

# De Voordelen van Kooldioxide voor Mens en Natuur

---

*Indur Goklany, 2015*

Indur Goklany is onafhankelijk academicus en auteur. Hij was lid van de VS delegatie die het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) opzette en hielp het eerste evaluatierapport te ontwikkelen. Vervolgens was hij VS afgevaardigde bij het IPCC en IPCC recensent. Hij is lid van de academische adviesraad van het GWPF.

Vertaling: Bert Stienstra

## Overzicht

1. Dit artikel behandelt de vraag of, en zo ja hoeveel, toegenomen kooldioxideconcentraties gunstig zijn geweest voor de biosfeer en de mensheid, door stimulering van plantengroei, opwarming van de wereld en toeneming van regenval.
2. Meetgegevens bevestigen dat de productiviteit van de biosfeer sinds 1982 is gegroeid met 14%, grotendeels als gevolg van toegenomen CO<sub>2</sub> concentraties
3. Duizenden wetenschappelijke experimenten laten zien dat toename van kooldioxideconcentraties hebben bijgedragen aan toegenomen opbrengst van gewassen.
4. Deze toename van opbrengst heeft er zeer waarschijnlijk toe geleid dat het gebruik van land voor agricultuur met 11-17% is afgenomen vergeleken met wat het anders zou zijn geweest, met als resultaat dat meer land beschikbaar kwam voor de natuur.
5. Satellietgegevens bevestigen dat toegenomen kooldioxideconcentraties tevens hebben geleid tot grotere productiviteit van wilde aardse ecosystemen met alle soorten vegetatie.
6. Toegenomen kooldioxideconcentraties hebben ook de productiviteit van veel marine ecosystemen verhoogd.
7. In de recente decennia zijn trends in klimaatgevoelige indicatoren voor het welzijn van mens en milieu verbeterd en blijven vooruitgaan, ondanks beweringen dat deze zouden verslechteren door wereldopwarming.
8. Vergeleken met de voordelen van kooldioxide voor de productiviteit van gewassen en biosfeer zijn de nadelige effecten van toename van kooldioxide – op de frequentie en intensiteit van extreem weer, op zeespiegelstijging, besmettelijke ziekten en op de menselijke gezondheid – te klein geweest om ze te kunnen meten of overspoeld door andere factoren.
9. Modellen zoals gebruikt om klimaatpolitiek te beïnvloeden hebben de opwarming overschat, de directe voordelen van kooldioxide onderschat, en de menselijke aanpassingscapaciteit onderschat om de voordelen te benutten en tegelijkertijd de invloed van nadelen te verminderen.
10. Het is zeer waarschijnlijk dat het effect van stijging van de kooldioxideconcentratie in de atmosfeer op dit moment netto voordelig is voor zowel de mensheid als de biosfeer. Het

abrupt stoppen van de toename van kooldioxideconcentratie zou mens en natuur veel eerder de voordelen ervan ontnemen dan eventuele kosten verminderen.

## 1 Introductie

Citaat van Svante Arrhenius uit zijn boek "Worlds in the Making, 1908"<sup>1</sup>:

"Door de invloed van toename van de CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer mogen wij hopen te genieten van eeuwen met gelijkmatiger en beter klimaat, eeuwen waarin de aarde veel overvloediger gewassen zal voortbrengen, ten voordele van de snel groeiende mensheid."

Svante Arrhenius was winnaar van de Nobelprijs voor scheikunde in 1905. Hij was de eerste wetenschapper die een kwantitatieve relatie ontwikkelde tussen de toename van kooldioxide in de atmosfeer en de wereldtemperatuur aan de oppervlakte. In 1895 presenteerde hij een artikel aan het Stockholms Natuurkundig Genootschap getiteld "de invloed van koolzuur in de lucht op de temperatuur aan de grond". Maar deze vader van de theorie van antropogene wereldopwarming begreep heel goed, zoals iedereen zou moeten weten die biologie heeft gehad op de middelbare school, dat kooldioxide voedsel is voor planten en essentieel voor het leven op aarde. Vanuit dit inzicht leidde hij af dat toename van kooldioxide in de atmosfeer voordelig zou zijn voor de mensheid door verbetering van de plantengroei.

Wie tegenwoordig de conclusies van Arrhenius herhaalt loopt het risico te worden gebrandmerkt als 'wetenschapsontkenner', door de extreem toegewijde verkondigers van de gevaren van antropogene – door de mens veroorzaakte - wereldopwarming. Deze groep, die ertoe geneigd is om het spook van wereldopwarming te zien in bijna elk ongunstig weerfenomeen, heeft zonder twijfel een onevenredig grote invloed gehad op het klimaatdebat omdat invloedrijke elementen van de moderne media geen of te weinig onderscheid maken tussen hun activistische standpunten en de meer genuanceerde opvattingen van zorgvuldige wetenschappers.<sup>2,3,4,5</sup>

Dit artikel zal Arrhenius' opvatting verder onderzoeken dat, behalve de invloeden op het klimaat, de directe effecten van hogere kooldioxideniveaus gunstig kunnen zijn voor mensheid en natuur. Deze opvatting staat haaks op de grote meerderheid van artikelen over de effecten van wereldopwarming, die juist de nadruk leggen op mogelijke schade van hogere CO<sub>2</sub>-niveaus. Gebaseerd op de enorme hoeveelheid van dit soort documenten geloven velen dat emissies van antropogene broeikasgassen zullen resulteren in snelle opwarming, dat we de effecten daarvan nu al waarnemen, dat deze effecten overweldigend negatief zijn en dat ze alleen maar slechter zullen worden naarmate de tijd vordert.<sup>6,7,8,9,10,11</sup> De beweerde effecten omvatten honger, toename van malaria en andere besmettelijke ziekten, toenemende zeespiegelstijging, meer frequente en intense hittegolven, stormen, droogtes, overstromingen en andere extreme gebeurtenissen, verminderde beschikbaarheid van water, en het uitsterven van soorten. Alle plagen van Egypte. Deze effecten zullen, zo wordt beweerd, elkaar versterken, bevolkingen verarmen en leiden tot een neerwaartse spiraal van menselijk en natuurlijk welzijn, wat nog zou worden verslechterd als mensen zouden proberen hun noodlot te ontvluchten door migratie of door gebruik van geweld om voedsel en water te verkrijgen, de fundamentele levensbehoeften.

Maar, zoals we in het vervolg zullen laten zien, er is weinig of geen bewijs uit de praktijk dat de opwarming die we hebben gehad – of veranderingen die daardoor kunnen zijn veroorzaakt – sinds

de laatste ijstijd of sinds het veronderstelde begin omstreeks 1950 van door de mens veroorzaakte opwarming, feitelijk netto schade veroorzaakt of het welzijn van mens en milieu vermindert. Er zijn veranderingen geweest, maar verandering is niet noodzakelijk slecht. In feite zijn de veranderingen voornamelijk gunstig geweest, zoals in hoofdstuk 7 wordt besproken. Hier behandelen we trends in verscheidene klimaatgevoelige indicatoren van welzijn voor mens en natuur. Toch worden deze routinematig genegeerd in discussies over door mensen veroorzaakte wereldopwarming.

Dit artikel betoogt dat de voordelen van toename van kooldioxide zijn onderschat en dat reductie van CO<sub>2</sub> emissies onmiddellijk zal beginnen de voordelen van hogere CO<sub>2</sub> niveaus weg te nemen, zonder klimaatverandering en de daaraan gerelateerde kosten te verminderen of pas op een veel later tijdstip, als dat al zal gebeuren.

## **2 Effecten van kooldioxide op biologische productiviteit**

### **Bewijs voor toegenomen plantengroei**

Dat kooldioxide plantenvoedsel is was al bekend sinds de publicatie in 1804 van Nicols-Théodore de Saussure's *Recherches Chimiques sur la Végétation*.<sup>12</sup> Duizenden experimenten hebben sindsdien aangetoond dat het merendeel van de planten sneller groeit en groter wordt, zowel boven- als ondergronds, als ze worden blootgesteld aan hogere concentraties kooldioxide. De eigenaars van commerciële broeikassen pompen routinematig CO<sub>2</sub> in hun kassen om de groeisnelheid van de planten te verhogen en een niveau tussen 700 en 900 ppm wordt aangenomen als optimaal voor plantengroei, dat is grofweg twee keer zoveel als de huidige concentratie in de atmosfeer. Echter, planten kunnen positief blijven reageren op zelfs hogere CO<sub>2</sub> niveaus. Voor sommige soorten als de moerasden en kattestaart ligt de maximale groei bij 20.000 ppm of meer. Er is tevens aangetoond dat toevoeging van CO<sub>2</sub> in een broeikas de groei van slapplanten verhoogt, zelfs als de temperatuur van de broeikas wordt verlaagd, zodat netto de totale CO<sub>2</sub> emissie van de onderneming wordt verlaagd.

Een database van door vakgenoten beoordeelde artikelen betreffende het effect van kooldioxide op plantengroei, verzameld door het CSCDGC - Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change - laat zien dat voor 45 van de gewassen die 95% van de totale productie vertegenwoordigen, een toename van 300 ppm CO<sub>2</sub> de opbrengst tussen 5 en 78% zou doen toenemen. Het gemiddelde voor de gewassen is 41% en de gemiddelde productieopbrengst is 35%.

Experimenten laten tevens zien dat de voordelen van kooldioxide voor planten niet beperkt zijn tot snellere en grotere groei; de efficiëntie waarmee water wordt opgenomen neemt ook toe. Als gevolg en met gelijk blijven van de overige factoren is minder water nodig voor een gegeven vergroting van de biomassa van planten. Met andere woorden, hogere CO<sub>2</sub> niveaus vergroten het vermogen van planten om zich aan te passen aan omstandigheden met watergebrek of droogte, precies die situaties waarvan sommige milieuactivisten zeggen dat die al aan de gang zijn – tegen de bevindingen van het IPCC in - of zich zullen gaan voordoen.

Een onlangs voltooid onderzoek van graslanden had als uitkomst dat toegenomen niveaus kooldioxide het groeiseizoen bij hogere temperaturen verlengen.<sup>18</sup> De reden voor dit grotere aanpassingsvermogen is dat de afmeting en dichtheid van stomata – de kleine poriën aan de onderkant van bladeren, die lucht, water en andere gassen de plant in en uit laten gaan – worden

verkleind naarmate de CO<sub>2</sub> niveaus toenemen. Daarom verminderen hogere CO<sub>2</sub>-niveaus het waterverlies in de bladeren van planten. Om dezelfde reden verlagen hogere CO<sub>2</sub> niveaus de snelheid waarmee ozon en andere voor planten giftige gassen de plant binnendringen, zodat de toegebrachte schade wordt beperkt. In feite zegt Taub, in een overzichtsartikel, 'uit experimenten met alle plantensoorten blijkt, dat de groeiverbetering door hogere CO<sub>2</sub> niveaus veel groter is in condities van ozonstress dan anderszins'.<sup>19</sup>

Het IPCC AR5 WG1 rapport erkent dat 'experimenten in het veld een [sic] direct bewijs leveren van toegenomen snelheid van fotosynthese en efficiëntie van waterverbruik ..... in planten die groeien onder toename van kooldioxide'<sup>20</sup>. Het rapport stelt ook vast dat dit effect plaats heeft bij meer dan tweederde van de experimenten en dat de netto primaire productiviteit (NPP) toeneemt met ongeveer 20-25% als kooldioxide in de atmosfeer verdubbelt ten opzichte van het pre-industriële niveau.<sup>21</sup> Eerder werd beweerd dat deze toenames misschien niet duurzaam zouden zijn op de lange termijn, maar AR5 meldt dat nieuw experimenteel bewijs uit lange-termijn kooldioxide verrijkingsexperimenten in de vrije lucht (FACE) aantonen dat deze hogere snelheden van koolstofaccumulatie kunnen worden volgehouden in een 'veelvoud van jaren'.<sup>22</sup>

In AR5 zegt het IPCC dat verminderde kooldioxide fertilisatie, die in sommige experimenten is gezien en de volledige afwezigheid ervan in andere, hoogstwaarschijnlijk is veroorzaakt door gebrek aan stikstof in gematigde en noordelijke streken en door gebrek aan fosfor in de tropen, samen met een mogelijk effect ten gevolge van interactie met een gebrek aan andere micronutriënten zoals molybdeen.<sup>23</sup> Het IPCC rapport besluit als volgt '...met grote zekerheid zal het kooldioxide fertilisatie-effect leiden tot toegenomen NPP, maar er blijven significante onzekerheden aangaande de grootte van dit effect, gezien het gebrek aan experimenten buiten de gematigde gebieden'.

Maar het IPCC protesteert teveel. Het overdrijft de onzekerheden betreffende de grootte van het effect onder werkelijke condities. Beschouw eens de geleide ecosystemen, in het bijzonder agricultuur en bosbouw. Tekort aan voedingsstoffen en micronutriënten behoort bij de vele routinematige uitdagingen van boeren en bosbouwers. Management daarvan is geen *terra incognita*, geen onbekend terrein. Bovendien, aanpassingen om zulke tekorten op te kunnen vangen worden waarschijnlijker door de onverbiddelijke vooruitgang van de techniek en de toename in rijkdom van de samenleving, zoals voorzien onder alle IPCC emissiescenario's.<sup>24,25</sup> Daarom zouden boeren en bosbouwers in staat moeten zijn om met succes aanpassingen te realiseren, tenzij sommige technologieën worden verboden door perverse toepassing van het voorzorgsbeginsel.<sup>26</sup> Dergelijke perversiteit kan echter niet worden uitgesloten gezien de antipathie van vele milieuactivisten jegens biotechnologie. Het uitsluiten van genetisch gemodificeerde gewassen (GM) die beter bestand zijn tegen droogte, drassigheid, of andere ongunstige omstandigheden zullen de waarschijnlijkheid dat de waarschuwingen van de activisten – dat wereldopwarming de voedselproductie zal verlagen en de honger doen toenemen – zichzelf vervullende profetieën doen worden.

Er is ook gesuggereerd dat kooldioxideverrijking de opname afremt van nitraat in organische stikstofverbindingen. Mogelijk is dit de belangrijkste oorzaak van gewenning aan kooldioxide met als gevolg afname van fotosynthese, vermindering van groei van C3 gewassen en afname van proteïnegehalte, dit alles door de veranderde koolstof/stikstofverhouding.<sup>27,28,29</sup> [C3: het plantenrijk kan worden onderverdeeld volgens de manier waarop een soort koolstof opneemt tijdens fotosynthese. C3 is de meest gangbare categorie, die de bomen omvat en de belangrijkste gewassen

zoals rijst, tarwe, gerst, aardappelen en soja.] Terwijl de precieze oorzaken en het biochemische proces verantwoordelijk voor deze gewenning nog worden onderzocht, zijn er verschillende benaderingen voorgesteld om de CO<sub>2</sub>acclimatisering te beperken, zo niet te voorkomen. Deze omvatten meer stikstof of ammonium aan de plant te geven om zo de CO<sub>2</sub>-toename te evenaren, of door nieuwe variëteiten te kweken of biotechniek toe te passen.<sup>30,31</sup>

## Huidige bijdrage van kooldioxide aan toename van de opbrengst van gewassen

Als meer kooldioxide de productiviteit verhoogt, hoeveel is dan de opbrengst van gewassen gegroeid sinds voorindustriële tijden? Tegenwoordig ligt het kooldioxideniveau op ongeveer 400 ppm (0,04%). Ter vergelijking, het pre-industriële niveau wordt geschat op ongeveer 277 ppm (0,028%).<sup>32</sup> Als men aanneemt dat het effect van de kooldioxidefertilisatie lineair stijgt met de concentratie, dan vertaalt de AR5-schatting van 20-25% toename bij verdubbeling van CO<sub>2</sub> niveau sinds pre-industriële tijden zich tot een toename van 9-11% tot dusver. Of anders, een 34,6% opbrengsttoename door 300ppm stijging van kooldioxideconcentratie zoals berekend door de CSCDGC (Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change), komt neer op 15% opbrengsttoename door anthropogene emissies tot op heden. Dit zijn onderschattingen als de responsie van groei op kooldioxidetoe name naar beneden afbuigt bij hogere concentraties.

Deze schattingen geven aan dat een deel van de gewasopbrengsttoename van de afgelopen jaren, door de meeste waarnemers toegeschreven aan technologievooruitgang, eigenlijk moet worden toegerekend aan vruchtbaarheidsverhoging door kooldioxide. Een recente econometrische analyse heeft historische gegevens over zestig jaar gewasopbrengsten in de VS bijeengebracht met uitkomsten van FACE experimenten ( free air carbondioxide enrichment) en registraties van temperatuur, neerslag en kooldioxideniveaus. Deze analyse gaf aan dat belangrijke delen van de waargenomen opbrengstverhogingen eerder moeten worden toegeschreven aan kooldioxide dan aan technologische vooruitgang (zie Tabel 1).<sup>33</sup> Dit leidt tot het vermoeden dat het gunstige effect van kooldioxide zelfs nog groter kan zijn dan de 9 – 15% schatting van het CSCDGC.

