

Verschlingt die Ostsee unsere Badestrände?

Gesamtschule Walddörfer

Jugend forscht 2007

Geo- und Raumwissenschaften

Madeline Remstedt

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Änderung des Meeresspiegels in der Vergangenheit	3
3.	Ursachen des Meeresspiegelanstiegs	5
3.1	Wasserzufuhr	6
3.1.1	Gletscherschmelze	7
3.1.2	Beiträge der grönländischen Eisschilde	7
3.1.3	Antarktis	8
3.2	Ausdehnung des Wasserkörpers	8
3.3	Anthropogene Einflüsse	10
4.	Zukünftiger Meeresspiegelanstieg	11
5 .	Die Ostsee	13
5.1	Allgemein	13
5.2	Krustenbewegungen	13
5.3	Meeresspiegelschwankungen der Ostsee	14
6.	Scharbeutz - konkrete Auswirkungen	15
6.1	Allgemein	15
6.2	Prognosen für den Meeresspiegelanstieg in Scharbeutz	15
6.3	Folgen des Meeresspiegelanstiegs auf den Scharbeutzer Strand	15
6.3.1	Szenario 1	16
6.3.2	Szenario 2	16
6.4	Fazit	18
7.	Diskussion der eigenen Arbeit	18
8.	Literatur und Quellen	19

1. Einleitung

Jeder von uns ist vom Klimawandel betroffen und eine der wichtigsten Folgen des Klimawandels ist der globale Meeresspiegelanstieg.

Meine Arbeit wird sich genau mit diesem Thema befassen und dabei drei Fragen nachgehen:

1. Welche Faktoren wirken auf den Meeresspiegel ein?
2. Wie wird sich der Meeresspiegel in den nächsten 100 Jahren verändern?
3. Was für Auswirkungen hat der Meeresspiegelanstieg für den Scharbeutzer Strand?

Ziel meiner Arbeit ist es, die Folgen für Scharbeutz bei einem Meeresspiegelanstieg zu untersuchen. Ich habe deshalb zunächst nach den Gründen gesucht, die eine Veränderung des Meeresspiegels bewirken können. Danach habe ich Modellrechnungen für den zukünftigen Meeresspiegelanstieg herangezogen und diese auf den Scharbeutzer Strand übertragen. Ich habe den zukünftigen Meeresspiegel in Fotos eingezeichnet und diese dann auf Satellitenbilder übertragen, um die Folgen zu verdeutlichen.

2. Änderung des Meeresspiegels in der Vergangenheit

Der Anstieg des globalen Meeresspiegels konnte vor 1992 noch nicht genau bestimmt werden. Damals hatte man nur Pegelmessungen, die zwar eine genaue örtliche Bestimmung des relativen Meeresspiegelanstiegs möglich machen, jedoch keine Aussagen über die durchschnittliche globale Meeresspiegeländerung zuließen. Dies liegt zum einen an der geringen räumlichen Verbreitung, zum anderen an der ungleichen Verteilung der Pegel, die sich ausschließlich an der Küste befinden. Durch die neu gewonnenen Daten von Satelliten konnte festgestellt werden, dass sich der Meeresspiegel keineswegs überall gleich verändert. An den Küsten aufgenommene Daten müssen keineswegs mit den Veränderungen auf dem offenen Ozean übereinstimmen. Sogar die Daten von Ozeanregion zu Ozeanregion können sehr unterschiedlich sein. Die Abbildung zeigt den Anstieg des Meeresspiegels im Zeitraum 1993-2003 in mm pro Jahr. Deutlich ist darauf zu erkennen, dass der Anstieg nicht überall gleich verläuft.

