

Eisschmelze

Am Südpol und am Nordpol schmelzen die Gletscher fünfmal schneller als es die Gletscherforscher noch vor zehn Jahren vorausgesagt hatten. Die Eisschmelze beschleunigt sich. Von Grönland fließt so viel Schmelzwasser ins Meer ab, wie noch nie in den vergangenen 300 Jahren zeigt eine Studie aus dem Jahr 2018. Selbst in der Ostantarktis, die bislang als stabil angesehen wurde, schmilzt das Eis.

Bereits Mitte des 18. Jahrhunderts begann demnach die Eisschmelze zuzulegen, parallel zur beginnenden Industrialisierung. Wenn das ganze Eis auf der Erde schmilzt, wird das den Meeresspiegel um 66 m anheben.

Im National Geographic Magazin wurden 2017 dazu Weltkarten veröffentlicht. Es gibt mehr als 10.420 Millionen Kubikkilometer Eis auf der Erde. Einige Wissenschaftler prognostizieren, dass es mehr als 5.000 Jahre dauern würde, um all dies zu schmelzen. Wenn wir jedoch weiterhin Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre bringen, werden wir sehr wahrscheinlich einen eisfreien Planeten mit einer durchschnittlichen Temperatur von vielleicht 26.7 °C anstelle der aktuellen 14.4 °C schaffen.

Von der Landkarte verschwinden würde Lissabon, Barcelona, Brüssel, Amsterdam, Kopenhagen, Stockholm, Riga, Tallin, St. Petersburg, Rom und Venedig. Die gesamte Atlantikküste, wie auch Florida und die Golfküste gäbe es nicht mehr. In Kalifornien, San Francisco würde eine Gruppe von Inseln entstehen, das Central Valley würde zu einer riesigen Bucht werden.

<http://www.nationalgeographic.com/magazine/2013/09/rising-seas-ice-melt-new-shoreline-maps/#/ice-melt-globe-opener.jpg> 9.4.17

Die Gletscherschmelze auf der einen Seite der Erde kann auf der anderen Seite des Globus ebenfalls Gletscher in Bewegung bringen. Während der letzten Eiszeit löste der massive Eintrag von Süßwasser in den polaren Nordatlantik eine Kettenreaktion im Ozean und in der Atmosphäre und damit eine starke Gletscherschmelze im Tausende Kilometer entfernten Nordpazifik aus. Quelle des Süßwassers waren schmelzende Eispanzer, die damals große Teile der Landmassen um den Nordatlantik bedeckten. Am Ende dieser Kettenreaktion stand das Eindringen von warmem Wasser in den pazifischen Küstenbereich des nordamerikanischen Kontinents, der in der letzten Eiszeit von einem Eisschild bedeckt war. Als Folge davon brachen Teile des Eisschildes ab und kamen als Eisberge in den Pazifik. (Studie von 8/2018)

Durch die globale Erwärmung des Weltozeans wird am Rand des antarktischen Eises ein ähnlicher Prozess in Gang gesetzt: Andauernde Erwärmung könnte hier zu einer vergleichbaren Entwicklung führen, wie sie im östlichen Nordpazifikraum beobachtet worden ist. Werden Teile des antarktischen Eises destabilisiert, käme es in kurzer Zeit zu einer deutlichen Meeresspiegelerhöhung.

Der IPCC-Sonderbericht des Klimawandels auf Weltmeere und Eisgebiete vom September 2019 liefert Belege für dramatische Veränderungen in allen Weltmeeren: Erwärmung und Versauerung nehmen zu, der Sauerstoffgehalt in den Ozeanen geht zurück. Global zeigt sich ein erheblicher Rückgang der Eismassen: Gletscher und polare Eisschilde verlieren an Masse, Schneebedeckung und Permafrost gehen zurück. Bei weiterer Erwärmung würden bislang noch seltene Extremereignisse wie Sturmfluten und starke tropische Wirbelstürme intensiver und häufiger.

