



Eine Simulation des Autors, in der die langfristigen Folgen der Erwärmung auf den Meeresspiegel studiert wurden. Foto PIK

Der Meeresspiegel steigt, langsam, aber unerbittlich. Und immer schneller. Der von Menschen mit seinem Ausstoß an Treibhausgasen verursachte Klimawandel heizt auch die Ozeane auf – die Wassermassen dehnen sich dadurch aus, und die Eismassen an den Polen drohen zu schmelzen. Ohne Emissionsreduktionen stiege der Meeresspiegel letztlich um mehr als fünfzig Meter. Aber selbst wenn die Staaten der Welt das Pariser Klimaabkommen einhalten und die globale Erwärmung wie von allen beschlossen auf „deutlich unter zwei Grad“ begrenzen, würde dies über die Jahrhunderte die Ozeane um mehr als fünf Meter steigen lassen. Mehr als 300 Millionen Menschen leben derzeit in Gebieten, die weniger als fünf Meter über dem Meeresspiegel liegen. Müssen wir Städte wie Hamburg, New York und Kalkutta also auf lange Sicht einfach aufgeben? Oder fällt uns etwas anderes ein? Kann man den Meeresspiegelanstieg möglicherweise einfach auf die Antarktis pumpen und dort einfrieren?

Vor dem Meeresspiegelanstieg muss sich niemand fürchten – wenn man ihn ernst nimmt, dann muss niemand wegen des Meeresspiegelanstiegs sterben. Der Anstieg ist eine in kurzer Zeit vom Menschen angestoßene, aber nur langsam wirksame Naturgewalt. Wir müssen und können uns schützen, aber es wird teuer, und vielleicht müssen wir Land aufgeben. Mit jedem Grad Erwärmung, die wir der Erde und damit uns selbst zumuten, dehnen sich – das ist einfache Physik – die Wassermassen in den Ozeanen aus und brauchen mehr Platz. Wenn sich diese Erwärmung langsam von der Oberfläche in die Tiefe hineingemischt hat, dann bedeutet jedes zusätzliche Grad Erwärmung einen halben Meter Anstieg des Meeresspiegels weltweit. Aber das ist nicht alles. Hinzu kommt das Schmelzen des Eises, das sich derzeit auf Land befindet. Die Gebirgsgletscher haben als Erste reagiert, aber langsam verlieren auch die großen Eisschilde auf Grönland und der Antarktis an Eismasse. Hier ist etwas wirklich Großes in Bewegung geraten.

Alles in allem werden wir mit jedem einzelnen Grad Erwärmung den Meeresspiegel weltweit letztlich um ungeheure zweieinhalb Meter erhöhen, wie unsere Berechnungen zeigen. Noch einmal: Das wird lange dauern – sehr lange. Aber es ist von einem bestimmten Punkt an unaufhaltsam, ganz einfach, weil sich bei höheren Temperaturen in manchen Gebieten kein Eis mehr halten kann. So wie wir uns heute an die Römer erinnern als diejen-

gen, die die Aquädukte gebaut haben, so werden sich in 2000 Jahren kommende Generationen an uns erinnern als an diejenigen, die den Meeresspiegelanstieg in Gang gesetzt haben. Was machen wir nun mit diesem Wissen?

Zunächst müssen wir die Erderwärmung begrenzen. Im Boden unter unseren Füßen steckt derzeit viel Kohle – wenn wir sie komplett verfeuern, bekommen wir den gesamten Planeten eisfrei. Das wäre für praktisch alle bewohnten Küstenregionen zu viel. Weite Teile unserer heutigen Zivilisation würden buchstäblich untergehen.

Aber weil der Anstieg des Meeresspiegels auch im Falle einer gelingenden Klimastabilisierung noch so stark ist, müssen wir uns fragen, ob ein Zurückweichen vor den Wassermassen die einzige Antwort ist. Wollen wir Metropolen wie Tokio und Schanghai oder Kulturstätten wie die Altstadt von Lübeck oder die Kirche Mont-Saint-Michel in Frankreich aufgeben – oder schützen. Derzeit hat jede Küstenregion einen Grenzwert, von dem an sie gegen den Anstieg des Meeresspiegels nicht mehr mit herkömmlichen Methoden wie Deichen geschützt werden kann. Irgendwann leben die Menschen in Städten, vor deren Stadtmauer der wogende Ozean weit über die eigenen Köpfe hinausragt. Manchmal gibt es dann noch extravagante Schutzmöglichkeiten wie die Themse-Barriere in London. Aber irgendwann geht auch das nicht mehr. Bei fünf Metern Meeresspiegelanstieg ist in vielen Küstenstädten diese Grenze überschritten.