**Tabel 1:** Deel van de opbrengstverhogingen toe te schrijven aan kooldioxide

Gewas	Deel (%)
Katoen	51
Sojabonen	15
Gerst	17
Maïs	9
Cassave	1

Hetzelfde onderzoek vond ook dat hogere kooldioxideniveaus worden geassocieerd met lagere variatie in opbrengst voor elk gewas. Onder gelijkheid van alle andere factoren vertaalt lagere variatie zich naar een stabielere voedselvoorziening met stabielere voedselprijzen, ten bate van alle consumenten overal ter wereld.

Idso (2013) heeft geprobeerd deze opbrengstverhogingen te vertalen in geldwaarde. Hij vindt dat over een periode van 50 jaar de extra productie van door boeren gekweekte gewassen \$274 miljard was voor graan, \$182 miljard voor maïs en \$579 miljard voor rijst, en dat de huidige waarde van

vruchtbaarheidsverhoging door kooldioxide voor alle gewassen op dit moment ongeveer \$140 miljard per jaar is. Natuurlijk zijn dit geen exacte getallen, maar merk op dat ze zijn gebaseerd op werkelijke gegevens en bestaande opbrengsten, dus ze zijn veel minder speculatief dan de economische berekeningen van schade door toekomstige klimaatverandering en de effecten daarvan op voedselzekerheid, met gebruik van modellen die niet extern zijn gevalideerd (zie hoofdstuk 8).<sup>34</sup>

### **Effect van kooldioxideverrijking op ongedierte en onkruid**

Alle gewassen zijn verwickeld in een slijtageslag met schimmelparasieten, roofzuchtige insecten en plantaardige concurrenten, samen met ander ongedierte. Menselijke interventie om de planten te helpen te zegevieren door pesticiden, genetische modificatie of door verandering van agronomische methodes is de belangrijkste factor die bepaalt hoeveel gewas verloren gaat. Desalniettemin is het mogelijk dat kooldioxideverrijking het vermogen van planten kan verbeteren om weerstand te bieden tegen ongedierte. Insecten groeien niet sneller in hogere concentraties kooldioxide en hoewel sommige experimenten laten zien dat kooldioxideverrijking de weerstand van gewassen tegen ziekteverwekkers vermindert, andere laten zien dat het gewassen helpt zich te verdedigen tegen zulke vijanden. Bijvoorbeeld, in een experiment werd de groeiafname ten gevolge van schimmelziekteverwekkers bij tomaten door verdubbeling van kooldioxideniveaus volledig gecompenseerd. Bij een andere proefneming bleek het parasitaire onkruid *Striga hermonthica*, dat in sub-Sahara Afrika vele gewassen verwoest, slechts half zo veel schade aan te richten bij verdubbeling van de koolstofdioxideniveaus.

Bij een volgende studie werd aangetoond dat hogere CO<sub>2</sub> niveaus de productie van fenolverbindingen vergroten en dus, omdat bekend is dat fenolen de groei van de meest schadelijke onkruiden afremmen, concluderen de auteurs dat toename van CO<sub>2</sub> in de lucht de resistentie van planten tegen bepaalde onkruiden, ongedierte en ziekteverwekkers kan vergroten.<sup>39</sup>

Bovendien, veel gewassen zijn C3 planten en veel onkruiden zijn C4 planten, die minder reageren op kooldioxideverrijking. Dus als de CO<sub>2</sub> niveaus stijgen, kunnen C3 planten hun groeisnelheid verder vergroten dan C4 planten. Een Chinees experiment beproefde dit idee door kooldioxideniveaus boven bepaalde akkers te verhogen tot bijna tweemaal zoveel als het normale niveau. Dit verhoogde het gewicht van een rijst-aar met 38% terwijl de groei van een gewoon onkruid, hanepoot, met 48% werd verminderd omdat de sneller groeiende rijst het onkruid overschaduwde.<sup>40</sup> Figuur 1 illustreert de verschillende reacties op toegenomen kooldioxideconcentraties van rijst, een C3 plant, en de groene vossenstaart gierst *Setaria Viridis*, een grassoort die soms wordt voorgesteld als genetisch model voor C4 planten. 41, 42

Het is van belang op te merken dat de overgrote meerderheid van planten C3 is, misschien omdat hogere kooldioxideniveaus normaal zijn in de geschiedenis van de aarde.

### **Bijdrage van kooldioxide in aan toename van biologische productiviteit in ongeleide ecosystemen**

Al in 1985 ontdekten Bacastow en zijn collega's een gestadige toename in de seizoensvariatieamplitude van de kooldioxideniveaus in het noordelijk halfrond,<sup>43</sup> en leidden daaruit af dat het een toename betekende van de zomervegetatie. Dit was de eerste hint van vergroening van de wereld, een verschijnsel dat nu is bevestigd door satellietopnamen.

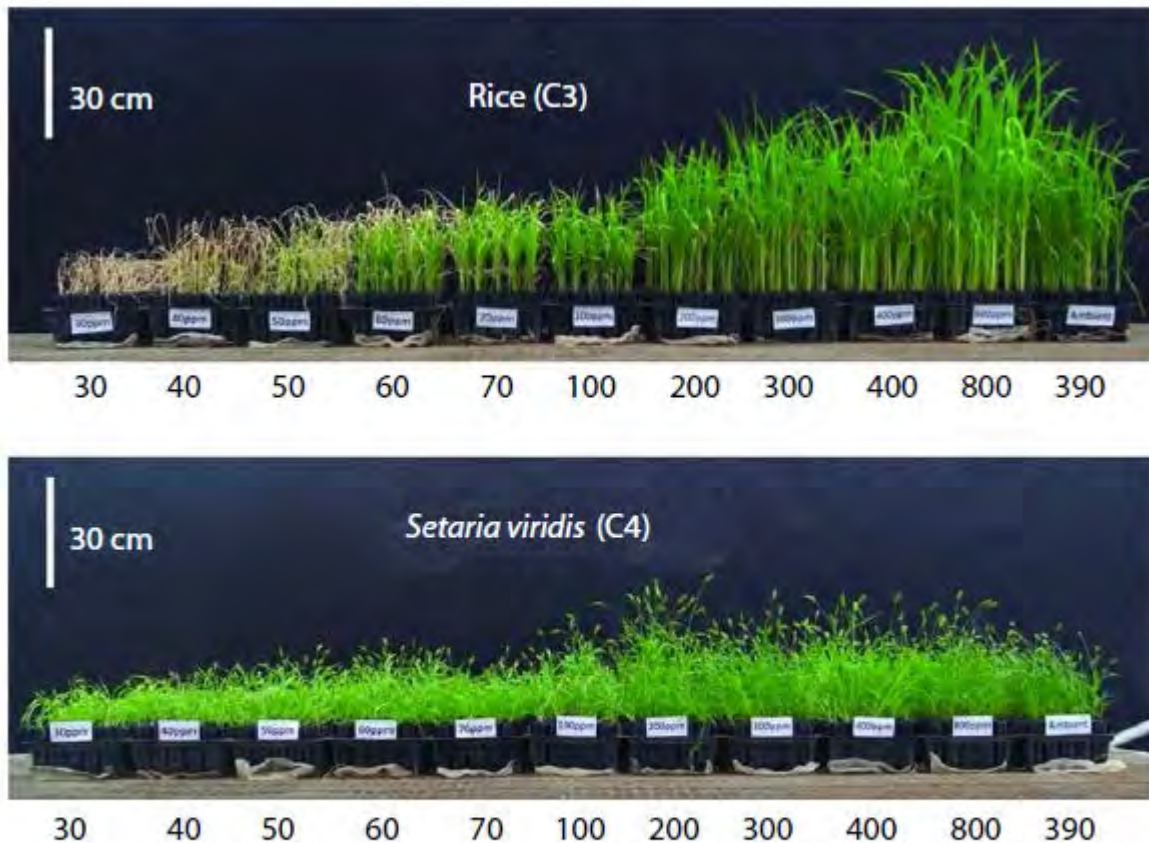


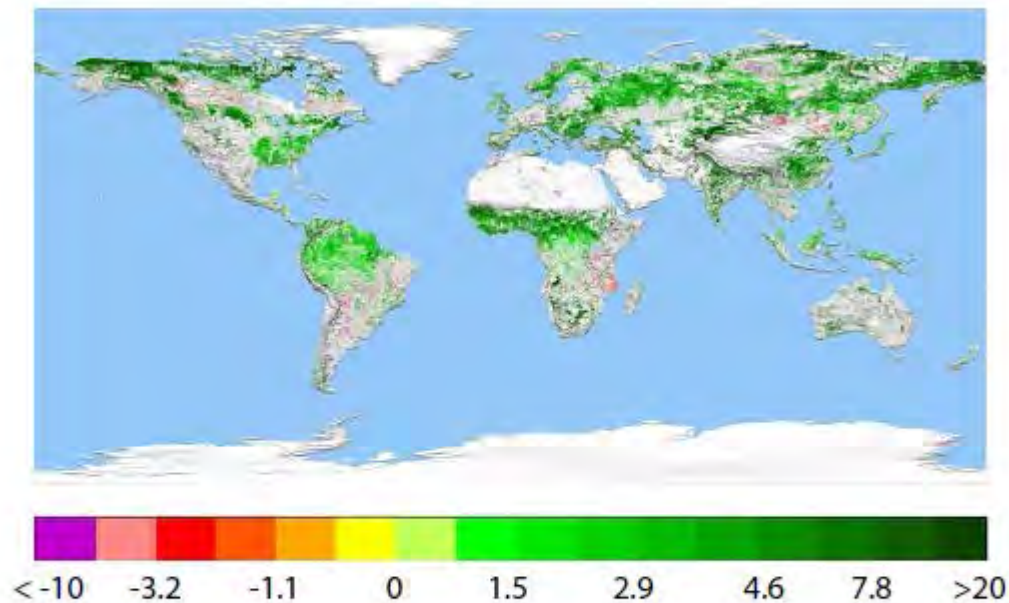
Figure 1: Carbon dioxide fertilisation of C3 crop and C4 weed

Source: von Caemmerer et al. (2012).

Meer recente waarnemingen van kooldioxide met behulp van vliegtuigen boven de noordelijke Stille Oceaan en de Poolzee laten zien dat tussen 1958-61 en 2009-11 de seizoensvariatie van kooldioxide op hoogtes van 3-6 km toenam met 25% op het noordelijk halfrond, tussen 10°N tot 25°N en met 50% tussen 45° en 90°N. <sup>44</sup> Satellietwaarnemingen bevestigen dat de toename van groen op de aardbol niet is beperkt tot geleide ecosystemen (zoals agricultuur) maar ook gebeurt in ongeleide en licht geleide ecosystemen. Trendanalyse uit satellietgegevens van wereldgroenheid geeft aan dat van 1982 tot 2011 – in deze periode nam de atmosferische kooldioxideconcentratie met 15% toe - 31% van de wereldvegetatie groener werd terwijl 3% minder groen werd (zie Fig.2). <sup>45</sup>

De productiviteit van de wereldecosystemen is in totaal met 14% toegenomen. In het bijzonder: alle vegetatietypes zijn vergroend, <sup>45</sup> inclusief tropische regenwouden, loof- en boreale bossen, kreupelhout, halfwoestijnen, grasland en alle andere wilde ecosystemen, en inclusief die welke zelfs geen indirecte bijdrage hebben van door mensen gemaakte stikstofkunstmest. Sommige ecosystemen hebben een relatief kleinere responsie in NPP bij hogere kooldioxideniveaus. De progressieve stikstoflimitatie hypothese (PNL) beweert dat dit wordt veroorzaakt door gebrek aan stikstof. Echter, de menselijke activiteiten die majeure emitters zijn van kooldioxide – verbruik van fossiele brandstof en stikstof kunstmest voor landbouw – stoten ook zogenaamde reactieve stikstof uit (N<sub>2</sub>O), die biologische organismen direct of indirect kunnen gebruiken voor groei. De concentratie

van N<sub>2</sub>O is over de afgelopen 30 jaar gestegen met 7%. Maar de bewijzen voor de PNL hypothese zijn nog omstrede<sup>n</sup>.<sup>48,49,50,51,52,53,54</sup>



**Figure 2: Greening of the Earth, 1982–2011**

Trends in gross annual productivity per decade in percentage terms.

Source: Zhu & Myneni 2014

De toegenomen vergroening ontdekt door metingen via satellieten en vliegtuigen komt overeen met de gewasopbrengsten gezien over de afgelopen 50 jaar en langer,<sup>55,56</sup> maar ook met een bottom-up schatting van veranderingen in de hoeveelheid CO<sub>2</sub> opgenomen door bossen.<sup>57</sup> Deze ramingen van opslag-en-stroming zijn ontleend aan bodeminventarisatie in bossen en aan lange termijn koolstofstudies van ecosystemen, en vertegenwoordigen 3,9 miljard hectare bossen, oftewel 95% van het wereldtotaal. Ze geven aan dat van 1990 tot 2007 de bossen netto koolstofopnemers waren op een niveau van 1,1 Pg koolstof (C) per jaar.

Andere documentatie van bodemwaarnemingen vinden ook toegenomen groei van bossen. Bijvoorbeeld, een analyse van gegevens uit onbeheerde of licht beheerde posities in Europese bossen, soms teruggaand tot 1870 (Noorse spar en Europese beuk), laat zien dat het volume van 75-jaar oude posities van dominante boomsoorten 10-30% sneller groeide in 2000 dan in 1960. De volumes van staande voorraad waren ook groter in 2000 dan in 1960, met 6-7%. Eveneens laten in de Verenigde Staten gegevens over 5-18 jaar zien dat opname van CO<sub>2</sub> toenam in 86% van de Amerikaanse bossen.

De 14% toename van wereldvegetatie kan echter niet uitsluitend worden toegeschreven aan hogere CO<sub>2</sub> niveaus en stikstofafzettingen: een deel kan ook zijn veroorzaakt door een aangename klimaat voor plantengroei, mogelijk veroorzaakt door de 0,8°C opwarming in de afgelopen eeuw.



Donohoe et al. analyseerden satellietwaarnemingen na de effecten van regenval verwijderd te hebben.<sup>60</sup> Hun resultaten lieten zien dat de vegetatiebedekking over droge omgevingen, waar watergebrek de dominante groeibelemmering is, toenam met 11% tijdens de periode 1982 – 2010, hoofdzakelijk door toegenomen waterverbruiksrendement bij planten door hogere CO<sub>2</sub> niveaus. Jammer genoeg zijn er geen schattingen verkrijgbaar van productiviteitsverhoging door uitsluitend kooldioxidetoeename voor andere ecosystemen [dan planten] of de wereld als geheel.

Natuurlijk heeft toename van plantenproductiviteit waarschijnlijk tot gevolg dat de totale dierlijke biomassa toeneemt.

Als slotsom, hogere kooldioxideniveaus vergroten zowel gewasopbrengsten als biosfeerproductiviteit.

### **3 Ondergeschikte voordelen van toegenomen biosfeerproductiviteit**

#### **Toegenomen menselijk welzijn**

Hogere landbouwopbrengsten verlagen de voedselprijzen. Dit verschaft de mensheid een dubbel dividend. Ten eerste vermindert het chronische honger, maar ten tweede is reductie van chronische honger de eerste stap naar verbeteringen in de volksgezondheid.

#### **Reductie van leefgebied en druk op biodiversiteit**

Niet minder belangrijk is dat hogere opbrengsten ook een dubbel dividend geven aan de overige natuur, wat de druk op ecosystemen vermindert. Als er geen toename van 9-15% in opbrengst was geweest, zou het wereldakkerland moeten zijn vergroot met eenzelfde factor om dezelfde hoeveelheid voedsel te kunnen produceren, bij gelijk blijven van de overige factoren. Dat getal betekent dat een oppervlak equivalent met de gezamenlijke oppervlakte van Myanmar, Thailand en Maleisië is gered van de ploeg. Ten tweede, land dat niet in bezit is genomen door de mens produceert meer voedsel voor andere soorten. Bijgevolg, dit vergroot de totale biomassa – dat is het product van het aantal soorten en het aantal vertegenwoordigers per soort – die de planeet kan verdragen.

Met hoeveel zou het voedsel, beschikbaar voor andere soorten, zijn afgenomen bij afwezigheid van antropogene toename van kooldioxide? Om dit te berekenen, neem aan dat:

- de productiviteit van niet beheerde ecosystemen nam ook toe met 9-15%tengevolge van hogere CO<sub>2</sub> concentraties(zoals geschat voor gewassen)
- de mens eigent zich nu 25% toe van de aardse NPP (netto primaire productie)

Daarom, als er geen antropogene toename was geweest van CO<sub>2</sub>, om te voldoen aan de huidige menselijk vraag naar voedsel, hout, voer voor vee en huisdieren en andere plantaardige producten, dan zou het aandeel van NPP beschikbaar voor de rest van de natuur moeten zijn afgenomen met 11-17%. Of anders, stel dat de mensheid nu 40% van wereld NPP gebruikt<sup>64</sup>, ceteris paribus, dan zou NPP voor de rest van de natuur hebben moeten afnemen met 14-22%. In beide gevallen zou er, zonder de door CO<sub>2</sub> bevorderde vruchtbaarheid, een significante toename zijn geweest in het aantal soorten dat op de rand van uitsterven staat.

