

Wie beeinflusst der Klimawandel das Leben des Eisbären?



Eisbär am Kap Churchill¹

Eine Seminararbeit von Svenja Hensel und Josefin Lewitz
Gymnasium Grootmoor

¹ Wikimedia Commons, Ansgar Walk, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polar_Bear_2004-11-15.jpg?uselang=de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Mögliche Einflussfaktoren für die Eisschmelze im Nordpolarmeer	3
2.1 Die Albedo	3
2.2 Der Polarwirbel	4
2.3 Arktische Oszillation (AO)	5
2.4 Nordatlantische Oszillation (NAO)	6
2.4 Pazifische Dekaden Oszillation (PDO)	7
2.5 Veränderung in der atmosphärischen Dynamik allgemein	8
2.6 Eisdrift	8
2.7 Temperaturanstieg	8
3. Über den Zustand des Eises im Nordpolarmeer	9
3.1 Ausdehnung des Meereises	9
3.2 Eisdicke	9
4. Rückblick in die Vergangenheit und Projektionen für die Zukunft	10
4.1 Vergleich Eisdicke	10
4.2 Vergleich Eisbedeckung	13
4.3 Temperaturdifferenz	15
5. Eisbär	18
6. Ausblick	20
7. Quellen	22

Die globale Klimaveränderung spielt eine entscheidende Rolle für das Leben des Eisbären. Schätzungen nach gibt es momentan zwischen 20.000 und 25.000 Eisbären in der Arktis, in der sich die klimatischen Veränderungen deutlich stärker auswirken als auf den Rest der Erde. Nach Aussage des IPCC Szenario A1B² wird sich der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre bis 2100 etwa verdoppeln. Voraussichtlich wird sich infolgedessen zwischen 2030 und 2050 das Eis der Arktis stark reduzieren und gegen 2100 oder früher im Sommer komplett abgeschmolzen sein. Zwischen 2060 und 2100 wird ausschließlich einjähriges Eis vorhanden sein. Das bedeutet, zu diesem Zeitpunkt wird die Arktis im Sommer schon eisfrei sein.

Welche Auswirkungen die Klimaveränderung auf das Verhalten des Eisbären hat, werden wir in der folgenden Arbeit erläutern.

2. Mögliche Einflussfaktoren für die Eisschmelze im Nordpolarmeer

Die im Folgenden präsentierten Faktoren beeinflussen die Ausdehnung des arktischen Meereises.

2.1 Die Albedo

Die Albedo ist das Maß für das Rückstrahlungsvermögen nicht selbst leuchtender Oberflächen in einer Skala von 0 bis 1. Sie wird durch den Quotienten aus reflektierter und einfallender Lichtmenge bestimmt. Je heller die Oberfläche, desto größer ist der Anteil an reflektierter Strahlung und umso höher ist die Albedo. Die Albedo ist einer der wichtigsten Bestandteile des globalen Strahlungshaushaltes.

Schnee und Eis haben eine sehr hohe Albedo von 0,9. Das Schmelzen des Meereises wurde durch den Temperaturanstieg in den letzten Jahren angestoßen. Das Abschmelzen des Arktis-Eises wird gegenwärtig als der erste nachweisliche Kipp-Punkt der globalen Erwärmung angesehen, d.h. als ein Prozess, der aufgrund seiner Eigendynamik nicht mehr umkehrbar ist³. Dies liegt unter anderem an der Eis-Albedo-Rückkopplung.

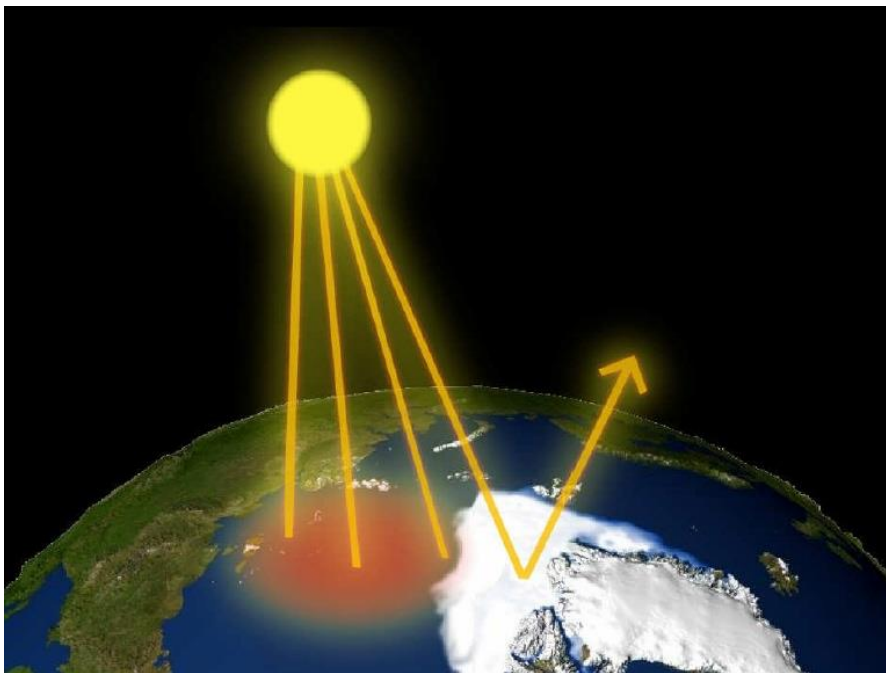
Eine reduzierte Eisfläche hat zur Folge, dass mehr Sonnenstrahlen von der Meeresoberfläche absorbiert werden. Wasser besitzt eine geringere Albedo (0,1) als Eis und reflektiert deshalb kaum Sonnenstrahlen, sondern absorbiert diese und wandelt sie in Wärmestrahlen um. Dadurch erwärmt sich nicht nur der arktische Ozean, sondern auch die darüber liegenden Luftschichten, wodurch weiteres Eis abschmilzt. Diesen Prozess nennt man positive Eis-Albedo-Rückkopplung, denn er verstärkt sich selbst und damit das Abschmelzen des Meereises im Allgemeinen.

² Dem A1B-Szenario liegt eine ausgewogene Energiequellennutzung zu Grunde. Unter ausgewogener Nutzung versteht man eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle (fossil und nicht fossil), wobei ein ähnliches Verbesserungspotential für alle Energieversorgungs- und überbrauchstechnologien angenommen wird.

³ Klimawiki: Eis-Albedo-Rückkopplung, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eis-Albedo-R%C3%BCckkopplung>; 03.05.2012

Durch die positive Eis-Albedo-Rückkopplung ist ein sich selbst antreibender Schmelzprozess entstanden, der laut dem Klimawiki Artikel Eis-Albedo-Rückkopplung nicht mehr umkehrbar ist.⁴

Auf der unten stehenden Grafik M 1 kennzeichnen die gelben Pfeile die Sonneneinstrahlung. Sie wird vom Eis zu ca. 90% zurück in die Atmosphäre reflektiert. Im roten Bereich wird die Sonnenstrahlung vom Meerwasser zu einem Anteil von ca. 90% absorbiert und in Wärmestrahlung umgewandelt.



M1 Schematische Darstellung der Eis-Albedo-Rückkopplung⁵

2.2 Der Polarwirbel

Einen weiteren möglichen Einflussfaktor bildet der Polarwirbel. Auf Grund der tiefen Temperaturen über dem Meereis sinken Luftmassen ab und in der Höhe über der Arktis entsteht ein Tiefdruckgebiet. Die aus südlicheren Gebieten einströmende Luft wird durch die Corioliskraft abgelenkt und in Rotation versetzt. Dadurch entsteht der Polarwirbel. Er ist über der Arktis weit schwächer ausgeprägt und damit instabiler als in der Antarktis, doch könnte er auch in der Arktis merkbare Veränderungen erzeugen. Der Polarwirbel verhindert den Luftaustausch mit den mittleren Breiten. Dadurch können weder warme Luftmassen in die Polarregionen noch kalte aus ihnen gelangen.

Da die Eisausdehnung sich in den letzten Jahren deutlich reduziert hat, kann das Meerwasser immer mehr Sonnenstrahlung aufnehmen und in Wärmestrahlung umwandeln. Das Nordpolarmeer gibt die Wärmestrahlung dann in den folgenden Monaten an die Atmosphäre ab und erwärmt sie, wodurch der Polarwirbel abgeschwächt wird. In Folge der höheren Temperatur mindert sich der Temperaturgegensatz zu den mittleren Breiten und die Nordatlantische Oszillation wird ebenfalls abgeschwächt. Dadurch können Kaltluftmassen aus

⁴ Klimawiki: Eis-Albedo-Rückkopplung, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eis-Albedo-R%C3%BCckkopplung>; 03.05.2012

⁵ <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/Eis-Albedo3.jpg>; Biold: Dirk Notz, MPI-M; 19.05.2012

dem arktischen Kerngebiet bis in die mittleren Breiten vordringen und Warmluft bis in das Polargebiet. Folglich wären die mittleren Breiten kälteren Temperaturen ausgesetzt und das arktische Kerngebiet würde sich erwärmen.

2.3 Arktische Oszillation (AO)

Die Arktische Oszillation ist eine großräumige Schwingung der Atmosphäre, die durch entgegengesetzte Luftdruckanomalien in der Arktis und in Teilen der mittleren Breiten gekennzeichnet ist. Eine verstärkte Zonalzirkulation findet sich in der positiven Phase, d.h. bei niedrigem Luftdruck in der Arktis und hohem Luftdruck in den mittleren Breiten umgekehrt sind die Verhältnisse bei einem negativen Index. In den Wintermonaten ist die AO am stärksten ausgeprägt.

