

# Eisbedeckung in den Polarregionen

Ein Projekt von Alexander Dummer und Thorben  
Mentlein

Betreut von Herrn Döller

# Inhaltsverzeichnis:

<b>1. Was ist Eisbedeckung?</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Wodurch wird die Eisbedeckung beeinflusst?</b> .....	<b>3</b>
2.1 EIS- ALBEDO- RÜCKKOPPLUNGSEFFEKT: .....	3
2.2 STRAHLUNGSINTENSITÄT DER SONNE: .....	3
2.3 ANDERE FAKTOREN:.....	4
<b>3. Wie ist ihre Entwicklung?</b> .....	<b>4</b>
3.1 ENTWICKLUNG VON 1979 BIS HEUTE: .....	4
3.2 SAISONBEDINGTE ENTWICKLUNGEN: .....	5
3.3 PROGNOSE: .....	6
<b>4. Wie misst man sie?</b> .....	<b>6</b>
4.1 SCHNEEPEGELMESSUNGEN:.....	6
4.2 SCHNEESCHÄCHTE:.....	6
4.3 EISBOHRKERNE: .....	6
4.4 ALTIMETERVERFAHREN:.....	6
4.5 EISRADARVERFAHREN: .....	6
<b>5. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf das globale Klima?</b> .....	<b>7</b>
5.1 ERHÖHTE VERDUNSTUNG: .....	7
5.2 VERÄNDERUNGEN DER GLOBALEN WASSERZIRKULATION:.....	7
5.3 PERMAFROSTBÖDEN: .....	7
<b>6. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf das Ökosystem Polarregion?..</b>	<b>8</b>
6.1 ÖKOSYSTEM IM MEER: .....	8
6.2 ÖKOSYSTEM AUF DEM FESTLAND:.....	8
<b>7. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf die Menschen?</b> .....	<b>8</b>
7.1 AUSWIRKUNGEN AUF NORDEUROPA: .....	8
7.2 INDIGENE KULTUREN: .....	8
7.3 GLOBALE WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN:.....	8
7.4 MEERESSPIEGELÄNDERUNG: .....	9
7.5 PERMAFROSTBÖDEN: .....	9
<b>8. Quellenangabe:</b> .....	<b>9</b>

# 1. Was ist Eisbedeckung?

Mit dem Begriff der Eisbedeckung meint man die teilweise Bedeckung der Erdoberfläche mit Meer- und Gletscher- und Inlandeis. Zum Beispiel sind rund 7,5% der gesamten Ozeanoberfläche ständig mit Eis, und sogar rund 17% mit Pack- und Treibeis (Eisberge) bedeckt. Von Inlandeis sind rund 11% der gesamten kontinentalen Festlandflächen bedeckt. Rechnet man zu diesen Werten noch die Permafrostgebiete hinzu, so kommt man auf einen Anteil von 25% der gesamten Erdoberfläche, der ständig oder zeitweise von Eis bedeckt ist. Bereits kleine Änderungen dieses Anteiles führen aufgrund des großen Einflusses von Eismassen auf den Strahlungshaushalt der Erdatmosphäre zu entsprechenden Klimaschwankungen.

## 2. Wodurch wird die Eisbedeckung beeinflusst?

### 2.1 Eis- Albedo- Rückkopplungseffekt:

Durch die Erderwärmung schmilzt ein Teil der Schnee- und Meereisflächen. Dadurch wird die Helligkeit der Erdoberfläche reduziert und die hellen Flächen werden durch dunkles Wasser oder Land ersetzt. Diese Flächen können mehr der einfallenden Sonnenstrahlen absorbieren und damit mehr Energie aufnehmen. Die Oberfläche kann sich stärker erwärmen. Dadurch gibt es einen selbstverstärkenden Effekt, welcher der Hauptgrund für den steigenden Eisrückgang und die Temperaturerhöhung in den hohen Breiten ist.