Het is van belang op te merken, dat een van de factoren ter verklaring van de breedtegraadgradiënt van biodiversiteit – de grotere uitbundigheid van soorten als men van de polen naar de evenaar beweegt – grotere ecologische productie is.<sup>65</sup> De suggestie is ook gedaan dat een zelfs belangrijker factor zou kunnen zijn dat metabolische en andere processen versnellen als de temperaturen toenemen, wat overeenkomt met de vergelijking van Arrhenius.<sup>66,67</sup> Wat de verklaring ook zij, het herinnert ons eraan dat in een wereld met hogere temperaturen op zijn minst de hogere breedtes meer biomassa zouden verdragen, met gelijk blijven van andere factoren. De toenemende amplitude van de seizoensvariatie van atmosferische kooldioxide is daar een manifestatie van.

#### **4 Effecten van meer kooldioxide op beschikbaarheid van water en eisen aan irrigatie**

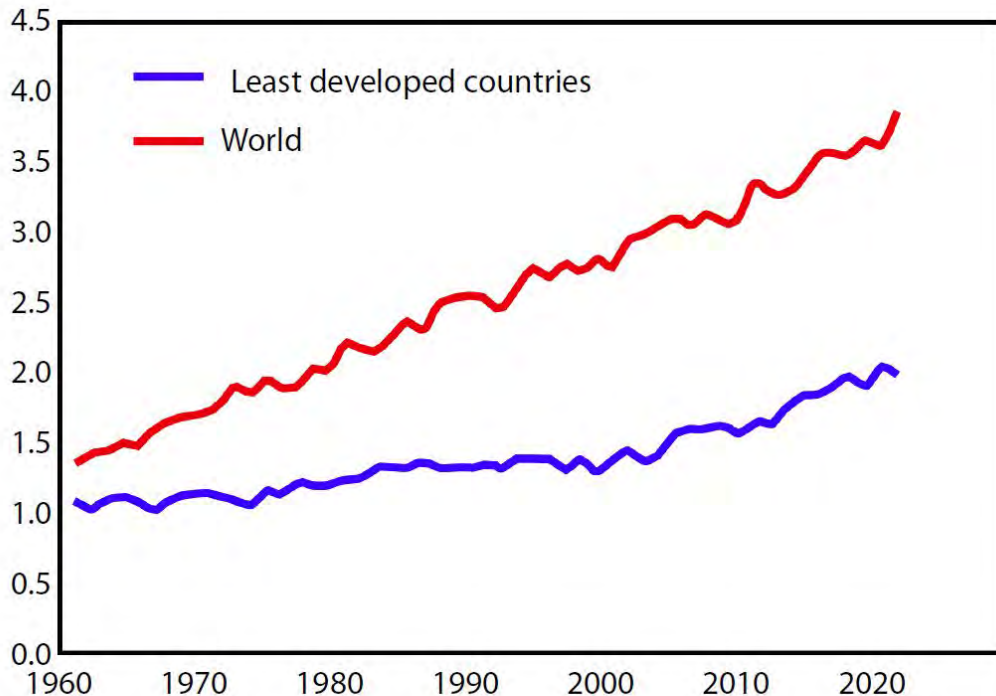
Het wordt algemeen verwacht dat, als de aarde opwarmt, de verdamping zal toenemen, wat de hoeveelheid vocht in de atmosfeer zou doen toenemen bij constante relatieve vochtigheid, zoals meestal aangenomen in klimaatmodellen. Maar de langetermijntrends in “pan evaporation” (een meting die de volgende klimaataspecten combineert en integreert: temperatuur, vochtigheid, regenval, droogte dispersie, zonnestraling en wind) spreken deze aanname tegen.<sup>69</sup> Meer vocht in de atmosfeer zou de totale neerslag op het oppervlak van de aarde moeten doen toenemen. Maar de neerslagtoename zou onregelmatig zijn verdeeld zodat sommige gebieden natter zouden worden en andere weer droger. Ter verslechtering van de toestand in de droge gebieden zou de toegenomen verdamping de bodemvochtigheid verminderen, wat de vegetatiegroei en gewasopbrengst in door regen gevoede gebieden zou kunnen verminderen en elders de vraag naar irrigatie verhogen. Toegenomen verdamping zou ook de waterafvoer moeten verminderen, wat weer de beschikbaarheid van water voor menselijk gebruik zou reduceren. Echter, elk van deze negatieve effecten kan deels, zo niet geheel, worden gecompenseerd door het feit dat de hogere CO<sub>2</sub> niveaus door de verkleining van stomata het waterverbruiksrendement van planten verbetert. Dit zou planten in staat moeten stellen om beter om te kunnen gaan met minder bodemvochtigheid, de eisen voor irrigatie moeten verminderen en, tenzij toegenomen plantengroei het toegenomen waterverbruiksrendement compenseert, de waterafvoer moeten vergroten. Het totale beeld wordt gecompliceerd door factoren zoals de variatie van het waterverbruiksrendement met beschikbaarheid van voedingsstoffen, blootstelling aan zonlicht en neerslag, en ook het effect dat de dichtheid van stomata gewoonlijk vermindert als atmosferische kooldioxide toeneemt.<sup>70,71</sup>

Analyse van veranderingen over langere tijd in de verhouding van koolstof isotopen in houtachtige soorten geeft aan dat intrinsiek waterverbruiksrendement in recente decaden in vele soorten is toegenomen, maar op een hoogtepunt gekomen in andere en in sommige gevallen zelfs afgenomen. Een recente studie van onbeheerde bospercelen in de VS en elders over het noordelijk halfrond vond dat CO<sub>2</sub> opname en waterverbruiksrendement op de meeste plaatsen is toegenomen. Toename van waterverbruiksrendement overtroffen projecties gemaakt door een serie biosfeermodellen. Andere studies toonden vergelijkbare resultaten voor waterverbruiksrendement:

- toenames van 34-52% voor twee tropische bossoorten in Brazilië van 1850-2000;<sup>74</sup>
- een toename van 29% bij regenwoudbomen in Sabah, Maleisië;<sup>75</sup>
- een toename van 5-20% van 1974-2003 in een dennenbos bij de droge Middellandse Zee kust (Israël);<sup>76</sup>

- Een toename van 12% van pre-industriële tot postindustriële tijden bij een dennensoort in Finland.

Echter, een studie van dwergberk in Zweden en Finland vond in plaats van toename geen verandering.



**Figure 3: Cereal yields, 1961–2013**

Tonnes per hectare. Source: FAOSTAT, October 6, 2014.

In veel gevallen neemt de groei toe samen met het waterverbruiksrendement, maar er zijn uitzonderingen.<sup>78</sup> Een analyse van gegevens uit 47 studiegebieden rond de wereld vond dat van 1960 tot 2000, een periode waarin de CO<sub>2</sub>-concentraties toenamen met 50%, het intrinsieke waterverbruiksrendement met 20,5% toenam in boreale, natte gematigde, Mediterrane, halfdroge en tropische biomen. Echter, van de 35 gebieden waar groeigegevens werden verzameld, liet de helft een positieve groeitrend zien, een derde liet negatieve groei zien en de rest vertoonde geen groei. Volgens de auteurs zou dit kunnen worden toegeschreven aan droogte, gebrek aan nutriënten of fotosynthetische acclimatisatie aan kooldioxide.

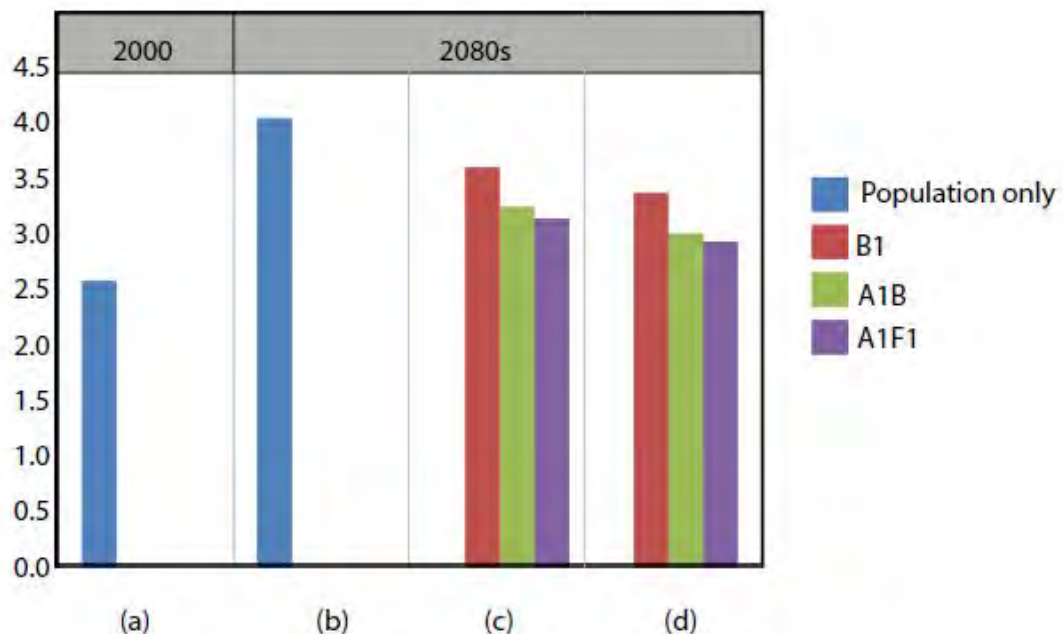
Onafhankelijk van of, hoe en onder welke condities CO<sub>2</sub> opname en waterverbruiksrendement met elkaar zijn verbonden, nam de productiviteit van het wereldecosysteem met 14% toe van 1982-2011 (Figuur 1),<sup>80</sup> terwijl de vegetatiebedekking toenam met 14% in *droge* gebieden van 1982-2010.<sup>81</sup> En met betrekking tot landbouwproductiviteit, de wereldgewasopbrengst is toegenomen. Bijvoorbeeld, van 1961 tot 2013 zijn de graanopbrengsten per hectare toegenomen met 85% in de minst ontwikkelde landen en op wereldschaal met 185%. Deze opbrengsttoenames tonen geen voortdurend teken van afremming. (Figuur 3).

Het is onduidelijk of de toenames van waterverbruiksrendement hebben geholpen om de waterafvoer en beschikbaarheid van water voor menselijk gebruik te doen toenemen.<sup>82</sup> Dit is omdat

veranderingen van de waterafvoer het resultaat kunnen zijn van veranderingen in tal van factoren naast de fysiologische en morfologische reacties van stomata op toename van CO<sub>2</sub>.<sup>83,84</sup> Dit zijn onder andere:

- Veranderingen in meteorologische en klimaatfactoren, zoals neerslag, vochtigheid, zonnestraling en windsnelheid
- Veranderingen in landgebruik en landbedekking
- Andere menselijke wijzigingen voor aanpassing aan of omgang met watergerelateerde problemen, of om gebruik te maken van geboden mogelijkheden

Het toeschrijven van veranderingen van de waterafvoer aan kooldioxide hangt dus af van computermodellen,<sup>85,86,87</sup> maar de resultaten ervan zijn bedolven met onzekerheid. Desondanks geven sommige studies aan dat, ceteris paribus, hoger waterverbruiksrendement in de toekomst de vraag om irrigatie kan verminderen en de waterafvoer wereldwijd doen toenemen, wat waterstress zou moeten verminderen.<sup>88,89,90,91</sup> Echter, geen van deze studies heeft enige menselijke competentie in aanpassing meegenomen, dus zij overdrijven de netto negatieve effecten en onderschatten de positieve. Konzmann et al. taxeren dat omstreeks 2080 de wereldvraag naar irrigatie 'gemiddeld met ongeveer 17% zal zijn afgenomen, dankzij een combinatie van gunstige kooldioxide effecten op planten, kortere groeiperioden en regionale neerslagtoename'.



**Figure 4: Population at risk of high water stress in the 2080s**

Billions at risk. (a) Baseline per 2000, (b) For 2080 – no climate change but with increased population. (c) For 2080 – increased population and increased temperature. (d) Population, climate and carbon dioxide levels are different from 2000 levels. The B1, A1B and A1FI scenarios correspond to global temperature increases in the 2080s of the order of 1°C, 2°C, and 3°C above the 2000 levels, respectively. Source: Wiltshire et al. (2013).

Ten aanzien van waterbeschikbaarheid schatten Wiltshire et al. dat de netto wereldbevolking bedreigd met waterstress zal toenemen van 2,6 miljard in 2000 tot 4,1 miljard in 2080, alleen al door

bevolkingsgroei. Echter, onder IPCC scenario A1F1 (met de snelste opwarming) wordt verwacht dat dit getal wordt gereduceerd tot 3,2 miljard door klimaatverandering (maar met negeren van de directe effecten van kooldioxide, zie Figuur 4). 92 Directe kooldioxide effecten zouden de netto populatie bedreigd door waterstress moeten reduceren tot 2,9 miljard. In het bijzonder, zoals aangegeven in Figuur 4: hoe warmer het scenario, des te groter is de afname van de populatie bedreigd door waterstress ten gevolge van klimaatverandering alleen. Evenzo, hoe hoger de kooldioxideniveaus, des te groter is de afname.

## 5 De effecten van hogere kooldioxideniveaus op het mariene leven

Verhoging van kooldioxideniveaus in de atmosfeer vergroot duidelijk de groeisnelheid van landplanten, ceteris paribus. Is hetzelfde waar voor marine organismen met fotosynthese zoals algen, fytoplankton en symbiotische zooxanthellae (algen) in koralen? Kooldioxide lost op in zeewater en er is goed bewijs dat dit grotere groeisnelheden veroorzaakt in vele taxa (taxonomische groepen, zie taxon). Dit is ondanks het feit dat opgeloste kooldioxide bicarbonaationen vormt, de pH van water iets verkleinen, leidend naar wat vaak maar onnauwkeurig “oceanverzuring” wordt genoemd. Er is geen kans op dat de gemiddelde pH van de oceanen ook maar in de buurt van 7 komt (neutraal) vanwege toegenomen CO<sub>2</sub>-concentraties in de komende drie eeuwen. De gemiddelde oceaan pH is nu ongeveer 8 en de voorspelling is dat die zo’n 0,2pH zal dalen gedurende de huidige eeuw. Deze verandering is aanzienlijk kleiner dan de verschillen in pH tussen de regio’s in de oceanen, de verschillen per dag, en zelfs de verschillende uren per dag in koraalrif lagunes. Een onderzoek van de pH in de bovenste laag in de oceaan voor een brede variëteit ecosystemen variërend van polair tot tropisch, open oceaan tot kustgebieden, zeewierbossen tot koraalriffen laat zien dat maandenlange variaties van pH een bereik hebben van 0,024-1,430 pH eenheden. Het onderzoek vond ook dat veel organismen nu al pH regimes ervaren die tot 2100 nog niet voorspeld zijn.<sup>93</sup> Met andere woorden, de geprojecteerde pH verandering is een stuk kleiner dan de ruis van de natuurlijke variatie. Dus het is zeer speculatief dat deze kleine langetermijntrend problemen zal geven voor het mariene leven die groter zijn dan de voordelen van extra kooldioxide voor fotosynthetische marine organismen en dus ook de hele mariene biosfeer.

Hier volgen enkele voorbeelden van studies met positieve of neutrale bevindingen van de effecten van lagere pH op verschillende groepen mariene organismen met fotosynthese:

**Coccolithophoren** (eencellig, eukaryotisch fytoplankton) Iglesias-Rodriguez et al. vonden bewijs dat ‘verkalking en netto primaire productie in de coccolithophoor soort *Emiliana huxleyi* significant verhoogd worden door hoge partiële kooldioxidedruk in het laboratorium, terwijl bewijs uit de praktijk in de diepe oceaan met deze labresultaten overeenstemt, met indicaties dat over de afgelopen 220 jaar de gemiddelde coccolith massa met 40% is gegroeid.<sup>94</sup> Coccolithophoren horen tot het meest overvloedig voorkomende fytoplankton in de oceanen. In het bijzonder, Duarte et al. classificeren het bewijs voor afname van kalkvormers ten gevolge van verlaging van de oceaan pH als zwak.

**Diatomeeën** In diatomeeën (eencellige wieren) ‘is geen significante verandering in opbrengst gevonden tussen lage en hoge CO<sub>2</sub>-niveaus’ en ‘toegenomen niveaus opgeloste kooldioxide hadden geen invloed op de gemiddelde cel afmeting en celvolume van *Phaedodactylum tricornutum*.<sup>96</sup>

**Foraminifera** Vogel en Uthicke vonden dat 'de onderzochte soorten nog steeds in staat waren om hun calciëte skeletten op te bouwen in CO<sub>2</sub> condities voorspeld voor het jaar 2100 en later' en 'in tegenstelling tot de verwachtingen toonde *Marginopora Vertebralis* aanzienlijk toegenomen groeisnelheden bij verhoogde kooldioxide niveaus'.<sup>97</sup>

**Mariene algen en andere mariene planten** Bij mariene algen vinden veel studies dat toename van CO<sub>2</sub> snellere groei tot gevolg heeft. Bij andere mariene planten zoals zee gras concluderen Palacio en Zimmerman dat 'verzuring van de oceaan de biomassa en productiviteit van zee gras stimuleert, wat leidt tot gunstiger habitat en condities voor geassocieerde ongewervelden en vissoorten'.<sup>98</sup> Inderdaad kan, volgens Hendriks et al., het kooldioxide fertilisatie-effect de verzuring compenseren: 'zee gras fotosynthesesnelheden kunnen toenemen met 50% bij verhoging van CO<sub>2</sub>, wat de kooldioxide plas kan afbreken, terwijl een verhoogde pH in stand wordt gehouden die de geassocieerde kalkvormende organismen kan beschermen tegen de effecten van oceanverzuring',<sup>99</sup> ten minste in die nabijheid.

