



WAT WETEN WE OVER KLIMAATVERANDERING

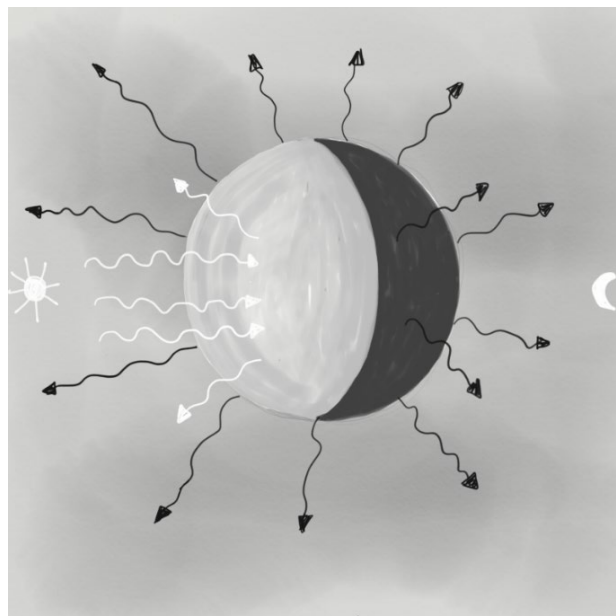
Een korte samenvatting van de wetenschappelijke inzichten
over de huidige klimaatverandering

Bart Verheggen

met medewerking van

Jos Hagelaars

Hans Custers





Inhoud

Woord vooraf

1 Het broeikaseffect

2 De rol van CO₂ in het klimaat

3 Het klimaat verandert in hoog tempo

4 Oorzaken van klimaatverandering

5 Toekomstprojecties

6 Gevolgen van klimaatverandering

7 Er zijn dingen die we kunnen doen

Nawoord

Aanbevolen literatuur

Over de auteur



Woord vooraf

Wat weten we zoal over de huidige klimaatverandering, ondanks de complexiteit van het klimaatsysteem? De kortst mogelijke samenvatting komt hierop neer:

- Het warmt op
- Dat komt door de mens
- Dat heeft verstrekkende gevolgen
- Er zijn dingen die we kunnen doen om de risico's te beperken

In het publieke debat lopen de meningen over klimaatverandering sterk uiteen, ook over feitelijke aspecten die wetenschappelijk gezien heel helder zijn. Voor een zinnige maatschappelijke discussie is het belangrijk om de wetenschappelijke inzichten goed in beeld te hebben. De basis van onze kennis is in de 19^{de} eeuw gelegd door bekende en minder bekende natuurkundigen. Toen al werd voorspeld dat de uitstoot van CO₂ tot opwarming van de aarde zou leiden, lang voordat dat door metingen zou worden bevestigd. Ook in het verre verleden blijkt CO₂ vaak een sleutelrol te hebben vervuld in de forse klimaatveranderingen die de aarde heeft doorgemaakt. De huidige opwarming gaat naar verhouding pijlsnel en wordt hoofdzakelijk door menselijke activiteit veroorzaakt.

Dit document is een korte samenvatting van wat in meer detail wordt besproken in het boek [Wat iedereen zou moeten weten over klimaatverandering](#) (verschenen bij Prometheus) en in het hoorcollege [Kennis van klimaat](#) (verschenen bij Home Academy). Voor specifieke onderwerpen en discussie kunt u terecht op het [klimaatblog](#).



KENNIS VAN KLIMAAT

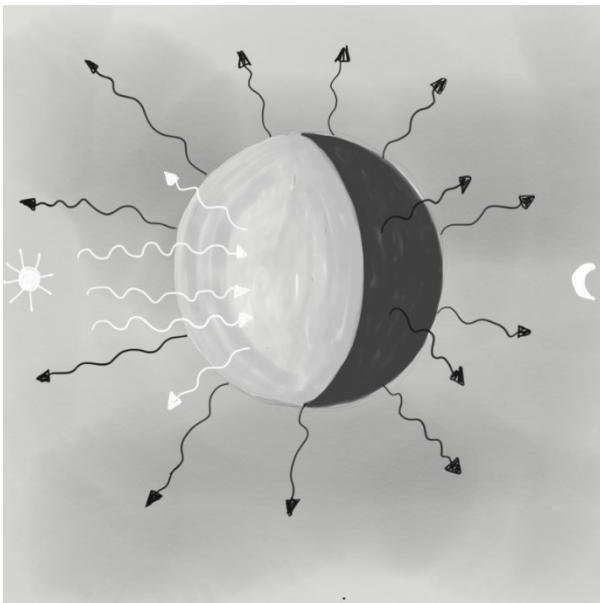
EEN HOORCOLLEGE OVER
DE WETENSCHAPPELIJKE
INZICHTEN EN DE
MAATSCHAPPELIJKE
DISCUSSIE OVER
KLIMAATVERANDERING

