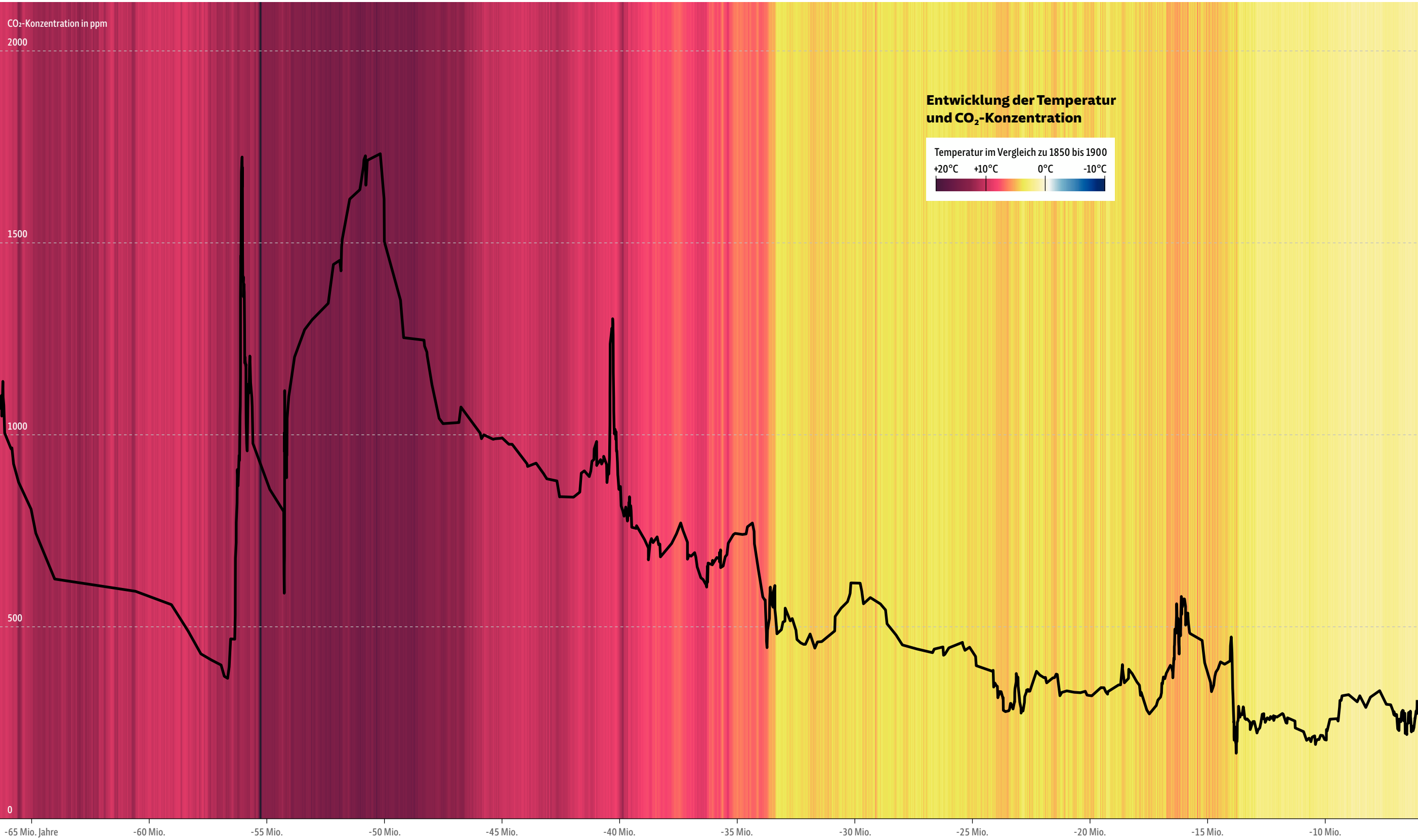




Wie viel Hitze kann der Mensch?

Der Homo sapiens ist spektakulär wandelbar. Aber über viele Jahrtausende lebte er in der Kälte – jetzt wird es heiß. Kommt er auf einem viel wärmeren Planeten noch zurecht?