Saisonbereinigtes, aktuelles Strahlungsvermögen in den hohen Breiten:  $170 \text{ W/m}^2$

Art der Oberfläche	Reflektion der Sonnenstrahlen in %	Reflektion der Sonnenstrahlen in $\text{W/m}^2$
Dickes und helles Eis	70	120
Dünnes und dunkles Eis	40	70
Offenes Meer	10	20

### 2.2 Strahlungsintensität der Sonne:

Eine Ursache für lang- und kurzfristige Schwankungen der Temperatur und damit der Eisbedeckung sind die vorübergehenden Veränderungen der Strahlungsintensität der Sonne. Diese kommen zum Einen durch die Änderung der Erdbahnparameter (z.B. Neigung der Erdachse oder Umlaufbahn der Erde um die Sonne), zum Anderen durch sonnenbedingte Veränderungen zustande. Durch Sonneneruptionen und Sonnenstürme wird die Anzahl der Sonnenflecken verändert, was schon seit Jahrhunderten beobachtet wird. Die Konzentration der Isotope  $^{14}\text{C}$ - und  $^{10}\text{Be}$ -Isotope in der Luft schwankt daher beträchtlich, was durch Eisbohrkerne und Baumringe herausgefunden wurde.

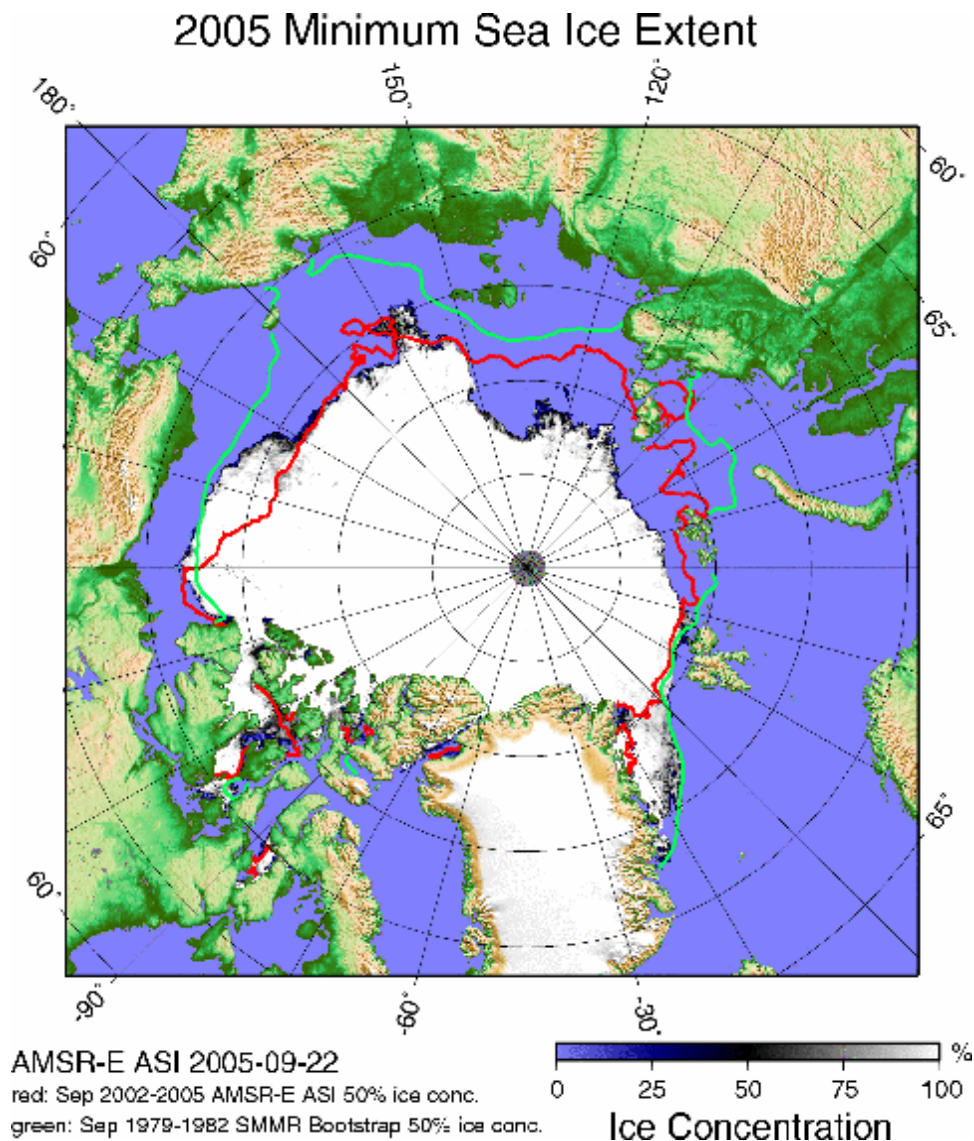
## 2.3 Andere Faktoren:

Es gibt natürlich noch andere globale Faktoren, wie den Treibhauseffekt, Aerosole und das Ozonloch, die auf die Eisbedeckung Einfluss nehmen können.

Doch ebenso gelten natürliche Klimaschwankungen als Kandidat, um die Umweltveränderungen in der Arktis zu erklären. Das Klimasystem mit seiner Vielzahl von Rückkopplungsmechanismen innerhalb und zwischen seinen verschiedenen Komponenten (Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Lithosphäre) zeigt per se Variabilität in äußerst komplexer Form auf allen Zeitskalen.

# 3. Wie ist ihre Entwicklung?

## 3.1 Entwicklung von 1979 bis heute:

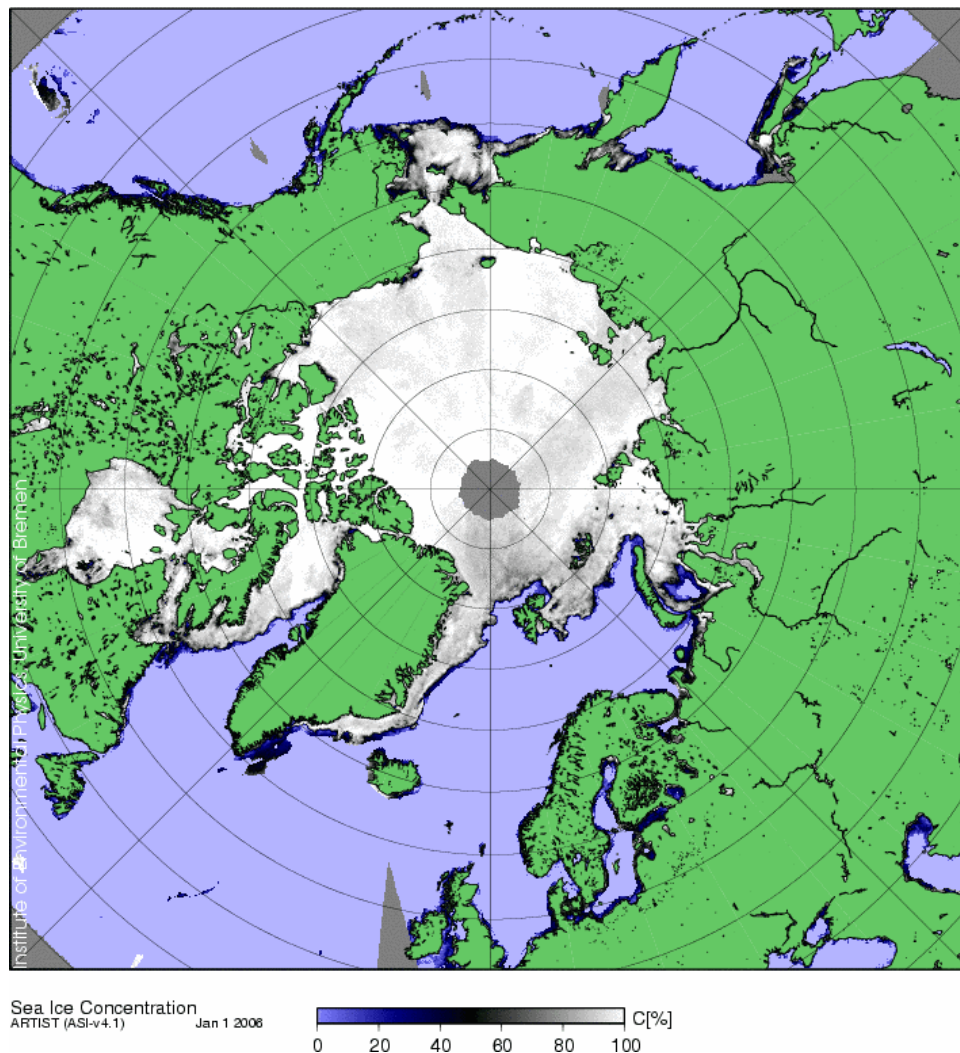


**Abb.1:** Seeeisbedeckung in der Arktis am 22.9.2005, eingezeichnet sind außerdem: mittlere Seeeisausdehnung zwischen 2002 und 2005 (rot) und zwischen 1979-1982 (grün), Quelle: Uni Bremen, <http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amr/SeaIceMinima2002-2005-contour50.png>

Die Entwicklung der Eisbedeckung wurde seit 1979, dem Anfang der Messungen durch Sattellitenbilder der NASA, aufgezeichnet. Man kann feststellen, dass sie seitdem bis heute um ca. 20% zurückgegangen ist. So lag die mittlere Eisbedeckung in den letzten 4 Jahren im September um 20% unterhalb des September-Mittels der Jahre 1978-2000, im September 2005 sogar um 25%. Dieser Rückgang entspricht etwa der 5-fachen Fläche Deutschlands. Im Jahr 2005 war die Nordostpassage, d.h. der Seeweg entlang der sibirischen Küste, vom 15. August bis zum 28. September total eisfrei. Die ungewöhnlich große Schmelzrate im Sommer 