

Het klimaatrapport voor 2023: Op onbekend terrein

William J. Ripple, Christopher Wolf , Jillian W. Gregg, Johan Rockström, Thomas M. Newsome, Beverly E. Law, Luiz Marques, Timothy M. Lenton, Chi Xu, Saleemul Huq, Leon Simons en Sir David Anthony King.

William J. Ripple (bill.ripple@oregonstate.edu) is verbonden aan het Department of Forest Ecosystems and Society van de Oregon State University (OSU), in Corvallis, Oregon, in de Verenigde Staten en het Conservation Biology Institute (CBI), in Corvallis, Oregon, in de Verenigde Staten. Christopher Wolf (christopher.wolf@oregonstate.edu) en Jillian W. Gregg zijn verbonden aan Terrestrial Ecosystems Research Associates, in Corvallis, Oregon, in de Verenigde Staten. Johan Rockström is verbonden aan het Potsdam Institute for Climate Impact Research in Potsdam, Duitsland. Thomas M. Newsome is verbonden aan de School of Life and Environmental Sciences van de Universiteit van Sydney, in Sydney, New South Wales, Australië. Beverly E. Law is verbonden aan de afdeling Bos-ecosystemen en Samenleving van OSU en het CBI. Luiz Marques is verbonden aan de Staatsuniversiteit van Campinas-Unicamp en aan het Centrum voor Onderzoek naar Energie en Materialen in Campinas, in de staat São Paulo, Brazilië. Timothy M. Lenton is verbonden aan het Global Systems Institute van de Universiteit van Exeter, in Exeter, Engeland, in het Verenigd Koninkrijk. Chi Xu is verbonden aan de School of Life Sciences van Nanjing University, in Nanjing, China. Saleemul Huq is verbonden aan het International Centre for Climate Change and Development van de Independent University Bangladesh, in Dhaka, Bangladesh. Leon Simons is verbonden aan de Club van Rome Nederland, in 's-Hertogenbosch, Nederland. Sir David Anthony King is verbonden aan de afdeling Scheikunde van het Downing College van de Universiteit van Cambridge in Cambridge, Engeland, Verenigd Koninkrijk. Co-lead auteurs William J. Ripple en Christopher Wolf hebben in gelijke mate bijgedragen aan het werk.

Het leven op de planeet Aarde wordt belegerd. We bevinden ons nu in onbekend gebied. Al tientallen jaren waarschuwen wetenschappers consequent voor een toekomst die gekenmerkt wordt door extreme klimatologische omstandigheden als gevolg van de steeds hogere temperaturen op aarde die worden veroorzaakt door voortdurende menselijke activiteiten waarbij schadelijke broeikasgassen vrijkomen in de atmosfeer. Gelukkig is de tijd om. We zien de manifestatie van die voorspellingen nu een alarmerende en ongekende opeenvolging van cliëntracords wordt gebroken, waardoor zich diep schrijnende taferelen van leed ontvouwen. We betreden een onbekend terrein met betrekking tot onze klimaatcrisis, een situatie die niemand ooit van dichtbij heeft meegemaakt in de geschiedenis van de mensheid.

In dit rapport tonen we een diverse reeks vitale tekenen van de planeet en de potentiële drijvende krachten achter klimaatverandering en klimaatgerelateerde reacties die voor het eerst werden gepresenteerd door Ripple en Wolf en collega's (2020), die een klimaatnoodtoestand uitriepen, nu met meer dan 15.000 ondertekenaars uit de wetenschap. De trends onthullen nieuwe all-time klimaatgerelateerde records en zeer verontrustende patronen van klimaatgerelateerde rampen. Tegelijkertijd melden we minieme vorderingen van de mensheid in de strijd tegen klimaatverandering. Gezien deze verontrustende ontwikkelingen is het ons doel om feiten en beleidsaanbevelingen over te brengen aan wetenschappers, beleidsmakers en het publiek. Het is de morele plicht van ons wetenschappers en onze instellingen om de mensheid duidelijk te waarschuwen voor elke potentiële existentiële bedreiging en om leiderschap te tonen bij het nemen van maatregelen. Dit rapport maakt deel uit van onze reeks beknopte en gemakkelijk toegankelijke jaarlijkse updates over de stand van zaken van de klimaatcrisis.

Klimaatgerelateerde all-time records

In 2023 waren we getuige van een buitengewone reeks klimaatgerelateerde records die wereldwijd werden gebroken. Het snelle tempo van de veranderingen heeft wetenschappers verbaasd en bezorgdheid veroorzaakt over de dan- gers van extreem weer, riskante klimaatfeedbackloops en het eerder dan verwacht naderen van schadelijke omslagpunten (Armstrong McKay et al. 2022, Ripple et al. 2023). Dit jaar,

Buitengewone hittegolven hebben de wereld overspoeld en tot recordhoge temperaturen geleid. De oceanen zijn historisch warm, met wereldwijde en Noord-Atlantische zeeoppervlaktetemperaturen die beide records breken en ongekend lage niveaus van zeeijs rond Antarctica (figuur 1a-1d). Bovendien was juni tot en met augustus van dit jaar de warmste periode ooit gemeten en begin juli waren we getuige van de hoogste mondiale daggemiddelde oppervlaktetemperatuur ooit gemeten, mogelijk de warmste temperatuur op aarde in de afgelopen 100.000 jaar (figuur 1e). Het is een teken dat we onze planetaire systemen in een gevaarlijke instabiliteit duwen.

We begeven ons op onbekend klimaatgebied. Vóór 2000 kwam het mondiale daggemiddelde van de temperatuur nooit boven de 1,5 graad Celsius (°C) boven het preindustriële niveau uit en sindsdien is dat cijfer slechts af en toe overschreden. In 2023 hebben we echter al

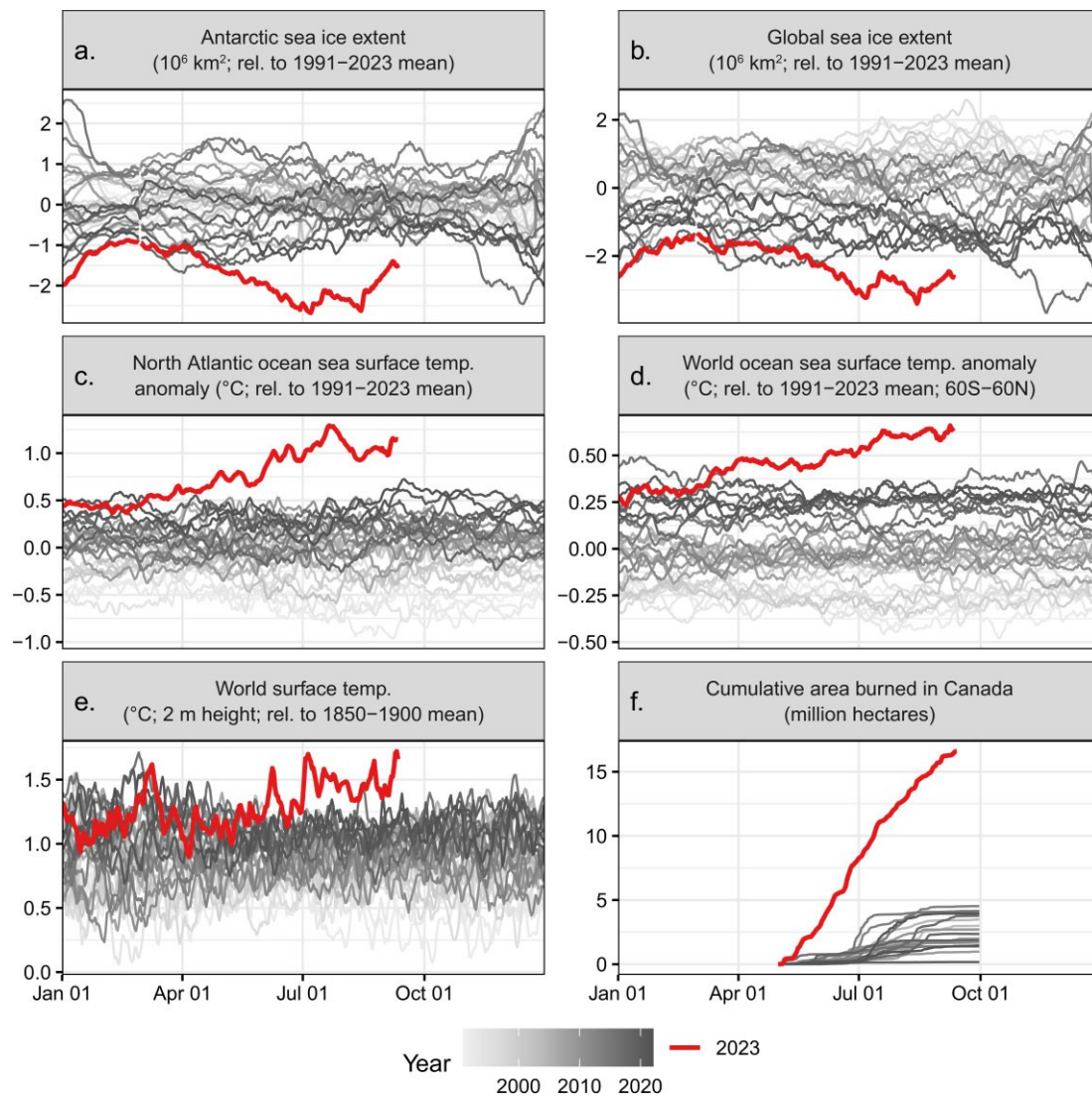
38 dagen met een gemiddelde temperatuur van meer dan 1,5°C op 12 september - meer dan in enig ander jaar - en het totaal kan blijven stijgen. Nog opvallender zijn de enorme marges waarmee de omstandigheden in 2023 de extremen uit het verleden overtreffen (figuur 1). Op dezelfde manier bereikte het Antarctische zee-ijz op 7 juli 2023 zijn laagste dagelijkse relatieve omvang sinds de komst van satellietgegevens, met 2,67 miljoen vierkante kilometer onder het gemiddelde van 1991-2023 (figuur 1a). Andere variabelen die ver buiten hun historische bereik liggen, zijn onder andere het verbrande gebied door bosbranden in Canada (figuur 1f), wat kan duiden op een omslagpunt naar een nieuw brandregime.

