

# Jahrtausend

**UMWELT** Rekordhitze, Sturzregen, Dürren – die Welt erlebt eine Serie von Wetterextremen. Hat die globale Erwärmung bereits zu Klimaveränderungen geführt, die sich nicht mehr rückgängig machen lassen? Die Vorhersage solcher Kipppunkte ist ein zentrales Thema im neuen Bericht des Weltklimarats.

Oregon Department of Forestry / AP

**D**as Interview, das Jan Polderman am Montag vor dem Brand im Fernsehen gab, offenbart, wie überraschend alles kam. Lachend erzählte der Bürgermeister von Lytton der Reporterin, dass ihm der Amtskollege im benachbarten Lillooet jetzt ein Bier schulde. Er habe mit ihm eine Wette darüber abgeschlossen, welcher der beiden Orte in der kanadischen Provinz British Columbia in diesem Sommer der heißere werde. Polderman war stolz, gewonnen zu haben. Er konnte ja nicht wissen, dass es seine Gemeinde gut 48 Stunden später nicht mehr geben würde.

Lytton ist bekannt für hohe Temperaturen. Ein Schild am Trans-Canada-Highway heißt Besucher willkommen in »Canada's hot spot«. Am Talboden im Canyon des Fraser Rivers staut sich im Sommer oft die Hitze. Trotzdem war niemand in Lytton vorbereitet auf das, was Ende Juni geschah: Am Sonntag, dem 27. Juni, stieg das Thermometer der örtlichen Wetterstation bis auf mehr als zwei Grad über den bisherigen 80 Jahre alten Rekord. 46,6 Grad – und das auf dem Breitengrad von Koblenz.

Tags darauf kletterten die Temperaturen weiter, diesmal bis auf 47,9 Grad. Und noch immer hatte die Hitze ihren Zenit nicht erreicht. Dienstag: 49,6 Grad. In einem kanadischen Canyon herrschten nun Bedingungen, wie sie sonst nur in Wüsten vorkommen. Wetterexperten weltweit horchten auf. »Was ist da los?«, fragte sich der Klimaforscher Jochem Marotzke vom Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie.

Dann kam das Feuer, begünstigt durch extreme Trockenheit. Manche vermuteten später, dass der Funke eines vorbeifahrenden Zuges die Büsche am Bahngleis in Brand gesetzt hatte. Um 18 Uhr unterschrieb der Bürgermeister die Evakuierungsorder.

Unaufhaltsam rasten die Flammen durch die ausgedörrte Ortschaft. »Es dauerte 15 Minuten, bis das Feuer überall war«, erzählte Bürgermeister Polderman den »CBC News«. Durch Autofenster filmten die Fliehenden das Inferno, auf YouTube nahm die Welt Anteil. Zu sehen ist Rauch, Asche und Glut, hier und dort zeichnet sich ein Haus, ein Baum, ein Auto in den Schwaden ab. Wenige Stunden



**Republik 21** Vor der Bundestagswahl im September widmet sich der SPIEGEL den großen gesellschaftlichen Fragen unserer Zeit. Hier: **Sind wir noch zu retten?**

**Löschflugzeug bei Brandbekämpfung in Oregon**

später war von den meisten Gebäuden nichts mehr geblieben.

Das Ausmaß der Hitze- und Dürrewelle an der Westküste Nordamerikas spottete allen Prognosen. Dutzendweise wurden in British Columbia und in den US-Bundesstaaten Washington und Oregon neue Hitzerekorde gemeldet, einige der alten Höchstwerte wurden um fünf Grad überschritten – ein Temperaturschock, wie er in keinem der Vorhersagemodelle der Klimaforscher vorgesehen ist. Weltweit löste diese Hitzewelle Entsetzen aus: Wenn in den Bergen Kanadas urplötzlich Wüstenklima einziehen kann, was mag uns noch bevorstehen?

Über Nacht war das 250-Einwohner-Dorf Lytton zum Symbol für den Klimawandel geworden. Dass der pazifische Inselstaat Kiribati im Ozean versinkt und dass sibirische Häuser auf tauendem Permafrostboden ins Rutschen kommen, hat sich herumgesprochen. Aber ein Gebirgsdorf in Kanada? Wenn es Lytton treffen kann, kann es jeden treffen.

Gerade einmal zwei Wochen nachdem Lytton in Flammen aufgegangen war, stieg in Hagen und Wuppertal





# s o m m e r

Eisberge im grönländischen Ilulissat-Eisfjord

Ulrik Pedersen / NurPhoto / Getty Images

das Wasser. Starkregen, mancherorts binnen 24 Stunden 150 Liter pro Quadratmeter, gingen über dem Westen Deutschlands nieder. Der Klimawandel war im Herzen Europas angekommen. Während die Bulldozer in der Eifel noch die Straßen von Hausrat und Schlamm räumten, bahnte sich im Süden Europas bereits das nächste Wetterdebakel an. Am Mittelmeer stiegen die Temperaturen Anfang des Monats, in Griechenland und im türkischen Antalya bis deutlich über 40 Grad, mancherorts sanken sie auch nachts nicht unter 30 Grad. Feuerbrigaden und Löschflugzeuge tun sich schwer, den vielerorts wütenden Flammen Einhalt zu gebieten. Einhellig sprechen die Meteorologen von einer historischen Hitzewelle.

**E**s rumort in der Wetterküche des Planeten Erde, das wird mit jedem Jahr deutlicher. Nicht nur an der kanadischen Pazifikküste und in der deutschen Eifel melden meteorologische Stationen extreme Wetterlagen.

In Kanada hat sich die Lage inzwischen zwar entspannt, weiter südlich jedoch, in Kalifornien, Arizona, Nevada und Utah, hat sich Hitze und vor allem Trockenheit dauerhaft eingenistet. Im Südwesten der USA herrscht schon seit zwei Jahrzehnten eine »Megadür-

re«. Es mutet wie eine biblische Heimsuchung an. In Kalifornien treibt das heiße Wetter sogar die Klapperschlangen in die Siedlungen, in Oregon kommt eine Heuschreckenplage hinzu.

Der Höhepunkt der Brandsaison steht noch bevor, und doch nähern sich im Westen der USA die Mengen an Kohlendioxid, die von den Flammen freigesetzt werden, bereits der Summe aller Einsparungen durch die Coronapandemie. Das Feuer, das dort mit jedem weiteren Jahr der Trockenheit schlimmer wütet, macht alle Bemühungen, den Ausstoß von Treibhausgasen zu mindern, mehr als zunichte.

Auch Helsinki und Moskau meldeten Allzeitrekorde. Nie zuvor wurden dort im Juni so hohe Temperaturen gemessen wie in diesem Jahr. In Sibirien kämpfen Tausende Feuerwehreinheiten gegen Brände. Mehr als eine Million Hektar Wald stehen in Flammen, mancherorts schwelt die Glut inzwischen ganzjährig in den Torfböden.