door Bart Verheggen



1 Het broeikaseffect

Al sinds de 19^e eeuw weten we dat sommige gassen, zoals kooldioxide, methaan en waterdamp, warmtestraling absorberen. Als een soort ‘deken’ beperken [broeikasgassen](#) daardoor het warmteverlies van een planeet. Zonder [broeikaseffect](#) zou het aardoppervlak gemiddeld zo’n 33°C kouder zijn. Door meer broeikasgassen in de atmosfeer te brengen maken we die figuurlijke deken dikker, waardoor de aarde meer warmte vasthoudt. CO₂ speelt hierbij de belangrijkste rol; de hoeveelheid waterdamp - eveneens een zeer sterk broeikasgas - fungeert als een versterkende factor, aangezien warme lucht meer waterdamp kan bevatten. Al in 1896 berekende [Svante Arrhenius](#) dat de uitstoot van CO₂ als gevolg van de toenemende industrialisatie tot opwarming zou leiden. Die voorspelling bleek vele decennia later inderdaad uit te komen.

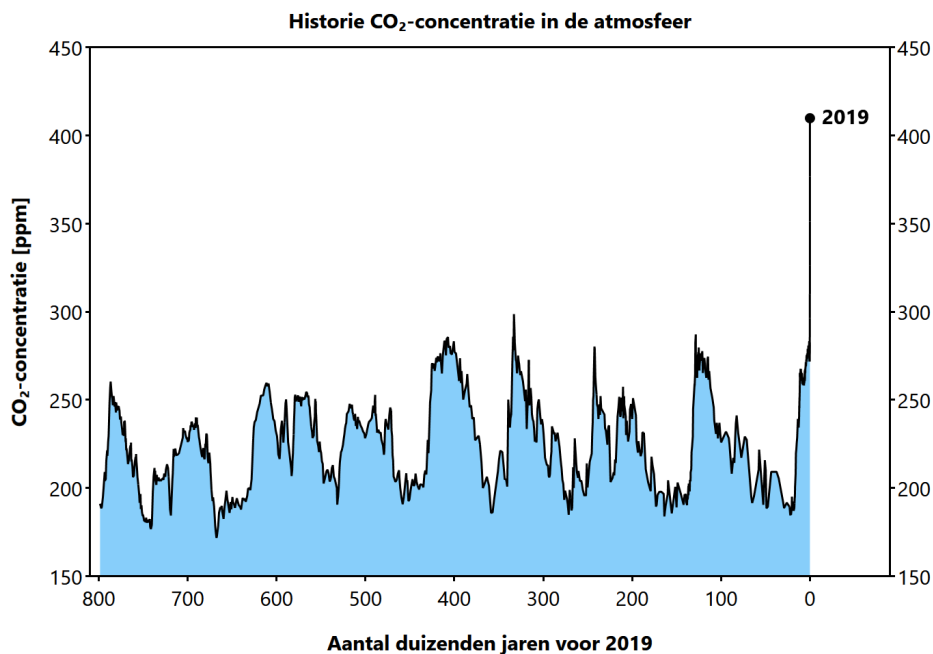


De drie factoren die de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van een planeet bepalen: de inkomende zonnestraling; het aandeel daarvan dat gereflecteerd wordt; de warmtestraling van de planeet zelf. Broeikasgassen beïnvloeden hoeveel van de warmtestraling daadwerkelijk de planeet verlaat. Illustratie door Marije Mooren.