Positiver Index:

Mit verstärkter Westströmung werden warmfeuchte maritime Luftmassen aus dem Atlantik in das nördliche Eurasien und in die östliche Arktis transportiert; gleichzeitig werden über dem östlichen Kanada und Grönland kalte und trockene Luftmassen nach Süden herangeführt.

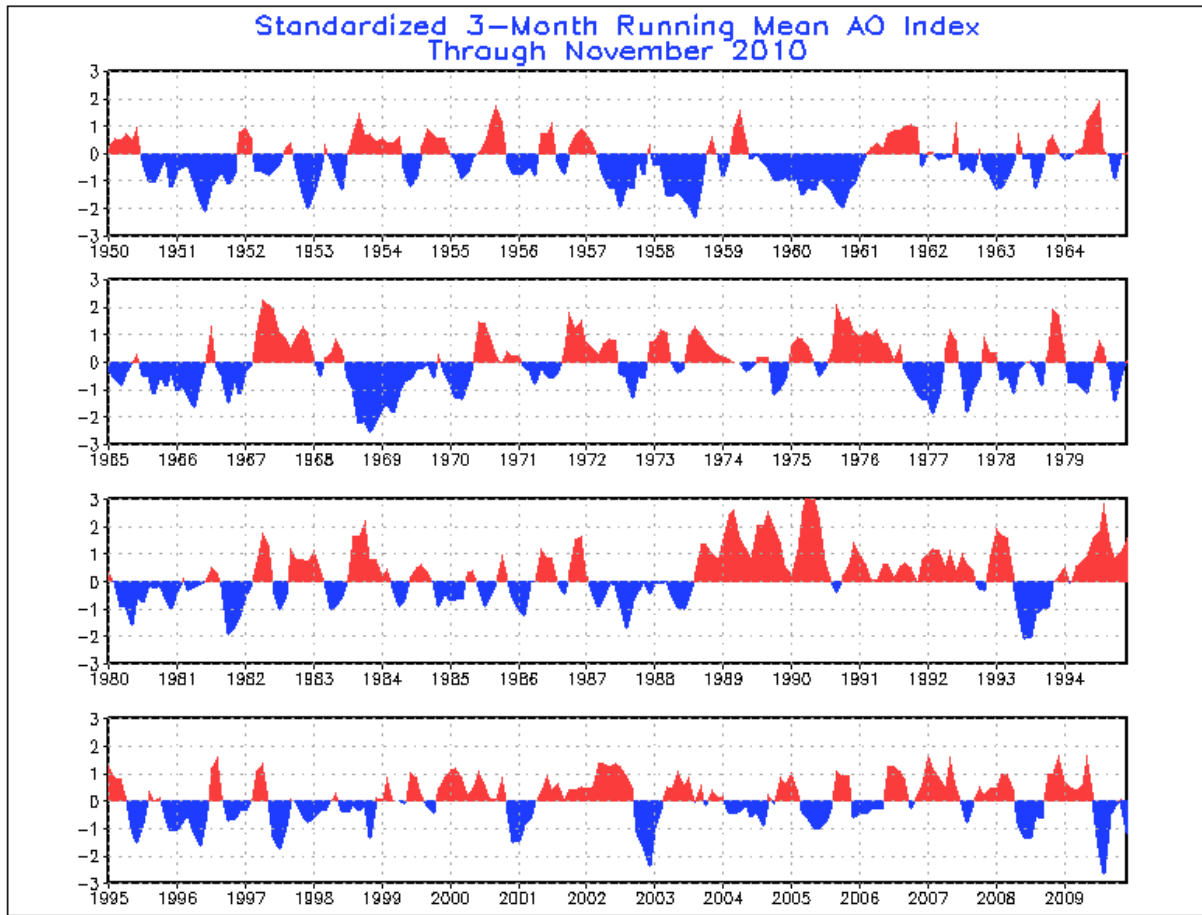
Negativer Index:

Häufiger Transport kalter arktischer Luftmassen nach Süden⁶

Zwischen 1988 und 1995 dominierte eine stark positive Phase der Arktischen Oszillation (s. M 2). Dadurch wurden nicht nur warme Luftmassen aus dem Atlantik in die östliche Arktis transportiert, sondern durch den niedrigen Luftdruck in der Arktis könnten auch warme Luftmassen aus den mittleren Breiten (Hochdruckgebiet) in das arktische Kerngebiet eingedrungen sein. Die durch die Arktische Oszillation angetriebenen Winde trugen zudem viel Packeis durch die Framstraße in den Nordatlantik. Dort schmolzen die Eismassen ab.

Die Arktische Oszillation pendelte sich nach dieser Zeit wieder ein, doch das Eis schmolz weiter. Daher ist es realistisch, dass die positive Phase der Arktischen Oszillation nur ein Anstoß für weitere Schmelzprozesse war.

⁶ Darstellung nach: Bareiss, J., K. Gørgen und A. Helbig: Arktisches Meereis ó Ursachen der Variabilität und Trends in den vergangenen 30 Jahren. In: Warnsignale aus den Polarregionen, Dr. José L. Lozán, Prof. Dr. Peter Hupfer, PD Dr. Dieter Piepenburg, Prof. Dr. Hartmut Graßl, Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten, Dr. Ludwig Karbe; Wissenschaftliche Auswertung; 2006; Seite 218-225



M2 Grafik zeigt den AO-Index im Zeitraum 1950 bis 2009⁷

2.4 Nordatlantische Oszillation (NAO)

Unter der Nordatlantischen Oszillation versteht man die Schwankungen des Luftdruck-Gegensatzes zwischen dem Azorenhoch im Süden und dem Islandtief im Norden des Nordatlantiks. Die NAO ist damit ein regionaler Teil der AO. Im nordatlantischen Raum ist die NAO das dominierende Muster der winterlichen Klimavariabilität. Die NAO beeinflusst entscheidend Wetter- und Klimaschwankungen über dem östlichen Nordamerika, dem Nordatlantik und Europa.

Ist der Luftdruckgegensatz zwischen dem Azorenhoch im Süden und dem Islandtief im Norden durch einen sehr tiefen Druck über Island und einen sehr hohen Druck über den Azoren höher als im Mittel, spricht man von einem *positiven NAO-Index*.

Über dem Nordatlantik zwischen 40° und 60° nördlicher Breite gibt es dann eine starke Westwindzirkulation, die für milde Winter und reichliche Niederschläge über Europa bis nach Sibirien und an der amerikanischen Ostküste sorgt, während über dem Mittelmeerraum bis in den vorderen Orient Trockenheit und relativ kalte Winter herrschen.

⁷ Climate Prediction Center: Monthly Mean Arctic Oscillation,
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/month_ao_index.shtml

Bei einem *negativen NAO-Index* ist der Druckgegensatz zwischen Island-Tief und Azoren-Hoch deutlich abgeschwächt, die Westwinde sind schwächer und bescheren dem Mittelmeerraum relativ milde und feuchte Winter, während es über Europa und an der amerikanischen Ostküste kalt und trocken ist. Dabei ist die Situation in Europa mit einer blockierenden Wetterlage (einem stationären Hoch) von Osteuropa bis nach Mittel- und Westeuropa verbunden.⁸

Bei einem positiven NAO-Index herrscht, wie auch bei der Arktischen Oszillation, eine verstärkte Westwindzirkulation, die zu dem Transport warmer Luftmassen über dem Atlantik in die östliche Arktis führen kann. Dadurch würde die Temperatur erhöht werden und zum Schmelzprozess beitragen.

2.5 Pazifische Dekaden Oszillation (PDO)

Die Pazifische Dekaden Oszillation beschreibt die „Schwingung der Atmosphäre, die durch entgegengesetzte Temperaturanomalien zwischen den mittleren und hohen Breiten im Pazifik gekennzeichnet ist. Verstärkte Zonalzirkulation in positiver Phase, d.h. hohe Meeresoberflächentemperaturen (SST) in den niederen Breiten und niedrige SST im westlichen Nordpazifik. (Intensivierung des Aleutentiefs); umgekehrte Verhältnisse bei negativem Index.

Positiver Index:

Mit verstärkter Westströmung werden vor dem Aleutentief warmfeuchte maritime Luftmassen aus dem Pazifik nach Alaska und in die Beaufortsee transportiert.

Negativer Index:

Häufiger Transport relativ warmer pazifischer Luftmassen nach Ostsibirien.⁹

Die negative, wie auch die positive Phase der Pazifischen Dekaden Oszillation haben negative Einflüsse auf das Schmelzen des Meereises im arktischen Gebiet. Während einer positiven Phase würden die nach Alaska und in die Beaufortsee transportierten warmen Luftmassen die Lufttemperatur erhöhen und zur Eisschmelze beitragen. Außerdem könnte sich der Beaufortwirbel verstärken.

Während einer negativen Phase der Pazifischen Dekaden Oszillation würde die Temperatur lediglich in einem anderen Bereich nahe der Arktis erhöht werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Erhöhung der Temperatur Ostsibiriens auch einen Einfluss auf das Eis in der Ostsibirischen See haben kann.