2005 wurde durch eine großflächige Erwärmung der Arktis verursacht, die 2-3 °C über dem langjährigen Mittelwert lag. Außerdem zeigen Daten der Eisdicke, die im Rahmen von U-Boot-Fahrten gewonnen wurden, eine Abnahme der mittleren spätsommerlichen Eismächtigkeit von rund 40% während der vergangenen vier Jahrzehnte.

### 3.2 Saisonbedingte Entwicklungen:

Die heutige arktische Meereisbedeckung beläuft sich auf rund 15 Mill. km<sup>2</sup> während des Wintermaximums. Die Eisschicht bildet sich im Verlauf des Sommers zurück, so dass sich die eisbedeckte Fläche im Herbst auf die Hälfte reduziert.



**Abb.2:** Seeeisbedeckung in der Arktis am 01.01.2006, Quelle: Uni Bremen, <http://iup.physik.uni-bremen.de:8084>

### 3.3 Prognose:

Seit Vorliegen relativ zuverlässiger Messungen mit Satelliten im Jahr 1978 wird eine Abnahme der sommerlichen Eisbedeckung in der Arktis von etwa 8% (bei anderen Berechnungen auch 3%) pro Jahrzehnt beobachtet, wobei sich dieser Trend in den letzten Jahren verstärkt. Modellrechnungen mit einer neuen Version des Klimamodells des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg haben ergeben, dass die Arktis im Sommer gegen Ende des 21. Jahrhunderts völlig eisfrei sein wird, wenn der Ausstoß von CO<sub>2</sub> und anderen Treibgasen unvermindert anhalten sollte. In diesem Szenario erwärmt sich die Erde bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um etwa 4 °C, wobei sich die Landgebiete stärker aufheizen, als die Ozeane. Besonders ausgeprägt ist die Erwärmung in hohen nördlichen Breiten.

