

Nick Reimer Toralf Staud



Deutschland 2050

Wie der Klimawandel
unser Leben verändern wird



Kiepenheuer & Witsch

Aus Verantwortung für die Umwelt hat sich der
Verlag Kiepenheuer & Witsch zu einer nachhaltigen
Buchproduktion verpflichtet. Der bewusste Umgang mit
unseren Ressourcen, der Schutz unseres Klimas und der
Natur gehören zu unseren obersten Unternehmenszielen.

Gemeinsam mit unseren Partnern und Lieferanten
setzen wir uns für eine klimaneutrale Buchproduktion
ein, die den Erwerb von Klimazertifikaten zur
Kompensation des CO₂-Ausstoßes einschließt.

Weitere Informationen finden Sie unter
www.klimaneutralerverlag.de

Neuigkeiten zum Buch auf Twitter: @DtI2050



Verlag Kiepenheuer & Witsch, FSC® N001512

1. Auflage 2021

© 2021, Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln

Alle Rechte vorbehalten

Covergestaltung: Barbara Thoben, Köln

Covermotiv: © plainpicture/Tanja Luther

Gesetzt aus der Minion und Brandon Grottesque

Satz: Buch-Werkstatt GmbH, Bad Aibling

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

ISBN 978-3-462-00068-9

Kapitel 9: Wirtschaft	
Überhitzungsgefahr für die deutsche Wirtschaft	200
Kapitel 10: Landwirtschaft	
»Am wohlsten fühlen sich Kühe bei 15 Grad«	227
Kapitel 11: Energie	
»Sicherheit der Stromversorgung hochgradig gefährdet«	257
Kapitel 12: Tourismus	
Erholung, Urlaub, Katastrophe	278
Kapitel 13: Sicherheit	
»Es wird künftig richtig ungemütlich werden«	300
Kapitel 14: Politik	
»Der Klimawandel passt nicht zur menschlichen Intuition«	328
Dank	344
Anmerkungen	347
Ortsregister	367

Einerseits ist all dies eine ganze Weile her. Andererseits fühlt sich 1990 noch ziemlich nah an. Gut 30 Jahre sind seither vergangen.

Fast genauso weit entfernt ist das Jahr 2050 – nur nicht in der Vergangenheit, sondern in der Zukunft. Und doch klingt diese Jahreszahl in unseren Ohren weit weg, fast wie Science-Fiction.

Vielleicht ist es so angelegt im menschlichen Gehirn, dass sich derselbe Zeitraum nach vorn viel länger anfühlt als nach hinten. Die Zukunft ist schwer greifbar, unwirklich. Mit ihr verbinden sich keine konkreten Bilder, wie sie das Gedächtnis bereithält von dem, was wir schon erlebt haben. Doch diese verzerrte Zeitwahrnehmung ist fatal bei einem Thema, bei dem es ums Überleben der Menschheit geht. Und die Verzerrung verstärkt, was beim Klimawandel ohnehin ein Problem ist: die »psychologische Distanz«.

Mit diesem Begriff beschreiben Sozialpsychologen das Phänomen, dass die meisten Menschen den Klimawandel weit entfernt wähen – sowohl zeitlich als auch räumlich: Okay, die armen Eisbären in der Arktis, all die bedauernswerten Menschen in Bangladesch – die bekommen sicherlich ein Problem. Vermutlich auch mein Ur-Ur-Enkel. Aber ich selbst?

Meinungsumfragen zeigen das Phänomen sehr anschaulich: Als für eine Studie (in den USA) Menschen sagen sollten, wen oder was sie bedroht sehen durch den Klimawandel, nahm das Gefühl stetig ab, je näher sich die Befragten dem jeweils Geschädigten fühlten: 71 Prozent hielten Pflanzen- und Tierarten für gefährdet durch die Erderhitzung, 70 Prozent sahen künftige Generationen bedroht, Menschen in Entwicklungsländern mehr als 60 Prozent. Dass auch US-Bürger gefährdet sind, räumten immerhin noch 59 Prozent ein. Ging es aber um Bewohner der eigenen Gemeinde, sahen nur noch 46 Prozent eine Betroffenheit. Und dass sie persönlich die Folgen der Klimaerhitzung zu spüren bekämen, glaubten bloße 41 Prozent.¹

Angesichts der Risiken, die der Klimawandel mit sich bringt, müssten wir in heller Aufregung sein. Doch anders als Corona lässt

uns das Thema seltsam kalt. Neben der (leider) menschlichen Tendenz, unangenehme Dinge zu verdrängen, hat dies auch damit zu tun, dass der Klimawandel keine täglich neuen Infektionszahlen liefert. Die Erderhitzung geht schleichend vor sich. Die über Jahrzehnte messbaren Veränderungen des Klimas sind mit menschlichen Sinnen kaum wahrnehmbar, gehen in den täglichen und jährlichen Schwankungen des Wetters unter.

Warum das menschliche Gehirn am Klimawandel scheitert, haben zum Beispiel der Harvard-Psychologe Daniel Gilbert und der britische Kommunikationsberater George Marshall analysiert: Es fehlt ein einzelner, klar identifizierbarer Bösewicht, der mit Treibhausgas unsere Zukunft zerstört – gäbe es ihn, würden wir umgehend Armeen losschicken. Unser Sinnes- und Denkkapazität ist im Laufe der Evolution auf plötzliche, unmittelbare Gefahren trainiert worden – auf einen Säbelzahn tiger zum Beispiel würden wir sofort reagieren. Sehen wir jedoch in der Zeitung eine wissenschaftliche Grafik zum Temperaturanstieg, blättern wir weiter.²

Die Klimaforschung hat ihren Teil beigetragen zur psychologischen Distanz. Zwar legt sie seit Jahrzehnten immer besorgniserregendere Befunde zur Erderhitzung vor, aber sie tut dies in der ihr eigenen, nüchternen, distanzierten Sprache. Sie verwendet Maßeinheiten (»ppm«), die kaum jemandem etwas sagen. Sie betont Ungewissheiten ihrer Forschungsergebnisse und liefert stets Fehlermargen mit – was wissenschaftlich überaus korrekt ist, aber in der Laienöffentlichkeit den irrigen Eindruck erweckt, die Forscher seien bei kaum etwas wirklich sicher. Tatsächlich jedoch ist lange klar: Der Klimawandel ist Realität. Seine Hauptursache ist der Mensch. Die möglichen Folgen sind verheerend. An diesen drei Punkten sind keine vernünftigen Zweifel mehr möglich.³

Wer die Augen nicht absichtlich zukneift, der sieht es inzwischen auch: Laut Daten des Deutschen Wetterdienstes (dem selbst verbohrt Leugner des Klimawandels vertrauen, wenn sie wissen wollen, ob es morgen regnet) ist die Durchschnittstemperatur in

Deutschland seit 1881 bereits um 1,6 Grad Celsius gestiegen. Die Nordsee am Pegel Cuxhaven steht heute 40 Zentimeter höher als 1843. Die Zahl der sogenannten Heißen Tage (an denen das Thermometer 30 Grad Celsius überschreitet) hat seit 1951 um 170 Prozent zu-, die der Schneetage um 42 Prozent abgenommen. Der Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr hat sich seit 1961 um bis zu drei Wochen nach vorn verschoben.⁴

Der Deutsche Wetterdienst kann auch schon sagen, wie es weitergeht. Immer ausgefeiltere Klimamodelle und immer leistungsfähigere Großrechner erlauben immer verlässlichere Blicke in die Zukunft. Auch andere Institute und Forscherteams haben bergeweise Studien zum Klimawandel in Deutschland vorgelegt. Doch wie gesagt: Fast immer sind diese Publikationen in der schwer verständlichen Sprache der Wissenschaft abgefasst. Und was die Ergebnisse im Detail bedeuten werden, ihre praktischen Konsequenzen – das beschreiben die Studien fast nie.

Genau deshalb gibt es dieses Buch. Wir haben unzählige Forschungsberichte und Studien gesichtet, Tagungen besucht, mehrere Hundert Interviews mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis geführt. Die folgenden Kapitel sind das Ergebnis monatelanger Recherchen. Sie sind nicht spekulativ, sondern basieren auf belastbaren Forschungsergebnissen – nur haben wir stets versucht herauszufinden, was denn *konkret* aus ihnen folgt. Deutschland 2050 buchstabiert also theoretische Erkenntnisse ins Praktische aus. Nicht mehr, aber auch nicht weniger.

Deutschland wird heißer. Es wird zugleich trockener und nasser – und unser Leben unsicherer

Wir sind also auf Reisen gegangen: zum Beispiel nach Thüringen in den Nationalpark Hainich, zu BASF in Ludwigshafen, zum Zentrum für Agrarlandschaftsforschung im brandenburgischen

Müncheberg. Und haben dann so anschaulich wie möglich zu beschreiben versucht, wie Deutschland und das Leben hierzulande in 30 Jahren aussehen werden. Manches haben wir erwartet, aber häufig waren wir überrascht – obwohl wir seit vielen Jahren über Klimawandel und Klimaforschung schreiben.

Deutschland wird 2050 jedenfalls ein anderes Land sein – ein heißeres. Hitze- und Dürresommer wie 2018 und 2019 werden Mitte des Jahrhunderts normal sein, ebenso extrem milde Winter wie jener 2019/20. Es wird immer öfter Sturzregen und Überflutungen geben, und doch vielerorts viel trockener sein als heute. Es wird mehr Unwetter geben und höhere Sturmfluten an den Küsten. Unser Leben wird 2050 unsicherer sein – und was dies für die sicherheitsfixierten Deutschen bedeutet, kann man nur ahnen.