2.6 Veränderung in der atmosphärischen Dynamik allgemein

⁸ Darstellung nach Klimawiki: Nordatlantische Oszillation;

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Nordatlantische_Oszillation#cite_note-2

⁹ Bareiss, J., K. Gørgen und A. Helbig: Arktisches Meereis ó Ursachen der Variabilität und Trends in den vergangenen 30 Jahren. In: Warnsignale aus den Polarregionen; Dr. José L. Lozán, Prof. Dr. Peter Hupfer, PD Dr. Dieter Piepenburg, Prof. Dr. Hartmut Graßl, Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten, Dr. Ludwig Karbe; Wissenschaftliche Auswertung; 2006; Seite 218-225

Eine positive Arktische Oszillation und eine positive Nordatlantische Oszillation in Zusammenspiel mit einer negativen Phase der Pazifischen Dekaden Oszillation hätten bewirkt, dass sich der Beaufort-Wirbel, eine Eisdrift nördlich der Küste von Alaska, abschwächte und die Zyklone zunehmend in arktische Kerngebiete eindrang. Dadurch nahm der Eistransport vom Arktischen Ozean in den Nordatlantik zu. Zudem könnte auch der Strom wärmeren Wassers aus dem Atlantik in den Arktischen Ozean mit den Änderungen der atmosphärischen Dynamik zusammenhängen. In den letzten Jahren haben sich die Veränderungen in den Oszillationen zwar normalisiert, doch das Eis schmilzt weiter.

Diese Erkenntnisse erhärten den Verdacht, dass das Abschmelzen in der Arktis eine Eigendynamik entwickelt hat und auch mit der Normalisierung der Oszillationen nicht mehr aufzuhalten ist. Daher ist es wahrscheinlich, dass der jüngste Rückzug des Eises (ist) nicht mehr primär auf den externen Antrieb zurückzuführen ist, sondern auf die Wirkung der Eis-Albedo-Rückkopplung.¹⁰

2.7 Eisdrift

Charakteristisch für die Dicke des Eises in der Arktis ist ihre hohe Variabilität. Auf kürzesten Entfernungen kann das Eis sehr unterschiedliche Dicken aufweisen, von wenigen Dezimetern bis hin zu einigen Metern. Dieses Phänomen lässt sich durch zwei große Driftsysteme erklären: im Beaufortwirbel nördlich von Alaska, bewegt sich das Eis im Uhrzeigersinn, dadurch wird das Eis nach und nach in den Transpolarstrom geschleust, der es über den Nordpol in die Framstraße transportiert, wo es dann schließlich in der Grönlandsee abschmilzt. Dabei wird das Eis gegen die Küsten von Grönland und Kanada gedrückt und verdickt sich nach und nach, während vor der Küste Sibiriens durch den Transpolarstrom das Eis abgetragen wird.

Durch Veränderungen der Wind- oder Ozeanzirkulation können somit auch die Verteilungsverhältnisse des Eises und damit der Dicke stark verändert werden, was wiederum Einfluss auf das gesamte Ökosystem hat.

2.8 Temperaturanstieg

Wie auch schon oben im Text aufgeführt, kann nicht alleine der anthropogene Temperaturanstieg, verursacht durch den anthropogenen Treibhauseffekt, Ursache für die arktische Eisschmelze sein. Doch er spielt eine zentrale Rolle. Die CO₂-Emission wiederum könnte eine entscheidende Rolle für den Temperaturanstieg spielen was jedoch nicht endgültig bewiesen ist. Dirk Notz und Jochem Marotzke vom Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg veröffentlichten Anfang dieses Jahres eine Ausarbeitung unter dem Titel 'Observations reveal external driver for Arctic sea-ice retreat',¹¹ die sich mit dem Grund der Meereisschmelze in der Arktis beschäftigt. Sie kommen zu dem Schluss, dass es am wahrscheinlichsten ist, dass der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre dafür verantwortlich ist. Als Gründe für Klimaänderungen werden unter anderem auch die schwankende Strahlungsintensität der Sonne und Vulkanausbrüche gesehen, die nicht auf den Menschen

¹⁰ Klimawiki: Meereis, <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Meereis>; 2.4.3 Atmosphärische Dynamik, 03.05.2012

¹¹ Notz, D. and J. Marotzke, 2012: Observations reveal external driver for Arctic sea-ice retreat, Geophys. Res. Lett., 39, L08502, [doi:10.1029/2012GL051094](https://doi.org/10.1029/2012GL051094)

zurückzuführen sind. Dies ist einer der Gründe, warum die Einflussfaktoren rein hypothetisch behandelt werden. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass die Meereisschmelze ein natürlicher Prozess und in ein paar Jahren vorüber ist. Deshalb sollte man auch die nachfolgenden Klimakarten vorsichtig behandeln, da sie auf der Basis des Einflusses der CO₂-Emission erstellt wurden. Obwohl die Klimaszenarien der IPCC hypothetischen Ursprungs sind und nicht alle Prozesse mit einbezogen wurden, ist die Wahrscheinlichkeit ihrer Richtigkeit relativ hoch.

3. Über den Zustand des Eises im Nordpolarmeer

3.1 Ausdehnung des Meereises

Meereis entsteht durch das Gefrieren von Meerwasser bei einer Wassertemperatur von höchstens -1,8°C. Eisbildung durch Gefrieren von Wasser wird auch als thermodynamisches Wachstum bezeichnet. Dabei gefriert nur das Wasser, sodass sich der Salzgehalt im Wasser erhöht. Anders als Wasser reagiert Meereis unmittelbar auf Temperaturschwankungen und ist deshalb ein guter Indikator dafür. Taut das Meereis auf, so verringert sich die Salzkonzentration und das Nordpolarmeer wird süßer.

Das sommerliche Minimum, das im September gemessen wird, schrumpft momentan mit 8% pro Jahrzehnt. Im Jahr 2007 wurde die bisher geringste Eisbedeckung in der Arktis aufgezeichnet. Lediglich 4,14 Millionen km² der Arktis waren mit Eis bedeckt. Gegenüber dem Mittelwert aus 1979-2010 sind rund 2 Millionen km² Eisfläche verloren gegangen, die Hälfte der noch verbleibenden Eisfläche.

3.2 Eisdicke

Durch die derzeitigen Klimabedingungen ist das Nordpolarmeer an einigen Stellen nur noch von einer dünnen Eisschicht überzogen. Dadurch lässt sich die Eisschicht durch Wind oder Strömungen leicht verschieben, und das Eis wird unterschiedlich dick geschichtet (s. auch Eisdrift).

Durch die Klimaveränderung hat sich die Eisdicke an vielen Stellen so stark reduziert, dass das Eis dort über den Sommer komplett abschmilzt. Im Winter friert ein Teil dieser Flächen wieder zu und bildet das einjährige Eis. Die Eisbereiche, die den Sommer überstanden haben und damit mindestens zwei Winter überdauern, werden mehrjähriges Eis genannt.

In den 1980er Jahren waren 38% einjähriges Eis und 62% mehrjähriges Eis, davon 30,5% fünf oder mehr Jahre alt. Älteres Eis ist dicker und somit widerstandsfähiger gegenüber der Eisschmelze im Sommer.

1996 hatte das einjährige Eis um 52% zugenommen. Das bedeutet, die Fläche des Eises, die über die Sommermonate abschmilzt, war auf das Eineinhalbfache des Wertes aus den Achtzigern angewachsen. Das Eis, das älter war als fünf Jahre, hatte zudem um 18% abgenommen. Dies resultierte möglicherweise aus der Arktischen Oszillation, die von 1980 bis 1990 stark zugenommen hat. Die dadurch angetriebenen Winde trieben viel dickes Meereis durch die Framstraße in den Nordatlantik, wo es abschmolz. Ab 1995 ist die Arktische Oszillation wieder abgeschwächt, doch weiterhin nimmt das einjährige Eis zu.

Im Frühling 2008 waren schon 72% des Eises einjährig. Dies resultierte aus der extremen Eis-Albedo-Rückkopplung im Jahre 2007 aufgrund des September-Minimums. Im Mittel überlebten in diesem Jahr nur 40% des einjährigen - und 80% des mehrjährigen Eises die Schmelzsaison im Sommer. Im September 2008 waren nur noch 16% des einjährigen Eises übrig.¹²

Durch das Abschmelzen des Meereises verringerte sich die Albedo enorm und in einigen Regionen des oberen Ozeans wurde 2007 fünfmal mehr solare Energie absorbiert als durchschnittlich zwischen 1979-2005. Im Frühling 2010 wurde das Rekordminimum für älter als fünf Jahre altes Eis erreicht.

4. Rückblick in die Vergangenheit und Projektionen für die Zukunft

4.1 Vergleich Eisdicke

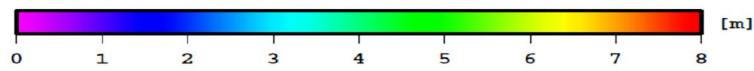
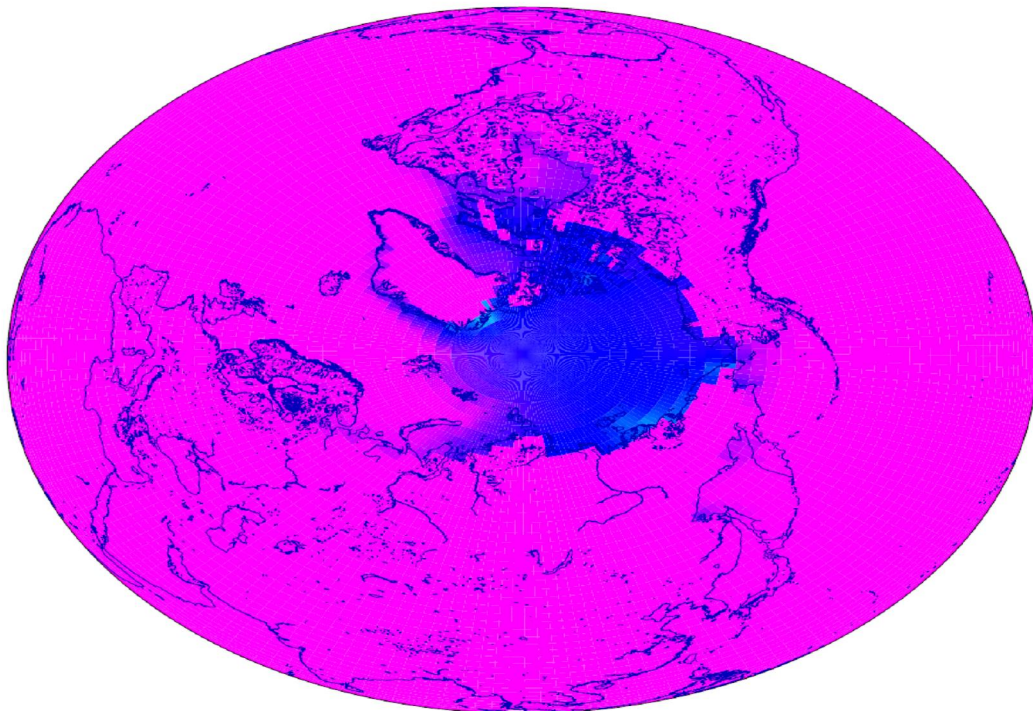
In Material 3 werden die Durchschnittswerte der Eisdicke der Jahre 2071 bis 2100 nach dem Szenario A1B im Frühling dargestellt.