Antropogene opwarming van de aarde is een belangrijke oorzaak van veel van deze recente extremen. De specifieke drijvende processen die hierbij betrokken zijn, kunnen echter behoorlijk complex zijn. Stijgende temperaturen in de Atlantische oceaan kunnen bijvoorbeeld verband houden met regenval in de Sahel en stof in Afrika (Wang et al. 2012). Een andere mogelijke bijdrage is waterdamp (een broeikasgas) die in de stratosfeer wordt geïnjecteerd door een onderwa- ter vulkaanuitbarsting (Jenkins et al. 2023). De recente stijging kan ook verband houden met een verandering in de regelgeving die het gebruik van zwavelarme brandstoffen in de zeescheepvaart verplicht stelt, omdat atmosferische sulfaataerosolen het zonlicht direct verstrooien en reflecterende wolken veroorzaken.

Ontvangen: 24 augustus 2023. **Aanvaard:** 30 augustus 2023

© De auteur(s) 2023. Uitgegeven door Oxford University Press namens het American Institute of Biological Sciences.

Alle rechten voorbehouden. Voor toestemming kunt u een e-mail sturen naar: journals.permissions@oup.com



Figuur 1. Ongewone klimaat anomalieën in 2023 (de rode lijn, die vetgedrukt is). De omvang van het zee-ijs (a, b), de temperaturen (c-e) en het verbrande areaal in Canada (f) liggen momenteel ver buiten hun historische bereik. Deze afwijkingen kunnen het gevolg zijn van zowel klimaatverandering als andere factoren. Bronnen en aanvullende details over elke variabele zijn te vinden in [supplement S1](#). Elke lijn komt overeen met een ander jaar, waarbij donkergrijs staat voor latere jaren.

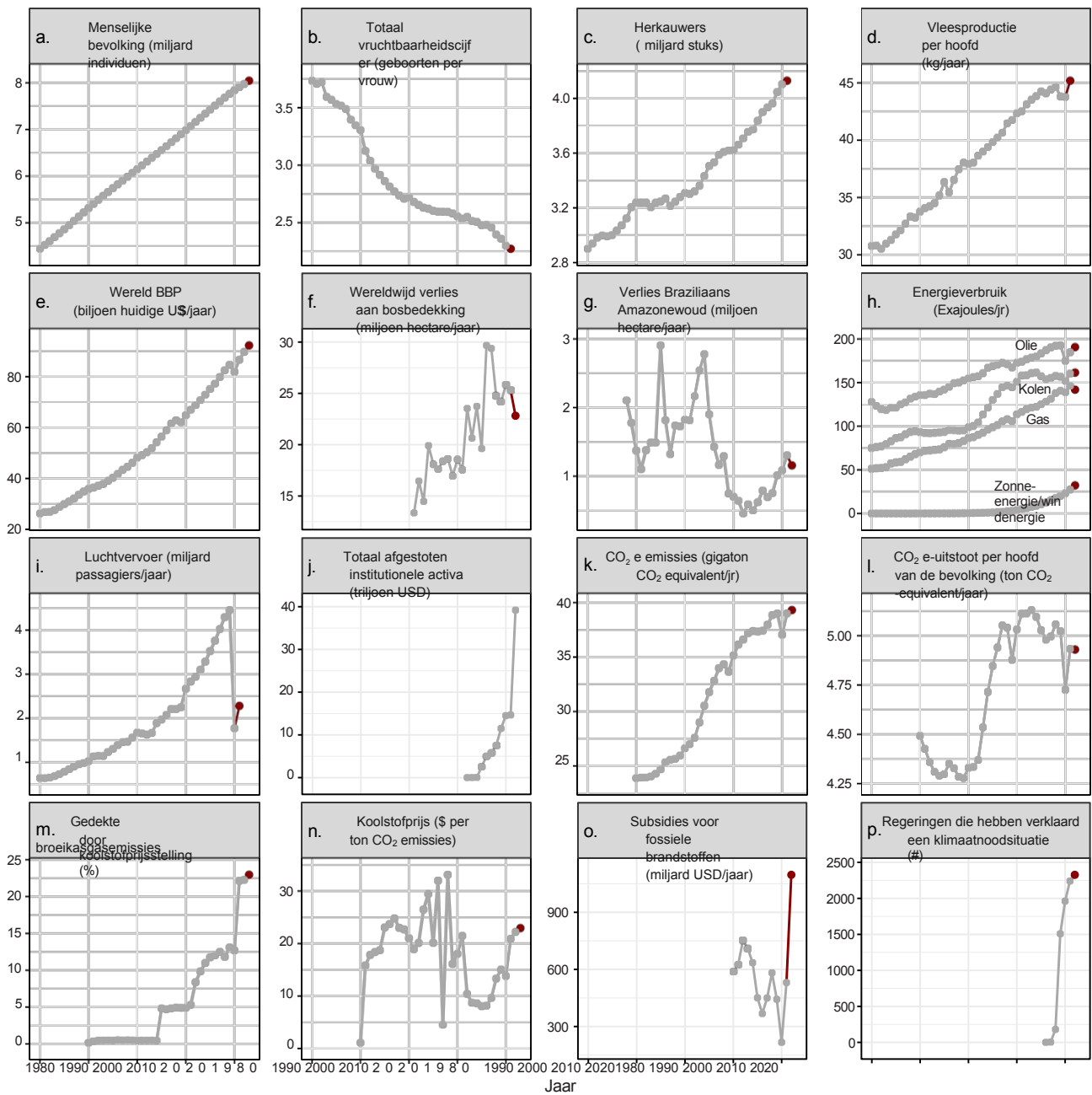
(zie [aanvullend bestand S1](#) voor een uitgebreide discussie). De zuidelijke temperatuurstijging is waarschijnlijk ook het gevolg van een El Niño-gebeurtenis - een natuurlijk onderdeel van het klimaatstelsel, dat zelf beïnvloed zou kunnen worden door klimaatverandering (Cai et al. 2021). Hoe dan ook, naarmate het klimaatstelsel van de aarde zich verwijdert van omstandigheden die geassocieerd worden met de bloei van de mens, kunnen dergelijke afwijkingen vaker voorkomen en in toenemende mate catastrofale gevolgen hebben (Xu et al. 2020, Lenton et al. 2023).