Der Wortakrobat Karl Valentin soll einmal gesagt haben: »Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen.« Der Satz trifft dieses Buch nicht. Zwar sind die Bibliotheken in der Tat prall gefüllt mit Vorhersagen, die völlig danebenlagen. Den Zweiten Weltkrieg haben Historiker genauso wenig kommen sehen wie die deutsche Wiedervereinigung. Ausgerechnet der einstige Chef des Elektronikriesen IBM prognostizierte mal, weltweit gebe es einen Bedarf »für vielleicht fünf Computer«.

Doch dieses Buch handelt bewusst nicht von politischen oder ökonomischen, von technologischen oder sozialen Entwicklungen. Auch wir wissen selbstverständlich nicht, wer 2050 Kanzlerin ist (und auch nicht, ob die Bundesrepublik dann überhaupt noch eine parlamentarische Demokratie sein wird). Wir schreiben auf den folgenden Seiten nichts davon, mit welchen Verkehrsmitteln wir uns in 30 Jahren fortbewegen oder mit welchen Geräten wir dann kommunizieren werden. Vorhersagen hierzu sind – da hatte Karl Valentin recht – hochgradig unzuverlässig.

Ausgangspunkt dieses Buches ist nicht die Soziologie, nicht Politik- oder Wirtschaftswissenschaft – sondern die Physik. Es dürfte kaum einen Bereich geben, in dem sich verlässlicher in die Zukunft

blicken lässt als beim Klima. (Ungleich verlässlicher jedenfalls als bei den regelmäßigen Steuerschätzungen – auf deren Grundlage aber ganz selbstverständlich weitreichende politische Entscheidungen gefällt werden.)

Die Grundmechanismen des Klimasystems sind seit vielen Jahren bekannt, manche gar seit mehr als anderthalb Jahrhunderten. Es ist deshalb sicher, dass sich die Erde 2050 weiter erhitzt haben wird. Wie stark der weltweite Temperaturanstieg ausfallen wird, ist ebenfalls schon ziemlich klar (dazu kommen wir gleich). Und dank immer kleinteiligerer Klimamodelle weiß die Forschung auch bereits relativ gut, was daraus für verschiedene Gegenden Deutschlands folgt und was zum Beispiel an Hitze zu erwarten ist, bei Starkregen, beim Meeresspiegel. Geht man mit diesen Daten zu Bauern oder Ärzten, zu Forstwirten oder Stadtplanern, dann können die einem mit oft bemerkenswerter Gewissheit sagen, was diese Veränderungen jeweils für ihren Fachbereich bedeuten.

Es drohen horrende Kosten für die Anpassung an ein verändertes Klima – und mehr gesellschaftliche Ungleichheit

In diesem Buch geht es nicht um Klimaschutz, also darum, wie sich der Ausstoß an Treibhausgasen senken ließe. Dass und wie dies möglich ist – konkret: wie die deutschen Emissionen bis 2020 hätten halbiert werden können –, haben wir 2007 in unserem Buch *Wir Klimaretter* aufgeschrieben.

Auf den folgenden Seiten geht es auch nicht darum, wie man sich an das künftige Klima anpassen könnte. Natürlich, an einigen Stellen des Buches wird es zur Sprache kommen – aber das ist nicht unser eigentliches Thema. Denn wie genau Menschen auf Klimaveränderungen reagieren werden, ist spekulativ. Zum Beispiel rechneten unlängst zwei Forscher vor, dass es technisch durchaus möglich sei, die Nordsee mit gigantischen Dämmen vom Atlantik

abzutrennen und so auch gleich noch die Ostsee vor dem Anstieg des Meeresspiegels zu schützen. 637 Kilometer Sperranlagen müssten gebaut werden, zwischen Norwegen und Schottland sowie zwischen Frankreich und England, mindestens 50 Meter breit und 100 bis 320 Meter hoch (also tief). Auf rund 550 Milliarden Euro taxierten die Wissenschaftler die Kosten.⁵

Wer weiß? Vielleicht entscheiden sich die Anrainerstaaten von Nord- und Ostsee irgendwann tatsächlich für ein solches Giga-Projekt. Vielleicht siedeln sie aber auch Küstenstädte um. Oder tun etwas ganz anderes. Niemand kann wissen, welche Risiken eine Gesellschaft einzugehen bereit ist, wie stoisch sie eventuell welche Schäden hinnimmt, welche Kosten für Gegenmaßnahmen sie für angemessen hält, welche technologischen Optionen für vertretbar.

Lange Zeit haben Klimaschützer ungern über Anpassung geredet. Vermutlich hatten sie Sorge, damit Druck aus der Klimadebatte zu nehmen – also die Diskussion wegzulenken von der existenziellen Frage, wie der Ausstoß von Treibhausgasen gesenkt werden kann. Die Befürchtung ist durchaus berechtigt. Denn flüchtig betrachtet mag es so wirken, als wäre Anpassung an den Klimawandel eine Alternative zu unbequemen und bisweilen teuren Emissionsminderungen. Als wäre es einfacher, sich halt ein bisschen auf ein verändertes Klima einzustellen.

Das Gegenteil ist richtig. Je weiter man sich ins Thema Anpassung vertieft, desto mehr Probleme tauchen auf. So sagt es sich schnell, dass – um nur ein Beispiel zu nennen – in 30 Jahren alle Krankenhäuser und Altenheime in Deutschland Klimaanlage brauchen. Doch Tausende Großeinrichtungen mit verlässlich und halbwegs energieeffizienter Kühlung nachzurüsten, bringt eine unüberschaubare Fülle technischer und praktischer Schwierigkeiten mit sich (von den Kosten ganz zu schweigen).

Apropos Kosten. Beschäftigt man sich mit den absehbaren Folgen des Klimawandels in Deutschland, wird schnell offenkundig,

dass in den kommenden Jahrzehnten gewaltige Ausgaben auf das Land zukommen. Ein leistungs- und handlungsfähiger Staat ist in Zeiten des Klimawandels mindestens so überlebenswichtig wie während der Corona-Pandemie.

Bisher gibt es keine belastbaren Daten dazu, was genau die Folgen des Klimawandels für Deutschland finanziell bedeuten werden – und vermutlich ist es unmöglich, die notwendigen Ausgaben für Anpassung und erwartbare Schäden auch nur halbwegs verlässlich zu beziffern. Aber es ist schon erstaunlich, wie oft (und laut) über Kosten von Emissionssenkungen debattiert wird. Wie sich manchmal an einem einzelnen Windrad verbissene Konflikte entzünden, die ganze Dörfer entzweien. Wenn es jedoch tatsächlich ums Überleben geht – nämlich um die konkreten Auswirkungen der künftig viel gefährlicheren Klimaverhältnisse –, herrscht weitgehend Schweigen. Da wird weder über praktische Umsetzbarkeit geredet noch über die Verteilung von Lasten. Und auch nicht darüber, ob – verglichen mit den horrenden Kosten einer Klimaanpassung – die Ausgaben für Minderungen des Treibhausgas-Ausstoßes nicht vielleicht sehr viel besser angelegtes Geld sind.

Hier nur ein paar Zahlen: Nach dem Dürresommer 2018 zahlte Bund und Länder mehr als 300 Millionen Euro Soforthilfen an Landwirte, 2019 gab es 800 Millionen für die Forstwirtschaft. Nach den verheerenden Waldbränden jenes Jahres schaffte allein Mecklenburg-Vorpommern neue Feuerwehrtechnik für 50 Millionen Euro an, in den Küstenschutz hat das Bundesland seit 1991 rund 450 Millionen Euro investiert. Orkan »Sabine« richtete im Februar 2020 bundesweit etwa 675 Millionen Euro Schäden an, wobei der Sturm noch als relativ glimpflich galt: Orkan »Kyrill« 2007 kostete allein die Versicherer mehr als drei Milliarden. Das Hochwasser an Elbe und anderen Flüssen 2013 verursachte nach Angaben der Münchner Rückversicherung Schäden von mehr als zwölf Milliarden Euro. Der Klimawandel macht Extremwetter in den kommen-

den Jahrzehnten deutlich häufiger. »Wir werden dauerhaft mehr Geld brauchen«, brachte es der baden-württembergische Agrarminister Peter Hauk (CDU) Ende 2019 auf den Punkt.

Und noch ein vollkommen vernachlässigtes Thema fällt auf: Der Klimawandel wird – auch dies ist keine spekulative Aussage – soziale Ungleichheiten vertiefen. Weltweit ist bereits offensichtlich, dass ärmere Staaten wie auch ärmere Menschen (obwohl sie viel weniger zum Klimawandel beitragen) stärker unter den Folgen leiden als reiche. Dasselbe Phänomen wird sich in Deutschland zeigen. Auch hierzulande verursachen Wohlhabendere deutlich mehr Treibhausgase. Doch wer genug Geld hat, kann sich in seiner Wohnung eine Klimaanlage leisten (oder lebt sowieso in einem Häuschen mit schattigem Garten). Wer Vermögen hat, wird einfacher fortziehen können aus flutgefährdeten Gegenden. Schon heute beeinflusst das Einkommen die Wohnqualität, Gesundheit und Lebenserwartung – beispielsweise wohnen an lauten Hauptstraßen mit schlechter Luft überproportional viele ärmere Leute. Der Klimawandel wird die ungleiche Belastung mit Risiken verstärken.

