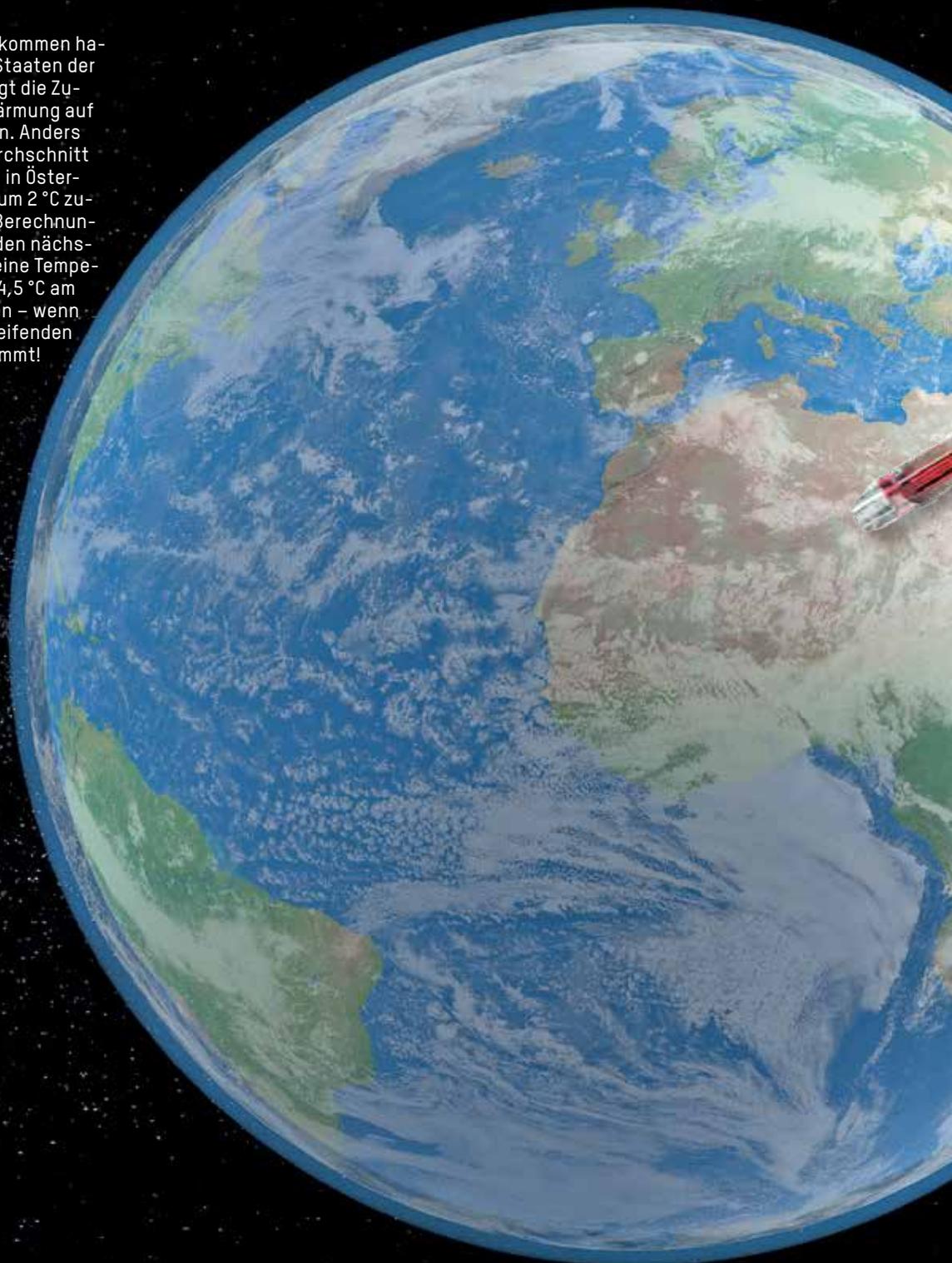


DER BLAUE PLANET

Im Pariser Klimaabkommen haben sich fast alle Staaten der Welt darauf geeinigt die Zunahme der Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen. Anders als im globalen Durchschnitt hat die Erwärmung in Österreich aber bereits um 2 °C zugenommen. Allen Berechnungen zufolge ist in den nächsten 60-80 Jahren eine Temperaturzunahme um 4,5 °C am wahrscheinlichsten – wenn es zu keinen tiefgreifenden Veränderungen kommt!



IM KRISENMODUS



Dass der durch Menschen beschleunigte Klimawandel von manchen bestritten wird, steht außer Diskussion – wir erleben es in Gesprächen und den sozialen Medien täglich. Doch ist er bis auf wenige Ausnahmen nur bei klimatologischen Laien umstritten.

Die große Mehrheit der Klimaexpertinnen und -experten – so hat eine wissenschaftliche Untersuchung ergeben – sind sich hingegen seit Jahrzehnten weitestgehend einig: Die natürlichen Ursachen für Klimaänderungen in ferner Erdvergangenheit sind bekannt, ebenso der Mechanismus der gegenwärtigen globalen Erwärmung, zu deren wichtigsten Ursachen die vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Emissionen zählen.

Unumstritten unter Experten ist ebenfalls, dass der Klimawandel mit einer Beschleunigung erfolgt, die es in Jahrmillionen nie gegeben hat.

VON ROBERT HOFRICHTER

Rund 50 Forschungszentren in aller Welt beschäftigen sich täglich und intensiv mit den Klimamodellen. Von diesen gibt es in etwa 100. Sie werden von Jahr zu Jahr präziser und keine einzige von ihnen verharmlost die Situation. Auch herrscht über die so genannten „Kipppunkte“ Konsens: Wenn wir diese übersehen, setzen für uns unkontrollierbare und unumkehrbare klimatische Entwicklungen ein. Ein unumstößliches und unbestrittenes Faktum in dieser Beziehung ist: Noch nie ist eine solche rasche Erderwärmung auf eine menschliche Zivilisation mit fast acht Milliarden Menschen gestoßen. Kleineräumigere klimabedingte humanitäre Katastrophen für einzelne Völker, Regionen und Gemeinschaften gab es in den Jahrtausenden schon öfters, diesmal geht es um einen globalen, weltweiten Wechsel, der die gesamte Menschheit und den ganzen Heimatplaneten trifft – mit allen sozialen, politischen, humanitären, ökologischen, wirtschaftlichen und auch kulturellen Konsequenzen. Keine Zweifel gibt es weiterhin über den derzeitigen Rückgang der Biodiversität, den Verlust von Arten, Ökosystemen und Lebensräumen. Wir erleben die sechste große Aussterbewelle der Erdgeschichte und leben in einer neuen geochronologischen Epoche, dem Anthropozän oder „Zeitalter des Menschen“.

Das sind schon genug Gründe, um einen genaueren Blick auf den Klimawandel zu werfen. Fassen wir zusammen, was wir über ihn tatsächlich wissen und wie der Stand der aktuellen Forschung ist.

FOTO: MASTER TUX (PIXABAY)

DIE LEBENSERFAHRUNG ZEIGT: ALLES IST IM WANDEL BEGRIFFEN. WARUM NICHT DAS KLIMA?

Als der 1945 geborene bayerische Biologie- und Ökologieprofessor Josef Reichholf sein Buch *Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends* veröffentlichte, sprachen Rezensenten vom „aufregendsten Buch des Frühjahrs“. Darin ging es beispielsweise um das mittelalterliche Klimaoptimum (oder Klimaanomalie), eine besonders warme Phase, die auf der Nordhalbkugel etwa zwischen 950 und 1400 dauerte. Sie endete mit der so genannten Kleinen Eiszeit, deren Beginn meist mit der Mitte des 15. Jahrhunderts angegeben wird. Dieses Buch diskutierten wir in einer Runde von Naturwissenschaftlern.

Das war im Jahr 2007. Die damalige Gesprächsrunde bestand nicht aus „Ahnungslosen“ in Sachen Klima, sondern aus exzellenten Ökologen und Biologen. Und doch vergaßen wir in der Diskussion auf offensichtliche Verallgemeinerungen und Ungenauigkeiten der Argumentation hinzuweisen. Ja, im mittelalterlichen Klimaoptimum war die Witterung und auch das Klima oft außergewöhnlich warm, mit massiven (und eben auch positiven) Auswirkungen auf die Natur und das Leben der Menschen. Der Weinbau breitete sich bis an die Ostsee aus, die Waldgrenze in den Alpen stieg, die Ernten fielen gut aus und der Alltag der Menschen war stellen- und zeitweise weniger hart als sonst. *„Die Romantik und ihre Naturschwärmerei“*, schrieb Reichholf im erwähnten Buch, *„wären ohne die Erwärmung um 1800 nicht denkbar gewesen“*. Doch war es nicht 500 Jahre lang ununterbrochen immer nur warm.

Ich gebe zu: Heute verharmlose ich die Situation in keiner Weise mehr, wie ich es vor 13 Jahren in der Diskussion über Josef Reichholfs Buch in der hochkarätigen Runde vielleicht getan habe. Die Situation heute ist eine andere als noch vor Jahrzehnten. Auch die Sichtweise der Experten hat sich dieser Entwicklung angepasst. Die Wissenschaft weiß heute, dass sowohl räumlich als auch zeitlich beträchtliche Schwankungen vorherrschen. So wie wir es auch heute kennen: Manche Winter sind viel zu mild, dann kann aber auch ein durchaus strenger und schneereicher folgen. Häufig ist es viel zu trocken, aber dann kann es zu viel regnen. Einzelne Jahre oder Serien von Jahren sagen noch nichts über das Klima aus. Die Wissenschaft unterscheidet daher streng zwischen Wetter (ein Zustand an einem bestimmten Ort, zu einer bestimmten Zeit und in einem Zeitraum von Stunden bis hin zu wenigen Tagen), Witterung (durchschnittlicher Charakter des Wetterablaufs an einem Ort oder in einem Gebiet über mehrere Tage bis zu mehreren Wochen) und Klima (mittlerer Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem bestimmten Gebiet über einen längeren Zeitraum). Das übersehen manchmal meteorologische Laien, wenn sie



FOTO: ROLAND STEINMANN (PIXABAY)

Die Menschheit befindet sich nicht mehr weit vom „Kippunkt“ entfernt, wenn der Lebensstil so bleibt wie bisher. Übersehen wir ihn, setzen unumkehrbare klimatische Entwicklungen ein.