Dus voor vele primaire producenten in de oceaan zullen verhoogde niveaus van opgeloste CO<sub>2</sub> de ecosysteemproductiviteit stimuleren, met positieve gevolgen voor de voedselketen. Studies geven aan dat dit effect waarschijnlijk zwaarder zal wegen dan enig nadeel van wat lagere pH.

Zou hetzelfde waar kunnen zijn voor koralen? Koralen bouwen riffen door verkalking, via afzetting van calciumcarbonaat in hun skeletten. Dit proces kost veel energie en de energiekosten nemen toe bij lagere pH. Echter, de energie wordt geleverd door symbiotische zooxanthellae in de koralen, die fotosynthese plegen.<sup>100</sup>

[http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp\\_coral02bc.html](http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp_coral02bc.html)

Dus de beperkende factor voor koraalgroei kan biologisch zijn in plaats van chemisch. Muscatine et al. concluderen dat 'symbiotische algen de kalkafzetting kunnen regelen...door modificatie van de fysisch-chemische parameters in de koraalpoliepen'.<sup>101</sup> Dit zou kunnen verklaren waarom de groeisnelheid van koraalriffen geen tekenen van afname vertoont zoals voorspeld. Zoals Kleypas et al. aanvoeren met betrekking tot bodemkoralen 'de afname van de totale opgeloste anorganische koolstof ten gevolge van fotosynthese en verkalking van rif bevolking kan de afname van de totale alkaliteit overschrijden door verkalking van koralen en kalkafzettende algen, wat leidt tot een netto toename van de aragoniet verzadigingstoestand'.<sup>102</sup>

De algemene bevinding dat kalkafzettende organismen niet minder calcium deponeren als de kooldioxideconcentraties toenemen wordt bevestigd dooreen experimentele studie door Findlay et al. met gebruik van drie weekdieren, een zeepok en een slangster. Zij schrijven dat 'in tegenstelling tot populaire voorspellingen kan de afzetting van calciumcarbonaat gehandhaafd of zelfs versterkt worden in zeewater aangezuurd door opgeloste CO<sub>2</sub>'.<sup>103</sup> Evenzo, een 'veldgroei-experiment onthulde zeven keer hogere snelheden van groei en kalkafzetting van [blauwe mossel *Mytilus edulis*] in een binnenfjord hoog CO<sub>2</sub> veldstation ... in vergelijking met een laag CO<sub>2</sub> buitenfjord veldstation...'.<sup>104</sup>

Recente laboratoriumproeven om de variatie te bestuderen in de koraalverkalkingsnelheid van het scleractinische (harde) koraal *Siderastrea siderea* – een veel voorkomende rifbouwer in de Caribische zee – met opwarming en pH-veranderingen vonden dat onder min of meer constante temperatuur van 28°C de kalkafzettingsnelheden toenamen als atmosferische kooldioxide werd verhoogd van een bijna pre-industrieel niveau van 324ppm naar 447ppm, ongeveer gelijk bleven bij het voorspelde

eind-van-de-eeuw niveau van 604ppm en terugkeerden naar pre-industriële snelheden bij 2500ppm.<sup>105</sup> Er werd ook gevonden dat bij gelijkblijvend kooldioxideniveau van 488ppm de kalkafzettingssnelheden toenamen als de temperatuur werd verhoogd van 25 naar 28°C, maar afnamen met 80% als de temperatuur werd verhoogd naar 32°C. Deze resultaten geven aan dat snelle opwarming van de oceaan op de lange termijn een gevaar vormt voor S.siderea maar dat oceaanverzuring de komende eeuwen weinig tot geen bedreiging is. Bovendien kunnen de experimenteel bepaalde kalkafzettingssnelheden nog nadelig zijn beïnvloed door de verstoring van het koraal door de noodzaak om te snijden, te transplanteren en voor te bereiden voor analyse. Niet minder belangrijk is het feit dat de veranderingen van pH en temperatuur werden aangebracht in een periode van slechts een paar maanden. In de echte wereld zouden zulke veranderingen een eeuw of meer kosten, wat betekent dat enige aanpassing niet kan worden uitgesloten, bijvoorbeeld via symbiont verschuiving.<sup>106</sup>

Verreweg de grootste peer-reviewed meta-analyse van het effect van oceaanverzuring kwam tot een opvallend onmodieuze conclusie. Hendriks et al. bestudeerde de resultaten van 372 experimenten met verhoogde CO<sub>2</sub>-niveaus op 44 soorten en vond 'beperkte experimentele ondersteuning' van de theoretische voorspelling betreffende negatieve effecten van oceaanverzuring'. Mariene organismen, zo concluderen zij, zijn 'meer resistent tegen oceaanverzuring dan aangegeven door pessimistische voorspellingen...', en derhalve kan dit fenomeen 'wel eens niet het wijdverbreide probleem zijn dat is opgeroepen voor de 21<sup>e</sup> eeuw'.<sup>107</sup>

Hoewel sommige koraalriffen sneller groeien door toenames van kalkafzettingssnelheden wellicht dank zij, in tegenstelling tot ondanks, hogere zeeoppervlakttemperaturen<sup>108</sup> en, wellicht, hogere CO<sub>2</sub>-niveaus; op ander plaatsen zijn ze verloren of weggekijnd. De primaire oorzaken voor dit verlies zijn echter overbeving, vervuiling, kustontwikkeling, baggeren en opblazen, en niet door de mens veroorzaakte wereldopwarming.<sup>109,110</sup>

## 6 Conclusie van Deel I

Zowel gegevens verkregen via satellieten als in het veld laten zien dat de biologische productiviteit wereldwijd is toegenomen voor een brede reeks beheerde, licht beheerde en ook onbeheerde ecosystemen. Hoewel deze toename niet universeel is, heeft de toegenomen biologische productiviteit in het algemeen de voedselbronnen per hectare verder doen groeien dan anders het geval zou zijn voor zowel de mens als de rest van de natuur. Als gevolg is de aarde groener, zijn boerderijen productiever en kan onze wereld zowel een grotere biomassa ondersteunen als een groter aantal mensen, precies zoals Arrhenius meer dan honderd jaar geleden veronderstelde.

## Deel II

### Welzijn voor mens en milieu

#### 7 Empirische trends in klimaatgevoelige indicatoren voor menselijk welzijn

Vertalen de voordelen van hogere kooldioxideconcentraties zoals vastgesteld in Deel I zich in netto voordeel voor mens en milieu, of worden zij te niet gedaan door schadelijke effecten van kooldioxide? De voordelen voor het milieu zijn al besproken in secties 2 en 5 van Deel I. Wat nu volgt is een korte discussie die enkele stevige beweringen<sup>111</sup> betreffende de nadelige effecten van opwarming op mens en milieu vergelijkt met de empirische werkelijkheid.

#### Gewasopbrengsten

Gewasopbrengsten zijn toegenomen (zie Figuur 3) en de wereldvoedselproductie, verre van afgenomen, is in de afgelopen decennia juist toegenomen. Tussen 1990-1992 en 2011-2013 vermeerderden de voedselvoorraden met 44%, hoewel de wereldbevolking met 31% toenam tot 7,1 miljard. Bijgevolg nam het bevolkingsdeel met chronische honger af met 173 miljoen ondanks een bevolkingstoename van 1,7 miljard.<sup>112</sup> Dit gebeurde terwijl ook nog land en gewassen werden omgeleid van de productie van voedsel naar biobrandstoffen. Volgens een schatting hielpen deze activiteiten om 130-155 miljoen mensen in absolute armoede te storten, de honger verergerend in dit meest marginale deel van de bevolking. Op zijn beurt heeft dit mogelijk geleid tot 190.000 voortijdige doden alleen al in 2010.

#### Zeeniveaus

Het zeeniveau is in de afgelopen 20.000 jaar met 120m gestegen en blijft stijgen, al gaat het veel langzamer dan vaak in het verleden het geval was. Dat het blijft stijgen is niet bijzonder. De stijging is zeker een teken van wereldopwarming, maar niet noodzakelijkerwijs *anthropogene* opwarming. Anthropogene opwarming zou – bovenop de al duizenden jaren bestaande – een versnelling in stijging moeten laten zien, maar diverse waarnemingsstudies hebben dit niet kunnen detecteren.<sup>114,115,116</sup> IPCC AR5 zegt 'het is waarschijnlijk dat het wereldgemiddelde zeeniveau tussen 1920 en 1950 steeg met een snelheid vergelijkbaar met de waarnemingen sinds 1993'.<sup>117</sup> Sommige studies vonden zelfs een recente *stijgsnelheidsafname*. Bijvoorbeeld, Chen et al. vonden dat het wereldzeeniveau met een snelheid van 3,2 +/- 0,4mm/jr steeg tussen 1993 en 2003, maar dat die snelheid sinds 2004 is afgenomen. Omstreeks 2012 was de stijgsnelheid significant gedaald tot 1,8 +/- 0,9mm/jr.<sup>118</sup> Een andere studie zegt dat met correcties voor jaarlijkse variaties er geen significante verandering is geweest in de zeeniveaustijgsnelheid.<sup>119</sup> Hiermee in overeenstemming zegt weer een andere studie dat 'het verscheidene decennia zal duren voordat er een waarneembare versnelling is te zien bij de rapportage van individuele getijdenmeters.'<sup>120, 121</sup>

#### Neerslag

Volgens veel klimaatactivisten zullen natte gebieden natter worden en droge gebieden droger.<sup>122, 123</sup> Daarom zouden zowel overstromingen als droogtes op wereldschaal meer intensief en langduriger



moeten worden. Het IPCC AR5 rapport bevestigt dat de CMIP5 modellen aangeven dat dit zal gebeuren met hoge waarschijnlijkheid hoewel men zich haast om toe te voegen dat de praktijkgegevens 'tegenstrijdig' zijn en, bovendien, 'de modellen hebben de neiging zowel de waargenomen neerslagtrends te onderschatten (Noake et al., 2012) als de waargenomen neerslagafhankelijk van temperatuur (Liu et al., 2012)'.<sup>124</sup> (citaten in het origineel.) De 'tegenstrijdige' studie, een recente analyse van maandelijkse neerslaggegevens over het wereldlandoppervlak van 1940 tot 2009, geeft aan dat de droge gebieden natter worden terwijl natte gebieden droger worden.<sup>125</sup> Een andere studie, gebruikmakend van gegevens uit de periode 1940-2005, vond dat er in het algemeen geen verband is in de ene of andere richting; dat wil zeggen voor het merendeel droog niet droger of natter wordt en nat ook niet.<sup>126</sup> Het is duidelijk prematuur om te zeggen dat de wetenschap klaar is. Hoe dan ook, het is niet verrassend dat op wereldschaal overstromingen en droogtes het script van de klimaatverandering niet hebben gevolgd.

## **Extreem weer**

Hoewel er een toename is geweest van warme dagen, vergezeld van een afname in koude dagen, is er geen algemene toename geweest in aantal of intensiteit van ander extreem weer, zoals orkanen, tornado's, overstromingen of droogtes.<sup>127,128,129</sup> Andere recente studies bevestigen dit voor droogtes<sup>130</sup> en overstromingen.<sup>131</sup> Tropische cyclonen, een categorie die orkanen en tyfoons bevat, zijn noch frequenter noch sterker geworden. Gegevens van 1970 tot heden tonen dat op wereldschaal en in het noordelijk halfrond de verzamelde cycloon energie beneden het lange-termijn gemiddelde ligt.<sup>132</sup> In de Verenigde Staten is sinds 2005 tot op heden geen grote orkaan meer aan land gekomen. Bovendien is het gemiddelde aantal sterke tot hevige tornado's, geteld over de laatste jaren, lager dan in de 50-er, 60-er en 70-er jaren van de vorige eeuw.<sup>133</sup>

Belangrijker is, dat ondanks een verviervoudiging van de wereldbevolking en veel uitgebreidere verslaggeving van dit soort gebeurtenissen, het aantal doden als gevolg van extreem weer en hitte sinds de jaren 1920 met 93% is gedaald, terwijl de sterftcijfers met 98% zijn gedaald.<sup>134</sup>

Er is geen toename in economische verliezen door extreem weer als men rekening houdt met de groei van de totale rijkdom, een factor die automatisch het risico voor economische activa verhoogt.<sup>135</sup>

## **Ziekte**

Uitspraken dat besmettelijke ziektes zoals malaria zullen toenemen worden ook niet door de feiten gestaafd. De wereldsterfte aan malaria is afgenomen, van 194 per 100.000 inwoners in 1900 tot 9 per 100.000 in 2012, een reductie van 95,4%.<sup>136,137</sup> Net zo belangrijk, het is minder gangbaar en aanzienlijk minder endemisch in de verminderde omvang.<sup>138</sup>

## **Toegang tot schoon water en sanitaire voorzieningen**

Ondanks toename van de bevolking is het aantal mensen met toegang tot schoner water en verbeterde sanitaire voorzieningen in feite wereldwijd toegenomen.<sup>139</sup> Tussen 1990 en 2012 heeft een extra 2,3 miljard mensen toegang gekregen tot veiliger water, zodat het wereldbevolkingsdeel met die toegang steeg van 75,9 tot 89,3%, ondanks bevolkingstoename en wereldopwarming. Over dezelfde periode gemeten, heeft een extra 2 miljard mensen toegang gekregen tot verbeterde sanitaire voorzieningen. De voordelen van schoner water en betere sanitaire voorzieningen leiden uiteindelijk tot verbetering van gezondheid en levensverwachting.

## **Levensstandaarden**

Ondanks beweringen dat het menselijk welzijn eronder zal lijden zijn de levensstandaarden, gemeten als BBP per inwoner, nooit hoger geweest. Als gevolg is de absolute armoede – het deel van de bevolking dat moet leven van minder dan \$1,25 per dag in dollars uit 2005 – meer dan gehalveerd tussen 1981 en 2010. Als resultaat waren er meer dan 723 miljoen minder mensen die in 2010 in absolute armoede leefden dan in 1981, hoewel de wereldbevolking in die periode toenam met 2,17 miljard.<sup>140</sup> In lage inkomenslanden is de levensverwachting, de beste aparte indicator van menselijk welzijn, gestegen van 25-30 jaar in 1900 tot 42 jaar in 1960 en 62 jaar vandaag.<sup>141</sup>

## **8 Waarom worden de claims van schade geen werkelijkheid?**

Waarom zijn de veronderstelde schades van wereldopwarming geen werkelijkheid geworden, en waarom worden de klimaatgevoelige indicatoren van menselijk welzijn voortdurend beter?

### **Vertrouwen op ketens van niet gevalideerde modellen**

#### **Series van modellen, cascades van onzekerheid**

De effecten van wereldopwarming worden in het algemeen geschat met gebruik van ketens opeenvolgende, met elkaar verbonden computermodellen. Elke keten begint met een klimaatmodel, dat zelf wordt aangedreven door een verzameling socio-economische scenario's gebaseerd op aannames van bevolking, economische ontwikkeling en technologische verandering over de gehele analyseperiode (vaak 50-100 jaar of meer). Het klimaatmodel aan het begin wordt gevolgd door verschillende biofysische, economische en andere opvolgende modellen om veranderingen te schatten in verschillende aspecten van menselijke activiteit of welzijn, zoals landbouw, bosbouw, gezondheid of biodiversiteit. De onzekerheid in de uitgangsgrootheden van elk eerder model in de keten dient als ingangssignaal voor elk volgend, zodat de in het begin kleine stroompjes onzekerheid aan het eind van de modelketen uitkomen op een complete waterval van onzekerheid.

Bijvoorbeeld, om de effecten van landbouw en voedselzekerheid te schatten, worden de uitgangssignalen van de klimaatmodellen toegevoerd aan verschillende gewasmodellen om opbrengsten te schatten, die dan worden doorgegeven aan economische modellen om vraag en aanbod voor de gewassen te schatten. Vraag en aanbod worden dan met elkaar in verband gebracht via handelsmodellen op nationale, regionale en wereldschaal.<sup>142</sup> Merkwaardigerwijs heeft tot op heden geen enkele evaluatie van klimaatveranderingseffecten een objectieve schatting gegeven van de opgebouwde onzekerheid, te beginnen met de socio-economische scenario's tot en met de resulterende effectschatting. De onzekerheidsgebieden in de IPCC effectrapporten zijn in het algemeen gebaseerd op alleen de onzekerheid door gebruik van verschillende klimaatscenario's aan het begin van de modelketen. Maar deze zijn veel kleiner dan de echte onzekerheden die zouden zijn gezien als de volledige cascade van onzekerheid was meegenomen in de beschouwing.