2 De rol van CO₂ in het klimaat

De CO₂-concentratie stijgt ongekend snel en is nu aanzienlijk hoger dan in de afgelopen paar miljoen jaar is voorgekomen. De koolstofatomen in de CO₂ wijzen uit dat deze toename voornamelijk is veroorzaakt door het verbranden van fossiele brandstoffen zoals olie, gas en steenkool. Daarnaast komt het vrij bij ontbossing. De [CO₂ die we uitstoten](#) wordt voor ongeveer de helft opgenomen door oceanen (die daardoor [verzuren](#)) en door extra plantengroei. De andere helft blijft voor lange tijd, een deel zelfs [vele duizenden jaren](#), in de atmosfeer. Ook in het [verre verleden](#) hebben veranderingen in het CO₂-gehalte van de atmosfeer grote invloed gehad op het klimaat.

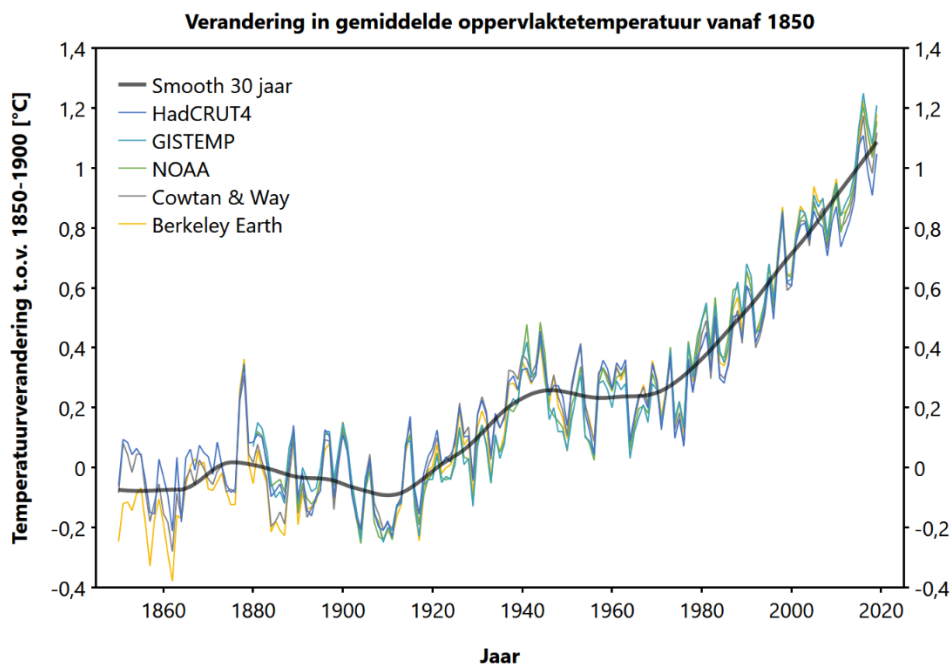


De CO₂-concentratie over de afgelopen 800.000 jaar op basis van luchtbelletjes in ijsboorkernen en recent op basis van directe observaties in de atmosfeer. Grafiek door Jos Hagelaars op basis van publiekelijk beschikbare data.



3 Het klimaat verandert in hoog tempo

Het aardoppervlak is nu ruim 1°C warmer dan in de tweede helft van de 19^e eeuw, toen met systematische metingen is begonnen. Dat lijkt weinig, maar bedenk dat tijdens de laatste ijstijd het aardoppervlak ‘slechts’ een graad of vijf kouder was dan nu. Vanwege natuurlijke variatie gaat de opwarming niet monotoon, maar met [ups en downs](#). Als gevolg van de [opwarming](#) krimpen gletsjers, neemt de hoeveelheid zee-ijs in het Noordpoolgebied af, smelt er steeds meer ijs van de grote ijskappen, [stijgt de zeespiegel](#) en treden er allerlei veranderingen op in ecosystemen.