über das Klima diskutieren und „gegen den menschengemachten Klimawandel argumentieren“.

Ein Vergleich des Klimas im 20. und 21. Jahrhundert mit jener in der Vergangenheit ist für Laien nicht ohne weiteres möglich. Dafür gibt es viele Gründe, die wir in diesem Beitrag analysieren möchten. Nur ein Teil der Bevölkerung scheint ein Bewusstsein dafür entwickelt zu haben, und die Diskussionen über den Klimawandel haben die Gesellschaft polarisiert. Während etwa 90 % der Fachleute keinen Zweifel haben, dass der Klimawandel das Schicksal unseres Planeten und der Menschheit massiv verändern wird (trotzdem kursiert die falsche Behauptung, dass sich Fachleute nicht einig sind), formiert sich zugleich eine gesellschaftliche „Widerstandsbewegung“. Sie leugnet, dass unser zukünftiges Leben anders sein wird und wir mit ernststen Konsequenzen zu rechnen haben. Aggressionen sind unübersehbar, in diesen Kreisen spricht man gern von „Klimahysterie“ und „Klimapropaganda“. Rechte Politiker verfallen häufiger in einen unsachlichen Tonfall, sprechen von „CO₂-Jüngern“, „Scharlatanen“ und von „Klimareligion“ und behaupten, die Wissenschaftler wüssten genauso wenig wie normale Bürger darüber, warum sich das Klima auf der Erde wandelt. Das ist

falsch: „Klimaforscher verstehen die natürlichen Ursachen für vergangene Klimaänderungen sehr gut“, wie Georg Feulner vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung in einem Interview sagte. „Es sei wissenschaftlich bestens belegt, dass die aktuelle globale Erwärmung vornehmlich durch Kohlendioxid-Emissionen bewirkt wird, die vom Menschen verursacht sind.“

Warum also der Widerstand, wenn die Wissenschaft seit Jahrzehnten solide Beweise liefert? Und die Älteren unter uns die Veränderung zumindest bis zu einem gewissen Grad unmittelbar wahrnehmen?

EIN BLICK ZURÜCK: ES STIMMT ZWEIFELLOS, DAS KLIMA WAR IN DER ERDGESCHICHTE NIE UNVERÄNDERLICH

Einer der Gründe für das Leugnen von Klimaveränderungen ist unsere Abneigung gegenüber Veränderungen. Die meisten Europäer haben sich in der Nachkriegszeit an einen konstant hohen Lebensstandard mit einem enormen ökologischen Fußabdruck gewöhnt und möchten ungern etwas davon aufgeben. Was die Politik betrifft: Sie wird bloß für eine relativ kurze Wahlperiode gewählt, möchte danach wiedergewählt werden und bedient daher die eigene Wählerschaft und Klientel aus Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Argumentation der Klimaforscher und Umweltschützer hebt die Notwendigkeit von Reduktion und Verzicht hervor, das Zurückschrauben unserer Ansprüche. Das widerspricht nicht nur der Grundeinstellung des neoliberal-globalisierten Weltwirtschaftssystems und der Politik, die ausschließlich auf Wachstum setzt, sondern auch unseren eigenen Neigungen. Niemand reduziert gern freiwillig seinen Lebensstandard. Niemand hört gern zu, wenn ihm mit vorgeworfen wird, selbst ein Teil des Problems zu sein. Je brisanter die Erkenntnisse der Klimaforschung und die täglichen Nachrichten über Umweltzerstörung und Klimakatastrophen sind, desto mehr sträuben sich viele Menschen gegen den Zwang, etwas am eigenen Lebensstil verändern zu müssen. Man hört ungern, dass der eigene Wohlstand grundsätzlich immer auf Kosten von anderen Menschen, anderer Arten, ganzer Ökosysteme und der Zukunft möglich war.

DIE KLIMAGESCHICHTE WAR EIN STÄNDIGES AUF UND AB

Zu den häufigsten Argumenten der „Leugner“ zählt jenes, dass es Klimaänderungen und höhere Gehalte an CO₂ in der Atmosphäre immer schon gegeben hat. Die Aussage stimmt grundsätzlich. Die durchschnittliche globale Temperatur lag in den wärmsten (Perm-Trias-Ereignis mit großflächigen vulkanischen Aktivitäten und erheblichen Ausgasungen von Treibhausgasen) und kältesten (Permokarbone Eiszeitalter) Phasen der Erdgeschichte um bis zu 25 °C auseinander. Die Klimageschichte war ein ständiges Auf und Ab der Tempera-

INFOBOX

Die durchschnittliche Oberflächentemperatur der Erde ist seit Beginn der Industrialisierung um ca. 1 °C gestiegen. Die atmosphärische Konzentration von CO₂ hat mit 420 ppm den höchsten Wert seit mindestens 800.000, wahrscheinlich sogar seit 2 Mio. Jahren erreicht. Die anderen Treibhausgase (Methan, Lachgas) weisen analoge Rekorde auf.



Die aktuell noch steigenden CO₂-Emissionen der Jahre 2017 und 2018 entsprechen ungefähr dem RCP-8.5-Szenario des Weltklimarates aus dem Jahr 2013. In diesem Szenario steuert die Erde – verglichen mit dem Zeitraum 1850–1900 – auf einen katastrophalen durchschnittlichen Temperaturanstieg von 3,2 bis 5,4 °C am Ende des 21. Jh. mit dann noch immer weiter steigender Tendenz zu. Für das Ziel der UN, die Erderwärmung auf „gut unter 2 °C“ und wenn möglich auf 1,5 °C zu begrenzen, wären ein fundamentales Umdenken, sofortiges Handeln und eine nahezu 100 %-ige internationale Kooperation notwendig.

Im Gefolge der Erderwärmung kommt es zum Abschmelzen der Eismassen, zum Anstieg des Meeresspiegels, zu grundsätzlichen Veränderungen der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation, zur Umverteilung von Niederschlägen und zur Zunahme extremer Wetterereignisse wie Dürren, Überschwemmungen und Stürmen. Der Sonderbericht des Weltklimarates 2018 geht davon aus, dass diese Veränderungen schon bei einem Temperaturanstieg von mehr als 1,5 °C zu gravierenden und nicht mehr sicher beherrschbaren Veränderungen führen.

Hervorzuheben ist die sich gegenseitig verstärkende Kombination all der negativen Umweltfaktoren zusätzlich zum Klimawandel. In der Fachliteratur spricht man vom „perfect storm“.

Diese summierte Veränderung könnte unsere Umwelt ebenso abrupt und tiefgreifend verändern wie der katastrophale Meteoriteneinschlag am Ende der Kreide vor 65. Mio. Jahren.

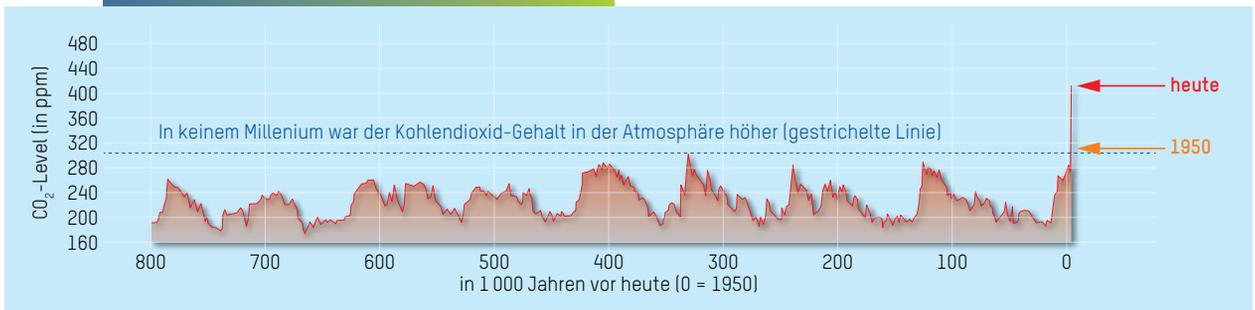
FOTO: GERD ALTMANN (PIXABAY)

Abb. 1: Verlauf der Schwankungen der CO₂-Werte in der Atmosphäre während der letzten 800.000 Jahre (Pleistozän).

Der CO₂-Gehalt schwankte mit präziser Regelmäßigkeit zwischen 180 ppm in den Kaltzeiten und 280 ppm am Höhepunkt der Warmzeiten. Mit Beginn der Industrialisierung, aber ganz besonders seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, stieg der Wert auf heute knapp 420 ppm rasant an. Auch wenn es in der Erdgeschichte Zeiten mit viel höheren CO₂-Werten in der Atmosphäre gegeben hat, war es in den letzten 800.000 Jahren nie der Fall und – das ist eine Schlüsselerkenntnis – ist der Anstieg der vergangenen etwa 100 Jahre der schnellste den es jemals gab. Der Anstieg korreliert mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe, bei unverändertem Ausstoß ist ein Wert von 1.500 ppm zu erwarten. Kurzfristige Reduktionen des CO₂-Ausstoßes wie während des Corona-Lockdowns im Frühjahr 2020 kann an der Entwicklung nichts ändern – die CO₂-Werte stiegen weiter. Es wäre eine langfristige und dauerhafte Reduktion des Ausstoßes erforderlich, um eine Veränderung beobachten zu können. *Grafik aus: Hofrichter, Das Mittelmeer, 2020.*



FOTO: WOLFGANG SCHRUF



turen, und die Unterschiede waren beträchtlich. Wir wissen, dass die Welt im Rahmen des „Pariser Klimaabkommens“ um eine Einbremsung der Erderwärmung um maximal 2 °C kämpft, was im Dezember 2010 erstmals 194 Mitgliedstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) bestätigten. Einigen erschien das zu wenig ambitioniert und man plädierte für eine Senkung der Grenze auf höchstens 1,5 °C. Doch wie modernste Berechnungen zeigen (Sherwood et al, 2020), wird es weder mit 1,5 °C noch mit 2 °C funktionieren. Das Szenario – von denen es etwa 100 gibt – erscheint sehr unwahrscheinlich und liegt bei nur fünf Prozent. Zwischen 6 und 18 % hingegen liegt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich die Erde durch eine Verdopplung des CO₂-Gehalts in der Luft im Vergleich zum vorindustriellen Wert um mehr als 4,5 °C erwärme. Eine solche CO₂-Verdopplung ist in den nächsten 60 bis 80 Jahren möglich, wenn keine tiefgreifenden Veränderungen erfolgen.