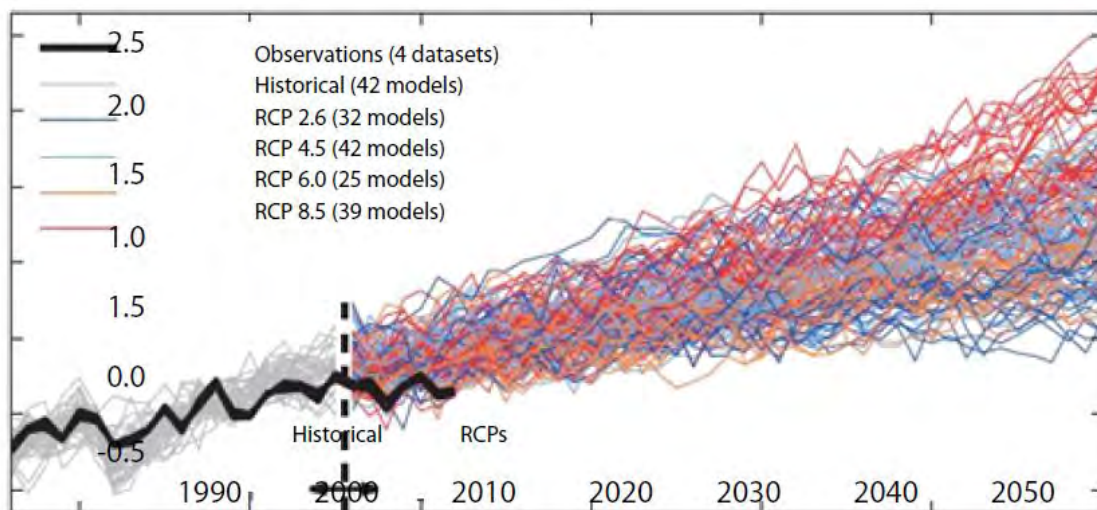
#### **Modellen zijn niet gevalideerd**

Een van de redenen dat de met doem beladen voorspellingen aangaande menselijk welzijn hebben gefaald is dat de orthodoxe klimaatwetenschappers hebben verzuimd de wetenschappelijke methode toe te passen: met name hebben zij niet de hypothesen en vooringenomenheden, verwerkt in de modellen, getest tegen de werkelijkheid. Zoals we hebben gezien, tonen eenvoudige reality checks aan dat welzijn van mens en milieu niet aan het verslechteren zijn. Validering van deze

modellen met gebruikmaking van deze reality checks zou hun afwijking van de werkelijkheid hebben begrensd en zou ook de onzekerheden verminderen die onvermijdelijk verergeren als men langs de ingang van de modelketen naar de uitgang gaat.

## Klimaatmodellen overdrijven de wereldopwarming

Ten eerste is het klimaat niet zo snel opgewarmd als geprojecteerd in de IPCC evaluatierapporten. Figuur 5 vergelijkt de van 1986 tot en met 2012 waargenomen temperaturen van het wereldoppervlak met de modelresultaten.



**Figure 5: Models versus reality: global surface temperature anomaly**

Figures in degrees centigrade. The observations are land-based measurements, 1986–2012. Source: IPCC, AR5 WG1 (2013), p. 1011.

Dit bevestigt dat de modellen heter worden dan de werkelijkheid. Maar **dit** zijn nu juist de projecties waarop de regeringen hebben vertrouwd om hun klimaatpolitiek te rechtvaardigen, inclusief subsidies voor biobrandstoffen en hernieuwbare energie, op die manier de totale kosten van energie voor de gewone consument verhogend – kosten die onevenredig sterk drukken op hen die armer zijn.

Een vergelijking van praktijkgegevens uit de HadCRUT4 oppervlaktetemperatuurreeks met de prestaties van 117 simulaties met gebruikmaking van 37 modellen leert dat de overgrote meerderheid van de simulaties en modellen de opwarming hebben overdreven.<sup>143</sup> De modellen geven aan dat de gemiddelde wereldtemperatuur van 1993 tot 2012 zou toenemen met  $0,30 \pm 0,02^\circ\text{C}$  per decennium, maar de praktijkwaarnemingen laten een toename van slechts  $0,14 \pm 0,06^\circ\text{C}$  per decennium zien.<sup>144</sup> Met het oog op het betrouwbaarheidsinterval is de waargenomen trend niet te onderscheiden van helemaal geen trend; dat betekent dat de opwarming voor alle praktische doeleinden is gestopt. Zelfs het IPCC geeft het bestaan van dit 'hiaat' toe.<sup>145</sup> Bovendien laat de HadCRUT4 temperatuur database zien dat de wereldopwarming afnam van  $0,11^\circ\text{C}$  per decennium tussen 1951 en 2012 tot  $0,04^\circ\text{C}$  per decennium van 1998-2012.<sup>146</sup> Dit is ondanks het feit dat, volgens het IPCC, de antropogene broeikasgas'forcing' voor 2010 ( $2,25 \text{ W/m}^2$ ) ongeveer 25% hoger was dan wat was gebruikt in de modellen ( $1,78\text{-}1,84 \text{ W/m}^2$ ).<sup>147</sup> Dit betekent dus dat de

modellen met de juiste 'forcing' nog hogere temperaturen zouden hebben getoond, nog verder boven de werkelijkheid dan in de getoonde grafiek.

Sommigen hebben betoogd dat temperatuurgegevens van satellieten de voorkeur zouden moeten hebben boven oppervlaktetemperatuursets. In feite is de satellietdekking veel uitgebreider en meer representatief voor het oppervlak van de Aarde dan bereikbaar is met gebruik van oppervlaktstations, ook al zouden er duizenden van zijn. Een recent overzichtsartikel merkt op dat satellieten 'ongeveer mondiale en kleinschalige ruimtelijke dekking' kunnen bieden, vermoedelijk wegens 'meer frequente en herhaalde dekking over een groter gebied dan andere waarnemingsmiddelen'.<sup>148</sup> Bovendien worden oppervlaktemetingen beïnvloed door de micro-omgeving van de waarnemingsstations, die niet alleen verschillen van station tot station maar ook over langere tijd per station, als vegetatie en gebouwen in de nabijheid ontstaan, zich ontwikkelen en veranderen.<sup>149</sup>

Satelliettemperaturen geven aan dat de wereld sinds 1979 is opgewarmd met 0,12-0,14°C per decennium;<sup>150</sup> als contrast geven de IPCC evaluaties over de afgelopen 25 jaar projecties van een opwarmingstrend van 0,2-0,4°C per decennium.<sup>151,152</sup> De verschillen tussen trends van modellen en van satellieten en weerballonnen zijn te zien in Figuren 6 en 7.<sup>153</sup>

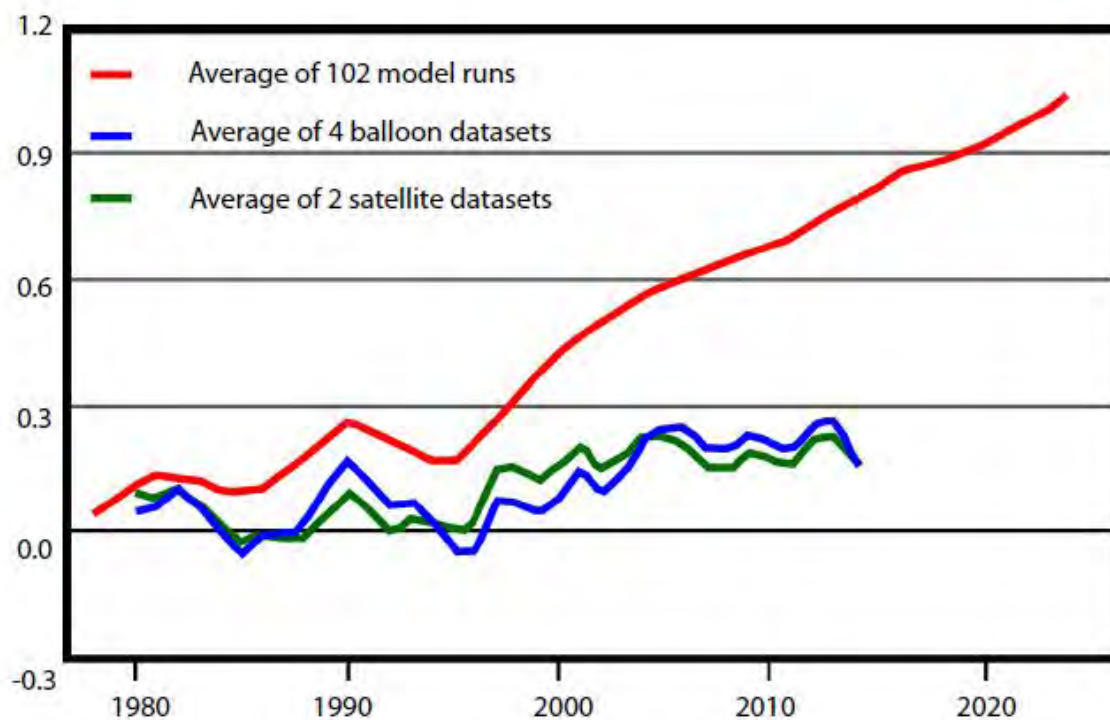


Figure 6: Models versus reality

5-year temperature averages (°C) from models versus satellite and balloon data.  
Source: Redrawn from McNider, Richard, and Christy, John, 'Why Kerry is flat wrong on climate change', *Wall Street Journal*, February 19, 2014.

Desondanks, gebaseerd op deze ketens van niet gevalideerde modellen, beweren de orthodoxe klimaatdenkers dat wereldopwarming o.a. de voedselproductie zal verlagen, honger vergroten, meer extreem weer veroorzaken, ziekten teweegbrengen en waterbronnen bedreigen. Het cumulatieve

effect zal, beweren de orthodoxen, de levensstandaard verlagen en soorten bedreigen en zal, als broeikasgassen niet snel worden beteugeld, het voortbestaan van mens en natuur bedreigen. Sommigen beweren dat het al te laat is. <sup>154</sup> De groep 350.org bijvoorbeeld maakt propaganda voor het terugbrengen van atmosferische kooldioxideniveaus, die nu 400ppm zijn, tot een concentratie van 350ppm, een niveau dat de aarde het laatst meemaakte in 1988. <sup>155</sup> Maar sinds die tijd is het wereld-BBP per capita met 60% gestegen, de kindersterfte afgenomen met 48%, de levensverwachting met 5,5 jaar gestegen en de armoede telling gedaald van 43% naar 17% ondanks een bevolkingsstijging van 40%. Nostalgie voor een 350ppm wereld lijkt misplaatst, zo niet ronduit pervers. <sup>156,157</sup>

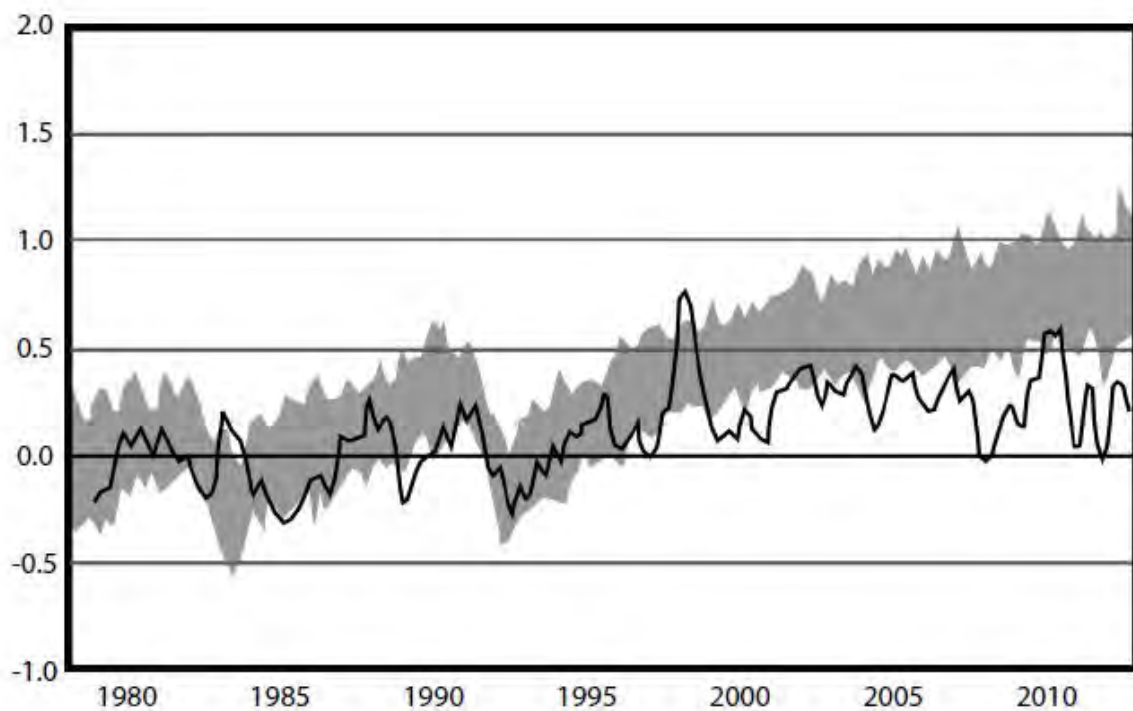


Figure 7: Models versus reality

Global (80S–80N) departure (°C) from 1979–84 mean temperature of the lower troposphere. Black line: satellite observations (RSS V3.3 MSU/AMSU); grey band: 5-95% range of output from CMIP5 climate models. Source: RSS.

### Klimaatmodellen zijn niet goed in lokale situaties

Het is niet duidelijk welke logische processen de orthodoxe denkers gebruikten om tot hun beweringen te komen. Het kan voortkomen uit het feit dat zij, in de greep van hun vooringenomenheid, niet kunnen of willen erkennen dat, tenzij een weersgebeurtenis werkelijk zonder weerga is, de nulhypothese van kracht is, d.w.z. dat de gebeurtenis voortkomt uit normale klimaatvariabiliteit in plaats van door mensen veroorzaakte wereldopwarming. Sommigen hebben de resultaten gebruikt van modelexercities die beweren toekomstige effecten te beoordelen, gewoonlijk in het laatste deel van deze eeuw, en vervolgens de resultaten teruggeïnterpoleerd naar de dag van heden. <sup>158,159,160</sup> De eerste stap van zo'n exercitie steunt op klimaatmodellen om het toekomstige klimaat te projecteren. Maar we hebben al gezien dat deze modellen zelfs niet zijn geslaagd voor de realiteitstest met betrekking tot de wereldgemiddelde temperaturen over de

afgelopen twee decennia of langer. Wat de situatie nog verergert; de prestaties van klimaatmodellen met betrekking tot de werkelijkheid verslechteren als men tracht de oppervlaktetemperaturen te projecteren op kleinere geografische schaal.

## **Klimaatmodellen kunnen neerslag niet goed aan**

Belangrijker is dat het welzijn van de mens en de rest van de natuur waarschijnlijk gevoeliger is voor veranderingen van neerslag dan van temperatuur, en neerslag is zeer veranderlijk van plaats tot plaats. Maar klimaatmodellen presteren nog slechter voor neerslag dan voor temperatuur, onafhankelijk van de geografische schaal. In feite, voor verschillende gebieden zijn vele modellen niet in staat om betrouwbaar de neerslag uit het verleden terug te voorspellen, zelfs met handmatige aanpassing van modelparameters, laat staan dat ze de toekomst kunnen voorspellen.<sup>161,162</sup> Het is dus niet verbazend dat neerslagprojecties van verschillende modellen elkaar vaak tegenspreken. Bijvoorbeeld, een recente studie naar de jaarlijkse neerslagveranderingen in Californië met 25 modelprojecties laat zien dat '12 projecties drogere jaarlijkse omstandigheden tonen en 13 nattere'.<sup>163</sup> Dus de effectevaluaties die als startpunt resultaten van deze klimaatmodellen gebruiken kunnen niet en moeten niet worden gebruikt voor politieke beslissingen, ook al hebben de modellen nut voor het evalueren van ons begrip van klimaatmechanismen en processen.

