

Nach mir die Sintflut

Oder: Wenn das Meer mehr wird

Ein Essay von HARTMUT HEINRICH

Haben Sie den Katastrophenfilm »The Day After Tomorrow« gesehen? Er beginnt mit einer Szene, in der zwei Wissenschaftler auf der Flucht vor einem zerbrechenden Eisschelf sind. Ursache: der Klimawandel. Obwohl der restliche Film schräge Science-Fiction war, diese Szene hat sich als sehr realistisch herausgestellt. Die Eisschelfe, besonders diejenigen an den Rändern der Antarktis, werden zerbrechen und damit zukünftig einen erheblichen Einfluss auf die Folgen der Klimaerwärmung haben. Es könnte die gravierendste Folge der Klimaerwärmung werden. Die Schelfe sorgen dafür, dass der Eisabfluss ins Meer gebremst wird. Sind sie zerstört, dann wird es unangenehm auf dem Globus. Der Meeresspiegel würde erheblich schneller ansteigen als es jetzt schon der Fall ist. Woher wissen wir das?

Meeresspiegelanstieg | Eisschelf | Gletscher | Grönland | Antarktis | Eisschildkollaps | Treibhausgase
sea level rise | ice shelf | glacier | Greenland | Antarctica | ice sheet collapse | greenhouse gases

Have you seen the disaster movie »The Day After Tomorrow«? It begins with a scene in which two scientists are on the run from a shattering ice shelf. The cause: climate change. Although the rest of the movie was weird science fiction, this scene turned out to be very realistic. The ice shelves, especially those on the edges of Antarctica, will break and thus have a significant impact on the consequences of global warming in the future. It could become the most serious consequence of global warming. The ice shelves ensure that the flow of ice into the sea is slowed. If they're destroyed, things are going to get nasty all over the globe. Sea levels would rise much faster than they are now. How do we know that?

Autor

Prof. h.c. Dr. Hartmut Heinrich ist Meeresgeologe und war bis 2017 im BSH Referatsleiter mit den Arbeitsschwerpunkten Ozeanographie, Umwelt und Klimawandel. Nach ihm sind die Heinrich-Ereignisse benannt. Er ist weiter in der Forschung tätig und arbeitet als selbstständiger Consultant (10°E maritime consulting).

10e-maritime-consulting@web.de

Vergangenes als Schlüssel zur Zukunft

Die Geschichte beginnt in den Achtzigerjahren im damaligen Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) im Rahmen einer Risikoanalyse zur Atom-müllversenkung im Nordostatlantik. Dort wurde aus 4000 Meter Wassertiefe zufällig ein Stein mit einem dort nicht erwarteten Metalloxydbelag geborgen. Nachfolgende Sedimentkernuntersuchungen ergaben, dass während der letzten Eiszeit die großen Eisschilde von Nordamerika, Grönland und Nordwesteuropa sechs Mal abrupt kollabiert waren, was zu heftigen globalen Klima- veränderungen geführt hatte. Der Meeresspiegel stieg dabei um viele Meter, weil riesige Mengen von Eis ins Meer geschüttet wurden. Ursache war vermutlich eine (natürliche) Erwärmung des Nordatlantiks um einige Zehntelgrade. Abrupt heißt, die Kollapse und daraus resultierende Klima- veränderungen begannen innerhalb von Jahrzehnten und dauerten einige Jahrhunderte. So wie es im Moment aussieht, wird die Ozeaner- wärmung, die wir gerade durch den Ausstoß von Treibhausgasen befeuern, genau das in Grönland und vor allem in der Antarktis verursachen. Denn die obersten 2000 Meter der Ozeane sind bereits warm genug, teilweise sogar wärmer als damals in den Eiszeiten, als die Kollapse ausgelöst wurden.