Recente trends in planetaire vitale functies

Op basis van tijdreeksgegevens vertonen 20 van de 35 vitale parameters nu extremen (figuren 2 en 3, [aanvullende tabel S1](#)). Zoals we hieronder beschrijven, laten deze gegevens zien hoe het voortzetten van business as usual ironisch genoeg heeft geleid tot een ongekende druk op het aardsysteem, waardoor veel klimaatgerelateerde variabelen zich op onbekend terrein bevinden (figuren 1 en 3).

Energie

Het lijkt erop dat het groene herstel na COVID-19, waarop velen hadden gehoopt, grotendeels is uitgebleven (Zhang et al. 2023). In plaats daarvan zijn de koolstofemissies blijven stijgen en blijven fossiele brandstoffen dominant, met een jaarlijks verbruik van steenkool dat in 2022 een recordhoogte van 161,5 exajoule bereikte (figuur 2h). Hoewel het verbruik van hernieuwbare energie (zonnepanelen en wind) tussen 2021 en 2022 met een robuuste 17% is gestegen, blijft het ruwweg 15 keer lager dan het energieverbruik van fossiele brandstoffen (figuur 2h). Een belangrijke drijvende kracht achter de economische en energietrends is de huidige inval van Rusland in Oekraïne, die de overgang naar hernieuwbare energie in Europa heeft versneld, maar die er ook toe kan leiden dat sommige landen overschakelen van door Rusland geleverd gas op steenkool (Tollefson 2022). Dit conflict heeft nu al bijgedragen aan een enorme stijging van 107% van de subsidies voor fossiele brandstoffen, van 531 miljard dollar in 2021 naar 1097 miljard dollar in 2022, vanwege de stijgende energieprijzen (figuur 2o). Hoewel deze subsidies consumenten gedeeltelijk kunnen beschermen tegen prijsstijgingen, zijn ze vaak niet goed gericht en helpen ze het gebruik van fossiele brandstoffen en de winsten



Figuur 2. Tijdreeks van klimaatgerelateerde menselijke activiteiten. Gegevens die zijn verkregen sinds de publicatie van Ripple en collega's (2021) worden weergegeven in rood (donkergrijs in druk). In paneel (f) houdt het verlies aan bosbedekking geen rekening met bosaanwas en omvat het een verlies door welke oorzaak dan ook. Voor paneel (h) zijn hydro-elektriciteit en kernenergie weergegeven in [figuur S1](#). Bronnen en aanvullende details over elke variabele zijn te vinden in [supplementair bestand S1](#).

Bossen

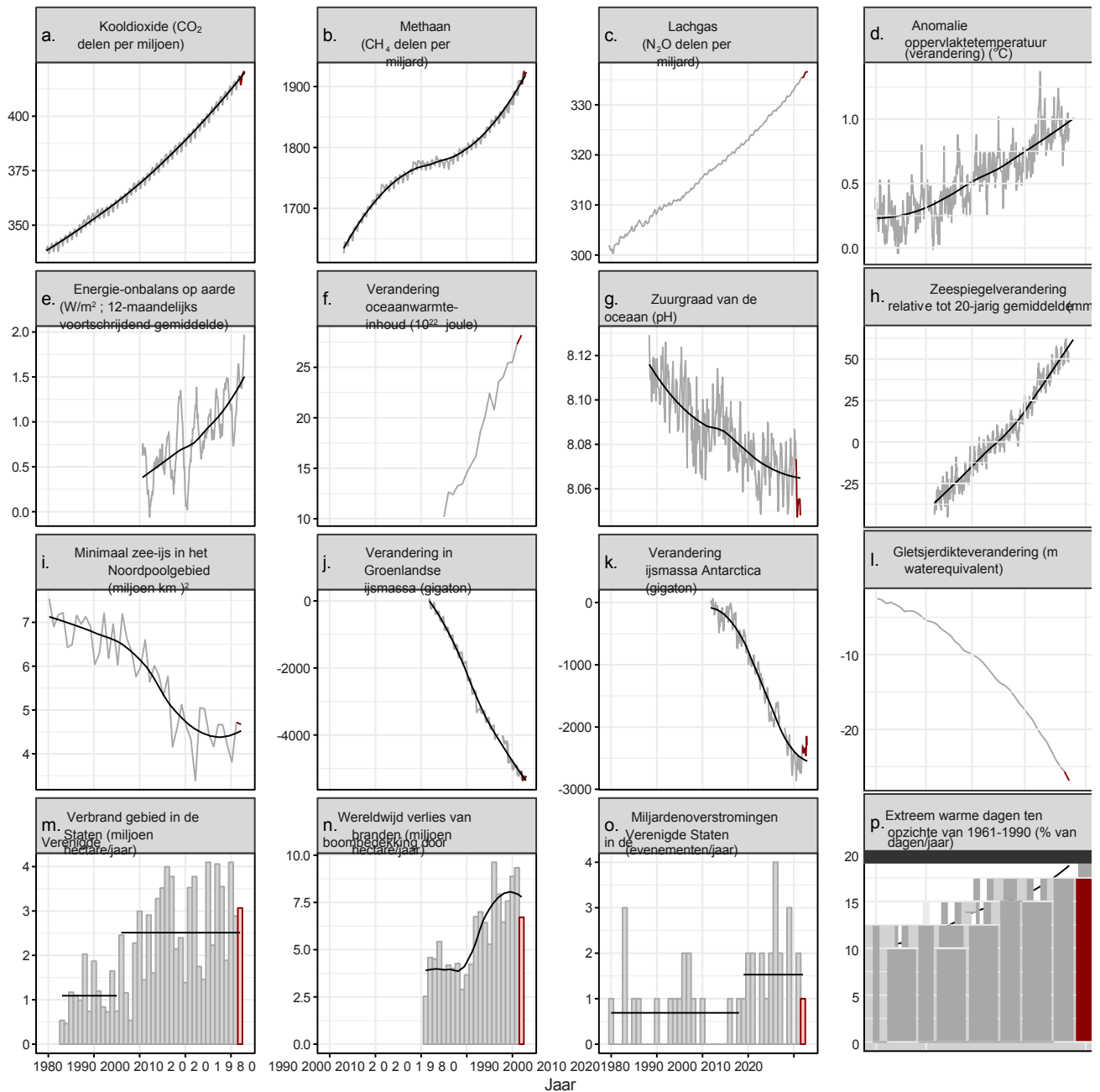
Tussen 2021 en 2022 daalde het verlies aan bosbedekking wereldwijd met 9,7% tot 22,8 miljoen hectare (ha) per jaar (figuur 2f). Op dezelfde manier daalde het verlies aan bos in het Braziliaanse Amazonegebied met 11,3% tot 1,16 miljoen hectare per jaar (figuur 2g), en verdere reducties zullen waarschijnlijk plaatsvinden als gevolg van de verkiezing van een nieuwe president van Brazilië en verschillende recente wettelijke decreten (Vilani et al. 2023). De mensheid ligt echter niet op koers om de ontbossing tegen 2030 te beëindigen en om te keren, ondanks toezeggingen van meer dan 100 wereldleiders in 2021 tijdens COP26 (UNEP 2022a). Bovendien worden bossen in toenemende mate bedreigd door krachtige klimaatfeedbacklussen waarbij processen als insectenschade, afsterven en bosbranden een rol spelen (Flores en Staal 2022, Ripple et al. 2023). De historische

recordhoogte van de bosbranden in Canada bijvoorbeeld, die dit jaar 16,6 miljoen hectare in vlammen hebben opgegaan (stand: 13 september).

(figuur 1f), hielden gedeeltelijk verband met klimaatverandering. Dit resulteerde in een uitstoot van meer dan een gigaton kooldioxide (Copernicus 2023), wat aanzienlijk is gezien het feit dat de totale uitstoot van broeikasgassen in Canada in 2021 ruwweg 0,67 gigaton kooldioxide-equivalent bedroeg (Environment and Climate Change Canada 2023). Het is onzeker hoe snel dergelijke emissies kunnen worden geabsorbeerd door herstel na bosbranden, en er bestaat een reëel risico dat de toenemende ernst van bosbranden in een opwarmende toekomst tot een onherstelbaar koolstofverlies zal leiden (Bowman et al. 2021).