Eine »Wärmekuppel« über dem Nahen Osten trieb die Temperaturen am Persischen Golf schon im Juni über die 50-Grad-Schwelle. In Afghanistan herrscht wegen der Trockenheit Lebensmittelnotstand für Millionen. Auf Madagaskar warnt das Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen vor einer beispiellosen Hungersnot. Mancherorts sind Heuschrecken die einzige Nahrung, die den Menschen dort geblieben ist. Und

auch in Angola leidet die Bevölkerung unter Dürre, der schlimmsten seit 40 Jahren. Ein großer Teil der Ernte ist verloren, Rinder verdursten.

Brasilien bangt derweil um seine Stromversorgung. Der Rio Iguaçu führte an den großen Wasserfällen Mitte Juni nur noch ein Fünftel seines Wassers, und auch im mächtigen Paraná-Fluss, der eines der größten Wasserkraftwerke der Welt antreibt, herrschen historische Tiefstände.

In Taiwan, das gewöhnlich reichlich mit Niederschlägen versorgt wird, blieben die regenreichen Taifune aus. Seit 1964 war es nicht mehr so trocken. Die Computerindustrie könnte weltweit Probleme bekommen, wenn Taiwans Reservoirs trockenfallen, denn die Chiphersteller beziehen ihr Wasser daraus.

4000 Kilometer weiter westlich, in Chinas größter Wüste, fiel unterdessen in einem Monat so viel Niederschlag wie sonst in zwei Jahren. In der Metropole Zhengzhou am Gelben Fluss liefen U-Bahn-Tunnel voll Wasser; Hunderte waren in Zügen eingeschlossen. In der Stadt starben mindestens 108 Menschen.

Gewiss: Wetter ist launisch, schon immer hat es den Menschen Naturkatastrophen beschert. Doch diesmal spielt es in vielen Weltregionen zugleich verrückt. Es sind die Vielzahl und die Heftigkeit der Kapriolen, die den Eindruck eines in seinem Gleichgewicht

gestörten Planeten erwecken. Das Klima der Erde scheint in Bewegung geraten.

Insofern treten die Vertreter des Weltklimarats IPCC zu einem kritischen Zeitpunkt vor die Weltöffentlichkeit. Am Montag präsentieren sie den ersten Teil ihres neuen, nunmehr sechsten Berichts, in dem die internationale Forschergemeinde den aktuellen Wissensstand über den Klimawandel zusammengetragen hat. Für Regierungen in aller Welt wird dieser Bericht Grundlage für die künftige Klimapolitik sein. Und er wird in vielen Ländern auf eine stärker sensibilisierte Öffentlichkeit treffen als der Vorgängerbericht aus dem Jahr 2013.

**I**n der Zwischenzeit wurde der Pariser Klimagipfel abgehalten. Die Regierungschefs von mehr als 190 Ländern haben sich dort verpflichtet, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius, möglichst sogar unter 1,5 Grad zu beschränken. Erste Anzeichen deuten darauf hin, dass dem Vorsatz Taten folgen. Der Anteil regenerativer Energien nimmt endlich merklich zu, die Elektrifizierung des Straßenverkehrs ist in Gang gekommen. Und nach einem Intermezzo von vier Jahren irreführender Trump-Politik sind auch die Vereinigten Staaten zum Pariser Abkommen zurückgekehrt.

Die USA, Europa und China haben sich strenge Reduktionsziele ver-

ordnet: Die EU will ihre Emissionen bis 2030 um 55 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 verringern, US-Präsident Biden versprach, sein Land werde bis zum Jahr 2050 eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz erreichen, und sogar China will, der boomenden Industrie zum Trotz, bis 2060 klimaneutral werden. Auch aus Südkorea, Japan, Kanada und Großbritannien kamen weitreichende Zusagen. Doch wird all das reichen, um noch Schlimmeres abzuwenden?

Der IPCC-Bericht klingt da düster: Der Klimawandel hat Fahrt aufgenommen, die Chance, das Pariser Klimaziel einzuhalten, schwindet. Und weil das System Erde träge ist und es deshalb lange dauert, bis sich selbst eine radikale Reduktion der Treibhausgasemissionen in sinkenden Temperaturen niederschlägt, wird sich die Lage noch über lange Zeit hin nicht verbessern, sondern weiter verschlimmern.

Minutiös beschreibt der IPCC-Bericht, was den Modellrechnungen zufolge der Welt bevorsteht. Der beherrschende Trend ist dabei die Erwärmung. Hitzewellen werden wesentlich rascher als jedes andere Wetterextrem an Häufigkeit zunehmen. Was heute noch ein Jahrhundertssommer ist, kann schon in zehn Jahren normal sein.

Doch nicht nur die Temperaturen steigen. Weil in einer wärmeren Welt mehr Wasser verdunstet und in Wolken kondensiert, gibt es auch mehr

**Was heute noch ein Jahrhundertssommer ist, kann schon in zehn Jahren normal sein.**

Niederschläge und vor allem: Sie verteilen sich anders. Sturzregen, die zu Überflutungen führen können, nehmen in vielen Ländern zu. Zugleich kann gerade in eher trockenen Regionen der benötigte Regen ausbleiben. Die Grundregel, die den Planeten bestimmt, lautet: Die Extreme werden häufiger.

Überflutungen in der Eifel und am Gelben Fluss, Dürre in Afghanistan und Madagaskar, Brände in Kalifornien, Griechenland und Sibirien: Die Wetterlaunen der vergangenen Wochen und Monate scheinen in guter Übereinstimmung mit den Prognosen zu sein. Und doch ist es fraglich, ob sich all das wirklich mit den gängigen Modellen des Klimawandels erklären lässt. Einige Wissenschaftler fürchten, der Mensch setze mit seinen Eingriffen ins Klimageschehen womöglich ganz neue, noch ungenügend verstandene Prozesse in Gang.

Besonders die Ende Juni über der nordamerikanischen Pazifikküste brütende Superhitze bereitet den Forschern Kopfzerbrechen. Wie ist so etwas möglich? Könnte es sein, dass die Atmosphäre dort begonnen hat, ein Eigenleben zu entwickeln, das nicht mehr richtig von den Computermodellen abgebildet wird?

Um solchen Fragen begegnen zu können, hat sich in den vergangenen Jahren ein neuer Wissenschaftszweig herausgebildet: Die sogenannte Attributionsforschung versucht zu klären, ob einzelne Extremwetterereignisse im Rahmen der Vorhersagen liegen und wie wahrscheinlich es ist, dass sie Folge des menschengemachten Klimawandels sind.