Was genau passiert dort? Die riesigen Eisschelfe, wie die in der Amundsenbucht, im Weddell- Meer oder im Rossmeer, wirken wie ein Ventil, das ein schnelles Gleiten der Gletscher ins Meer verhindert (im Englischen wird dieser Effekt *buttressing* genannt). Das Schelfeis schwimmt und kann über 200 Meter mächtig sein. Die Grenze, an der ein Gletscher beginnt aufzuschwimmen, die sogenannte Grounding Line, liegt in der Regel zwischen 500 und 1000 Meter Wassertiefe. Vor den Eisschelfen der Antarktis treibt genau in dieser Tiefe das »Zirkumpolare Tiefenwasser«, das sich bereits beträchtlich erwärmt hat. Dieses Wasser strömt mittlerweile unter die Eisschelfe, greift die Grounding Lines an und schmilzt die Basis der Eisschelfe (siehe [Abb. 1](#)). Einige Schelfe verlieren pro Jahr dadurch etliche Meter an Dicke und die Grounding Line weicht in Richtung Kontinentin- neres zurück. Irgendwann wird der Punkt erreicht sein, wo diese schwimmenden Eisbarrieren zu dünn werden, plötzlich instabil werden und da- durch zerbrechen. Ihr Bremsseffekt auf die dahinter liegenden Gletscher geht dadurch verloren. Die Gletscher der Westantarktis, die in die Amundsen- bucht laufen, gelten jetzt schon als unbremst. Noch sind die Eisschelfe vorhanden, sie werden aber schwächer. Fast monatlich berichtet die Wissenschaft von neu entdeckten Problemfällen,

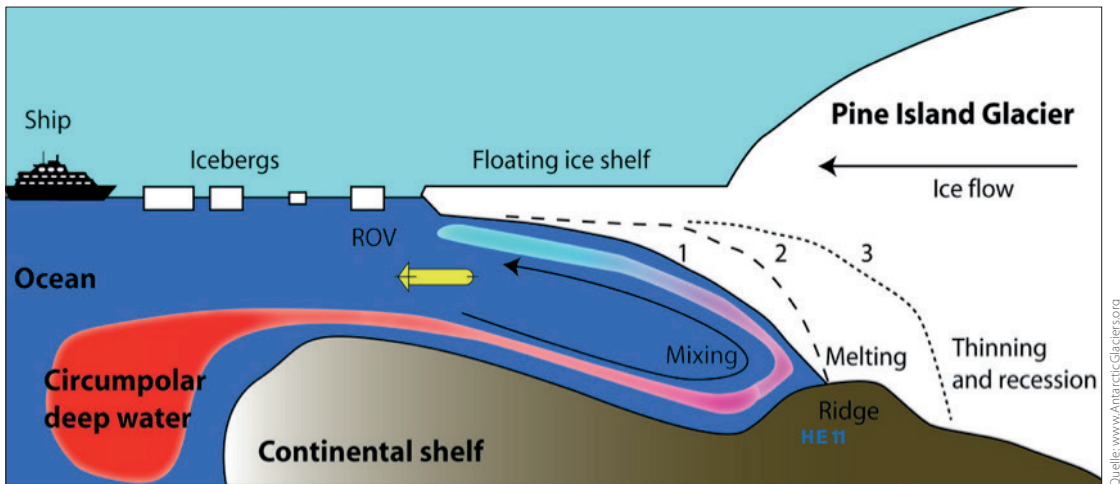


Abb. 1: Die Basis der Eisschelfe schmilzt

selbst in der Ostantarktis, die lange Zeit als unangreifbar galt.

Grönland unterscheidet sich von der Antarktis. Letztere liegt vollständig südlich 70° S und wird von kaltem Oberflächenwasser umströmt, das auch die Atmosphäre kühlt. Grönlands südliche Spitze liegt bei 60° N und damit 1000 Kilometer näher zum Äquator. Durch den südlich passierenden warmen Nordatlantikstrom und die Westwindzone können sich warme Luftmassen über der Insel ausbreiten. In immer größeren Gebieten liegen die sommerlichen Lufttemperaturen oberhalb des Gefrierpunktes. Jeden Sommer bilden sich riesige Schmelzwasserseen auf dem Eis, die entweder direkt ins Meer entwässern oder über Spalten, sogenannte Gletschermühlen, im Eis verschwinden. Erreicht das Wasser die Basis der Gletscher, so vermischt es sich mit dem Gesteinsmehl und lässt den Gletscher schneller gleiten. Der grönländische Eispanzer wird also durch Abschmelzen der Oberfläche und schnelleres Gleiten kleiner. Die abnehmende Höhe des Schildds führt dazu, dass die Oberfläche mit der Zeit in immer wärmere Luftschichten kommt, das Schrumpfen sich also beschleunigt (Abb. 2). Zurzeit sind es fast 300 Milliarden Tonnen pro Jahr, entsprechend einem Volumen von fast 300 km³. Tendenz steigend.