Laut IPCC steigt der Meeresspiegel seit Jahrzehnten immer schneller. Ohne effektiven Klimaschutz steigt der Meeresspiegel im globalen Mittel bis Ende dieses Jahrhunderts – im Vergleich zum Jahr 2000 – um 61 bis 110 cm. Diese Werte sind größer als beim vorigen IPCC-Sachstandsbericht von 2013, weil neue Erkenntnisse auf einen größeren Beitrag von Schmelzwasser aus dem Antarktischen Eisschild hinweisen. Der

Meeresspiegel wird noch über Jahrhunderte weiter ansteigen, bei einem Szenario ohne effektiven Klimaschutz möglicherweise um mehrere Meter.

Der Ozean und die Eisgebiete spielen eine Schlüsselrolle im globalen Klimasystem: Der Ozean puffert die Erwärmung der Atmosphäre ab, indem er etwa 30 Prozent der anthropogenen CO₂-Emissionen und etwa 90 Prozent der zusätzlichen Energie durch den Treibhauseffekt aufnimmt.

Permafrost

Bei 2 Grad Erwärmung könnten 2,5 Millionen Quadratkilometer der globalen Permafrostböden schmelzen (2017). Das sind 20% mehr als bisher angenommen. Insgesamt ist die Erde derzeit mit rund 20 Millionen Quadratkilometern Dauerfrostboden bedeckt.

Bei einem, nun mittelfristig drohenden Verschwinden der Eisdecke im hohen Norden würde sich dieser globale "Kühlschrank" des Klimasystems, der durch seine weiße Oberfläche besonders viel Sonnenlicht reflektiert, in eine globale "Heizung" verwandeln. Gelingt es der Weltgemeinschaft, die Temperatursteigerung auf 1,5 Grad zu begrenzen, bleiben rund zwei Millionen Quadratkilometer verschont. Beim Worst-Case-Szenario mit einer durchschnittlichen Temperatursteigerung um 5 Grad würden hingegen nur 20% der Böden erhalten bleiben. Die größten Permafrostgebiete liegen in Russland, Kanada, Alaska und Grönland.

Das Auftauen und die Erosion der arktischen Permafrostküsten hat in den zurückliegenden Jahren so stark zugenommen, daß sich das Meer bis 2016 in manchen Regionen weiter als 20 Meter pro Jahr in das Land frißt. Die dabei abgetragenen Erdmassen trüben zunehmend die Flachwasserbereiche und setzen Nähr- und Schadstoffe frei. Der aufgetaute Permafrostboden rutscht dann in Form von Schlammlawinen ins Meer und trübt die umgebenden Flachwasserbereiche so großflächig ein, dass die braun-grauen Sedimentfahnen viele Kilometer weit ins Meer hineinreichen.

34 % der Küsten weltweit sind Permafrostküsten. Das heißt, vor allem in der Arktis enthält ihr Boden jede Menge gefrorenes Wasser, welches die eingelagerten Sedimente wie Zement zusammenhält. Taut der Permafrost auf, versagt die bindende Wirkung. Die zuvor im Eis eingeschlossenen Sedimente, Tier- und Pflanzenreste lösen sich und werden von den Wellen davongewaschen. Bei diesem Vorgang werden nicht nur die klimarelevanten Treibhausgase Kohlendioxid und Methan freigesetzt. Das erodierte Material enthält auch jede Menge Nähr- und Schadstoffe wie Stickstoff, Phosphor oder Quecksilber. Diese Stoffe gelangen in das Meer, werden dort weiter transportiert, abgebaut oder angereichert und verändern nachhaltig die Lebensbedingungen im Flachwasserbereich.

Dann wird hier das abgetragene organische Material von Mikroorganismen zersetzt, wobei Treibhausgase wie Methan entstehen. Außerdem kurbeln freigesetzte Nährstoffe das Wachstum der Algen an, was unter Umständen zur Bildung sauerstoffarmer Zonen führen kann. Dann verstärkt der Eintrag organischen Kohlenstoffs die Versauerung des Meeres und es werden die Sedimente am Meeresboden abgelagert oder aber auf die offene See hinaus transportiert.