Wereldgemiddelde broeikasgassen en temperatuur

Op basis van de huidige statistieken voor 2023 bevinden drie belangrijke broeikasgassen - koolstofdioxide, methaan en lachgas - zich allemaal op recordniveaus (figuur 3a-3c). Het wereldwijde gemiddelde



Figuur 3. Tijdreeks van klimaatgerelateerde reacties. Gegevens verkregen voor en na de publicatie van Ripple en collega's (2021) worden respectievelijk in grijs en rood weergegeven (donkergrijs in druk). Voor verbrand areaal (m) en miljard dollar overstromingsfrequentie (o) in de Verenigde Staten tonen de zwarte horizontale lijnen changepoint modelschattingen, die abrupte verschuivingen toestaan (zie het supplement). Voor andere variabelen met een relatief hoge variabiliteit worden de lokale regressietrendlijnen in zwart weergegeven. De variabelen werden gemeten met verschillende frequenties (bijv. jaarlijks, maandelijks, wekelijks). De labels op de x-ax corresponderen met de middens van de jaren. De frequentie van miljarden overstromingen (o) wordt waarschijnlijk beïnvloed door blootstelling en kwetsbaarheid naast klimaatverandering. Bronnen en aanvullende details over elke variabele zijn te vinden in [supplement S1](#).

dioxideconcentratie is nu ongeveer 420 delen per miljoen, wat ver boven de voorgestelde planetaire grens van 350 delen per miljoen ligt (Rockström et al. 2009). Bovendien is 2023 goed op weg om een van de warmste jaren ooit te worden (figuren 1e en 3d). Hoewel de uitstoot van broeikasgassen door fossiele brandstoffen de belangrijkste oorzaak is van de stijgende temperaturen, draagt een wereldwijde daling van de uitstoot van zwaveldioxide waarschijnlijk ook bij (aanvullende figuur S2). Zwaveldioxide vormt sulfaten in de atmosfeer, die het sterkste antropogene koelmiddel zijn en een deel van de broeikasgasopwarming verbergen (zie [aanvullend bestand S1](#)

voor een uitgebreide discussie).

Oceanen en ijs

De zuurgraad van de oceaan, de dikte van de gletsjers en de ijsmassa van Groenland zijn allemaal gedaald tot een laagterecord (figuur 3g, 3j en 3l), terwijl de zeespiegelstijging en de warmte-inhoud van de oceaan tot recordhoogten zijn gestegen (figuur 3f, 3h). De stijging van de warmte-inhoud en de snelle stijging van de temperatuur van het zeeoppervlak (figuur 1c, 1d) zijn bijzonder zorgwekkend, omdat ze veel ernstige gevolgen kunnen hebben, zoals het verlies van zeeleven, koraalriffen die afsterven door verbleking en een toename in de intensiteit van grote tropische stormen (Reid et al. 2009). Er is ook een groeiende bezorgdheid

Untold Human Suffering in Pictures



Figuur 4. Fotoserie die de gevolgen van klimaatgerelateerde rampen weergeeft. Eerste rij (van links naar rechts): Huiseigenaren sorteren door puin nadat bosbranden hun huis in de staat Californië hebben verwoest (Verenigde Staten, 2008; FEMA/Michael Mancino), "[National] guardsman carrying a woman in waist deep floodwaters" (Verenigde Staten, 2017; Zachary West/National Guard; CC BY 2.0). Tweede rij: "jonge meisjes worden overvallen door een zandstorm op weg naar school" (Afghanistan, 2019, Solmaz Daryani/Climate Visuals Countdown; Creative Commons), "volwassen vrouw zittend in haar huis, ondergedompeld in diep water, een sigaret rokend" (Brazilië, 2015; Fabrice Fabola, CC BY-SA 2.0). Derde rij: nasleep van de cycloon Idai (Mozambique, 2019; Denis Onyodi: IFRC/DRK/Climate Centre, CC BY-NC 2.0), "bewoners lopen op een weg bezaaid met puin nadat Super Typhoon Haiyan de stad Tacloban had geteisterd" (Filippijnen, 2013; Erik de Castro/Reuters; CC BY 2.0). Alle citaten zijn afkomstig van het Climate Visuals project (<https://climatevisuals.org>). Zie [aanvullende bestand S1](#) voor details en meer foto's.

dat de Atlantische meridionale circulatie een kantelpunt zou kunnen passeren en deze eeuw zou kunnen beginnen in te storten, mogelijk tussen 2025 en 2095 (Ditlevsen en Ditlevsen 2023), waardoor wereldwijde neerslag- en temperatuurpatronen aanzienlijk zouden veranderen met mogelijk grote schadelijke gevolgen voor ecosystemen en de samenleving, waaronder verminderde natuurlijke koolstofputten (Armstrong McKay et al. 2022).

Klimaat effecten en extreem weer

Klimaatverandering draagt aanzienlijk bij aan menselijk leed (figuur 4). Klimaatgerelateerde gevolgen in 2022 waren onder meer een nieuwe miljardenoverstroming in de Verenigde Staten, die plaatsvond in Kenia en Missouri tussen 26 en 28 juli, en de op twee na hoogste frequentie van extreem hete dagen (figuur 3o, 3p). Tussen 2021 en 2022 daalde het verbrande gebied door bosbranden wereldwijd met 28%.

Tabel 1. Recente klimaatgerelateerde rampen sinds november 2022.