## **De methodiek van aanpassing vertoont gebreken**

- 1. Het verzuim om goed rekening houden met aanpassing.** Zelfs al zouden de klimaatmodellen de werkelijkheid perfect weergeven en de toekomst kunnen voorspellen, dan nog zouden de effectevaluaties verdacht zijn. Dat komt omdat de meeste effectevaluaties van wereldopwarming weinig of geen endogene of autonome aanpassing in beschouwing nemen. Bijvoorbeeld, verreweg de meerderheid van studies over wereldopwarming houdt op geen enkele manier rekening met menselijke aanpassingsmaatregelen, hoewel dit soort maatregelen sinds het begin der tijden wordt genomen.<sup>164,165</sup> Zie als aanpassingsvoorbeelden 's werelds oudste nog werkende dam, bij het meer Homs in Syrië, uit 1319,<sup>166</sup> en de *qanats*, de ondergrondse kanalen om water aan te voeren voor menselijke nederzettingen en irrigatie, gebouwd in Perzië in het eerste millennium voor de jaartelling.<sup>167</sup> Evenzo, van de vele studies van het IPCC om de toekomstige effecten op gewasopbrengsten te schatten, heeft 63% geen rekening gehouden met de adaptieve capaciteit van de landbouwsector.<sup>168</sup>

Bovendien, specifieke aanpassingsmaatregelen gebruikt in wereldopwarmingseffectstudies zijn gebaseerd op technologieën van vóór 1990. De tegenwoordige technologieën zijn talrijker en goedkoper.<sup>169</sup> En omdat we rijker zijn, zijn deze technologieën gemakkelijker te betalen.<sup>170</sup> Bijgevolg is ons aanpassingsvermogen alleen al in de laatste paar decennia sterk gestegen.<sup>171</sup> Als bewijs hiervoor, beschouw de eerder opgemerkte wereldwijde toename in, bijvoorbeeld, gewasopbrengsten, toegang tot veiliger water en levensverwachting aan de ene kant en reductie in armoede, sterfte door besmettelijke ziekte en extreme weersomstandigheden aan de andere kant. Deze voorbeelden geven aan dat het negeren van aanpassingsvermogen en technologische vooruitgang in de loop van enkele decennia al kan leiden tot effectanalyses die een orde van grootte of nog meer te pessimistisch zijn.<sup>172</sup>

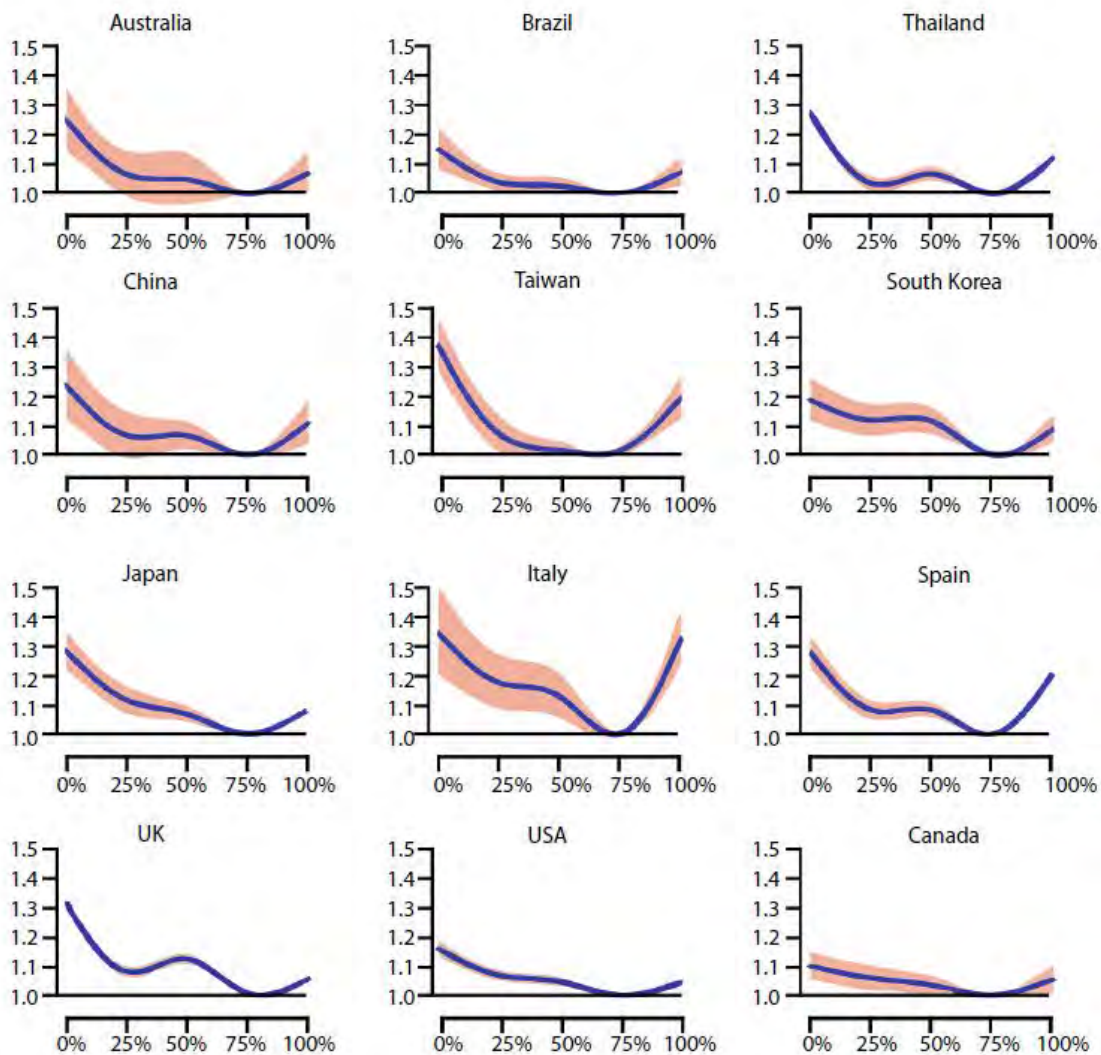
Een ander feit dat wordt genegeerd bij effectanalyses is de enorme toename in verbindingen en communicatie te danken aan internet, e-mail, tekstboodschappen en GSM telefonie. Het resultaat hiervan is dat de verspreiding van kennis heel veel sneller en breder is dan wat twee of drie decennia geleden mogelijk was. Alleen al deze toename in connectiviteit heeft het menselijk aanpassingsvermogen aanzienlijk versterkt.<sup>173</sup> Ook genegeerd is de reeks van technologieën die gezamenlijk precisielandbouw wordt genoemd: de toenemende vaardigheid in het meten en sturen van plantengroei, nutriënt deficiënties en behoefte aan water, kunstmest en gewasbescherming per vierkante meter of minder, gecombineerd met technieken als GPS en drones. Tegenwoordig kunnen deze technieken worden gebruikt door vermogende boeren in rijke landen. Na een tijd zullen ze, net zoals andere technologieën, overal ter wereld worden uitgerold als de kosten dalen en toename van inkomens dit betaalbaar maken. Zulke technieken zullen de landbouwbehoefte aan water verminderen. Omdat de landbouw verantwoordelijk is voor 70% van de wereldwijde waterconsumptie zal dit water vrijmaken voor ander menselijk gebruik en water stress aanzienlijk verminderen.<sup>174</sup> Een 20% toename van wereldwijd waterverbruikrendement bij de landbouw zou worden vertaald in een wereldwijde toename van 39% in water beschikbaar voor niet-agrarische toepassingen.

**Verzuim om volledig rekening te houden met de voordelen van kooldioxide** Hoewel sommige studies van de effecten van wereldopwarming op landbouwproductie en voedselzekerheid beperkte technologische ontwikkeling bevatten, houden de meeste geen rekening met de voordelige effecten van kooldioxide op snelheden van fotosynthese of waterverbruiksrendement. De IPCC AR5 synthese van modelanalyses van de effecten van recente klimaattrends op opbrengsten van de belangrijkste agrarische hoofdproducten zegt, met een opmerkelijke onderschatting, dat 'sommige omvatten effecten van positieve CO<sub>2</sub>-trends...maar de meeste niet'.<sup>175</sup> In feite namen slechts 2 van de 56 studies toename van CO<sub>2</sub> in aanmerking.<sup>176</sup> Alleen al om deze reden is de bewering van het IPCC, dat de huidige effecten van wereldopwarming op landbouwproductiviteit en voedselzekerheid waarschijnlijk negatief zijn, onbetrouwbaar. In feite zeggen Lobell et al. (2011), een van de weinige studies die het historische effect op agrarische productiviteit heeft gepoogd te schatten, dat als hun analyse de directe effecten van kooldioxide in de periode 1980-2008 hadden meegenomen hun resultaten zouden hebben getoond dat 'de netto effecten van verhoogd kooldioxide en klimaatverandering sinds 1980 waarschijnlijk licht positief waren voor rijst en sojabonen en negatief voor graan en maïs'.<sup>177</sup>

- 2. Verzuim om rekening te houden met de voordelen van opwarming** Tot slot, evaluaties van de klimaatveranderingseffecten maken meestal korte metten met de mogelijke positieve effecten van antropogene wereldopwarming. Het eerste deel van dit artikel probeerde een gedeeltelijke verbetering te bieden door de nadruk te leggen op de voordelen die toename van kooldioxideconcentraties zou kunnen brengen. Merk op dat analyse en discussie hier zijn gericht op de wereldschaal en alleen op toename van kooldioxide in plaats van op de opwarming. De voordelen van opwarming, in termen van menselijke gezondheid – vooral vermindering van winterdoden – langere groeiseizoenen en andere voordelen zouden substantieel kunnen zijn, vooral omdat opwarming voorspeld is onevenredig te gebeuren, voornamelijk in de winter en 's nachts.

## Sterfte door koude en hitte

Sterftcijfers van verscheidene landen, regio's en steden met koud, gematigd en zelfs tropisch klimaat tonen aan dat de gemiddelde dagelijkse mortaliteit aanzienlijk hoger is in koude dan in warme maanden. 178<sup>179,180,181,182,183</sup> [Figuur 8](#) geeft de resultaten van een systematische evaluatie van het mortaliteitsrisico door niet-toevallige oorzaken als functie van de dagelijkse gemiddelde temperatuur bij 306 gemeentes in 12 landen <sup>184</sup>



**Figure 8:** The risk of higher temperatures

Relative risk of mortality (y-axis) as a function of mean daily temperature plotted as the percentile of the entire temperature data. Data for each country was pooled. Source: Guo et al. (2014).

Omdat extra sterfte door blootstelling aan hitte of koude zoals bekend enkele dagen doorgaat na de feitelijke blootstelling, is het sterftcijfer gebaseerd op cumulatieve sterfte over 21 dagen na en inclusief de blootstelling. De periode waarover deze sterftes accumuleren is langer voor koude temperaturen dan voor warme. <sup>185</sup> De methodologie bleek ook geschikt voor vaststelling van 'sterfte verplaatsing' of 'oogsten', het verschijnsel dat temperatuurgerelateerde sterfte direct na de



blootstelling deels wordt gecompenseerd door minder sterfte in de volgende weken.<sup>186</sup> De grafieken in Figuur 8 laten zien dat voor elk land:

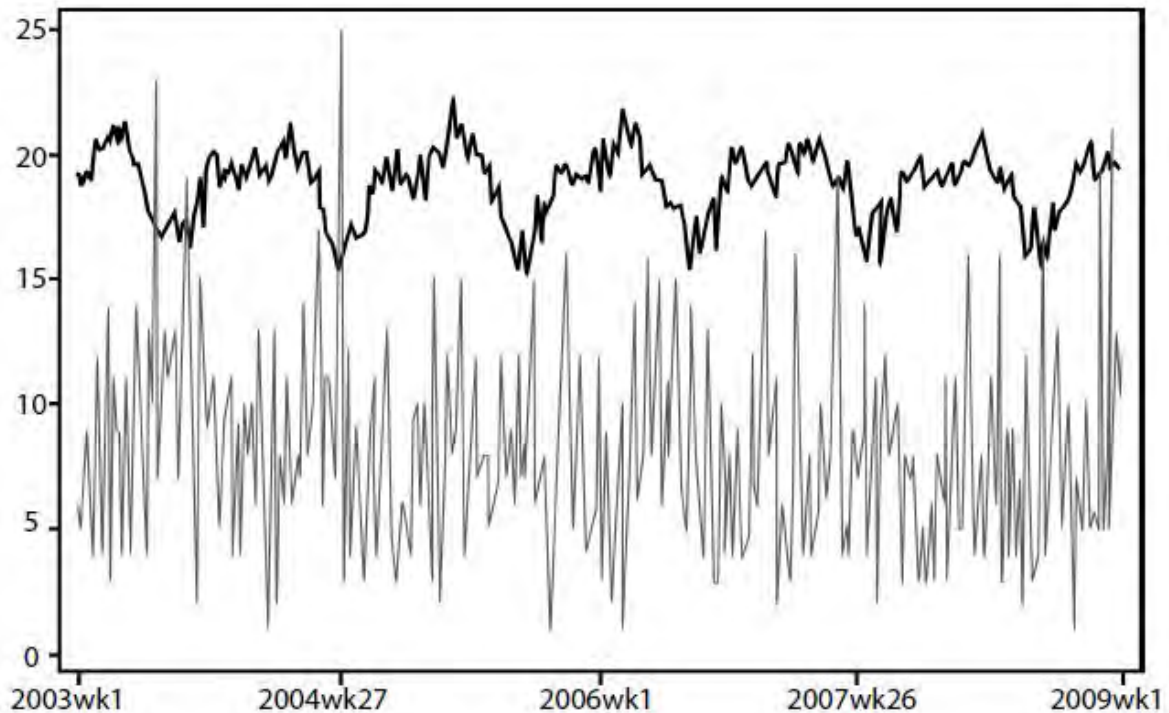
- Het relatieve sterfterisico is minimaal tussen het 66<sup>e</sup> en 80<sup>e</sup> percentiel van gemiddelde temperatuur. Negen van de twaalf landen hebben een 'optimum' temperatuur tussen het 72<sup>e</sup> en 76<sup>e</sup> percentiel.
- Het relatieve sterfterisico is significant hoger bij het eerste percentiel (het koude einde van het temperatuurinterval) dan bij het 99<sup>e</sup> percentiel (het warme einde)

Omdat er (a) meer dagen zijn tijdens het jaar die kouder zijn dan optimum en (b) het relatieve risico hoger is bij het koude einde dan bij het warme eind van het temperatuurinterval moeten meer sterftes worden geassocieerd met temperaturen die kouder zijn dan optimum dan met warmere. Vandaar dat, als wereldopwarming elke kromme alleen maar naar rechts schuift, de totale mortaliteit zou moeten dalen. Deze daling zou verder versterkt worden door het feit dat wereldopwarming verondersteld wordt de winters meer op te warmen dan de zomers en nachten meer dan dagen.

Opmerkelijk is dat figuur 8 aangeeft dat het risico op sterfte 'niet alleen in koude klimaten s winters hoger is, maar ook in Thailand en Brazilië. De onderzoeksresultaten bevestigen ook dat mensen in het algemeen een voorkeur hebben voor hogere temperaturen, iets dat ook duidelijk is uit de migratie van gepensioneerden naar warmere gebieden (e.g. de 'Sun Belt' voor de Noord-Amerikanen en het zuiden van Frankrijk voor de Britten). In deze gebieden is het seizoenverschijnsel van 'excessieve winter mortaliteit' (EWM) – berekend als de toename in sterfte gedurende de koudste vier maanden boven het gemiddelde niveau voor de rest van het jaar – aanzienlijk hoger dan sterfte door extreme koude of extreme warmte. Bijvoorbeeld, excessieve winter mortaliteit kostte van 2003-12 jaarlijks 89.300 mensen het leven in de VS, terwijl extreme hitte en koude over 2006-10 jaarlijks gemiddeld respectievelijk 550 en 1100 doden kostte<sup>187, 188</sup>

In het bijzonder, de EWM in de VS alleen al overtreft in dezelfde periode van 2003-12 de totaal gemiddelde jaarlijkse sterfte wereldwijd, niet alleen voor extreme temperaturen (zowel warm als koud) – 14.400 – maar aan *alle* extreme weersgebeurtenissen – 35.200.<sup>189</sup> Dit is bijna zeker ook zo voor de Europese Unie en Japan.<sup>190</sup> Bijgevolg kan een kleine afname van wereld-EWM door wereldopwarming een netto toename overtreffen van sterfte door veranderingen in de frequentie en intensiteit van extreem weer.

Het patroon van hogere sterfte in de koudere maanden blijft ook van kracht voor sterfte door alle oorzaken in tropische en subtropische gebieden in China,<sup>191,192</sup> Bangladesh,<sup>193</sup> Koeweit,<sup>194</sup> en Tunesië.<sup>195</sup> Sterftcijfers blijken ook in de winter te pieken in Brazilië in Sao Paolo; in Mexico in Mexico City en Monterrey; in Chili in Santiago; in Zuid Afrika in Kaapstad en in Kenia in Nairobi (zie [Figuur 9](#)).<sup>196,197</sup> Verder blijkt in Cuba het sterftcijfer door hart- en vaatziekten, dat 37% is van de totale sterfte, te pieken in de koudere wintermaanden.<sup>199</sup>



**Figure 9: Cold risk in a warm country**

Time series for all-cause (weekly) mortality and temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in Nairobi, Kenya. The highest rates of death occur during periods of relative cold, which coincides with high amounts of rainfall. Source: Egondi et al. (2012).

### In het kort

De benadering gebruikt in de effectevaluatie van het IPCC lijdt daarom aan drie gebreken. Ten eerste vertrouwen ze op klimaatmodellen die de realiteitstest niet hebben gehaald. Ten tweede houden ze niet volledig rekening met de gunstige effecten van kooldioxide. Ten derde nemen ze impliciet aan dat de wereld er in 2100 niet veel anders uitziet dan nu – behalve dat er meer broeikasgassen worden uitgestoten en dat het klimaat veel warmer is.<sup>200</sup> In feiten nemen ze aan dat onze adaptieve capaciteit niet groter zal zijn dan die van vandaag. Maar de wereld van 2015 is al heel verschillend van die in 1990 en het idee dat de wereld van 2100 gelijk zal zijn aan het basisjaar 1950 is bijna lachwekkend. Bovendien spreekt deze aanname direct het volgende tegen:

- a) De basisveronderstelling van positieve economische groei die in elk van de onderliggende IPCC scenario's is ingebouwd
- b) De ervaring van de afgelopen kwart eeuw van relatief snelle technologische verandering en toenemende adaptieve capaciteit

Het wordt ook weerlegd door elke analyse van de veranderingen in de menselijke conditie en het leven van de gewone mens van generatie tot generatie, tenminste zover terug als het begin van de Industriële Revolutie.<sup>201,202</sup>

## 9 Conclusies van Deel II

Kooldioxideniveaus zijn onverbiddelijk gestegen sinds de jaren 1700. Maar desondanks, klimaatgevoelige indicatoren van welzijn voor mens en natuur die CO<sub>2</sub> direct beïnvloedt, zoals gewasopbrengsten, voedselproductie, terugdringen van honger, toegang tot schoner water en biologische productiviteit, en de indirect door CO<sub>2</sub> beïnvloede zoals levensstandaarden en levensverwachtingen zijn bijna overal gestegen. In bijna alle gebieden zijn ze nog nooit zo hoog geweest, noch tonen zij enig volhouden teken van terugval.<sup>203,204</sup>

## 10 Dankwoord

Ik ben Matt Ridley dankbaar voor zijn aanmoediging om dit werk te ondernemen, en dat hij als klankbord wilde fungeren. Het werk is onmetelijk verbeterd door zijn herzieningen van en commentaar op eerdere versies. Ik ben ook dankbaar voor Craig Idso, Will Happer, en andere recensenten, voor hun inzichtelijke en constructieve commentaren, en voor Andrew Montford voor zijn nauwgezette bewerking van het manuscript. Elke onvolkomenheid in dit artikel is echter mijn verantwoordelijkheid.