Tauender Permafrost produziert Methan. Mit einem Laborversuch über 7 Jahre wurde festgestellt, daß wassergesättigte Permafrostböden ohne Sauerstoff sogar doppelt so klimaschädlich wirken können wie trockenere Böden. 2018 konnte erstmals direkt im Labor messen und beziffern, wie viel Methan langfristig in tauendem Permafrost gebildet wird. Die vierzigtausend Jahre alten Proben aus der sibirischen Arktis produzierten unter Luftabschluss wird genauso viel Methan wie CO₂. Da Methan aber weitaus klimawirksamer ist, fällt es sehr viel stärker ins Gewicht. Bisher wurde vermutet, dass im Permafrost unter Sauerstoffabschluss nur sehr geringe Mengen Methan gebildet werden, da es nicht gemessen werden konnte. Es dauert extrem lange, bis sich in tauendem Permafrost stabile Kulturen von methanbildenden Mikroorganismen entwickeln, aber bis

zu einer Gigatonne Methan und 37 Gigatonnen Kohlendioxid könnten im Permafrost Nordeuropas, Nordasiens und Nordamerikas bereits bis zum Jahr 2100 entstehen. Durch den tauenden Permafrost wachsen die Seen und an ihrem Grund frißt sich das Wasser immer tiefer in den bisher gefrorenen Boden. Mit dem Klimawandel verstärkt sich das Tauen. Es setzt früher im Jahr ein und hält länger an, die sommerliche Auftauschicht wird tiefer und alte Biomasse taut vermehrt auf. Im auftauenden Boden werden Bakterien aktiv, die die uralte Biomasse abbauen. Das Auftauen schreitet nach einer Studie vom September 2018 offenbar schneller voran als bislang angenommen. Das macht sich an den Böden um und unter den vielen Seen bemerkbar. In einem zehnjährigen NASA Projekt wurde der Gasausstoß an Seen in Alaska mithilfe von Satellitenaufnahmen und Computersimulationen vermessen. Während das allmähliche Tauen in der Umgebung nur im Zentimeterbereich liegt, taute in den letzten Jahrzehnten der Untergrund unter neu gebildeten Seen schon bis in 15 Meter Tiefe auf. In diesen Seen können nun Mikroorganismen die aufgetaute Biomasse zersetzen und zu Methan und Kohlendioxid umwandeln. Die Wissenschaftler ermittelten, dass sich die Klimawirkung durch so zusätzlich entweichendes Kohlendioxid und Methan bereits bis zum Jahr 2050 verdoppeln könnte.

Mit dem Tauen des Permafrosts sackt der Boden an vielen Stellen ab. Zunächst bilden sich kleine Schmelzwassertümpel. An ihren Rändern und an ihrem Grund taut das Wasser den umgebenden Permafrostboden immer weiter auf, so daß große Seen entstehen. Kritisch wird es, wenn diese Seen so tief sind, dass das Wasser in der Tiefe auch in strengen Wintern nicht mehr gefriert. Da die Wassertemperatur am Grund der Seen über dem Gefrierpunkt liegt, setzt sich das Tauen dann auch im Winter fort. So können die Mikroorganismen im aufgetauten Seeboden fortan rund um das Jahr aktiv sein und aus den abgelagerten Pflanzenresten in Fäulnisprozessen Methan produzieren. Schon länger wird vermutet, dass sich dies erheblich auf die Treibhausgasbilanz der Atmosphäre auswirken kann, denn Methan wirkt bei der Erwärmung des Klimas bis zu 30 Mal stärker als Kohlendioxid. Dieser Rückkopplungseffekt in der Arktis wirkt sich damit fast so stark auf den Klimawandel aus wie die globale Landnutzungsänderung.

Wissenschaftlern haben nach einer Studie vom September 2018 vor der Küste des Ochotskischen Meeres im Osten Russlands nachgewiesen, daß bereits vor mehreren Tausend Jahren aus Permafrostböden in der Küstenregion große Mengen an Kohlendioxid freigesetzt wurden und daß die Ursache dafür der Meeresspiegelanstieg gewesen ist. Bekannt ist heute, dass es vor rund 11.500, 14.600 und 16.500 Jahren jeweils zu einem deutlichen und raschen Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre kam. Permafrostböden sind ganzjährig bis zu mehrere Hundert Meter tief gefroren, einige davon seit der letzten Eiszeit vor rund 20.000 Jahren oder sogar noch länger.

