

Waarom CO₂ een zorg zou moeten zijn (ook voor sceptici)

Levien van Zon (levien@duurzaamheidsweb.nl)

2014-09-21

Bron: <http://duurzaamheidsweb.nl/co2.html>

Door Levien van Zon

This article is also available in [English](#). Dit artikel is ook beschikbaar als [PDF](#) en als e-book ([EPUB](#) of [Kindle](#)). De voetnoten in dit artikel bevatten extra achtergrondinformatie en bronnen, en zijn straffeloos over te slaan of apart te lezen.

Eigenlijk was ik van plan om mijn eerste artikel te schrijven over een ander onderwerp, de ecologische voetafdruk. Maar World Climate Action Day op 21 september was een reden om toch iets te schrijven over CO₂. Ik moet bekennen, eigenlijk vind ik dat klimaatverandering de laatste jaren iets te veel aandacht heeft gekregen. Het lijkt soms alsof duurzaamheid gelijk staat aan het terugdringen van CO₂, en dat is uiteraard niet het geval. Te veel focus op broeikasgassen gaat ten koste van andere belangrijke onderwerpen, zoals landgebruik, biodiversiteit en ethische kwesties. Bovendien zijn de meeste mensen inmiddels “klimaatmoe”. De argumenten van sceptici en “klimaatontkenners” hebben vrij effectief gezorgd voor twijfel bij het brede publiek. Tot een derde van de Nederlanders vindt niet dat klimaatverandering een ernstig probleem is, en dit aandeel lijkt nauwelijks te veranderen¹. Toch is CO₂ een belangrijk onderwerp om over te praten, zelfs als je twijfelt aan klimaatverandering. Er zijn, zelfs voor klimaatsceptici, wel degelijk goede redenen om haast te maken met het terugdringen van de uitstoot van CO₂.

Zes graden en vier kilo

Hoe zat het ook alweer met koolstofdioxide? In lucht zit relatief maar een héél klein beetje CO₂, minder dan een duizendste deel. Van nature² is dit zo’n 0.03% (volumepercent), of ±300 ppm (*parts per million*). De rest van de lucht bestaat vooral uit stikstofgas (78%), zuurstofgas (21%) en het edelgas argon (0.9%). In onze atmosfeer zit dus eigenlijk bijzonder weinig koolstofdioxide, maar dit kleine beetje is wél erg belangrijk. Voor planten en algen is dit snufje CO₂ namelijk de bron van (vrijwel) alle koolstof, de voornaamste bouwsteen van organische moleculen. En samen met waterdamp en enkele andere gassen is CO₂ verantwoordelijk voor wat we het *broeikas*effect³ noemen. En dit is een goede zaak. Zonder

dit effect zou het vrij frisjes zijn op aarde, gemiddeld zo'n -18°C . Dat is het gelukkig niet, de gemiddelde temperatuur is een comfortabele 14°C . Het natuurlijke broeikas effect draagt dus 33°C bij aan ons klimaat, en dat is belangrijk om de planeet leefbaar te houden. Er is echter een probleem: de grootte van het broeikas effect is afhankelijk van hoeveel "broeikasgassen" er in de atmosfeer zitten, en deze hoeveelheden zijn niet echt constant. Vóór de Industriële Revolutie zat er zo'n 280 ppm CO_2 in de lucht, en sindsdien neemt de hoeveelheid CO_2 snel toe. Inmiddels is het meer dan 400 ppm, en er komt jaarlijks 2 ppm bij. CO_2 draagt grofweg 6°C bij aan het (natuurlijke) broeikas effect, maar deze invloed wordt dus steeds groter...

Nu is het uiteraard niet zo dat de atmosfeer simpelweg een reservoir is dat zich langzaam vult met gassen. Levende wezens en andere natuurlijke processen wisselen constant stoffen uit met de atmosfeer. Planten en algen hebben koolstof nodig om te groeien, en zoals gezegd halen ze die koolstof uit de lucht als CO_2 . Het afbreken van CO_2 kost echter energie, en planten halen die energie uit zonlicht. Dieren doen het omgekeerde: ze eten planten, en ze gebruiken een klein deel van de koolstof die hierin zit als bouw materiaal. Wat gebeurt er met de rest van de koolstof uit planten? Die wordt gebruikt als energiebron, om in leven te blijven. De koolstof reageert met zuurstof tot CO_2 , en hierbij komt energie vrij. Deze reactie van koolstofverbindingen met zuurstof wordt ook wel *oxidatie* genoemd, of *verbranding*. Een mens verbrandt dagelijks aardig wat eten, en produceert gemiddeld rond een kilo CO_2 per dag. De koolstof die je dagelijks uitademt heeft dus ongeveer het gewicht van een pak suiker!

Anders gezegd, alle mensen op aarde ademen dagelijks zo'n 7 miljard kilo CO_2 uit. Dat lijkt een hoop, maar het is slechts grofweg 1% van de circa 575 miljard kg CO_2 die alle levende wezens dagelijks in de atmosfeer brengen. En dat doen ze al miljoenen jaren. Toch loopt de concentratie CO_2 hierdoor niet uit de hand, omdat planten, algen en oceanen dagelijks ook weer zo'n 589 miljard kg CO_2 uit de atmosfeer halen. Uitstoot en opname van CO_2 zijn van nature dus bijna in balans⁴. Echter, recentelijk is er een aanzienlijke bron van CO_2 bijgekomen. In de grond zitten allerlei fossiele resten van planten en dieren, die gedurende miljoenen jaren begraven zijn geraakt. Op sommige plekken heeft dit een reservoir van geconcentreerde koolstofverbindingen gevormd. We kennen dit vooral als olie, aardgas, steenkool en bruinkool. Vanaf ongeveer de 18^e eeuw zijn mensen begonnen om deze resten uit de grond te halen. De reden: het verbranden van deze koolstofverbindingen levert energie op. Deze energie gebruiken we om onze moderne samenleving aan te drijven: ruim 80% van de energie die we als mensheid gebruiken, betrekken we uit het verbranden van dergelijke *fossiele brandstoffen*. In Nederland is dat zelfs 92%.⁵