Bis auf kleinere Bereiche an der Nordküste Grönlands und in der Ostsibirischen See ist das Meereis zwischen 0,5 m und 2 m dick. Dieser Bereich erstreckt sich über das gesamte Nordpolarmeer, Teile der Grönlandsee, den kanadischen Archipel, die Baffin Bai, die Hudson Bai, kleinere Teile des Beringmeers und der Karasee. Sehr dünne Eisschichten von nur einem knappen halben Meter Dicke befinden sich in Teilen des Ochotskischen Meers.

Dickere Eisschichten von 3 m bis 3,5 m Dicke befinden sich an der Nordküste Grönlands und in der Ostsibirischen See.

¹² Klimawiki: Meereis, <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Meereis>

Eisdicke 2071-2100 MAM A1B



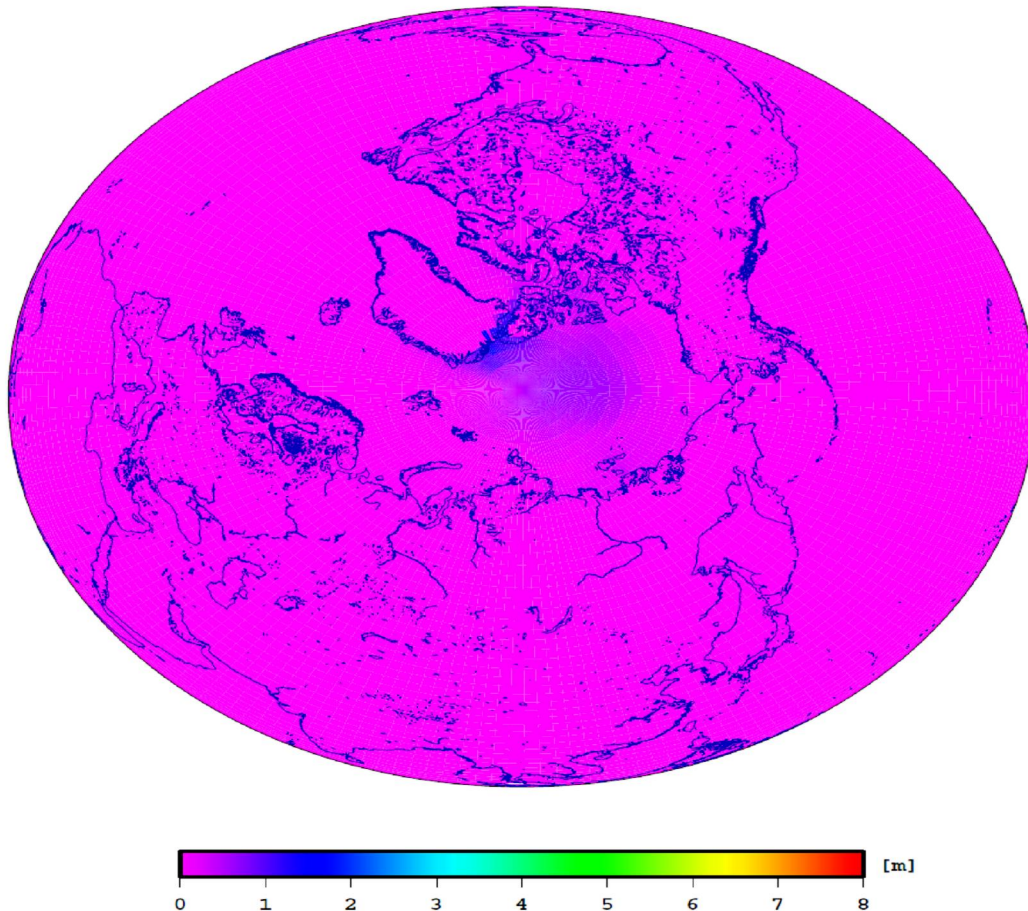
GM 2012 Apr 27 21:18:22 Anastasia Tatarinova

M3 Eisdicke 2071 bis 2100 Frühling nach A1B

In Material 4 befinden sich dieselben Werte, wie auf der vorherigen Karte für die Jahreszeit Herbst.

Der zentrale Teil des Nordpolarmeers hat eine Eisdicke von nur einem halben bis zu einem Meter und reicht kaum an die Küste. Lediglich die Gebiete nördlich von Grönland weisen eine Dicke von ca. 1,5 m auf.

Eisdicke 2071-2100 SON A1B



GMD 2012 Apr 27 21:19:49 Anastasia Tatarinova

M4 Eisdicke 2071 bis 2100 Herbst nach A1B

Vergleicht man die beiden Karten, kann man Rückschlüsse über das Verhältnis von einjährigem und mehrjährigem Eis finden.

Das Eis, das den Sommer überstanden hat, wird in der zweiten Klimakarte aus dem Herbst dargestellt. Dieses bildet das mehrjährige Eis, denn es wird noch mindestens eine weitere Wintersaison überstehen. Die Differenz aus der ersten und der zweiten Karte bildet das Eis, welches über den Sommer vollständig abgeschmolzen ist und damit das einjährige Eis bildet, welches nur einen Winter überstanden hat.

Vergleicht man die Flächen des einjährigen und mehrjährigen Eises, ist deutlich zu sehen, dass das einjährige Eis ca. 75% - 80% ausmacht. Das bedeutet, dass nur wenig Eis im Sommer zur Verfügung steht, welches zudem sehr dünn ist.

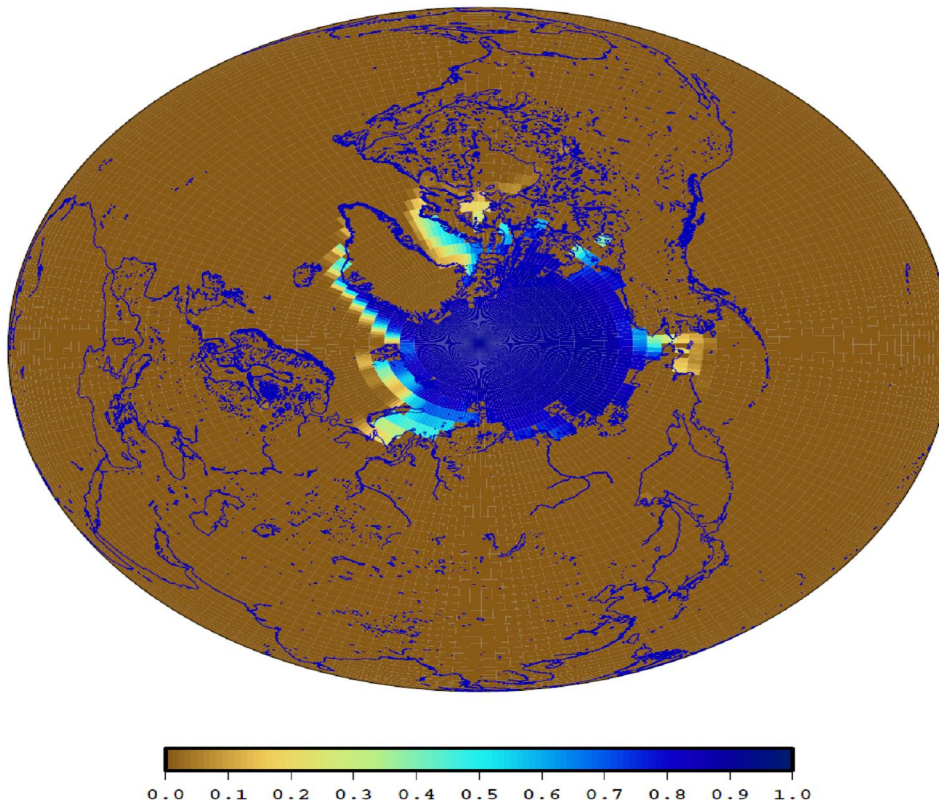
4.2 Vergleich Eisbedeckung


In Material 5 ist der Anteil der Eisbedeckung im Durchschnittswert der Jahre 1961-1990 im Herbst zu erkennen.

Eine 100 %ige Eisbedeckung befindet sich im Nordpolarmeer, der Ostsibirischen See, der Laptewsee, der Beaufort See, über den kanadischen Archipel bis hin zu Teilen der grönländischen Ostküste und Nordküste von Spitzbergen.