Zu den wesentlichen Triebkräften dieses Wechsels zählt der Treibhauseffekt durch Gase in der Atmosphäre. Zu den bekanntesten zählen Kohlen(stoff)dioxid (CO₂) und Methan (CH₄). Doch nennt das Kyoto-Protokoll sechs Treibhausgase: Zusätzlich zu Kohlendioxid und Methan sind es Lachgas (N₂O) und die fluorierten Treibhausgase (F-Gase): wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), und Schwefelhexafluorid (SF₆). Seit 2015 wird auch Stickstofftrifluorid (NF₃) dazugezählt. Laut den aktuellsten Modellen der Wissenschaftler reagiert die Erde deutlich empfindlicher auf die Emission von Treibhausgasen und erwärmt sich schneller als gedacht. Und die Emissionen steigen anstatt zu sinken (siehe auch Seite 47, Infobox).

Der Gehalt von Treibhausgasen in der Atmosphäre wird in der Einheit *ppm* angegeben. Es ist die Abkürzung des englischen *parts per million* (Anteile pro Million). Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Schwankungen



Österreichs Gletscher schmelzen rapide: Der Pasterzenkees (Glocknergruppe) dürfte in den nächsten 40 Jahren völlig verschwinden. Im Hintergrund der Johannesberg.

in den letzten 800.000 Jahren während des letzten Drittels des Pleistozäns. Dieser Zeitabschnitt zeichnete sich durch einen periodischen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten aus. Und durch einen ziemlich exakten periodischen Wechsel des CO_2 -Gehalts zwischen 180 und 280 ppm. Als Warnung könnte uns dienen, dass in der Erdgeschichte am Höhepunkt der Warmzeiten auch schon ein so genannter „galoppierender Treibhauseffekt“ (*runaway greenhouse effect*) eintrat, und die Kohlendioxid-Konzentrationen konnten enorme Werte von bis über 7.000 ppm erreichen. Das war mehr als das 20-fache des vorindustriellen Maximalwertes von 280 ppm.

Es stimmt also, dass sowohl die globalen Temperaturen als auch der Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre wesentlich höher liegen konnten als heute, zum Beispiel durch Vulkanausbrüche. Das Pleistozän war nur ein Wimpernschlag der Erdgeschichte. Was aber ebenso stimmt: Aus teilweise oder ganz richtigen Fakten können falsche Schlussfolgerungen gezogen werden. Wie Klimaforscher Georg Feulner aus Potsdam sagt: *„Aus dem Auftreten von natürlichen Klimaänderungen in der Vergangenheit folgt natürlich nicht, dass die derzeitige Erwärmung nicht vom Menschen verursacht sein kann, genauso wenig wie aus dem Auftreten natürlicher, von Blitzschlägen ausgelöster Feuer folgt, dass es keine Brandstiftung durch den Menschen geben kann.“*

DER TREIBHAUSEFFEKT IST MENSCHENGEMACHT

In der polarisierten Diskussion zum Klimawandel wird vor allem das Gas mit der schlichten Formel CO_2 unsachlich thematisiert. Jene, „die an den Klimawandel glauben“ (eine unsinnige Formulierung, aber so wird es oft dargestellt), werden als CO_2 -Jünger und ähnlich verunglimpft.

Klimaforscher*innen wissen, dass das Molekül CO_2 in vielerlei Hinsicht von elementarer Bedeutung für das Leben auf der Erde ist. Dieses Molekül besteht aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen. Sie wissen, dass Pflanzen ohne das lebensnotwendige Spurengas CO_2 nicht überleben können. In diesem Sinn ist CO_2 bestimmt als „gut“ einzustufen. Sie wissen aber auch, dass es nicht so ist, dass unbegrenzt viel von irgendetwas grundsätzlich etwas Gutes bedeuten muss. Das ist beim Wasser so, beim Dünger und bei vielen weiteren Faktoren in der Ökologie. Naturwissenschaftler wissen, dass der atmosphärische CO_2 -Gehalt in der Erdgeschichte erheblich schwankte, sie wissen, dass es durch seine Löslichkeit in Wasser den pH-Wert der Ozeane wesentlich beeinflusst und dass Kohlenstoff grundsätzlich an einem über Äonen ablaufenden Kreislauf des Kohlenstoffs beteiligt ist. Die Sorge um den Treibhauseffekt und das Klima bedeutet keine „Feindschaft“ dem Kohlendioxid gegenüber. CO_2 ist selbstverständlich nicht der einzige klimawirksame Faktor, aber wahrscheinlich jener, den wir Menschen noch am

ehsten beeinflussen können. Es zählt mit einigen anderen zu den Treibhausgasen, welche elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlänge aus dem Welt- raum als Wärmestrahlen in die Erdatmosphäre durch- lassen, deren Rückstrahlung aber bremsen. Das können Wissenschaftler mit Messstationen auf der Erde und in Satelliten direkt beobachten. Andere Gasmoleküle wie etwa O₂ (molekularer Sauerstoff aus zwei Sauer- stoffatomen) oder N₂ (molekularer Stickstoff aus zwei Stickstoffatomen), welche die Hauptanteile der Atmo- sphäre ausmachen, haben diese Treibhauswirkung nicht. Die Atmosphäre, das ist unser Glas- oder Treib- haus als isolierender Wärmemantel. Das versteht man bereits seit Beginn des 19. Jahrhunderts. Und seit etwa 1850 weiß man – schon damals durch Experimente be- wiesen –, dass CO₂ ein starkes Treibhausgas ist.

Doch hat die moderne Chemie und Physik noch viel mehr herausgefunden. Viele Atome treten in verschie- denen Isotopen auf. Auch Kohlenstoff. In seinem Atom- kern finden sich sechs positiv geladene Protonen und – normalerweise – sechs neutrale Neutronen. Das sind zwölf Kernbestandteile von der Grundform des Kohlen- stoffs, das wir daher als C₁₂ bezeichnen. Doch gibt es auch Kohlenstoffatome mit sieben Neutronen, die wir C₁₃ nennen und ebenso solche mit acht Neutronen. Das wäre das berühmte Isotop C₁₄, welches mit der Zeit zer-

fällt und daher für Altersbestimmungen organischer Überreste eingesetzt werden kann.

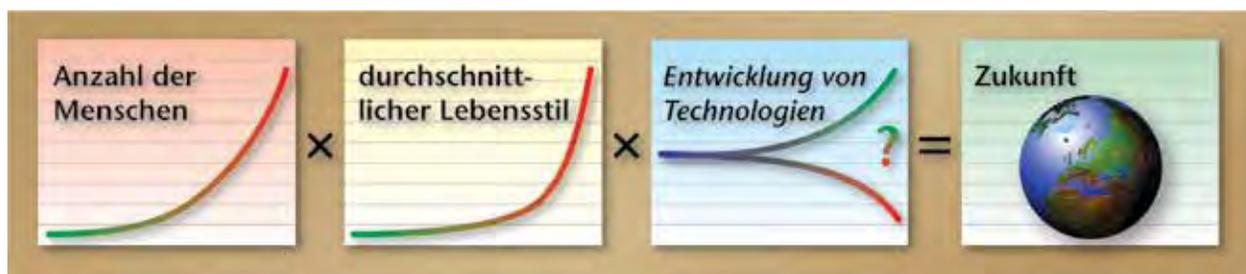
Dieser Exkurs hat für unser Thema eine entscheidende Bedeutung, denn mit ihm können wir beweisen, dass der starke CO₂-Anstieg in der Atmosphäre so gut wie aus- schließlich menschengemacht ist. Er wird durch das Verbrennen fossiler Kohlenstoffdepots verursacht, und diese Depots organischen Ursprungs als Kohle, Gas, Erdöl etc. sind umgewandelte Pflanzen oder allgemeiner Lebewesen. Ihr Kohlenstoffanteil wurde durch Photo- synthese geschaffen, einem komplizierten Vorgang, der C₁₂ bevorzugt und nicht seine Isotope. Außerdem sind die Anteile von C₁₄ längst zerfallen, weil dieses Molekül wie bereits gesagt instabil ist und die Kohlenstoffdepots in aller Regel sehr alt. In ihnen ist daher C₁₂ eingebaut und nicht seine Isotope C₁₃ und C₁₄. Die Anteile der Kohlen- stoffisotope in der Atmosphäre ändern sich durch menschliche Einwirkung und ganz speziell durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe wesentlich und mess- bar. Der Anteil an C₁₂ wächst zu Ungunsten seiner Isotope. Das können wir nur durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe erklären und damit auch den Beweis antre- ten, dass der Treibhauseffekt seit Beginn der Industriali- sierung menschengemacht bzw. anthropogen ist.