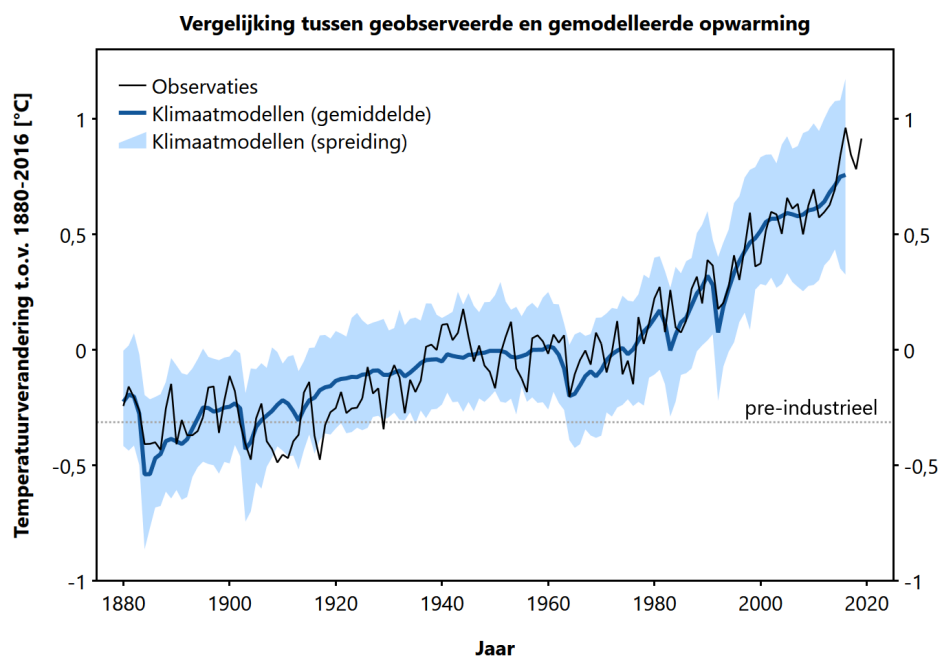


De geobserveerde opwarming van de aarde van 1850 tot 2019. De dikke, zwarte lijn is een lopend gemiddelde van de jaarlijkse waarden (dunne, gekleurde lijnen) van verschillende onderzoeksgroepen. Grafiek door Jos Hagelaars op basis van publiekelijk beschikbare data.



4 Oorzaken van klimaatverandering

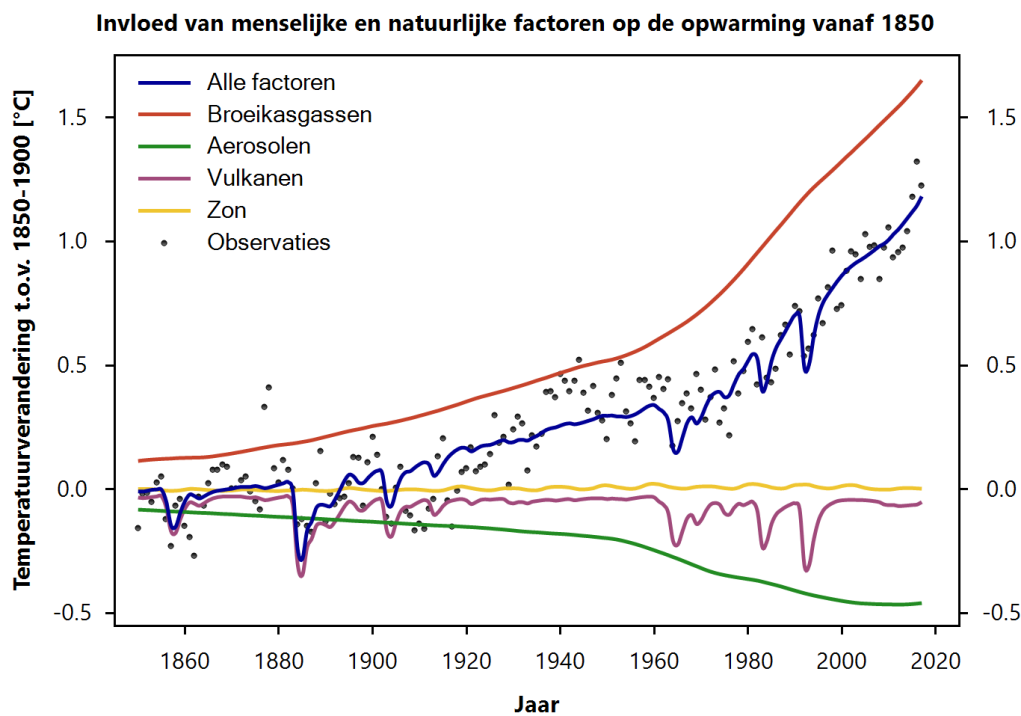
Klimaatmodellen, waarin de kennis van het klimaatsysteem in wiskundige formules is gevat, kunnen het geobserveerde temperatuurverloop goed simuleren - maar alleen als zowel natuurlijke als menselijke factoren worden meegenomen. De klimaatmodellen bevestigen wat te verwachten is op basis van welbegrepen natuurkundige theorie. Ook zijn veel klimaatveranderingen uit het verre verleden alleen te verklaren door een aanzienlijke invloed van CO₂. Daarnaast wordt de [menselijke oorzaak van de huidige opwarming](#) bevestigd door specifieke 'vingerafdrukken' van het versterkte broeikaseffect. Zo blijkt uit metingen vanaf satellieten en vanaf de grond dat [de aarde inderdaad meer warmtestraling vasthoudt](#), precies in die golflengten waar CO₂ en andere broeikasgassen de straling absorberen.