Uiteraard levert het verbranden van de opgegraven koolstof niet enkel energie op, maar ook CO_2 : Deze relatief recente bron brengt dagelijks ongeveer 23 miljard kg extra CO_2 in de atmosfeer. Dit is gemiddeld zo'n 3.3 kg per wereldburger per dag. En hier staat geen extra opname tegenover. Sterker nog, de opnamecapaciteit voor CO_2 is de laatste eeuwen *afgenomen*, onder meer doordat er op grote schaal bossen gekapt zijn. Het gevolg is dat de concentratie CO_2 in de atmosfeer is toegenomen, met bijna 50% in de afgelopen twee eeuwen. En deze toename versnelt.

Tot zo ver weinig controverse, de recente toename van atmosferische CO₂ is meetbaar en de oorzaken zijn vrij goed bekend. Wat echter nog niet zo duidelijk is, is wat deze extra CO₂ voor effect heeft. Eén van de gevolgen is een versterkt broeikas-effect. De extra CO₂ zorgt immers voor het vasthouden van extra warmte. De vraag is alleen *hoe groot* dit effect precies is, en hoe groot het zal zijn de komende eeuw. De gemiddelde temperatuur gaat meetbaar omhoog, daarover bestaat geen twijfel.⁶ Dit is voor een deel te wijten aan een versterkt broeikas-effect, ook dat is vrij zeker. Maar het klimaat is een complex systeem met veel feedbacks, dus wat gaat er op de langere termijn gebeuren? Er zijn een hoop voorspellingen en scenario's gemaakt, maar feit is dat *eigenlijk niemand precies weet wat er gaat gebeuren*.⁷ We zijn in feite twee eeuwen geleden begonnen aan het grootste experiment uit de menselijke geschiedenis. Maar dit experiment is vrijwel onbeheersbaar, de afloop is onbekend, en er is geen *panic-button* voor als het misgaat.⁸ En dat is zorgelijk.

Zuur wordt het nieuwe basisch

Maar het zou goed kunnen gaan. Misschien heeft de extra CO₂ nauwelijks effect en valt het allemaal mee. Persoonlijk denk ik dat dit een *vrij groot* risico is om te nemen. Maar zelfs als je helemaal niet zou geloven dat CO₂ op termijn bijdraagt aan klimaatverandering, of als je gelooft dat dit geen probleem zal zijn, dan is er een tweede reden waarom de toename van CO₂ je *toch* zorgen zou moeten baren. Een deel van de extra CO₂ die momenteel in de atmosfeer terecht komt, lost op in oppervlaktewater. Voor het matigen van het broeikas-effect is dat op zich een goede zaak. Maar als kooldioxide oplost in water, dan wordt het een zuur. In het dagelijks leven kennen we dat als *koolzuur*. CO₂ zorgt bijvoorbeeld voor de "prik" in Spa Rood, en koolzuur zorgt voor de enigszins zure smaak. Koolzuurhoudend mineraalwater heeft een pH tussen de 3 en 4. In oppervlaktewater zit gelukkig niet zo veel koolzuur als in Spa Rood. Verreweg het meeste oppervlaktewater is zeewater, en zeewater heeft een gemiddelde pH van iets boven de 8. Mensen die hebben opgelet bij scheikunde weten dat dit niet zuur is, maar licht basisch⁹. Voor zo ver we weten is de gemiddelde pH van zeewater de afgelopen 24 miljoen jaar vrij constant gebleven, tussen de 8.1 en 8.3.¹⁰ De afgelopen decennia is de gemiddelde pH van de oceaan echter hard gedaald, van ongeveer 8.2 naar iets onder de 8.1. De oceanen worden dus snel minder basisch. Anders gezegd, ze worden iets zuurder. En het lijkt een minuscuul effect, maar we hebben het over een gebufferd systeem met *heel veel* water. Een structurele daling in pH is voor een dergelijk systeem niet zomaar een kleine natuurlijke variatie. Voor het water is het geen probleem, maar voor het leven in de oceaan wél. Vooral veel kleinere waterdieren, van plankton tot koraal en schelpdieren, hebben een uitwendig skelet dat bestaat uit kalk. De pH heeft een grote invloed op hoe makkelijk of moeilijk het is om kalk uit het water te halen. Hoe zuurder (of minder basisch) het water, hoe makkelijker kalk oplost, en hoe moeilijker is het om een kalkskelet te maken en te onderhouden.¹¹ De huidige, snelle verzuring van de oceanen kan leiden (en leidt waarschijnlijk al) tot grootschalige sterfte van koralen, plankton en schelpdieren. En aangezien deze organismen aan de basis staan van de voedselketens in de oceaan, komt hiermee de stabiliteit van het hele oceaan-ecosysteem in gevaar.

Net als met het klimaat, weet niemand precies wat er gaat gebeuren met de oceanen. Zelfs wetenschappers kunnen niet in de toekomst kijken. Het zou best kunnen dat het allemaal meevalt. Over een jaar of vijftig weten we het waarschijnlijk. Het zou ook kunnen zijn dat het niet meevalt, en dat we ons tegen die tijd afvragen waarom we niet eerder hebben gehandeld. Hoe dan ook, als we niets doen nemen we een vrij groot risico, zowel met de stabiliteit van ons klimaat als de stabiliteit van het oceaan-ecosysteem.