Bauern, Forstwirte, Architekten – Klimawandel bedeutet auch eine radikale Entwertung von Erfahrungswissen

Ein dritter Punkt schließlich, der kaum jemandem klar ist – aber in seiner Tragweite kaum zu überschätzen: Wir alle, also jeder Mensch wie auch ganze Gesellschaften, verlassen uns permanent auf unsere Erfahrungen. Wir gehen (bewusst oder unbewusst) davon aus, dass man aus der Vergangenheit ableiten kann, wie man sich sinnvollerweise heute und künftig verhalten sollte. Welche Pflanzen ein Landwirt anbaut, wann er aussät, wann er erntet; wie und wo man sein Haus baut; wo eine Gesellschaft Städte ansiedelt, und wie sie diese organisiert – all dies ist abgeleitet aus Gewohnheiten und aus Wis-

sen, das häufig über Generationen oder gar Jahrhunderte gewachsen ist.

Doch wenn sich das Klima deutlich verändert, dann passen Bauernregeln, Bauvorschriften und vieles andere nicht mehr. Klimawandel bedeutet deshalb auch eine radikale Entwertung menschlichen Erfahrungswissens. Die Zukunft ist künftig unberechenbar (beziehungsweise muss mit Supercomputern erst sehr aufwendig berechnet werden, weil sie eben nicht mehr sein wird, wie sie immer war). Forstexperten zum Beispiel diskutieren längst, was es bedeutet, wenn Erfahrungen keine verlässliche Entscheidungsgrundlage mehr darstellen. Unmöglich werden Leben und Wirtschaften unter solchen Umständen sicherlich nicht – aber man kann sich vorstellen, wie schwierig und teuer es werden wird, dass es Menschen belasten und in die Verzweiflung treiben wird.

Die folgenden 350 Seiten konzentrieren sich auf Deutschland, um – siehe oben – die psychologische Distanz zum Klimawandel zu überbrücken. Doch vermutlich unterschätzen wir dadurch, was auf Deutschland tatsächlich zukommen wird. In vielen Bereichen nämlich warnen Experten, dass indirekte Rückwirkungen von Veränderungen anderswo uns sogar noch stärker treffen werden als die direkten Konsequenzen des Klimawandels hierzulande: Dass es weltweit viel mehr Flüchtlinge geben wird, dass Kriege um Wasser ausbrechen, dass der deutschen Exportwirtschaft Absatzmärkte im Ausland wegbrechen oder Importe notwendiger Rohstoffe schwieriger werden – all dies sind plausible Erwartungen, all dies wird Folgen für uns haben. Doch ist bei solchen indirekten Auswirkungen des Klimawandels die Ungewissheit größer, das Abschätzen der Folgen für Deutschland schwieriger – und damit das Risiko, doch spekulativ zu werden.

Weshalb wir 2050 als Horizont des Buches gewählt haben? Zum einen, weil dieses Jahr für die meisten Menschen in Deutschland noch innerhalb ihrer Lebenszeit liegt. Wenn Sie unter 50 sind, dann haben Sie gute Chancen, dieses Jahr noch zu erleben. Für Ihre Kin-

der, erst recht Ihre Enkel gilt das umso mehr. Zum anderen, weil die Klimaverhältnisse des Jahres 2050 (leider) schon ziemlich feststehen, da wir den größten Teil der Treibhausgase, die in 30 Jahren unser Klima und Wetter beeinflussen werden, bereits freigesetzt haben.

Die größere Unsicherheit beim Blick in die weitere Klimazukunft resultiert schlicht daraus, dass ungewiss ist, welche Mengen an Treibhausgasen die Menschheit künftig noch ausstoßen wird. In der Forschung wird deshalb mit verschiedenen Entwicklungsszenarien gerechnet. Wir haben für dieses Buch vor allem auf jene geblickt, in denen kein oder nur schwacher Klimaschutz betrieben wird. Nicht weil wir Pessimisten, sondern weil wir Realisten sind.

Von einem Pfad, der zum Erreichen der Pariser Klimaziele führen würde, ist die Welt meilenweit entfernt. Drei oder gar vier Grad Temperaturanstieg bis Ende des Jahrhunderts sind im Moment viel wahrscheinlicher als zwei oder gar nur 1,5 Grad Celsius. Und vier Grad mehr – das wäre wirklich eine komplett andere Welt. Wie sie aussähe, hat die Wochenzeitung *DIE ZEIT* eindrücklich ausgemalt: Bisher unvorstellbare Hitzewellen würden Teile der Welt unbewohnbar machen, weite Gebiete in Afrika und am Amazonas wären Wüste. Im Süden Chinas wären Flüsse ausgetrocknet, Millionen Menschen geflohen. Die verbleibende Menschheit müsste sich vor allem in Kanada, Nordeuropa und Nordrussland zusammendrängen.⁶

Mancher tut solche Szenarien als apokalyptisch ab – doch die Apokalypse wirkte plötzlich nicht mehr so unreal, als 2020 Australien und Kalifornien in einem Feuerinferno versanken und über den Atlantik so viele Hurrikans fegten wie nie seit Beginn der Aufzeichnungen, als der eigentlich feucht-sumpfige Pantanal in Brasilien in Flammen aufging und über Ostafrika Heuschreckenschwärme in biblischen Dimensionen herfielen, als im nordsibirischen Werchojansk, normalerweise einer der kältesten Orte der Welt, plötzlich 38 Grad Hitze gemessen wurden und auch in den Weiten der Taiga gewaltige Flä-

chenbrände wüteten. 2020 war erneut eines der heißesten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen, sowohl in Deutschland als auch weltweit.⁷

Klimaschutz mag wirken wie ein Totalumbau des Landes. In Wahrheit sorgt er dafür, dass *nicht* alles völlig anders wird

Im Jahr 2050 fallen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Klimaszenarien noch gering aus – selbst wenn die Welt ab jetzt entschieden handeln würde. Das Klimasystem der Erde ist träge, viele Elemente reagieren mit erheblicher Verzögerung. Erst nach Mitte des Jahrhunderts laufen die Varianten der Zukunft deutlich auseinander. Entschließt sich also die Menschheit (und die Bundesregierung) doch noch zu strengem Klimaschutz, dann flacht die Erhitzungskurve ab Mitte des Jahrhunderts ab. Dann werden die Wetterverhältnisse des Jahres 2100 stark jenen von 2050 ähneln. Land und Leben sehen dann zwar deutlich anders aus als heute, aber man wird es noch wiedererkennen. Deutschland wäre zwar ein erheblich heißeres Land – aber das Klima würde sich langfristig auf diesem Niveau einpegeln.

Bleiben jedoch schnelle und drastische Emissionssenkungen aus, beschleunigt sich der Klimawandel weiter – und dann wird auch Deutschland Ende des Jahrhunderts vor Schwierigkeiten stehen, die kaum noch zu bewältigen sein werden. Bei galoppierender Erderhitzung kämen wir mit der Anpassung kaum noch hinterher: Gerade sind neue Wälder mit Baumarten herangewachsen, die mit den gestiegenen Temperaturen klarkommen – schon würden sie wieder unter Klimastress gesetzt. Kaum hätten wir die Deiche an der Nordseeküste erhöht, würden sie schon wieder mit höheren Sturmfluten konfrontiert.

Halbwegs stabile Wetterverhältnisse sind von unschätzbarem Wert – nicht zufällig hat sich die menschliche Zivilisation in den

vergangenen rund zehntausend Jahren in einer Phase geringer Klimaschwankungen entwickelt. Wenn nicht in den kommenden zehn Jahren scharfe Einschnitte beim Treibhausgasausstoß gelingen, wird ein galoppierender Klimawandel in Gang gesetzt, dessen Folgen für die Menschheit wirklich unkalkulierbar wären.

Verfechter eines strengeren Klimaschutzes sagen bisweilen, es müsse sich alles ändern. Wirtschafts- und Lebensweise der westlichen Welt seien nicht zukunftsfähig. Essensvorlieben, Konsumgewohnheiten, Reiseverhalten, Energieversorgung – nichts dürfe bleiben, wie es ist. Zugleich wundern sie sich über Widerstände. Doch die sind alles andere als überraschend. Große Teile der Gesellschaft haben in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten bereits Unmengen von Veränderungen und Umbrüchen erlebt – im Berufsalltag, bei sozialen Sicherungssystemen, bei der Vielfalt der Gesellschaft, die sie umgibt, zuletzt durch die Corona-Pandemie und die einschneidenden Gegenmaßnahmen. Viele Leute haben schlicht die Nase voll von Veränderungen. Sie sehnen sich nach Ruhe und Stabilität – und da ist dann das Windrad am Horizont oder der Veggie-Tag in der Kantine der Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt.

Dabei ist es ja eigentlich genau andersherum: Neben den Veränderungen, die ein ungebremster Klimawandel für die Welt und auch für Deutschland brächte, verblassen die Umbauten, die zur Senkung der Treibhausgasemissionen nötig sind. In Wahrheit bedeutet nicht Klimaschutz eine große Veränderung – vielmehr würde ein Verzicht auf Klimaschutz unser aller Leben auf den Kopf stellen.