De verandering in de mondiaal gemiddelde temperatuur sinds 1880 op basis van waarnemingen (dunne, zwarte lijn) en modellen (dikke, blauwe lijn is het modelgemiddelde; lichtblauwe gebied is de modelspreiding). Grafiek door Jos Hagelaars op basis van [Lewandowsky et al.](#)



Natuurlijk zijn er naast broeikasgassen ook andere factoren die het klimaat beïnvloeden. Zo zorgen vulkaanuitbarstingen voor een tijdelijke afkoeling doordat de uitgestoten zwaveldeeltjes zonlicht weerkaatsen. Ook bij veel menselijke activiteiten komen dergelijke [aerosolen](#) vrij, waardoor het opwarmende effect van broeikasgassen enigszins wordt getemperd. De [zonneactiviteit](#) varieert over een elfjarige cyclus, maar is sinds de jaren '50 van de vorige eeuw juist iets gedaald. Andere natuurlijke processen opereren veel te langzaam om de naar geologische maatstaven pijlsnelle opwarming te kunnen verklaren.

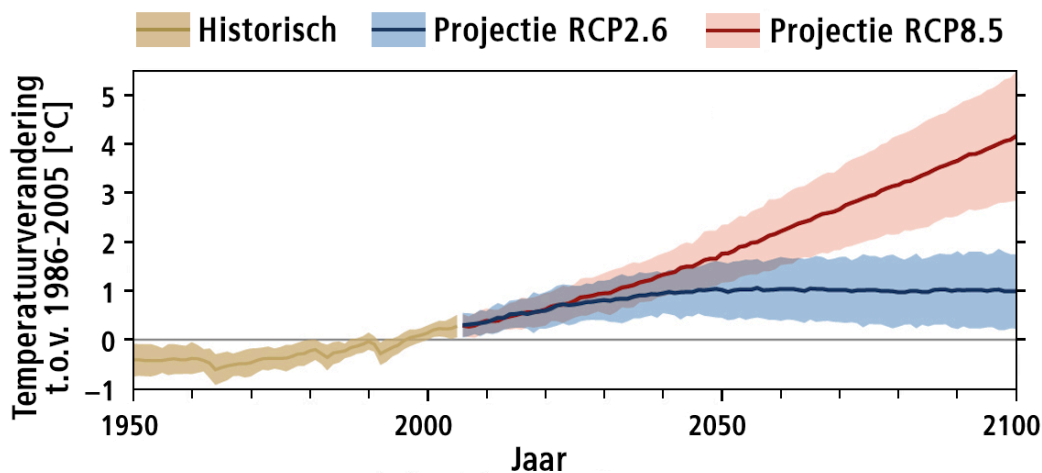


De invloed van de zon, vulkanen, broeikasgassen, en aerosolen op de temperatuurverandering van 1850 tot 2017, op basis van een statistische methode die de beste match bepaalt tussen die verschillende factoren en de observaties (zwarte cirkels). Grafiek door Jos Hagelaars op basis van Zeke Hausfather op [CarbonBrief](#).