Oorlog, crises en grondstoffen

Naast risicomanagement zijn er meer redenen om iets te doen aan de menselijke uitstoot van CO₂. De achterliggende oorzaak van deze uitstoot, het verbranden van fossiele koolstof voor energie, is al een probleem op zich. De grootste voorraden van fossiele brandstoffen zijn in handen van een relatief klein aantal, niet bijzonder betrouwbare regimes. De controle over en winning van deze voorraden hebben de afgelopen eeuw direct of indirect geleid tot een groot aantal militaire conflicten, en veel menselijk lijden. Als gevolg hiervan hebben landen als Rusland, de VS en diverse oliestaten in het Midden Oosten wereldwijd meer invloed dan wellicht wenselijk is, en vloeit er veel geld naar corrupte regimes in Afrika en Latijns Amerika.¹²

Afgezien van geopolitieke overwegingen is het ook qua economische stabiliteit en armoedebestrijding niet verstandig om de wereld-energievoorziening afhankelijk te maken van een klein aantal centrale energiebronnen. Als het aanbod (tijdelijk) in gevaar komt schiet de prijs al snel omhoog, en daarmee de prijs van vrijwel alle producten en diensten. Dit gebeurde bijvoorbeeld bij de [oliecrises van 1973 en 1979](#), en in mindere mate bij de [voedselcrisis van 2007-2008](#).

En naast praktische argumenten zijn er ook ethische overwegingen. Je kunt beargumenteren dat iedere generatie de wereld achter zou moeten laten zoals ze hem aangetroffen heeft, of liefst beter. Natuurlijk, het stimuleren van technologische vooruitgang en economische groei zou in dit licht wenselijk kunnen zijn. Maar roulette spelen met het klimaatsysteem en de oceanen is dit in ieder geval niet. Het opmaken van de fossiele koolstof-reserves ook niet. Voorlopig zijn de fossiele brandstoffen nog niet op. Maar fossiele koolstof is een waardevolle, niet-hernieuwbare grondstof, en is eigenlijk te waardevol om simpelweg om te zetten in warmte door verbranding.

Heel veel energie

Al met al zijn er voldoende argumenten om de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen terug te dringen. Helaas is dat makkelijker gezegd dan gedaan. Als we alle directe en indirecte uitstoot door consumptie en diensten bij elkaar optellen, dan stoot de gemiddelde Nederlander per dag zo'n 38 tot 46 kg CO₂-equivalent aan broeikasgassen uit. Dit is dus ruim veertig keer meer dan dat we dagelijks zelf uitademen! Van deze uitstoot is ongeveer 88% CO₂ (33-40 kg), de rest is voornamelijk methaan en N₂O.¹³ En het lastige is, bij

vrijwel alles dat we doen komt CO₂ vrij, omdat alles wat we doen energie kost. Overstappen op alternatieve energiebronnen is eigenlijk de enige manier om deze uitstoot significant terug te dringen. Maar dat is nog niet zo eenvoudig, omdat we momenteel *heel veel* energie gebruiken. Een Nederlander gebruikt, direct en indirect, gemiddeld ergens tussen de 100 en 250 kWh *per dag*.¹⁴ Ter vergelijking, een gemiddeld huishouden in Nederland gebruikt ongeveer 64 kWh *per week* aan elektriciteit. Maar ieder van ons gebruikt *dagelijks* al twee tot drie keer zo veel energie. Ons elektriciteitsverbruik is dus maar een heel klein deel van ons *energieverbruik*. Het grootste deel van ons verbruik gaat zitten in het verwarmen van onze huizen, het aandrijven van onze voertuigen en het produceren van de dingen die we kopen. En die energie wordt vrijwel geheel betrokken uit fossiele brandstoffen.

Ons energieverbruik kan overigens een stuk omlaag door efficiënter om te gaan met de energie die we produceren. Ik zal hier in een later artikel uitgebreider aandacht aan besteden. Maar de voornaamste verspilling vindt plaats in vervoer en verwarming. Verbrandingsmotoren gebruiken slechts ongeveer een kwart van de energie uit de brandstof voor voortbeweging. De rest gaat simpelweg als "afvalproduct" de lucht in, in de vorm van warmte. Een elektromotor is veel efficiënter. Zelfs als je alle elektriciteit op zou wekken met een kolencentrale dan is de indirecte uitstoot van een elektrische auto nog steeds minder dan die van een reguliere auto.¹⁵ Nu overstappen op elektrisch transport is dus een goed idee, hoewel energieopslag nog steeds een probleem is. De huidige generatie accu's mag dan veel geavanceerder zijn dan tien jaar geleden, het zijn nog steeds ondingen: Accu's kosten veel energie, grondstoffen en geld om te produceren, ze zijn zwaar, opladen gaat traag, de capaciteit is beperkt en ze gaan slechts enkele jaren mee. Meer investering in de ontwikkeling van alternatieve energie-opslag is dus dringend gewenst.