## Aantekeningen

1. Svante Arrhenius *Worlds in the Making: The Evolution of the Universe*, Harper & Bros, New York, 1908, p. 56. The two quotes are found on pp. 56 and 63 respectively.
2. <http://thinkprogress.org/person/joe/>.
3. For example Gillis J (2014),  
<http://www.nytimes.com/2014/08/27/science/earth/greenhouse-gas-emissions-are-growing-and-growing-more-dangerous-draft-of-un-report-says.html>.
4. See, for example, Freedman A (2008),  
[http://voices.washingtonpost.com/capitalweathergang/2008/01/ground\protect\\_truth.html](http://voices.washingtonpost.com/capitalweathergang/2008/01/ground\protect_truth.html). <http://voices.washingtonpost.com/>
5. For example, [http://www.huffingtonpost.com/margie-alt/time-for-climatedeniers-\protect\\_b\protect\\_5768168.html?utm\protect\\_hp\protect\\_ref=green](http://www.huffingtonpost.com/margie-alt/time-for-climatedeniers-\protect_b\protect_5768168.html?utm\protect_hp\protect_ref=green).
6. For example, Gillis J (2014),  
<http://www.nytimes.com/2014/08/27/science/earth/greenhouse-gas-emissions-are-growing-and-growing-more-dangerous-draft-of-un-report-says.html>.
7. For example, Freedman A (2008),  
[http://voices.washingtonpost.com/capitalweathergang/2008/01/ground\protect\\_truth.html](http://voices.washingtonpost.com/capitalweathergang/2008/01/ground\protect_truth.html).
8. <http://www.weather.com/news/science/environment/10-signs-global-warming-happening-now-20130618>
9. Press Release, Office of Sen. Ed Markey, Bicameral Task Force on Climate Change Applauds President Obama's Commitment to Climate Change Resilience Preparation (Nov. 1, 2013), <http://www.whitehouse.senate.gov/news/release/-bicameral-taskforce-on-climate-change-applauds-president-obamas-commitment-to-climatechange-resilience-preparation>.
10. DARA (2012), *Methodology Note: Methodological Documentation for the Climate Vulnerability Monitor*, 2nd edn. Available at [www.daraint.org/cvm2/method](http://www.daraint.org/cvm2/method).

11. Global Humanitarian Forum (2009), *Anatomy of a Silent Crisis: Human Impact Report – Climate Change*, Geneva. Available at <http://www.ghf-ge.org/human-impact-report.pdf>
12. In *Recherches chimiques sur la végétation* (1804; *Chemical Research on Vegetation*), Saussure proved Steven Hales's theory that plants absorb water and carbon dioxide in sunlight and increase in weight. He was thus one of the major founders in the study of photosynthesis. He further demonstrated that plants are dependent upon the absorption of nitrogen from soil. (*Encycl. Britannica*, <http://www.britannica.com/biography/Nicolas-Theodore-de-Saussure> 'Saussure, Nicolas-Théodore de', in *Complete Dictionary of Scientific Biography*, 2008. Encyclopedia.com, 25 Apr. 2014.
13. Mortensen LM (1987), Review: carbon dioxide enrichment in greenhouses: crop responses. *Scientia Horticulturae* 33:1–25.
14. Tisserat B and Vaughn SF (2003), Ultra-high carbon dioxide levels enhance loblolly pine seedling growth, morphogenesis, and secondary metabolism, *HortScience*, 38(6), 1083–1085.
15. Tisserat B, Vaughn SF, and Berhow MA (2008). Ultrahigh CO<sub>2</sub> levels enhances cuphea growth and morphogenesis. *industrial crops and products*, 27 (1), 133–135.
16. Frantz JM (2011), Elevating carbon dioxide in a commercial greenhouse reduced overall fuel carbon consumption and production cost when used in combination with cool temperatures for lettuce production. *Horttechnology* 21: 647–651.
17. Idso C (2013), *The positive externalities of carbon dioxide: Estimating the monetary benefits of rising atmospheric carbon dioxide concentrations on global food production*. Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change, 2013.
18. Reyes-Fox M, Steltzer H, Trlica MJ et al. (2014), Elevated carbon dioxide further lengthens growing season under warming conditions, *Nature* 510: 259–262, doi:10.1038/nature13207.
19. Taub DR (2010), Effects of rising atmospheric concentrations of carbon dioxide on plants. *Nature Education Knowledge* 1. Available at: <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/effects-of-rising-atmospheric-concentrations-23of-carbon-13254108> Last accessed 1 October 2011.
20. IPCC AR5 WGI (2013), p. 502; citations omitted.
21. 277 ppm in 1755. IPCC AR5 WGI (2013), Annex II, p. 1401.
22. IPCC AR5 WGI (2013), Annex II, p. 1401.
23. IPCC AR5 WGI (2013), p. 502.
24. Goklany IM (2007), Is a richer-but-warmer world better than poorer-but-cooler worlds? *Energy & Environment* 18: 1023–1048.
25. Goklany IM (2012), Is climate change the number one threat to humanity? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 3: 489–508, p. 499.
26. Goklany IM (2002), From precautionary principle to risk-risk analysis, *Nature Biotechnology* 20: 1075.
27. Bloom AJ, Burger M, Asensio JSR, and Cousins AB (2010), Carbon dioxide enrichment inhibits nitrate assimilation in wheat and Arabidopsis. *Science* 2010, 328: 899–903.
28. Kant S, Seneweera S, Rodin J et al. (2012), Improving yield potential in crops under elevated carbon dioxide: integrating the photosynthetic and nitrogen utilization efficiencies, *Frontiers in Plant Science*, 3: 162.

29. Bloom AJ, Burger M, Kimball BA, and Pinter PJ, Jr. (2014), Nitrate assimilation is inhibited by elevated carbon dioxide in field-grown wheat. *Nature Climate Change* 4: 477–480.
30. Bloom AJ, Burger M, Kimball BA, and Pinter PJ, Jr. (2014), Nitrate assimilation is inhibited by elevated carbon dioxide in field-grown wheat. *Nature Climate Change* 4: 477–480.
31. Kant S, Seneweera S, Rodin J et al. (2012), Improving yield potential in crops under elevated carbon dioxide: integrating the photosynthetic and nitrogen utilization efficiencies, *Frontiers in Plant Science*, 3: 162.
32. IPCC AR5 WGI (2013), p. 1401.
33. Attavanich W, McCarl BA (2014), How is carbon dioxide affecting yields and technological progress? A statistical analysis, *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-014-1128-x.
34. Idso C (2013), The positive externalities of carbon dioxide. Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change.
35. Oliveira da Silva CE and Ghini R (2014), Plant growth and leaf-spot severity on eucalypt at different carbon dioxide concentrations in the air. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49: 232–235.
36. Guo H, Sun Y, Ren Q, Zhu-Salzman K, Kang L, et al. (2012) Elevated carbon dioxide reduces the resistance and tolerance of tomato plants to *Helicoverpa armigera* by suppressing the JA signaling pathway. *PLoS ONE* 7(7): e41426.
37. Jwa NS and Walling LL (2001). Influence of elevated carbon dioxide concentration on disease development in tomato, *New Phytologist* 149: 509–518.
38. Watling JR and Press MC (2000). Infection with the parasitic angiosperm *Striga hermonthica* influences the response of the C3 cereal *Oryza sativa* to elevated carbon dioxide. *Global Change Biology* 6: 919–930.
39. Goufo P, Pereira J, Moutinho-Pereira J et al. (2014). Rice (*Oryza sativa* L.) phenolic compounds under elevated carbon dioxide (carbon dioxide) concentration. *Environmental and Experimental Botany* 99: 28–37.
40. Zeng Q, Liu B, Gilna B et al. (2011), Elevated carbon dioxide effects on nutrient competition between a C3 crop (*Oryza sativa* L.) and a C4 weed (*Echinochloa crusgalli* L.). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89: 93–104.
41. von Caemmerer S, Quick WP, and Furbank RT (2012). The development of C4 rice: Current progress and future challenges. *Science* 336 (6089): 1671–1672.
42. Brutnell TP, Wan L, Swartwood K, Goldschmidt A et al. (2010), *Setaria viridis*: a model for C4 photosynthesis. *The Plant Cell Online*, 22(8), 2537–2544.
43. Bacastow RB, Keeling CD and Whorf TP (1985). Seasonal amplitude increase in atmospheric carbon dioxide concentration at Mauna Loa, Hawaii, 1959–1982. *Journal of Geophysical Research* 90: 529–10, 540.
44. Graven HD, Keeling RF, Piper SC et al. (2013), Enhanced seasonal exchange of carbon dioxide by northern ecosystems since 1960. *Science* 341: 1085–1089.
45. IPCC (2013), AR5WG1, pp. 1401–2.
46. Zhu Z and Myneni RB (2014), A greener Earth (?) Global vegetation monitoring and modelling, Avignon, France, February 3 to 7, 2014.
47. Luo Y, Su B, Currie WS et al. (2004), Progressive nitrogen limitation of ecosystem responses to rising atmospheric carbon dioxide, *Bioscience* 54: 731–739.
48. Reich, PB and Hobbie SE (2013). Decade-long soil nitrogen constraint on the carbon dioxide fertilisation of plant biomass. *Nature Climate Change* 3(3): 278–282.

49. Dijkstra FA, Pendall E, Mosier AR et al. (2008), Long-term enhancement of N availability and plant growth under elevated carbon dioxide in a semi-arid grassland, *Functional Ecology* 22(6): 975–982.
50. Austin EE, Castro HF, Sides KE et al. (2009), Assessment of 10 years of carbon dioxide fumigation on soil microbial communities and function in a sweetgum plantation, *Soil Biology & Biochemistry* 41: 514–520.
51. Menge DNL, Hedin LO, Pacala SW (2012) Nitrogen and phosphorus limitation over long-term ecosystem development in terrestrial ecosystems. *PLoS ONE* 7(8): e42045. doi:10.1371/journal.pone.0042045
52. Ellsworth DS, Thomas R and Crous KY (2012), Elevated carbon dioxide affects photosynthetic responses in canopy pine and subcanopy deciduous trees over 10 years: a synthesis from Duke FACE, *Global Change Biology*, 18(1), 223–242.
53. Drake BG (2014). Rising sea level, temperature, and precipitation impact plant and ecosystem responses to elevated carbon dioxide on a Chesapeake Bay wetland: review of a 28-year study. *Global Change Biology* 20: 3329–3343.
54. Warren JM, Jensen AM, Medlyn BE, Norby RJ and Tissue DT (2015). Carbon dioxide stimulation of photosynthesis in *Liquidambar styraciflua* is not sustained during a 12- year field experiment. *AoB plants* 7: plu074.
55. FAOSTAT
56. Zeng N, Zhao F, Collatz GJ et al. (2014), Agricultural Green Revolution as a driver of increasing atmospheric carbon dioxide seasonal amplitude, *Nature* 515: 394–397.
57. Pan Y, Birdsey RA, Fang J et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988–993.
58. Pretzsch H, Biber P, Schütze G et al. (2014), Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870, *Nature Communications* 5, DOI: 10.1038/ncomms5967.
59. Keenan TF, et al. (2013), Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise, *Nature* 499.7458: 324–327.
60. Donohue RJ, Roderick ML, McVicar TR and Farquhar GD (2013) Carbon dioxide fertilisation has increased maximum foliage cover across the globe's warm, arid environments. *Geophysical Research Letters* 2013; DOI: 10.1002/grl.50563.
61. Fogel RW(1995), The contribution of improved nutrition to the decline in mortality rates in Europe and America. In: Simon JL (ed), *The State of Humanity*, Cambridge, MA: Blackwell, pp. 61–71.
62. Goklany IM (2007), The improving state of the world: why we're living longer, healthier, more comfortable lives on a cleaner planet. Cato Institute.
63. This is in the same ballpark as estimated by: Krausmann F et al. (2013), Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *PNAS* 110: 10324–10329.
64. Barnosky AD et al. (2012) Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486: 52–58.
65. Brown JH (2014) Why are there so many species in the tropics? *Journal of Biogeography* 41: 8–22.
66. Brown JH (2014) Why are there so many species in the tropics? *Journal of Biogeography* 41: 8–22.

67. This is qualitatively analogous to the notion of the velocity of money in economics. The faster money circulates the greater the economic growth, the wider the types of jobs, and more the number of jobs. Similarly, the faster the metabolic rate, the greater the number of species and their representatives.
68. Graven HD et al. (2013). Enhanced seasonal exchange of carbon dioxide by northern ecosystems since 1960. *Science* 341(6150): 1085–1089.
69. Roderick ML, Hobbins MT and Farquhar GD (2009). Pan evaporation trends and the terrestrial water balance. I. Principles and observations. *Geography Compass* 3(2):746–760.
70. Royer DL (2001). Stomatal density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric carbon dioxide concentration. *Review of Palaeobotany and Palynology* 114.1:1–28.
71. Köhler, IH, Macdonald A and Schnyder H (2012). Nutrient supply enhanced the increase in intrinsic water-use efficiency of a temperate seminatural grassland in the last century. *Global Change Biology* 18.11: 3367–3376.
72. Gagen M et al. (2011) Evidence of changing intrinsic water-use efficiency under rising atmospheric carbon dioxide concentrations in boreal Fennoscandia from subfossil leaves and tree ring  $\delta^{13}\text{C}$  ratios. *Global Change Biology* 17.2: 1064–1072.
73. Keenan TF et al. (2013) Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise. *Nature* 499.7458: 324–327.
74. Hietz P, Wanek W and Dunisch O (2005) Long-term trends in cellulose  $\delta^{13}\text{C}$  and water-use efficiency of tropical *Cedrela* and *Swietenia* from Brazil. *Tree Physiol* 25:745–752. doi:10.1093/treephys/25.6.745
75. Loader NJ et al. (2011) Recent trends in the intrinsic water-use efficiency of ringless rainforest trees in Borneo. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366.1582: 3330–3339.
76. Maseyk K et al. (2011) Increase in water-use efficiency and underlying processes in pine forests across a precipitation gradient in the dry Mediterranean region over the past 30 years. *Oecologia* 167.2: 573–585.
77. Gagen M et al. 2012 Evidence of changing intrinsic water-use efficiency under rising atmospheric carbon dioxide concentrations in boreal Fennoscandia from subfossil leaves and tree ring  $\delta^{13}\text{C}$  ratios. *Global Change Biology* 17.2: 1064–1072.
78. Lévesque M, Siegwolf R, Saurer M, Eilmann B, and Rigling, A. (2014). Increased water-use efficiency does not lead to enhanced tree growth under xeric and mesic conditions. *New Phytologist* 203(1): 94–109.
79. Peñuelas, J, Canadell JG and Ogaya R (2011) Increased water-use efficiency during the 20th century did not translate into enhanced tree growth. *Global Ecology and Biogeography* 20.4: 597–608.
80. Zhu Z and Myneni RB (2014), A greener Earth (?) Global vegetation monitoring and modelling, Avignon, France, February 3 to 7, 2014.
81. Donohue RJ, Roderick ML, McVicar TR and Farquhar GD (2013) carbon dioxide fertilisation has increased maximum foliage cover across the globe's warm, arid environments. *Geophysical Research Letters*. DOI: 10.1002/grl.50563.
82. IPCC AR5 WG2, Box CC-VW, p. 158.