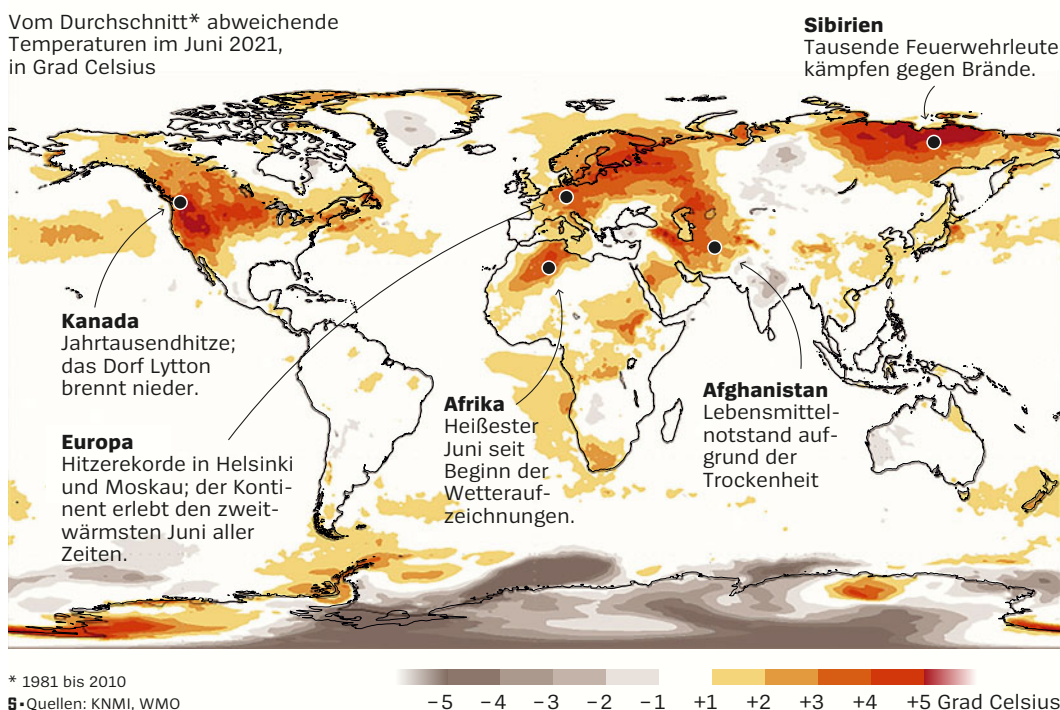
Als die Temperaturen in British Columbia Rekordwerte erreichten, warfen die Mitglieder der internationalen World Weather Attribution (WWA) ihre Hochleistungsrechner an. Eine gute Woche später legten sie das Ergebnis ihrer Blitzanalyse vor.

Das Fazit: Allenfalls einmal im Jahrtausend sei nach bisherigen Modellen in British Columbia mit solcher Gluthitze zu rechnen – und selbst das gelte nur für die heutige, bereits durch menschliche Treibhausgasemissionen vorgeheizte Atmosphäre. Ohne den vom Menschen verursachten Klimawandel sei ein solches Ereignis »praktisch unmöglich«.

Die Tonalage, mit der Forscherinnen und Forscher vom Klimawandel sprechen, hat sich verändert. Lange sahen sie sich nach jeder Flut, jedem Sturm und jeder Hitzewelle mit der Frage konfrontiert, ob dies nur eine Wetterlaune oder bereits Folge des

## Hitzewellen

Vom Durchschnitt\* abweichende Temperaturen im Juni 2021, in Grad Celsius





Klimawandels sei. Und stets war ihre Antwort bisher dieselbe: Gewiss, die Häufigkeit solcher Ereignisse nehme zu. Ein kausaler Zusammenhang aber lasse sich im Einzelfall nicht herstellen. Niemand könne ausschließen, dass es sich um einen wenigstens unwahrscheinlichen, so doch möglichen Zufall handle.

Angesichts der Hitzewelle im Nordwesten Amerikas lässt das WWA-Team nun solche Vorsicht fallen. Einen Zufall schließen die Forscher aus. Das heißt: Ohne menschengemachten Klimawandel würde es das Dörfchen Lytton heute noch geben.

Die Frage der Kausalität, meint Friederike Otto von der University of Oxford, eine der Autorinnen, sei geklärt: »Der Klimawandel verursacht Hitzewellen, das ist so gut belegt, wie dass Rauchen Krebs verursacht.«

Weniger eindeutig ist, ob die Rekordhitze an der Pazifikküste noch in Übereinstimmung mit den Klimamodellen steht. Möglich sei, dass es sich um eine besonders ungewöhnliche Laune des Wetters handle, sagen die WWA-Forscher. Denkbar sei aber auch, dass sich hier »nicht lineare Wechselwirkungen« aufschaukeln, wie es die Wissenschaftler formulieren. Mit anderen Worten: dass das vom Menschen veränderte Klima erstmals neuartiges und unerwartetes Verhalten zeigt. Der Hitzeschock in Kanada wecke Zweifel daran, »ob wir wirklich richtig verstanden haben, wie der Klimawandel Hitzewellen heißer und tödlicher macht«, sagt Ottos WWA-Kollege Geert Jan van Oldenborgh.

Auch der IPCC-Bericht wendet sich der Frage zu, ob es Instabilitäten im Klimasystem geben könnte. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit haben sich auf die Suche nach Orten gemacht, an denen die globale Erwärmung sich beschleunigende Prozesse in Gang setzt, sodass sich der Klimawandel selbst verstärkt. Die Forscher sprechen von »tipping points«, Kippschaltern im Klimageschehen, die unaufhaltbare und womöglich unumkehrbare Veränderungen auslösen können.

Wenn zum Beispiel tauender Permafrostboden das hochwirksame Treibhausgas Methan freisetzt, dann heizt dieses die Atmosphäre weiter auf, was wiederum das Tauen beschleunigt. Oder wenn das Meereis im Polarmeer schmilzt, dann verwandelt sich eine weiße Schneelandschaft in Wasseroberfläche, die mehr Sonnenstrahlung absorbiert. Die Folge: Das Wasser wärmt sich auf und treibt so den Eisschwund weiter voran.

Einige Forscher sehen solche Rückkopplungseffekte allerorten im Klimasystem der Erde lauern. »Tipping points sind zu riskant, um gegen sie Wetten abzuschließen«, warnen Experten unter anderem vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in einem viel beachteten Aufruf in der Fachzeitschrift »Nature«. »Die Stabilität unseres Planeten ist in Gefahr«, schreiben die Autoren.

Die Kippschalter schlummern ihrer Analyse zufolge etwa im Nordatlantik und im

## Italien

Flammen fressen sich bis in die sizilianische Großstadt Catania vor.



Roberto Viganis / REUTERS

## USA

Rund 20 Jahre Dürre haben den Wasserstand des Lake Powell in Utah um 43 Meter sinken lassen.



Justin Sullivan / Getty Images

## Äthiopien

Die Grundregel, die den Planeten bestimmt, lautet: Die Extreme werden häufiger.



Eric Lafforgue / Getty Images





## Russland

Die Hitze in Sibirien befördert den Kollaps der Permafrostböden.

Marek Urbanski / Superbild



## Deutschland

Starkregen verursachte die schlimmste Hochwasserkatastrophe seit der Sturmflut 1962.

Christof Stache / AFP



## China

In Zhengzhou wurden Hunderte in der U-Bahn von der Flut überrascht.

Newscom / ddp media

Amazonasregenwald, in der sibirischen Taiga und in Korallenriffen. Und wer einen der Klimadämonen wecke, der drohe einen Schwarm weiterer zu entfesseln. Denn die Kippschalter seien miteinander gekoppelt. Die Forscher sprechen von »Kippkaskaden« und »Dominoeffekten«.