WELTWEITER KONSENS VON WISSENSCHAFTLERN, FORSCHUNGSINSTITUTIONEN UND AKADEMIE

Die Webseite klimafakten.de hat zusammengefasst, ob zwischen den Experten und ihren Institutionen Konsens über den durch Menschen beschleunigten Klima- wandel existiert. Zusammenfassend heißt es darin: „Bei den wesentlichen Grundaussagen zum Klimawandel – dass sich die Erde seit Jahrzehnten signifikant erwärmt und der Mensch die Hauptursache dafür ist – gibt es also einen soliden Konsens. Wer dies bestreitet, kann sich nicht auf die Klimawissenschaft berufen.“ Auch skepti- calscience.com hat eine gründliche Analyse durchge- führt: „Nicht eine einzige Nationale Wissenschaftsaka- demie bezweifelt oder bestreitet den wissenschaftli- chen Konsens rund um den Klimawandel.“ Wissen-

Abb. 2: Exponentielles Wachstum der Weltbevölkerung in den letzten 200 Jahren. Nach Prognosen wird die Bevölkerung in Afrika mit Abstand weltweit am schnellsten wachsen. Zugleich werden auch die Lebensbedingungen der Menschen schlechter: Armut, politische Instabilität, Kriege und Terrorismus sind nur einige Faktoren. Weitere sind der Ausverkauf von afrikanischen Ländern an andere Staaten und Investoren (China), Wüstenbildung, Dürren und der immer bedrohlichere Wassermangel. Nach Schätzungen der UN-Organisation Plan Bleu könnte die Zahl der wasserarmen mediterranen Bevölkerung, denen pro Jahr weniger als 1.000 m³ Wasser zur Verfügung steht, bis zum Jahr 2025 auf 250 Mio. ansteigen. Migrationsbewegungen sind unter solchen Bedingungen unausweichlich.
Grafik aus: Hofrichter, Das Mittelmeer, 2020





schafts-Akademien aus 80 Staaten sind sich über diesen Konsens einig – auch die Österreichische Akademie der Wissenschaften. So genannte Meta-Studien zeigen, dass „90 bis 100 % der Klimaexperten den Konsens teilt, dass der Mensch hauptverantwortlich für den gegenwärtigen Klimawandel ist.“ Vielsagend ist die Erkenntnis, dass der Grad der Zustimmung zu diesem Konsens umso höher ist, je qualifizierter die Meinungsmacher sind. Anders formuliert: Hochqualifizierte, führende Fachwissenschaftler*innen aus der Klimaforschung sind sich bis zu 100 % einig. Je weniger jemand in diesem Fach arbeitet oder gar nicht als Klimaforscher*in aktiv ist, desto geringer wird der Konsens. Die Meinung, auch die Wissenschaftler seien sich über diese Fragen nicht einig, ist bloß eine Schutzbehauptung von Menschen, die keine Experten auf diesem Gebiet sind.

DAS HAT ES IMMER SCHON GEGEBEN. WAS IST DIESMAL ANDERS?

Ein aus unserer Perspektive wesentlicher Punkt springt gleich ins Auge: Noch bei den letzten radikaleren Klimawandeln der Erdgeschichte gab es keine weltumspannende menschliche Zivilisation, bloß verstreute, kleine menschliche Populationen. Statt 7,8 Milliarden Menschen wie heute lebten vor 50 000 v. Chr. (damals lief bereits die letzte Kaltzeit) geschätzte zwei Millionen Menschen auf der Erde. Oft waren es wesentlich weniger (so genannte genetische Flaschenhälse). Ihre gemittelte Lebenserwartung lag vermutlich bei zehn Jahren. Mit Beginn der landwirtschaftlichen (neolithischen) Revolution begann die menschliche Population massiv zu wachsen (viele sehen darin den Anfang jener Entwicklung, die heute gipfelt) und erreichte um 8000 v. Chr. etwa fünf Millionen. Erst nach 1800 n. Chr. erreichte die Menschheit die eine Milliarde, und dann begann sie exponentiell zu wachsen: 1930 zwei Milliarden, in den 1950ern, als der Autor dieser Zeilen geboren wurde, waren es bereits drei Milliarden, 62 Jahre später nähern wir uns der Grenze von acht Milliarden. Abbildung 2 zeigt die demographische Entwicklung.

DER FAKTOR MENSCH

Die Überbevölkerung der Erde – etwa in Afrika, Indien, China, Indonesien, Südamerika, aber auch in anderen

Abb. 3: Die „Ökologische Grundformel“ mit den drei wesentlichen Faktoren Bevölkerungszahl, Lebensstil sowie technologischer Standard. Die Vision dabei: Bei optimierter Technik (Wert geht gegen null) könnten sowohl die Anzahl der Menschen als auch der Wohlstand weiter wachsen, ohne die Umwelt zu gefährden. Technologische Fortschritte und umweltfreundliche Technik haben tatsächlich geholfen manche Probleme in den Griff zu bekommen. Ein Beispiel ist der Rückgang des Waldsterbens durch Reduktion des Schwefelgehalts in Treibstoffen gegen Ende der 1980er. Doch ist aus der Gleichung ersichtlich, dass eine zu hohe Anzahl der Menschen und ein zu verschwenderischer Lebensstil nicht durch den technologischen Fortschritt abgedeckt werden können. Beim Verlust natürlicher Lebensräume (Wildnis) und Verlust der Biodiversität und Artenvielfalt, können wir annehmen, dass keine Technologie dies wieder gutmachen kann. Ein übertriebener Glaube an die Technik kann bloß ein bequemer Glaubenssatz sein, der es uns ermöglichen soll, nicht allzu intensiv über die Dringlichkeit der Umweltprobleme nachdenken zu müssen.

Grafik aus: Hofrichter, *Das Mittelmeer*, 2020

Regionen – ist ein Tabuthema, weil wir keine greifbare – und auch schnell wirkende – Lösung dafür haben. Soziale Sicherheit, Bildung, Umwelterziehung – selbst unter idealen Bedingungen braucht es mehrere Generationen, bis sich am Bewusstsein der Menschen und an der Soziologie und Populationsbiologie einer Region oder eines Landes etwas ändert. Die mediale Zurückhaltung muss einen Grund haben. Es scheint schwierig zu sein den alles entscheidenden ökologischen Faktor Nr. 1 unserer Welt und Mitverursacher des Klimawandels – die Anzahl der Menschen – sachlich, vorurteils- und emotionsfrei zu diskutieren. Meistens mündet jeder Versuch, darüber zu sprechen, in einem ideologischen Lagerkampf. Es ist ein Tabuthema im wahrsten Sinn des Wortes. Ein Argument könnte wie folgt formuliert werden: Da man daran nichts ändern kann, hat es auch keinen Sinn darüber zu reden. Währenddessen stieg die Weltbevölkerung zwischen 2007 und 2020 von 6,68 Mrd. auf 7,8 Mrd. Menschen an – um mehr als eine Milliarde in nur dreizehn Jahren! Betrachten Sie eine Weile ungestört die Abbildung 3: Wahrscheinlich werden Sie erkennen, dass die Anzahl der Menschen ein Schlüsselfaktor aller Zukunftsfragen ist.



Wir machen die Erde immer heller: Anstieg der Lichtverschmutzung...

FAKTOR LEBENSSTIL BZW. DESSEN ÖKOLOGISCHER FUSSABDRUCK

Auch er entscheidet über die Zukunft der Natur, der Biodiversität und der Menschheit. Er ist bei uns in der westlichen Welt enorm hoch. Wir sind weit davon entfernt nachhaltig zu leben. In Wirklichkeit hat die Menschheit noch nie nachhaltig gelebt. Es gab nur unvergleichlich weniger Menschen, die wesentlich einfacher gelebt haben.

DIE GESETZE DER NATUR GELTEN. WIR KÖNNEN SIE NUR KURZFRISTIG AUSTRICKSEN – ABER NIEMALS DAUERHAFT.

Das vielleicht wichtigste Grundprinzip aller Naturwissenschaften ist der Energieerhaltungssatz. Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, sie kann nur aus einem System heraus oder in ein System hinein transportiert werden (etwa in unser Haus oder aus dem Haus hinaus – bei schlechten Fenstern und Wärmedämmung). Ebenso bekannt ist uns, dass Energie zwischen verschiedenen Energieformen umgewandelt werden kann (Wind oder Wasser in Strom). Anders – und für unsere Zwecke sinnvoller – formuliert, können wir festhalten, dass die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems sich mit der Zeit nicht ändert. Unser „abgeschlossenes System“, von dem unsere Existenz und Zukunft abhängt, ist die Erde. Wir ignorieren dabei kurz, dass es sich nicht um ein abgeschlossenes System handelt, da es Energie von außen, von der Sonne erhält. Wenn ein Mensch das Prinzip der Nachhaltigkeit wirklich verinnerlichen möchte, muss er den Energieerhaltungssatz verstehen.

Für ein tieferes Verständnis ebenso entscheidend ist der Kohlenstoffzyklus oder Kohlenstoffkreislauf, ein elementares Wirkungsprinzip unserer Erde. Wenn es um das Leben geht, wird seine essenzielle Bedeutung gleich sichtbar: Sämtliche lebende Gewebe sind aus Kohlenstoffverbindungen in organischer Form aufgebaut. Und nach dem Sauerstoff (im Wasser enthalten) ist es dem Gewicht nach das bedeutendste Element in Lebewesen. Für unser Verständnis entscheidend ist zu begreifen, dass der über Jahrtausende und Jahrmillionen ablaufende, langsame Kreislauf des Kohlenstoffs mit chemischen Umwandlungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen und ihrem Austausch zwischen der Biosphäre (also uns, allen Lebewesen, die wir zu einem großen Teil aus Kohlenstoff bestehen, 800 Mrd. t), der Lithosphäre (99,8 % allen Kohlenstoffs), Hydrosphäre (38.000 Mrd. t = 0,05 % des gesamten Vorkommens), Erdatmosphäre (820 Mrd. t, etwa 0,001 %), im Boden (1.580 Mrd. t, 0,002 % des gesamten Vorkommens) Erdsphären das Leben selbst ausmacht.

FAKTOR WOHLSTAND

Nun denken wir kurz an unseren Wohlstand. Wir frieren im Winter nicht mehr, weil wir alten, fossilen Kohlenstoff verbrennen. Vielleicht heizen wir mit Holz, das 100 Jahre oder mehr wachsen musste. Stellen Sie sich vor, jeder würde sich sein Brennholz in den benachbarten Wäldern holen. Sie wären in wenigen Jahren oder Jahrzehnten vernichtet, so wie es in der Geschichte in vielen Regionen schon war und auch heute noch ist. Oder Sie heizen mit Kohle. Damit diese entstehen kann, braucht es besondere klimatischen Bedingungen. Un-



... innerhalb von 20 Jahren. Diese ist ein Indikator für die Urbanisierung und den Tourismus.

sere Steinkohle etwa, die wertvollste von allen, ist im Oberkarbon entstanden. Das Karbon (323,2 bis 298,9 Mio. Jahre) wurde nach dem Kohlenstoff getauft. Kohle entsteht nicht einfach laufend und kann daher grundsätzlich nicht nachhaltig sein. Es ist kein nachwachsender Rohstoff. Klar, auch nach dem Karbon entstand noch in manchen Teilen der Erde Kohle, aber es war Braunkohle, deren ökologische Bilanz noch wesentlich ungünstiger ist. Denn bei der Verbrennung von Kohle entsteht unser wichtigstes Klimagas Kohlendioxid, außerdem Schwefeldioxid und verschiedene Umwelt- und gesundheitsschädliche Schadstoffe wie Flugasche, Feinstaub und Schwermetalle. Das Grundprinzip wäre bei einer Erdölheizung bis auf unterschiedliche Wirkungsgrade der einzelnen fossilen Brennstoffe nicht anders.