Dieses Buch schildert, wie ein Deutschland aussieht, das gegenüber vorindustriellem Niveau rund zwei Grad Celsius wärmer ist. Gelegentlich schauen wir auch auf Verhältnisse, die bei ungebremsten Emissionen drohen – vier Grad mehr (oder gar noch höhere Werte) in Deutschland, *das* würde alles ändern. Strenger Klimaschutz rettet also zumindest noch etwas Stabilität. Man könnte

sagen, er sichert unser Zuhause, unser Eigentum, unsere Städte. Oder noch kürzer: Klimaschutz bewahrt Heimat.

Wer verhindern will, dass Deutschland sich noch stärker verändert, als in diesem Buch geschildert, muss sofort mit dem schärfsten Klimaschutz anfangen, den er sich überhaupt vorstellen kann.

Kapitel 1: **Klimamodelle**

Heißes Land

Dank immer schnellerer Großrechner und immer besserer Klimamodelle kann der Deutsche Wetterdienst bereits heute ziemlich genau sagen, was uns Mitte des Jahrhunderts erwartet

Die Zeitmaschine steht in Offenbach, Frankfurter Straße 135. Hier hat der Deutsche Wetterdienst (DWD) seinen Hauptsitz. Fast einen ganzen Häuserblock nimmt das moderne sechsstöckige Bürogebäude ein. Im Erdgeschoss arbeitet, aufwendig gesichert, der DWD-Zentralcomputer. Mit ihm kann man in die Zukunft schauen: für ein paar Tage, also auf das Wetter von übermorgen in der Hocheifel oder in der Uckermark – aber auch auf das Klima in Deutschland im Jahr 2050.

Mit einer Chipkarte öffnet Pressesprecher Uwe Kirsche eine schwere Glastür. Ein paar Meter weiter eine zweite. »Das hier ist Hochsicherheitsgebiet«, sagt Kirsche. Eine Zugangsberechtigung zum Deutschen Meteorologischen Rechenzentrum, so der offizielle Titel, bekommt man nur nach einer intensiven Überprüfung – unter anderem durch den Bundesnachrichtendienst. Verlässliche Wetterdaten, das kann man ohne Übertreibung sagen, sind systemrelevant

für eine moderne Gesellschaft. »Der gesamte Luftverkehr, der Katastrophenschutz, nicht zuletzt die Bundeswehr«, erklärt Kirsche, »verlassen sich auf unsere Vorhersagen.« Dasselbe gilt für Behörden, die Wirtschaft – und nicht zuletzt jede und jeden von uns, die wir nach einem Blick auf das Smartphone oder die Wetterkarte der Tagesschau die großen und kleinen Dinge des Lebens planen.

Dann öffnet Uwe Kirsche eine dritte Tür. Dahinter liegt der Serverraum, groß wie ein Tanzsaal. Es ist laut hier wie in einer Autowaschanlage und warm wie in einem Heizungskeller, aber alles blitzblank sauber. Auf einem Boden aus massiven Metallrosten – darunter läuft die Verkabelung – stehen Computerschränke, lang wie Schiffscontainer. Ihre glatte Außenhaut ist mit Wolkenwirbeln bedruckt, aufgenommen aus dem Weltall. »Cray« steht darauf. 2013 lieferte der US-Hersteller von Supercomputern dem Wetterdienst sein aktuelles Großhirn, 2016 wurde es aufgerüstet, 2018 noch einmal. Pro Sekunde schafft die Maschine zweimal 1000 Billionen Rechenoperationen – wollte man dieselbe Leistung mit Heimcomputern erbringen, man bräuchte 30 000 von ihnen.⁸

Die Prozessoren erzeugen so viel Abwärme, dass sie mit Wasser gekühlt werden müssen. Sollte einmal der Strom wegbleiben, springt in Sekundenschnelle ein Dieselgenerator an. Bricht ein Feuer aus, wird der Raum mit Argon-Gas geflutet, um den Brand zu ersticken. Fällt der Rechner dennoch aus irgendwelchen Gründen einmal aus, steht an anderer Stelle eine baugleiche Kopie bereit, die sofort übernimmt. Hinter dem Cray XC40 wird an weiteren Schränken gearbeitet. Techniker installieren bereits den Nachfolger; er kommt vom japanischen Konkurrenten NEC und wird noch leistungsfähiger sein.

In einer anderen Ecke des Saals stehen Speichersilos, jedes groß wie ein Wohnzimmer. Durch ein Gittergeflecht sind unendlich lange Reihen schwarzer Magnetband-Kassetten zu sehen. Sie sind billiger als Festplatten und verbrauchen weniger Strom; in jeder stecken 1000 Meter Band, fünf Mikrometer dick. Auf Schienen rasen

automatische Greifer hin und her, ziehen Kassetten aus den Regalen, fahren sie zum Lesegerät und wieder zurück. Dies ist das Deutsche Wetter- und Klimaarchiv. Es enthält fast alle verfügbaren Beobachtungsdaten, die es seit 1881 für Deutschland und seit Mitte der 1960er weltweit gibt. Und täglich treffen Millionen neuer Daten aus allen Ecken der Erde in Offenbach ein, von Wetterwarten, Wetterbojen, Wetterschiffen, Wetterballons, Wetterradars, Wettersatelliten – ein Datenschatz von unermesslichem Wert. Denn wer in die Zukunft schauen möchte, wer verlässlich Wetter und Klima vorausberechnen will, braucht Milliarden penibel aufgezeichneter Daten aus Gegenwart und Vergangenheit.

»Wetter und Klima sind natürlich unterschiedliche Dinge«, sagt Barbara Früh, die beim Deutschen Wetterdienst das Sachgebiet »Klimaprojektionen und Klimavorhersagen« leitet. Wetter ist der momentane Zustand der Atmosphäre, Klima der langjährige Durchschnitt. Doch bei der Vorhersage haben beide dieselben Grundlagen, erklärt Früh. Sie basieren gleichermaßen auf Physik, auf den Hauptsätzen der Thermodynamik und den Gesetzen der Energie- und Masseerhaltung; auf Mathematik, Chemie, Meteorologie – und jahrzehntelanger Wetterbeobachtung.

Die Grundidee der Wetter- wie auch der Klimamodellierung ist simpel: Kennt man erstens den Ausgangszustand der Atmosphäre und kennt man zweitens die physikalischen Prozesse, die in der Atmosphäre ablaufen, dann kann man drittens die künftige Entwicklung berechnen. Zumindest wenn es Fachleuten wie Barbara Früh gelingt, eine mathematische Gleichung zu formulieren, die beispielsweise ausrechnet, wie stark die Sonnenstrahlung unsere Ozeane erhitzt, wie schnell erwärmte Luft nach oben strömt und wie viel Feuchtigkeit sie dabei mit sich reißt. Wann und wo dadurch Druckunterschiede entstehen, die Wind zur Folge haben, der aber verwirbelt wird, zum Beispiel an einer Gebirgskette. Und so weiter.

Barbara Früh beschäftigt sich seit den 1980er-Jahren mit dem Thema. Sie studierte Meteorologie an der Universität Mainz, wo

damals Paul Crutzen lehrte, der für seine Arbeiten im Gebiet der Atmosphärenchemie später den Nobelpreis erhielt. Mathematik und das Beschreiben der Realität mittels vereinfachender Gleichungen, das liegt ihr: Früh promovierte im Jahr 2000 zur »Entwicklung und Evaluierung einer Modellhierarchie zur Simulation der aktinischen Strahlung in aerosolbelasteter und bewölkter Atmosphäre«. Vereinfacht gesagt ging es um die Frage, wie Sonnenstrahlen eigentlich durch die Atmosphäre die Erde erreichen.

Virtuelle Luftpakete wandern um die Welt, Modellmeere heizen sich auf, simulierte Stürme brauen sich zusammen

Auf dem Cray XC40 läuft also eine unglaublich komplexe Software: das Wettermodell des Deutschen Wetterdienstes (eigentlich besteht es aus mehreren Modellen, aber dazu später). Erdoberfläche und Meere und Eismassen sind darin nachgebildet, die Lufthülle der Erde, ihre genaue chemische Zusammensetzung.

Die Welt ist in dem Modell in Millionen von Quadern zerteilt: Über die Erdoberfläche wurde ein Gitternetz gelegt und die Luft über jedem einzelnen Gitter dann auch noch zusätzlich in Scheiben geschnitten. Für jedes dieser Abermillionen Kästchen berechnet die Software in jedem Rechenschritt meteorologische Größen wie Temperatur, Luftdruck, Feuchte, Windgeschwindigkeit und vieles mehr. Die Ergebnisse werden dann jeweils an die Nachbarkästchen gemeldet, wo sie als Ausgangspunkt für den nächsten Rechenschritt dienen. Dann werden erneut alle Gleichungen gelöst, die Resultate weitergemeldet, und dann noch einmal – und so weiter. So werden virtuelle Luftpakete durch die Quader geschoben, simulierte Wassermassen heizen sich auf, Modell-Sturmfronten brauen sich zusammen und entladen sich wieder.