40 bis 65% Eisbedeckung befindet sich östlich von Spitzbergen sowie in der Karasee und dem Übergang zwischen Ostsibirischer See und der Beringstraße. Außerdem liegt ein Bereich an der Westküste der Baffininseln und kleinere Gebiete östlich der Baffininseln, in der Beaufort See und östlich der vollständigen Eisbedeckung an der Ostküste Grönlands. Niedrigere Eisbedeckungswerte findet man nur in kleineren Bereichen an den Eisausläufen, an denen die vollständige Eisbedeckung nicht bis an die Küste reicht.

Anteil der Eisbedeckung 1961-1990 SON



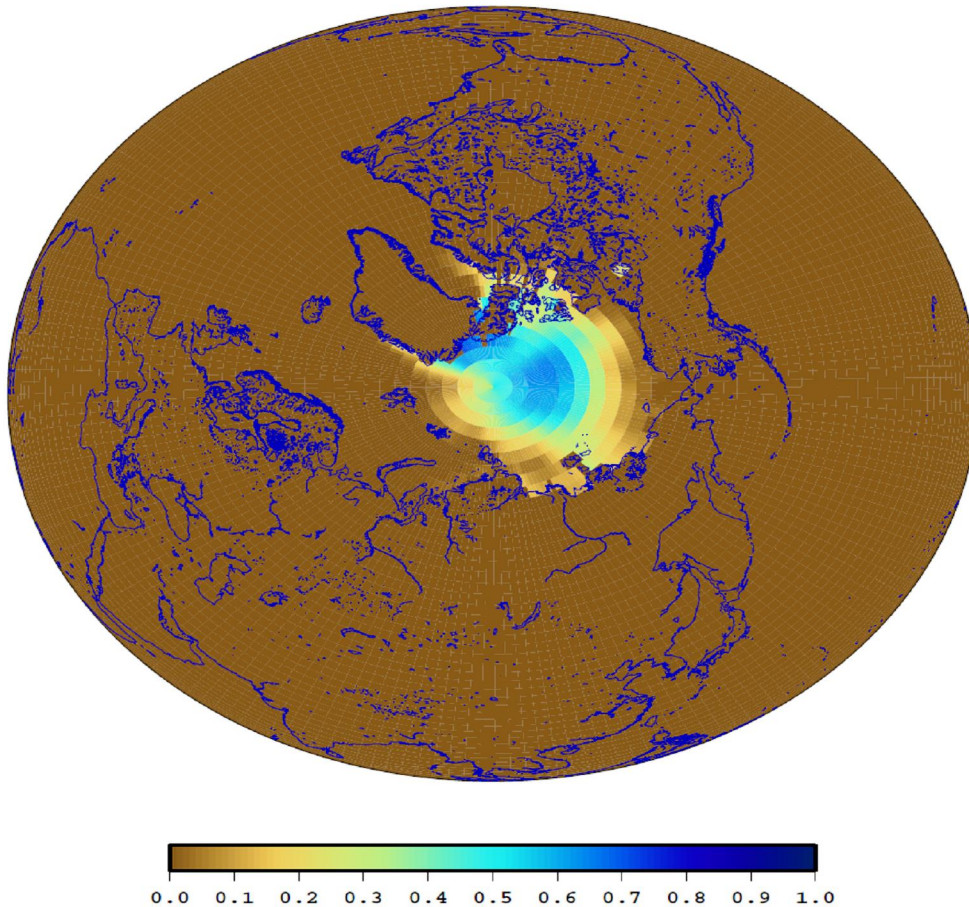
 2012 Apr 26 17:50:21 Anastasia Tatarinova

M5 Anteil der Eisbedeckung 1961 bis 1990 Herbst

In Material 6 wird der Eisbedeckungsanteil in Durchschnittswerten der Jahre 2071-2100 im Herbst nach dem Klimamodell A1B dargestellt.

Gleich zu Beginn ist festzustellen, dass keine Fläche in der Arktis mehr vollständig mit Eis bedeckt ist. Die höchste Eisbedeckung liegt bei 65% in der Zentralarktis und der Nordküste Grönlands. Um dieses Gebiet herum befindet sich ein Eisbedeckungsanteil von 40-50%, der z.T. bis an die Küste des kanadischen Archipels heranreicht.

Anteil der Eisbedeckung 2071–2100 SON A1B



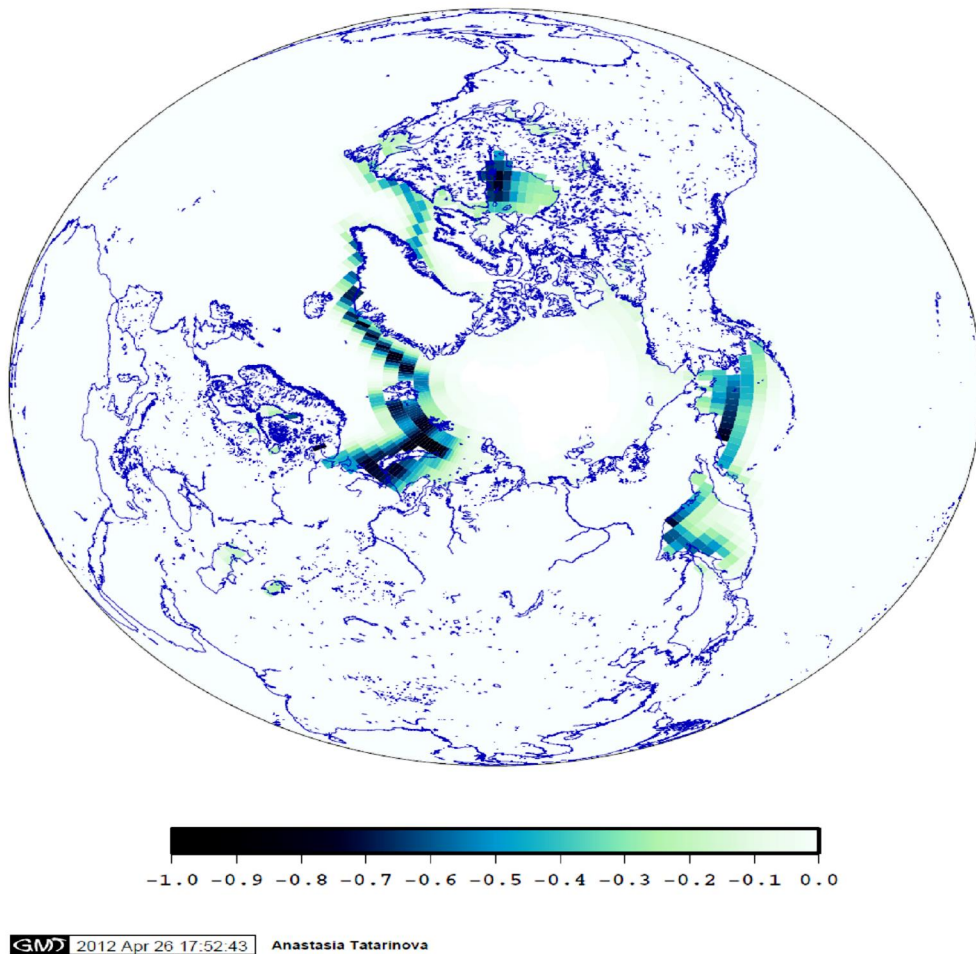
GM 2012 Apr 26 17:50:44 Anastasia Tatarinova

M6 Anteil der Eisbedeckung 2071 bis 2100 Herbst nach A1B

Die Randbereiche der Eisfläche weisen einen Bedeckungsanteil von nur 10-20% auf. Sie liegen nördlich von Spitzbergen, über die Laptew- und Ostsibirische See bis hin zum kanadischen Archipel. Knapp die Hälfte der Küsten um das Nordpolarmeer herum ist eisfrei, und es ist deutlich zu erkennen, dass sich das gesamte Eis zum Pol hin verlagert hat.

Vergleicht man die beiden Karten, wird der Rückgang des Eises deutlich. Vollständige Eisbedeckung wird nach dem Klimamodell A1B nicht mehr vorhanden sein. Außerdem sind die Bereiche östlich von Grönland und in der Barents- und Karasee komplett eisfrei. So auch Teile der Ostsibirischen See, die Beringstraße und der Bereich östlich der Baffininseln. Im gesamten zentralarktischen Nordpolarmeer ist die Eisbedeckung auf mindestens 65% gesunken, wobei die größten verbliebenen Teile nur 20-50%ig bedeckt sind. In Kombination von Eisdicke und Eisfläche ist eine deutliche Reduktion des Eisvolumens zu verzeichnen.