Von Benjamin von Brackel

Am 15. März 2017 versammelten sich ein paar Dutzend Paläoözeanografinnen und Paläoklimatologen aus aller Welt im Lamont-Doherty Earth Observatory in Palisades im US-Bundesstaat New York. Draußen tobte ein Schneesturm und überzog die Landschaft am Hudson River mit einem weißen Mantel. Viele hatten deshalb überhaupt nicht anreisen können. Drinnen fassten sie einen Plan: Sie wollten die Geschichte des C₂O-Gehalts in der Atmosphäre rekonstruieren und damit die des Klimas der vergangenen 66 Millionen Jahre.

Dieser Startpunkt, 66 Millionen, war nicht beliebig gewählt: Er markiert das Ende der Herrschaft der Dinosaurier und den Aufstieg der Säugetiere. Die Kontinente und Ozeanbecken verteilten sich schon ähnlich wie heute auf dem Globus. Man erhoffte sich, damit auch zu verstehen, wie die Lebewesen von heute samt den Ökosystemen, in denen sie leben, entstanden sind und wie es ihnen in Zukunft ergehen dürfte.

Anders ausgedrückt: Sind wir überhaupt für eine so warme Welt gemacht, wie wir sie gerade erschaffen?

Kenntnisse über den CO₂-Gehalt der Atmosphäre im Laufe der Erdgeschichte gab es freilich schon vor dem Jahr 2017. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hatten ihn mithilfe von Proxys rekonstruiert, also Klimaarchiven wie Eiskerne, Baumringe oder Pollen. Im fossilen Blütenstaub etwa finden sich bis zu hunderttausend Pollenkörner in einem Kubikzentimeter Seesediment. Mithilfe ihrer Lasermikroskope können Paläoklimatologen aus der jahreszeitlichen Schichtung der sogenannten Warven Rückschlüsse auf frühere Klimaschwankungen ziehen.

Das Problem bei diesen Methoden: In vielen Fällen lieferten unterschiedliche Proxys für dieselbe Zeit ganz unterschiedliche Ergebnisse. Das hatte zur Folge, dass sich Klimamodellierer oft einfach der Klimaarchive bedienten, die zu dem gewünschten Ergebnis passten. „Wenn man kein Experte für die CO₂-Rekonstruktion war, konnte man sich das ein bisschen aussuchen, was man eben gerne hätte“, erzählt die Paläoözeanografin Bärbel Hönisch vom Lamont-Doherty Earth Observatory in Palisades im Videogespräch.

In den vergangenen Jahren konnten Experten wie Hönisch jedoch viel Wissen über den Umgang mit Proxys dazugewinnen. Sie lernten den Einfluss bestimmter Parameter besser einzuschätzen. Und sie übten, wie man Proben richtig reinigt und aufarbeitet. Auf Basis dieses neuen Wissens gründeten sie das Cenozoic Carbondioxide Proxy Integration Project (CenCO₂PIP), erstellten eine Datenbank und entwickelten eine Art Qualitätskontrolle, um herauszufinden, welchen Proxys sie vertrauen konnten.

Vor zwei Jahren dann sah Bärbel Hönisch die modellierte CO₂-Kurve der Erdneuzeit zum ersten Mal neu vor sich – so klar wie niemand vor ihr. Was der Projektleiterin bei diesem Anblick als Erstes auffiel: wie gut die Kurve mit dem rekonstruierten Verlauf der globalen Temperaturen übereinstimmte. „Als die Temperatur hoch war, war auch der CO₂-Gehalt hoch,

und als die Temperatur sank, ging auch der Kohlendioxid-Gehalt runter“, sagt sie. Nicht durchgehend, manchmal klappten die beiden Kurven auseinander, was auf Lücken im Verständnis der Klimageschichte hinweist, die nach wie vor bestehen. Aber im Grunde war die Tendenz eindeutig.

Geschichte einer langen Abkühlung

Zum gewählten Startpunkt vor 66 Millionen Jahren herrschte auf der Erde ein Treibhausklima. Damals war es mehr als zehn Grad wärmer als heute. Die Atmosphäre enthielt dreieinhalbmal so viel Kohlendioxid wie zu Beginn der Industrialisierung. 53 bis 51 Millionen Jahre später steigerte sich dieser ohnehin schon hohe CO₂-Gehalt noch einmal auf rund 1600 ppm (parts per million, Teilchen pro Millionen), womöglich getrieben durch gigantische Vulkanausbrüche. Fast doppelt so warm wie heute. Eis gab es keines auf der Erde, und der Meeresspiegel lag 70 Meter höher.