Die schlichte Wahrheit ist: Wir können unseren komfortablen Lebensstil nur aufrechterhalten, wenn wir auf Kosten von anderen leben: Auf Kosten von anderen Zeitabschnitten vor und nach uns, auf Kosten anderer Menschen (so genannte zivilisatorische Höchstleistungen konnten immer und grundsätzlich nur auf Kosten anderer entstehen, etwa Sklaven, Zwangsarbeiter, daran hat sich auch heute nichts geändert), auf Kosten von anderen Lebewesen wie etwa Tieren, aber auch Pflanzen und auf Kosten von komplexen Naturgefügen, die wir Ökosysteme nennen. Keiner von uns – und wenn er noch so umweltbewusst lebt – ist aus dieser Gesetzmäßigkeit ausgenommen. Es ist genauso ein Naturgesetz wie der Energieerhaltungssatz. Der einzige (aber umso wesentlichere) Unterschied ist die Quantität: Wie

fällt unsere eigene ökologische Bilanz aus? Bei fast acht Milliarden Menschen auf der Erde ist es eine Notwendigkeit darüber nachzudenken. Dabei sollten wir die Grunderkenntnis nicht vergessen: Ein „nachhaltiges Leben“, wie es oft billig von Politik und Werbung missbraucht wird, ist unmöglich. Leben auf einem Standard, wie wir es leben, kann ausschließlich auf Kosten anderer funktionieren. Der Raubbau passiert vielleicht woanders, so, dass wir es nicht sehen. Wir bekommen „sauberen Strom“ geliefert und wissen nicht woher. Auf der Erde soll es etwa 75 Milliarden (= Millionen Milliarden) Tonnen Kohlenstoff geben. Ein Teil davon ist in den fossilen Brennstoffen gespeichert. Was in Millionen und hunderten Millionen Jahren im Rahmen des Kohlenstoffzyklus umgesetzt wird, wird jetzt innerhalb von 200 Jahren in die Atmosphäre freigesetzt. Man muss kein Globalökologe sein um zu verstehen, dass diese sukzessive Freisetzung enormer Kohlenstoffmengen, die „für die Ewigkeit geschaffen waren“ (seit Beginn der Industrialisierung ca. 530 Mrd. Tonnen) nicht ohne Folgen bleiben kann. Auch wenn wir keine sofortige Lösung haben, bringt uns zumindest diese Erkenntnis weiter: Wir erleben den schnellsten Anstieg des CO₂-Gehalts der Atmosphäre, den wir bisher aus der Erdgeschichte kennen. Dieser Anstieg ist durch Menschen verursacht. Und er kann nur auf Kosten von anderen Menschen, Lebewesen und Ökosystemen erfolgen. 380.590 Menschen haben dem Klimavolksbegehren ihre Stimme gegeben, und damit die Politik aufgefordert, Klimaschutz wirklich umzusetzen

DIE OZEANE WERDEN SAURER: VOM BÖSEN ZWILLING DER ERDERWÄRMUNG UND DEM PROBLEM DER GESCHWINDIGKEIT DER VERÄNDERUNG

Obwohl wir uns in diesem Heft vor allem auf Europa und den terrestrischen Lebensräumen der Heimat beschäftigen, können wir das Weltmeer bei diesem Thema nicht ganz ausklammern. Das Klimageschehen ist global und hängt mit den großen Kreisläufen von Stoffen und Energien in den unterschiedlichen Sphären des Planeten zusammen, darunter ganz entscheidend der Hydrosphäre. Es ist unmöglich das Klima und die Erderwärmung ohne die Rolle der Ozeane zu verstehen. Speziell ein Phänomen wollen wir in diesem Abschnitt untersuchen, die Ozeanversauerung (*ocean acidification*, OA). Wir könnten es auch das andere CO₂-Problem bezeichnen, oder, wie Forscher es gern nennen, dem *evil twin*, dem bösen Zwilling der Erderwärmung. Es liefert einen direkten Beweis dafür, dass sich etwas an unserer Atmosphäre ändert. Erderwärmung und Ozeanversauerung – beide sind hervorgegangen aus dem Anstieg des atmosphärischen CO₂-Gehalts.

Das derzeit ermittelte Absinken des pH-Wertes der Ozeane von 8,2 auf 8,1 stellt ein existenzbedrohendes Problem insbesondere für kalkbildende Organismen dar – von entscheidenden planktonischen Lebensformen bis hin zu Korallen und beispielsweise den Stachelhäutern. Ein Absinken um 0,1 pH-Einheiten bedeutet eine Zunahme von Wasserstoff (H⁺)-Ionen um etwa 26 %!

Das Meerwasser ist das weltweit größte Puffersystem überhaupt. Um die Tragweite dieser Entwicklung erahnen zu können, hier einige wichtige Einblicke in die Thematik.

Entscheidend für die langfristige pH-Stabilität des Meerwassers sind insbesondere Hydrogencarbonate und Carbonate, die durch Verwitterungsprozesse von z.B. Silikaten (Silikat-Carbonat-Zyklus) und anderen Gesteinen im Laufe von Jahrtausenden in das Meerwasser eingebracht wurden. Diese Salze (die Salze von „schwachen Säuren“, Anionbasen) reagieren mit Wasser leicht alkalisch, und dies ist der Grund für den erdgeschichtlich langlebigen pH-Wert des Ozeanwassers in den Weltmeeren von etwa 8,2.

Der pH-Wert des Meerwassers der letzten 25 Mio. Jahre lag nie unter pH 8,0. Die gemessenen und errechneten Werte der Neuzeit zeigen eine nie dagewesene Geschwindigkeit im Absinken bis zum Jahr 2100. Historische pH-Werte lassen sich mit hoher Präzision durch Isotopenbestimmung im Sediment rekonstruieren.

Im Kambrium lag der CO₂-Gehalt der Atmosphäre bei 4.000–6.000 ppm, in der heutigen Zeit bei „nur“ 420 ppm. Soll oder darf man auf Basis solcher Zahlen den Anstieg der CO₂-Konzentration verharmlosen? Wieso haben Meeresorganismen diese Phasen überlebt, wenn es doch für sie so „gefährlich“ ist, wie Umweltwissen-

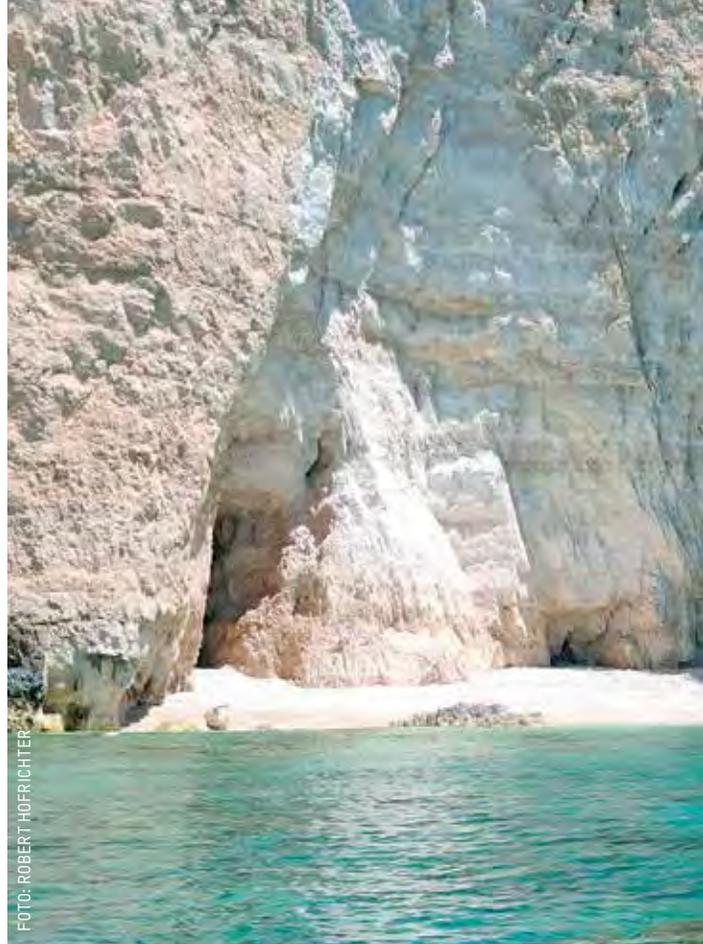


FOTO: ROBERT HOFRICHTER

schaftler betonen? War der pH-Wert der Meere nicht damals schon sehr viel niedriger (auch ohne uns Menschen) und die Meere wirklich „saurer“, weit unter 8,2? Wie konnten all die Kalkbildner diese Zeiten überstehen? Nach aktuellem Forschungsstand war der pH-Wert der Weltmeere in den letzten 300 Mio. Jahren nie geringer als 7,5 – trotz teilweise erheblich höherer CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre. All dies scheinen ernstzunehmende Gegenargumente zum Szenario der *ocean acidification* zu sein.

Bei solch einer Argumentation wird aber Folgendes unterschlagen: Für den pH-Wert der Meere ist weniger der absolute CO₂-Gehalt der Atmosphäre entscheidend, als vielmehr die Geschwindigkeit, mit der sich die Veränderungen eingestellt haben. In der Erdgeschichte ist dies in geologischen Zeiträumen von Millionen von Jahren geschehen – ganz anders als die heutigen Veränderungen, die durch die Menschheit beschleunigt in Jahrzehnten vorstatten gehen.