Anteil der Eisbedeckung Differenz MAM



M7 Anteil der Eisbedeckung Differenz 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100 Frühling

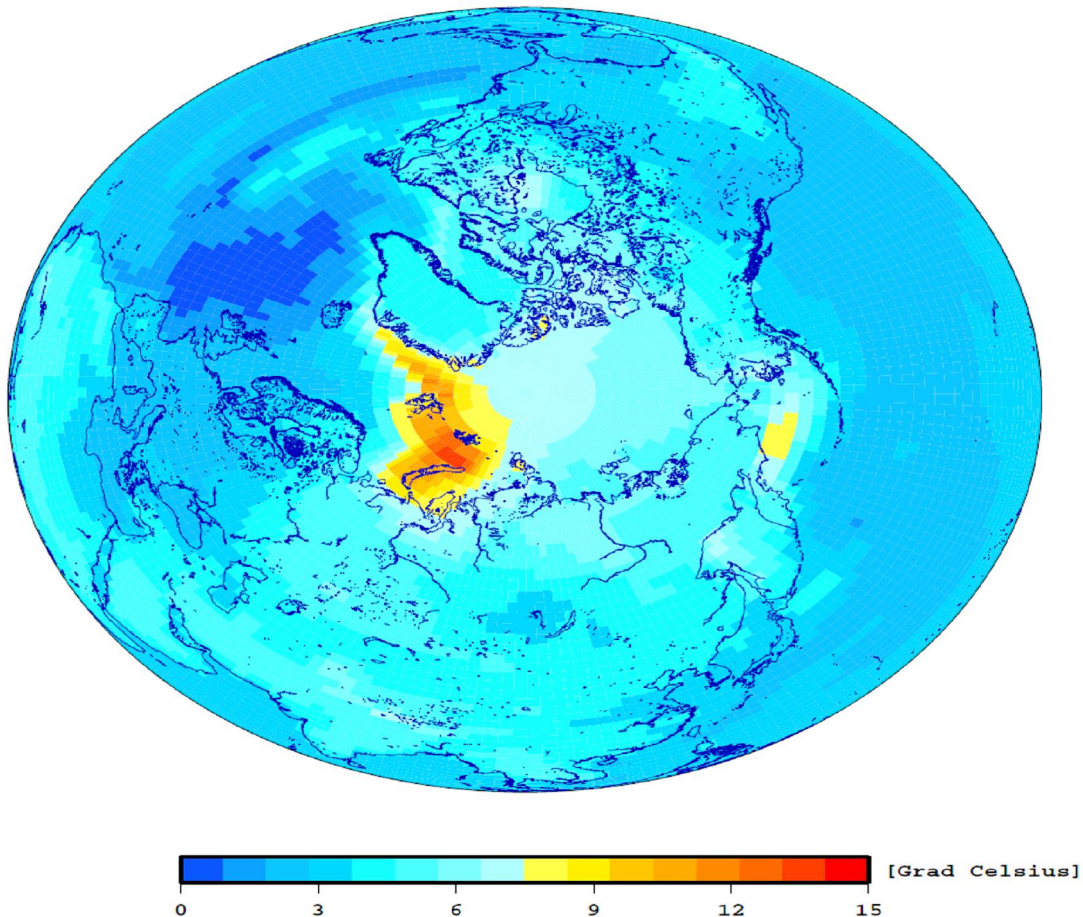
In Material 7 kann man erkennen, dass sich die Eisbedeckung auch im Frühling reduzieren wird. Dies lässt darauf schließen, dass sich die Schmelzperiode nicht nur zeitlich verschoben hat.

4.3 Temperaturdifferenz

Material 8 zeigt die Lufttemperaturdifferenz der Arktis aus den Jahren 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100 im Frühling, gemessen in einer Höhe von zwei Metern. Es ist zu erkennen, dass über dem Nordpolarmeer die Lufttemperaturerhöhungen zwischen 6°C und 7°C liegen. Die Bereiche 7°C Temperaturerhöhung befinden sich um den geographischen Nordpol. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Temperaturerhöhungen über dem Beringmeer in der Nähe von Russlands Küste teilweise bis zu 8°C erreichen. Des Weiteren sind Werte von 8°C in der Nähe der Ellesmere-Insel und der Inselgruppe Sewernaja Semlja zu verzeichnen. Besonders

auffällig in dieser Grafik stellt sich der Bereich zwischen Grönland und Russland dar. Über der Grönlandsee und an der Küste Russlands werden Temperaturerhöhungen von 9°C sichtbar. Um Spitzbergen und die Insel Nowaja Semlja werden Werte zwischen 10°C und 13°C erreicht und am nördlichen Zipfel von Nowaja Semlja bis zu 15°C.

Lufttemperatur in 2m Differenz MAM



GM 2012 Apr 26 18:01:11 Anastasia Tatarinova

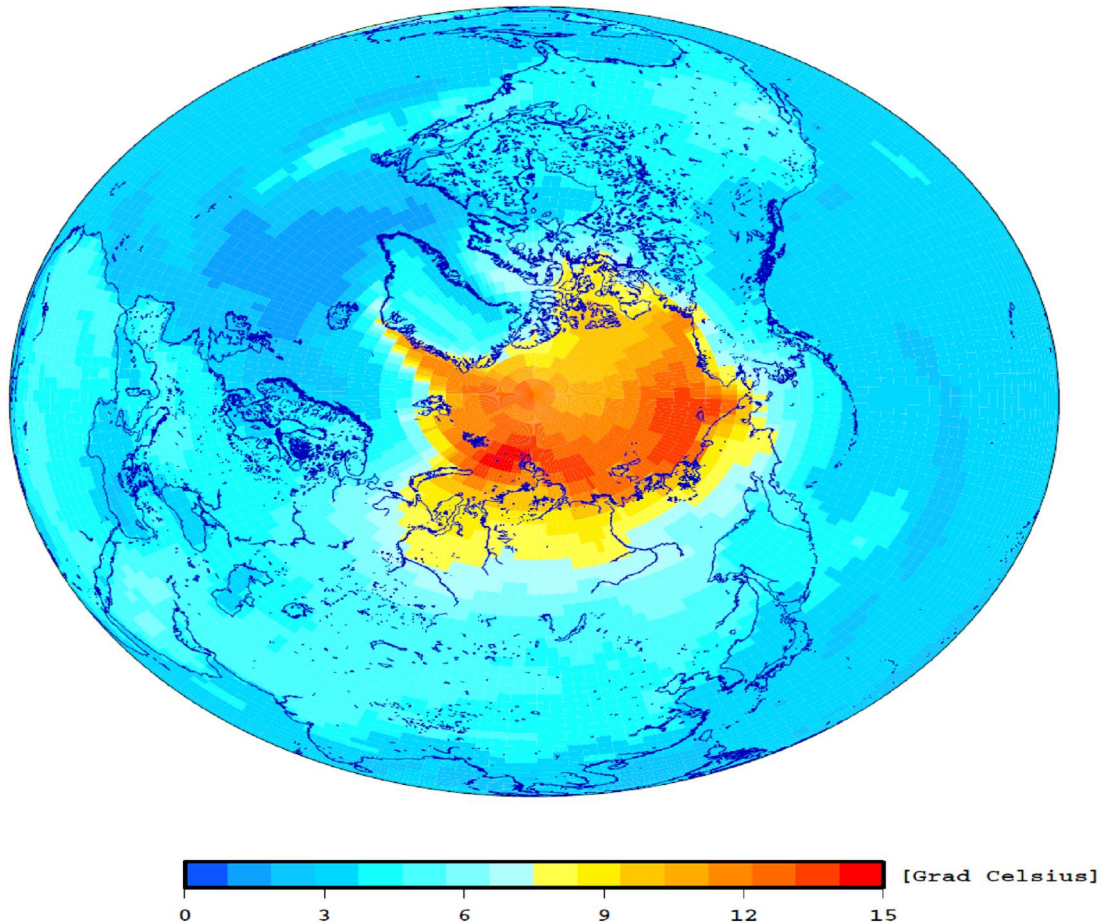
M8 Lufttemperaturdifferenz der Jahre 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100 Frühling

Material 9 zeigt die Arktis und die Lufttemperaturdifferenz der Jahre 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100 im Herbst, gemessen in einer Höhe von zwei Meter. Man kann deutlich erkennen, dass die Differenzwerte noch höher als im Frühling ausfallen. Die höchsten Werte befinden sich über der Grenze zwischen der Kara- und der Laptewsee und über der Ostsibirischen See. Dabei handelt es sich um Lufttemperaturerhöhungen von 14°C bis 15°C.

Über der Beaufortsee, den Neusibirischen Inseln, der Grönlandsee und einem Teil des Nordpolarmeers sind Differenzwerte von 12°C bis 13°C zu erkennen. Über dem Rest des Nordpolarmeers, sowie über Russlands und Kanadas Küste liegen die Werte bei 8°C bis 11°C.

Über Grönland, Skandinavien, Russland und Kanada bewegen sich die Temperaturzunahmen zwischen 3°C und 7°C.

Lufttemperatur in 2m Differenz SON



M9 Lufttemperaturdifferenz der Jahre 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100 Herbst

Aufgrund dieser beiden Karten kann man davon ausgehen, dass ein deutlicher Temperaturanstieg in der Arktis stattfinden wird. Da alleine in den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst die Temperatur um bis zu 15°C steigen wird, ist davon auszugehen, dass der Winter gegenüber dem Sommer an Kraft verliert.

Wenn es schon im Frühjahr sehr warm wird und bis in den Herbst warm bleibt, vermindert sich die Zeitspanne über den Winter, in dem neues Eis entstehen kann.

5. Eisbär

Der Eisbär (*Ursus maritimus*) oder auch Polarbär ist das größte fleischfressende Landsäugetier der Erde. Der Lebensraum der Eisbären liegt auf vereisten Gewässern der vereinigten Staaten, Kanadas, Grönlands, Norwegens, Russlands und Alaskas, dabei die meisten an der Nordküste. Seltener kommen die Bären bisher in der Zentralarktis vor. Sie bevorzugen die Randbereiche der polaren Eismassen, da die Meeresströmungen das Eis brechen und offene Wasserstellen, sogenannte Polinjes, entstehen. Hier sind ganzjährig Robben anzutreffen. Hocharktische Bären leben meistens das ganze Jahr lang auf dem Meereis und ziehen mit ihm im Sommer, wenn die Küstenbereiche tauen, gen Nordpol.