Huizen en kantoren zijn waarschijnlijk de grootste onnodige energieverspillers. De meeste van onze gebouwen warmen we op in de winter door gas te verbranden. De omzetting van aardgas in warmte is uitermate efficiënt. Alleen de meeste van deze warmte verdwijnt helaas vrij snel weer naar buiten. Het wordt uitgestraald door muren en ramen, en het wordt meegenomen door bewegende lucht, die vervolgens verdwijnt door kieren, gaten en ventilatiesystemen. Door simpelweg de warmte beter binnen te houden kan al heel veel energie bespaard worden! Denk aan dubbel glas, isolatie van muren en daken, dichten van kieren, gebruik van warmtewisselaars en beter ontwerp van nieuwe huizen en kantoren. Het energieverbruik kan zo aanzienlijk worden teruggedrongen, zelfs zonder geavanceerde technologieën. Bovendien is het niet nodig om al onze warmte te halen uit het verbranden van gas. Vrijwel alles wat we doen produceert warmte als bijproduct, en warmte is vrij makkelijk op te slaan en te transporteren (over korte afstand). Door betere toepassing van warmtepompen en warmtebuffers kunnen we onze gebouwen verwarmen met veel minder gas. Momenteel is er veel aandacht voor het plaatsen van zonnepanelen, maar als je fossiele brandstoffen wilt besparen kun je eigenlijk [beter beginnen met het plaatsen van een zonneboiler](#) en het aanpassen van je verwarming!

Alternatieven gevraagd

Door energiebesparing en het verhogen van efficiëntie kunnen we de uitstoot van CO₂ enigszins terugdringen. Maar pas als we het achterliggende energieprobleem op weten te lossen, dan kunnen we de uitstoot van CO₂ drastisch omlaag brengen. Hiervoor is echter nog wel een technologische ontwikkeling nodig. Hoewel veel mensen inmiddels heilig geloven in hernieuwbare energie, zullen [zonnepanelen en windmolens helaas niet het probleem oplossen](#). De windmolens en zonnepanelen die nu op de markt zijn produceren relatief weinig energie, kosten veel energie en grondstoffen om te bouwen, kosten veel ruimte om te plaatsen, en zijn relatief duur. Bovendien is onze energie-infrastructuur er niet op berekend: We hebben momenteel geen efficiënte manier om energie-overschotten op te slaan en tekorten op te vangen. Er zijn betere zonnecellen in ontwikkeling, onder meer bij instituten als [AMOLF](#) in Amsterdam. Maar het duurt waarschijnlijk nog tien tot twintig jaar voordat deze op de markt kunnen komen. Het is niet verstandig om daar op te wachten uiteraard, we moeten vooral doorgaan met het plaatsen van zonnepanelen en windmolens. Maar ze kunnen momenteel geen grote bijdrage leveren. Het is daarom uitermate belangrijk dat we investeren in het aanpassen van onze infrastructuur, en dat we op zoek gaan naar manieren om overtollige energie op te slaan. Vooral dit laatste is één van de grootste technologische uitdagingen voor deze generatie.

Naast hernieuwbare energiebronnen zijn er andere technologieën in ontwikkeling die aanzienlijk bij kunnen dragen aan vermindering van de CO₂-uitstoot. Een [gesmoltenzoutreactor](#) kan kernenergie produceren zonder veel van de nadelen en gevaren die kleven aan conventionele kernreactoren. Ook deze technologie is echter voorlopig nog niet klaar voor grootschalige toepassing. Hetzelfde geldt voor kernfusie, in nog grotere mate. Tot er goede, grootschalige alternatieven zijn zou [CO₂-opslag](#) ons in staat kunnen stellen om nog even door te gaan met energie uit gas en kolen, zonder de bijbehorende uitstoot van broeikasgassen. Echter, het afvangen en opslaan van CO₂ is niet gratis. Het kost ongeveer 20% van de energie die geproduceerd wordt, en momenteel is het financieel niet erg rendabel.

Welke manier we in de toekomst ook gebruiken om energie te produceren, het is belangrijk dat we nu al actie ondernemen, en het is verstandig om niet op één paard te wedden. Als we op redelijke termijn onze uitstoot van CO₂ terug willen dringen, dan is het belangrijk om nu te investeren in onderzoek naar en ontwikkeling van nieuwe energietechnologie, in plaats van af te wachten en bestaande belangen te beschermen. Van enige durf en visie op dit gebied is in de Nederlandse politiek helaas weinig te merken. Het is te hopen dat hier op korte termijn verandering in komt.

En wat kunnen gewone mensen doen?

Grote omwentelingen in de maatschappij komen zelden tot nooit uit de politiek. Grote omwentelingen gebeuren omdat voldoende mensen het willen, omdat het kan, of omdat men geen keus heeft. Als burger en als kiezer heb je invloed, op de politiek en op andere

mensen om je heen. En als consument, als werknemer, als onderzoeker, als ondernemer, als ambtenaar of als docent hoef je natuurlijk niet te wachten totdat de politiek, de wetenschap en het bedrijfsleven grootschalige veranderingen in gang zetten. In je werk en in je privéleven kun je keuzes maken, en op die manier invloed uitoefenen op de maatschappij. Waarschijnlijk slechts een klein deel van de maatschappij, maar een deel niettemin. En in een volgend artikel zal ik in meer detail kijken naar de uitstoot van broeikasgassen door consumptie. Maar met het volgende figuur neem ik hierop alvast een voorschot (klik om te vergroten):



Het overgrote deel van onze CO₂-voetafdruk wordt gevormd door de aanschaf van consumptiegoederen, door vlieg- en wegverkeer en door energiegebruik thuis. Deze voetafdruk is aanzienlijk te verkleinen met een aantal relatief eenvoudige maatregelen:

- Koop geen dingen die je niet nodig hebt. Dit klinkt misschien voor de hand liggend, maar ga maar eens na bij jezelf hoeveel dingen je koopt die je niet of nauwelijks nodig hebt. Met z'n allen kopen we enorme hoeveelheden eten dat wordt weggegooid,

kleren die we nauwelijks dragen, prullen die in de kast verdwijnen, goedkope apparaten die al snel weer worden afgedankt, en allerlei zaken die ons **uiteindelijk niet echt gelukkig maken**. Al deze spullen kosten wel veel energie om te produceren.