Die Basis der beiden Eisschilde liegt wegen deren hoher Last zum Teil bis zu 3000 Meter unter dem Meeresspiegel. Der grönländische Untergrund zum Beispiel hat die Form einer von Süd nach Nord gerichteten Schüssel mit hohen Rändern. Die Form entspricht dem Bottnischen Meerbusen, der während der letzten Eiszeit das Zentrum des skandinavischen Eisschilds bildete, mit dem norwegisch-schwedischem Gebirgszug als westlichem Schüsselrand. Eine Heimtücke lauert in diesen übertiefen Gebieten unter dem Eis: riesige Seen. Diese existieren, weil sich die Wärme aus dem Erdinneren unter den Gletschern staut und deren Basis anschmilzt. Sollte warmes Meerwasser

in diese eindringen, dann beschleunigt das zusätzlich den Kollaps der darüber liegenden Eismassen.

Die Klimaforschung ist noch nicht verlässlich in der Lage, die Prozessvielfalt der Eisschilde realistisch in ihre Modelle einzubauen. Demzufolge können sie auch noch nicht verlässlich projizieren, ob und wann es zum Zerbrechen von Eisschelfen und dadurch zum abrupten Anstieg des Meeresspiegels kommen wird. Und vor allen Dingen, wie hoch in welchen Zeiträumen der Meeresspiegel steigen wird. Die geologische Geschichte lehrt aber, dass es – irgendwann – passieren wird. Es ist bereits genug Wärme im Ozean. In Bezug auf Werte für den Meeresspiegelanstieg, auch bis zum Ende des Jahrhunderts, ist also noch ein reichliches Potenzial nach oben. Der Eisverlust der beiden großen Eisschilde wird in Zukunft der entscheidende Faktor beim Anstieg des Meeresspiegels sein und die wärmebedingte Ausdehnung des Wassers deutlich überflügeln, ebenso den Eintrag aus den Gebirgsgletschern.

Wenn das Meer mehr wird

Allerdings wird der Meeresspiegel nicht gleichmäßig und überall gleich hoch ansteigen. Es hängt



Foto: Hartmut Heinrich

Abb. 2: Gletscherrückzug auf 72° N, Scoresby Sund, Ostgrönland

davon ab, wie sich die Wind- und Strömungssysteme ändern werden und ob Grönland oder die Antarktis schneller Masse verlieren werden, wenn die Konzentration der Treibhausgase weiter ungebremst steigt. Der differenzierte Massenverlust ist von Bedeutung, weil er regionale Auswirkungen hat. Ursache ist, dass Massen eine Anziehungskraft besitzen. Wenn also Grönland schneller und mehr Eis verliert als die Antarktis, dann wird deren Anziehungskraft relativ zu der von Grönland stärker. Das heißt, Ozeanwasser wird infolgedessen stärker von Süden angezogen und dort steigt der Meeresspiegel höher als im Norden. Der Unterschied kann viele Meter groß sein. Man beobachtet dieses schon in etwas kleinerem Maßstab an der nordostamerikanischen Küste, wo der Meeresspiegel etwas schneller steigt, weil Grönland Eismasse verliert.

Der Meeresspiegelanstieg ist das gravierendste Problem der Klimaerwärmung, weil er Verlust von Lebensraum bedeutet. Nicht nur Siedlungsfläche, sondern auch Wirtschaftsfläche geht verloren. Ob Lebensweisen auf Schiffen, wie zum Beispiel in dem Film »Waterworld« von 1995, realistisch sein werden, wage ich zu bezweifeln. Mehrere zehn, wenn nicht hunderte von Millionen Menschen werden landeinwärts ziehen müssen. Mit Sicherheit wird Migration ein riesiges Thema werden. Migration war zu allen Zeiten ein Begleitumstand von Klimaveränderungen. Während der mit den Eisschildkollapsen verbundenen Klimaveränderungen der letzten Eiszeit kam es zu Auswanderungswellen des Homo sapiens aus Afrika, weil es dort zu trocken wurde. Gleichzeitig führte in Europa und Asien die drastische Kälte des Nordatlantiks zum Aussterben des Neandertalers.

Die heutigen Risikogebiete sind die flachen und weitestgehend ungesicherten Küsten auf allen Kontinenten. Besonders betroffen sein werden Asien und Afrika, weil die Küsten sehr lang sind und die Staaten es sich auch nicht leisten können, sie zu schützen. Zusätzlich gibt es riesige Flussmündungen, die zu schützen technisch unmöglich ist. Beispiele sind die dicht besiedelten Deltas und Ästuare des Ganges/Brahmaputra, des Irawadi, Mekong, Jangtse und Hwang Ho in Asien, des Nil und des Niger in Afrika, das Mississippi-Delta in Nordamerika, in denen hunderte von Millionen Menschen leben. Siedlungsraum, landwirtschaftliche Flächen, Industrieanlagen und Infrastruktur werden dort verloren gehen. Nicht zu vergessen die unzähligen Mülldeponien, die dem Meeresspiegelanstieg zum Opfer fallen und zu einer ungeheuerlichen Meeresverschmutzung führen werden.