Die Reviere können bis zu 300.000 km² groß sein. Um ihr Jagdgebiet zu vergrößern, nutzen Eisbären Eisschollen und Strömungen als Mitfahrgelegenheiten, um an Land zu kommen. Das Gewicht des Eisbären variiert je nach Jahreszeit zwischen 500 und 800 kg, wobei Weibchen kleiner und leichter sind als Männchen. Der Körper des Eisbären ist perfekt an die kalte raue Umgebung angepasst: seine Haut ist schwarz und kann somit besonders gut Sonnenstrahlen absorbieren. Unter seiner Haut befindet sich eine Fettschicht, die bis zu acht cm dick ist. Das Fell ist dicht und die einzelnen Haare sind mit Luft gefüllt, damit die Wärme nicht entweichen kann. Die Haare sind durchsichtig, erscheinen allerdings aufgrund der Dichte weiß. Seine Ohren und sein Schwanz sind kurz und entsprechen den Bergmannschen Regeln. Sie geben wenig Wärme an die Umgebung ab. Seine Tatzen, 30 cm lang und fast genauso breit, sind mit einer dicken Hornhaut überzogen, damit er sich an dem scharfkantigen Polareis nicht verletzt. Des Weiteren sind seine Tatzen und Beine gut zum Schwimmen geeignet, wobei die Hinterbeine als Ruder eingesetzt werden. Bei der Jagd können die Eisbären ihre Krallen wie Fischhaken einsetzen, um ihre Beute aus dem Wasser zu ziehen.

Die Weibchen sind ab einem Alter von ca. 4 Jahren geschlechtsreif, jedoch nur alle drei Jahre paarungsbereit, wobei die größten Würfe im Alter von 8-18 Jahren zur Welt kommen (nur 3 Würfe). Ein Drittel aller Geburten sind Zwillingsgeburten und die Anzahl der Drillingsgeburten ist geringer als 5%.

Bei einer Trächtigkeit verdoppeln die Eisbärenweibchen ihr Gewicht über den Sommer, da sie während der Zeit in der Bruthöhle keine Nahrung aufnehmen. Bei gutem Nahrungszustand sind 3-4 Embryonen möglich. Bei schlechtem Nahrungszustand nistet sich nur ein Embryo ein oder die Eisbärin stößt alle Embryonen ab. Dies ist ein natürlicher Schutzmechanismus, der die Bärin davor bewahrt, während der bis zu fünf Monate langen Zeit in der Wurfhöhle zu verhungern.

Ihre Wurfhöhle bauen die Weibchen am liebsten an Berghängen und Hügeln nahe der Küste. In der Zentralarktis und jenseits der Nordküste Alaskas graben sie ihre Höhle in Schneewehen im Windschatten einer Eisbarriere. Die größte Konzentration an Bruthöhlen der Eisbären weltweit herrscht auf der Wrangelhalbinsel vor Russland mit über 500 Geburtshöhlen.

Durch einen Tunnel errichtet die Eisbärin zwei Kammern, die durch einen Gang miteinander verbunden sind. Die ovale obere Kammer ist durchschnittlich 120 cm hoch und 150 cm breit. Die untere Kammer ist kleiner und dient nur der Versorgung mit Atemluft. Die Weibchen bauen die Höhlen grundsätzlich dicht genug unter der Oberfläche, so dass Luft und etwas Licht eindringen können. Die Geburt findet zwischen November und Dezember statt.

Wenn das Bärenweibchen die Höhle im Frühling verlässt, frisst sie Seggen, krautige Pflanzen, und Gras bis ihre Darmbewegungen wieder einsetzen. Dies ist der Grund, warum Eisbärinnen bevorzugt an den Küstengebieten ihre Wurfhöhlen graben, da sie schneller Zugriff auf die Pflanzen haben.

Sobald der Stoffwechsel wieder eingesetzt hat, begibt sich die Bärin mit ihren Jungen aufs Packeis um Robben zu fangen. Für sie ist es überlebensnotwendig, so schnell wie möglich fette Nahrung zu sich zu nehmen.

Die Jungen bleiben grundsätzlich zwei Jahre lang bei ihrer Mutter, da sie noch von der fettreichen Muttermilch leben. Nur in der nördlichen Arktis, wo die Nahrungsgründe karger sind, bleiben sie meist drei Jahre. Die Eisbärenmilch besteht zu 30% aus Fett, deshalb braucht die Eisbärin in der Zeit, in der sie die Jungen säugt, viel fettreiche Nahrung.

Von 10 geborenen Eisbärenjungern kommen durchschnittlich sechs Junge im ersten Jahr durch Wölfe, Eisbärenmännchen oder Unfälle um.

Bei der Geburt wiegen die Jungen ca. 600g, sind ca. 30-35 cm groß und sowohl taub als auch blind. Da sie sich in der ersten Zeit nicht orientieren können, dient ihnen die Geburtshöhle als Schutz.

Eisbären sind Raubtiere. Sie jagen bevorzugt Ringel- und Sattelrobben. Dabei gibt es zwei verschiedene Jagdmuster. Zum einen können Eisbären die Atemlöcher der Robben aus bis zu einem Kilometer Entfernung aufspüren und ihre Beute während der Atemphase aus dem Wasser reißen. Zum anderen können sie die Geburtshöhlen der Robben durch bis zu einen Meter dickes Eis wittern und die Jungtiere erbeuten. Diese Höhlen nutzen z.T. auch ausgewachsene Robben zur Rast oder als Versteck. Gelegentlich jagen die Bären auch Walrosse, Belugas, Narwale und Vögel. Den Hauptanteil der Kalorien, die ein Eisbär zu sich nimmt, stammt von Robbenbabys, die gerade erst entwöhnt sind. Ihre besondere Nährhaftigkeit resultiert aus ihrem enormen Fettanteil von 50%.

Nach der Jagd nutzen die Eisbären den Schnee um ihren Pelz zu reinigen.

Den Großteil ihrer Beute fassen die Eisbären auf dem Eis. Ihre Chancen, im offenen Wasser erfolgreich zu jagen, sind gering.

Da das Eis in den Küstenbereichen im Sommer schmilzt, müssen sich die Eisbären ans Festland oder auf Inseln zurückziehen. Dadurch verlieren sie ihren Nahrungsgrund und müssen fasten. Dies gilt vor allem für die weiblichen Tiere, die geworfen haben, denn die Jungtiere können noch keine Langstrecken schwimmen. Weibchen ohne Jungtiere und Männchen ziehen oft noch eine Zeit lang mit dem Eis und den Robben nordwärts. Während des Fastens reagiert Wasser biochemisch mit Proteinen im Körper und die Nebenprodukte können dann wiederverwertet werden (Energie). Des Weiteren kann der Eisbär seinen Stoffwechsel und den Kreislauf auf einen winterschlafähnlichen Zustand herunterfahren. Der Eisbär besitzt einen ausgezeichneten Geruchssinn, der schon bei dem Geruch von benutztem Spülwasser anschlägt.

Eisbären überhitzen leicht. Das bedeutet, wenn sie Temperaturen zu hoch sind, legen sich die Bären auf das Eis, um sich abzukühlen. Eine aufwendige Jagd ist dann nicht mehr möglich. Je wärmer es wird, desto träger wird auch der Eisbär. Der Sommerpelz bietet im Sommer ein wenig Linderung.

6. Ausblick

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Eisbär schon jetzt von den Klimaveränderungen beeinflusst wird.

In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die Schmelzperiode um ganze 10 Tage verlängert. Hinzu kommt, dass die Küsten früher durch mächtige Eispanzer vor Windböen und Schneestürmen geschützt waren. Heutzutage sind diese nicht mehr vorhanden und die winterlichen Schneestürme treffen ungebremst und hart auf die Küstenbereiche, in denen Eisbären leben.

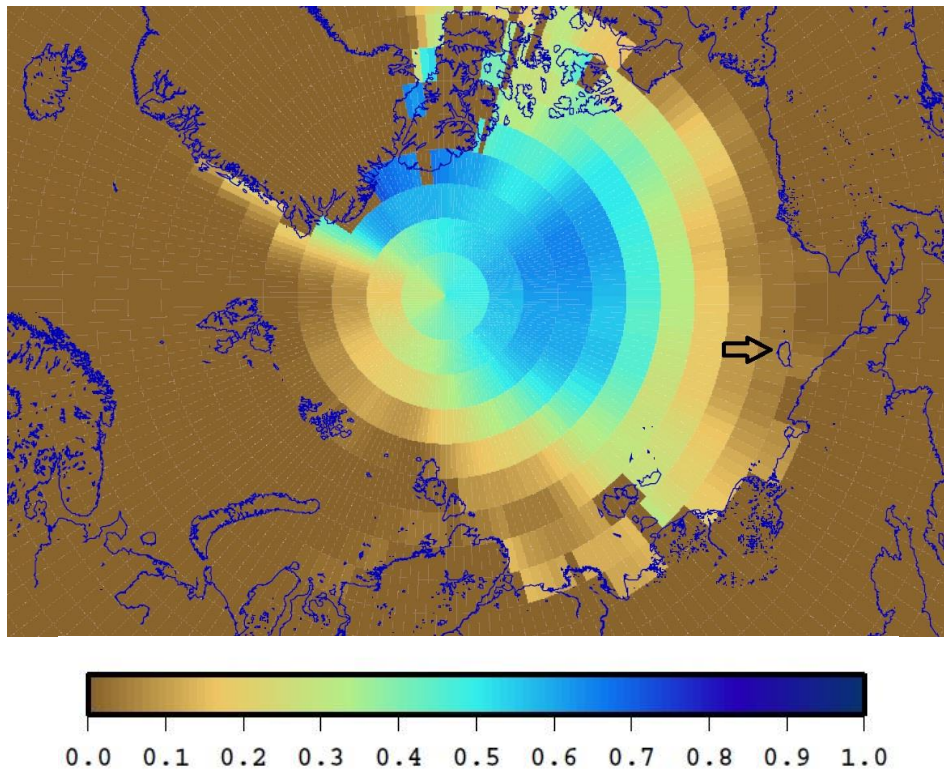
Durch die länger anhaltende Schmelzperiode kann kaum noch mehrjähriges Eis entstehen, das für die Jagd der Bären im Herbst und Frühjahr notwendig wäre. Für den Eisbären bedeutet das: seine Fastenzeit verlängert sich und auch die Gebiete, in denen er jagen kann, verkleinern sich durch die Dünne des Eises.