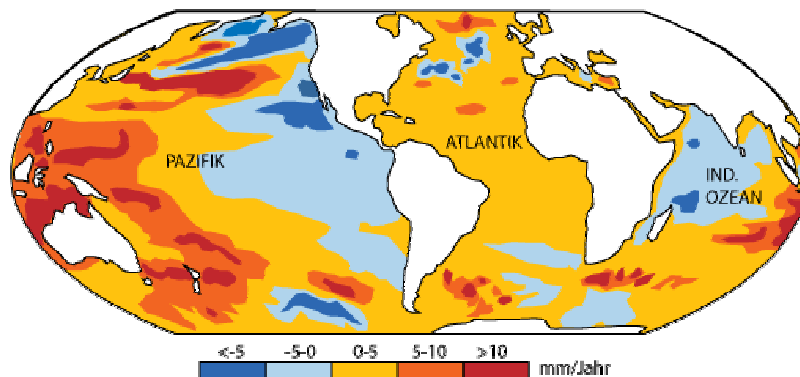


Abb.1: Regionaler Anstieg des Meeresspiegels 1993-2003 in mm pro Jahr
Quelle: Kasang, D., Hamburger Bildungsserver: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/einleitung.html>

Die höchsten Anstiegsraten finden wir in der Abbildung mit über 10mm pro Jahr im westlichen Pazifik und östlichen Indischen Ozean. Der Meeresspiegel ist aber sogar in einigen Regionen gefallen, so wie im östlichen Pazifik und westlichen Indischen Ozean. Dort ist er bis zu 5mm pro Jahr gefallen, während nahezu im gesamten Atlantik ein mittlerer Anstieg von ca.2mm pro Jahr erfolgt ist.

Eine sehr genaue Bestimmung des globalen Meeresspiegels erlaubt seit 1992 die Satellitenmission TOPEX/POSEIDON. Seit 2001 wurde diese durch den Satelliten JASON noch verbessert.

Eine exakte Erfassung des Meeresspiegels wird möglich, indem die Entfernung zwischen Satellit und Meeresoberfläche gemessen wird. Diese Art der Messung nennt man Altimetermessung. Die Messungen erfassen die gesamte Ozeanoberfläche, welches ein großer Vorteil gegenüber der Pegelmessung ist. Die Satellitenmessungen haben ergeben, dass die Anstiegsrate des Meeresspiegels deutlich höher ist, als mit Hilfe von Pegelmessungen angenommen. Pegelmessungen ergaben eine Anstiegsrate für die letzten 100 Jahre zwischen 1 und 2 cm pro Jahrzehnt. Satellitenmessungen haben dies allerdings widerlegt und ergaben eine Anstiegsrate von 3,1cm pro Jahrzehnt zwischen 1993 und 2003. Die folgende Tabelle stammt vom neuen IPCC-Bericht. Die Tabelle zeigt die Anstiegsraten in m pro Jahrzehnt für die Zeiträume 1961-2003 und 1993-2003.

Climate Change 2007: The Physical Science Basis

Table SPM-0. Observed rate of sea level rise and estimated contributions from different sources. [Numbers to be converted to mm per year]

Rate of sea level rise (m per century)		
Source of sea level rise	1961 – 2003	1993 – 2003
Thermal expansion	0.042 ± 0.012	0.16 ± 0.05
Glaciers and ice caps	0.050 ± 0.018	0.077 ± 0.022
Greenland ice sheets	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Antarctic ice sheets	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Sum of individual climate contributions to sea level rise	0.11 ± 0.05	0.28 ± 0.07
Observed total sea level rise	0.18 ± 0.05a	0.31 ± 0.07a
Difference (Observed minus sum of estimated climate contributions)	0.07 ± 0.07	0.03 ± 0.10

Note: a Data prior to 1993 are from tide gauges and after 1993 are from satellite altimetry

Abb.2: Anstiegsraten in m pro Jahrzehnt für die Zeiträume 1961-2003 und 1993-2003; Quelle: IPCC-Bericht, The Physical Science Basic (2007)

Berechnungen haben ergeben, dass vor 3 Mio. Jahren (im Pliozän) das Niveau des Meeresspiegels um 25-35 m höher war, bei einer global um 2-3°C höheren Temperatur als der heutigen.

In der Warmzeit (dem Eem), vor etwa 120 000 Jahren, als es über 1°C wärmer als heute war, lag der globale Meeresspiegel nach Schätzungen bis zu 6 m höher als in der Gegenwart.

Während des Höhepunkts der letzten Eiszeit vor rund 20 000 Jahren, als die Temperaturen um 4-7 °C unter den heutigen lagen, lag der globale Meeresspiegel damals um ca. 120 m niedriger als heute. Dies lag daran, dass ein großer Teil des Meerwassers in großen Landeismassen gebunden war.