- Als je toch iets nodig hebt, kijk eerst eens of je het kunt lenen, huren, leasen of tweedehands kunt kopen.
- Gooi de dingen die je niet meer nodig hebt niet zomaar weg. Afval wordt in Nederland over het algemeen verbrand, en eindigt dus als CO₂. Terwijl veel dingen die worden weggegooid nog prima op één of andere manier opnieuw te gebruiken zijn. Probeer afgedankte spullen te verkopen of weg te geven, breng ze naar een tweedehands-winkel. Breng afgedankte elektronica naar een afvalpunt of lever het in bij een elektronicazaak. Het kost iets meer moeite en tijd, maar het bespaart indirect een hoop energie.
- Zorg dat de muren en de zolder (of het dak) van je huis goed geïsoleerd zijn. Plaats tochtstrips. Overweeg om je warmwater-installatie aan te passen en uit te rusten met een warmtepomp, een zonneboiler en een warmtebuffer. Overweeg om daarnaast zonnepanelen te plaatsen. Bij huurhuizen, informeer bij je huisbaas naar mogelijkheden voor isolatie en aanpassing.
- Pak vaker de fiets voor korte afstanden. Overweeg een elektrische fiets voor langere afstanden. Voor langere afstanden, neem liever de trein dan de auto of het vliegtuig. Als je tijdig boekt dan kan het zelfs goedkoper zijn om de trein te nemen naar landen als Duitsland, Frankrijk of Engeland. En de tijdswinst van vliegen is op dergelijke afstanden vaak niet erg groot. Ga liever langer op vakantie dan een aantal korte reizen te boeken, zeker bij intercontinentale vluchten.

Interesse in meer artikelen? Volg ons [op Facebook](#), of via de [Atom-feed](#). Bekijk de [historie van wijzigingen](#) aan dit artikel.

Dankwoord: Een deel van dit artikel is geïnspireerd door een lezing van Dr. Jan van Maarseveen, op het symposium Academici & Klimaatverandering op 16 september 2014 aan de UvA. Dit symposium was georganiseerd door het Academisch Milieu Platform Amsterdam.

Notes

¹Tot een derde van de Nederlanders vindt niet dat klimaatverandering een ernstig probleem is.

Dit hangt er een beetje vanaf welke peiling je neemt. Volgens het [onderzoek van Nielsen in 2011](#) was 19% van de Nederlanders onbezorgd over klimaatverandering, had 33% geen mening en was 48% bezorgd. Volgens een [recente peiling van weeronline.nl](#) gelooft 31% van de respondenten niet dat de mens bijdraagt aan klimaatverandering. Een [onderzoek van de Europese Commissie in 2013](#) gaf aan dat 57% van de ondervraagde Nederlanders klimaatverandering in de top-3 van belangrijke problemen zou zetten. Volgens een [peiling van TNS Nipo in 2007](#) geloofde 90% van de Nederlanders in het bestaan van klimaatverandering, en 80% in een grote menselijke bijdrage. Maar tevens was 27% van de ondervraagden niet echt geïnteresseerd in het onderwerp, was

bijna de helft moe van het onderwerp, en wist meer dan de helft niet meer goed wat ze moesten geloven. Een [peiling van TNS Nipo vier jaar eerder, in 2003](#) gaf aan dat 27% niet geloofde dat de mens invloed had op het klimaat. In een [internetopiniepeiling van 21 minuten.nl in 2009](#) kwam klimaat niet voor in de top-10 van grootste zorgen. Het onderwerp eindigde op de veertiende plaats.

²*In lucht zit relatief maar een héél klein beetje CO₂, minder dan een duizendste deel. Van nature is dit zo'n 0.03% (volumepercent), of ±300 ppm.*

Er is uiteraard niet zoiets als een "natuurlijke" concentratie van CO₂. Over de afgelopen honderden miljoenen jaren is de concentratie van CO₂ in de atmosfeer, voor zo ver we weten, vrij variabel geweest. Gedurende ijstijden was deze rond de 180 ppm, in de tropische perioden van het Mesozoïcum (Trias, Jura en Krijt) was het rond de 2000 ppm, en in het Cambrium was het mogelijk zelfs rond de 7000 ppm. Maar gedurende de laatste interglacialen (de periodes tussen ijstijden) was de concentratie redelijk consequent tussen de 260 en 300 ppm (hoewel sommige studies hogere concentraties schatten, boven de 300 ppm). Metingen uit ijskernen suggereren dat de concentratie de afgelopen millennia bijzonder stabiel is geweest, rond de 280 ppm. Metingen op basis van stomata (huidmondjes van planten) suggereren een iets grotere variatie de afgelopen eeuwen, tussen de 260 en 320 ppm, en concentraties tot 400 ppm gedurende eerdere interglacialen. Aangezien de het belangrijkste deel van de menselijke geschiedenis plaatsvond in het laatste paar millennia, neem ik 300 ppm even als de "natuurlijke" uitgangssituatie, met daaromheen een variatie van zo'n 20-40 ppm.

³*Samen met waterdamp en enkele andere gassen is CO₂ verantwoordelijk voor wat we het broeikas effect noemen.*

Eigenlijk is dat een misleidende naam, want het mechanisme achter het broeikas effect is anders dan bij een broeikas. Maar de uitwerking is hetzelfde: er wordt in beide gevallen warmte vastgehouden.