»Noch leben wir in einem Garten Eden«, sagt Johan Rockström. Der wissenschaftliche Co-Chef des PIK meint damit die geradezu paradiesisch stabilen Verhältnisse, die seit der letzten Eiszeit auf der Erde herrschen. »Die globalen Temperaturen haben in den letzten 10 000 Jahren nur um plus/minus etwa ein Grad rund um den Mittelwert von 14 Grad geschwankt«, erklärt Rockström. Dieser außergewöhnlichen Verlässlichkeit des Klimas sei es zu verdanken, dass der Mensch Landwirtschaft treiben und Hochkulturen entwickeln konnte.

Solche Beständigkeit des Klimas ist keine Selbstverständlichkeit. Im Gegenteil: In der Vergangenheit war das Klima oft von drastischen Schwankungen geprägt. An Eisbohrkernen aus Grönland lässt sich eine Art Chronik der vergangenen paar Hunderttausend Jahre ablesen. Sie offenbart, dass die Temperaturen mitunter binnen wenigen Jahrzehnten um fünf Grad und mehr hoch- und wieder heruntergesprungen sind. Und Sedimentkerne aus den Ozeanen sprechen dafür, dass solche abrupten Änderungen nicht nur auf die Arktis beschränkt waren. Die Erde, so scheint es, war ein Klimatollhaus. Kein Wunder, dass Homo sapiens sich lange Zeit nicht im Ackerbau versuchte. Die Kapriolen des Wetters hätten ihm die Ernte verhagelt.

Klimachaos wie in der Eiszeit könnte der Erde auch in der Zukunft bevorstehen, warnt Rockström. Denn indem der Mensch weiterhin Treibhausgase in die Atmosphäre pumpe, gefährde er die gegenwärtige Stabilität. Rockström fürchtet, dass das globale Gleichgewicht aus dem Lot gerät.

Das allerdings ist eine Sorge, die nicht alle seiner Kollegen teilen. »Es wird zu viel über Kippunkte gesprochen«, erklärt die Attributionsforscherin Otto aus Oxford. Und auch der Hamburger Max-Planck-Experte Marotzke ist skeptisch. Zwar klängen die Selbstverstärkungseffekte, die die Kippunkte so tückisch machen, plausibel, doch beruhten sie meist auf stark vereinfachten Annahmen. »Die meisten der Kippphänomene sehen wir in unseren Klimamodellen nicht«, konstatiert er. Von Weltuntergangsprognosen hält Marotzke nicht viel: »Der Klimawandel ist auch ohne tipping points bedrohlich genug.«

Wenn er die Alarmrufe der Potsdamer Kollegen auch für übertrieben hält, so räumt Marotzke doch ein, dass es möglicherweise wichtige Prozesse gibt, die von den Supercomputern bisher nicht richtig abgebildet werden. »Es kann sein, dass unsere Modelle stabiler sind als die Wirklichkeit«, sagt er. Anlass zur Vorsicht geben insbesondere die eigenartigen Temperatursprünge während der Eiszeit. Bisher ist kein Klimamodell in der Lage, sie korrekt nachzuvollziehen. Und wenn die Modelle bei der Rekonstruktion der Vergangenheit ver-



sagen, wer mag sich dann darauf verlassen, dass sie wirklich zuverlässig für die Vorhersage der Zukunft taugen?

**V**ieles spricht dafür, dass das Klimasystem der Erde in den Polregionen besonders große Überraschungen bereithält. Denn das Eis, das dort die Landschaft beherrscht, hat genau die Eigenschaften, deren es bedarf, um das Klima tiefgreifend zu verändern: Es schmilzt langsam, doch indem es schwindet, kippt unwiderstehlich das ganze System.

Paradefall eines Kippschalters ist der Eisschild Grönlands. Er liegt als gewaltiger Riegel, fünfmal so groß wie Deutschland und bis zu dreieinhalb Kilometer dick, vor Europa: ein Gigant aus Eis, der, wenn es nicht gelingt, die Treibhausgasemissionen zu stoppen, unwiederbringlich dem Kollaps geweiht ist.

Selbst den tipping points gegenüber ansonsten eher skeptische Klimawissenschaftler sehen hier einen Kippvorgang voraus: Irgendwann wird das Abschmelzen des Eises eine Eigendynamik entwickeln, die sich dann nicht mehr wird aufhalten lassen, bis der größte Teil der Grönlandgletscher verschwunden ist.

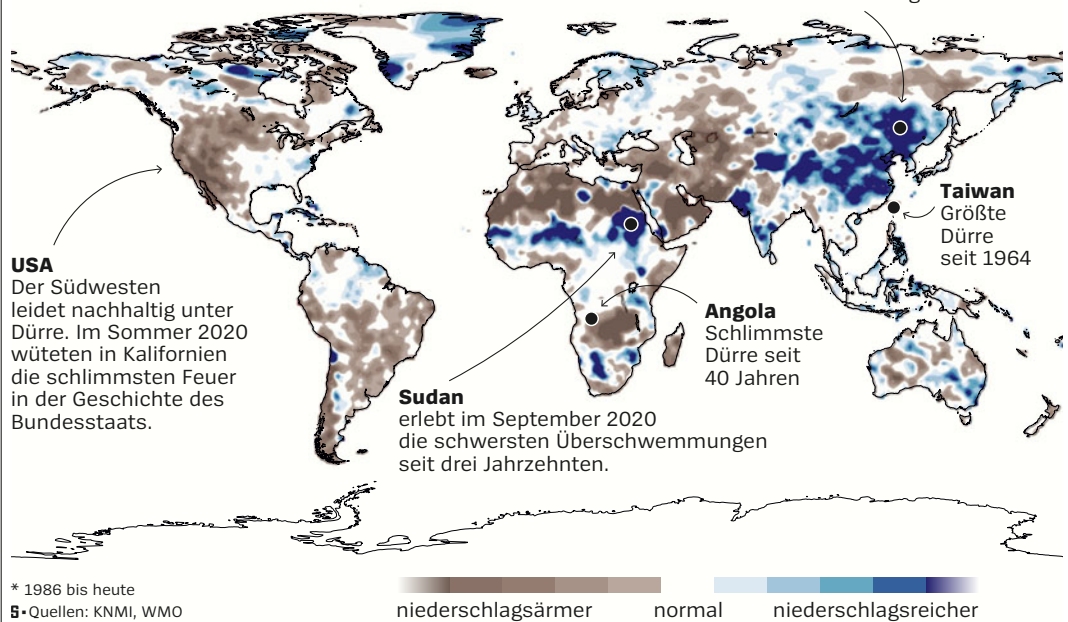
Verantwortlich dafür ist die sogenannte Schmelz-Höhe-Rückkopplung. Sie ist Folge eines Temperatureffekts, der jedem Bergwanderer vertraut ist: Wer einen Gipfel besteigen will, tut gut daran, einen Pullover einzupacken; denn je höher er steigt, desto kühler wird es. Dieser Effekt ist auch beim abschmelzenden Eis wirksam: Mit jedem Meter, den der Schild an Mächtigkeit abnimmt, verliert die der Sonne ausgesetzte Oberfläche an Höhe. Es wird deshalb wärmer, das Eis taut umso schneller.