Ab dann ging es – unter einigen Auf- und Abs – abwärts. Heißt: Auf der Erde wurde es immer kühler. Bis vor rund 44 Millionen Jahren die ersten Gletscher in der Antarktis auftauchten – und vor rund 34 Millionen Jahren sogar ein Eispanzer den ganzen südlichen Kontinent bedeckte. Vor 2,7 Millionen Jahren unterschritt der Kohlendioxid-Gehalt die kritische Schwelle, um eine Eiszeit einzuleiten: Nun vergletscherte auch der Nordpol, der aufgrund seiner Lage im Wasser schwerer gefriert.

Genau in dieser Zeit entwickelte sich ein sonderbares Wesen mit großem Gehirn, das sprechen konnte, Werkzeuge benutzte und auf zwei Beinen Antilopen durch die afrikanischen Savannen jagte, die sich infolge der globalen Abkühlung und Austrocknung ausdehnten: unsere Gattung Homo.

Im Takt der Orbitparameter der Erde wechselten sich fortan auf diesem niedrigen Temperaturniveau Kaltzeiten mit den vergleichsweise kurzen Warmzeiten ab – wie dem derzeit herrschenden Holozän. „Tatsächlich leben wir gerade in einer der kältesten Zeiten der vergangenen 66 Millionen Jahre“, sagt Hönisch. An dieser Stelle käme ihren Studentinnen und Studenten stets eine Frage in den Sinn: Warum sollte uns der Klimawandel Sorge bereiten, wenn das Klima heute doch sehr viel kälter ist als in der Vergangenheit? „Die Antwort darauf ist einfach“, sagt Bärbel Hönisch. „Weil wir Menschen nichts anderes kennen als dieses kalte Klima. Unser gesamtes Leben und unsere Infrastruktur sind auf dieses kalte Klima ausgelegt.“

Wie im Zeitraffer katapultiert sich der Mensch derzeit in ein heißes Klima hinein, das es seit Jahrmillionen nicht mehr gegeben hat. Was passiert dann mit ihm? Bislang immerhin scheint er noch jedem Klima getrotzt zu haben. Dank seiner körperlichen Anpassungen, seiner Intelligenz und seines Einfallsreichtums hat er die ganze Welt besiedelt, von den Tropen bis zur Arktis. Und das sogar mitten in der Eiszeit, unter widrigsten Klimabedingungen, wie sich im thüringischen Ranis besichtigen lässt.

Der Mensch in der Kälte

Marcel Weiss, Archäologe von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, steht an einem Märztag am Eingang der Ilsenhöhle unter der Burg Ranis und blickt übers Tal der Orla. Genau hier, über dieser hügeligen Landschaft, standen wohl auch die ersten modernen Menschen, nachdem sie vor 45 000 Jahren in Mitteleuropa angekommen waren. „Denken Sie sich nur die Bäume und Häuser weg“, sagt Weiss. „Im Prinzip sah die Landschaft so aus wie heute.“

Nur zogen Herden an Mammuts und Rentieren sowie einzelne Wollnashörner durch die karge Steppenlandschaft und rasteten an der Orla. Von hier oben aus müssen sie sich wie auf dem Präsentierel angeboten haben. Lange herrschte die Theorie, dass der Homo sapiens erst in einer relativ warmen Phase der jüngsten Kaltzeit nach Mitteleuropa nachgezogen war und kurzen Prozess mit den an die Kälte angepassten Neandertalern gemacht hatte. Bis im Jahr 2015 eine Wissenschaftler-Gruppe um Marcel Weiss, Jean-Jacques Hublin vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig und Tim Schüller vom Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie in Weimar beschloss, noch einmal am Höhleneingang zu graben.

Weiss stiefelt über vertrocknete Disteln, die unter seinen Wanderschuhen knistern. Er misst einen drei mal sechs Meter großen Bereich ab. Hier buddelten sie sich von dem Jahr 2016 an durch die Vergangenheit: In den ersten 30 Zentimetern der Erde fanden sie noch Glasflaschen aus den Siebzigerjahren. Bis in drei Meter Tiefe dann Keramikscherben aus dem Mittelalter. Darunter Gefäßscherben aus der Bronzezeit und noch tiefer Knochen vom Steppenilts und Lemming aus der ausgehenden Eiszeit. Schließlich in einer braunen, lehmigen Schicht in fünf Metern Tiefe Stein- und Knochengeräte von vor 35 000 Jahren sowie Knochen von Höhlenbären, Wollnashörnern und Hyänen. Inzwischen hatten sie Holzplatten zu allen Seiten zur Befestigung einziehen müssen. Im Licht der Grubenlampe trugen sie die Sedimente mit Schaufeln ab, durchsiebten das Material und füllten Eimer um Eimer, die sie beschrifteten und über eine Leiter nach oben hievt.