De aarde krijgt dagelijks een hoop energie van de zon, maar de helft hiervan wordt direct gereflecteerd, en de andere helft wordt vrij snel weer uitgestraald richting ruimte. Waterdamp, CO₂ en enkele andere gassen absorberen echter een deel van deze uitgaande energie, en stralen het deels terug richting aarde. [Deze video van het TED-Ed project](#) legt mooi uit hoe het broeikas effect precies werkt.

⁴*Uitstoot en opname van CO₂ zijn van nature dus bijna in balans.*

Dit is op langere tijdschalen zeker niet altijd het geval, gedurende het Holoceen (circa de laatste 4000 eeuwen) schommelde de concentratie CO₂ in de atmosfeer tussen 180 en 300 ppm (mogelijk tot 400 ppm). Maar gedurende het laatste interglaciaal lijkt de concentratie CO₂ in de atmosfeer vrij stabiel te zijn geweest, en waren uitstoot en opname dus min of meer in balans. Bovendien zijn natuurlijke variaties in de CO₂-concentratie relatief langzaam, zeker vergeleken met de huidige toename in CO₂-concentratie.

⁵*Ruim 80% van de energie die we als mensheid gebruiken, betrekken we uit het verbranden van dergelijke fossiele brandstoffen. In Nederland is dat zelfs 92%.*

Volgens de [2013 Key World Energy Statistics](#) van de International Energy Agency (IEA), heeft de wereld in 2011 ongeveer 13113 Mtoe (*million tonnes oil equivalent*) aan primaire energiebronnen gebruikt. Dat is ongeveer 152504 TWh (*terawatt-uur*) aan energie (1 TWh is een miljard kWh, of 3600 terajoules, en 1 Mtoe is 11.63 TWh). Dit komt neer op 21786 kWh per wereldburger in 2011, gemiddeld 60 kWh per persoon per dag. Van deze energie is 31.5% afkomstig uit olie, 28.8% uit kolen en turf, en 21.3% uit aardgas. Opgeteld was in 2011 dus 81.6% van de energie (124443 TWh) afkomstig uit fossiele brandstoffen. De overige energie werd vooral betrokken uit biomassa en afval (10%), kernsplitsing (5.1%), waterkracht (2.3%) en "overige bronnen" (1%). In deze laatste categorie vallen alternatieve energiebronnen zoals zonne-energie, windenergie, geothermische energie, etc. Op dit moment speelt duurzame energie wereldwijd dus nauwelijks een rol van betekenis. De voornaamste hernieuwbare energiebronnen zijn hout en andere soorten biomassa, afval en waterkracht. Een deel van de fossiele brandstoffen wordt omgezet in elektriciteit, waarbij energie verloren gaat. In totaal was daardoor in 2011 ongeveer 8918 Mtoe (103716 TWh, ofwel 68% van de primaire energie) beschikbaar voor eindgebruikers in de vorm van olie (40.8%), elektriciteit (17.7%), gas (15.5%), biomassa en afval (12.5%), kolen en turf (10.1%) en overige bronnen (3.4%). Olie wordt voornamelijk (62.3%) gebruikt voor transport, en de laatste vier categorieën worden vooral gebruikt om warmte te produceren voor industrie en huishoudens. In totaal leidde het verbranden van niet-hernieuwbare energiebronnen in 2011 tot 31342 Mt (megaton) CO₂-uitstoot (ongeveer 92% van de totale CO₂-uitstoot, en 64% van de totale menselijke uitstoot van broeikasgassen). Hiervan is 44% afkomstig van kolen en turf, 35.3% van olie, 20.2% van aardgas en 0.5% van afval en overige bronnen.

Ongeveer 40% van de energie (5239 Mtoe in 2012) wordt gebruikt door de 34 rijke OECD-landen (Organisation for Economic Co-operation and Development), die grofweg 18% van de wereldbevolking vertegenwoordigen (1.26 miljard mensen in 2013). Het gemiddelde energiegebruik per OECD-burger is dus meer dan twee keer het wereldgemiddelde, ongeveer 48356 kWh per persoon in 2012, of 132 kWh per persoon per dag.

Het bruto-energieverbruik in Nederland in 2012 was 951 TWh (volgens Eurostat). Hiervan is ongeveer 92% afkomstig uit fossiele brandstoffen: 41.4% uit aardolieproducten, 40.4% uit aardgas, 10% uit kolen, 4.3% uit hernieuwbare bronnen, 1.2% uit nucleaire energie en 0.9% uit afval.

⁶*De gemiddelde temperatuur gaat meetbaar omhoog, daarover bestaat geen twijfel.*

Zelfs als je zou twifelen of de temperatuursmetingen representatief zijn, dan is er voldoende indicatie dat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur structureel omhoog gaat. De verspreiding van ijskappen, gletsjers en populaties planten en dieren zijn goede natuurlijke indicatoren van temperatuurstrends op de langere termijn. De omvang van vrijwel alle gletsjers is de afgelopen decennia sterk afgenomen, en hetzelfde geldt voor de ijskappen bij de Noord- en Zuidpool. En de populaties van veel planten en dieren in gematigde klimaten zijn opgeschoven richting de polen. Ook in berggebieden is de boomgrens de laatste decennia hoger geworden.