Je weiter eine Wetterprognose vorausschauen soll, desto weiträumiger muss gerechnet werden. Zum Beispiel hängt das Wetter

in der Uckermark in zehn Minuten vor allem vom aktuellen Wetter in der Umgebung der Uckermark ab. Doch je weiter der Blick, desto größer das Gebiet, das Einfluss nimmt – und das man deshalb berechnen muss. Desto mehr muss man sich um die Ozeane kümmern, das Meereis, die Landoberfläche in immer fernerer Regionen. Für Vorhersagen von fünf Tagen in Deutschland muss der Deutsche Wetterdienst bereits das Wetter auf der ganzen Erdkugel berechnen. Denn ob es nächste Woche in der Uckermark regnet, hängt vom Luftdruck über dem Mittelmeer genauso ab wie von der Wassertemperatur am Nordpol oder der Windgeschwindigkeit hinter dem Ural.

Viermal am Tag – um 0 Uhr, 6 Uhr, 12 Uhr und 18 Uhr – startet der Supercomputer die Wettervorausberechnung von vorn. Als Ausgangspunkt werden jeweils aktuelle Messdaten genommen, also das reale Wetter zum Zeitpunkt X. Nach rund zwei Stunden Rechenzeit hat die Maschine das Ergebnis für 78 Stunden Wetterzukunft ermittelt. Die Enddaten werden dann von weiteren, kleineren Computern für alle möglichen Abnehmer aufbereitet, sie werden in Wetterkarten umgewandelt, an Fluglotsen und Radioredaktionen übermittelt, auf Wetter-Apps ausgespielt.

Je kleiner die Quader im Modell, desto genauer kann das Wetter für bestimmte Orte berechnet werden – aber je mehr Quader ein Modell hat, desto größer ist natürlich der Rechenaufwand, desto schnellere Supercomputer braucht man. Um Aufwand zu sparen, schalten die Wetterexperten des DWD drei verschiedene Modelle zusammen: Jenes für Deutschland, genannt COSMO-DE, ist besonders feinmaschig; hier haben die Quader nur eine Kantenlänge von 2,8 Kilometer. Das europäische Umland ist gröber modelliert, hier sind die Gitterzellen 6,5 Kilometer groß. Für den Rest der Welt nutzt der Deutsche Wetterdienst ein Modell namens ICON mit einer Maschenweite von 13 Kilometer. Daraus ergeben sich 315 Millionen Gitterpunkte, welche der Cray XC40 in jedem Rechenschritt durchackern muss.

Eine zweite Einflussgröße für die Genauigkeit der Prognose sind die Ausgangsdaten der Berechnungen: Je exakter und vollständiger die Wetterdaten für heute sind, desto verlässlicher lässt sich das Wetter für übermorgen ableiten. Natürlich prüfen die Meteorologen ständig, ob das, was sie prognostiziert haben, später auch tatsächlich eingetroffen ist; schon allein um ihre Modelle zu verbessern. Das Ergebnis ist in den vergangenen Jahrzehnten stetig besser geworden und mittlerweile verblüffend exakt: In mehr als 90 Prozent der Fälle tritt nach zwei Tagen tatsächlich das vorherberechnete Wetter ein.

Hundertprozentige Sicherheit wird wohl niemals möglich sein – selbst bei unendlicher Rechenleistung und noch exakteren Modellen. »Das Wettersystem in der Atmosphäre ist chaotisch«, erklärt Barbara Früh. »Bei nur geringsten Verschiebungen der Anfangsbedingungen resultieren möglicherweise ganz andere Ergebnisse.« Sie benutzt das Bild eines Schmetterlings, der im peruanischen Regenwald mit den Flügeln schlägt, was hier ein Donnerwetter auslösen könne. Doch die Fortschritte, die der Deutsche Wetterdienst und andere Wissenschaftler gemacht haben, sind beachtlich: Heute sind ihre Sieben-Tages-Prognosen genauer als die Vorhersage für den übernächsten Tag in den 1970er-Jahren.

»Im Prinzip arbeiten wir bei der Klimamodellierung genauso wie bei der Wettervorhersage«, sagt Barbara Früh. Doch während ihre Wetterkollegen die Temperatur, den Regen, die Stürme der kommenden Woche berechnen, schaut sie in die ferne Zukunft. Mehr als 20 Leute arbeiten in Frühs Team, in jahrelanger Arbeit haben sie gemeinsam mit Kollegen anderer Institute das Klimamodell COSMO-CLM entwickelt und immer weiter verfeinert. Weil aber selbst bei Supercomputern wie dem Cray XC40 die Rechenleistung begrenzt ist, sind die Rechenschritte größer als bei den Wetterberechnungen. Die Daten werden in jedem Modellquader nicht alle paar Sekunden berechnet, sondern lediglich in Intervallen von gut drei Minuten; und ausgegeben werden die Ergebnisse nur in

Stundenschritten. Zudem sind in den Klimamodellen die Kantenlängen der berechneten Quader größer. Verglichen mit den Klimaberechnungen wirkt die Erstellung der Wetterberichte fast wie eine Bierdeckel-Kalkulation. Um das Klima für Deutschland über die nächsten 80 Jahre durchzurechnen, ist der Supercomputer fünf bis sechs Monate beschäftigt.

Trotz aller Klimagipfel und Regierungsversprechen steigt der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre weiter und weiter

»Wir unterteilen die Erde in Gitterzellen von rund hundert mal hundert Kilometer«, sagt Barbara Früh. Rheinland-Pfalz zum Beispiel ist etwa drei solcher Zellen groß. »Wichtig ist, alles zu ermitteln, was sich an solch einem Gitterpunkt auf das Wetter auswirkt«, erklärt die Meteorologin. Nehmen wir zum Beispiel die Gitterzelle mit dem Mittelpunkt 50,02° N, 6,56° O im geografischen Koordinatensystem der Erdoberfläche – der Punkt liegt im Eifelkreis Bitburg-Prüm am Westrand des Bundeslandes, in einem Wäldchen nahe dem Dorf Fließem. Es ist eine wellige Hochfläche, von einzelnen, fast 700 Meter hohen Bergrücken durchzogen, von der Schnee-Eifel zum Beispiel, der Kalk- und der Waldeifel. Tonschiefer, Quarzite und Sandstein bilden hier im Wesentlichen den geologischen Untergrund, Richtung Osten folgen Gebirgszüge vulkanischen Ursprungs.

Bei der Erstellung des Klimamodells muss in einem ersten Schritt die Topografie dieses Stückchens Rheinland-Pfalz nachgebildet werden. Ein nächster Schritt betrifft die Hydrologie, in der Sprache der Fachleute lautet die Frage: Wie wird das Relief entwässert? In unserer Beispiel-Zelle sind es Flüschen wie die Prüm, Nims, Salm oder Kyll, die auf der Bodenoberfläche das Niederschlagswasser sammeln und sich später in die Mosel ergießen. Auch der Bewuchs der Gitterzelle ist wichtig. Der Boden in den walddreichen Gegenden

der Eifel zum Beispiel speichert deutlich mehr Wasser als jener im Nordpfälzer Bergland, wo auf oft sandig-lehmigem Grund viel Landwirtschaft betrieben wird.

Aus solchen Erkenntnissen ergeben sich Parameter, auf denen das Modell aufgebaut wird – Werte, die den Nordwesten von Rheinland-Pfalz möglichst akkurat charakterisieren. Am Ende steht allein für die Bodeneigenschaften ein Datenblatt mit zwei Seiten voller Angaben, mit denen wohl nur Leute wie Barbara Früh etwas anfangen können: Mittlere Orografie – 254,1583099365234 Meter; Oberflächen-Hintergrund-Albedo – 0,1787201762199402; Bodentiefe bis zum Grundgestein – 0,083 Meter; volumetrische Bodeneinkapazität – 0,2879999876022339. Und so weiter. Die Werte geben jeweils einen Durchschnitt für die gesamte Gitterzelle an – und je besser sie sind, desto verlässlicher bildet das Modell ab, wie dieses Stückchen Erdoberfläche in der Realität Wetter und Klima beeinflusst.

Weil das System Erde unglaublich groß ist und so komplex, dass nicht einmal alle Supercomputer zusammengenommen alle Vorgänge nachrechnen könnten, müssen die Modellierer natürlich vereinfachen. Sie müssen manche Vorgänge im Klimasystem ausblenden, und manche Zusammenhänge auf der Erde sind schlicht auch noch nicht genügend erforscht. Doch das heißt nicht, dass die Modelle falsch sind. Sie sind so etwas wie eine Wanderkarte: Man kann sich gut damit orientieren, aber natürlich sieht man nicht jeden Stein und jeden Grashalm.

»Wesentlichster Unterschied unserer Arbeit gegenüber der Wettermodellierung ist, dass wir nicht nur die Atmosphäre betrachten, sondern auch die Ozeane – und damit deutlich mehr Variablen haben«, sagt Früh. Vor allem aber schauen sie und ihr Team nicht nur ein paar Tage in die Zukunft, sondern Jahrzehnte. Und über diese Zeiträume nimmt ein weiterer Faktor Einfluss auf das Klimasystem: der Mensch. Zum Beispiel produziert er massenweise Gase wie Kohlendioxid oder Methan und verändert so die

Zusammensetzung der Atmosphäre – sie hält dadurch immer mehr Sonnenenergie auf der Erde zurück. Und diese Erhitzung hat weitreichende Folgen fürs Klima und Wetter. Beispielsweise kann wärmere Luft mehr Wasserdampf speichern, was zur Folge hat, dass auch mehr Niederschlag fallen kann. Ein anderes Beispiel: Mehr als 90 Prozent der zusätzlich auf der Erde gehaltenen Wärme wandert in die Weltmeere. Heizen sich die Ozeane auf, verändert das die Meeresströmungen, was wiederum Rückwirkungen für die großräumigen Luftbewegungen hat.