Es war bereits Ende 2018, als sie in fast sieben Meter Tiefe auf eine Platte aus tuffartigem Gestein stießen, die ihnen den Weg versperrte – das ehemalige Höhlendach. Mit Treibzement mussten sie es wegsprengen. Darunter entdeckten sie eine graue Schicht, in der sie Holzkohle und tausende Knochensplinter fanden. Um herauszufinden, wie alt die Splitter war, nutzten sie die Radiokarbonmethode: Im Laufe ihres Lebens nehmen Pflanzen, Tiere – und auch der Mensch – C14-Atome in sich auf. Stirbt der Organismus, zerfällt auch das radioaktive Kohlenstoffatom. Die Messung und Analyse dieses Prozesses lieferte schließlich das ungefähre Alter der Knochensplinter: 45 000 Jahre.

Weiss und Schüller dachten an Tierknochen, wie sie schon während der Ausgrabungen in den 1930er-Jahren entdeckt worden waren. Im Frühjahr 2021 aber be-

kamen sie eine E-Mail aus dem Labor: Unter den Knochen – so das Ergebnis der Massenspektrometrie – seien auch Menschenknochen. Sofort gingen die Wetten los: Neandertaler oder Homo sapiens? Schüller tippte auf den kleineren und stämmigeren Verwandten des anatomisch modernen Menschen. „Das passte einfach besser ins Bild, das wir hatten.“

Denn aus jener Schicht waren während der Ausgrabungen in den Dreißigerjahren die bekannten Blattspitzen gefunden worden, mit denen die Menschen damals Speerspitzen und Messerklängen fertigten, um die Tiere zu erlegen und zu zerteilen. Sie waren damals dem Neandertaler zugeordnet worden und sind heute im Museum der Burg ausgestellt.

Wieder ein paar Monate später kam eine weitere E-Mail: Die DNA-Analyse hätte eindeutig ergeben, dass die Knochen dem Homo sapiens zuzuordnen sind. „Mir ist sofort die Konsequenz klar geworden“, erzählt Schüller. „Die klassische Vorstellung von der Besiedlungsgeschichte, die wir hatten, war falsch.“