In einem moderateren Szenario, in dem die CO<sub>2</sub> –Emissionen bis zum Jahr 2050 gegenüber heute zwar um weitere 50% ansteigen, aber danach bis zum Jahr 2100 auf die Hälfte der heutigen Emissionen zurückgehen, wird eine globale Erwärmung von 2,5 °C prognostiziert. In diesem Szenario ist die Meereisschmelze geringer, so dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts noch etwa ein Drittel der heutigen sommerlichen Eisbedeckung vorhanden sein dürfte. Daher schmilzt die mittlere Eisdicke von 3m auf 1m im Jahre 2100.

## 4. Wie misst man sie?

### 4.1 Schneepegelmessungen:

Der Schneepegel wird durch senkrecht Einsetzen eines speziellen Messstabes in die Schneeschicht ermittelt.

### 4.2 Schneeschächte:

Durch Graben von Schächten im Schnee, kann man ein sog. Schneedichteprofil erstellen. Es wird die Dichte von Schnee in den verschiedenen Lagen gemessen.

### 4.3 Eisbohrkerne:

Die Eisbohrkerne sind die Schneeschächte für das Eis. Man kann aus ihnen langfristige Daten über Klimaschwankungen und große Umwelt Ereignisse, wie z.B. Vulkanausbrüche, gewinnen.

### 4.4 Altimeterverfahren:

Ein Altimeter bezeichnet im Allgemeinen ein Höhenmessgerät. Nur durch ein vernünftiges Altimeterprofil, ermittelt durch Satelliten, kann man das Volumen und die damit verbundenen Veränderungen des Eises in den Polarregionen zuverlässig und genau bestimmen. Bei 1000 km Höhe sind heute Genauigkeiten von cm möglich. Der letzte Satellit, welcher ausschließlich für das Altimeterverfahren in den Orbit geschickt wurde, ist abgestürzt.

### 4.5 Eisradarverfahren:

Das Eisradarverfahren misst die Akkumulation (die Bildung von Eis).

Da es in den Polarregionen eine deutlich geringere Dichte von Messstationen gibt, als z.B. in Westeuropa, hat man sehr viel weniger Wetterdaten zur Verfügung. Um das Abschmelzen der Pole zu messen, sind Satelliten gestützte Messverfahren am sinnvollsten.