Tijdframe	Klimaatramp
November-december 2022	Recordbrekende hittegolven in Argentinië en Paraguay droegen bij aan stroomuitval, bosbranden en slechte oogsten. Deze extreme hitte werd naar schatting 60 keer waarschijnlijker door de klimaatverandering.
December 2022-maart 2023	Zware regenval veroorzaakt door atmosferische rivieren leidde tot meerdere overstromingen in het westen van de Verenigde Staten. Er waren minstens 22 dodelijke slachtoffers en de materiële schade werd geschat op 3,5 miljard dollar. Klimaatverandering vergroot mogelijk de kans op dergelijke catastrofale overstromingen, hoewel het effect op deze specifieke stormen minder duidelijk is.
Februari 2023	De cycloon Gabrielle veroorzaakte extreme regenval in Te Ika-a-Māui (Noordereiland) van Aotearoa Nieuw-Zeeland, waardoor mogelijk miljarden dollars schade werd aangericht en 225.000 huizen hun stroom kwijtraakten. Deze hevige regenval wordt mogelijk deels veroorzaakt door een opwarming van de aarde.
Maart-mei 2023	In delen van Zuidoost-Azië, China en Zuid-Azië werden recordhoge temperaturen gemeten. De extreme hitte veroorzaakte doden en sluitingen van scholen in India en leidde ertoe dat meer dan 100 leerlingen op de Filipijnen behandeld moesten worden voor uitdroging. Dit was waarschijnlijk op zijn minst gedeeltelijk te wijten aan de klimaatverandering. Klimaatverandering heeft bijvoorbeeld de kans dat zo'n gebeurtenis zich voordoet boven Bangladesh en India met minstens een factor 30.
Januari-juli 2023	In Canada hebben intense bosbranden ongeveer 10 miljoen hectare in vlammen opgegaan. Op het hoogtepunt raakten 30.000 mensen ontheemd en verslechterde de luchtkwaliteit in grote delen van Canada en de Verenigde Staten. Deze extreme bosbranden zijn mogelijk deels te wijten aan het klimaat.
Mei 2023	verandering, hoewel er waarschijnlijk veel andere factoren een rol spelen. De tropische cycloon Mocha heeft naar verluidt ten minste 145 mensen gedood in Myanmar en ongeveer 800.000 mensen getroffen in de regio.
Mei-juni 2023	regio. Klimaatverandering kan zulke stormen intenser hebben gemaakt. Tropische storm Mawar veroorzaakte overstromingen en stroomuitval in delen van Guam. Mawar is de sterkste cycloon ooit geregistreerd op het noordelijk halfrond in mei. Klimaatverandering veroorzaakt mogelijk een toename in de intensiteit van tropische cyclonen (Wu et al. 2022).
Juni 2023	Dodelijke hitte leidde tot meer dan een dozijn doden in het zuiden en midwesten van de Verenigde Staten. Klimaatverandering leidt tot een toename van de frequentie en duur van dergelijke hittegolven.
Juli 2023	Tot zes mensen stierven in het zuidwesten van Japan door extreem zware regenval die overstromingen en aardverschuivingen veroorzaakte. Klimaatverandering maakt zulke zware regenval waarschijnlijk heviger. Dagen later waren er overstromingen en aardverschuivingen, die mogelijk deels gerelateerd aan klimaatverandering, meer dan 26 mensen het leven kostte en leidde tot de evacuatie van duizenden mensen in Zuid-Korea.
Juli 2023	Zware moessonregens veroorzaakten plotselinge overstromingen en aardverschuivingen in het noorden van India waarbij meer dan 100 mensen om het leven kwamen. Klimaatverandering zorgt er waarschijnlijk voor dat de moessons in deze regio veranderlijker worden, waardoor er vaker aardverschuivingen en overstromingen plaatsvinden. Zware moessonregens beschadigden ook de rijstooft in India, waardoor bezorgdheid ontstond over de wereldwijde voedselprijzen en voedselzekerheid.
Juni-augustus 2023	niet-basmativariëteiten. Extreme hitte in de Verenigde Staten heeft aan ten minste 147 mensen het leven gekost. Zonder klimaatverandering zou de extreme hitte in juli 2023 in de Verenigde Staten zeer onwaarschijnlijk zijn geweest.
juli-augustus 2023	Beijing, China, kreeg te maken met de zwaarste regenval in minstens 140 jaar, wat resulteerde in grote overstromingen die bijna 1,29 miljoen mensen troffen. miljoen mensen, beschadigden 147.000 huizen en veroorzaakten minstens 33 doden. Intensieve overstromingen zullen waarschijnlijk vaker voorkomen als gevolg van de klimaatverandering.
Augustus 2023	In Hawaï, Verenigde Staten, hebben catastrofale bosbranden op het eiland Maui op 18 augustus 2023 aan ten minste 111 mensen het leven gekost, en meer dan 1.000 mensen worden waarschijnlijk vermist. Klimaatverandering kan de regenval hebben verminderd en de temperaturen in dit gebied hebben verhoogd.
September 2023	regio, wat mogelijk heeft bijgedragen aan deze branden. De storm Daniel veroorzaakte extreme overstromingen in Libië en delen van Zuidoost-Europa, met duizenden doden en meer dan 2 miljard dollar schade tot gevolg. Klimaatverandering kan de intensiteit van dergelijke stormen doen toenemen.

Opmerking: We geven een opsomming van talloze recente rampen die op zijn minst gedeeltelijk verband kunnen houden met klimaatverandering. Deze lijst is niet bedoeld om volledig te zijn. Vanwege de recente aard van deze gebeurtenissen, bevatten onze bronnen vaak artikelen in de nieuwsmedia. Voor elke gebeurtenis geven we over het algemeen referenties die aangeven dat de waarschijnlijkheid of kracht van een dergelijke gebeurtenis kan zijn toegenomen als gevolg van antropogene klimaatverandering. Verwijzingen naar wetenschappelijke artikelen staan direct in de tabel, en links naar nieuwsartikelen staan op in [supplementair bestand S1](#). Sommige van deze rampen kunnen op zijn minst gedeeltelijk het gevolg zijn van klimaatgerelateerde veranderingen in straalstromen (Stendel et al. 2021, Rousi et al. 2022).

(van 9,34 miljoen ha naar 6,72 miljoen ha), maar in de Verenigde Staten steeg de activiteit van bosbranden in dezelfde periode met 6,3% (van 2,88 miljoen ha naar 3,07 miljoen ha) (figuur 3m, 3n). Er wordt verwacht dat veel klimaateffecten de komende jaren verder zullen toenemen, en het is mogelijk dat we al een abrupte toename van bepaalde weertypes hebben meegemaakt, mogelijk

nog sneller dan de temperatuurstijging (figuren 3m, 3o, S3, S4; Calvin 2020).

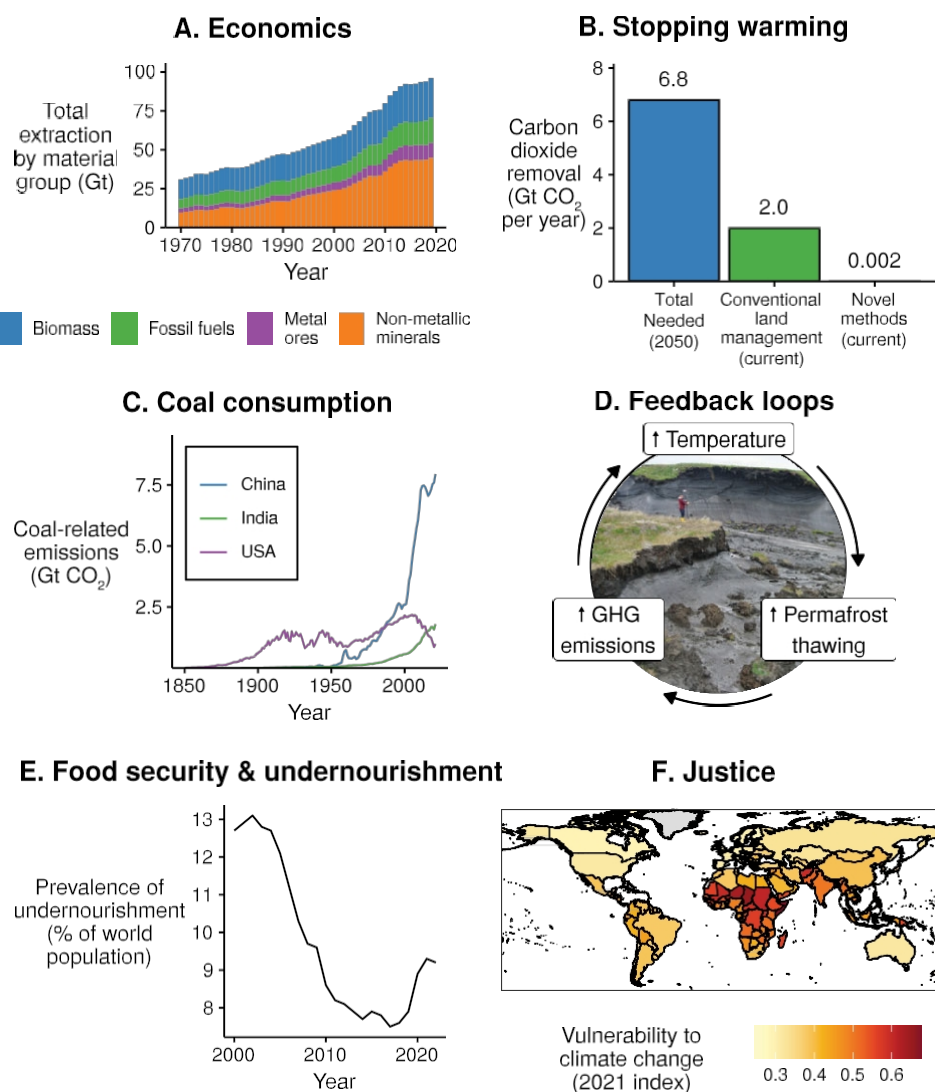
In 2023 heeft klimaatverandering waarschijnlijk bijgedragen aan een aantal belangrijke extreme weersomstandigheden en rampen. Verschillende van deze gebeurtenissen laten zien hoe extremen in het klimaat grotere gebieden bedreigen die normaal gesproken niet gevoelig zijn voor dergelijke extremen; ernstige overstromingen in

850 | *BioScience*, 2023, Volume 73, No. 11
Bioscience 2023, Volume 73, No. 11
hebben bijvoorbeeld aan ten minste 33 mensen het leven gekost. Andere recente rampen zijn onder andere dodelijke overstromingen en aardverschuivingen in het noorden van India, hittegolven die records breken in de Verenigde Staten en een uitzonderlijk hevige storm in het Middellandse Zeegebied.

waarbij duizenden mensen omkwamen, voornamelijk in Libië (zie tabel 1 voor details en toeschrijving). Aangezien deze gevolgen blijven toenemen, is er dringend behoefte aan meer financiering om klimaatgerelateerde verliezen en schade in ontwikkelingslanden te compenseren. Het nieuwe wereldwijde fonds van de Verenigde Naties voor verlies en schade dat tijdens COP27 werd opgericht, is een veelbelovende ontwikkeling, maar het succes ervan zal robuuste steun van de rijke landen vereisen.

