

30 Mo		Sonne: 4.14–20.33 Mond: 1.05–18.17		
Temperatur	Bewölkung	Wind	Niederschlag	Besonderes
immer zur gleichen Tageszeit ablesen	sonnig wolzig bedeckt	leicht mäßig stark	leichter Regen starker Regen Schnee	Gewitter Nebel Schneedecke



6.1 In Küstennähe schmilzt das Eis auf Grönland in den letzten Jahren verstärkt. Ursache der Eisabnahme ist nicht nur der Temperaturanstieg im Sommer, sondern auch die stärkere Gletscherbewegung Richtung Meer. In höheren Lagen als 2000 m bleibt die Eisdecke hingegen bisher stabil (siehe Monatsthema). Im Bild: Eisgrenze Kronprinz-Christian-Land (Foto: Hans Oerter, Alfred-Wegener-Institut)

MONATSTHEMA

Klimawandel in den Polarregionen

In der Arktis stiegen die Temperaturen in den vergangenen 100 Jahren doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt. Auch für die nächsten Jahrzehnte wird erwartet, dass die Polarregionen vom Klimawandel besonders betroffen sind. Dafür gibt es mehrere Ursachen: Wenn Schnee und Eis schmelzen, können die dunkleren Oberflächen mehr Sonnenstrahlung aufnehmen und sich verstärkt erwärmen. Außerdem ist in den polaren Gebieten kaum Vegetation vorhanden, die den Temperaturanstieg bremsen könnte, indem bei der Verdunstung an Pflanzenoberflächen Wärmeenergie verbraucht wird. Von der Erwärmung und Eisschmelze sind aber derzeit nicht alle Regionen erfasst. Im Verhalten der Eismassen gibt es zwischen Arktis, Grönland und Antarktis große Unterschiede.

Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg

Vom Ausmaß der polaren Eisschmelze hängt es ganz wesentlich ab, wie stark sich der Meeresspiegel in den nächsten Jahrhunderten erhöht. In den

letzten 15 Jahren stieg der Meeresspiegel um ca. 3 mm pro Jahr. Hauptursache für den Anstieg war bisher die thermische Ausdehnung des Meerwassers infolge der Erwärmung der Ozeane. Das Schmelzen von Inlandeis (vor allem Gebirgsgletscher und Teile Grönlands) trägt zurzeit etwa 0,8 mm zum jährlichen Anstieg des Meeresspiegels bei, mit steigender Tendenz in den nächsten Jahrzehnten. Das Schmelzen von im Meer aufliegenden Eismassen bringt dagegen keinen Meeresspiegelanstieg, da das Meereis genauso viel Wasservolumen verdrängt wie das flüssige Wasser nach dem Schmelzen.

Große Veränderungen in der Arktis

Der Rückgang des arktischen Meereises begann etwa 1950 und hat sich seit 1980 deutlich beschleunigt (Abb. 6.2). In den nächsten Jahrzehnten ist ein weiterer Rückgang sehr wahrscheinlich. Bereits in 30 bis 50 Jahren könnte das Meereis in den arktischen Spätsommern fast vollständig verschwunden sein, da man eine Beschleunigung



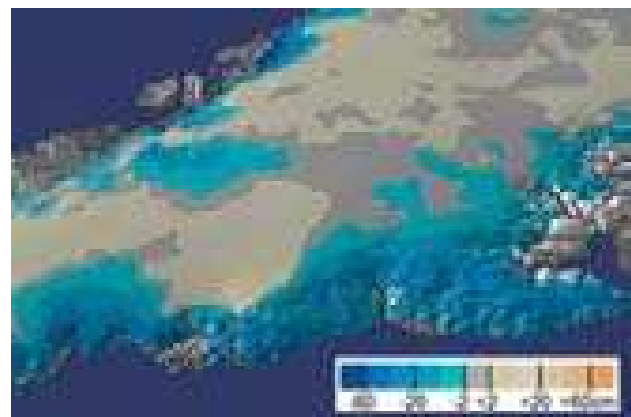
6.2 Eisflächen im Vergleich September 1979 (links) und September 2003 (rechts). Seit 1978 ist die Ausdehnung des arktischen Meereises im Sommer um rund 8 % pro Jahrzehnt zurückgegangen (NASA GSFC).

nigung des Abschmelzvorgangs erwartet. Es ist also durchaus möglich, dass die Nordwestpassage (nördlich von Kanada und Alaska) sowie die Nordostpassage (nördlich von Sibirien) zu normalen Schifffahrtsrouten werden. Im Winter sind die Regionen um den Nordpol auch zukünftig vereist, allerdings in kleinerem Umfang als derzeit. Von der nordpolaren Eisabnahme direkt betroffen sind z. B. Tierarten wie Eisbären, Wale oder Eismeerrobben. So verändern sich auch Lebensgrundlagen der Inuit. In den derzeitigen Permafrostgebieten (z. B. Sibirien, Alaska) steigt ebenfalls die Temperatur deutlich. Durch das regionale Auftauen verschieben sich nicht nur die Vegetationszonen und es werden Bauwerke instabil. In den Permafrostböden sind bisher große Mengen von treibhauswirksamen Methan und teilweise auch Kohlendioxid gebunden. Aus aufgetauten Böden können die Gase entweichen und eine zusätzliche Quelle für Treibhausgase schaffen. Es gibt auch eine Reihe von wichtigen indirekten Folgen. Die eisfreien Meeresoberflächen nehmen mehr Sonnenstrahlung auf und der Austausch von Wärme und Feuchtigkeit zwischen Meer und Atmosphäre wird verändert. So kann sich durchaus ein Einfluss auf das europäische Wetter ergeben, wenn sich die großräumigen Temperaturunterschiede zwischen Nord und Süd und damit die Luftzirkulationen ändern. Details sind zwar noch unklar, in Skandinavien werden jedoch bereits erhöhte Niederschlagsmengen gemessen. Außerdem wird ein drastischer Rückgang der arktischen Meereisbedeckung Auswirkungen auf die globalen Meeresströmungen haben, denn sie werden durch das Schmelzen und Frieren von Meereis mit angetrieben. Sichere Prognosen sind auch hier noch nicht möglich. Derzeit geht man davon aus, dass sich der Golfstrom, der für relativ mildes Winterklima in Europa sorgt, in den nächsten Jahrzehnten leicht abschwächt. Dies würde den Temperaturanstieg in Mitteleuropa etwas dämpfen, aber nicht verhindern.