5 Toekomstprojecties

De [opwarming die we in de toekomst kunnen verwachten](#) hangt sterk af van de hoeveelheid broeikasgassen die wij met z'n allen nog gaan uitstoten. Daarom kunnen er alleen conditionele voorspellingen (als ..., dan ...) worden gedaan, gebaseerd op mogelijke emissiescenario's. Als de emissies heel snel worden teruggeschroefd (zoals in het RCP2.6 scenario, blauw in de grafiek) kan de opwarming beperkt blijven tot onder twee graden ten opzichte van het pre-industriële niveau. Zonder enige vorm van klimaatbeleid (zoals in het RCP8.5 scenario, rood in de grafiek) zal de aarde aan het eind van deze eeuw zo'n drieënhalve tot zes graden zijn opgewarmd. Er is dus nog een behoorlijke onzekerheidsmarge voor de mate van opwarming. Dat komt omdat we niet precies weten [hoe gevoelig het klimaat is](#) voor veranderingen in bijvoorbeeld de CO₂-concentratie. Niettemin is het duidelijk dat een heel forse emissiereductie nodig is om de opwarming tot maximaal twee graden te beperken.



Toekomstprojecties van de opwarming na 2005 op basis van twee verschillende emissiescenario's: RCP2.6 met ambitieus klimaatbeleid en RCP8.5 zonder klimaatbeleid. De grafiek begint in 1950, toen de aarde al een paar tienden van een graad warmer was dan eind 19^{de} eeuw. Grafiek door Jos Hagelaars op basis van figuur 1a uit [IPCC SROCC 2019](#).



6 Gevolgen van klimaatverandering

Elk aspect van het leven wordt direct of indirect [door klimaatverandering beïnvloed](#). Door de hogere temperaturen neemt de verdamping toe, wat tot droogte kan leiden en daardoor bijvoorbeeld tot een grotere kans op bosbranden. Extreme neerslag neemt echter eveneens toe, met wateroverlast tot gevolg. Door het uitzetten van het warmere water en het smelten van ijs stijgt de zeespiegel. De natuur kan in veel gevallen de snelle veranderingen van het klimaat niet bijbenen. De meeste [koraalriffen](#), ook wel bekend als de kraamkamer van de oceanen, zullen het einde van deze eeuw waarschijnlijk niet halen. De voedselproductie kan door klimaatverandering onder druk komen te staan, al is dat sterk afhankelijk van de regio. Door bijvoorbeeld ondervoeding, wateroverlast en een groter verspreidingsgebied van bepaalde infectieziekten beïnvloedt klimaatverandering ook de volksgezondheid. In sommige gebieden kan de hitte zelf levensbedreigend worden.

Veel bestaande problemen worden door klimaatverandering verergerd, bijvoorbeeld honger, armoede, gezondheid, natuurrampen, maatschappelijke ontwrichting, en dergelijke. De gevolgen hangen natuurlijk sterk af van de mate van opwarming. En die hebben we - gelukkig - grotendeels zelf in de hand.



Illustratie via [NASA Global Climate Change](#) en shutterstock



7 Er zijn dingen die we kunnen doen

We zullen ons hoe dan ook moeten aanpassen aan een veranderend klimaat. Om de opwarming te beperken zullen we daarnaast de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen fors moeten reduceren. Aangezien we nu nog voornamelijk van fossiele brandstoffen afhankelijk zijn is een [energietransitie](#) daarvoor van wezenlijk belang. Een belangrijke rol is daarbij weggelegd voor energie-efficiëntie, maar desondanks is de verwachting dat de mondiale vraag naar energie voorsnog fors zal toenemen. Als onderdeel van de transitie zullen we een groter deel van de energievraag gaan afdekken met elektriciteit, en voor specifieke toepassingen wellicht met waterstof of biomassa. Windenergie en zonne-energie zijn bekende duurzame [energiebronnen](#) met een zeer lage CO₂-uitstoot per kWh aan opgewekte elektriciteit. De snelle kostendaling hiervan heeft zelfs experts verrast. De uitdaging is van een dusdanige omvang dat we ook minder populaire opties, zoals [biomassa](#), CO₂-opslag en [kernenergie](#), zullen moeten overwegen, natuurlijk met open oog voor de voor- en nadelen die aan elke energiebron kleven. Hoe meer opties we [uitsluiten](#) van het palet aan oplossingen, hoe moeilijker het wordt om de CO₂-uitstoot daadwerkelijk naar nul te brengen. Naast de energietransitie zullen we ook kritisch moeten kijken naar het landgebruik, en bijvoorbeeld ontbossing zoveel mogelijk tegengaan. Technisch en economisch is er veel mogelijk, maar de politieke en maatschappelijke werkelijkheid blijkt weerbarstig: wereldwijd is de uitstoot nog nauwelijks gereduceerd (afgezien van de tijdelijke daling door de coronacrisis). Het tempo waarin we de omslag naar een CO₂-neutrale economie maken beïnvloedt de mate van opwarming waarmee de mensheid voor [vele duizenden jaren](#) te maken zal hebben.