Waarschuwendes aanbevelingen van wetenschappers

Gemotiveerd door recente gebeurtenissen en trends blijven we specifieke waarschuwingen en aanbevelingen doen over onderwerpen variërend van voedselzekerheid tot klimaatrechtvaardigheid. Gecoördineerde inspanningen op elk van deze gebieden kunnen bijdragen aan een bredere agenda gericht op holistisch en rechtvaardig klimaatbeleid.



Figuur 5. Speciale onderwerpen voor klimaatactie. Veel modellen gaan ervan uit dat de groei van het BBP grotendeels kan worden losgekoppeld van emissies en andere emissies.

consumptiegerelateerde milieueffecten (a) en dat koolstofafvangmethoden snel kunnen worden opgeschaald (b). Als deze aannames niet realistisch zijn en het gebruik van steenkool en andere fossiele brandstoffen niet onmiddellijk wordt beperkt (c), dan kunnen terugkoppelingen in het aardsysteem (d) leiden tot snel versnellende klimaateffecten, waaronder ondervoeding (e) en klimaatrampen, die vooral ernstig zullen zijn in minder welvarende landen die historisch gezien weinig hebben uitgestoten (f). Zie [supplement S1](#) voor gegevensbronnen en details. Foto: Boris Radosavljevic (CC BY 2.0).

Economie

Het is onwaarschijnlijk dat we met de conventionele economische groei onze sociale, klimaat- en biodiversiteitsdoelen kunnen bereiken. De fundamentele uitdaging ligt in de moeilijkheid om economische groei los te koppelen van schadelijke milieueffecten (figuur 5a). Hoewel technologische vooruitgang en efficiëntieverbeteringen kunnen bijdragen aan een zekere mate van ont koppeling, schieten ze vaak tekort bij het beperken van de totale ecologische voetafdruk van economische activiteiten (Hickel et al. 2021). De gevolgen verschillen sterk per welvaart; in 2019 was de top 10% van de uitstoters verantwoordelijk voor 48% van de wereldwijde uitstoot, terwijl de onderste 50% verantwoordelijk was voor slechts 12% (Chancel 2022). Daarom moeten we onze economie veranderen in een systeem dat voorziet in basisbehoeften voor alle mensen in plaats van buitensporige consumptie door de

rijken (O'Neill et al. 2018).

De opwarming stoppen

De verhoogde snelheid van klimaatrampen en andere gevolgen die we momenteel zien, zijn grotendeels het gevolg van historische en voortdurende uitstoot van broeikasgassen. Om deze emissies uit het verleden te beperken en de opwarming van de aarde een halt toe te roepen, moeten de inspanningen worden gericht op het elimineren van emissies uit fossiele brandstoffen en veranderingen in landgebruik en op het vergroten van de vastlegging van koolstof met op de natuur gebaseerde klimaatoplossingen. Het is echter van cruciaal belang om andere mogelijke strategieën te onderzoeken om op efficiënte wijze extra kooldioxide te verwijderen, wat op lange termijn kan leiden tot afkoeling van de aarde. Technologieën voor negatieve emissies bevinden zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium, wat onzekerheden met zich meebrengt over hun effectiviteit, schaalbaarheid en milieu- en maatschappelijke gevolgen (figuur 5b; Anderson en Peters 2016). Daarom moeten we niet vertrouwen op onbewezen koolstofverwijderingstechnieken. Hoewel de onderzoeksinspanningen moeten worden

Op dit moment te veel vertrouwen stellen in toekomstige grootschalige koolstofverwijderingsstrategieën kan een misleidende perceptie van veiligheid creëren en de noodzakelijke mitigatiemaatregelen die essentieel zijn om de klimaatverandering nu aan te pakken, uitstellen.

Stoppen met kolenverbruik

Naast de destructieve effecten op ecosystemen en de wereldwijde gezondheid, is steenkool verantwoordelijk voor meer dan 80% van de kooldioxide die sinds 1870 aan de atmosfeer is toegevoegd en voor bijna 40% van de huidige kooldioxide-emissies (Burke en Fishel 2020). Vanaf 2022 bereikt het wereldwijde verbruik van steenkool bijna recordniveaus (figuur 2h). In 2021 waren de steenkoolgerelateerde kooldioxide-emissies het grootst in China (53,1%), gevolgd door India (12,0%) en de Verenigde Staten (6,7%; figuur 5c). Het gebruik van steenkool in China is de afgelopen decennia snel toegenomen en het land produceert nu nog steeds bijna een derde van alle fossiele-brandstofemissies van kooldioxide en methaan (aanvullende tabel S2; Normile 2020). Als antwoord op deze situatie steunen we de Powering Past Coal Alliance en bevelen we aan om het internationale Coal Elimination Treaty aan te nemen om steenkool geleidelijk uit te bannen en, in bredere zin, het Fossil Fuel Non-Proliferation Treaty (van Asselt en Newell 2022). Deze verdragen zouden minder welvarende landen kunnen ondersteunen bij de overgang van steenkool en andere fossiele brandstoffen, inclusief financiering voor de opbouw van capaciteit voor hernieuwbare energie en de omscholing en overgang van werknemers uit de fossiele brandstoffenindustrie.

Terugkoppelingen

Terugkoppelingen in het klimaat hebben een directe invloed op de relatie tussen emissies en opwarming. Opwarming zorgt er bijvoorbeeld voor dat permafrostbodems ontdooien, waarbij methaan en kooldioxide vrijkomen die tot verdere opwarming leiden (figuur 5d). Als zodanig versterken versterkende terugkoppelingen de effecten van broeikasgasemissies, wat leidt tot extra opwarming. Daarom kan inzicht in terugkoppelingen en hun interacties bijdragen aan strategieën voor klimaatmitigatie en -adaptatie. Ondanks het belang ervan, wordt de combinatie van meerdere versterkende terugkoppelingen niet goed begrepen en is de potentiële sterkte van sommige gevaarlijke terugkoppelingen nog steeds erg onzeker (Ripple et al. 2023). Vanwege deze onzekerheid vragen we om een speciaal rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dat zich richt op de gevaarlijke klimaatfeedbacklussen, omslagpunten en - uit voorzorg - het mogelijke maar minder waarschijnlijke scenario van op hol geslagen of apocalyptische klimaatverandering.

Voedselzekerheid en ondervoeding

Na vele jaren te zijn gedaald, neemt de prevalentie van ondervoeding nu toe (figuur 5e). In 2022 kampten naar schatting 735 miljoen mensen met chronische honger - een stijging van ongeveer 122 miljoen sinds 2019 (FAO et al. 2023). Deze stijging, die de mensheid ver heeft verwijderd van het doel om in 2030 geen honger meer te hebben, is te wijten aan meerdere factoren, waaronder klimaatextremen, economische neergang en gewapende conflicten (FAO et al. 2023). Klimaatverandering heeft de omvang van de wereldwijde groei van de landbouwproductiviteit verminderd (Ortiz-Bobea et al. 2021), dus het gevaar bestaat dat de honger zal toenemen als er niet onmiddellijk klimaatactie wordt ondernomen. In het bijzonder kunnen er in de toekomst ernstige en onderschatte risico's

bestaan op synchrone mislukkingen van oogsten als gevolg van een grotere golving van de straalstroom (Kornhuber et al. 2023). Vanwege de toenemende risico's op gelijktijdige grote oogstverliezen in meerdere regio's in de wereld, zijn er aanpassingsgerichte inspanningen nodig om de veerkracht en weerstand van gewassen tegen hitte, droogte en andere klimaatstressoren te verbeteren (Raza et al. 2019). Een verschuiving naar plantaardige voeding, met name in rijke landen, zou de wereldwijde voedselzekerheid kunnen verbeteren en de klimaatverandering kunnen helpen beperken (figuur 2d; Cassidy et al. 2013).