Was also tun? Die Antarktis ist der kälteste Kontinent der Erde. Er ist so groß wie Nordamerika und trägt einen bis zu vier Kilometer hohen Eispanser. Dieses Eis ist durch Schnee entstanden, der nicht

abgefangen wurden. Die ermittelte Wechselwirkungswahrscheinlichkeit der Neutrinos mit dem Erdmaterial ist mit den Vorhersagen des Standardmodells vereinbar, heißt es in „Nature“. Die beobachteten Neutrinos haben mehr als 100-mal so hohe Energien wie diejenigen, die in Teilchenbeschleunigern vermessen wurden. Die Wahrscheinlichkeit der Wechselwirkung von Neutrinos mit Materie nimmt mit höheren Energien zu. (sian)

„Dolly“ hatte bis zu ihrem Tod ziemlich gesunde Gelenke, ebenso wie die anderen

schmilzt, weil es in der Nähe des Südpols zu kalt ist. Über viele Jahrtausende hat sich der Schnee zu Eis verdichtet und fließt – das ist zunächst mal ein natürlicher Vorgang – langsam ins Meer. In den vergangenen zehntausend Jahren war dieser Eisschild mehr oder weniger im Gleichgewicht: Es ist so viel Schnee gefallen, wie Eis am Rande abgebrochen ist. Mit der globalen Erwärmung destabilisieren wir die Eisränder, der Eisfluss vom Land ins Meer nimmt zu, das treibt den Meeresspiegel in die Höhe.

Was wäre jedoch, wenn man an der Küste der Antarktis riesige Pumpen aufstellen



**DIE ZUKUNFT
HAT BEGONNEN
TEIL 3**

würde und das Meerwasser einfach auf die Antarktis pumpen würde, wo es festfriert? Wir haben dies in einer Studie untersucht. Zunächst klingt es wie eine absurde Idee. Allein die Ausmaße des Projekts wären gigantisch. Man bräuchte etwa neunzig Pumpen von der größten Sorte der Welt. Die größte jemals eingesetzte Pumpe steht derzeit in New Orleans im Bundesstaat Louisiana. Das US-Army Corps of Engineers hat sie nach den verheerenden Zerstörungen durch den Hurrikan Katrina im Jahr 2005 gebaut und dafür 600 Millionen Dollar bezahlt. Und das war im warmen und gut zugänglichen New Orleans und nicht in der unwirtlichen Antarktis, die im Jahresmittel minus 50 Grad kalt ist und die einigen der weltweit stärksten Strömungen von Wind und Wasser ausgesetzt

ten nun in „Scientific Reports“ Röntgenbilder des inzwischen im schottischen Nationalmuseum ausgestellten Schafs, die für das Alter „völlig normalen“ Gelenkverschleiß zeigen. (jom)

Das jordanische Synchrotron „Sesame“ hat seine wissenschaftliche Arbeit aufgenommen. Mitte vergangener Woche wurden in dem ringförmigen Elektronenbeschleuniger erstmals monochromatische Röntgenstrahlen erzeugt, mit denen nun Physiker, Chemiker, Biologen, Mediziner und Archäologen aus dem Mittleren Os-

ten bewegende Teil im gesamten Klimasystem der Erde. Der Wasserkreislauf in der Atmosphäre ist hier viel langsamer als etwa in der Sahara, wo Hitze zu starker Verdampfung und einem immensen Wasserkreislauf führen würde. Und: Die Antarktis ist die windigste Region der Erde. Auch wenn es enorme technologische Anstrengungen bräuchte, um tatsächlich Windkraftanlagen für die Antarktis zu bauen, so könnte man den für das Wegpumpen des Meeresspiegels nötigen Strom wahrscheinlich mit erneuerbaren Energien lokal bereitstellen.