Illustratie CC Andreas Klinke Johannsen



Nawoord

Laten we, juist in tijden van crisis, het hoofd helder houden en vertrouwen op de wetenschap als methode bij uitstek om de werkelijkheid om ons heen te begrijpen. Vervolgens kunnen we, mede op basis van die wetenschappelijke informatie, bepalen hoe we met de crisis om willen gaan. In de politieke besluitvorming daarover kunnen we het natuurlijk hartgrondig met elkaar oneens zijn. Maar een gedeelde visie op de werkelijkheid, zoals de wetenschap die met enig voorbehoud en voortschrijdend inzicht verschaft, is daarbij onontbeerlijk. Complottheorieën en wetenschapsontkenning kunnen we missen als kiespijn.

Oorspronkelijk geschreven [in het kader van de coronacrisis](#), maar evenzeer van toepassing op klimaatverandering.

“What’s the use of having developed a science well enough to make predictions if, in the end, all we’re willing to do is stand around and wait for them to come true?”

Nobelprijswinnaar F. Sherwood Rowland over het onderzoek naar het gat in de ozonlaag, maar evenzeer van toepassing op klimaatverandering.



Aanbevolen literatuur

Overview rapporten van overkoepelende organisaties zoals het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of Nationale Wetenschapsacademies geven een heel doorwrocht overzicht van de stand van de wetenschap.

- [IPCC](#) rapporten zijn wat dat betreft de gouden standaard, maar niet altijd het meest toegankelijk. Van het meest recente 'fifth assessment report' is een [Nederlandse samenvatting](#) uitgebracht door het PBL en KNMI (2015). Recenter zijn enkele 'special reports' verschenen van het IPCC over [de anderhalve graden grens, ijs en oceanen](#), en [landgebruik](#).
- [De achtergrond van het klimaatprobleem](#), PBL, 2013. Goed leesbaar rapport, niet al te lang, relevante informatie om het maatschappelijk debat te duiden.
- [Climate Change: Evidence and Causes](#), the Royal Society and the US National Academy of Sciences, 2020. Recent en goed leesbaar rapport in de vorm van veelgehoorde vragen en antwoorden en een kort overzicht van de klimaatwetenschappelijke inzichten.
- [What we know. The reality, risks, and response to climate change](#), American Association for the Advancement of Science, 2014. Eveneens een kort en krachtig document, geschreven vanuit een risicoperspectief.
- [Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I](#), U.S. Global Change Research Program, 2017. Grootschalig assessment report met een focus op de Verenigde Staten.
- [The Global Climate in 2015–2019](#), World Meteorological Organization, 2019. Grootschalig assessment report met een focus op de veranderingen gedurende de periode 2015-2019.
- [World Energy Outlook](#), International Energy Agency, 2019. Jaarlijks assessment van trends en prognoses wat betreft het energiesysteem.

Websites van overheidsinstanties geven doorgaans een goed en neutraal overzicht van de beschikbare kennis. Relevante Nederlandse instituutwebsites zijn bijvoorbeeld:

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, [KNMI](#): uitleg over veranderingen in het klimaatsysteem. Wekelijks [klimaatbericht](#).
- Planbureau voor de Leefomgeving, [PBL](#): uitleg over beleidsmaatregelen op het gebied van klimaat, leefomgeving en energie.
- Compendium voor de Leefomgeving, [CLO](#): feiten en cijfers over klimaatverandering en het energiesysteem.



Op internet is ontzettend veel informatie te vinden over klimaatverandering, maar met veel variatie in de betrouwbaarheid. Enkele websites die zich baseren op de wetenschappelijke inzichten zijn de volgende:

- [Klimaatverandering](#): context, reflectie & discussie. Dit is het blog dat ik samen met drie anderen onderhoud. Een lijst met blogposts, gerangschikt naar onderwerp, is [hier](#) te vinden.
- [Skeptical Science](#): getting skeptical about global warming skepticism. Met name de [lijst met veelgehoorde misvattingen](#) – en de wetenschappelijke context ervan – is heel handig.
- [Real Climate](#): climate science from climate scientists. Diepgravende artikelen over klimaatwetenschap.
- [Carbon Brief](#): clear on climate. Goed leesbare artikelen over alle aspecten van klimaatverandering.
- [Climate Feedback](#): a scientific reference to reliable information on climate change. Kritische beschouwing van Engelstalige media artikelen.
- [Milieucentraal](#): praktisch over duurzaam. Een schat aan informatie over de milieueffecten van zo ongeveer alles.
- [Klimaathelpdesk](#): Antwoorden van wetenschappers op al je vragen over klimaatverandering.