⁷*Het klimaat is een complex systeem met veel feedbacks, dus wat gaat er op de langere termijn gebeuren? Er zijn een hoop voorspellingen en scenario's gemaakt, maar feit is dat eigenlijk niemand precies weet wat er gaat gebeuren.*

Mijns inziens draagt het ontkennen van deze onzekerheid niet bij aan de klimaatdiscussie. Toegegeven, veel klimaatontkenners buiten het bestaan van onzekerheid uit, om twijfel te zaaien. Als tegenreactie wordt veelal de nadruk gelegd op brede wetenschappelijke consensus. Dit kan echter contraproductief werken, omdat het een schijn van absolute zekerheid geeft. En dit is misleidend, absolute zekerheid bestaat uiteraard niet. Logicus Johan van Benthem zei hierover in een interview met de Volkskrant (dd. 27 september 2014): "Veel wetenschappers kiezen die lijn: we schreeuwen ze ten onder. We gaan heel hard roepen dat ze ongelijk hebben. En als we maar op ieder vonkje stampen, is het afgelopen. Terwijl de geschiedenis leert dat het gewoon niet zo werkt. Vaak presenteren wetenschappers hun kennis als iets vaststaands, iets waarover consensus bestaat. Zo van: we hebben met een aantal heel slimme mensen over alle voors en tegens nagedacht, en nu is er een consensus, daarmee kun je anderen om de oren slaan. Ik heb persoonlijk een ander idee over wetenschap. Ik vind wetenschap een vorm van georganiseerde discussie, en de kracht van wetenschap zit hem in de kwaliteit van die discussie. Het feit dat we meningsverschillen steeds bespreekbaar maken, daar halen we de vooruitgang uit. Het beeld dat de wetenschap volgens mij zou moeten uitstralen, is dat van discussie en debat. Ik geloof dat je er dan sterker uitkomt. Omdat je zo aangeeft: wij kennen het verschijnsel meningsverschillen. En als je die op onze manier en volgens onze normen bespreekbaar maakt, kom je verder." Bovendien, de consensus onder wetenschappers gaat over het bestaan van het versterkte broeikaseffect, niet over de schaal ervan, of over de effecten op termijn.

⁸*We zijn in feite twee eeuwen geleden begonnen aan het grootste experiment uit de menselijke geschiedenis. Maar dit experiment is vrijwel onbeheersbaar, de afloop is onbekend, en er is geen panic-button voor als het misgaat.*

Een cynicus zou wellicht zeggen dat dit geldt voor de ontwikkeling van de mensheid in het algemeen. Dat maakt het niet echt minder zorgelijk.

⁹*Verreweg het meeste oppervlaktewater is zeewater, en zeewater heeft een gemiddelde pH van iets boven de 8. Mensen die hebben opgelet bij scheikunde weten dat dit niet zuur is, maar licht basisch.*

Een pH van 7 is neutraal. Een pH beneden de 7 is zuur, en een pH erboven is basisch. Kleine variaties in pH kunnen grote gevolgen hebben voor de werking van biologische processen, zeker bij ééncelligen en kleine water-organismen.

¹⁰*Voor zo ver we weten is de gemiddelde pH van zeewater de afgelopen 24 miljoen jaar vrij constant gebleven, tussen de 8.1 en 8.3.*

Op het eerste gezicht is dit eigenaardig, aangezien de CO₂-concentratie in de atmosfeer over dezelfde periode vrij variabel was. Je zou wellicht verwachten dat de pH van de oceanen de atmosferische concentratie van CO₂ zou volgen, maar dit lijkt niet het geval te zijn. Op zich zijn oceanen waarschijnlijk goed in staat om de concentratie CO₂ en de pH van het water te bufferen, mits de verandering in concentratie niet te snel is. Momenteel lijkt de toename in CO₂-concentratie echter veel sneller te zijn dan deze buffer-processen.

¹¹Vooral veel kleinere waterdieren, van plankton tot koraal en schelpdieren, hebben een uitwendig skelet dat bestaat uit kalk. De pH heeft een grote invloed op hoe makkelijk of moeilijk het is om kalk uit het water te halen. Hoe zuurder (of minder basisch) het water, hoe makkelijker kalk oplost, en hoe moeilijker is is om een kalkskelet te maken en te onderhouden.

Er is erg weinig bekend over hoe zeeorganismen precies een kalkskelet vormen, laat staan wat het effect van omgevings-pH precies is op dit proces. Onderzoek naar de Mediterrane koraalsoort *Balanophyllia europaea* rondom vulkanische openingen lijkt te suggereren dat de vorming van het kalkskelet bij deze soort niet erg gevoelig is voor het effect van pH (Fantazzini et al. 2015). Sommige koraalsoorten hebben bovendien mechanismes om het effect van een lage omgevings-pH deels tegen te gaan (McCulloch et al. 2012, Holcomb et al. 2014), maar dit effect is niet algemeen. Zie ook de bespreking van dit onderwerp in Gagnon 2013.

¹²De controle over en winning van deze voorraden hebben de afgelopen eeuw direct of indirect geleid tot een groot aantal militaire conflicten, en veel menselijk lijden. Als gevolg hiervan hebben landen als Rusland, de VS en diverse oliestaten in het Midden Oosten wereldwijd meer invloed dan wellicht wenselijk is, en vloeit er veel geld naar corrupte regimes in Afrika en Latijns Amerika.