Justitie

De gevolgen van klimaatverandering zijn voor velen al catastrofaal. Deze gevolgen voltrekken zich echter niet gelijkmatig over de hele wereld. In plaats daarvan treffen ze buitenproportioneel de meest verarmde individuen ter wereld, die ironisch genoeg de minste rol hebben gespeeld in het veroorzaken van dit probleem (figuur 5f; Harlan et al. 2015). Om sociaaleconomische rechtvaardigheid en universeel menselijk welzijn te bereiken, is het cruciaal om wereldwijd te streven naar convergentie in het verbruik van hulpbronnen en energie per hoofd van de bevolking. Dit betekent dat we moeten streven naar evenwichtige en billijke niveaus van energie- en hulpbronnenverbruik voor zowel het noorden als het zuiden van de wereld (Hickel et al. 2021).

Conclusies

De gevolgen van de opwarming van de aarde worden steeds ernstiger en mogelijkheden zoals een wereldwijde maatschappelijke ineenstorting zijn haalbaar en gevaarlijk onderbelicht (Kemp et al. 2022). Tegen het einde van deze eeuw zullen naar schatting 3 tot 6 miljard mensen - ongeveer een derde tot de helft van de wereldbevolking - buiten het leefbare gebied terechtkomen en te kampen krijgen met ernstige hitte, beperkte beschikbaarheid van voedsel en verhoogde sterftecijfers als gevolg van de klimaatverandering (Lenton et al. 2023). Grote problemen vragen om grote oplossingen. Daarom moeten we ons perspectief op de klimaatnoodsituatie verschuiven van een geïsoleerd milieuprobleem naar een systemische, existentiële bedreiging. Hoewel de opwarming van de aarde verwoestend is, vertegenwoordigt het slechts één aspect van de escalerende en onderling verbonden milieucrisis waarmee we worden geconfronteerd (bijv. verlies van biodiversiteit, zoetwaterschaarste, paniek). We hebben beleid nodig dat zich richt op de onderliggende problemen van eco- logische overschrijding, waarbij de menselijke vraag naar de hulpbronnen van de aarde leidt tot overexploitatie van onze planeet en afname van de biodiversiteit (figuren 5a, S5; McBain et al. 2017). Zolang de mensheid doorgaat met het uitoefenen van extreme druk op de aarde, zullen alle pogingen om alleen klimaatoplossingen te vinden deze druk alleen maar herverdelen.

Om de overexploitatie van onze planeet aan te pakken, dagen we

de heersende opvatting van eindeloze groei en overconsumptie door rijke landen en individuen als onhoudbaar en onrechtvaardig (Rockström et al. 2023). In plaats daarvan pleiten wij voor het terugdringen van overconsumptie van hulpbronnen; het verminderen, hergebruiken en recyclen van afval in een meer circulaire economie; en het prioriteit geven aan menselijke bloei en duurzaamheid. We benadrukken klimaatrechtvaardigheid en een eerlijke verdeling van de kosten en baten van klimaatmaatregelen, met name voor kwetsbare gemeenschappen (Gupta et al. 2023). We roepen op tot een transformatie van de wereldeconomie om menselijk welzijn prioriteit te geven en te zorgen voor een eerlijker verdeling van hulpbronnen (Hickel et al. 2021). We roepen ook op tot stabilisatie en geleidelijke afname van de menselijke bevolking met genderrechtvaardigheid door vrijwillige gezinsplanning en door ondersteuning van onderwijs en rechten voor vrouwen en meisjes, waardoor de vruchtbaarheidscijfers dalen en de levensstandaard stijgt

(Bongaarts en O'Neill 2018). Deze milieubewuste en sociaal rechtvaardige strategieën vereisen verregaande en holistische transformaties op de lange termijn die zouden kunnen worden bereikt door geleidelijke maar significante stappen op de korte termijn (d.w.z. radicaal incrementeel isme; Halpern en Mason 2015).

Als wetenschappers wordt ons steeds vaker gevraagd om het publiek te vertellen

de waarheid over de crises waar we voor staan in eenvoudige en directe bewoordingen. De waarheid is dat we geschokt zijn door de heftigheid van de extreme weersomstandigheden in 2023. We zijn bang voor het onbekend terrein dat we nu zijn binnengetrepen. De omstandigheden zullen zeer schrijnend en mogelijk onbeheersbaar worden voor grote delen van de wereld, met het

2,6°C opwarming die in de loop van de eeuw wordt verwacht, zelfs als de zelf voorgestelde nationale emissiereductieverplichtingen van

de Overeenkomst van Parijs worden gehaald (UNEP 2022b). We waarschuwen voor de potentiële ineenstorting van natuurlijke en sociaaleconomische systemen in een dergelijke wereld, waarin we te maken zullen krijgen met ondraaglijke hitte, frequente extreme weersomstandigheden, voedsel- en zoetwatertekorten, stijgende zeeën, meer opkomende ziekten en meer sociale onrust en geopolitieke conflicten. Massaal lijden als gevolg van klimaatverandering is nu al een feit en we hebben nu al veel veilige en rechtvaardige grenzen van het aardsysteem overschreden, waardoor stabiliteit en levensondersteunende systemen in gevaar komen (Rockström et al. 2023). Aangezien we er binnenkort getuige van zullen zijn dat we de ambitieuze doelstelling van 1,5°C van het akkoord van Parijs niet zullen halen, kan het belang van het onmiddellijk terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen en het voorkomen van elke verdere opwarming van de aarde met 0,1°C niet genoeg worden benadrukt. In plaats van ons alleen te richten op koolstofvermindering en klimaatverandering, zal het aanpakken van het onderliggende probleem van ecologische overschrijding ons de beste kans geven om deze uitdagingen op de lange termijn te overleven. Dit is ons moment om een diepgaand verschil te maken voor al het leven op aarde, en we moeten het met onwrikbare moed en vastberadenheid omarmen om een erfenis van verandering te creëren die de tand des tijds zal doorstaan.

Aanvullend materiaal

Aanvullende gegevens zijn beschikbaar op [BIOSCI](#) online. De methoden en details van planetaire vitale tekenvariabelen die in dit rapport zijn gebruikt, samen met andere discussies, staan in supplementair bestand [S1](#). Een lijst van ondertekenaars voor Ripple en collega's (2020) per 29 maart 2023 staat in supplementair bestand [S2](#). Deze ondertekenaars zijn niet voor het huidige rapport.

Het artikel "World scientists' warning of a climate emergency" (Ripple et al. 2020) heeft nu meer dan 15.000 ondertekenaars uit 163 landen, en we blijven handtekeningen van wetenschappers verzamelen. Om te tekenen of meer te weten te komen, bezoek de website van de Alliance of World Scientists op <https://scientistswarning.forestry.oregonstate.edu>. Om te lezen over pleitbezorging op basis van wetenschap en om *A Scientist's Warning*, een nieuwe documentaire over wetenschappers die zich uitspreken, te bekijken, ga naar www.scientistswarningfilm.org.

Erkenningen

We bedanken William H. Calvin, Katherine Graubard, Karen Wolfgang en Holly Jean Buck voor hun nuttige suggesties. We bedanken Susan Christie voor hulp bij dit project. Gedeeltelijke financiering werd ontvangen van de CO2 Foundation en Roger Worthington.

Referenties

- Anderson K, Peters G. 2016. De problemen met negatieve emissies. *Wetenschap* 354: 182-183.
- Armstrong McKay DI, Staal A, Abrams JF, Winkelmann R, Sakschewski B, Loriani S, Fetzer I, Cornell SE, Rockström J, Lenton TM. 2022. Meer dan 1,5°C opwarming van de aarde kan meerdere klimaatomslagpunten veroorzaken. *Science* 377: eabn7950.
- Bongaarts J, O'Neill BC. 2018. Beleid voor opwarming van de aarde: Laat bevolking in de kou staan? *Science* 361: 650-652.
- Bowman DM, Williamson GJ, Price OF, Ndalila MN, Bradstock RA.