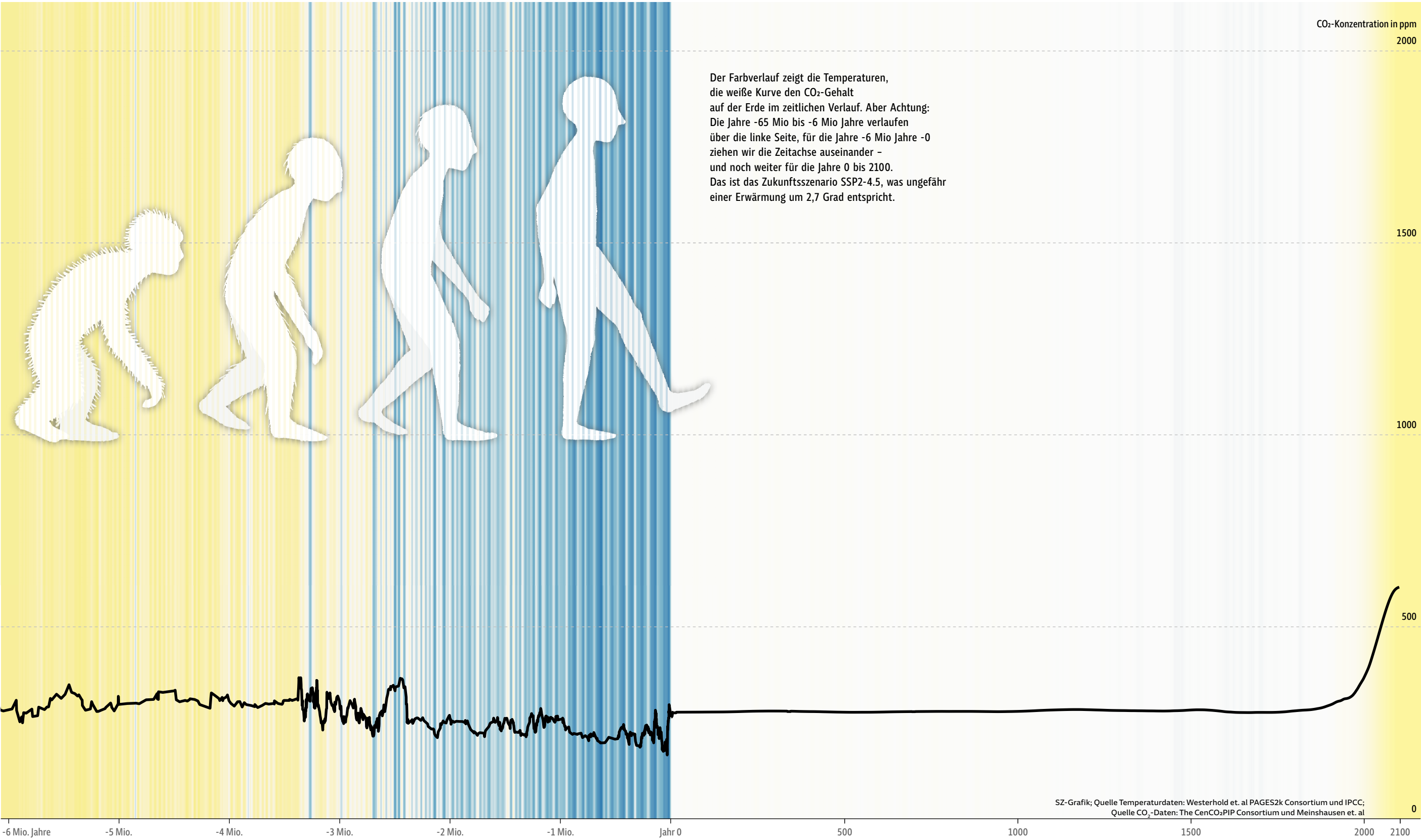
Der Homo sapiens muss also mindestens 5000 Jahre früher als bislang gedacht nach Europa gekommen sein und damit viel länger Seite an Seite mit dem Neandertaler gelebt haben. Aber auch der Zeitpunkt der ersten Ankunft ist bemerkenswert – damals war es um sieben bis 15 Grad Celsius kälter als heute im nördlichen Mitteleuropa. Wie schafften es die ersten Gruppen des Homo sapiens, dem kalten Klima zu trotzen?

Ein paar Indizien konnten die Archäologen sammeln: zunächst die Höhle selbst, in der die Menschen Schutz fanden. Dann angekokelte Knochen und Kohlereste, die darauf hindeuten, dass sich die Pioniere am Feuer wärmten und dort ihr Fleisch zubereiteten – ihre Hauptnahrungsquelle, wie eine Analyse von Stickstoff- und Kohlenstoffisotopen ergab. Dank der Jagdstrategie in Kleingruppen und ihrer Jagdwerkzeuge konnten die Menschen die damals reichlich vorhandenen Beutetiere erlegen. Außerdem entdeckten Schüller und Weiss Schnittspuren an den Knochen von Polarfüchsen und Wölfen. Da diese nicht auf der Speisekarte der Menschen standen, sei anzunehmen, dass die Menschen die Felle der Tiere nutzten, um sich vor der Kälte zu schützen.

Ist der Mensch, der sich in der kältesten Periode seit 66 Millionen Jahren entwickelt hat und selbst in die frostigsten Gefilde der Erde vorgedrungen ist, also eher für die Kälte gemacht? Ein Kältewesen? „Nein“, sagt Schüller. Denn die massive Anpassungsleistung lässt sich allein auf Verhaltensänderungen des Menschen zurückführen. Ein paar Jahrhunderte seien einfach eine viel zu kurze Zeit, um sich genetisch an extreme Kälte anpassen zu können.

Der Mensch in der Hitze

Anders verhält es sich mit der Hitze: Um sich an sie anzupassen, hatten der Mensch und seine Vorfahren viel Zeit. Vor sieben Millionen Jahren lebte die früheste bekannte Vormenschenart auf dem Gebiet des heutigen Tschad, in einer vielfältigen Landschaft aus Savannen und Regenwä-



Dort, wo heute die Burg Ranis mit der Ilsenhöhle liegt, standen wohl auch die ersten modernen Menschen, nachdem sie vor 45 000 Jahren in Mitteleuropa angekommen waren. Neue Knochengrabungen konnten 2021 dem *Homo sapiens* zugeordnet werden.