Die Verwitterung von Gesteinen wurde durch die höhere Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre angetrieben. Einerseits geschah dies durch die erhöhte Temperatur (chemische Reaktionen laufen bei höheren Temperatu-



Kalkfelsen und türkisblaues Meer auf Zakynthos in Griechenland – ein wunderschönes Fleckchen Erde. Doch unter der Oberfläche wird es für kalkbildende Organismen eng: Der Anstieg des CO_2 -Gehaltes in der Atmosphäre erwärmt nicht nur die Erde, sondern macht die Meere sprichwörtlich saurer. Dadurch wird das Kalkgerüst von Meeresorganismen mürbe.

ren schneller ab), andererseits durch den höheren Säuregehalt im Regen infolge des CO_2 -Gehaltes (die Reaktion von CO_2 und Wasser zur Säure findet natürlich auch an Land statt, wenn es regnet). Dadurch konnte der sinkende Carbonatgehalt im Meerwasser relativ „schnell“ ausgeglichen werden, ein Regulationsmechanismus, der etwa 100.000 Jahre benötigt und die Pufferwirkung des Meeres wieder ausglich. Auch die Auflösung von vorhandenem Kalksediment in größeren Tiefen der Meere kann ein gestörtes Gleichgewicht zwischen Carbonat und Hydrogencarbonat wieder ausgleichen.

Fassen wir zusammen: In der Erdgeschichte gibt es keinen Hinweis für einen vergleichbar schnellen CO_2 -Anstieg in der Atmosphäre wie in der Gegenwart. Den Regulationsmechanismen zur Wiederherstellung der Carbonatkonzentration im Meer fehlt schlicht die Zeit. Betritt man einen ausgekühlten Raum und stellt die Heizung an, kann man kaum erwarten, dass sich binnen Sekunden eine wohlige Temperatur einstellt. Zwischen der Einstellung des „Soll-Zustandes“ und des „Ist-Zustandes“ braucht es eine gewisse Zeit: die Totzeit eines Regelkreises. Diese Totzeit bis zur Einstellung der ursprünglichen Carbonatkonzentration ausge-

hend von Verwitterungsprozessen ist beim heutigen CO_2 -Anstieg schlicht zu lang. Der Anstieg von 280 ppm auf 420 ppm CO_2 in der Atmosphäre in nur 150 Jahren überfordert die langsam wirkenden geologischen Regulationsmechanismen unseres Planeten, die sich über Hunderte von Jahrtausenden bewährt haben.

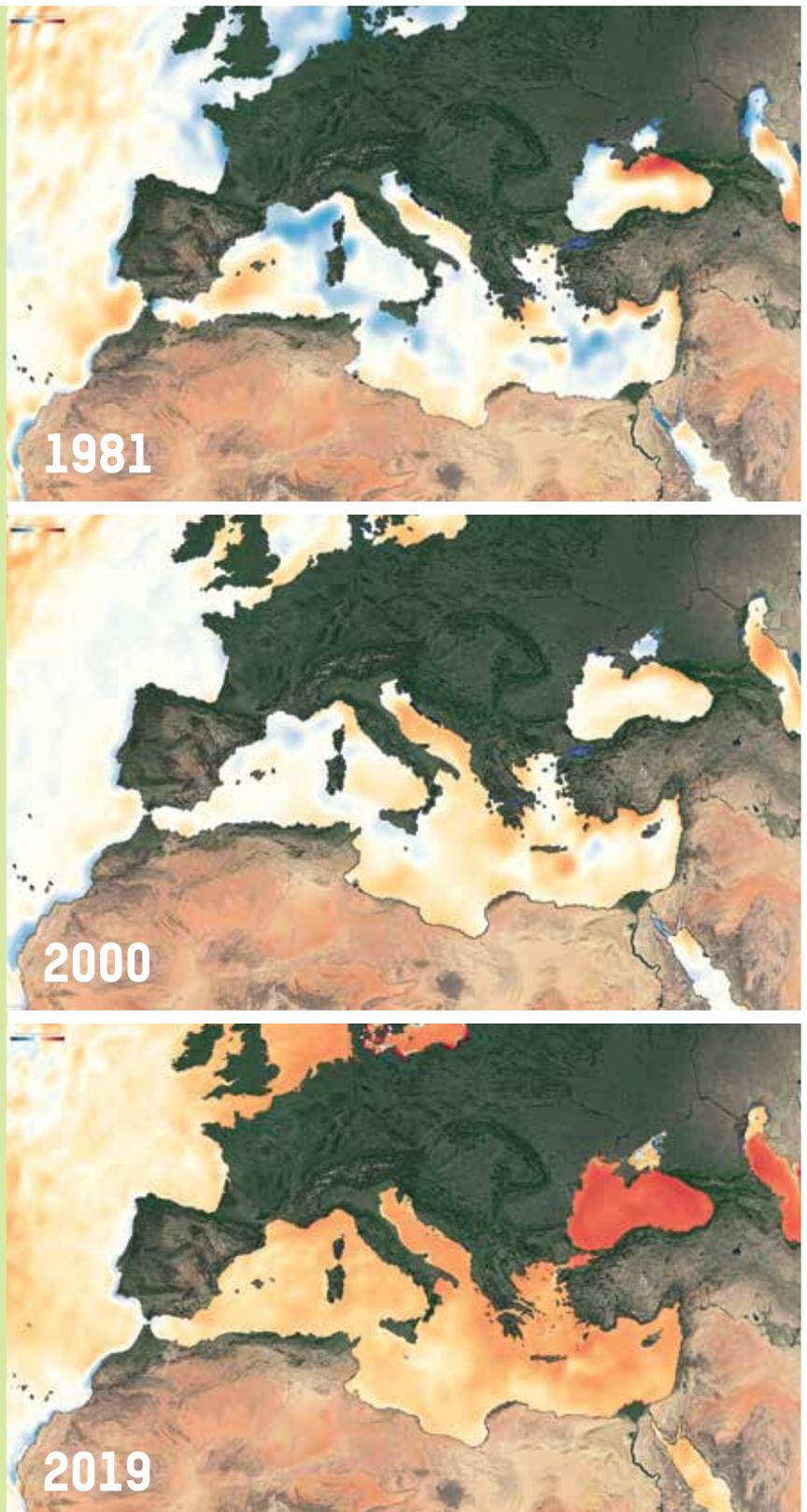
DAS MITTELMEER ALS INDIKATOR

Unser „mare nostrum“ hat nicht nur die allergrößte historische und kulturgeschichtliche Bedeutung für uns – als Wiege der abendländischen Zivilisation. Es ist auch ein Indikator für den Klimawandel in seinen benachbarten Regionen und in ganz Europa. Experten gehen davon aus, dass Teile der Mittelmeerregion wegen der steigenden Temperaturen und der zunehmenden Wasserknappheit immer unbewohnbarer werden. Die Abbildung 4 (nächste Seite) zeigt die Veränderung der Oberflächen-Wassertemperatur des Mittelmeeres bzw. seine Abweichungen vom Langzeitdurchschnitt in den Jahren 1981, 2000 und 2019.

Abb. 4: Abweichungen der Oberflächen-Wassertemperatur des Mittelmeeres vom Langzeitdurchschnitt in den Jahren 1981, 2000 und 2019. Die mittleren Jahrestemperaturen liegen im Mediterran um $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ höher als gegen Ende des 19. Jh. Dieser Trend wird v. a. durch die wärmeren Sommermonate verursacht.

Die Erwärmung des Mittelmeeres in diesem Zeitraum ist jedoch auch ein gutes Beispiel dafür, dass nicht alle beunruhigenden Trends der durch den Menschen verursachten Erderwärmung zugeschrieben werden können. Gut die Hälfte dieser Erwärmung – v. a. die rasante Erwärmung der 1990er-Jahre – wird einer positiven Phase der „atlantischen Multi-Dekaden-Oszillation“ (AMO) zugesprochen. Das ist eine bedeutende zyklische Schwankung der Meerestemperatur im Nordatlantik in Dimensionen von Jahrzehnten, die sich auch auf Europa und das Mittelmeer auswirkt.

Da vor einigen Jahren offensichtlich eine Phasenumkehr dieser Schwankung in Richtung einer kühleren Phase eingetreten ist, könnte dies die Erwärmungstendenzen des Mittelmeeres vorübergehend einbremsen und oberflächlich betrachtet zu falschen Schlussfolgerungen führen. *Grafik aus: Hofrichter, Das Mittelmeer, 2020 (nach SIO, NOAA und GEBCO).*



