maanden gebroken in maart dit jaar, en dan nog eens in april en in mei.



De stijging in gemeten temperatuur is slechts een van de bewijzen voor de huidige klimaatopwarming:

- De ijskappen zijn aan het smelten en verliezen zo jaarlijks miljarden ton ijs
- De stijging van de zeespiegel versnelt (voornamelijk door de smeltende ijskappen)
- Diersoorten migreren steeds meer richting poolstreken
- Gletsjers trekken zich terug, wat de watervoorziening van miljoenen mensen in het gedrang brengt

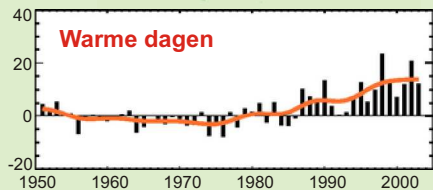
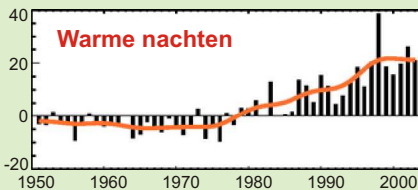
Om een volledig inzicht te krijgen in het klimaat, moet je naar alle gegevens kijken. Wat je dan ziet, zijn verschillende zaken die allemaal naar dezelfde conclusie wijzen: de klimaatopwarming is aan het gebeuren en wij zijn verantwoordelijk. Als iemand je vertelt dat ze geen bewijzen zien dat mensen verantwoordelijk zijn voor de huidige opwarming van de aarde, dan is dat omdat ze niet hard gezocht hebben.

Als iemand je vertelt dat ze geen bewijzen zien dat mensen verantwoordelijk zijn voor de huidige opwarming van de aarde, dan is dat omdat ze niet hard gezocht hebben.

## Menselijke vingerafdruk #3

### 's Nachts warmt het vlugger op dan overdag

Een toegenomen broeikas effect houdt in dat de opwarming 's nachts sterker zou moeten zijn dan overdag. Het broeikas effect is immers aanwezig dag en nacht. Als de huidige opwarming veroorzaakt zou zijn door de zon, dan zou de opwarmingstrend het grootst moeten zijn overdag. Maar wat we zien is dat het aantal warme nachten vlugger stijgt dan het aantal warme dagen.



(Alexander et al 2006)

# Het CO2 effect neemt toe

Mensen stoten jaarlijks meer dan 30 miljard ton CO2 uit. Hoe meer CO2 er in de stoten bijkomt, hoe meer warmte ze daar opvangt. Hoe kunnen we dit controleren? Metingen geven aan dat die extra CO2 ook effectief meer warmte opvangt. We hebben al besproken hoe uit satellietmetingen blijkt dat er meer warmte naar de ruimte ontsnapt (zie **menselijke vingerafdruk #2**). Dit is een directe observatie die aantoont dat de opwarming door CO2 toeneemt.

Bijkomende bevestiging dat extra CO2 meer warmte opvangt komt van metingen vanaf het aardoppervlak (zie **menselijke vingerafdruk #4**). Als minder warmte ontsnapt naar de ruimte, verwachten we meer warmte die terugkeert naar het aardoppervlak. En dit nemen we inderdaad waar.

Mensen stoten elk jaar meer dan 30 miljard ton CO2 uit. Hoe meer CO2 er in de dampkring bijkomt, hoe meer die warmte opvangt.

Sommigen beweren dat het CO2 effect al verzadigd is. Dit is gebaseerd op de verkeerde opvatting dat onze dampkring maar een enkele laag is die warmte tegenhoudt. In werkelijkheid bestaat die uit veel steeds ijler wordende lagen en elk van die lagen zendt straling uit.

Wanneer we meer CO2 in de dampkring brengen, vermengt het zich doorheen alle lagen van de atmosfeer, ook de bovenste. De extra CO2 in de hogere lagen van de troposfeer absorbeert straling van de lagere lagen. Dus CO2 toevoegen

draagt wel degelijk bij aan de klimaatopwarming.

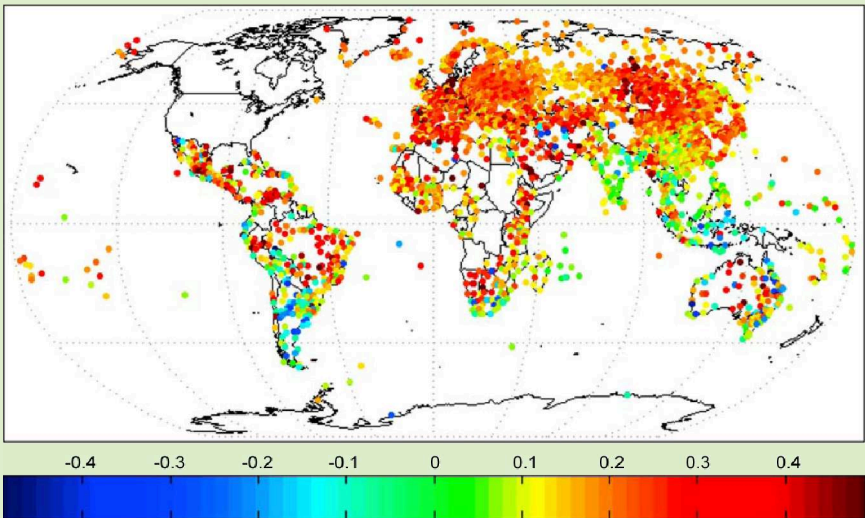
## Menselijke vingerafdruk #4

### Meer warmte keert terug naar de aarde

Metingen aan het aardoppervlak tonen aan dat er meer warmte terugkeert naar de aarde door een sterker broeikaseffect. Wanneer we het spectrum van die straling in detail bestuderen, kunnen we bepalen hoeveel elk broeikasgas bijdraagt aan de opwarming. Vanuit die observaties kon de volgende conclusie getrokken worden:

*“Deze experimentele gegevens zouden voor eens en voor altijd het gebruik van het argument door sceptici moeten beëindigen, nl. dat er geen experimenteel bewijs bestaat voor een verband tussen meer broeikasgassen in de atmosfeer en de opwarming van de aarde”*

### Trend in neerwaartse infrarode straling



Watt per vierkante meter per jaar

(Wang et al 2009)

De bewijslast dat mensen verantwoordelijk zijn voor de opwarming van de aarde is gebaseerd op verschillende, onafhankelijke sporen. Klimaatsceptici focussen vaak maar op een beperkt deel van de puzzel en negeren het grotere geheel.

Ons klimaat is aan het veranderen en wij zijn de voornaamste oorzaak door onze uitstoot van broeikasgassen. Als je de wereld rondom ons wil verstaan en geïnformeerde beslissingen wil maken over onze toekomst, dan is het essentieel om bewust te zijn van de wetenschappelijke bewijzen voor de huidige klimaatopwarming.



Voor meer informatie, bezoek:



THE UNIVERSITY OF  
WESTERN AUSTRALIA  
*Achieving International Excellence*

[www.climatesciencewa.org](http://www.climatesciencewa.org)