FOTOS: VIVIANE WILD/IMAGO; © MARCEL WEIß, LICENSE: CC-BY-ND 4.0



dern, die sich im Zuge der globalen Abkühlung schon zurückziehen begannen. In beidem war der wohl älteste bekannte Hominine zu Hause – kletternd und aufrecht gehend, wie Unterarm- und Oberschenkelknochenfunde im Jahr 2022 nahelegen.

Wie seine Primatenvorfahren besaß *Sahelanthropus tchadensis* etwas, das ihm in den feuchtwarmen Klimabedingungen von großem Vorteil war: Schweißdrüsen zweier Art. Solche, die den Schweiß in die behaarten Körperareale absondern, um Körperduft auszuströmen. Und solche, die über den ganzen Körper verteilt sind, um diesen abzukühlen, und ihm erlauben, sich in der Hitze fortzubewegen.

Wahrscheinlich erst vor rund 2,5 Millionen Jahren haben unsere Vorfahren ihr dichtes Haarkleid abgeworfen, woraufhin die mehr als zwei Millionen Schweißdrüsen fortan fast ausschließlich der Kühlung dienten. Das ermöglichte es dem Menschen erst, sich zum Hitzespezialisten zu entwickeln, der Antilopen und andere Herdentiere zu Tode rennen konnte. „Während unserer Evolution haben wir fantastische Fähigkeiten erworben, um Hitze zu verlieren“, sagt der Thermophysiologe Hein Daanen von der Vrije-Universität-Amsterdam. Sind wir mit Kälte konfrontiert, würde sich unsere Physiologie kaum verändern, bei Hitze aber schon. Selbst heute noch würden rund zehnmal mehr Menschen erfrieren als an Hitze sterben. „Das deutet darauf hin, dass Menschen immer noch tropische Wesen sind.“

Aber reicht das aus, um den Großteil der Erde auch in Zeiten der Erderwärmung bewohnbar zu halten? Können wir uns auf unser ausgeklügeltes Kühlungssystem und einfallsreiche Verhaltensänderungen verlassen, die uns selbst ein Leben in größter Kälte ermöglichen?

Um die Körpertemperatur auf mehr oder weniger 36,8 Grad Celsius zu halten, darf es auf der Haut nicht wärmer als 35 Grad Celsius werden, sonst kann der Körper die Hitze aus seinem Zentrum nicht mehr in die Peripherie leiten. Danach greift nur noch ein Mechanismus: Der Körper schwitzt.

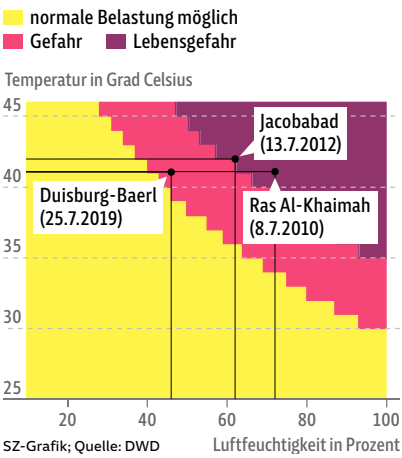
Allerdings gelingt das umso schlechter, je feuchter die Luft ist. Ist sie heiß und mit Wasser gesättigt, kann sie keine zusätzliche Feuchtigkeit mehr aufnehmen – also auch nicht die Feuchtigkeit, die beim Schwitzen auf der Haut entsteht und zum Abkühlen Letzterer verdunsten muss. „Wir können uns sogar in der Wüste aufhalten, solange es sehr trocken ist“, sagt Daanen. „Zum Problem wird es erst, wenn es auch noch feucht wird und der Mensch nicht mehr in der Lage ist, Körperwärme abzugeben – dann steigt die Körpertemperatur stark an.“

Der Erste, der ein Maß für diesen Effekt entwickelte, war der Industriegenieuer und Physiologe John Scott Haldane. Im Jahr 1905 stieg der schottische Aristokrat eine Zinnmine in Cornwall hinab, leicht bekleidet mit Flanellhemd und Segeltuchschuhen. In rund 1,6 Kilometern Tiefe wollte er herausfinden, unter welch „abnormal heißen“ Bedingungen Menschen noch existieren und arbeiten können – und was passiert, wenn diese Schwelle überschritten wird. Die Testperson war er selbst. Auf bis zu 34 Grad Celsius hatte

sich die Hitze aufgestaut, und es war unglaublich schwül. „Während meines ersten Besuchs fühlte ich mich sehr unwohl und meine Mundtemperatur stieg [...] auf 39,2 Grad Celsius“, schrieb Haldane später im *Journal of Hygiene*.