Ist das nicht alles viel zu teuer? Mit den wirtschaftlichen Kosten ist es immer so eine Sache. Irgendjemand bezahlt das Geld, und irgendjemand anderer bekommt es. Ein Projekt dieser Größenordnung müsste von den Industriestaaten bezahlt werden, die den Klimawandel verursacht haben. Man könnte die Kosten entsprechend der Gesamtmenge an Treibhausgasausstoß eines Landes verteilen. Diese Länder würden dann die Aufträge vielleicht zu einem gewissen Anteil an heimische Firmen vergeben. Damit wäre es eine Ankurbelung der eigenen Wirtschaft oder ein Fluss von Steuermitteln in die Privatwirtschaft. Die Details wären Teil einer internationalen Verhandlung.

Aber darf man die bislang so einsame Antarktis in eine Art Industriegebiet verwandeln? Der weiße Kontinent ist nicht nur sehr kalt, er ist auch eine Wüste. Es gibt kaum Leben im Landesinneren, sondern nur an den Küsten. Dieses Ökosystem würde man mit Sicherheit massiv stören, aber im Landesinneren gibt es so wenig Leben wie sonst nur an wenigen Orten der Erde. Wir müssen uns entscheiden, ob uns die unberührte Antarktis mehr wert ist als unsere bewohnten Küstenregionen, an denen wir jetzt das Weltkulturerbe der Zukunft schaffen.

Ob ein Wegpumpen des Meeresspiegelanstiegs wirklich machbar wäre, wissen wir noch nicht. Es ist ein extremes Szenario – aber extrem ist auch, wie wir mit dem Anstieg des Meeresspiegels das Gesicht unserer Erde verändern. Klar ist: Wenn überhaupt, dann würde ein Wegpumpen nur unter der Bedingung funktionieren, dass der Ausstoß an Treibhausgasen rasch gesenkt wird; andernfalls wäre der Anstieg des Meeresspiegels definitiv zu groß. Und so zeigen unsere Überlegungen vor allem eines: was für ungeheure Dimensionen der Meeresspiegelanstieg durch den Klimawandel hat. Wegsehen dürfen wir nicht. Denn wenn wir weggucken, wird es tatsächlich gefährlich.

Der Autor ist Professor für die Dynamik des Klimasystems am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Warum nicht das Meer wegpumpen?

Geht der Klimawandel weiter wie bisher, sind alle Küstenmetropolen bedroht – unumkehrbar. Ein Pegelanstieg um fünf Meter könnte dann vielleicht nur mit Riesensumpen auf der Antarktis verhindert werden.

Von Anders Levermann

Exopessimismus

Es ist ein Wechselbad der Gefühle, dem diejenigen momentan ausgesetzt sind, die von der baldigen Entdeckung außerirdischen Lebens träumen. Unbestreitbar. Das Jahr 2017 war eines der Superlative für die Suche nach erdähnlichen Lebensräumen. Eine vermeintliche Sensation jagte die nächste. Trappist-1: der Zwergstern mit den sieben Planeten, LHS 1140 b: der „vielversprechendste“ Kandidat für Leben im All, Proxima Centauri: Planetensystem unseres nächsten Nachbarn und schließlich Ross 128 b: neue Hoffnung für erdnahe Lebensfreundlichkeit. Doch dann wird man in der aktuellen Ausgabe des Journals „Nature“ mit der Einschätzung eines professionellen Planetenjähgers konfrontiert (doi: 10.1038/nature.2017.23023): „Steve Desch kann die Zukunft der Exoplanetenforschung sehen, und sie ist nicht schön.“ Wir hatten das Gegenteil erwartet, doch der Grund für diese niederschmetternde Analyse ist simpel: Vielleicht jagen wir mit unserer aktuellen Fixierung auf die Suche nach flüssigem Wasser im All einer völlig falschen Idee hinterher. Denn Wasser allein mag für die Entstehung von Leben zu wenig sein. Leben – wie wir es kennen – braucht Nährstoffe, die wiederum aus Gestein ins Meer ausgewaschen werden. Die Kombination von Wasser und Land ist also vonnöten oder ganz allgemein gesagt: die richtige Chemie. Die allerdings wird sich kaum erschöpfend anhand der Studien planetarer Atmosphären bestimmen lassen, wie sie von 2019 an mit dem James-Webb-Weltraumteleskop möglich sein werden. Und was nun? Wir müssen uns wohl gedulden, wenn wir den Astronomen Glauben schenken. Die meisten Teilnehmer der jüngsten Exoplanetenkonferenz bezweifeln laut „Nature“, dass wir fremdes Leben vor 2050 finden werden. Aber – so will man einwenden – vielleicht gibt es ja doch schon viel früher fremdes Leben in unserem eigenen Sonnensystem zu entdecken. Primitives zumindest. Der Mars zum Beispiel: Da gibt es ja Geröll zur Genüge. Und über flüssiges Wasser wurde in den vergangenen Jahren angesichts dunkel erscheinender Rillen und Linien im Marssand auch spekuliert. Doch hier kommt gleich die nächste Enttäuschung: Die Spuren weisen wohl doch nicht auf Wasser, sondern auf fließenden Sand hin, wie Forscher um Colin M. Dundas in „Nature Geoscience“ berichten. Die Steigungen der Dünen, bei denen die Flussspuren enden, seien nicht mit einem flüssigen Ursprung vereinbar. Das Jahr hatte so gut angefangen, aber nun müssen alle Alienfans doch noch einmal ganz tapfer sein. sian