Wird die scheinbar gut geschützte kontinental-europäische Nordseeküste ein Problem bekommen? Gegenwärtig versucht man, durch Deichverstärkung dem bis zum Ende des Jahrhunderts durch das Intergovernmental Panel on Climate

Change (IPCC) projizierten Anstieg des Meeresspiegels entgegenzuwirken. Allerdings ist dieses nicht einfach, weil unter anderem Klei, der für den Erosionsschutz wichtig ist, mittlerweile knapp ist. Des Weiteren bedingt eine Erhöhung des Deiches eine Verbreiterung von dessen Grundfläche. Allerdings reichen manchmal Besiedlungen bis an den Deichfuß, sodass privater Grund betroffen ist. Ebenso sind aus Gründen des Naturschutzes Ausgleichsmaßnahmen erforderlich. Allerdings ist eine Deicherhöhung schon rein technisch betrachtet nicht unbedingt eine dauerhafte Lösung. Wenn nämlich selbst das Niedrigwasser permanent am Deich anliegt, droht eine ständige Durchfeuchtung sowie Unterspülung durch Qualmwasser und damit eine Schwächung des Deichs. Sollte einmal ein Deich brechen, dann gehen wohl weite Flächen für immer verloren.

Mit einem steigenden Meeresspiegel entstehen auch Probleme bei der Entwässerung von Marschengebieten. Bis auf Elbe und Weser sind an der deutschen Küste alle Fließgewässer staugeregelt, das heißt, sie sind mit Sperrwerken versehen; auch die Nebengewässer der beiden großen Flüsse. Solange Abschnitte der Gezeitenphasen niedriger als die Pegel dieser Gewässer sind, fließt das Wasser natürlich ab. Mit steigendem Wasserstand aber reduziert sich die Entwässerungskapazität, bis irgendwann permanent gepumpt werden muss, wenn man die anliegenden Gebiete trocken und nutzbar halten will. Dieses ist auch relevant für die schiffahrtlich genutzten Gewässer, insbesondere für den Nord-Ostsee-Kanal. Neben seiner Nutzung für die Schifffahrt ist er auch Vorfluter für die obere Eider. Von den durchschnittlich 600 Millionen m³ Flusswasser pro Jahr werden ca. 90 % über die Schleuse Brunsbüttel in die Elbe gegeben. Mit steigendem Meeresspiegel, der auch in Elbe und Ostsee hineingreift, wird in der Zukunft eine natürliche Entwässerung des Kanals nicht mehr möglich sein. Eine Abschätzung des BSH und der BfG ergab, dass in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Probleme der hydrologischen Bewirtschaftung stark zunehmen werden und dadurch die Nutzbarkeit des Kanals beeinträchtigen werden kann. Dieses könnte zu einem Problem für den Hamburger Hafen werden, wenn er deswegen seine Funktion als Umschlagplatz vom Atlantik nach der Ostsee und umgekehrt verlieren sollte. Hier muss schnellstmöglich Vorsorge getroffen werden.

Wann wird das Meer mehr?

Ein entscheidendes Problem bei der Klimaerwärmung ist der Faktor Zeit. Wie schnell werden Veränderungen sein, wann tritt eine Komplikation ein? Die Klimawissenschaften versuchen das mit Hilfe sehr komplizierter physikalisch-mathematischer Modellrechnungen zu prognostizieren. Modelle sind Versuche, das Zusammenspiel von