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Grenze der Permafrostregion bereits bis zu 80 Kilometer nach Norden verschoben, die weltweite Permafrostfläche hat deutlich abgenommen. Aufgetaute trockene Moorböden bergen zusätzlich die Gefahr klimaschädlicher Torfbrände, die unterirdisch über lange Zeit brennen, schwer zu löschen sind und die Gesundheit von Menschen in großen Regionen schädigen. Bergbau, Landwirtschaft und wachsende Infrastruktur bedrohen den Permafrost zusätzlich.

In sibirischen Permafrost scheint dieser Prozess bereits eingesetzt zu haben. Dort bilden sich tausende von unterirdischen Methanblasen, die nun aus den schmelzenden Erdschichten aufsteigen und zu platzen drohen. Die "mysteriösen Krater" in Sibirien, die in den letzten Jahren auftauchten und wegen ihres Aussehens als "schwarze Löcher" bezeichnet wurden, sind gerade auf diesen Prozess zurückzuführen - auf Methanblasen, die "sich im Untergrund gebildet hatten, bis der Druck zu groß wurde und sie sich schlagartig entleerten".

Arktis

1980 lag die Ausdehnung des arktischen Meereises im September, wenn das Meereis seine minimale Ausdehnung erreicht, noch bei 7,8 Mio km². In den letzten Jahrzehnten ging das arktische Meereseis jeweils um 8% zurück. Zum Ende des arktischen Sommers 2010 hatte sich die Meereisfläche im September auf etwa 4,6 Mio km² verringert. Dabei verringert sich das Meereis sehr viel schneller als im Mittel der Klimamodelle. Im September 2016 ergaben die Messungen den zweitniedrigsten Wert. Nur 2012 erreichte die Ausdehnung einen noch geringeren Wert mit 3,4 Mio km². Der Grund für den starken Eisverlust liegt in der Abnahme der Dicke des Eises. Eine Studie von 2017 ergab, daß der Schelfeis- und der Gletscherrückgang vor allem durch warmes Tiefenwasser zustande kommt. Das arktische Eis schmilzt von unten. Allein im Amundsenmeer können die Gletscher so viel Eis verlieren, daß ihr komplettes Abschmelzen den Meeresspiegel um 1,2m ansteigen ließe.

Wenn die Erhitzung der Erde auf zwei Grad begrenzt würde, wird die Arktis voraussichtlich im Jahr 2100 alle 4 Jahre in den Sommermonaten eisfrei sein und dann eine Eisfläche von weniger als einer Million Quadratkilometern haben. Wenn es der Menschheit allerdings gelingt, die Erderwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen, würde die Wahrscheinlichkeit eines eisfreien Sommers laut Studie um 70 % abnehmen. Dann wäre der Arktische Ozean nur etwa alle 40 Jahre im Sommer eisfrei.

Grönland besitzt einen kilometerdicken Eispanzer. Ein kompletter Verlust des grönländischen Eisschildes würde langfristig den Meeresspiegel um ca. 7 m im weltweiten Durchschnitt steigen lassen. Grönland verliert 2019 siebenmal schneller Eis als in den 1990er Jahren. Demnach hat Grönland zwischen 1992 - 2019 3,8 Billionen Tonnen Eis verloren. Die Eisverlustrate ist von 33 Milliarden Tonnen pro Jahr in den 1990er Jahren auf zuletzt 254 Milliarden Tonnen pro Jahr gestiegen. Sollte sich das Grönlandeis wie im letzten Jahrzehnt immer schneller zurückziehen, müssten wir mit einem Anstieg von möglicherweise mehr als einem Meter bis zum Ende des Jahrhunderts rechnen.