Abweichungen der Oberflächen-Wassertemperatur

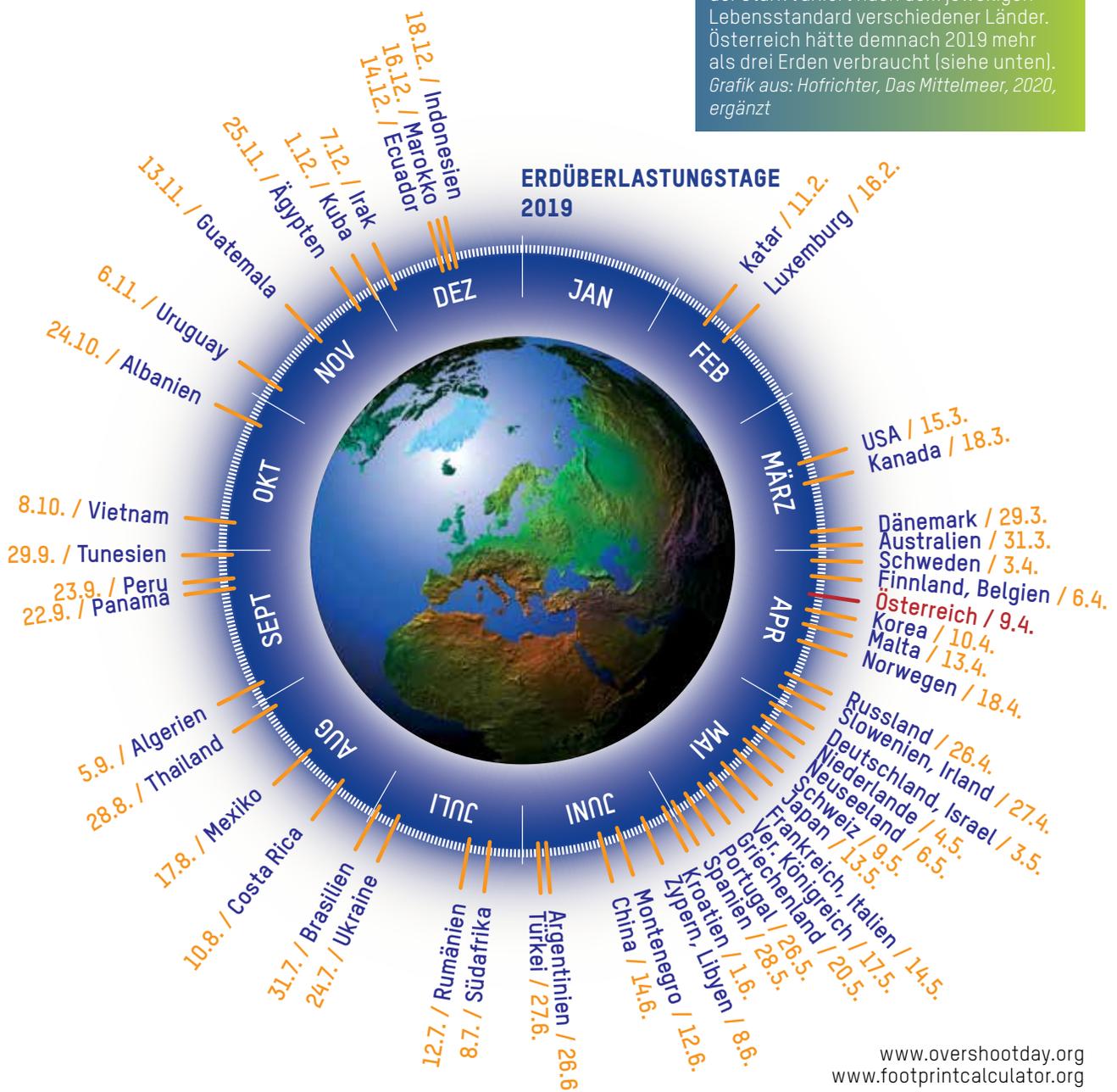


AN WELCHEN SCHRAUBEN MÜSSEN WIR DREHEN?

Man kann die ökologischen Zukunftsaussichten bloß auf dreierlei Wegen verbessern: Durch das Einbremsen des Wachstums der Weltbevölkerung (demographische Explosion), durch Anpassungen unseres Lebensstils in Richtung mehr Bescheidenheit und durch verbesserte, moderner, effektivere, weniger schädliche Technologien, also den technologischen Standard. Am effektivsten wäre selbstverständlich eine Optimierung aller drei Faktoren.

Eine mathematische Formel lässt keine Spielräume offen. Auch die Realität hinter der schlichten Formel lässt sich nicht austricksen: Wir werden den Klimawandel nur in den Griff bekommen können, wenn wir an allen drei uns zur Verfügung stehenden Schrauben drehen und diese in den ersten beiden Fällen zurückschrauben und bei der letz-

Der Erdüberlastungstag (*earth overshoot day, EOD*) gibt das Datum an, an welchem ein Land seine natürlichen Ressourcen aufgebraucht hat, die die Erde innerhalb eines Jahres regenerieren und damit zur menschlichen Nutzung zur Verfügung stellen könnte (ökologischer Fußabdruck). 2020 fiel der Internationale EOD-Tag auf den 22. August – das ist einige Tage später als frühere. Für die gesamte Menschheit wurde 2019 ein Bedarf von 1,7 Erden ermittelt, der stark variiert nach dem jeweiligen Lebensstandard verschiedener Länder. Österreich hätte demnach 2019 mehr als drei Erden verbraucht (siehe unten). Grafik aus: Hofrichter, *Das Mittelmeer*, 2020, ergänzt



www.overshootday.org
www.footprintcalculator.org

ten nach vorne, in Richtung Modernisierung einstellen. Am schwierigsten ist die Beeinflussung der demographischen Explosion in vielen Ländern dieser Erde.

Worauf wir aber als Einzelpersonen mit sofortiger Wirkung am meisten Einfluss haben, ist der Lebensstil. Die Erkenntnis widerspricht diametral den mantraartig wiederholten Leitsätzen der neoliberalen, globalisierten Wirtschaft und dem Ruf nach immer mehr Wachstum: Wir können weniger konsumieren und dabei zufriedener leben. Ein glückliches Leben hängt nicht davon ab, dass wir enorm viel Energie, Rohstoffe und Waren vom anderen Ende der Welt verbrauchen, dass wir für einen Tag sehr billig nach Paris oder London zum Shoppen fliegen oder dass wir zu viele tierische Produkte unabhängig von ihrer Herkunft und Herstellungsart konsumieren. Die Fleischproduktion, die dafür benötigten Futtermittel, die Transporte rund um den Globus sind wesentliche Faktoren des tief defizitären „ökologischen Fußabdrucks“, den wir in der westlichen Welt hinterlassen.

Um den ökologischen Fußabdruck genauer zu verstehen, empfiehlt sich ein eingehenderes Studium der Webseite footprintnetwork.org. Es handelt sich um ein einfach zu vermittelndes Maß für die Begrenztheit der Erde. Dieses Maß basiert sowohl auf einer starken Metapher als auch auf einer naturwissenschaftlichen

Methode. Es bilanziert die Beanspruchung der Natur, mit der dahinter liegenden Frage: Wie viel Biokapazität (vereinfacht: produktive Land- und Wasserflächen) beansprucht ein Mensch bzw. die Menschheit und wie viel steht jeweils zur Verfügung? Der Footprint ist die Summe der durch den Konsum von Waren, Energie und Dienstleistungen in einem Jahr in Anspruch genommenen Naturleistung der Erde, unabhängig davon, wo auf der Welt diese Inanspruchnahme passiert. Die Biokapazität gibt die tatsächlich vorhandene Leistungsfähigkeit der aktuellen Land und Wassernutzung wieder. Wenn die entnommene Naturleistung über die Erneuerungsfähigkeit der Ökosysteme hinaus beansprucht wird, spricht man von der ökologischen Verschuldung oder vom ökologischen Defizit (Overshoot). Wir alle in den Industrieländern wie auch in Schwellenländern sind in dieser Hinsicht tief verschuldet.

Eine Vermeidung dieses Defizits ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein dauerhaftes Weiterbestehen der Menschheit und somit zwingende Auflage für einen nachhaltigen Lebensstil.

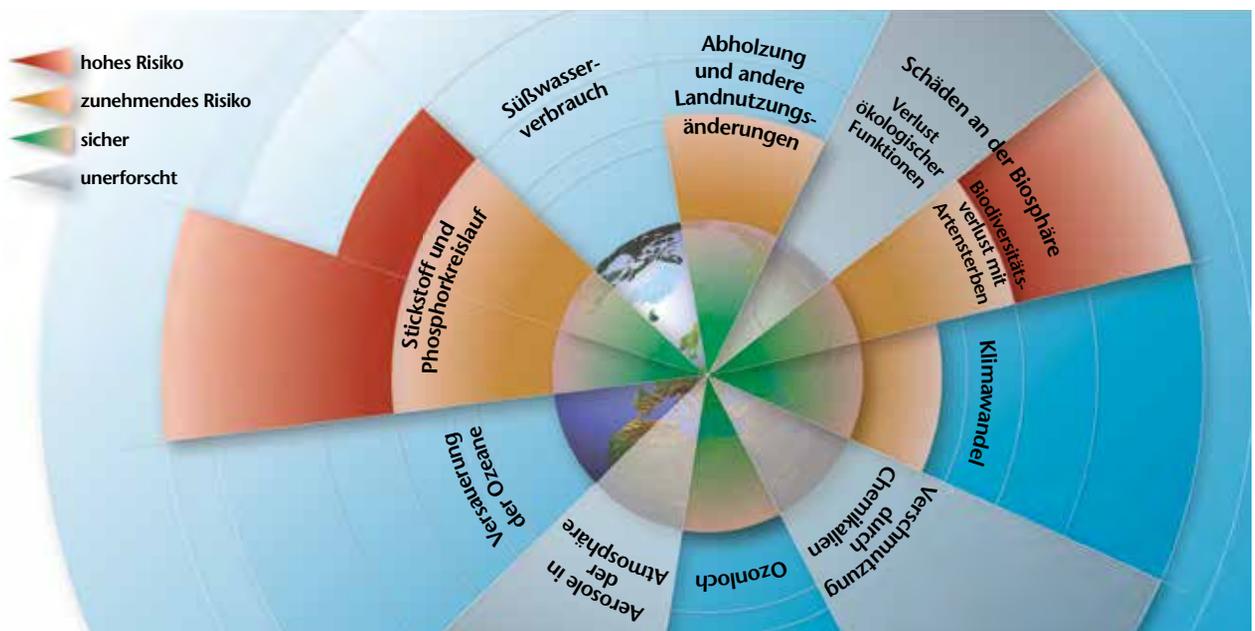
EINE FRAGE DER ETHIK – AUCH OHNE ERHOBENEN ZEIGEFINGER

Das Thema Umwelt berührt unsere Lebenseinstellung und unseren Lebensstil, unser Weltbild, unsere Zukunftssängste und -hoffnungen, unsere Überzeugun-

Belastung des Systems Erde in neun ökologischen Dimensionen

Überschreitungen der Belastungsgrenze eines Ökosystems führen zu irreversiblen Umweltveränderungen.

Grafik aus: Hofrichter, Das Mittelmeer, 2020





Der Beweis liegt auf der Hand: Plastikmüll findet sich mittlerweile an jedem Meeresstrand.

gen (einschließlich der politischen) und unsere Gefühle. Es berührt uns alle, unsere Kinder und nachfolgende Generationen. Jeder Autor muss daher sorgfältig abwägen, wie ein für die Zukunft so wichtiges Thema wie der Klimawandel abgehandelt werden soll. Ist eine sachliche, auch wenn unerfreuliche Darstellung ethisch angebrachter, als schwierige und unbequeme Themen zu vermeiden?