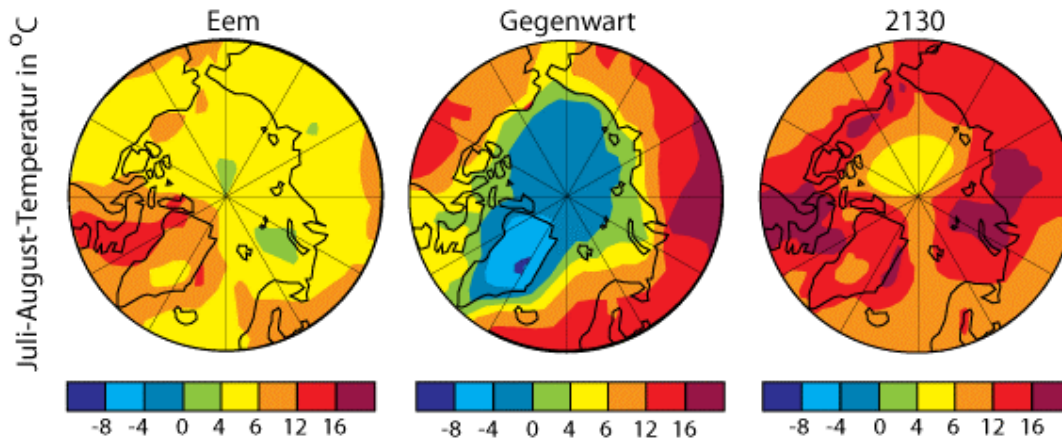


Abb.3: Durch Modelle berechnetes Klima im Eem (130.000 Jahre vor heute), heute und 2130 (bei dem Vierfachen der vorindustriellen Kohlendioxidkonzentration), Quelle: Kasang, D.: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/einleitung.html>

3. Ursachen des Meeresspiegelanstieges

Der globale Meeresspiegel reagiert stark auf klimatische Veränderungen. Daher ist eine der wichtigsten Folgen des anthropogenen Klimawandels der Anstieg des Meeresspiegels.

Das Niveau des Meeresspiegels kann sich grundsätzlich aus zwei Gründen verändern:

1. durch eine Veränderung von Form und Volumen des Meeresbeckens
2. durch Zu- bzw. Abnahme des Wasservolumens in den Weltmeeren.

Ein wichtiges Beispiel für 1. ist die Reaktion der Erdkruste auf die nacheiszeitliche Entlastung von Eismassen, die während der letzten Kaltzeit vor allem in Nordeuropa und Nordamerika das Land bedeckt und in die darunter liegenden Magmaschichten gedrückt hatten. Vor 6 000 Jahren war das Abschmelzen des Eises abgeschlossen, trotzdem hält die Anhebung der entlasteten Landmassen z.B. im Ostseeraum an und verändert damit die Küstenlinie. Diese Anhebung ist eine isostatische Anhebung, das heißt, dass ein Gleichgewicht zwischen einzelnen Krustenstücken der Erdkruste und der darunter befindlichen unteren Zone der Erdkruste hergestellt wird.

Ursachen für den 2. Punkt (Änderung des Wasservolumens) sind vor allem klimatische Veränderungen.

Dabei unterscheidet man:

a.) sterische Ursachen:

Veränderung des Wasservolumens und damit des Meeresspiegels durch die Veränderung der Dichte, z.B. durch eine Erwärmung des Ozeans, wodurch sich bei gleicher Masse das Volumen erhöht und dadurch die Dichte verringert, oder durch eine Verringerung des Salzgehaltes, was ebenfalls zu einer Verringerung der Dichte und somit zum Meeresspiegelanstieg führt.

b.) eustatische Ursachen:

Wasserzufuhr. Durch Austausch der Wassermengen mit den flüssigen oder festen Wasserreservoirs auf dem Land kann es zur Zu- oder Abnahme des Meeresspiegels kommen. Vor allem das Abschmelzen von kontinentalen Eisschilden spielt hier eine Rolle, wie die Folgen des Wechsels zwischen Warm- und Kaltzeiten auf den globalen Meeresspiegel zeigen.

Auf einige der klimabedingten Ursachen möchte ich im Folgenden näher eingehen.