Strittig ist nur, wann die globale Erwärmung den kritischen Schwellenwert erreicht hat, an dem dieser Effekt seine unerbittliche Dynamik entfaltet. »Die Klimamodelle zeigen einen Bereich von 0,8 bis 3,2 Grad«, erklärt Ricarda Winkelmann, die am PIK versucht herauszufinden, wie weit der Kippunkt noch entfernt ist. Schon heute ist die Erde im Durchschnitt 1,2 Grad wärmer als in vorindustrieller Zeit. Das heißt: Es könnte sein, dass die kritische Schwelle bereits überschritten und das Schicksal des Grönlandeises damit besiegelt ist.

Die Folge: Der Meeresspiegel wird ansteigen, um bis zu sieben Meter, wenn eines Tages alles Eis auf Grönland verflüssigt ist. »Das ist Grund für Klimaschutz, aber nicht für Panik«, sagt Anders Levermann, der am PIK

## Dürre und Flut

Vom Durchschnitt\* abweichende Niederschläge im Jahreszeitraum Juli 2020 bis Juni 2021



mit Winkelmann zusammenarbeitet. Denn niemand erwarte, dass das Eis quasi über Nacht in den Ozean stürzt. Es werde vielmehr über Jahrzehnte, Jahrhunderte, möglicherweise sogar über Jahrtausende hin im Sommer mehr Eis abtauen, als sich im Winter neu bilde. Der Kollaps vollzieht sich nicht in Form eines spektakulären Fala's, sondern als langsamer, aber unerbittlicher Schwund. Eine Katastrophe im Zeitlupentempo.

Es gibt keinen anderen Ort, an dem sich dieses Drama so eindrücklich bestaunen lässt wie am Ausgang des grönländischen Ilulissat-Eisfjords. Ein steter Strom mächtiger Eisberge, viele von ihnen Hunderte Meter groß, schiebt sich hier vom Sermeq-Kujalleq-Gletscher in den Ozean. Rund zehn Prozent allen ins Meer gelangenden Grönlandeises stammt von dieser einen Quelle her, darunter vermutlich auch jener legendäre Eisberg, mit dem die »Titanic« kollidierte.

Der Sermeq Kujalleq ist der schnellste Gletscher der Welt. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 46 Metern pro Tag schiebt er sich meereswärts. So außergewöhnlich ist der Ilulissat-Eisfjord und so bedeutsam für die Gletscher- und Klimaforschung, dass die Unesco ihn 2004 zum Weltkulturerbe erklärte.

Gerade wieder schmelze der Eisschild »massiv« ab, meldeten vorige Woche dänische Forscher. Die Temperaturen im Norden Grönlands stiegen auf mehr als 20 Grad – ein Rekordwert,

der dazu führt, dass acht Kubikkilometer Eis pro Tag schwinden. Insgesamt verliert der Eisschild derzeit durchschnittlich 268 Kubikkilometer pro Jahr an Volumen. Das entspricht ungefähr dem fünffachen Inhalt des Bodensees oder, anders gesagt: Es würde reichen, um ganz Deutschland 75 Zentimeter hoch unter Wasser zu setzen.

Aber so gewaltig diese Menge auch erscheinen mag, so trägt sie doch nicht einmal einen Millimeter zum Anstieg des weltweiten Meeresspiegels bei. Die entscheidende Frage ist: Wie stark wird sich der Abtauprozess im Verlauf des Dahinschwindens beschleunigen?

Bisher besteht Anlass zu verhaltenem Optimismus. Simulationen sprechen dafür, dass das Abschmelzen des Grönlandeises in diesem Jahrhundert nicht mehr als etwa 18 Zentimeter zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen wird.

»Wir werden deshalb keine Küstenstädte kurzfristig evakuieren müssen – langfristig jedoch müssen wir einige vielleicht aufgeben«, sagt Levermann. Beunruhigend findet er die Unwägbarkeiten der im Eis schlummernden Mächte. Es gebe da etwa die unheimlichen Befunde seines Kollegen Jörg Schäfer von der Columbia-Universität in New York. Schäfer hat den gesamten Eisschild Grönlands durchbohrt, um Gesteinsproben im Gletscherbett zu nehmen. Aus der Isotopenzusammensetzung konnte er schließen, dass der Fels über längere

**Die Temperaturen sprangen in der Vergangenheit auf und ab, die Erde war ein Klimatollhaus.**

Zeiträume innerhalb der letzten paar Millionen Jahre der Sonne ausgesetzt war.

»Der Eisschild muss in den Zwischenwarmzeiten mehrfach fast vollständig abgeschmolzen sein«, folgert Levermann. »Das aber bedeutet: Möglicherweise ist er deutlich weniger stabil, als er uns scheint.«

7500 Kilometer weiter südlich liegt ein weiterer Schalter des Weltklimasystems, und dort vollzieht sich der Vorgang des Umkippens schneller. »So schnell, wie Bäume sterben können«, sagt Levermann lakonisch.

Es geht um die Zukunft des brasilianischen Regenwalds. Wenn sich die schlimmsten Prognosen bewahrheiten, dann wird sich ein großer Teil des Urwalds in Amazonien in eine Savannenlandschaft verwandeln. Abertausende Tier- und Pflanzenspezies würden ausgelöscht, gewaltige Mengen Kohlenstoff zusätzlich freigesetzt.

»Allerdings ist die Situation hier noch weit komplexer als in Grönland. Denn wir haben es mit Ökologie, nicht nur mit Physik zu tun«, sagt Kirsten Thonicke. Am PIK untersucht sie, wie sich Brände, Wurzeltiefe, Stress, Mikroklima, Artenvielfalt und die Großwetterlagen im Regenwald wechselseitig beeinflussen.

**J**e genauer die Wissenschaftler hinsehen, desto deutlicher wird: Der Regenwald verändert sich, und die Auswirkungen des Wandels sind bis weit in die landwirtschaftlichen Regionen des Südens zu spüren. »Dieses Jahr war komplett untypisch«, sagt Gilberto Rodrigues, der eine Bauernkooperative in Munhoz de Mello im Bundesstaat Paraná leitet. Im Januar fiel ungewöhnlich viel Regen, dafür setzte die Dürre schon im April ein. Seither fehlt das Wasser, und vor gut einem Monat kam dann auch noch der Frost hinzu. »So etwas gab es noch nie«, sagt Rodrigues. Der größte Teil der Maisernte sei vernichtet.