Vier Tassen Kaffee nützen der Gesundheit

Wer vier bis fünf Tassen Kaffee am Tag trinkt, schadet sich und seiner Gesundheit keineswegs – sofern sie nicht schwanger ist oder ein erhöhtes Risiko für Knochenbrüche besteht. Vielmehr scheint Kaffee für die meisten Menschen in Maßen nicht nur ein sicheres, sondern auch ein durchaus gesundes Lebensmittel zu sein. Es wirkt zwar nicht unbedingt therapeutisch, aber es schützt. Das bestätigt eine großangelegte Auswertung von 201 Beobachtungsstudien und 17 klinischen Untersuchungen, die Robin Poole und seine Kollegen von der University of Southampton vorgenommen haben. Die Analyse in der Zeitschrift „British Medical Journal“ (doi: 10.1136/bmj.j5024) ist keineswegs die erste wissenschaftliche Untersuchung, die zu dem eindeutigen Schluss kommt, dass täglicher Kaffee mehr nützt als schadet. Schon frühere Metastudien hatten das gezeigt. Welche der tausend biochemischen Inhaltsstoffe, die gerösteter Kaffee enthält, eine Schutzwirkung entfalten und wie die Mechanismen aussehen, konnte mit diesen Studien allerdings nicht ermittelt werden. Sicher scheint nur: Selbst die vielen Zutaten, die mit dem Kaffee oft verzehrt werden, angefangen vom süßenden Zucker, können die positive Wirkung des Kaffees nicht spürbar verringern – ausgenommen davon ist das Rauchen. Verzichtet man darauf, entfallen die Koffein-Getränke ihren Nutzen offenbar zur Risikominimierung bei zahlreichen weitverbreiteten Leiden: Prostata- und Leberkrebs etwa, Hautkrebs und Diabetes Typ 2, Gicht, bestimmten Leberzirrhosen und Gallensteinen. Einen positiven Zusammenhang scheint es auch zwischen einigen neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson zu geben. Einen gewissen Schutzeffekt bei vielen – wenn auch nicht allen – Leiden hat man außerdem bei regelmäßigen Konsumten von entkoffeiniertem Kaffee festgestellt. Die „sichere“ Tageshöchstdosis ist den Wissenschaftlern zufolge bei rund 400 Milligramm Koffein pro Tag anzusetzen. jom

Wissen in Kürze

Neutrinos verhalten sich auch bei hohen Energien so, wie das Standardmodell der Teilchenphysik vorhersagt. Das IceCube-Experiment, das aus mehr als 5000 optischen Sensoren in einem Kubikkilometer Eis in der Nähe des Südpols besteht, hat die Lichtspuren der Wechselwirkung von energiereichen kosmischen Neutrinos mit dem Eis vermessen. Anhand der ermittelten Energien und Ursprungsrichtungen der während eines Jahres beobachteten Neutrinos konnten die Forscher berechnen, wie viele der ungeladenen Elementarteilchen auf ihrem Weg von der Erde

Statistik-Spielen gegen die Mammographie?

Eine renommierte Gruppe von Fürsprechern spricht sich im „Forum“ gegen die jüngste Kritik an dem Brustkrebs-Screening aus. Seite N2

Was ich nicht weiß

Radikales Programm eines liberalen Rechtsreformers: Douglas Husak möchte nur den Täter bestraft sehen, der das Unrecht seiner Handlung erkennt. Seite N3

Wider den Publikationszwang

Siebzehn Konstanzner Professoren wehren sich erfolgreich gegen den Publikationszwang, den ihnen Universität und Ministerium auferlegt haben. Seite N4