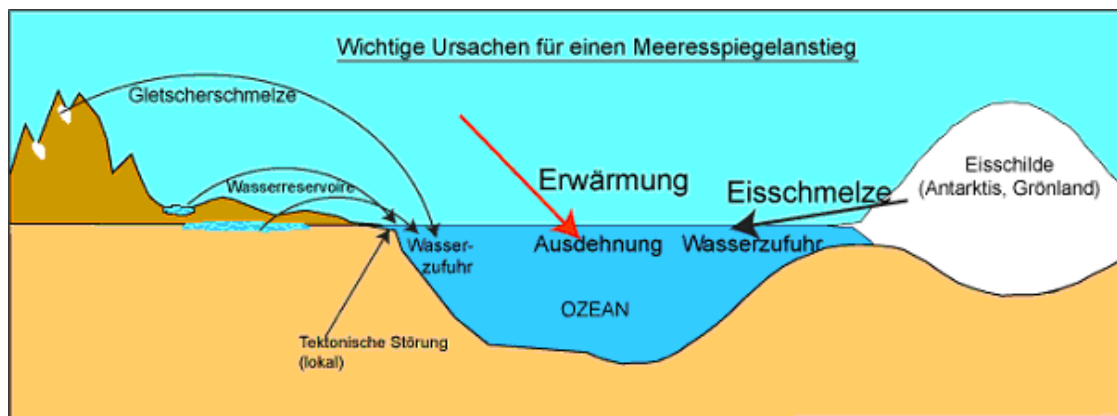


Abb.4: Die wichtigsten Ursachen für den gegenwärtigen und in den nächsten Jahrhunderten zu erwartenden Meeresspiegelanstieg, Quelle: Kasang, D.: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/einleitung.html>

3.1 Wasserzufuhr

Ein wichtiger Grund für den Meeresspiegelanstieg ist die Zufuhr von Wasser. Die Gletscher in Grönland und im West-Antarktischen Eisschild schmelzen und so gelangt Meerwasser in die Ozeane, das vorher auf dem Land in riesigen Eismassen gespeichert wurde. Der Fachbegriff für den hierdurch bedingten Anstieg des Meeresspiegels lautet „eustatisch“.

Die Veränderung von Gletschern und Eiskappen hatte einen Einfluss zwischen 1961 und 2003 von 0,5 cm pro Jahrzehnt¹, der sich von 1994 bis 2003 auf 0,93 cm erhöht und damit nahezu verdoppelt hat. Die Abbildung 5 zeigt den Meeresspiegelanstieg, der durch das Schmelzen von Gletschern und Eiskappen zwischen 1961-2003 verursacht wurde. Die blaue

¹ Quelle: Dieter Kasang: <http://lbs.hh.schule.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/eustatisch.html>, 30.01.2007

Kurve zeigt den jährlichen Anstieg in mm pro Jahr. Die rote Kurve zeigt einen kumulativen Anstieg in mm pro Jahr.

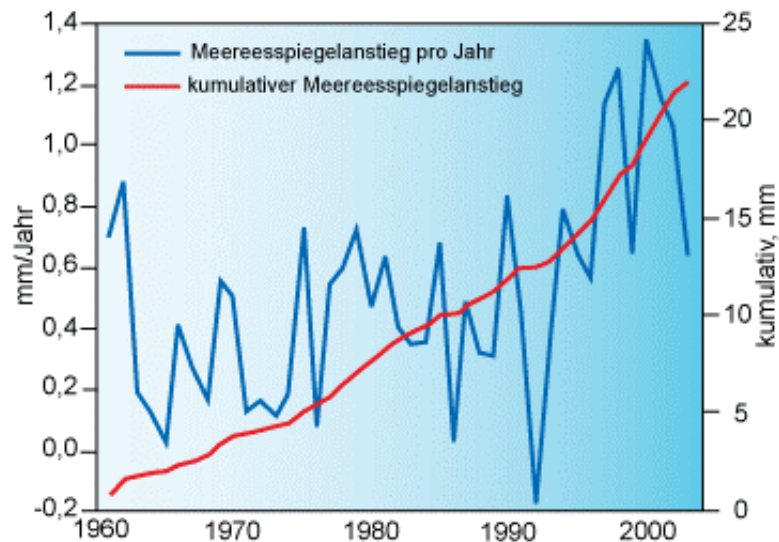


Abb.5: Meeresspiegelanstieg durch das Schmelzen von Gletschern und Eiskappen von 1961-2003. Blaue Kurve: jährlicher Anstieg in mm pro Jahr; rote Kurve: kumulativer Anstieg in mm pro Jahr, Quelle: Kasang, D., Hamburger Bildungsserver: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/einleitung.html>