Noch vor der Mitte des Jahres 2050 wird nach einer Studie von 2014 die Arktis ohne Eis sein, wenn die Welt unverändert Treibhausgasemissionen in die Luft pustet. Schon heute liegt die Durchschnittstemperatur in der Arktis um 1,5 Grad höher als zwischen 1971 und 2000. Die Region erwärmt sich doppelt so schnell wie in anderen Erdteilen. Ende des 21. Jahrhunderts werden die Temperaturen in der Arktis im Herbst um 13 Grad höher sein als in der vorindustriellen Zeit. Von 1979 bis 2011 nahm die Sonnenreflexion der Arktis um 2% ab.

Eine Milliarde Tonnen entspricht der Masse von einem Kubikkilometer Wasser. Nimmt kontinentales Eis um 100 Milliarden Tonnen ab, steigt der Meeresspiegel im globalen Mittel um 0,28 Millimeter.

Antarktis

1.600 Kilometer von der Südspitze Südamerikas entfernt, gegenüber Feuerland, liegt das Wilkins-Schelfeis.

Warmes Meerwasser könnte das Schelfeis im antarktischen Weddellmeer von unten schmelzen lassen. Dadurch würden auch große Inlandeismassen in den Ozean abrutschen. Bislang galt die weitverbreitete Annahme, dass das Schelfeis des antarktischen Weddellmeers aufgrund seiner Randlage von den unmittelbaren Einflüssen der Erderwärmung verschont bliebe. Das Filchner-Ronne-Schelfeis im Weddellmeer wird innerhalb der nächsten 60 Jahre schmelzen. Damit fiel auch die Barriere für nachrutschendes Inlandeis der Antarktis weg. Statt wie bislang etwa 1,5 mm würde dann der Meeresspiegel um bis zu 4,5 mm im Jahr steigen, also fast einen halben Meter in 100 Jahren.

Bislang galt nur die Westantarktis als instabil, aber jetzt wissen wir, dass ihr zehnmal größeres Gegenstück im Osten möglicherweise auch in Gefahr ist. Ein Abschmelzen

würde die Aufsetzlinie des Eises landeinwärts verlagern – das ist der Bereich, in dem das kontinentale Eis in Kontakt mit dem Wasser tritt und schließlich beginnt, als Eisschelf an der Meeresoberfläche aufzuschwimmen. Der felsige Untergrund unter dem Eis bildet ein riesiges, zum Landesinneren hin abfallendes Tal. In den Simulationen dauert das vollständige Ausströmen aller Eismassen aus der betroffenen Region in der Ost-Antarktis fünftausend bis zehntausend Jahre. Wenn diese Entwicklung jedoch erst einmal begonnen hat, wird sich das Auslaufen unaufhaltsam fortsetzen, bis das gesamte Becken leergelaufen ist; selbst wenn die Klimaerwärmung aufhören sollte. Zwischen 60 und 90 % des Süßwassers der Erde sind im antarktischen Eisschild gebunden. Würde dieses Eis vollkommen schmelzen, hätte das einen Anstieg des Meeresspiegels von etwa 60 Metern zur Folge.

Davon ist im Moment noch nicht die Rede, aber das antarktische Eis schmilzt. Und es schmilzt immer schneller. Laut einer Studie von 2018 dreimal so schnell wie noch 2007. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird diese Eisschmelze den Meeresspiegel voraussichtlich um 15cm ansteigen lassen. In der Bilanz hat die Antarktis zwischen 1992 und 2017 drei Billionen Tonnen Eis verloren. 40% davon sind in den Jahren 2012 bis 2017 verloren gegangen. An den Rändern des Kontinents, wo die Gletscher auf das Schelfeis treffen, ist der Verlust am größten. Die Abtau-Geschwindigkeit steige an.

Gletscher

Auch in Afrika verschwinden die Gletscher. Nur noch bis 2030 gibt der britische Geologe Richard Taylor dem Gletscher im Ruwenzori-Gebirge in Westuganda. Der Eispanser auf rund 5.000m Seehöhe speist immerhin Nil und Kongo, die zwei größten Flüsse Afrikas, und auch den größten See des Kontinents, den Lake Viktoria.