All diese Veränderungen – und noch viele mehr – müssen Klimamodellierer berücksichtigen, wenn sie ihre Software zum Blick in die Zukunft programmieren. Daneben gibt es natürlich reihenweise Konstanten, physikalische Gesetzmäßigkeiten zum Beispiel, oder andere Dinge, die der Mensch nicht beeinflusst, etwa die gut erforschten Einflüsse der Sonne aufs Erdklima.

»Zum Glück haben wir breite Unterstützung«, sagt Barbara Früh. »Es gibt viele Wissenschaftler, die uns ihre Erkenntnisse zuliefern.« Neben Physikern und Chemikern, Astronomen und Ozeanologen arbeiten auch Ökonomen und andere Sozialwissenschaftler an den Modellen mit. Denn für das Klima der Zukunft ist extrem wichtig, wie sich die Menschheit verhält. Wie viele Städte werden in den kommenden Jahrzehnten gebaut und wo? Wie viel Wald steht 2050 in den Gitterzellen der Eifel? Klar, dass hier oft geschätzt werden muss, dass bestimmte Annahmen getroffen werden müssen.

Die wichtigste Variable von Klima-Modellrechnungen ist natürlich: Wie viel Treibhausgase wird die Menschheit künftig noch in die Luft blasen? Dies kann weder Früh noch sonst ein Forscher wissen, weshalb die Klimamodelle verschiedene Zukünfte berechnen – im Fachjargon: Szenarien. Eine dieser Zukunftsberechnungen nimmt zum Beispiel an, dass jetzt endlich mit echtem Klimaschutz begonnen wird, so, wie im Abkommen von Paris 2015 beschlossen. Damals einigten sich die Staats- und Regierungschefs der Welt darauf, die Erderwärmung »auf deutlich unter zwei Grad Celsius« zu

begrenzen, besser noch auf höchstens 1,5 Grad über dem vorindustriellen Niveau. RCP2.6 nennen Klimaforscher diese Zukunft, das optimistischste Szenario.

Allerdings folgten der gefeierten Absichtserklärung von Paris kaum Taten. Laut Berechnungen der UN müsste der weltweite Ausstoß an Treibhausgasen bis 2030 pro Jahr um mehr als sieben Prozent sinken, wenn man die Erderhitzung tatsächlich noch auf 1,5 Grad Celsius begrenzen wollte. In der Realität jedoch stiegen die Emissionen auch nach Paris immer weiter, Jahr für Jahr. Erst die brutale Vollbremsung von Teilen der Weltwirtschaft infolge der Corona-Pandemie sorgte 2020 für einen Rückgang – aber nur kurzzeitig. Den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre hat der Einbruch nur minimal verlangsamt.⁹ Und nach der Krise wird das Wachstum wohl wieder weitergehen.

Deshalb berechnen die Modellierer beim Deutschen Wetterdienst und anderswo auch Szenarien ohne oder fast ohne Klimaschutz-Maßnahmen. Das pessimistischste heißt RCP8.5 und beschreibt einen praktisch ungebremsten Ausstoß an Treibhausgasen. (Daneben gibt es noch Szenarien namens RCP6.0 und RCP4.5, die ein wenig oder etwas mehr weltweiten Klimaschutz simulieren.)

Rund zwei Grad wärmer wird es in Deutschland bis 2050 – ohne Klimaschutz könnten es bis 2100 sechs Grad werden

Wie ihre Wetterkollegen überprüfen auch die Klimaexperten des Deutschen Wetterdienstes ständig die Qualität ihrer Modelle. Beim Wetterbericht kann man das jeden Tag tun, wenn die Vorhersage von gestern mit dem tatsächlichen Wetter von heute verglichen wird. So ähnlich funktioniert auch der Prüfmodus von Klimamodellen: Die ersten ihrer Art entstanden bereits in den 1960er-Jahren. Es liegen deshalb schon so alte Modellergebnisse vor, dass man die damaligen Vorhersagen (Klimaforscher sprechen

übrigens nie von »Prognosen«, sondern ziemlich bescheiden von »Projektionen«) mit der späteren Realität vergleichen kann. Und tatsächlich erwiesen sie sich als ziemlich korrekt.¹⁰

Eines der ersten Klimamodelle stammte unter anderem von Syukuro Manabe. Der gebürtige Japaner forschte damals bei der US-Wetterbehörde und publizierte 1967 im *Journal of the Atmospheric Sciences* ein Papier, das unter Fachkollegen bis heute als einflussreichste Klimastudie aller Zeiten gilt.¹¹ Es ist nur 19 Seiten lang, gefüllt mit Diagrammen, Tabellen und komplexen mathematischen Gleichungen. »Gemäß unserer Schätzung«, so das Fazit, »lässt eine Verdoppelung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre ihre Temperatur um etwa zwei Grad Celsius steigen.« Manabe ist heute 89 Jahre alt, die aktuellen Messwerte bestätigen seine mehr als fünf Jahrzehnte alte Arbeit: Seit Beginn der Industrialisierung hat der Mensch die Kohlendioxid-Konzentration in der Luft um ziemlich genau die Hälfte erhöht. Und tatsächlich stieg die Erdmitteltemperatur um die Hälfte des von Manabe genannten Werts, um rund ein Grad Celsius.

Seit damals ist die Leistung der Großrechner millionenfach gestiegen, die Kantenlängen der einzelnen Quader im Modell konnten im Laufe der Jahre immer kürzer gemacht, das Klima immer kleinteiliger berechnet werden. Immer mehr Zusammenhänge im Klimasystem wurden verstanden, immer mehr Erkenntnisse aus der Forschung in die Modelle integriert.

Die zweite Möglichkeit, um die Qualität von Klimamodellen zu testen, ist der Blick in die Vergangenheit: ein Rückwärtsberechnen des Klimas. Aus natürlichen Archiven, etwa Jahresringen uralter Bäume, Tropfsteinen aus Höhlen oder Sedimentablagerungen in Seen, konnten Klimaforscher die Temperaturen der Vergangenheit rekonstruieren (Paläoklimatologie heißt diese Teildisziplin). Aus Eisbohrkernen, die sie zum Beispiel aus dem Frostpanzer der Antarktis zogen, extrahierten sie Luftbläschen, die Hunderttausende von Jahren alt waren und Auskunft gaben, wie viele Treibhausgase damals in der Atmosphäre waren. Um ihre Modelle zu

überprüfen, füttern also Barbara Früh und ihre Kollegen überall auf der Welt ihre Supercomputer auch mit historischen CO₂-Daten – und schauen, ob die daraus rückblickend berechneten Temperaturen mit den paläoklimatischen Messdaten übereinstimmen. Ergebnis: Ja. Wissenschaftlern des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung ist es kürzlich gelungen, auf diese Weise das Klima der vergangenen drei Millionen Jahre in einem Modell zu reproduzieren. Es hat die Entwicklungen des Meeresspiegels und der Eisschilde während mehrerer Eiszeitzyklen zutreffend berechnet.¹²

Längst sind die Wetter- und Klimamodelle so komplex, dass Forscherteams und Institute weltweit kooperieren, um die Arbeit zu schaffen – der Deutsche Wetterdienst zum Beispiel hat seine Modelle gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt und arbeitet unter anderem mit den Wetterdiensten von Israel, Italien, Russland und der Schweiz zusammen. Weltweit gibt es derzeit mehr als 30 Klimamodelle; man könnte sagen, jede Nation, die zur Forschungselite der Welt zählen will, betreibt eigene Klimamodellierung: Frankreich natürlich, China, die USA, Großbritannien, aber auch Kanada, Südkorea, Australien oder Südafrika. Unter den Teams gibt es regen Austausch, denn der hilft, eigene Schwachstellen zu erkennen. »Vor ein paar Jahren prognostizierte das japanische Modell für Europa ganz komische Sachen«, erinnert sich Barbara Früh, die seit 2010 mit dem Klimamodell des Deutschen Wetterdienstes arbeitet. Bei der Überprüfung stellten die Forscher fest, dass die japanischen Kollegen über eine vorzügliche Beschreibung der physikalischen Eigenschaften im pazifischen Raum verfügten, jene für Europa aber nicht stimmte. »Durch unsere Zusammenarbeit sind dann beide Modelle besser geworden.«

Dazu kommen immer mehr Regionalmodelle, also solche, die mit kleineren Gitterabständen rechnen. Allein in Deutschland gibt es inzwischen rund ein halbes Dutzend. Neben jenem des Deutschen Wetterdienstes zum Beispiel REMO, beides sogenannte

dynamische Regionalmodelle, die auf physikalischen Gleichungssystemen beruhen. Daneben existieren statistische Regionalmodelle (mit Namen wie EPISODES und WETTREG), die aus Wetterlagen der Vergangenheit das voraussichtliche Wetter in einem künftigen Klima ableiten. Eines der bislang größten Modellierungsprojekte in Deutschland lief von 2014 bis 2017 unter dem Titel ReKliEs-De. Es schaltete mehr als zwei Dutzend Klimamodelle zusammen, beteiligt waren neben dem DWD unter anderem das Hessische Landesamt für Umwelt, die Universitäten Cottbus und Hohenheim und das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Aber bleiben wir im Erdgeschoss des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach. Was hat denn nun der Cray XC40 fürs Klima in Deutschland 2050 errechnet? Wie wird es bei uns in 30 Jahren aussehen?