3.1.1 Gletscherschmelze

Das Anwachsen oder Schrumpfen von Gletschern ergibt sich aus dem Gleichgewicht zwischen Schmelzvorgängen und Wachstum durch Neuschnee. Durch die derzeitige Erwärmung beginnt der Schnee auf den Gletschern zu schmelzen. Das Wasser versickert und sammelt sich zwischen Eis und Stein, wo es als „Gleitmittel“ für die Eisblöcke dient. Die Gletscher werden dann von der Schwerkraft beschleunigt und rutschen ruckartig über das Gletscherbett abwärts.

Alle Gletscher und Eiskappen der Erde haben zusammen ein Volumen von ungefähr 180000 km³. Würden sie vollständig abschmelzen, käme es zu einem Meeresspiegelanstieg von ca. 0,5 m. Nimmt man die Gletscher in den Randzonen der großen Eisschilde aus der Rechnung, wären es sogar nur 0,16 m. Damit tragen Gletscher im Vergleich zu anderen Mechanismen einen verhältnismäßig geringen Anteil zum Meeresspiegelanstieg bei.

3.1.2 Beiträge der grönländischen Eisschilde

Bei einem reinen erwarteten Schmelzvorgang würden die Randzonen des grönländischen Eisschildes nur halb so viel Masse verlieren, wie es momentan Realität ist. Ursache hierfür könnte die Durchfeuchtung mit Schmelzwasser sein oder aber die Erwärmung des Wassers unterhalb der Gletscherzonen, die zur Auflösung von Schelfeis führt. Beide Faktoren sind für

eine Zunahme der Eisdynamik, d.h. eine stärkere Fließgeschwindigkeit des Eises Richtung Ozean, verantwortlich.

Aber auch die Abschmelzfläche auf der Oberfläche des grönländischen Inlandeises hat zugenommen. Diese Schmelzfläche betrug 1992 etwa 274.000km², im Jahre 2002 aber zweieinhalb Mal so viel. Dazu muss aber erwähnt werden, dass sich die globale Erwärmung durch den Ausbruch des Mt. Pinatubo 1991 in den folgenden Jahren zwischenzeitlich abgemildert hat. 1991 und 1995 lag die Schmelzfläche deutlich höher als 1992.

3.1.3 Antarktis

Der Einfluss der Antarktis auf den Anstieg des Meeresspiegels ist umstritten.

Die Westantarktis ist auf jeden Fall an dem Anstieg des Meeresspiegels in den letzten Jahrzehnten durch Eisdynamik und Schmelzprozesse beteiligt.

Derzeit verlieren die beobachteten westantarktischen Gletscher etwa 60% mehr Masse, als sie durch Neuschnee wiedergewinnen können. Dies ist ein Beitrag von etwa 0,2 mm pro Jahr² umgerechnet auf den Meeresspiegelanstieg und dies bei einem derzeitigen Anstieg insgesamt von 1,8mm pro Jahr.

Der Ostantarktis führt möglicherweise zu einer Absenkung des Meeresspiegels. Höhenmessungen durch Satelliten zeigen, dass durch zunehmenden Schneefall der Eismassenzuwachs vielleicht zur Absenkung des Meeresspiegels führt. Eine aktuelle Untersuchung zeigt allerdings, dass der arktische Schneefall seit den 1950er Jahren sich trotz höherer Temperaturen im Winter nicht bedeutsam geändert hat. Schwerkraftmessungen von Satelliten in den Jahren 2002 bis 2005 haben dies bestätigt. Durch die Messungen hat sich ein Massenverlust von 152 km³ pro Jahr feststellen lassen können, was einem Anstieg des Meeresspiegels um 0,4 cm pro Jahrzehnt entsprechen würde.