83. Haworth, M, Elliott-Kingston C and McElwain JC (2013) Co-ordination of physiological and morphological responses of stomata to elevated [carbon dioxide] in vascular plants. *Oecologia* 171: 71–82.
84. Ukkola AM and Prentice IC (2013) A worldwide analysis of trends in water-balance evapotranspiration. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17: 4177–4187.
85. Dai A, Qian T, Trenberth KE and Milliman JD (2009) Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate* 22(10): 2773–2792.
86. Ukkola AM and Prentice IC (2013) A worldwide analysis of trends in water-balance evapotranspiration. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17: 4177–4187.
87. Saurer, M et al. (2014) Spatial variability and temporal trends in water-use efficiency of European forests. *Global Change Biology* 20.12: 3700–3712.
88. IPCC AR5 WG2, Box CC-VW, p. 158.
89. Gerten D et al. (2011) Global water availability and requirements for future food production. *Journal of Hydrometeorology* 12(5): 885–899.
90. Konzmann M, Gerten D and Heinke J (2013) Climate impacts on global irrigation requirements under 19 GCMs, simulated with a vegetation and hydrology model. *Hydrological Sciences Journal* 58(1): 88–105.
91. Wiltshire, Andrew, et al. "The importance of population, climate change and carbon dioxide plant physiological forcing in determining future global water stress." *Global Environmental Change* 23.5 (2013): 1083–1097.
92. Wiltshire, A et al. (2013) The importance of population, climate change and carbon dioxide plant physiological forcing in determining future global water stress. *Global Environmental Change* 23.5: 1083–1097.
93. Hofmann GE, Smith JE, Johnson KS, Send U, Levin LA, et al. (2011) High-frequency dynamics of ocean pH: A multi-ecosystem comparison. *PLoS ONE* 6(12): e28983. doi:10.1371/journal.pone.0028983
94. Iglesias-Rodriguez MD et al. (2008). Phytoplankton calcification in a high-carbon dioxide world. *Science* 320(5874): 336–340.
95. Duarte CM, et al. (2015), Reconsidering ocean calamities. *BioScience* 65(2): 130–139.
96. Li W, Gao K and Beardall J (2012). Interactive effects of ocean acidification and nitrogen-limitation on the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *PLOS ONE* 7: e51590.
97. Vogel N and Uthicke S (2012). Calcification and photobiology in symbiont-bearing benthic foraminifera and responses to a high carbon dioxide environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 424–425: 15–24.
98. Palacios SL and Zimmerman RC (2007). Response of eelgrass *Zostera marina* to carbon dioxide enrichment: possible impacts of climate change and potential for remediation of coastal habitats. *Marine Ecology Progress Series* 344: 1–13.
99. Hendriks IE, Duarte CM and Alvarez M(2010). Vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification: a meta-analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 86: 157–164.
100. Idso SB, Idso CD and Idso KE (2000). Carbon dioxide, global warming and coral reefs: Prospects for the future. *Technology* 7S: 71–94.
101. Muscatine L et al. (2005). Stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) of organic matrix from coral skeleton. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 1525–1530.



102. Kleypas JA, Anthony KRN and Gattuso J-P (2011). Coral reefs modify their seawater carbon chemistry—case study from a barrier reef (Moorea, French Polynesia). *Global Change Biology* 10.1111/j.1365–2486.2011. 02530.x.
103. Findlay HS et al. (2009). Calcification, a physiological process to be considered in the context of the whole organism. *Biogeosciences Discussions* 6: 2267– 2284.
104. Thomsen J et al. (2013). Food availability outweighs ocean acidification effects in juvenile *Mytilus edulis* : laboratory and field experiments. *Global Change Biology* 19(4):1017–1027.
105. Castillo KD et al. (2014) The reef-building coral *Siderastrea siderea* exhibits parabolic responses to ocean acidification and warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. DOI: 10.1098/rspb.2014.1856
106. Silverstein RN, Correa AMS and Baker AC. 2012. Specificity is rarely absolute in coral–algal symbiosis: implications for coral response to climate change. *Proceedings of the Royal Society B* 279: 2609–2618.
107. Hendriks IE, Duarte CM and Alvarez M(2010). Vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification: a meta-analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 86: 157–164.
108. Lough JM, and Cantin NE (2014), Perspectives on massive coral growth rates in a changing ocean, *Biological Bulletin* 226: 187–201.
109. International Coral Reef Initiative (2014), Status of and threat to coral reefs: Why are coral reefs threatened? <http://www.icriforum.org/about-coral-reefs/status-and-threat-coral-reefs> , visited September 9, 2014.
110. Vega Thurber RL et al. (2014). Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Glob. Chang. Biol.* 20: 544–554. 10.1111/gcb.12450.
111. See: <http://climate.nasa.gov/effects/#ft7> and <http://bit.ly/18ltQnO> and <http://huff.to/1pSWN4y> .
112. FAO (2013) Food security indicators, <http://bit.ly/14FRxGV> .
113. Goklany IM (2011) Could biofuel policies increase death and disease in developing countries? *Journal of American Physicians and Surgeons* 16(1): 9–13.
114. Gregory JM et al. (2013), Twentieth-century global-mean sea level rise: is the whole greater than the sum of the parts? *J. Climate* 26: 4476–4499.
115. Jevrejeva S, Moore JC, Grinsted A et al.(2014) Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807, *Global and Planetary Change* 113: 11–22.
116. See also <http://hockeyschtick.blogspot.nl/2013/11/new-paper-finds-sea-level-rise-has.html>
117. IPCC AR5 WG1 (2013), Chapter 13, p. 1150.
118. Chen X, Feng Y and Huang NE (2013). Global sea level trend during 1993–2012. *Global and Planetary Change* 112: 26–32.
119. Cazenave A, Dieng H-B, Meyssignac B et al. (2014), The rate of sea-level rise, *Nature Climate Change*. doi:10.1038/nclimate2159.
120. Haigh ID, Wahl T, Eelco JR and Price RM (2014), Timescales for detecting a significant acceleration in sea level rise. *Nature Communications* 5. DOI:10.1038/ncomms4635.
121. University of Southampton. ‘Back to the future to determine if sea level rise is accelerating.’ *ScienceDaily*, 9May 2014. [www.sciencedaily.com/releases/2014/05/140509074116.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2014/05/140509074116.htm)

122. NOAA/GFDL (2007) Will the wet get wetter and the dry drier?  
<http://www.gfdl.noaa.gov/will-the-wet-get-wetter-and-the-dry-drier>
123. Lau WKM, Wu HT and Kim KM (2013), A canonical response of precipitation characteristics to global warming from CMIP5 models, *Geophys. Res. Lett.* 40: 3163–3169. doi:10.1002/grl.50420.
124. IPCC AR5 WG2 (2013), Chapter 3, p. 240.
125. Sun F, Roderick ML and Farquhar GD (2012), Changes in the variability of global land precipitation, *Geophys. Res. Lett.* 39: L19402. doi:10.1029/2012GL053369.
126. Greve P, Orlowsky B, Mueller B et al. (2014) Global assessment of trends in wetting and drying over land, *Nature Geoscience*. doi:10.1038/ngeo2247.
127. Pielke R, Jr, Statement to the Committee on Environment and Public Works, United States Senate hearing on climate change: It's happening now, 18 July 2013, available at <http://1.usa.gov/1oadXsM> [http://www.epw.senate.gov/public/\\_cache/files/a6df9665-e8c8-4b0f-a550-07669df48b15/71813hearingwitness testimonypielke.pdf](http://www.epw.senate.gov/public/_cache/files/a6df9665-e8c8-4b0f-a550-07669df48b15/71813hearingwitness testimonypielke.pdf)
128. IPCC SREX: IPCC (2012), Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, pp. 6, 7.
129. IPCC WGI AR5 (2013), pp. 162, 163, 214, 215.
130. Hao Z, Agha Kouchak A, Nakhjiri N and Farahmand A (2014), Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*. doi:10.1038/sdata.2014.1.
131. Kundzewicz ZW, Kanae S, Seneviratne SI et al. (2014), Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal* 59: 1–28. DOI: 10.1080/02626667.2013.857411
132. Maue R (2014), <http://policlimate.com/tropical/> , visited August 21, 2014.
133. 133. See <http://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events/us-tornado-climatology/trends> and also <http://www.spc.noaa.gov/climo/online/monthly/newm.html> , visited August 21, 2014. Note that the count of strong-to violent tornadoes is less likely to be affected by improvements in detection and measurement techniques over time.
134. Goklany IM (2011), Wealth and safety: the amazing decline in deaths from extreme weather in an era of global warming, 1900–2010. Reason Institute.
135. IPCC SREX: IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, p. 7.
136. WHO (1999), Roll back malaria. *World Health Report* 1999.
137. WHO (2013), *World Malaria Report 2013*, Annex 6B.
138. Gething PW, Smith DL, Patil AP et al. (2010), *Climate change and the global malaria recession*. *Nature* 465: 342–345.
139. Updated from Goklany IM (2011), 'Economic development in developing countries: advancing human wellbeing and the capacity to adapt to climate change,' in: Michaels PJ, ed., *Climate Coup: Global Warming's Invasion of Our Government and Our Lives*. Washington, DC: Cato Institute, pp. 157–184, using World Development Indicators, visited August 18, 2014.
140. World Bank (2014), PovcalNet, at <http://iresearch.worldbank.org/PovcalNet/index.htm?1> , visited August 18, 2014.
141. World Bank (2014), World Development Indicators, 18 August 2014.

142. Demand for food and the prevalence of hunger and malnutrition depend as much on consumer incomes as on food prices which are constantly modulated by the opportunity to trade.
143. Fyfe JC, Gillett NP and Zwiers W(2013), Overestimated global warming over the past 20 years. *Nature Climate Change* 3: 767.
144. The number following the  $\pm$  sign indicates the 95% confidence interval. Thus, a trend of  $0.30\pm 0.02^{\circ}\text{C}$  per decade informs the reader that the researchers are 95% confident that the decadal trend is between  $0.28$  and  $0.32^{\circ}\text{C}$ .
145. IPCC AR5 WG1 (2013): 769.
146. IPCC AR5 WG1 (2013): 769.
147. IPCC AR5 WG1 (2013), Annex II: 1435.
148. See, for example Yang J, Gong P, Fu R et al. (2013), The role of satellite remote sensing in climate change studies. *Nature climate change* 3(10): 875–883.
149. Goklany IM (2009), *Trapped between the falling sky and the rising seas: the imagined terrors of the impacts of climate change*. Prepared for University of Pennsylvania Workshop on Markets and the Environment, 13 December 2009.
150. Remote Sensing Systems (2014), at <http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature> , visited June 11, 2014; University of Alabama, Huntsville, MSU data, at <http://bit.ly/1Km1blX> . These data are for the temperature of the lower troposphere, which is slightly higher than the surface temperature. Therefore, the divergence between the model results and reality at the surface is greater than the numbers suggest.
151. IPCC 1992: 6.
152. IPCC WGI 1995: 6.
153. McNider R, and Christy J (2014), 'Why Kerry is flat wrong on climate change', *Wall Street Journal*, February 19.
154. <http://350.org>.
155. NOAA ESRL, <http://1.usa.gov/1EZDKaE> , visited 17 October 2014.
156. World Bank, World Development Indicators, <http://databank.worldbank.org/data/databases.aspx> , visited 18 October 2014.
157. World Bank, PovcalNet, <http://iresearch.worldbank.org/PovcalNet/index.htm?1> , 18 October 2014.
158. See for example McMichael A et al. (2004) Climate change. In: *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease due to Selected Major Risk Factors* (Ezzati M et al. (eds). Geneva: World Health Organization, pp. 1543–1649.
159. DARA (2012), *Methodology Note: Methodological Documentation for the Climate Vulnerability Monitor*, 2nd edn. Available at: <http://www.daraint.org/cvm2/method> .
160. Global Humanitarian Forum (2009), *Anatomy of a silent crisis: Human impact report – climate change*, Geneva. Available at <http://www.ghf-ge.org/human-impact-report.pdf> .
161. Goklany IM (2009), *Trapped between the falling sky and the rising seas: the imagined terrors of the impacts of climate change*. Prepared for University of Pennsylvania Workshop on Markets and the Environment, draft, 13 December 2009: 12–13.
162. Goklany 2012: 491.

163. Pierce DW, Cayan DR, Das T et al. (2013), The key role of heavy precipitation events in climate model disagreements of future annual precipitation changes in California, *J. Climate*, 26: 5879–5896.
164. Goklany IM (2007), pp. 1034–35.
165. Goklany IM (2012), p. 499.
166. The world's oldest dams still in use. Water Technology website, October 21, 2013. <http://www.water-technology.net/features/feature-the-worlds-oldest-dams-still-in-use/> .
167. Qanats. WaterHistory.org website, <http://www.waterhistory.org/histories/qanats/>
168. IPCC AR5WG2, Chapter 7, p. 506, Figure 7–7. According to this figure, yields considering adaptation are marginally worse than yields without adaptation in tropical areas. Similarly, Figure 7–4, p. 498, indicates that maize yields in tropical areas would on average be lower with adaptation. Fortunately, Chapter 7 recognizes that such adaptations are unlikely to be implemented. See p. 516, Figure 7–8. However, such absurd results – and the amount of ink devoted to them in the chapter– do not inspire confidence in the impacts assessment.
169. Goklany IM (2012), 498–99.
170. Goklany IM (2007), Is a richer-but-warmer world better than poorer-but-cooler worlds? *Energy & Environment* 18: 1023–1048.
171. Goklany, IM (2007) Integrated strategies to reduce vulnerability and advance adaptation, mitigation, and sustainable development. *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change* DOI 10.1007/s11027–007–9098–1. <http://goklany.org/library/Goklany-IAM2007.pdf> .
172. Goklany, IM (1996). *Factors affecting environmental impacts: the effects of technology on long term trends in cropland, air pollution and water-related diseases*. *Ambio* 25: 497–503.
173. Goklany, IM (2012). Is climate change the number one threat to humanity? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 3: 489–508.
174. Goklany IM (2007), The improving state of the world: why we're living longer, healthier, more comfortable lives on a cleaner planet. Cato Institute, Washington, DC.
175. IPCC AR5WG2, Chapter 7, p. 492, Figure 7–2.
176. Ibid. Remarkably, according to Figure 7–2, the studies that considered carbon dioxide suggest that the carbon dioxide effect reduces yields.
177. Lobell DB, Schlenker W and Costa-Roberts J (2011) Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333(6042): 616–620.
178. Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B et al. (2014), Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology*, 25 (6), 781–789.
179. Vardoulakis S, Dear K, Hajat S, Heaviside C and Eggen B (2014). Comparative assessment of the effects of climate change on heat-and cold-related mortality in the United Kingdom and Australia. *Environmental Health Perspectives* 122: 1285–1292.
180. Wu W et al. (2013) Temperature–mortality relationship in four subtropical Chinese cities: A time-series study using a distributed lag non-linear model. *Science of the Total Environment*, 449: 355–362.
181. Yi W and Chan AP (2014) Effects of temperature on mortality in Hong Kong: a time series analysis. *International Journal of Biometeorology*, 1–10.

182. Falagas ME, Karageorgopoulos DE, Moraitis LI, Vouloumanou EK, Roussos N, Peppas G and Rafailidis PI (2009). Seasonality of mortality: the September phenomenon in Mediterranean countries. *Canadian Medical Association Journal* 181: 484–6.
183. Goklany IM (2012), Global warming policies might be bad for your health. Global Warming Policy Foundation, London. ISBN: 978–0-9566875–7-9.
184. Guo Y et al. (2014) Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology* 25(6): 781–789.
185. Deschenes O (2014) Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature, *Energy Economics* 46: 606–619.
186. Deschenes O (2014) Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature, *Energy Economics* 46: 606–619.
187. U.S. data updated from Goklany IM (2012), Global warming policies might be bad for your health. Global Warming Policy Foundation, London. ISBN: 978–0-9566875–7-9.
188. Berko J et al. (2014). Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006–2010. *National Health Statistics Reports* 76; 1–16.
189. EM-DAT (2014). The OFDA/CRED International Disaster Database. Université Catholique de Louvain. Available at <http://www.em-dat.net> . Data downloaded on 21 December 2014.
190. Goklany IM (2012), Global warming policies might be bad for your health. Global Warming Policy Foundation, London. ISBN: 978–0-9566875–7-9.
191. Wu W et al. (2013) Temperature–mortality relationship in four subtropical Chinese cities: A time-series study using a distributed lag non-linear model. *Science of the Total Environment* 449: 355–362.
192. Yi W and Chan AP (2014). Effects of temperature on mortality in Hong Kong: a time series analysis. *International journal of biometeorology*, 1–10.
193. Burkart K et al. (2011). Seasonal variations of all-cause and cause-specific mortality by age, gender, and socioeconomic condition in urban and rural areas of Bangladesh. *International Journal for Equity in Health* 10(1): 32.
194. Douglas AS, al-Sayer H, Rawles JM and Allan TM (1991). Seasonality of disease in Kuwait. *Lancet* 337(8754): 1393–7.
195. Woodhouse, P.R. (1993). Why do more old people die in winter? *Journal of the Hong Kong Geriatric Society* 3: 23–29.
196. McMichael AJ et al. (2008). International study of temperature, heat and urban mortality: the ‘ISOTHURM’ project. *International Journal of Epidemiology* 37(5): 1121–1131.
197. Egondi T et al. (2012). Time-series analysis of weather and mortality patterns in Nairobi’s informal settlements. *Global Health Action* 5: 23–32.
198. CDC, WONDER Database, Underlying cause of death, detailed mortality. Available at <http://wonder.cdc.gov/> .
199. Marie GC, González RT and Palanco IM(2009). Seasonal Variation in mortality for five main death causes. Cuba, 1996–2006. *The Internet Journal of Epidemiology* 6(2). Available at <http://bit.ly/1HjUDhG> , visited 6 May 2011.
200. The present is generally taken to be 1990, although some newer studies employ baselines in the early 2000s. See e.g. IPCC AR5 WG2 (2014), p. 498: ‘Some of the studies have associated temporal baselines, with centre-points typically between 1970 and 2005.’  
Caption for Figure 7–4.

201. Ridley, *The Rational Optimist*.
202. Goklany IM, *Humanity Unbound*.
203. Ridley, *The Rational Optimist*.
204. Goklany, *The Improving State of the World*.