Vor allem die Alten im Dorf können sich noch daran erinnern, wie anders das Wetter früher war. »Als wir im Jahr 1951 hierherkamen, da regnete es oft wochenlang«, sagt Antonio Moncalvo, 82. »Jetzt gibt es mal einen Schauer am Nachmittag, und dann hört es schon wieder auf.«

Tasso Azevedo bestätigt den Trend: »Für die Gebiete südlich des Amazonasgebiets dehnt sich die Trockenheit in jedem Jahrzehnt um sieben weitere Tage aus«, sagt der Koordinator der Initiative MapBiomass, die die Entwaldung des Regenwalds kartografiert. Wenn es noch zehn Jahre so weitergehe, werde das Einbringen der »safrinha«, der zweiten Maisernte, nicht mehr möglich sein.

Azevedo sieht einen direkten Zusammenhang mit der Vernichtung des Regenwalds durch Brandrodungen, Siedlungsbau und Bergbau. Denn ein großer Teil des Regens, der in den Agrarregionen Brasiliens niedergeht, stammt aus Amazonien. Fortgesetzt steigt dort Dampf aus dem grünen Dickicht auf, der sich zu Wolken zusammenballt. Diese werden

**»Dass der Klimawandel Hitzewellen verursacht, ist so sicher, wie dass Rauchen Krebs verursacht.«**

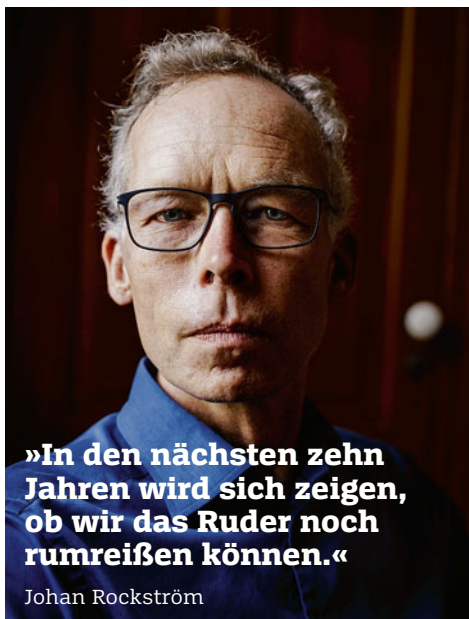
Friederike Otto



Horst Friedrichs

**»In den nächsten zehn Jahren wird sich zeigen, ob wir das Ruder noch rumreißen können.«**

Johan Rockström



Julia Steinigeweg / DER SPIEGEL

**»Es kann sein, dass unsere Modelle stabiler sind als die Wirklichkeit.«**

Jochem Marotzke



Maria Feck / J&F / DER SPIEGEL

dann von den Winden südwärts getrieben – Himmelsflüsse, die zusammen etwa ebenso viel Wasser führen wie der Amazonas selbst.

Diese »fliegenden Flüsse« aber, wie das Phänomen in Brasilien heißt, drohen ins Stocken zu geraten. Wenn das geschieht, wird es nicht nur den Landwirten im Süden an Wasser fehlen, sondern auch dem Wald selbst. Irgendwann, fürchten die Forscher, werde sich der Prozess verselbstständigen: Wenn erst einmal die Bäume beginnen zu verdorren, dann lässt das den Himmelsfluss vollends versiegen, was wiederum die weitere Versteppung vorantreibt: Eine der gefürchteten Rückkopplungsschleifen ist dann geschlossen, der Urwald löscht sich gleichsam selbst aus.

Antonio Donato Nobre ist Klimaforscher am brasilianischen Satellitenforschungsinstitut Inpe, er hat die Theorie der fliegenden Flüsse bekannt gemacht. »Wenn den Rodungen nicht bald Einhalt geboten wird, werden die klimatischen Veränderungen zu enormen Verlusten der landwirtschaftlichen Produktion in Brasilien, aber auch in den Nachbarländern Bolivien, Paraguay und Argentinien führen«, sagt er.

Auf seinen Kollegen und Bruder Carlos Nobre gehen die Zahlen zurück, die heute als Eckwerte des Kippschalters Regenwald gelten: Wenn 40 Prozent des ursprünglichen Waldareals in Amazonien gerodet sind, so hat er errechnet, dann wird die weitere Versteppung unaufhaltbar fortschreiten. Ein Anstieg der Temperaturen um vier Grad Celsius hätte denselben Effekt. Da aber Rodungen und Erwärmung dem Wald gleichzeitig zusetzen und er zusätzlich Stress durch Straßenbau, selektiven Holzeinschlag und Bergbau ausgesetzt ist, beziffert Carlos Nobre die kritische Schwelle auf 25 Prozent: Um mehr dürfe der Wald nicht schrumpfen, sonst sei seine Existenz gefährdet. Fast 20 Prozent des Regenwaldes aber sind schon heute vernichtet, der kritische Punkt ist also nicht mehr fern.

Eine kürzlich veröffentlichte Auswertung von Satellitenbildern zeichnet sogar ein noch düstereres Bild. Erstmals wurden auf den Aufnahmen nicht nur die abgeholzten Areale, sondern auch die Schädigung des Waldes erfasst. Die Befunde sind beängstigend: »Die Entwaldung schlägt Schneisen im Fischgrätenmuster in den Wald, wodurch der angrenzende Wald großflächig geschädigt wird«, sagt PIK-Forscherin Thonicke. Das lasse die Artenvielfalt und die Biomasse schwinden und damit auch die Widerstandskraft des Ökosystems.

Als Folge dieser Entwicklung macht der Tropenwald derzeit einen dramatischen Rollenwechsel im weltweiten Kohlenstoffzyklus durch. Vor allem in den für den Amazonaswald besonders stressigen El-Niño-Jahren dünstet er weit mehr Kohlendioxid aus, als er aufnimmt – aus einem der großen Kohlenstoffspeicher der Erde ist eine Quelle von Treibhausgas geworden.

Und was heißt all das nun für Europa? Was bedeutet es, wenn in Grönland das Eis und in



# Lodernde Wut

Die Waldbrände bringen Präsident Erdoğan in Bedrängnis. Die Regierung verharmlost den Klimawandel – und redet die Katastrophe klein.

**Die Sonne ist bereits untergegangen**, als Muhammet Tokat seinen Hilferuf absetzt. Hinter dem Bürgermeister der türkischen Gemeinde Milas steht der Horizont in Flammen. »Wir sind an einem kritischen Punkt«, warnt Tokat in dem Video, das er kurz darauf online stellt. Es sei Unterstützung aus der Luft notwendig, um das Feuer unter Kontrolle zu bringen.

Es ist der Abend des 2. August. Die Türkei kämpft zu diesem Zeitpunkt bereits seit fast einer Woche gegen verheerende Waldbrände. Zwischenzeitlich loderten über 150 Großfeuer, mehr als 30 der 81 Provinzen sind betroffen – und ein Ende der Katastrophe ist nach wie vor nicht in Sicht. Es brennt vor allem entlang der Mittelmeerküste. Besonders zu kämpfen haben die süd- und westtürkischen Provinzen Antalya und Muğla.

Tokat wirkt im Laufe der Zeit immer verzweifelter. Am 3. August schreibt er auf Twitter: »Es war offensichtlich, dass das passieren würde. Ich werde vor Wut weinen.« Erst einen weiteren Tag später fliegen endlich Löschflugzeuge über der Stadt.