Daher lässt sich nicht genau sagen, inwieweit die Antarktis gegenwärtig zu einem Anstieg oder zu einem Absinken des globalen Meeresspiegels beiträgt.

3.2 Ausdehnung des Wasserkörpers

Der Meeresspiegelanstieg durch Ausdehnung (sterisch) hängt mit der Erwärmung des Meerwassers zusammen. Bei der Erwärmung nehmen die Dichte ab und das Volumen bei gleicher Masse zu.

Die Erwärmung des Ozeans hängt u.a. von den Treibhausgasen in der Atmosphäre ab, ist also auch anthropogen bedingt. Im Ozean gibt es aber eine Verzögerung bei der Weitergabe

² Quelle: Elmar Uherek, „Klimaszenarien für das 21.Jahrhundert:
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Zukunft_der_Arktis/Eisschmelze_3tz.html 24.09.2006

einer Erwärmung des Oberflächenwassers in tiefere Schichten aufgrund der hohen Wärmekapazität des Ozeans.

Daher fanden 60% der Erwärmung des Ozeans in der 2.Hälfte des 20.Jahrhunderts in den oberen 700m statt. Die Abbildung unten zeigt den durch Erwärmung verursachten Meeresspiegelanstieg von 1955 bis 2003 für die 0-700m Schicht. Der Wärmegehalt der oberen 3000m hat sich in dieser Zeit um durchschnittlich 0,037°C erhöht. Wenn man diese Werte mit der atmosphärischen Temperaturzunahme vergleicht (ca. 0,4°C in Bodennähe), erscheint die Erwärmung gering.

Allerdings entspricht eine Erwärmung des gesamten Ozeans um 0,1°C einer Erwärmung der Atmosphäre um 100°C, da die Wärmekapazität des Ozeans weit über der der Atmosphäre liegt. Dies würde aber nur eintreffen, wenn man davon ausgeht, dass die Wärme unmittelbar vom Ozean in die Atmosphäre überführt werden würde.

Wichtig zu wissen ist auch, dass die Erwärmung keineswegs gleichmäßig über die Ozeane verteilt ist. Dies haben Satellitenmessungen ergeben. So gab es eine Meeresspiegeländerung

in einigen Regionen, die zehnmal höher war als der globale Durchschnitt, und in anderen Regionen ist der Meeresspiegel sogar etwas gefallen. Der Atlantik zum Beispiel zeigt aufgrund seiner ausgeprägten Tiefenkonvektion Erwärmungen bis in 1000m Tiefe, während die anderen Ozeane Temperaturzunahmen nur in den oberen 100 Metern haben.