Vor der Leiterin der Klimamodellierung liegen die Auswertungen der jüngsten Berechnungen, Tabellen, Grafiken. Wie für seriöse Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler typisch erläutert Barbara Früh erst einmal die Grenzen ihrer Arbeit, also Ungewissheiten bei den Projektionen. Die gibt es natürlich, aber sie sind vergleichsweise klein. Man kann sich das Verhältnis von Sicherheit und Ungewissheit bei Klimamodellen ungefähr vorstellen wie eine Vorhersage fürs Wasserkochen: Dreht man unter einem Topf die Flamme hoch, dann wird – bei normalem Luftdruck – das Wasser bei einhundert Grad Celsius sieden und zu blubbern beginnen. Ungewiss jedoch ist, an genau welcher Stelle im Topf dann Gasblasen aufsteigen, in welcher Reihenfolge und in welcher Größe – dies kann kein Wissenschaftler der Welt vorhersagen.

Klimamodelle sagen deshalb auch nicht für ein bestimmtes Jahr oder gar für einen bestimmten Monat der Zukunft das Wetter voraus, sondern sie berechnen Durchschnittswerte des Wetters für einen längeren Zeitraum – genau das ist ja »Klima«. Für ihre Projektionen lassen die Wissenschaftler ihre Modelle dutzend-, hundert-, tausendfach laufen, sie variieren minimal Eingangsdaten

und Anfangszeitpunkte und sortieren dann die Vielzahl der ausgeworfenen Daten, sondern Ausreißer nach oben und unten aus, bilden Mittelwerte, erstellen Ergebniskorridore. Denn, wie gesagt, bei einem chaotischen System kann man nie ganz exakt vorhersagen, wie es sich verhält. Kommt aber eine große Zahl von Rechenläufen zu ähnlichen Ergebnissen, dann sind sie verlässlich.

Barbara Früh hat also in ihren Papieren Spannbreiten für die künftigen Temperaturen in Deutschland: Bis spätestens 2050 werden sie – gegenüber dem Beginn der Aufzeichnungen 1881 – um 1,9 bis 2,3 Grad Celsius steigen.¹³ Mitte des Jahrhunderts wird also in Deutschland bereits eine stärkere Erhitzung erreicht sein, als im Pariser Abkommen als globales Limit beschlossen wurde.

Neben diesem langfristigen Ausblick hat der Deutsche Wetterdienst auch eine Vorausschau für das laufende Jahrzehnt berechnet – also bis 2029. Demnach wird die Erhitzung der vergangenen Jahre ohne Verschnaufpause weitergehen. Besonders stark dürfte sie in Westdeutschland (Saarland, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und Hessen) ausfallen sowie in Ostdeutschland (Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Berlin und Brandenburg) – etwas weniger stark hingegen im Norden und Süden Deutschlands.¹⁴

Im Jahr 2050 liegen die Szenarien mit oder ohne Klimaschutz noch ziemlich nahe beieinander. Der Grund dafür ist die Trägheit des Klimasystems und die lange Lebensdauer von Treibhausgasen. Kohlendioxid zum Beispiel verbleibt Hunderte von Jahren in der Atmosphäre, es wird durch natürliche Prozesse nur sehr langsam abgebaut. Den größten Teil der Erhitzung, die wir 2050 spüren werden, haben wir daher längst ausgelöst. Doch je weiter der Blick in die Zukunft geht, desto stärker spreizt sich die Entwicklung. Bei strengem Klimaschutz steigen die Temperaturen nach 2050 praktisch nicht mehr, auch zum Ende des Jahrhunderts liegen sie dann laut der DWD-Modelle »nur« rund zwei Grad über dem Niveau zu Beginn der Industrialisierung. Steigen jedoch die Emissionen weiterhin stark, dann wird sich Deutschland bis Ende des Jahrhun-

derts um rund 4,5 Grad erhitzt haben. Im Wörtchen »rund« steckt auf diese lange Sicht eine erhebliche Spannbreite: Es könnten auch 3,5 Grad oder extreme sechs Grad sein.¹⁵

Aber was bedeuten die rund zwei Grad bis Mitte des Jahrhunderts ganz konkret für unser Land, für unser Leben?

Barbara Früh schüttelt den Kopf: »Ich bin für die Modellierung zuständig«, sagt sie. »Die Auswertung der Daten übernehmen Kolleginnen und Kollegen.«

»Kälte wird es nur etwas weniger geben. Dafür bekommen wir mehr Hitze – und vor allem mehr extreme Hitze«

Zum Beispiel Andreas Walter, der beim Deutschen Wetterdienst für das Sachgebiet »Anpassung an den Klimawandel« zuständig ist. 2001 promovierte Walter über statistische Klimatologie, beste Voraussetzung also, um aus Gitternetzpunkten, Spannbreiten und Temperaturentwicklungen praktische Aussagen abzuleiten. »Der globale Klimawandel und seine Auswirkungen für Deutschland« lautet die Überschrift seines Vortrags, mit dem er seit Jahren durch Rathäuser, Behörden oder Universitätshörsäle tourt.

Zuerst räumt Walter mit einem verbreiteten Missverständnis auf: »Ein wärmeres Klima in Deutschland bedeutet nicht, dass es keine frostigen Winter mehr geben wird!« Um dies zu verdeutlichen, zeigt Walter eine Gauß'sche Glockenkurve. Sie ist benannt nach dem Mathematiker Carl Friedrich Gauß, der Anfang des 19. Jahrhunderts die Verteilung von Wahrscheinlichkeiten beschrieb. Als Diagramm gezeichnet sieht die Verteilung aus wie eine Glocke: in der Mitte hoch (heißt: Werte nah am Mittelwert kommen häufig vor), an den Rändern flach (bedeutet: Extreme sind selten).

Als erste Folie seines Vortrags zeigt Andreas Walter zwei solcher Gaußkurven: »bisheriges Klima« steht auf der einen, »zukünftiges Klima« auf der anderen. Man sieht sofort: Die Glocke des künfti-

gen Klimas liegt insgesamt weiter rechts auf der Skala, also bei höheren Temperaturen. Doch sie ist nicht einfach verschoben – sie beginnt links etwa am gleichen Punkt, aber zieht sich viel breiter auseinander. Andreas Walter: »Das bedeutet: Es wird in Deutschland auch weiterhin sehr kalte Jahre geben, allerdings viel weniger.« Auf der anderen Seite werden es dafür mehr heiße Jahre – und es kommen am Ende der Glockenkurve Jahre mit Temperaturen dazu, die hierzulande bisher unbekannt waren. Insgesamt ist die Kurve dadurch flacher als die heutige. »Kurz gesagt bekommen wir nur etwas weniger Kälte. Dafür aber mehr Hitze – und vor allem mehr Extreme.«

Geht es etwas genauer, Herr Walter? Wie wird denn das Wetter der Zukunft, zum Beispiel 2050 in Hannover?

Andreas Walter bremst. Das Wetter an einem einzelnen Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt könnten Klimatologen auch mit noch besseren Modellen und Großrechnern nicht vorhersagen, betont er.

Klima ist der langjährige Durchschnitt des Wetters. Den Unterschied zwischen beiden kann man sich am Beispiel eines Schwimmbeckens vorstellen: Die Füllhöhe des Pools ist das Klima. Die Wellen auf der Oberfläche jedoch, die der Wind kräuselt oder hineinspringende Kinder aufwerfen – das ist Wetter. Die menschengemachten Treibhausgase wiederum sind wie ein Schlauch, der zusätzliches Wasser in den Pool leitet und den Pegel steigen lässt. Klimamodelle berechnen nun – unter Berücksichtigung einerseits der Stärke des Wasserstrahls und andererseits der Verdunstungsrate im Pool –, wie hoch zum Zeitpunkt X das Schwimmbecken gefüllt sein wird. Klar ist, dass dann auch die Wellen höherschlagen werden – und wenn man die heutigen Wellen (das Wetter) kennt, kann man auch abschätzen, wie hoch sie künftig schwappen. Aber wann genau es welche Welle gibt, und wie hoch jede einzelne sein wird: Das weiß kein Klimamodell.

Aussagen zum Klima treffen Meteorologen üblicherweise anhand sogenannter Kenn-Tage, erklärt Andreas Walter. Sie sprechen

also beispielsweise über die Zunahme sogenannter Heißer Tage (an denen das Thermometer über 30 Grad Celsius steigt) oder die Verschiebung jenes Tages, an dem im Frühjahr die Blüte des Haselstrauches beginnt.

Bei seinen Vorträgen spricht er meistens nicht über die Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau oder dem Beginn der Wetteraufzeichnungen. Stattdessen bezieht er sich auf das Niveau Ende des 20. Jahrhunderts, also den Durchschnitt der Periode 1971 bis 2000, weil sich viele seiner Zuhörerinnen und Zuhörer an diesen Zeitraum noch persönlich erinnern können.

Und dann geht Walter ins Detail:

-- *Jahreszeiten und Regionen*

Im Jahresdurchschnitt werden die Temperaturen in Deutschland bis 2050 um rund 1,4 Grad Celsius zunehmen. Dabei erwärmen sich die Jahreszeiten unterschiedlich – das Frühjahr etwas weniger stark, dafür Herbst und Winter noch deutlicher.¹⁶ Sehr milde Winter wie jener 2019/20, in denen zum Beispiel in Berlin nicht an einem einzigen Tag auch nur ein bisschen Schnee lag, werden dann nichts Besonderes mehr sein.