Ein andermal kehrte er mit weiteren Testpersonen zurück ins Bergwerk. Regelmäßig führte er diesen Thermometer in den Hintern ein. Und schon bei 31,7 Grad Celsius und bewegungsloser und gestätigter Luft registrierte Haldane, dass das körperliche Limit der Probanden erreicht wurde: Die Körpertemperatur stieg an, Kurzatmigkeit und ein Pochen im Kopf setzten ein, und der Puls beschleunigte sich.

Feuchtkugeltemperatur



„Klar kannst du noch mit Klimaanlage im Haus sitzen. Aber du bist eingesperrt.“

Maßgeblich für die Gesundheit des menschlichen Körpers war also die Feuchtkugeltemperatur, wie Haldane sie nannte. Also die niedrigste Temperatur, die durch Verdunsten von Wasser in die Luft erreicht werden kann. Sie lässt sich messen, indem man ein Thermometer in eine feuchte Socke steckt und es herumwirbelt; verdunstet das Wasser, sinkt die Temperatur. Dieser Effekt ist umso stärker, je trockener die Luft ist und dementsprechend mehr Wasser sie aufnehmen kann. Ist die Luft aber mit Feuchtigkeit gesättigt, kann nichts verdunsten, und die Temperatur bleibt gleich.

Unter den Bedingungen solcher kritischen Feuchtkugeltemperaturen kann es der Körper vielleicht noch ein paar Stunden aushalten, mal mehr, mal weniger lang, je nachdem wie viel Wind gerade bläst oder wie prall die Sonne auf einen herabstrahlt. In dieser Zeit wird er lethargisch und setzt Hitzeschock-Proteine frei, um Enzyme zu schützen. Früher oder später droht aber der Kollaps – etwa durch Hitzeschlag oder Herzinfarkt.

Wogegen die Grenzen für den menschlichen Körper liegen, ist bis heute umstritten. Bis vor Kurzem galt die Marke von 35 Grad Celsius bei 100 Prozent Luftfeuchte (also höher, als sie Haldane veranschlagt hatte). Schon in der zweiten Jahrhunderthälfte könnten einige Regionen wie der Nahe Osten regelmäßig solchen Bedingungen ausgesetzt sein, prognostizierten Klimamodelle. Vor ein paar Jahren ergab eine Auswertung von Daten von Wetterstationen sogar, dass die kritischen Werte schon mehrfach auf der Erde überschritten worden sind, wenn auch noch sehr sporadisch.

Das Problem: Jene 35-Grad-Schwelle war – unter modernen Bedingungen – nie an Menschen getestet worden. Ein Team um den Bioklimatologen Daniel Vecellio von der George-Mason-Universität in Fairfax im US-Bundesstaat Virginia wollte das ändern.

Während der Jahre 2021 und 2022 schluckten dafür zwei Dutzend Studentinnen und Studenten auf dem Universitätsgelände der staatlichen Universität Pennsylvania eine Temperaturskapsel, welche die Kerntemperatur ihres Körpers maß und drahtlos via Radiotelemetrie übertrug. Dann zogen sie sich T-Shirts, kurze Hosen, Socken und Turnschuhe an und betraten eine Kammer. Nach einer halben Stunde Akklimatisierung stiegen sie auf ein Fahrradergometer und radelten gegen einen leichten Widerstand von zehn Watt an, was normalen Tagesaktivitäten entsprechen sollte.

Hinter einer Glasscheibe verfolgten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Fortgang und kontrollierten die Körperwerte auf drei Bildschirmen. Alle fünf Minuten drehten sie das Thermometer um ein Grad Celsius nach oben oder erhöhten die Luftfeuchtigkeit – so lange, bis die Kerntemperatur der Probanden „unkontrollierbar“ anstieg, weil die Körper sich nicht mehr selbst abkühlen konnten. Fünf bis zehn Minuten warteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler noch, bis sich der Trend verstetigte, dann brachen sie ab. „Sie waren nie wirklich in Gefahr, einen Hitzeschlag zu kriegen“, erklärt Vecellio im Videogespräch. „Dafür hätte es schon sechs Stunden bedurft.“

Die maximal zu ertragende Feuchtkugeltemperatur, so fanden Vecellio und sein Team heraus, lag deutlich niedriger als bislang angenommen: bei im Schnitt 30,6 Grad Celsius und 100 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit. Beziehungsweise bei 36 Grad Celsius und 68 Prozent Luftfeuchtigkeit. Oder bei 40 Grad Celsius und 50 Prozent Luftfeuchtigkeit. „Eine Feuchtkugeltemperatur kann verschiedene Kombinationen aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte bedeuten“, sagt Vecellio.