Wird Grönland zu Grünland?

Gewisse Schwankungen der Dicke und Ausdehnung des grönländischen Eisschildes hat es im Verlauf der letzten Jahrhunderte immer wieder gegeben. Die Wikinger nannten die Insel vor 700 Jahren Grünland, weil sie in den Küstenregionen ideales Weideland fanden. Die Insel war aber damals nicht eisfrei, wie die Eisbohrkerne belegen, deren Eis bis über 100 000 Jahre alt ist.

Im letzten Jahrzehnt nahm die Eisdicke in Küstennähe ab, während in den höheren Lagen ab 2000 m die Massenbilanz ausgeglichen oder leicht positiv war, d. h. der jährliche Schneezuwachs übertraf dort teilweise den Verlust durch Abschmelzen bzw. den Abtransport durch Eisströme (Abb. 6.3). Insgesamt überwiegt aber der Eisverlust, mit stark steigender Tendenz seit dem Jahr 2002. Ob es sich hierbei noch um natürliche Schwankungen der Eismasse oder um erste Auswirkungen der globalen Erwärmung handelt, lässt sich nur schwer beurteilen, da es keine flächendeckenden Messdaten aus der Vergangenheit gibt. Die Eisschmelze wurde nicht nur durch ansteigende Sommertemperaturen verursacht, sondern auch durch eine stärkere Gletscherbewegung Richtung Meer. Man schätzt, dass der grönländische Eisverlust derzeit



6.3 Änderung der Eisdicke auf Grönland pro Jahr (1997–2003 im Vergleich zu 1993–1998), Satellitendaten der NASA



6.4 Das Forschungsschiff „Polarstern“ an der Schelfeiskante (Foto: Alfred-Wegener-Institut)

zu zwei Drittel vom geänderten Verhalten der Eisströme verursacht wird. Für die Beschleunigung der Eisströme können mehrere Ursachen verantwortlich sein: Bei höheren Temperaturen gleitet das Eis am Untergrund besser. Eisabnahme an der Küste und regionale Eiszunahme im Zentrum bedeuten ein größeres Gefälle. Außerdem verhindern an manchen Küstenabschnitten dicke Schelfeisbarrieren bisher das rasche „Abfließen“ der Gletscher. Das Schelfeis wird aber derzeit zunehmend instabil.

In den nächsten Jahrzehnten wird der Eisverlust in Küstennähe anhalten, die gesamte Eismasse aber noch nicht dramatisch abnehmen. Erst bei einer dauerhaften globalen Erwärmung um weitere 2–3 °C nimmt man an, dass das Abschmelzen des gesamten Eisschildes in Gang kommt. Mit der Eisabnahme über viele Jahrhunderte wäre dann ein drastischer Meeresspiegelanstieg verbunden, nach 1000 Jahren um ca. 7 m. Nach fast allen Vorhersagen der Klimamodelle wird diese Erwärmung

bis zum Jahr 2100 erreicht oder schon überschritten, so dass langfristig das Abschmelzen des Grönlandeises wahrscheinlich ist. Dann wären die Verhältnisse so wie vor mehr als drei Millionen Jahren, als Grönland komplett eisfrei war.

Noch stabile Antarktis

Bei der Gesamtbilanz der antarktischen Eisentwicklung gibt es noch Unsicherheiten. Manche Messungen deuten auf eine Eisabnahme in den letzten Jahren hin, da der Eisverlust in der Westantarktis stark gestiegen ist und durch den Eisgewinn in der Ostantarktis nicht mehr vollständig ausgeglichen wird. Das einzige Gebiet des antarktischen Kontinents mit einer starken Erwärmung und deutlichen Eisverlusten ist aber bisher die weit nach Norden reichende Antarktische Halbinsel. Hier stieg die Temperatur seit 1950 um 3 °C und das Meer erwärmte sich im Sommer um 1 °C. Seit 1993 lösen sich die nördlichen Teile des Larsen-Schelfeises auf.

Für die nächsten Jahrzehnte ergeben die Modellrechnungen eher eine Massenzunahme durch höhere Niederschlagsmengen im Inneren als eine Abnahme durch verstärktes Schmelzen in den Randzonen. Diese Entwicklung würde aber nicht im Widerspruch zur globalen Erwärmung stehen. Denn wärmere Luft enthält mehr Wasserdampf, so dass sich die Schneefallmengen über dem Inlandeis erhöhen können. In den Modellen ist jedoch das Verhalten der Eisströme und küstennahen Eisgebiete bei höheren Meerestemperaturen und steigendem Meeresspiegel bisher noch wenig berücksichtigt. So kann es langfristig insbesondere in der Westantarktis, wo sich die Eisaufgabe größtenteils unter dem Meeresspiegel befindet, noch zu unerwarteten Veränderungen kommen. Ein komplettes Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes würde theoretisch einen Meeresspiegelanstieg um 5 m bewirken.