2021. Australian forests, megafires and the risk of dwindling carbon stocks. *Plant, Cell, and Environment* 44: 347-355.

Burke A, Fishel S. 2020. A coal elimination treaty 2030: Fast track- ing climate change mitigation, global health, and security. *Earth SYSTEM Governance* 3: 100046.

Cai W et al. 2021. Veranderende El Niño-Southern Oscillation in een opwarmend klimaat. *Nature Reviews Earth and Environment* 2: 628-644.

Calvin WH. 2020. Extreem weer: En wat eraan te doen. CO2 Stichting.

- Cassidy ES, West PC, Gerber JS, Foley JA. 2013. Een nieuwe definitie van landbouwopbrengsten: From tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters* 8: 034015.
- Kansel L. 2022. Mondiale koolstofongelijkheid over 1990-2019. *Nature Sustainability* 5: 931-938.
- Copernicus. 2023. Een recordbrekend boreaal bosbrandseizoen. Copernicus. <https://atmosphere.copernicus.eu/record-breaking-boreaal-wildbrandseizoen>.
- Ditlevsen P, Ditlevsen S. 2023. Waarschuwing voor een naderende ineensstorting van de Atlantische meridionale circulatie. *Nature Communications* 14: 4254.
- Milieu en klimaatverandering Canada. 2023. Canadese milieuduurzaamheidsindicatoren: Uitstoot van broeikasgassen. Environment and Climate Change Canada. www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/environmental-indicators/greenhouse-gas-emissions.html.
- [FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO] Voedsel- en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties, het Internationaal Fonds voor Agrarische Ontwikkeling, het Kinderfonds van de Verenigde Naties, het Wereldvoedselprogramma, de Wereldgezondheidsorganisatie. 2023. *De toestand van voedselzekerheid en voeding in de wereld 2023: Urbanization, Agrifood Systems TRANSFORMATION and Healthy Diets across the Rural-Urban CONTINUUM*. FAO.
- Flores BM, Staal A. 2022. Feedback in tropische bossen van het Antropoceen. *Global Change Biology* 28: 5041-5061.
- Gupta J, et al. 2023. Rechtvaardigheid voor het aardsysteem nodig om de grenzen van het aardsysteem vast te stellen en er binnen te leven. *Nature Sustainability* 6: 630-638. Halpern D, Mason D. 2015. Radicaal incrementalisme. *Evaluatie* 21: 143-149.
- Harlan SL, Pellow DN, Roberts JT, Bell SE, Holt WG, Nagel J. 2015. Klimaatrechtvaardigheid en ongelijkheid. Pagina 127-163 in Dunlap RE, Brulle RJ, eds. *Klimaatverandering en samenleving: Sociological Perspectives*. Oxford University Press.
- Hickel J, Brockway P, Kallis G, Keyßer L, Lenzen M, Slameršak A, Steinberger J, Ürge-Vorsatz D. 2021. Urgent need for post-growth climate mitigation scenarios. *Nature Energy* 6: 766-768.
- Jenkins S, Smith C, Allen M, Grainger R. 2023. Tonga-uitbarsting vergroot kans op tijdelijke oppervlaktetemperatuurafwijking boven 1,5°C. *Nature Klimaatverandering* 13: 127-129.
- Kemp L, et al. 2022. Het eindspel van het klimaat: Het verkennen van catastrofale scenario's voor klimaatverandering. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119: e2108146119.
- Kornhuber K, Lesk C, Schleussner CF, Jägermeyr J, Pfleiderer P, Horton RM. 2023. Risks of synchronized low yields are underestimated in climate and crop model projections. *Nature Communications* 14: 3528.
- Lenton TM, et al. 2023. Quantifying the human cost of global warming. *Nature Sustainability* 2023: s41893-023-01132-6.
- McBain B, Lenzen M, Wackernagel M, Albrecht G. 2017. Hoe lang kan mondiale ecologische overshoot duren? *Global and Planetary Change* 155: 13-19.
- Muta T, Erdogan M. 2023. The Global Energy Crisis Pushed Fossil Fuel Consumption Subsidies to an All-Time-High in 2022. *Internationaal Energieagentschap*. www.iea.org/commentaries/the-global-energy-crisis-pushed-fossil-fuel-consumption-subsidies-to-an-all-time-high-in-2022.
- Normile D. 2020. China's gedurfde klimaatbelofte oogst lof, maar is het haalbaar? *Wetenschap* 370: 17-18.
- O'Neill DW, Fanning AL, Lamb WF, Steinberger JK. 2018. Een goed leven voor iedereen binnen planetaire grenzen. *Nature Sustainability* 1: 88-95. Ortiz-Bobea A, Ault TR, Carrillo CM, Chambers RG, Lobell DB. 2021. Antropogene klimaatverandering heeft de groei van de wereldwijde landbouwproductiviteit vertraagd. *Nature Klimaatverandering* 11: 306-312.

- Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, Xu J. 2019. Impact van klimaatverandering op aanpassing van gewassen en strategieën om de uitkomst ervan aan te pakken: Een overzicht. *Plants* 8: 34.
- Reid PC, et al. 2009. Impacts of the oceans on climate change. Pagina's 1-150 in Sims DW, ed. *Advances in Marine Biology*, vol. 56. Elsevier.
- Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Barnard P, Moomaw WR. 2020. De waarschuwing van wereldwetenschappers voor een klimaatnoodtoestand. *BioScience* 70: 8-12.
- Ripple WJ, et al. 2021. World scientists' Warning of a climate emergency 2021. *BioScience* 71: 894-898.
- Ripple WJ, Wolf C, Lenton TM, Gregg JW, Natali SM, Duffy PB, Rockström J, Schellnhuber HJ. 2023. Many risky feedback loops amplify the need for climate action. *One Earth* 6: 86-91.
- Rockström J, et al. 2009. Planetaire grenzen: Exploring The safe operating space for humanity. *Ecologie en Samenleving* 14: 26268316.
- Rockström J, et al. 2023. Veilige en rechtvaardige grenzen aan het aardsysteem. *Na- tuur* 619: 102-111.
- Rousi E, Kornhuber K, Beobide-Arsuaga G, Luo F, Coumou D. 2022. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. *Nature Communications* 13: 1-11.
- Stendel M, Francis J, White R, Williams PD, Woollings T. 2021. De straalstroom en klimaatverandering. Pagina's 327-357 in Letcher TM, ed. *Klimaatverandering: Observed Impacts on Planet Earth*, 3rd ed. Elsevier.
- Tollefson J. 2022. Wat de oorlog in Oekraïne betekent voor energie, klimaat en voedsel. *Nature* 604: 232-233.
- [UNEP] Milieuprogramma van de Verenigde Naties. 2022a. *Het klimaatpact van Glasgow waarmaken: A Call to Action to Achieve One Gigaton of EMISSIONS Reductions FROM Forests by 2025*. UNEP.
- [UNEP] Milieuprogramma van de Verenigde Naties. 2022b. *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window: Climate Crisis Calls for Rapid TRANSFORMATION of Societies*. UNEP.
- van Asselt H, Newell P. 2022. Pathways to an international agreement to leave fossil fuels in the ground. *Global Environmental Politics* 22: 28-47.
- Vilani RM, Ferrante L, Fearnside PM. 2023. De eerste daden van de nieuwe president van Brazilië: Lula's nieuwe institutionaliteit voor het Amazonegebied. *Environmental Conservation* 50: 148-151.
- Wang C, Dong S, Evan AT, Foltz GR, Lee S-K. 2012. Multidecadal covariability of North Atlantic sea surface temperature, African dust, Sahel rainfall, and Atlantic hurricanes. *Tijdschrift voor Klimaat* 25: 5404-5415.
- Wu L, Zhao H, Wang C, Cao J, Liang J. 2022. Understanding of the effect of climate change on tropical cyclone intensity: A Review. *Advances in ATMOSPHERIC Sciences* 39: 205-221.
- Xu C, Kohler TA, Lenton TM, Svenning J-C, Scheffer M. 2020. Toekomst van de menselijke klimaatnische. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 11350-11355.
- Zhang F, Lu J, Chen L. 2023. When green recovery fails to consider coal pushback: Exploring global coal rebounds, production, and policy retrenchment post COVID-19. *Energy Research and Social Sci- ence* 101: 103142.