Waldbrände sind im Süden des Landes keine Seltenheit, doch so schlimm wie jetzt haben sie seit Beginn der Aufzeichnungen 2003 nicht gewütet. Und die Menschen fühlen sich von der Regierung im Stich gelassen. Präsident Recep Tayyip Erdoğan musste eingestehen, dass sein Land über kein einziges funktionsfähiges Löschflugzeug verfügt.

Viele Experten sind sich zudem einig, dass die Brände durch den Klimawandel verschärft werden. In den vergangenen drei Jahren ist in der Region unterdurchschnittlich viel Regen gefallen, die Böden sind trocken, heftige Winde fachen die Feuer an. Die Türkei ist das einzige G-20-Land, das das Pariser Klimaabkommen nicht ratifiziert hat. Immer wieder werden bei Großprojekten wirtschaftliche Interessen über Umweltbedenken gestellt. Die Regierung spricht vage davon, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um bis zu 21 Prozent reduzieren zu wollen. Festgeschrieben ist das Ziel jedoch nicht.

Bei der Brandbekämpfung ist die türkische Regierung nun auf Hilfe aus dem Ausland angewiesen. Sie hat Löschflugzeuge aus Russland gemietet. Seit Kurzem sind auch Flieger aus Spanien und Kroatien im Einsatz.

In Ankara empfindet man die eigene Hilfslosigkeit offenbar als Schmach.

Initiatoren der Internetkampagne #Help-Turkey wurden von Erdoğan's Kommunikationschef Fahrettin Altun als Verräter diffamiert: »Die sogenannte Hilfskampagne wurde gestartet, um unseren Staat unfähig erscheinen zu lassen«, heißt es in einem Statement.

Die Kritik an der Regierung wird unterdessen immer lauter. »Hätte man gehandelt, als die ersten Feuer begannen, hätten wir jetzt nicht so eine massive Katastrophe«, sagt ein Hotelbesitzer aus Marmaris, der seinen Namen nicht veröffentlicht wissen will.

Bereits am Montag standen die bewaldeten Hügel außerhalb des Ferienorts in Flammen. Das Hotel ist verschont geblieben. Der Besitzer habe jedoch zu sehen können, wie die Feuer im Umland wüteten. »Wir haben das Forstministerium sofort kontaktiert. Sie sagten, sie würden eingreifen, aber sie kamen, als es zu spät war.«

Erdoğan hat in der Türkei in den vergangenen Monaten massiv an Popularität eingebüßt. Seine Regierung bekommt die Wirtschaftskrise nicht in den Griff, die Coronapandemie hat die Probleme der Menschen verschlimmert. Seine Reaktion auf die Brandkatastrophe dürfte dem Präsidenten nun weiter schaden.

Zwar verspricht er den Betroffenen, der Staat würde die niedergebrannten Wohnhäuser rasch durch Neubauten ersetzen. Später ergänzte die Regierung jedoch, dass die Bürgerinnen und Bürger die Gebäude kaufen und für die staatliche Hilfe 20 Jahre lang Raten abzahlen sollen. Als Erdoğan vor einigen Tagen mit einem Bus durch das Krisengebiet fuhr, warf er Beutel mit Tee in die Menge. »Nimm deinen Tee und hau ab«, schrieben aufgebrachte Bürger in den sozialen Medien.

Wie so oft versucht die Regierung die PR-Krise einzugrenzen, indem sie Journalistinnen und Journalisten zensiert. Die türkische Medienaufsicht RTÜK drohte Fernsehsendern, die über die Brände berichten, hohe Strafen an.

Unterdessen präsentierten die Behörden einen angeblich Schuldigen für einen der ersten Brände in Manavgat in der Provinz Antalya. Ein Zwölfjähriger gestand, aus Wut über die bevorstehende Scheidung seiner Eltern ein Feuer in einem Wald gelegt zu haben.

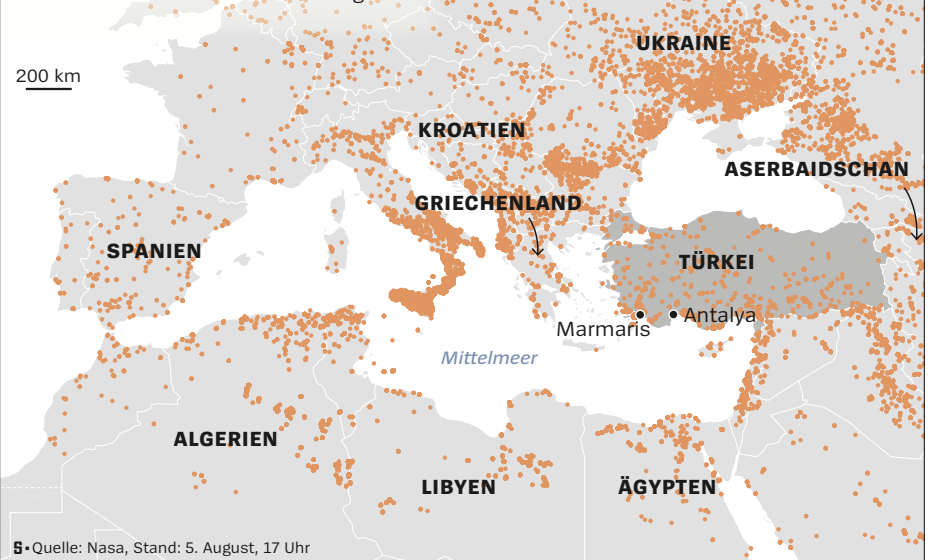
Wie groß das Ausmaß der Zerstörung ist, lässt sich noch nicht absehen. Vor allem die türkische Tourismusbranche, durch die Pandemie ohnehin gebeutelt, dürfte Schwierigkeiten haben, sich von der Brandkatastrophe zu erholen.

»Hier ist alles verloren. Es wird mehrere Generationen dauern, um das Grün wiederzubeleben«, sagt der Hotelbesitzer aus Marmaris. »Ich werde auf diesen Hügeln keine neuen Bäume mehr sehen können, ebenso wenig meine Kinder und deren Kinder.«

Sebnem Arsu, Anna-Sophie Schneider

## Verbranntes Land

Brände zwischen 27. Juli und 5. August





Brasilien der Urwald schwinden? Steuern wir womöglich auf ein Wetterchaos wie in der Eiszeit zu?

Die Antworten, die man auf diese Fragen erhält, hängen davon ab, wem man sie stellt. Die Klimawissenschaft lässt sich in zwei Fraktionen gliedern.

Die Mehrheit beharrt darauf, sich ausschließlich auf das gesicherte Wissen zu stützen. Das Beste aber, das zur Vorhersage der künftigen Klimaentwicklung zur Verfügung steht, seien – all ihren Unzulänglichkeiten zum Trotz – die Computermodelle. Und diese zeigten keinerlei Hinweise darauf, dass das Klima bei einer weiteren Erwärmung unkontrolliert aus dem Ruder läuft. »Die Erfahrung hat mich gelehrt, dass die Nichtlinearitäten umso weniger sichtbar werden, je komplexer wir unsere Modelle konstruieren«, sagt der Hamburger Klimaforscher Marotzke. Das heißt: Je komplizierter das System, das er auf dem Computer simuliert, desto stabiler scheint es zu werden.