Ik bedoel hiermee niet te suggereren dat je de VS of zelfs Rusland moet beschouwen als “schurkenstaten”. Rusland gebruikt haar olie- en gasvoorraden om machtspolitiek te bedrijven, en geef de Russen eens ongelijk. En de Verenigde Staten hebben zich sinds de *Carter doctrine* bereid verklaard om koste wat kost haar oliebelangen veilig te stellen, met militair optreden waar nodig. Het is niet aannemelijk dat deze doctrine de politieke stabiliteit in het Midden Oosten veel goed heeft gedaan. Bovendien is het Amerikaanse leger zelf de organisatie die wereldwijd waarschijnlijk het meeste olie verbruikt. In 2001 gebruikte het leger waarschijnlijk al meer dan 85 miljoen vaten per jaar (deze schatting is afkomstig uit het boek *Ongeraffineerd*). En auteur Mike Berners-Lee schatte in 2010 de uitstoot van de militaire operatie in Irak op 250-600 miljoen ton CO₂-equivalent. Dat is ongeveer de uitstoot van alle Nederlanders gedurende twee jaar.

Overigens kan de winning van fossiele brandstoffen uiteraard ook positieve effecten hebben, met name op de korte termijn. Nederland heeft (in ieder geval tot 1994) haar verzorgingsstaat min of meer gebouwd op de inkomsten van de aardgasverkoop. Op de langere termijn is dit echter niet noodzakelijkerwijs gunstig. Het voorbeeld van Nederland staat niet voor niets bekend als *the Dutch disease*. Momenteel krijgt de Nederlandse schatkist meer dan 10 miljard euro per jaar binnen uit de aardgasbaten. Maar nu het Gronings aardgas opraakt zullen deze *aardgasbaten op termijn afnemen*. En het is bepaald niet ondenkbaar dat de afnemende inkomsten voor de schatkist op termijn moeten worden gecompenseerd met verdere bezuinigingen op de verzorgingsstaat.

¹³Van deze uitstoot is ongeveer 88% CO₂ (33-40 kg), de rest is voornamelijk methaan en N₂O.

Methaan (CH₄) heeft als broeikasgas minimaal 25 keer meer effect dan CO₂. Het effect van N₂O (distikstofoxide, beter bekend als lachgas) is zelfs bijna 300 keer groter dan dat van CO₂. In beide gevallen gaat het om het potentiële opwarmingseffect (*global warming potential*) over een periode van een eeuw (GWP₁₀₀). Beide gassen komen nauwelijks voor in de atmosfeer (van beiden is de concentratie minder dan 1 ppm), maar ze hebben wel een significant effect. *Methaan* is een relatief licht gas, dus het komt hoog in de atmosfeer terecht, waar het relatief lang blijft (gemiddeld ongeveer 10 jaar), en uiteindelijk reageert tot water en CO₂. Beiden zijn ook weer broeikasgassen, en deze hebben bovendien een sterker effect op grotere hoogte. *Lachgas* heeft een veel langere levensduur dan andere broeikasgassen, het blijft gemiddeld meer dan een eeuw in de atmosfeer. Bovendien is het niet enkel een broeikasgas, maar het is tevens verantwoordelijk voor afbraak van de ozonlaag.

¹⁴Een Nederlander gebruikt, direct en indirect, gemiddeld ergens tussen de 100 en 250 kWh per dag.

De kilowatt-uur (kWh, of eigenlijk kW·h) wordt vooral gebruikt om elektriciteitsverbruik uit te drukken. Een kilowatt-uur is de hoeveelheid energie die een apparaat van 1000 Watt gebruikt gedurende een uur. In SI-eenheden is dit 3.6 MJ (megajoule). Echter, in navolging van auteur David McKay gebruik ik kWh als eenheid voor energieverbruik in het algemeen, omdat veel mensen al bekend zijn met deze eenheid (bijvoorbeeld van hun elektriciteitsrekening).

¹⁵Zelfs als je alle elektriciteit op zou wekken met een kolencentrale dan is de indirecte uitstoot van een elektrische auto nog steeds minder dan die van een reguliere auto.

David McKay laat dit zien in zijn boek *Sustainable Energy Without the Hot Air*, maar het is ook makkelijk zelf uit te rekenen. In 2011 was het gemiddeld rendement voor elektriciteitsproductie in Nederland 52%, inclusief hernieuwbare bronnen, en 44% exclusief hernieuwbare bronnen (bron: CBS). Een elektromotor zet elektriciteit om

in beweging met een rendement tot ongeveer 90%, laten we voor het gemak zeggen dat dit 85% is. Lithium-ion-accu's verliezen eveneens wat stroom bij laden en ontladen, en hebben een rendement van rond de 90%. Zelfs zonder hernieuwbare energie en [maatregelen als het terugwinnen van rem-energie](#), zou een elektrische auto dus een brandstof-rendement halen van ongeveer $0.44 \times 0.85 \times 0.90 = 34\%$. Dit is niet geweldig, maar nog steeds flink hoger dan [het brandstof-rendement van een verbrandingsmotor, dat rond de 25% ligt](#).

Bij dit voorbeeld is uiteraard geen rekening gehouden met de energie die nodig is voor het produceren van een elektrische auto, die vooral bij hybride modellen meestal hoger ligt dan de energie benodigd voor het produceren van een reguliere auto. Ook is geen rekening gehouden met de relatief korte levensduur van accu's. Omdat ze nog vrij veel energie kosten om te maken en elektriciteit vooral betrokken wordt uit fossiele brandstoffen, verbruikt de huidige generatie elektrische auto's niet noodzakelijkerwijs minder primaire energie dan een auto met verbrandingsmotor. Echter, met inzet van meer hernieuwbare energiebronnen voor het produceren van auto's en het laden van accu's, terugwinning van rem-energie in auto's en recycling van accu's aan het eind van de levensduur, kan de totale broeikas-uitstoot van elektrisch rijden vrijwel zeker veel lager worden dan bij gebruik van een verbrandingsmotor.