## 5. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf das globale Klima?

### 5.1 Erhöhte Verdunstung:

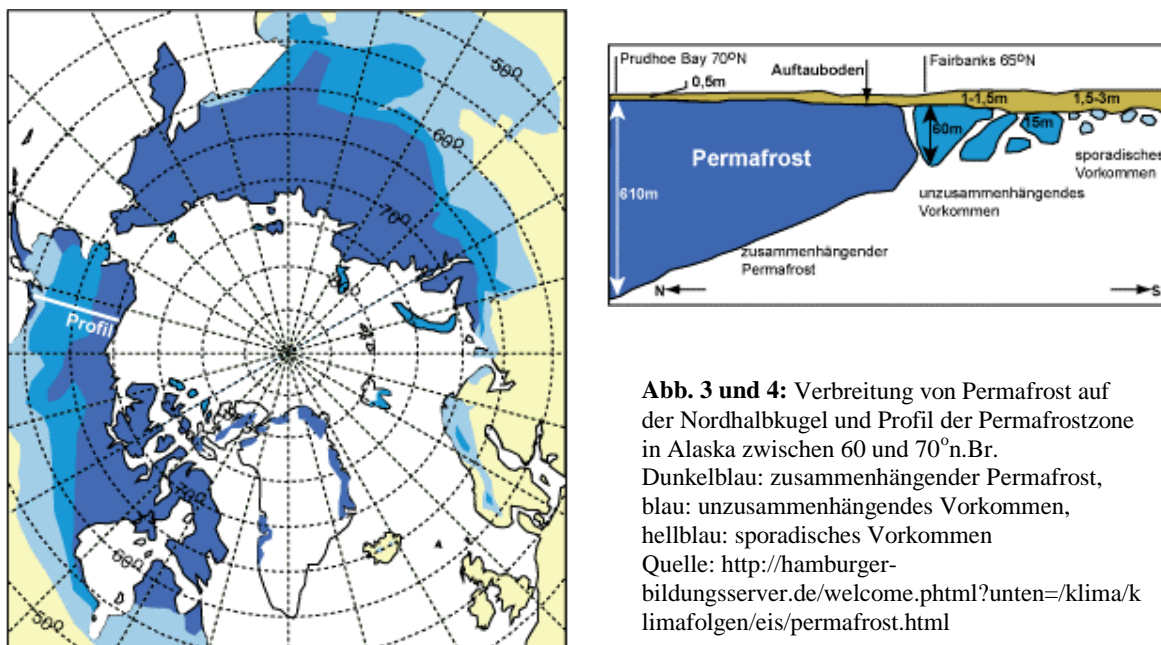
Durch eine größere Wassermasse kommt es zu mehr Verdunstung und der damit verbundene Niederschlag steigt an. In der Atmosphäre über der Polarregion befindet sich somit eine beträchtlich höhere Wassermenge. Das hat einen großen Einfluss auf das globale Windsystem.

### 5.2 Veränderungen der globalen Wasserzirkulation:

Das Abschmelzen der Arktis hat zur Folge, dass der kalte Labradorstrom, welcher das Gegenstück zum Golfstrom bildet, verstärkt wird. Ebenfalls fließt das kalte und abschmelzende Süßwasser in der Nähe von Nord-Europa in den Golfstrom, so dass dieser abkühlt. Durch den Süßwassereintrag verändert sich die Dichte des Oberflächenwassers, wodurch das Absinken des Golfstromes und damit einer der Antriebe der globalen Wasserzirkulation geschwächt wird.

### 5.3 Permafrostböden:

Das weitere Auftauen der Permafrostböden führt zu einer Freisetzung von einer gigantischen Menge Methan ( $\text{CH}_4$ ), welches ein gefährliches Treibhausgas ist und dessen klimaschädliche Wirkung 32-mal stärker ist als die von  $\text{CO}_2$ .



**Abb. 3 und 4:** Verbreitung von Permafrost auf der Nordhalbkugel und Profil der Permafrostzone in Alaska zwischen 60 und 70°n.Br.  
Dunkelblau: zusammenhängender Permafrost,  
blau: unzusammenhängendes Vorkommen,  
hellblau: sporadisches Vorkommen  
Quelle: <http://hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/eis/permafrost.html>

## 6. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf das Ökosystem Polarregion?

### 6.1 Ökosystem im Meer:

Es wurde herausgefunden, dass die Krillbestände, seit 1976 massiv zurückgegangen sind. Krill bietet die Nahrungsgrundlage für Wale, Robben und fast alle anderen Bewohner der Ozeane. Die Krillbestände reduzierten sich um ca. 40% pro Jahrzehnt. Dafür nimmt aber eine ebenfalls Plankton fressende Tierart zu: die gallertartige Salpe. Sie enthält aber nicht genug Nährstoffe, so dass sich die Bewohner der Meere nicht ausschließlich von ihr ernähren können.

### 6.2 Ökosystem auf dem Festland:

Durch den zu schnellen Klimawandel können sich die Pflanzen, welche eine Nahrungsgrundlage für viele Tierarten sind, nicht anpassen, z.B. gehen die Flechten, von denen sich die Rentiere und Karibus ausschließlich ernähren, in den betreffenden Gebieten stark zurück. Die Fichtenborkenkäferbestände in Alaska haben in den letzten 15 Jahren mindestens 40 Mill. Bäume vernichtet. Das liegt an den fehlenden harten Wintern, die die Fichtenborkenkäferpopulation normalerweise in ihrem ökologischen Gleichgewicht halten.