Die andere Fraktion warnt, das Risiko einer Entgleisung sei zu hoch, als dass man es ignorieren dürfe. Die Rückkopplungen im System seien real, sie hätten das Potenzial, das Gleichgewicht zu destabilisieren. Und die Klimageschichte beweise, dass die derzeitige Stabilität nicht selbstverständlich sei. Zudem sei es, falls die Kippkaskade erst richtig in Gang komme, für Maßnahmen zu spät. »In den nächsten zehn Jahren wird sich erweisen, ob es uns gelingt, das Ruder noch herumzureißen«, sagt PIK-Chef Rockström.

Deutlich zeigt sich die unterschiedliche Betrachtungsweise auch angesichts der aktuellen Wettereskapaden, der Hitzewelle in British Columbia oder des Starkregens in der Eifel. Die Fraktion der Warner glaubt, in beiden Katastrophen das Wirken jenes Akteurs erkennen zu können, den sie für fast alle Extremwetterereignisse in den gemäßigten Breiten Amerikas, Europas und Asiens verantwortlich macht: den Jetstream.

Unstrittig ist, dass dieses Band in Höhen von im Mittel rund zehn Kilometern die Erde umwelter Wind das Wettergeschehen Mitteleuropas maßgeblich bestimmt. Angetrieben vom Temperaturgefälle zwischen der Arktis und den Subtropen, weht der Jetstream stetig von West nach Ost, und er zieht dabei jene Hoch- und Tiefdruckgebiete mit sich, die auf den Wetterkarten der Meteorologen vom Nordatlantik her und von den Azoren aus ostwärts gen Europa wandern. Zugleich umschließt der Jetstream

## Was wird es für Europa bedeuten, wenn in Grönland die Gletscher und in Brasilien die Regenwälder schwinden?

den Polarwirbel über dem Nordpolarmeer und riegelt damit die Kälte der Arktis von den mittleren Breiten ab.

**W**ie stark aber der Jetstream vom Klimawandel betroffen ist, darüber gehen die Meinungen auseinander. Stefan Rahmstorf vom Potsdamer PIK etwa weist darauf hin, dass die Temperaturdifferenz zwischen der Polarregion und den Subtropen infolge der globalen Erwärmung abnehme, weil sich die Arktis deutlich rascher aufheize als der Wüstengürtel der Erde. Das führe dazu, dass der Jetstream an Kraft verliert, die Wellen der Tief- und Hochdruckgebiete greifen gelegentlich weit nord- und südwärts aus, und vor allem: Sie wandern im Sommer langsamer. Im schlimmsten Fall kommt ihre ostwärts gerichtete Bewegung zum Stillstand. Dann setzen sich Wettersysteme fest. Es kommt zum Hitzestau wie in British Columbia oder zu Extremregen wie in der Eifel.

All das sei bisher unbewiesen, wendet der Hamburger Marotzke ein. Wenn er in seinen Klimamodellen den Treibhausgasgehalt der Atmosphäre hochreguliere, dann zeigten sich keine einheitlichen Veränderungen im Jetstream – und das, findet er, sei auch gar nicht erstaunlich: Zwar treffe es zu, dass die Bodentemperaturen in der Arktis weitaus rascher ansteigen als in den Subtropen; in den höheren Schichten der Troposphäre sei es jedoch genau umgekehrt. Der Jetstream aber spüre die Temperaturdifferenz in allen Höhenlagen. Welcher Effekt am Ende dominiere, sei noch nicht ausgemacht.

Marotzke neigt deshalb dazu, in den Extremwettern der vergangenen Wochen statistische Ausreißer zu sehen und kein Anzeichen eines neuen, noch unzulänglich verstandenen Wetterregimes. »Ehe wir uns auf künftige Nichtlinearitäten im Klimageschehen einstellen, sollten wir uns vergewissern, dass es sie überhaupt gibt«, sagt er.

Doch was die notwendigen politischen Konsequenzen betrifft, sind sich beide Fraktionen der Klimaexperten einig: Die weltweiten Kohlendioxidemissionen müssen runter, und zwar möglichst schnell. Die Launen des Wetters werden dem Menschen künftig zunehmend zu schaffen machen, selbst dann, wenn es vorerst keine Dominoeffekte gibt.

Wie dramatisch vor allem die Hitze zunehmen wird, das offenbart die Analyse der Attributionsforscher. Sie errechneten nicht nur, wie wahrscheinlich eine Superhitzewelle wie die diesjährige in Kanada unter den gegenwärtigen Klimabedingungen ist. Sie ermittelten auch, wie rasch diese Wahrscheinlichkeit in der Treibhauswelt der Zukunft wachsen wird.

Ihr Befund ist beängstigend: In ihren Simulationen gingen die Wissenschaftler davon aus, dass die globale Durchschnittstemperatur um weitere 0,8 Grad steigt, sodass der Schwellenwert von 2 Grad Erwärmung erreicht würde.

Eine Jahrtausendhitze, wie sie die Gemeinde Lytton heimsuchte, wäre dann fast eine Alltäglichkeit: Wüstenklima wie in diesem Sommer wird den Rechnungen der Forscher zufolge dann alle fünf bis zehn Jahre einmal dem Südwesten Kanadas einheizen.

Man mag sich nicht ausmalen, wie in dieser gar nicht mehr so fernen Zukunft ein Jahrtausendsommer aussehen mag.

Francesco Collini, Johann Grolle, Thomas Milz

## Aus der Balance geraten

Rückkopplungseffekte in wichtigen Ökosystemen und Eiskörpern

1

### Arktische Permafrostböden

- Permafrostböden tauen.
- Methan und Kohlendioxid werden freigesetzt.
- Diese wirken in der Atmosphäre als Treibhausgase.
- Temperatur steigt.
- **Böden tauen stärker.**

2

### Arktisches Meereis

- Meereis schmilzt.
- Reflektierendes Eis verwandelt sich in absorbierendes Wasser.
- Weniger Sonnenlicht wird reflektiert.
- Das lässt die Temperatur steigen.
- **Mehr Meereis schmilzt.**

3

### Grönland-Eispanzer

- Gletscher schmelzen.
- Eisschild wird dünner, Oberfläche liegt in niedrigerer Höhe.
- Temperatur dort ist höher.
- **Gletscher schmelzen schneller.**

4

### Westantarktischer Eisschild

- Gletscher bewegt sich in den Ozean.
- Wasser dringt unter den Eisschild.
- Dieses erleichtert das Gleiten des Eises.
- Mehr Wasser gelangt unter das Eis.
- **Gletscher bewegt sich schneller.**

5

### Amazonas-Regenwald

- Hitze und Trockenheit schädigen die Bäume.
- Diese verdunsten weniger Wasser.
- Das lässt die Zirkulation über die »fliegenden Flüsse« stocken.
- **Baumschäden nehmen zu.**



5 • Grafik