Obwohl in den Fachpublikationen uns allen die gleichen naturwissenschaftlichen Fakten zur Verfügung stehen, zeichnen manche Forscher trotz aller Negativnachrichten ein optimistisches Bild von der Zukunft. Ein solcher prominenter Wissenschaftler ist der US-amerikanische Harvard-Professor Steven Pinker mit seinem viel beachteten Buch „Aufklärung jetzt“ (Originaltitel: *Enlightenment now*). Seine Grundthese darin: „Umweltprobleme sind, genau wie andere Probleme, lösbar, wenn man über das dazu erforderliche Wissen verfügt“. Pinker stuft allzu besorgte Umweltaktivisten als „destruktive, fortschrittsfeindliche Schwarzseher-Bewegung“ ein. Das ist ein schwerwiegender Vorwurf. Gerade der Verlust der Biodiversität und das Artensterben zeigen, dass keinesfalls alle Probleme technisch lösbar sind. Den Verlust an biologischer Vielfalt, der täglich vor unseren Augen passiert, kann der Mensch („alle Professoren der Welt“) in keiner Weise wiedergutmachen. Und auch der Klimawandel nach dem Kipppunkt ist für uns nicht „lösbar“.

Pinkers Schlüsselidee, alle Probleme wären technisch lösbar, ist nicht mehr als sein Glaubenssatz. Er verleitet ihn und jene, die ihm Glauben schenken, dazu, unberechenbare Risiken wie Kernkraft in Kauf zu nehmen. Seine nukleare Utopie, die zu einem Alles-oder-Nichts-Spiel anregt, kann dazu führen, dass die Menschheit unwiderrufliche Entscheidungen trifft. Es ist einleuchtend, dass Kräften der Politik, der Wirtschaft, der Industrie und Teilen der Bevölkerung Pinkers Thesen zusagen. Sie lassen die Möglichkeit offen, weiterzumachen wie bisher und kein Gefühl der Dringlichkeit aufkommen zu lassen.

Eine völlig andere Sicht als Steven Pinker präsentiert seit Jahrzehnten Jørgen Randers, norwegischer Zukunftsforscher und Autor von „2052“ (Bericht an den Club of Rome). In praktischer Hinsicht lautet seine Frage: Wie viel sollte die Menschheit heute dafür ausgeben, den Schaden an zukünftigen Generationen zu vermindern? Es ist dies eine moralische, keine wissenschaftliche Frage. Pinkers Ansichten („abwarten und sehen, wie es sich entwickelt“) findet Randers unmoralisch. „Die reichsten zehn Prozent der Menschheit sollten dafür aufkommen, eine beschleunigte Lösung zu finden, sowohl für das Klimaproblem, also auch für all die anderen Herausforderungen auf dem Weg zu globaler Nachhaltigkeit,“ sagt Randers.



Das Zeitalter des Menschen: Unser Ökologischer Fußabdruck spiegelt sich auch im Tourismus und dem weltweiten Luftverkehr (rundes Bild) wider. FOTO: ROBERT HOFRICHTER

Folgt man dem Stockholm Resilience Centre, so sind das Artensterben und die Erderwärmung diejenigen Prozesse, bei denen wir die Grenzen bereits am weitesten überschritten haben. Die Grundidee dahinter: Wenn wir den einzigen Lebensraum, auf den wir uns in unserer heutigen Daseinsform verlassen können, erhalten wollen – den Lebensraum des Holozäns seit dem Ende der letzten Eiszeit vor knapp 12.000 Jahren –, dann müssen wir diesen beiden Themen unsere höchste Aufmerksamkeit widmen und umgehend umsteuern. Es ist unmöglich, dass sich die ökologischen Probleme unserer Erde wie der Klimawandel und der Verlust an Biodiversität von selbst lösen.

WIR LEBEN IM ANTHROPOZÄN!

Bei mehreren wissenschaftlichen Konferenzen der „Stratigraphischen Kommission der Geological Society of London“ (älteste und maßgeblichste geowissenschaftliche Vereinigung) und anderen Tagungen 2008 und 2016 erkannte die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer an, dass das nacheiszeitliche Holozän mit seinem relativ stabilen Klima zu Ende gegangen ist und sich ein neuer Abschnitt abzeichnet, für den es in den letzten Millionen Jahren keine Entsprechung gibt. „Hören wir auf damit. Wir sind nicht mehr im Holozän. Wir sind im Anthropozän!“, rief daher Nobelpreisträger Paul Josef Crutzen bei einer Konferenz im Jahr 2000 aus. Stratigraphen können an der

Abfolge von Fels- und Bodenschichten und der darin enthaltenen Spuren des Lebens die Geschichte der Erde ablesen. In Sedimentgesteinen finden sich fossile Reste von Lebewesen. Deshalb ist die Stratigraphie auch ein Schlüssel für das Verständnis der Evolution. Die fünf großen Aussterbewellen der Erdgeschichte, aber auch andere gravierende Veränderungen auf unserem Planeten, lassen sich an bestimmten Stellen direkt an dieser Schichtung ablesen. Im schottischen Hochland findet sich beispielsweise ein 445 Mio. Jahre alter grauer Streifen aus dem Ordovizium, der als Sediment am Boden eines längst vergangenen Ozeans entstanden ist. Er ist für Laien unscheinbar, für Experten hingegen ein Zeuge der ersten großen Aussterbewelle in der Geschichte des Lebens auf unserem Planeten. Sie konzentrierte sich damals noch auf das Meer. Dort starben in kurzer Zeit etwa 80 % aller Lebensformen aus. Grund dafür war ein extremer Klimawandel, der damals durch natürliche Vorgänge wie tektonische Verschiebungen verursacht wurde. Eine Warnung für uns: Mit dem Klima veränderte sich auch die chemische Zusammensetzung des Wassers, und der Meeresspiegel fiel – ganz anders als heute. Doch nun, im „Zeitalter des Menschen“, häufen sich in den Ablagerungen völlig neue Stoffe, die nicht zur natürlichen Welt gehören – die Kunststoffe. „Anthropozän kann als Warnung verstanden werden“, sagte Paul Crutzen, jener Mann, der den Begriff ausgerufen hat.

BUCHEMPFEHLUNG



DAS MITTELMEER

Geschichte und Zukunft eines ökologisch sensiblen Raums

Dieses unentbehrliche Nachschlagewerk eines internationalen Autorenteam unter der Leitung des ausgewiesenen Mittelmeerkenners und Herausgebers Robert Hofrichter erschließt in 12 Kapiteln alles, was es zum Mittelmeer und seinen Anrainerstaaten zu sagen und zu wissen gibt: Erdgeschichte, Biodiversität, Übernutzung in allen Facetten, Klimaphänomene und Klimawandel.

Robert Hofrichter (Hrsg.) et al., Springer Verlag 2020, 2. Aufl. XXV, 1.246 Seiten, 1.000 Abb., in Farbe, Hardcover, € 99,99 (D) | € 102,79 (A) | sFr 110.50 (CH), ISBN 978-3-662-58928-1, auch als eBook verfügbar.

Autor:

Dr. Robert Hofrichter, Jahrgang 1957, lebt in Salzburg und ist Herausgeber, Mitautor und Initiator des Buches „Das Mittelmeer“. Von seiner Ausbildung her ist er Zoologe und Meeresbiologe. Er hat an der Universität Salzburg studiert und leitete seitdem regelmäßig Kurse und Exkursionen im Bereich der Meeresbiologie und Ökologie, anfänglich insbesondere zur Unterwasserwelt des Mittelmeeres, später weltweit. Im Mittelpunkt seines wissenschaftlichen Interesses stand am Anfang die Ökologie aquatischer Lebensräume, die Meeresbiologie, das Mittelmeer und seine Unterwasserwelt, doch mit der Zeit kamen immer mehr Geschichte und Mediterranistik (eine ganzheitliche Betrachtung des Mittelmeerraums) hinzu. Er ist Gründer und Präsident der Meeresschutzorganisation MareMundi (<https://mare-mundi.org>) und Autor von mehr als 25 Büchern, die auch in andere Sprachen übersetzt wurden.



Der Autor schreibt seit vielen Jahren immer wieder Beiträge für **natur&land**, so auch vor wenigen Jahren über die geheimnisvolle Welt der Pilze.

Kontakt: mittelmeer@aon.at,
robert.hofrichter@mare-mundi.org

LITERATUR:

Lewis SL, Maslin MA (2015): Defining the Anthropocene. Nature. Band 519, Nr. 7542, S. 171–180.

Pinker S (2018): Aufklärung jetzt. Für Vernunft, Wissenschaft, Humanismus und Fortschritt. Eine Verteidigung. Fischer Taschenbuch Verlag. 736 S. ISBN-13: 978-3100022059

Randers J (2012): 2052 – Der neue Bericht an den Club of Rome: Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre. Oekom, München. 432 S.

Reichhoff J (2007): Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends. Fischer, Frankfurt am Main 2007, ISBN 978-3-10-062942-5

Sherwood et al. (2020): An assessment of Earth's climate sensitivity using multiple lines of evidence. Review Article. Reviews of Geophysics. First published: 22 July 2020.

Why the Mediterranean is a climate change hotspot. MIT analysis uncovers the basis of the severe rainfall declines predicted by many models. NEWS

RELEASE 17-JUN-2020. https://www.eurekaalert.org/pub_releases/2020-06/miot-wtm061720.php

<https://globalchange.mit.edu> (Joint Program on the Science and Policy of Global Change)

<https://clubofrome.org>

<https://www.spektrum.de/frage/wieviele-menschen-lebten-auf-der-erde/1253576>

<https://www.klimafakten.de/behauptungen/behauptung-es-gibt-noch-keinen-wissenschaftlichen-konsens-zum-klimawandel>

<https://skepticalscience.com/joint-statements-on-climate-change-from-nas-around-world.html>

<https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/publications/journals/journal-of-climate/> (Journal of Climate)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Land \(vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz\)](#)

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: [2020_3](#)

Autor(en)/Author(s): Hofrichter Robert

Artikel/Article: [Klimawandel. Der blaue Planet im Krisenmodus 8-25](#)