Demnach dürften die Menschen im Zuge des Klimawandels schon viel früher kritischen Bedingungen ausgesetzt sein als bislang gedacht. Wann genau, wollte Vecellio als Nächstes mit Medizinerinnen und Klimaforschern herausfinden: Sie modellierten, wo sich auf der Erde zuerst, gefährliche, potenziell tödliche Hitze entwickeln dürfte.

Die Ergebnisse, so der Bioklimatologe, waren „schockierend“. Schon bei 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau

traten kritische Feuchtkugeltemperaturen in Teilen des Nahen Ostens und des Flusstals des Indus auf. In Delhi im Schnitt 16 Stunden im Jahr, in Dubai 32 Stunden und im pakistanischen Lahore annähernd 70 Stunden.

Bei einer Erwärmung von zwei Grad Celsius waren schon größere Regionen auf der Erde betroffen, und zwar ausgerechnet solche, in denen sich die Weltbevölkerung ballt: weite Teile von Indien, Pakistan, Ostchina und Subsahara-Afrika. Milliarden Menschen dort wären dann vielen Stunden Hitze im Jahr ausgesetzt, die der menschliche Körper nicht mehr ertragen kann.

Von da an stieg die Anzahl der Stunden, in denen die Menschen in verschiedenen Teilen der Welt kritischen Feuchtkugeltemperaturen ausgesetzt sind, exponentiell an. Ab drei Grad Celsius wären auch die Mitte und der Osten der USA für kurze Zeiten im Jahr betroffen, schrieben Vecellio und seine Kolleginnen und Kollegen im vergangenen Jahr im Fachblatt *PNAS*.

Richtig gefährlich würde es dort aber erst ab vier Grad Celsius mehr werden: Dann würden die US-Bürger entlang der Flusstäler des Missouri und Mississippi, des Golfs von Mexiko und der Ostküste regelmäßig von feuchtwarmen Hitzewellen jenseits der Überlebensschwelle heimgesucht werden, darunter Metropolen wie Chicago, Houston und Washington, D. C. Andere Regionen wären schon fast das ganze Jahr nicht mehr bewohnbar, etwa die Hafenstadt al-Hudaida in Jemen.

„Klar kannst du dann noch in deinem Haus sitzen und deine Klimaanlage laufen lassen – sofern du dir das leisten kannst“, sagt Vecellio. „Aber du bist eingesperrt und kannst dein Leben nicht mehr leben.“

Manche Expertinnen und Experten sehen viele Städte zwar inzwischen gut gerüstet für die neuen Hitzextreme. Rund um die Welt haben sie Hitzepläne eingeführt – meist nachdem extreme Hitzewellen zu vielen Toten geführt hatten. Wie nach der Hitzewelle in Europa 2003, als rund 70 000 Menschen starben. Doch all die Maßnahmen haben nicht verhindert, dass 20 Jahre später erneut geschätzt mehr als 60 000 Europäerinnen und Europäer an den Folgen extremer Hitze starben, darunter mehr als 8000 Deutsche. „Um weitere Massensterbeereignisse zu verhindern, sind verstärkte Anstrengungen erforderlich“, heißt es denn auch in der erwähnten Studie im *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Häuser und ganze Städte müssten neu konzipiert werden, Kleidungen angepasst und Arbeitszeiten neu verteilt werden. Die Erwartungen, dass die derzeitigen Anpassungsmaßnahmen einen ausreichenden Schutz für Menschen bieten, seien wahrscheinlich zu optimistisch. „Die ernüchternde Realität ist, dass die derzeitige Erwärmungsrate die Fähigkeit langlebiger Lebensformen, einschließlich des Menschen, sich physiologisch anzupassen, übersteigt“, so das Fazit der Studie. „Die einzige wirkliche Lösung für dieses Dilemma ist eine gemeinsame weltweite Anstrengung zur strikten Eindämmung weiterer Treibhausgasemissionen.“