Auch regional wird es Unterschiede geben: Im Süden und vor allem in den Alpen steigen die Temperaturen deutlich stärker als im deutschlandweiten Durchschnitt, an den Küsten von Ost- und vor allem Nordsee hingegen etwas weniger.

-- *Der Südwesten – von Freiburg bis Mainz/Wiesbaden*

»Spätestens ab 2050 wird das Leben ungemütlich für Menschen in der Region Wiesbaden, Mainz, Mannheim, Karlsruhe, im Oberrheingraben bis hinunter nach Freiburg«, sagt Andreas Walter. »Das sind ja schon heute die heißesten Gegenden in Deutschland.« Früher (also im Durchschnitt der Jahre 1971 bis 2000) war es dort an nicht einmal 30 Tagen pro Jahr wärmer als 25 Grad Celsius. Mitte des Jahrhunderts werden es bis zu 80 Tage sein, Ende des Jahrhunderts sogar mehr als 120 Tage.

Das Thermometer wird nicht nur immer häufiger steigen, sondern auch immer höher. Das heißt, es dürfte dann auch Tage mit Spitzentemperaturen von mehr als 45 Grad geben – so was kennt man als Deutscher heute höchstens aus dem Urlaub in Dubai. »Nicht nur das: Die Zahl der ›Tropischen Nächte‹ nimmt bis auf 20 zu – Nächte, in denen sich die Umgebung nicht mehr auf unter 20 Grad abkühlt.« Wer wissen will, wie sich das Leben in Frankfurt/Main nach dem Jahr 2070 anfühlt, solle im Sommer einige Wochen in Mailand verbringen oder im südfranzösischen Montélimar, sagt Walter. »Das ist vergleichbar.«

-- **Köln, Aachen und das Ruhrgebiet**

Hitze wird in einigen Jahrzehnten auch in Westdeutschland viel häufiger sein, besonders in der Kölner Bucht und im Ruhrgebiet: Sorgte früher der klimatische Einfluss des Atlantiks rheinwärts bis Düsseldorf oder Neuss für gemäßigte Sommer, so werden ab Mitte des Jahrhunderts auch hier die tropischen Tage mehr. »Im Ruhrgebiet trägt die dichte Bebauung ihren Teil zum Hitzestress bei.«

-- **Berlin, Leipzig, Dresden, die Lausitz**

Von der Hauptstadt über die Leipziger Tieflandbucht bis nach Dresden werden in Südostdeutschland steigende Temperaturen unter kontinentalem Einfluss für den Anstieg unerträglicher Hitze sorgen. Auch die Lausitz ist stark betroffen. »Die Entwicklung kann man bereits heute nachweisen«, sagt Andreas Walter und kramt eine Liste mit in der Vergangenheit gemessenen heißen Tage hervor. »Sie sehen: Über Jahre hat ihre Anzahl in den betroffenen Gebieten sehr stark zugenommen.«

-- **Nord- und Ostseeküste**

Auch an den Küsten wird es dramatische Änderungen geben, hier sind es auch steigende Wasser-Temperaturen von Nord- und Ostsee, die dafür sorgen, dass es immer wärmer wird. »Der kühlende Effekt, der heute noch von den Ozeanen ausgeht, wird zurückgehen.« Eine weitere Gefahr seien steigende Meeresspiegel

und das damit verbundene höhere Auflaufen von Sturmfluten. »Das Leben der Küstenbewohner wird sich langfristig drastisch verändern.« So richtig werde dies erst ab Ende des Jahrhunderts sichtbar, die Entwicklung aber habe längst begonnen.

-- *Die Mittelgebirge*

»Was ich besonders frappierend finde: Selbst in den Höhenlagen von Schwarzwald, Erzgebirge oder im Bayerischen Wald wird die Zahl der Heißen Tage zulegen.« Dagegen wird Frost immer seltener. Die Zahl der Tage, an denen das Thermometer die null Grad nicht überschreitet, wird bis Ende des Jahrhunderts im Erzgebirge, im Harz, im Thüringer Wald um bis zu einhundert Tage sinken. Jährlich hundert Tage weniger Frost im Erzgebirge? Wird es dort überhaupt noch Schnee geben? Walter sagt: »Am wahrscheinlichsten ist das in den Höhenlagen.«

-- *Regen: im Winter mehr, im Sommer weniger – und viel mehr Wolkenbrüche*

Überhaupt, die Niederschläge: »Mitte des Jahrhunderts wird es erhebliche Änderungen geben: Im Sommer fällt weniger Regen, im Winter dagegen mehr.« Zudem wird der Regen im Sommer nicht mehr so fallen, wie es sich Bauern erhoffen, gleichmäßig über einen längeren Zeitraum.

Walter erklärt: »Was heutzutage vielleicht über zwei Wochen verteilt fällt, kommt dann binnen weniger Stunden runter. Dem Starkregen folgen Sturzfluten und Überschwemmungen, mit den entsprechenden Schäden in der Landwirtschaft, aber zum Beispiel auch in den dicht bebauten Städten, in denen das Wasser nicht abfließen kann.«

-- *Wassermangel von Brandenburg bis Niedersachsen*

In Niedersachsen wird das Wasser knapp werden: Bereits heute verdunstet dort mehr Wasser, als in den Sommermonaten an Niederschlag fällt. »Ein Trend, der sich verstärkt«, sagt Andreas Walter, denn mit den steigenden Temperaturen transpirieren die Pflanzen mehr Wasser, insbesondere die Bäume; und Wasser, das

die Flora umsetzt, wird dem Boden entzogen. »Wir müssen davon ausgehen, dass sich das Wasserdefizit in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts dort verdoppelt.«

Aber auch Bauern in Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt werden stark mit Wassermangel zu kämpfen haben: Mit 400 bis 600 Millimeter Niederschlag ist der nordostdeutsche Raum bereits heute die trockenste Gegend Deutschlands und dringend auf regelmäßige Niederschläge angewiesen. Die aber werden 2050 eher die Ausnahme sein.

-- *Der Frühling startet immer früher, der Winter schrumpft*

Die Phänologie ist die Lehre vom Einfluss der Witterung und des Klimas auf die jahreszeitliche Entwicklung der Pflanzen und Tiere – und auch hier werden sich deutliche Veränderungen zeigen. Erwartet wird etwa, dass die Apfelbäume Ende des Jahrhunderts zwei Wochen früher als heute zu blühen beginnen.

»In Zukunft wird der Frühling viel eher einsetzen«, sagt Walter und verzieht dann sein Gesicht. Was manchem von uns willkommen erscheinen mag, wird dramatische Auswirkungen auf Flora und Fauna haben. »Denken Sie nur an den Frühling 2019: In Sachsen standen die Apfelbäume schon Ende April in voller Blüte. Aber Anfang Mai kam der Frost zurück.« Ein sich erwärmendes Klima bedeute eben nicht, dass es nicht auch immer wieder einmal sehr kalt werden kann.

Klimamodelle haben die bisherige Erwärmung ziemlich gut vorhergesagt. Warum sollten sie sich für die Zukunft irren?

Mit solchen Daten also zieht Andreas Walter durchs Land, er besucht Lokalpolitiker und Beamte, berät Entscheidungsträger. Sind die nicht oft erschrocken? »Ich glaube schon«, sagt Walter.

Aber vielleicht irren sich Barbara Früh, Andreas Walter und die Kollegen vom Deutschen Wetterdienst ja auch?

Dafür spricht – leider – nichts. Warum sollten die Modelle für die Zukunft irren, wenn sie in der Vergangenheit die heutige Realität bereits vorhersahen? Wie gut Klimamodellierung funktioniert, hat ausgerechnet die Forschungsabteilung des weltgrößten Erdölkonzerns, ExxonMobil, vorgeführt. Weil die Firmenspitze sich schon in den 1970er-Jahren um ihr Geschäftsmodell, die Freisetzung von Treibhausgasen, sorgte, startete sie ein eigenes Klimaforschungsprogramm. Die Wissenschaftler gehörten zur Weltspitze, aber ihre Ergebnisse blieben geheim. Die Konzernforscher warnten eindringlich vor der Erderhitzung – doch in der Öffentlichkeit schürte ExxonMobil Zweifel an deren Existenz, zum Beispiel in teuren Werbeanzeigen. 2015 deckte das US-Online-Magazin InsideClimateNews auf, wie viel die Firma bereits seit Jahrzehnten von der drohenden Klimakatastrophe gewusst hat. Bei fortgesetzter Verbrennung von Kohle und Öl, schrieben die Exxon-Forscher schon im November 1982 in einem internen Memo, werde die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre binnen 40 Jahren auf etwa 415 ppm (Teilchen pro Million Moleküle) steigen, was die Oberflächentemperatur der Erde um mindestens 0,8 Grad aufheizen werde – mit entsprechenden Folgen: schmelzende Eisschilde, stärkere Hitzewelle, zunehmende Dürren.¹⁷

Fast genauso ist es eingetroffen. Im November 2020, exakt 38 Jahre später, veröffentlichte die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ihr neuestes Treibhausgas-Bulletin – demnach lag der Kohlendioxid-Wert erstmals über 410 ppm. Und die Temperatur der Erde ist bereits um rund ein Grad gestiegen.