## 7. Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf die Menschen?

### 7.1 Auswirkungen auf Nordeuropa:

Die Erkaltung von Nordeuropa wirkt der globalen Erwärmung entgegen, hat aber zur Folge, dass die wirtschaftlich und militärisch wichtigen Häfen im Winter nicht mehr eisfrei bleiben.

### 7.2 Indigene Kulturen:

Die Indigene Kulturen, wie Samen und Inuit verlieren ihre Lebensgrundlage durch Verlust ihrer traditionellen, wirtschaftlichen Grundlage, wie z.B. Robben, Rentiere, Karibus und Eisbären.

### 7.3 Globale wirtschaftliche Auswirkungen:

Da die Krillbestände abnehmen, gehen die davon abhängigen Fischbestände zurück, die für die Welternährung von entscheidender Bedeutung sind. Ein Abschmelzen in der Arktis kann zu neuen Schifffahrtslinien führen, die saisonal im Sommer zur Verfügung stehen könnten. Dieses birgt aber gleichzeitig eine große Gefahr für



die Umwelt, weil die natürlichen Selbstreinigungsprozesse in den kalten Regionen erheblich langsamer ablaufen als in den mittleren Breiten. So würde ein Tankerunglück dort weit größere Ausmaße haben als bei uns.

Große Ölreserven und verschiedene Mineralien werden in der Antarktis vermutet. Da aber die Grenzen am Südpol nicht völlig klar sind, könnte es zu internationalen Konflikten kommen.

#### 7.4 Meeresspiegeländerung:

Ein Abschmelzen des Eises führt und würde auch weiterhin zu einer Erhöhung des Meeresspiegels führen. Dieser Anstieg würde aber nicht äquivalent ablaufen, sondern zu regional unterschiedlichen Veränderungen führen.

Wenn der Anstieg gleichmäßig ablaufen würde, gäbe es bei Abschmelzen des Grönlandeises einen Anstieg von 7,2m.

Sollte aber die weit größere Antarktis abschmelzen, hätten wir eine Erhöhung von 69,1m.

#### 7.5 Permafrostböden:

Durch das Auftauen der oberen Permafrostschichten verändert sich der Baugrund massiv, so dass es zu Schäden bei der Infrastruktur kommt, wie z.B. Brüche von Gasleitungen oder Ölpipelines.

## 8. Quellenangabe:

[http://www.wetterstation-obernau.de/lexikon\\_e.htm](http://www.wetterstation-obernau.de/lexikon_e.htm)

<http://www.rrz.uni-hamburg.de/polar>

<http://www.rrz.uni-hamburg.de/warnsignale>

<http://www.palmod.uni-bremen.de/~mprange/klimawechsel.html>

[http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=focus\\_detail2&f\\_id=94&rang=16](http://www.geoscience-online.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=94&rang=16)

<http://webplaza.pt.lu/greenpea/kampagnen/klima/auswirku.html#antarktis>

<http://www.lerntippsammlung.de/globale-erw-ae-rmung.html>

<http://webplaza.pt.lu/greenpea/kampagnen/klima/auswirku.html#klimabeob>

<http://www.awi-bremerhaven.de/research/index-d.html>

<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Klima/Eis/index.jsp#ICENH>

[http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amsr/antarctic\\_AMSRE\\_nic.png](http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amsr/antarctic_AMSRE_nic.png)

<http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amsr/IceConcAMSRE-ASI-2002-2005.mpg>

<http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Altimeter>

[http://www.climate-change.ch/glossar/glossar\\_nachhaltigkeit.html](http://www.climate-change.ch/glossar/glossar_nachhaltigkeit.html)

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>

Flannery, T. (2006): Wir Wettermacher, Fischer Verlag Frankfurt, 2. Auflage

Lübeck, 2006