Charakteristiken der Natur qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Dieses ist hochkompliziert und komplex. Zum Beispiel müssten die Energieaustausche zwischen Ozean und Atmosphäre oder zwischen Biosphäre und Atmosphäre erstens vollständig bekannt sein. Zweitens können diese nur pauschal verwendet werden, weil sie regional und zeitlich sehr variabel sind. Und je genauer man projizieren möchte, desto detaillierter muss man räumlich und zeitlich auflösen, wozu ungeheure Rechenleistungen notwendig sind, die aber nicht existieren. Ebenso ist unsicher, wie sich der Ausstoß von Treibhausgasen entwickeln wird, der die wichtigste Eingangsgröße in den Klimamodellen ist. Da die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Dunkeln liegt, verwendet man bestimmte Emissionsszenarien als Ausgang für die zukünftige Entwicklung der Erderwärmung. Allerdings, ein Klimamodell kann niemals die Natur korrekt abbilden, und weil die Modelle der Forschergruppen zum Teil auch unterschiedlich sind, fasst man die Ergebnisse der Berechnungen wissenschaftlich (angeblich) plausibler Modelle in sogenannten Bandbreiten zusammen. Daraus entstehen dann zum Beispiel Angaben, dass der Meeresspiegel bei einem bestimmten Treibhausgasszenario bis zum Ende des Jahrhunderts zwischen x und y Zentimeter steigen würde. Da alle Ergebnisse zwischen x und y, die zu dieser Bandbreite beigetragen haben, als gleich wahrscheinlich anzusehen sind, können auch alle Werte der Bandbreite eintreten. Leider wird immer nur der Mittelwert oder Median kommuniziert, an dem man sich dann auch in der Anpassung orientiert. Der gesamte Umfang möglicher Risiken wird dabei ignoriert. Weil die Wissenschaft dauernd neue Erkenntnisse über die klimarelevanten Faktoren gewinnt, die in die Modellierungen einfließen, verändern sich auch von IPCC-Bericht zu IPCC-Bericht die Ergebnisse. Nichts kann also als fix angesehen werden. Dementsprechend stelle ich hier auch keine Werte für die deutschen Küsten vor, da diese sich ständig ändern. Im Hintergrund lauert immer die Gewissheit, die aus der geologischen Vergangenheit zu erfahren ist: Wenn das Meer wärmer als heute werden wird, dann steigt der Meeresspiegel über Jahrtausende

an, sicher um mehr als 10 Meter. Und falls die Eisschilde kollabieren sollten, steigt er auch schneller als bislang erwartet.

Schaffen wir das?

Alles hängt davon ab, ob die Weltbevölkerung in der Lage ist, sich in ihrem Energiebedarf einzuschränken sowie den Ausstoß der Treibhausgase zu reduzieren, und inwieweit sie bereit ist, die notwendigen Änderungen umzusetzen. Technische Anpassungen sind sicherlich bis zu einem gewissen Grad möglich, aber zu bezweifeln ist, dass Menschen ihre Lebensweisen deutlich ändern wollen oder können. Zu groß sind das Bewahren von oder das Streben nach Wohlstand, der sich aus dem Produkt von Ressourcenverbrauch, Energieverbrauch und Mobilität ergibt. Nicht zu vergessen ist, dass jeder Technologiewechsel mit einem Bedarf an zusätzlichen Rohstoffen und Energie verbunden ist. Manche Bergbaugesellschaften stoßen pro Jahr so viel CO₂ aus wie mittelgroße Industrieländer. Wenn das alles also mit Hilfe fossiler Brennstoffe geschieht, was unvermeidlich ist, wird der Teufel mit dem Beelzebub ausgetrieben. Gegenwärtig gehören China und Indien mit zu den größten Emittenten von Treibhausgasen. Man wird die Menschen dort nicht zum Wohlstandsverzicht überreden können, damit wir in den Industrieländern unser Verhalten nicht ändern müssen. Die jüngste Klimakonferenz in Madrid hat gezeigt, dass manche Länder auch nicht willens sind, ihren Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren. Die Einhaltung des Paris-Abkommens könnte so eine hübsche Illusion werden. Dieses darf aber auf keinen Fall Anlass zur Resignation geben. Die verbleibende Zeit muss so rasch wie möglich genutzt werden, um die Auswirkungen der Erwärmung auf die wachsende Menschheit wenigstens zu mildern.

Es darf nicht vergessen werden, dass auch eine um 1,5° C wärmere Atmosphäre über Jahrhunderte den Ozean aufheizen wird. Da Wasser eine sehr große Wärmekapazität hat, wird diese Wärme auch über Jahrtausende auf die Eisschilde, den Meeresspiegel und das Klima überhaupt einwirken. Sicher ist: Das Meer wird mehr werden. //

Weitere Informationen

3sat: »Steigende Pegel – wenn das Wasser kommt«

<https://www.3sat.de/programm?airtimeDate=2019-12-12>

Uni Hamburg: »Zukunft der Meeresspiegel«

<https://www.cen.uni-hamburg.de/about-cen/news/12-news-2019/2019-12-10-broschuere-meeresspiegel.html>

IPCC-Bericht: »The Ocean and the Cryosphere in a Changing Climate«

https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf