

Arktisches Meereis

Folgen und Ursachen einer Schmelze



Verfasst von
Niclas Stoffregen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Arktisches Meereis.....	4
2.1 Was ist Meereis?	4
2.2 Ein- und mehrjähriges Eis	4
2.3 Meereis und Klima.....	5
3. Bisheriger Veränderungen der arktischen Meereisbedeckung	6
4. Projektionen bis 2100	7
5. Ursachen der Eisschmelze	9
5.1 Erwärmung der Nordpolarregion	9
5.2 Meereis-Albedo-Rückkopplung	9
5.3 Atmosphärische Dynamik.....	10
6. Öl- und Gasförderung in der Arktis	11
7. Klimatische Folgen.....	12
8. Folgen für den Eisbären.....	12
9. Mögliche Schutzmaßnahmen gegen die globale Klimaerwärmung	12
9.1 Modifikation mariner Schichtwolken	13
9.2 Ozeandüngung	13
10. Fazit	14
11. Internetquellen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12. Bilderverzeichnis.....	16

1. Einleitung

Vor Jahren ist eine Bedrohung durch das Abschmelzen des Meereises erkenntlich geworden. Medien geben immer wieder Berichte von einem Schmelzprozess und Forscher warnen vor katastrophalen Folgen, wenn das Meereis verschwindet. Heutzutage forschen Wissenschaftler an Möglichkeiten, das Verschwinden des Meereises zu verhindern. Allerdings meinen Skeptiker, dass sich der Prozess in den nächsten Jahren verselbstständigen wird und drängen auf ein Zusammenarbeiten der verschiedenen Anrainerstaaten, die alle Anspruch auf die Öl- und Gasvorkommen und andere Bodenschätze erheben. Der Ölbestand in der Arktis wird derzeit auf circa 90 Milliarden Barrel, also 90 000 000 000 mal 159 Liter Öl, geschätzt, und Konzerne wie der norwegische Statoil fördern schon auf einer Breite von 70 Grad Nord. Aufgrund der abschmelzenden Eiskappen entsteht ein leichter Zugang zu Lagerstätten. Dadurch herrscht im Norden Betriebsamkeit und viele Konzerne investieren Milliarden in die Arktis. Auch die Nordost- und Nordwestpassage würden bei einem Abschmelzen des Meereises frei liegen und würden die Transportwege von Schiffen damit deutlich verkürzen. Eine unbedeckte Ozeanoberfläche des Arktischen Ozeans würde also durchaus Vorteile mit sich bringen. Doch was steht auf dem Spiel?

In dieser Arbeit beschäftigte ich mich mit den natürlichen und anthropogenen Ursachen und mit den Folgen des Zurückgehen des Meereises.

Ich habe mich für dieses Thema aus zwei Gründen entschieden. Das Thema arktisches Meereis empfinde ich als spannend, da es aktuell ist und uns in der Zukunft betrifft. Ein weiterer Grund ist, dass ich den Gehalt an Wahrheit in den Berichten der Medien mit meinen Mitteln überprüfen möchte.

2. Arktisches Meereis

Das arktische Meereis spielt seit jeher eine entscheidende Rolle in unserem Erdklimasystem. Die Größe der Meereisbedeckung schwankt von Jahr zu Jahr, aber es ist zu erkennen, dass sie auf lange Zeit gesehen durch eine Verstärkung der Erwärmung, welche primär aus der Eis-Albedo-Rückkopplung besteht, schmilzt.

2.1 Was ist Meereis?

Meereis liegt, wie der Name schon sagt auf dem Meer, weil das Wasser sich beim Gefrieren ausdehnt und so eine geringere Dichte hat. Meereis ist nicht das dauerhaft auf dem Land liegende Eis, es sind aber auch nicht Eisberge, die von Eisschilden abgebrochen sind. Meereis weist eine Vielfalt an Typen auf, die von dem Seegang festgelegt werden. Es besteht nicht nur rein aus Eis, nein es schließt beim Bilden flüssige, salzhaltige Sole, gasförmige Luftvolumina sowie feste, hydratisierte Salzkomplexe ein. Ein Porenraum wird von der flüssigen, salzhaltigen Sole und den gasförmigen Luftvolumina gebildet.



Abbildung 1 Erstjähriges Eis mit Schmelztümpeln & dünnem Eis

Das Fazil-Eis zum Beispiel bildet sich oft in Flüssen, Seen und Ozeanen bei bewegter Oberfläche und in klaren Nächten bei Lufttemperaturen unter -6° Celsius. Es besteht aus feinen, bis zu 2 cm großen Eisplättchen. Bei weiterem Wachstum entsteht das sogenannte Pfannkucheneis, oft runde große Eisstücke. Geschlossene Eisdecken bilden sich erst, wenn sich der Seegang gelegt hat. Diese verdicken sich und bilden einjähriges Eis. Wenn dies den Sommer überlebt, bildet sich daraus mehrjähriges Eis, welches aufgrund einer höheren Dicke stärker ist und so eine erhöht Überlebenschance im Sommer hat.

2.2 Ein- und mehrjähriges Eis

Die Bildung von ein- und mehrjährigem Eis wurde in *Was ist Meereis?* erklärt. Hier folgen nun die Zusammensetzung des arktischen Ozeans aus den beiden Eistypen und die jeweiligen Unterschiede.

Der Prozess, dass das Wasser zu Eis gefriert, beendet sich ab einer Dicke von etwa 1 Meter, weil jetzt die auf dem Wasser liegende Eisschicht, die drunter liegenden Wassermassen isoliert. Dieses Eis ist unter den Namen einjähriges Eis bekannt. Sobald sich das Eis zusammen schiebt, können noch mächtigere Eisschollen entstehen. Ein Problem ist die Masseabnahme von mehrjährigem Eis, welches in den

1980er Jahren noch 62% ausmachte, jedoch im Jahre 2008 hingegen nur noch 28%. Dies ist ein Problem, weil einjähriges Eis sehr schnell abschmilzt und den Ozean freilegt, wohingegen das mehrjährige Eis der Eisschmelze länger widerstehen kann. Mehrjähriges Eis befindet sich zu einem Teil im Beaufortwirbel, mit einer Aufenthaltszeit von sieben bis zehn Jahren, von wo es nach und nach in den Transpolarstrom eingespeist wird und so den Arktischen Ozean verlässt.

2.3 Meereis und Klima

Das Meereis spielt seit jeher eine besondere Rolle in unserem Klimasystem. In diesem Abschnitt wird auf das Zusammenwirken von Meereis und Temperatur sowie Meeresströmungen eingegangen. Durch die hohe Albedo von 50-90% absorbiert das Meereis wenig Sonnenstrahlung, gibt also viel Energie in den Weltraum zurück. Dieser Effekt wird verstärkt durch die Abkühlung und so steigt die Eisbildung weiter, wodurch sich wiederum die Albedo erhöht usw. Es ist also ein positiver Rückkopplungseffekt.

Bei der Eisbildung wird das Süßwasser dem Wasser entzogen und so steigt der Salzgehalt. Das Wasser wird jetzt schwerer und sinkt ab. Damit kein Vakuum entsteht, fließt Wasser von den Seiten nach, dadurch wird die thermohaline Zirkulation in diesen Gebieten verstärkt.

Anhand eines Experiments, durchgeführt mit dem einfachen Klimamodell `Monash simple climate model` (mscm.dkrz.de), erkennt man im Sommer eine starke Erwärmung durch Eis im Norden. Der Versuch zeigt die 2m- Temperatur, im Experiment A mit Eisbedeckung und in B ohne. An der Differenz der beiden

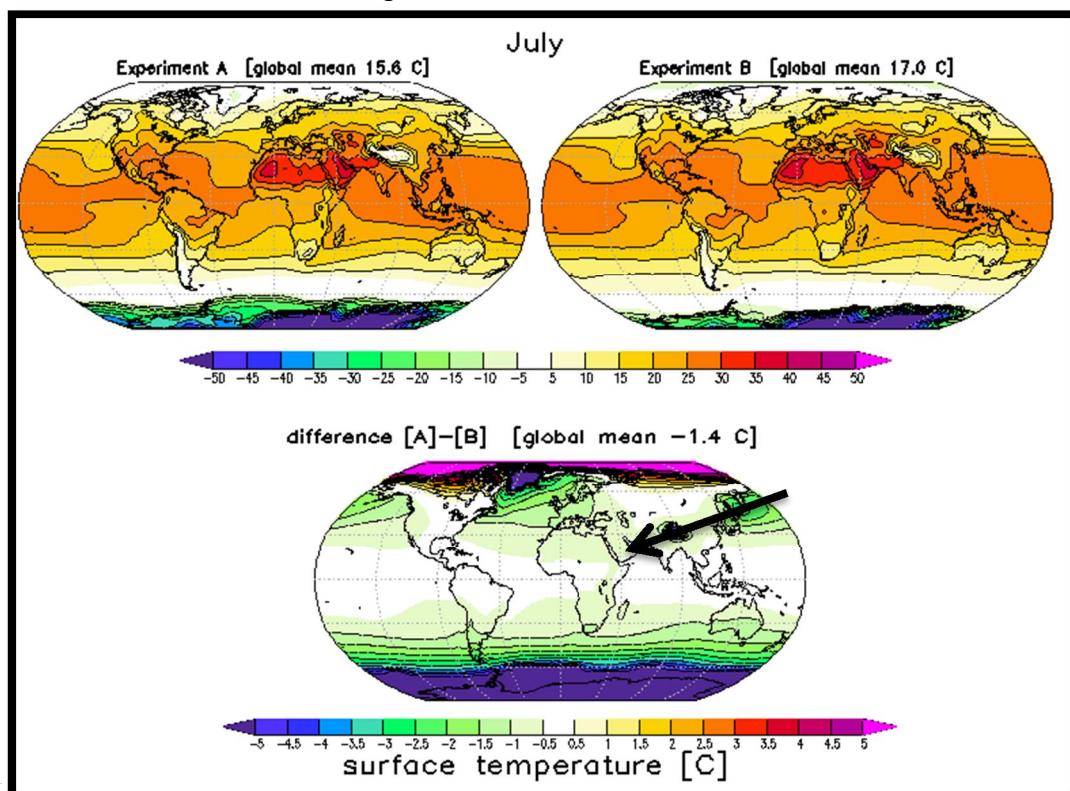


Abbildung 2 Experiment A mit Eis-Albedo, Experiment B ohne Eis-Albedo

Experimente A-B ist die grundsätzliche Rolle von Eis zu erkennen. Dieses Phänomen entsteht dadurch, dass der Ozean im Sommer Wärme von der Luft aufnimmt und diese erstmal speichert. Im Winter bildet sich Eis auf der Wasseroberfläche, so dass der Ozean seine gespeicherte Wärme nicht an die kühlere Luft abgeben kann. Sie ist isoliert. Im Sommer wiederum ist er in der Lage dazu, weil das Eis wegen der Sonnenstrahlung schmilzt. Jetzt gibt der Ozean die gespeicherte Wärme an die Luft ab und so wird diese wärmer. Deshalb ist es im Sommer wegen Eis wärmer.

3. Bisheriger Veränderungen der arktischen Meereisbedeckung

Es ist möglich, die Ausdehnung von Meereis seit den 1970er Jahren anhand von Satellitenbildern zu erfassen. Wenn man jene betrachtet, sieht man in den letzten Jahren eine Abnahme des arktischen Meereises. Im September 2012 betrug die Meereisausdehnung weniger als die Hälfte (nämlich 3,4 Mio km²) im Vergleich zu den 1950er und 1960er Jahren, wo sie noch 8 Mio km² betrug. Außerdem verändert sich die Dicke des Eises, heutzutage wird das Eis



Abbildung 3 Das Meereis-Minimum im September 2012 im Vergleich zu dem mittleren Minimum 1979-2000 (gelb).

nur wenige Dezimeter oder Meter dick, so kann es von Winden aufgerissen und zusammen geschoben werden. Aufgrund dessen findet man z.B. an der Küste Grönlands mächtige, bis zu 6 m dicke Eisschollen.

4. Projektionen bis 2100

Anhand einiger, mit dem NASA-Programm Panoply (<http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>) visualisierten Daten kann erkannt werden, dass sich die Meereisbedeckung am Ende dieses Jahrhunderts im September zurückgezogen haben werden. Das Meereis verliert viel Kontakt zu Grönland und so ist auch die Framstraße frei befahrbar, im Gegensatz zu der jüngsten Vergangenheit. An der Differenz der beiden Szenarien sieht man einen deutlichen Verlust der Meereisbedeckung.

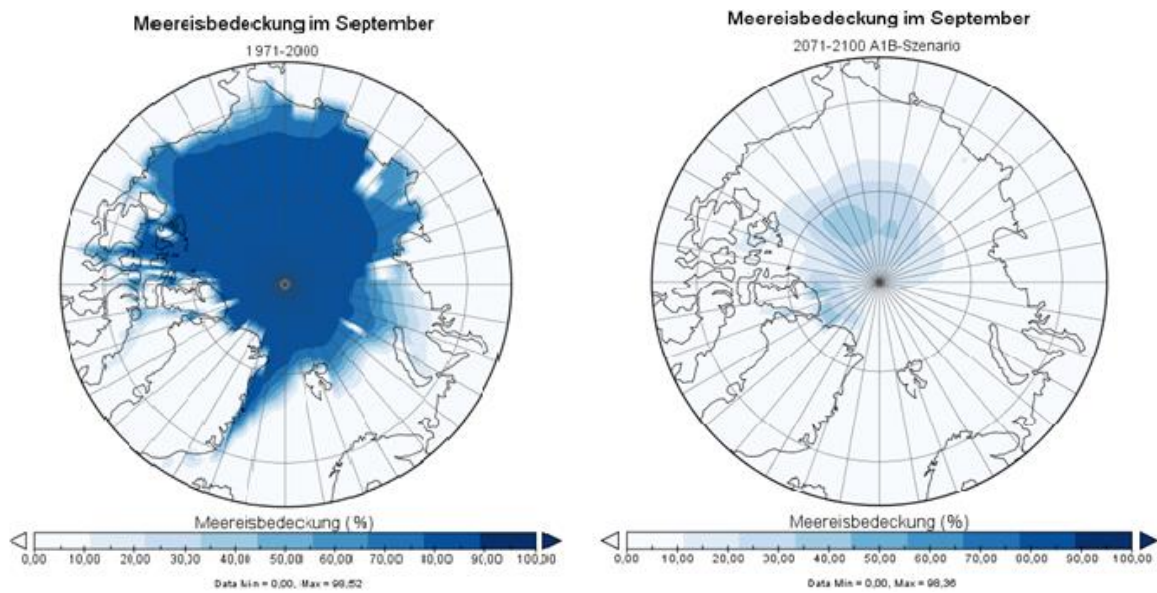


Abbildung 4: Meereisbedeckung der Nordpolarregion in %, 1971-2000 (links), 2071-2100 A1B-Szenario (rechts)

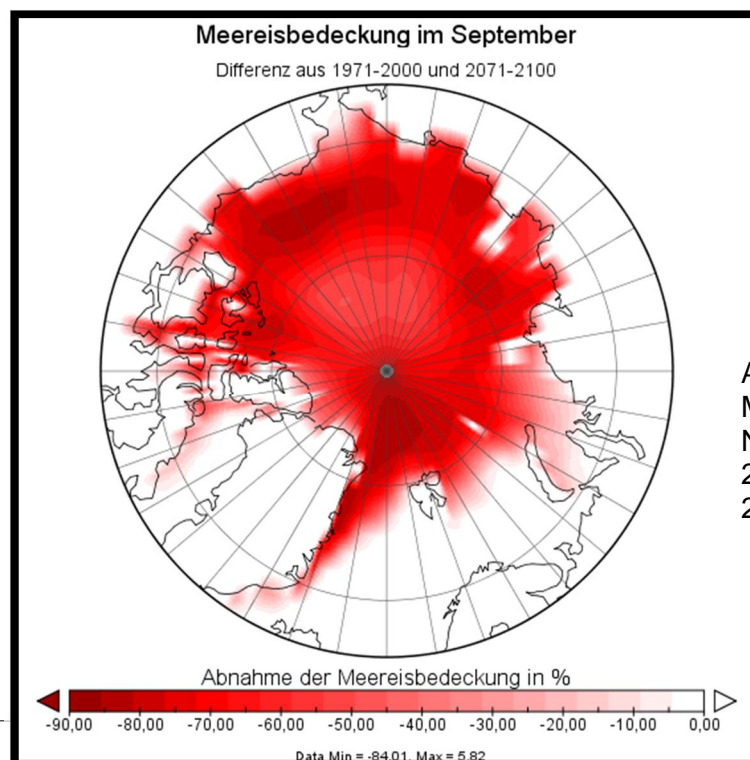
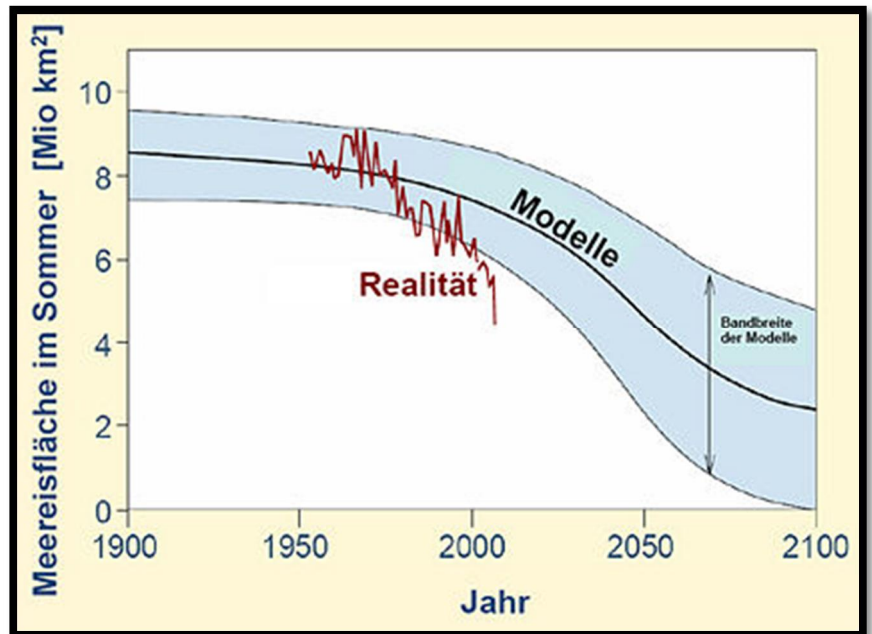


Abbildung 5: Meereisbedeckung der Nordpolarregion in %, 2071-2100 minus 1971-2000 A1B-Szenario

Abbildung 6 Meereisfläche im Sommer in Mio. km² über den Zeitraum 1900-2100; Bandbreite der Modelle bis 2100 und Realität bis 2007

Durch die Eis-Albedo-Rückkopplung und den anthropogenen Anstieg der Treibhauskonzentration erwärmt sich die Atmosphäre stark und dies führt zum weiteren Abschmelzen der Eisbedeckung des arktischen Ozeans. Klimamodelle berechnen ein gänzlich Verschwinden des Meereises schon Ende dieses Jahrhunderts. außer, man würde den Treibhausgasausstoß drastisch verringern.



Aufgrund eines Rekordminimums im September 2007 nehmen einige Wissenschaftler einen eisfreien arktischen Ozean schon 2040 oder sogar in 5-10 Jahren an. Diese Vermutungen beruhen auf ein deutliches Abweichen der Realität von den Modellsimulationen (siehe Diagramm).

Eine referierte Studie des Hamburger Max-Planck-Instituts für Meteorologie hält allerdings die Theorie, dass ein Kipp-Punkt, also das sich der Prozess verselbstständigt und er unaufhaltsam wird, existiert, für unwahrscheinlich, weil sich, wenn große Wassermassen frei liegen, da alles Eis im Sommer geschmolzen ist, sehr gut im nächsten Winter wieder viel einjähriges Eis bilden kann. Das kann man auch daran sehen, dass nach dem September 2012, wo nur noch 3,4 Millionen km² Wasseroberfläche mit Eis bedeckt waren, sich im nächsten Winter wieder sehr viel Eis gebildet hat (siehe Diagramm).

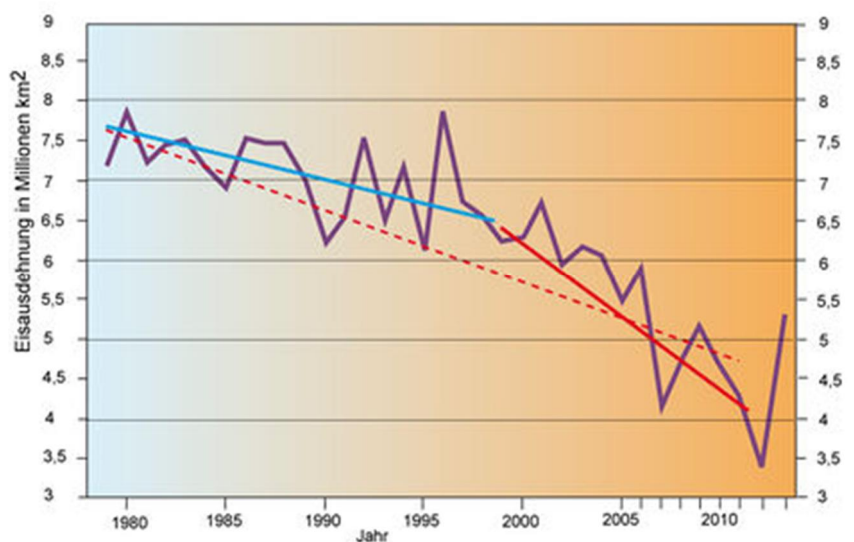


Abbildung 7 Die Ausdehnung des September-Eis zwischen 1979 und 2012; rot gestrichelt: Trend über den gesamten Zeitraum: rot: temporärer Trend 1999-2010 und blau: temporärer Trend 1979-1998

5. Ursachen der Eisschmelze

Es lässt sich gut ein Schmelzprozess des Meereises über Sattellitenbilder erkennen. Dieser Prozess basiert auf verschiedenen Ursachen:

5.1 Erwärmung der Nordpolarregion

Scenario: IPCC A1B CO₂-forcing
annual mean year: 2100

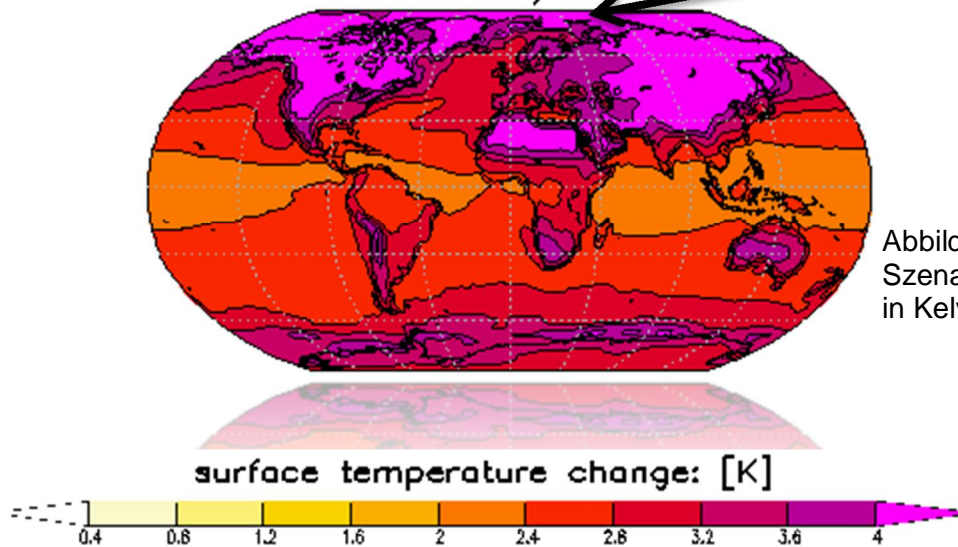


Abbildung 8 IPCC A1B-Szenario, 2100, Lufttemperatur in Kelvin

Während der letzten Jahre war die Erwärmung in der Arktis deutlich stärker als in den mittleren Breiten. Dieses Phänomen wird als arktische Verstärkung bezeichnet. Diese folgt vor allem aus der Eis-Albedo-Rückkopplung durch den Rückgang der Meereisbedeckung und der Dicke, wodurch das Meer seine Isolation verliert. Dies führt dazu, dass sich die Erholungsphase des Eises nach hinten verschiebt, weil es durch die aufgenommene Wärme des Sommers einen höheren Wärmegehalt hat. Das A1B-Szenario (oben) lässt erkennen, dass es einen drastischen Anstieg der Temperaturen vor allem in der Arktis geben wird, wenn die Zukunft so verläuft wie in dem Szenario.

5.2 Meereis-Albedo-Rückkopplung

Die Meereis-Albedo-Rückkopplung ist eine der Hauptursachen der Eisschmelze. In diesem Abschnitt wird genauer auf sie eingegangen. Eis reflektiert, aufgrund einer hohen Albedo, das Sonnenlicht sehr gut. Bei einer Temperaturerhöhung ziehen sich die Eis- und Schneemassen zurück und geben Meeresoberflächen frei.

Da dunkles Wasser eine kleine Albedo hat (offenes Wasser hat lediglich eine Albedo von 0,07 gegenüber schneebedecktem Eis von 0,85) und so Wärme sehr gut absorbiert, lässt es das Eis um sich herum mit der aufgenommenen Wärme noch weiter schmelzen. Dadurch wird wiederum noch mehr Wasseroberfläche frei und so weiter. Diesen Effekt nennt man Eis-Albedo-Rückkopplung.

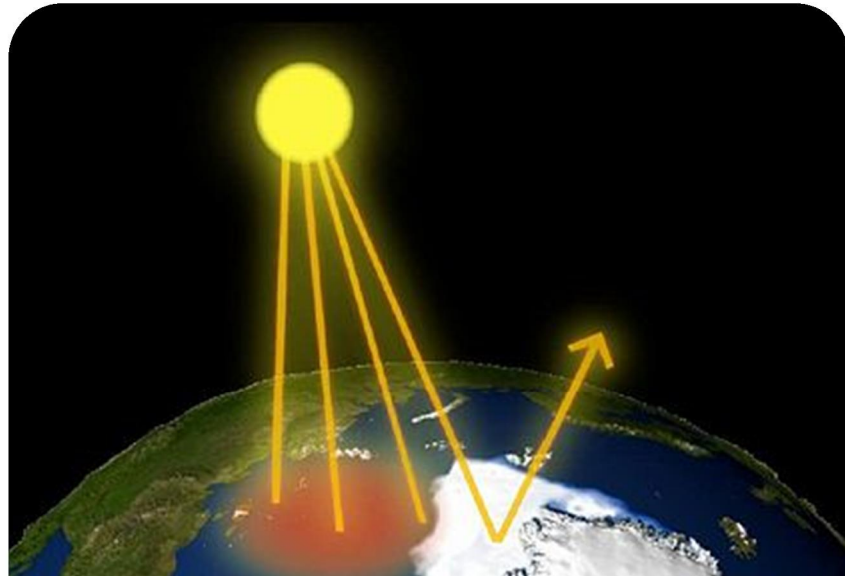


Abbildung 9 Der Einfluss der Änderung der Albedo auf das Klima

5.3 Atmosphärische Dynamik

Die Nordatlantische Oszillation sowie die Arktische Oszillation weisen zurzeit eine Veränderung zu einem positiven AO- und NAO-Index auf. Außerdem ist zurzeit eine negative Phase der Pazifischen Dekaden Oszillation zu sehen. Ein positiver NAO-Index bewirkt eine Beeinflussung des Jetstreams und so milde Temperaturen und starke Niederschläge in unseren Breiten. In Grönland wird das Wetter besonders kalt und trocken, genau wie am Mittelmeer, wo ein kalter Ausläufer des Russland-Hochs fast das Mittelmeer erreicht. Eine negative Phase der Pazifischen Dekaden Oszillation bedeutet eine kaum vorhersagbare Temperaturschwankung von warm nach kalt oder anders herum (Warmphase und Kaltphase). So schwächt sich der Beaufortwirbel, ein Wirbel an der Nordküste von Grönland, Kanada und Alaska ab und Tiefdruckgebiete können vermehrt in das arktische Gebiet eindringen. Diese treiben dann Meereis in den Nordatlantik, wo es schnell abschmilzt.

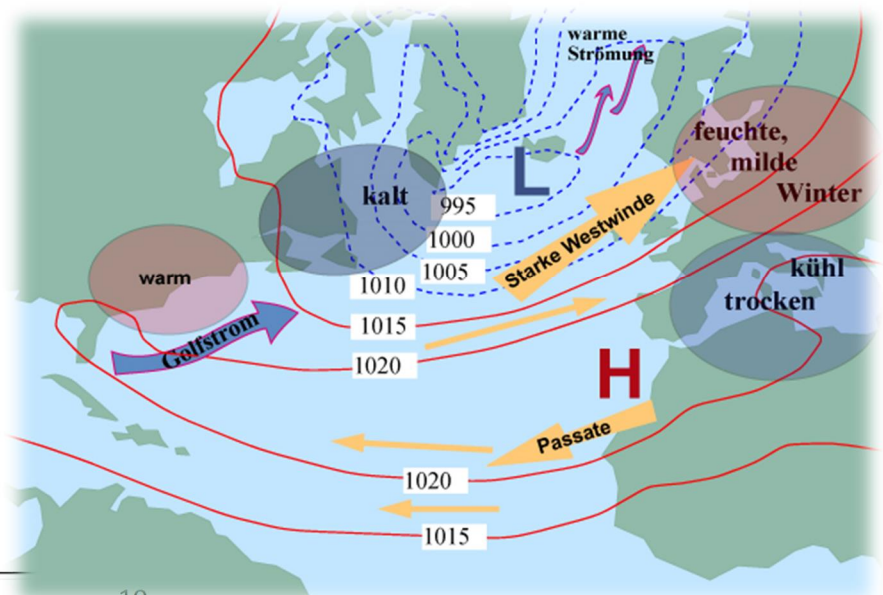


Abbildung 10 Druckverhältnisse, Strömungen und Wetterlagen bei einem positiven NAO-Index im Winter

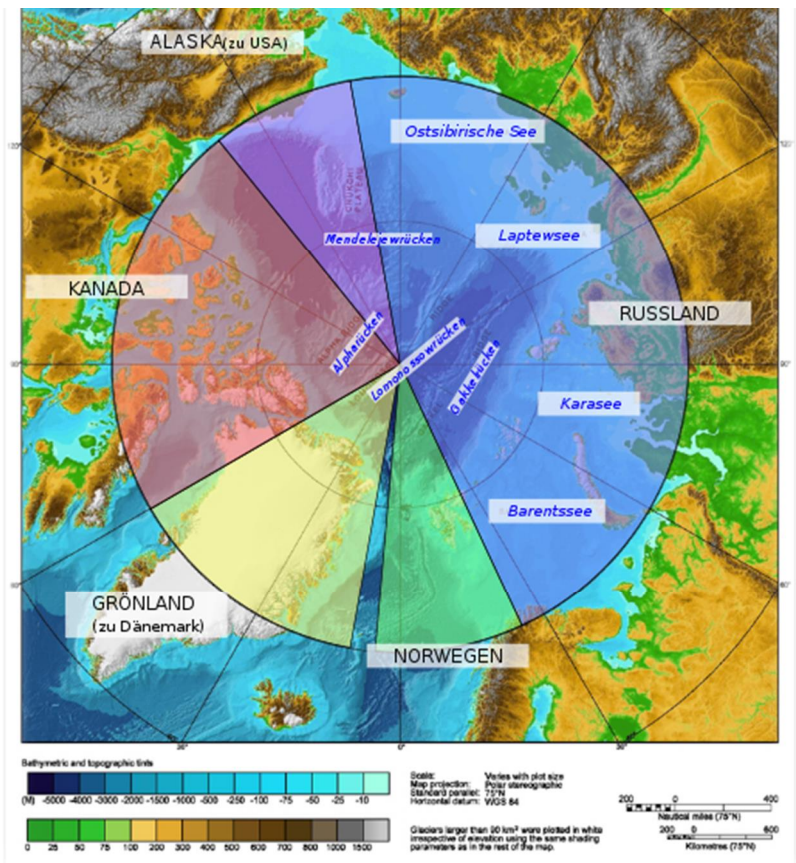
6. Öl- und Gasförderung in der Arktis

Norwegen, Dänemark, Kanada, die USA und Russland - diese fünf, an die Arktis angrenzende Staaten, hätten laut dem Seerechtsübereinkommen (SRÜ) der Vereinten Nationen von 1982 Anspruch auf Teile der Arktis. Allerdings beantragten Norwegen, Russland, Kanada und Dänemark zusätzlich eine Ausweitung ihres Gebietes. Kanada sowie Russland fordern die Aufteilung nach der Sektorenlösung (ähnlich der Karte).

Die Öl- und Gasförderung in der Arktis ist heikel. Die meisten Ölressourcen liegen unter dem Meeresboden, doch der Arktische Ozean ist bis zu 5.608 m tief und das macht eine Förderung riskant. Hierfür bräuchte man riesige Kapitalsummen und technisches Know-how. Trotzdem wollen zum Beispiel die russischen Konzerne Rosneft und Gazprom bis 2015

ca. 12,2 Milliarden investieren, denn unter dem Eis sollen etwa 90 Milliarden Barrel Öl und 50 Billionen Kubikmeter Gas lagern. Eine Ölbohrplattform von Gazprom namens Piraslomnaja liegt 60 Kilometer von dem russischen Festland entfernt. Hier taucht auch schon ein weiteres Problem auf, denn die Kapitäne müssen sich vom November bis zum Juni durch Eis kämpfen. Umweltschützer behaupten, Gazprom verwende zu alte Technik und hätte keine Erfahrung im Offshore-Business. Außerdem sorgen sie sich um die Folgen einer Ölpest. Sie würde dem empfindlichen Ökosystem gewaltig schaden.

Abbildung 11 Vorgeschlagene Sektorenaufteilung der Arktis Anfang des 20. Jhd.



7. Klimatische Folgen

Wenn das Meereis gänzlich abschmilzt, kann von fatalen Konsequenzen ausgegangen werden. Am Nordpol und am Südpol entstehen zirkumpolare Wirbel dadurch, dass aufgrund der niedrigen Temperaturen über den Polen Luftmassen absinken und es so zu einem Tiefdruckgebiet kommt. Die in dieses Tiefdruckgebiet einströmende Luft wird durch die Corioliskraft zu einem sich gegen den Uhrzeigersinn drehenden Wirbel umgelenkt: ein zirkumpolarer Wirbel. Dieser Wirbel verhindert weitgehend den Luftmassenaustausch zwischen den hohen und den niedrigeren Breiten. Dadurch wird der Einstrom warmer oder der Ausstrom kalter Luft blockiert. Durch eine vorliegende verringerte Meereisausdehnung kann die warme Luft mehr in das Polargebiet einströmen und die kalte Luft besser ausströmen. Durch die erhöhte Abgabe an Wärme vom Wasser zur Luftschwächt der Temperaturunterschied zwischen den polaren und den mittleren Breiten ab, weil durch weniger Eis das Meer stärker von der Sonneneinstrahlung erhitzt wird. So erfolgt eine Schwächung der Nordatlantischen Oszillation und des Polarjets. Jetzt können kalte Luftmassen aus den polaren Breiten bis in die mittleren vordringen. Dies kann für kältere und schneereichere Winter in Europa und den Vereinigten Staaten sorgen.

8. Folgen für den Eisbären

Der Eisbär ist eines der Opfer durch den Klimawandel, also das Abschmelzen des Meereises. Eine aktuelle Studie des WWF zeigt, dass Eisbären erhebliche Probleme durch den Mangel an Eis bekommen, weil sie lange Strecken schwimmen müssen. Hierbei stellt sich das Problem, dass sie bei zu langen Strecken vor Erschöpfung untergehen können. Außerdem kann es sein, dass bei der Mutter zu der Zeit Junge dabei sind und diese sind noch nicht so ausdauernd wie erwachsene Eisbären. Experten befürchten, dass der Bestand der Eisbären in den nächsten 45 Jahren um mindestens 30 Prozent zurückgehen wird. Auf der Roten Liste der International Union for Conservation of Nature wird der Eisbär seit 2006 als gefährdet eingestuft.

9. Schutzmaßnahmen gegen die globale Klimaerwärmung

Das sogenannte „Climate Engineering“, also Eingriffe in das bestehende Klimasystem, soll die Auswirkungen des anthropogen verursachten Klimawandels stoppen bzw. verringern. Es wurden schon viele Ideen zum Bekämpfen von klimatischen Problemen entwickelt, doch bisher hat sich noch keine Methode als nicht zu teuer, von der Gesellschaft anerkannt sowie als nicht nebenwirkungsfrei entpuppt. In diesem Abschnitt werden zwei ausgewählte Ideen vorgestellt.

9.1 Modifikation mariner Schichtwolken

Wolken spielen in unserem Klimasystem eine große Rolle. Einerseits haben sie im Wasserkreislauf eine wichtige Bestimmung und andererseits reflektieren sie Sonnenstrahlung, wobei gesagt werden muss, dass sie auch einen Treibhauseffekt bewirken, weil sie langwellige Strahlung absorbieren und je nach ihrer Temperatur diese wieder in alle Richtungen emittieren, also auch zurück auf die Erdoberfläche. Die Idee jetzt besteht darin, die Wolken mit Aerosolen zu säpfen%, indem man mit speziell konstruierten Schiffen Wasser aus dem Ozean saugt und anschließend in die Luft sprüht. Dabei entstehen Eis-Aerosole. Der Effekt von Aerosolen auf Wolken wäre folgender: Durch eine erhöhte Konzentration von Aerosolen nimmt eine Wolke mehr an Helligkeit zu, weil sie mehr Tröpfchen enthält, und eine Wolke mit mehr Tröpfchen ist erstens heller und zweitens auch noch größer, da eine Verteilung des Wassers auf mehr Tröpfchen die Tröpfchen kleiner macht und sich so die Fläche vergrößert. Die Wolke kann jetzt mehr Sonnenstrahlen reflektieren. Ein Problem bei dieser Methode ist, dass nur eine gewisse Region abgekühlt wird. Es müsste also in der genannten Region eine ziemlich starke Abkühlung erreicht werden, um den Treibhauseffekt auszugleichen. Dies könnte verheerende Konsequenzen für das regionale Klima und vielleicht auch für das des benachbarten Raumes haben. Ein weiteres Problem wäre, die nach J. Latham geschätzte Menge von enormen 23 m³ Seewasser pro Sekunde zu versprühen, dazu fehlt heutzutage die Technik.

9.2 Ozeandüngung

Bei der Ozeandüngung geht es darum, das Algenwachstum zu verstärken und somit vermehrt Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre zu entfernen. Algen nehmen während ihrer Blüte CO₂ auf, wenn sie absterben sinken sie auf den Meeresgrund und werden von anderen Lebewesen verzehrt. So dachte man, das CO₂ für viele Jahre im Nahrungskreislauf binden zu können.

Um die Algen zu düngen% werden Makronährstoffe wie Phosphor und Stickstoff oder auch Mikronährstoffe wie Eisen verwendet. Dies hängt davon ab, welche Nährstoffe das Phytoplankton zum Wachsen braucht.

10. Fazit

Das Meereis der Arktis ist auf eine ziemlich schiefe Bahn geraten, da es sich im Trend als abschmelzend erweist. Dies liegt an der Eis-Albedo-Rückkopplung, der Atmosphärischen Dynamik und an dem anthropogenen Treibhausausstoß. Gegenüber der jüngsten Vergangenheit ist es deutlich zurückgegangen, die Zukunftsprognosen der Klimamodelle berechnen eine eisfreie Arktis im Sommer schon Ende dieses Jahrhunderts und manche Forscher sagen eine eisfreie Arktis schon in den nächsten Jahren vorher. Wie man erkennen kann, weichen die Prognosen der Klimamodelle für Heutzutage merklich von der Realität ab, die Klimamodelle prognostizieren also nicht immer ganz einwandfrei. Trotzdem ist eine weiter andauernde Schmelze wahrscheinlich, wenn nicht die Treibhausgaskonzentration deutlich verringert wird. Dies könnte man eventuell mit Climate Engineering bewerkstelligen, allerdings bedarf es auf diesem Forschungsgebiet noch viel Arbeit und kluge Ideen. Eine große Gefahr entsteht, wenn ein Kipppunkt erreicht ist, so dass sich das Abschmelzen verselbstständigt.

Insgesamt würde eine Schmelze immense Folgen für das nordeuropäische Klima, wie zum Beispiel kältere Winter, und das empfindliche Ökosystem der Arktis haben. Viele Arten, wie zum Beispiel die Narwale, Eisbären und Mützenrobben, die vom Klimawandel am stärksten betroffenen Meeressäuger, würden ihren Lebensraum verlieren. Aber ein Abschmelzen hätte auch Vorteile für manche Tiere und Menschen. Einige Walarten, die unbedeckte Wasseroberflächen benötigen, würden so neue Lebensräume erschließen. Für den Menschen würde ein Abschmelzen kürzere Handelswege und einfachere Erschließung von Öl-, Gas- und anderen Ressourcenvorkommen bringen.

Ich bin der Ansicht, dass alle zusammen arbeiten sollten, um eine für die Menschen, die Arktis und die Tiere angemessene Lösung zu finden.

11. Internetquellen

Kasang, Dieter: sArktisches Meereis%o

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Arktisches_Meereis

Kasang, Dieter: sEis-Albedo-Rückkopplung%o

<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Eis-Albedo-R%C3%BCckkopplung>

Kasang, Dieter: sMeereis%o

<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Meereis>

Kasang, Dieter: sKryosphäre im Klimasystem%o

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Kryosph%C3%A4re_im_Klimasystem

Kasang, Dieter: sPazifische Dekaden Oszillation%

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Pazifische_Dekaden_Oszillation

Hassol, Susan Joy: sDie Auswirkung der Erwärmung; Was ist Meereis?%

http://www.meereisportal.de/de/meereiswissen/was_ist_meereis/

C. Haas: sAuf dünnen Eis? . Eisdickeänderungen im Nordpolarmeer%

http://www.meereisportal.de/de/meereiswissen/was_ist_meereis/veraenderungen_de_s_meereises/meereisdrift/

D.N. Thomas und G.S. Dieckmann: %Erozen Ocean: The floating world of pack ice+

http://www.meereisportal.de/de/meereiswissen/was_ist_meereis/entstehung_von_meereis/wachstum_von_meereis/einjaehrigen_und_mehrjaehrigen_eis/

Benjamin Borderging: sNeuseeland: Greenpeace-Aktivisten vor dritter Nacht auf Ölbohrschiff%

http://www.greenpeace.de/themen/oel/nachrichten/artikel/protest_gegen_zerstoe_rung_der_arktis/

Kurt Stenger: sRohstoffschatz unter dem auftauenden Eis: Öl- und Gaskonzerne aus aller Welt strecken die Hände nach der Nordpolregion aus%

<http://www.neues-deutschland.de/artikel/838114.rohstoffschatz-unter-dem-auftauenden-eis.html>

Autor unbekannt: sPolitischer Status der Arktis%

http://de.wikipedia.org/wiki/Politischer_Status_der_Arktis#SektorenI.C3.B6sung

Autor unbekannt: sModifikation mariner Schichtwolken%

<http://www.weather-modification-journal.de/modifikation-mariner-schichtwolken/>

Johannes und Martin Quaas: sModifikation mariner Schichtwolken%

http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Modifikation_mariner_Schichtwolken

Behrens, Martin: sClimate Engineering%

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Climate_Engineering

Autor unbekannt: sEisbär . Jäger in Gefahr%

<http://www.wwf.de/themen-projekte/bedrohte-tier-und-pflanzenarten/eisbaeren/sos-eisbaer/>

Tatjana Golowanowa: sGazprom hat mit Ölförderung in Arktis begonnen%

http://german.ruvr.ru/2013_12_23/Gasprom-hat-mit-Oelforderung-in-Arktis-begonnen-7796/

Asti Roesle: [Greenpeace-Aktivistinnen und -Aktivisten protestieren in Genf gegen Start der Arktis-Ölbohrungen durch Gazprom](http://www.greenpeace.org/switzerland/de/Uber-uns/Medienstelle/Medienmitteilungen/Greenpeace-Aktivistinnen-und--Aktivisten-protestieren-in-Genf-gegen-Start-der-Arktis-oelbohrungen-durch-Gazprom/)

<http://www.greenpeace.org/switzerland/de/Uber-uns/Medienstelle/Medienmitteilungen/Greenpeace-Aktivistinnen-und--Aktivisten-protestieren-in-Genf-gegen-Start-der-Arktis-oelbohrungen-durch-Gazprom/>

Autor unbekannt: [Rohstoffjagd: Russische Konzerne investieren in der Arktis Milliarden](http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/rosneft-und-gazprom-investieren-milliarden-in-der-arktis-a-857205.html)

<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/rosneft-und-gazprom-investieren-milliarden-in-der-arktis-a-857205.html>

Autor unbekannt: [Folgen der globalen Erwärmung in der Arktis](http://de.wikipedia.org/wiki/Folgen_der_globalen_Erw%C3%A4rmung_in_der_Arktis)

http://de.wikipedia.org/wiki/Folgen_der_globalen_Erw%C3%A4rmung_in_der_Arktis

12. Bilderverzeichnis

Titelblatt und Abb. 1:

Dirk Notz, MPI-M Hamburg

http://icdc.zmaw.de/seaicetype_shipobs_ant.html

Abbildung 2:

Experiment durchgeführt mit [Monash simple climate modell](http://mscm.dkrz.de) (mscm.dkrz.de)

Abbildung 3:

<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-seaicemin.html>

Abbildung 4:

Experiment durchgeführt mit dem NASA-Programm [Panoply](http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply)

<http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply>

Abbildung 5:

Experiment durchgeführt mit dem NASA-Programm [Panoply](http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply)

<http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply>

Abbildung 6:

Dirk Notz, Max-Planck-Institut für Meteorologie

Abbildung 7:

Eigene Darstellung (Dieter Kasang) nach [The National Snow and Ice Data Center: Sea Ice Index](#); temporäre Trends angelehnt an: J.C. Stroeve, et al. (2012): The Arctic's rapidly shrinking sea ice cover: a research synthesis, Climatic Change 110, 1005. 1027

Abbildung 8:

Experiment durchgeführt mit [Monash simple climate modell](http://mscm.dkrz.de) (mscm.dkrz.de)

Abbildung 9:

Dirk Notz, Max-Planck-Institut für Meteorologie

Abbildung 10:

Klimawiki: Druckverhältnisse, Strömungen und Wetterlagen bei einem positiven NAO-Index im Winter,

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Nao_positiv.jpg

Abbildung 11:

Wikimedia Commons: Nordpolarmeer Sektorenaufteilung

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nordpolarmeer_Sektorenaufteilung.svg

Creative commons 3.0