Für die Eisbären in der Hudsonbay bedeutet die Erwärmung, dass sie länger darauf warten müssen, dass die Bucht zufriert und sie wieder auf Jagd gehen können. Dabei leiden sie zum Ende des Sommers große Hungerqualen, die sie dazu verleiten, in Städte wie Churchill einzudringen und nach Nahrung zu suchen. Die Klimaerwärmung bewirkt, dass sich immer mehr Bären in Churchill versammeln. Dies resultiert auch aus der Nähe zur Mündung des Churchill River, denn dort bildet sich das erste Eis im Herbst. Die momentan etwa hundert Bären, die sich in Churchill einfinden, müssen mit einem Hubschrauber wieder nach Norden geflogen werden.

Es wurde bereits beobachtet, dass Eisbären durch den Eisrückzug weit von der Küste abkamen und mehrere hundert Kilometer ans Ufer schwimmen mussten. In Einzelfällen können Eisbären zwar eine Strecke von 100 bis 300 km ohne Unterbrechung schwimmen, doch dies ist sehr kräftezehrend und nicht von allen Eisbären zu bewältigen.

Darüber hinaus verursachen die Erwärmung und die verschobenen Niederschläge Einstürze der Geburtshöhlen, wodurch Eisbärenweibchen und ihre Jungen bei lebendigem Leibe begraben werden. Diese Begebenheit wurde auch schon bei Sattelrobben beobachtet. Um dem zu entgehen, legen die Robben ihre Jungen auf das offene Eis. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass die Jungen erfrieren, da ihre Fettschicht noch zu dünn ist, um sich gegen die Kälte zu schützen. Außerdem sind sie Fressfeinden schutzlos ausgeliefert. Zudem können die Sattelrobbeungeborenen erst mit einigen Wochen schwimmen und in den letzten Jahren sind alleine in Ostkanada tausende Robbenbabys aufgrund von rückläufigem Packeis ertrunken. Durch das immer dünner werdende Eis ist es den Eisbären und Robben teilweise auch gar nicht mehr möglich, überhaupt noch Höhlen zu bauen.

Dies lässt sich besonders gut an der Wrangler-Halbinsel festmachen, die in Material 10 mit einem Pfeil gekennzeichnet ist. Wie in 5. beschrieben, lässt sich hier die höchste Konzentration an Eisbär-Geburtshöhlen finden. Nach Klimaszenario A1B wird im Zeitraum 2071 bis 2100 jedoch nur noch eine fünfprozentige Eisbedeckung auf der Halbinsel vorherrschen. Dies reicht nicht für den Bau einer Geburtshöhle aus. Das bedeutet, dass das größte Geburtshöhlen-Areal für die Eisbären nicht mehr nutzbar wäre. Dadurch könnte die Fortpflanzung eingeschränkt werden, da die Eisbärenweibchen in für sie unbekannte Gebiete ziehen müssten. Dies wäre dramatisch, da von Natur aus nur 40% des Nachwuchses das erste Lebensjahr überleben.



M10 Ausschnitt der Karte Anteil der Eisbedeckung 2071 bis 2100 Herbst nach A1B

Doch der Eisbär hat noch ein weiteres Problem. Seine schwarze Haut, die die Sonnenstrahlen gut absorbieren kann, wird ihm nun zum Verhängnis. Bei den arktischen Temperaturen beschützt sie ihn vor dem Erfrieren. Durch den Temperaturanstieg steigt jedoch die Gefahr des Überhitzens. Zwar bekommen die Eisbären im Sommer ein dünneres Fell, doch ob das den starken Temperaturanstieg ausgleichen kann, ist bislang noch unbekannt.

Grundsätzlich ist zu sagen, je höher die Lufttemperatur ist, desto träger werden die Bären um sich vor der Überhitzung zu schützen. Dann ist jedoch auch keine aufwendige Nahrungssuche mehr möglich.

Für das Ökosystem an sich ist auch der manchmal starke Ozonschwund über der Arktis entscheidend. Der Ozonschwund hat einen Einfluss auf das im Wasser lebende Phytoplankton, das den Grundbaustein einer Nahrungskette bildet. Das Ozon schützt das Phytoplankton vor den gefährlichen ultravioletten Strahlen der Sonne. Verringert sich nun u.a. durch einen stabilen Polarwirbel das Ozon, wird das Phytoplankton von der ultravioletten Strahlung geschädigt und nimmt an Quantität ab.

Dadurch wird das Vorkommen von Krill und Kleinkrebsen (Zooplankton) gemindert, die ihm in der Nahrungskette folgen. Diese wiederum bieten die Nahrungsgrundlage für den Arktisdorsch, der der Eismeer-Ringelrobbe als Hauptnahrung dient. Diese wird letztendlich vom Eisbär gefressen.

Durch die Einschränkung der Eisbärenjagd auf Robben ließ sich bei einigen Robbenpopulationen eine Vergrößerung verzeichnen. Dies resultiert aus dem Verhältniswandel in der Räuber-Beute-Beziehung. Ist der Räuber in geringerem Maße vorhanden oder zu geringerem Maße zur Jagd fähig, vergrößert sich die Population der Beute.

Die *International Union for Conservation of Nature* sagt aufgrund der oben genannten Probleme für die nächsten 30 bis 50 Jahre einen Rückgang der Eisbärenpopulation von 30% voraus.

In Zukunft werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arktis weiter erforscht. Es ist zu erwarten, dass durch neue Technologien Hinweise auf die Ursache der Eisschmelze in der Arktis gefunden werden.

Neue Erkenntnisse über die Eisausdehnung und die Eisdicke soll u.a. das „Cryosat spacecraft“, ein Satellit der European Space Agency (ESA), liefern. Er ist auf das Vermessen von Eis spezialisiert und wird von nun an für die Berechnungen zur Eisausdehnung, der Eisdicke und somit des Eisvolumens eingesetzt. Dabei ist besonders, dass er auch das Eis auf dem Land vermessen kann, ein wichtiger Faktor, um Grönland besser erforschen zu können. Die ersten Karten wurden Anfang des Jahres 2011 veröffentlicht, doch bis der Satellit seine Arbeit beendet hat, wird es noch einige Jahre dauern. Geplant war seine Mission bis Ende 2013, doch schon jetzt ist eine Verzögerung bis möglicherweise 2017 wahrscheinlich.

Besonders die Bartrobben und Seehunde könnten in Zukunft eine Rolle für die Eisbärenpopulation spielen, da sie nicht vom Meereis abhängig sind. Es wurde bereits beobachtet, dass die Eisbären Bartrobben in ihr Nahrungsspektrum aufnehmen. In Zukunft könnten sie eine reelle Nahrungsalternative für den Eisbären darstellen.

Generell ist es nicht ganz ausgeschlossen, dass es einigen Lebewesen in den Polarregionen gelingen könnte, sich an die neuen Klima- und Umweltverhältnisse anzupassen.

Abschließend ist zu sagen, dass wir in unserer Arbeit weitestgehend vom Klimaszenario A1B ausgegangen sind, das auf einer ausgewogenen Nutzung der Energiequellen basiert. Es ist jedoch möglich, dass die CO₂-Konzentration in höherem Maße ansteigt. Dann wären schwerwiegendere Folgen möglich, als in dieser Ausarbeitung erläutert.

7. Quellen

7.1 Literaturquellen

1. Die Große Enzyklopädie der Säugetiere, Herausgegeben von David Macdonald, KÖNEMANN in der Tandem Verlag GmbH Königswinter, 2004.
2. Königreich Arktis, Donnal Fifiield, National Geographic Society, Washington D.C., 2007.
3. Eisbär: Wanderer im ewigen Eis der Arktis, Guravich/Matthews, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 1995.
4. Notz, D. and J. Marotzke, 2012: Observations reveal external driver for Arctic sea-ice retreat, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L08502, [doi:10.1029/2012GL051094](https://doi.org/10.1029/2012GL051094)
5. Arktisches Meereis ó Ursachen der Variabilität und Trends in den vergangenen 30 Jahren. In: Warnsignale aus den Polarregionen; Dr. José L. Lozán, Prof. Dr. Peter Hupfer, PD Dr. Dieter Piepenburg, Prof. Dr. Hartmut Graßl, Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten, Dr. Ludwig Karbe; Wissenschaftliche Auswertung; 2006;

7.2 Internetquellen

BBC: Cryosat mission delivers first sea-ice map

<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-13829785>; 19.05.2012

Climate Prediction Center: Monthly Mean Arctic Oscillation,

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/month_ao_index.shtml

Klimawiki: Meereis, <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Meereis>; 01.05.2012

Klimawiki: Eis-Albedo-Rückkopplung, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eis-Albedo-R%C3%BCckkopplung>; 19.05.2012

Klimawiki: Arktische Ökosysteme,

http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Arktische_%C3%96kosysteme; 15.05.2012

Klimawiki: Nordatlantische Oszillation, <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/NAO>; 19.05.2012

Wikimedia Commons, Ansgar Walk, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polar_Bear_2004-11-15.jpg?uselang=de; 16.10.2012 (Titelbild)

Klimawiki: Gletscher (Polare Gebiete)

[http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_\(Polare_Gebiete\)](http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_(Polare_Gebiete)); 10.04.2012

Klimawiki: Eisschile, <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Eisschilde>; 10.04.2012