Nederlandstalige boeken:

- Bart Verheggen, [Wat iedereen zou moeten over klimaatverandering](#), 2020.
- Jan Paul van Soest, [De Twijfelbrigade. Waarom de klimaatwetenschap wordt afgewezen en de wereldthermostaat 4 graden hoger gaat](#), 2014.
- Pieter Boussemaere, [Tien klimaatacties die werken](#), 2018.
- Jelmer Mommers, [Hoe gaan we dit uitleggen](#), 2019.
- Anabella Meijer, [Eerste Hulp bij Klimaatverandering](#), 2018.
- Jaap Tielbeke, [Een beter milieu begint niet bij jezelf](#), 2020.
- Marc ter Horst, [Palmen op de Noordpool](#), 2018. Kinderboek over klimaatverandering.

Engelstalige tekstboeken:

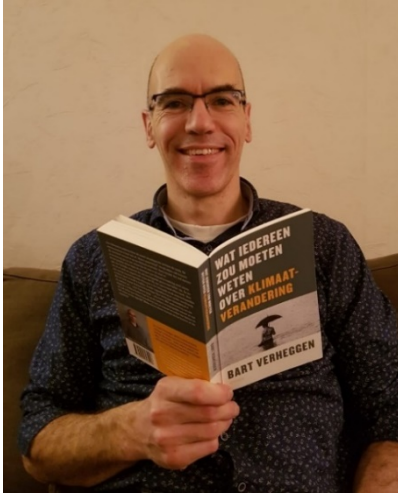
- Andrew Dessler, [Introduction to Modern Climate Change](#), 2nd edition, 2015.
- David Archer, [Global Warming: Understanding the Forecast](#), 2nd edition, 2011.
- Michael E. Mann and Lee R. Kump, [Dire Predictions: Understanding Climate Change](#), 2nd edition, 2016.
- William F. Ruddiman, [Earth's Climate, Past and Future](#), 3rd edition, 2014.
- Raymond T. Pierrehumbert, [Principles of Planetary Climate](#), 2010.



- Andreas Schmittner, [Introduction to Climate Science](#), 2018, available online.
- Hugues Goosse et al., [Introduction to climate dynamics and climate modeling](#), 2008-2010, available online.
- Spencer Weart, [The Discovery of Global Warming](#), regularly updated, available online.



Over de auteur



Dr. ir. Bart Verheggen is een breed georiënteerde klimaatwetenschapper, werkzaam als docent aardsysteemkunde en klimaatverandering aan Amsterdam University College (AUC). Na tien jaar atmosferisch onderzoek in Canada en Zwitserland keerde hij in 2008 terug naar Nederland om bij het ECN (tegenwoordig onderdeel van TNO) te gaan werken aan diverse projecten op het gebied van klimaatverandering, luchtkwaliteit en wetenschapscommunicatie. Kort daarna is hij ook begonnen met bloggen over klimaatverandering om een wetenschappelijk gefundeerd geluid toe te voegen aan de kakofonie op internet. In de loop der jaren en met steun van Jos Hagelaars, Hans Custers en Bob Brand is het [blog](#) en bijbehorende [twitteraccount](#) uitgegroeid tot een invloedrijke stem in het gepolariseerde klimaatdebat. Naar aanleiding van de vele kritische artikelen wordt Verheggen wel de Nederlandse klimaatfactchecker genoemd. In 2020 verscheen van zijn hand het populairwetenschappelijke boek [Wat iedereen zou moeten weten over klimaatverandering](#) en het hoorcollege [Kennis van klimaat](#).

Bart Verheggen met een meetinstrument voor atmosferische aerosolen op het Global Atmosphere Watch meetstation Jungfraujoch in de Zwitserse Alpen. De blogheader is eveneens van de Jungfraujoch, met uitzicht op de Aletschgletsjer.