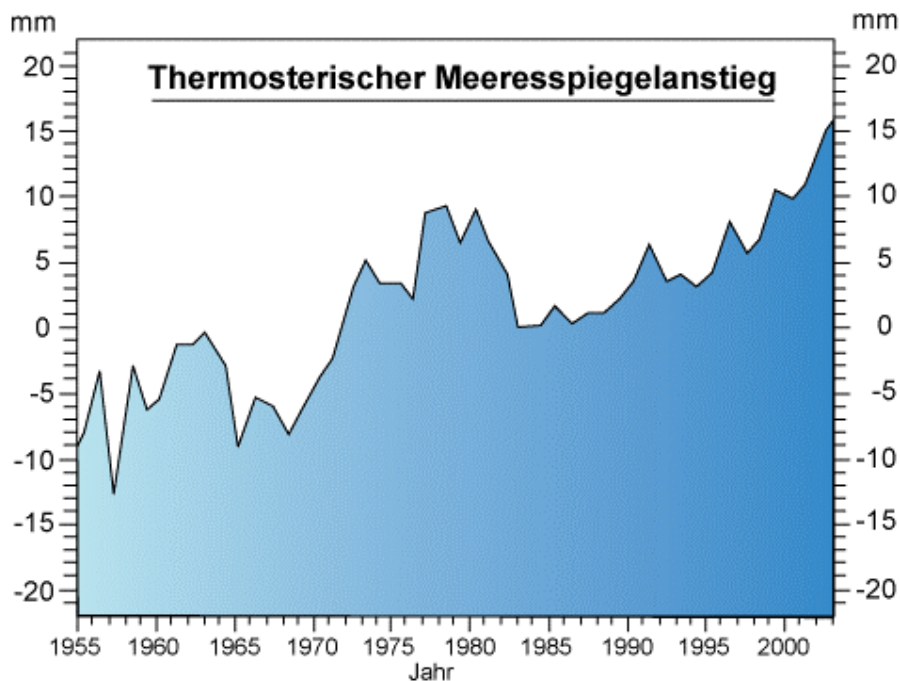


Abb.6: Der durch Erwärmung verursachte Meeresspiegelanstieg von 1955-2003 für die 0-700m Schicht, Quelle: Kasang, D., Hamburger Bildungsserver:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/einleitung.html>

Bei der Verringerung des Salzgehaltes im Weltozean nimmt die Dichte des Meerwassers ab. Gründe für die Verringerung des Salzgehaltes sind die Erhöhung der Niederschläge und Verringerung der Verdunstung über ozeanischen Gebieten, Süßwasserzufuhr durch das Abschmelzen von Meereis und der Zufluss von Süßwasser vom Land aufgrund höherer Niederschläge und durch das Abtauen von Landeis.

Wie groß der Einfluss der einzelnen Faktoren ist, ist nicht genau bekannt. Die Verringerung des Salzgehaltes macht aber 10% des thermosterischen Effekts aus.

3.3 Direkte anthropogene Einflüsse

Nicht nur indirekt über den Klimawandel, sondern auch direkt beeinflusst der Mensch den Meeresspiegelanstieg, z.B. indem er natürliche Wasserreservoirs und -flüsse auf dem Land umverteilt oder stört. Beispiele dafür sind:

1. Grundwasserentnahme zur Bewässerung oder Trinkwassergewinnung
2. Umleitung von Oberflächenwasser aus Flüssen oder Seen zu Bewässerungszwecken
3. Abholzung von tropischen Wäldern
4. Auffüllung von Drainage von Feuchtgebieten
5. Versiegelung besiedelter Gebiete

All das hat einen positiven Einfluss auf den Meeresspiegelanstieg. Die Gründe dafür sind:

1. Das gewonnene Grundwasser wird durch Oberflächenabfluss oder Verdunstung vermehrt in den Ozean geleitet
2. Intensive Nutzung des Oberflächenwassers führt zu erhöhter Verdunstung und verringert den Abfluss in Binnensee-Speichern, Beispiele dafür sind der Aralsee und das Kaspische Meer
3. Die Abholzung von Wäldern in den Tropen führt zur Vernichtung eines bedeutenden Wasserspeicher auf dem Land und hinzu kommt der schnellere Abfluss
4. Die Bodenversiegelung in verstädterten Gebieten verstärkt den Abfluss des Wassers an der Oberfläche
5. siehe 4.

Dieser positive Beitrag wird jedoch möglicherweise durch die Speicherung von Wasser in künstlich geschaffenen Reservoirs ausgeglichen. In diesen Reservoirs wird Wasser gespeichert, das sonst in den Ozean abgeflossen wäre.

Wenn in Zukunft weniger Staubecken als in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts angelegt werden, wird der Meeresspiegel im 21. Jahrhundert möglicherweise sogar um 30%³ stärker ansteigen als bisher angenommen und davon ist auszugehen.

³ Quelle: Dieter Kasang, „Der Meeresspiegel-Anstieg im 20. Jahrhundert“: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>, 24.09.2006

4. Zukünftiger Meeresspiegelanstieg

In meiner Arbeit werde ich den zukünftigen Meeresspiegelanstieg in den nächsten hundert Jahren, also bis 2100, beobachten. Diesen Zeitraum habe ich aufgrund vorhandener Daten und Prognosen gewählt. Der Zeitraum bis 2300 wäre wegen der deutlicheren Auswirkungen der anthropogenen Einflüsse sinnvoller. Allerdings lassen die Prognosen bis 2100 eine genauere und sicherere Bestimmung des Meeresspiegelanstiegs zu, und der bis dahin erwartete Meeresspiegelanstieg ist für meine Arbeit ausreichend, um Folgen für den Scharbeutzer Strand feststellen zu können.

Die folgenden Anstiegsraten gehen von einer globalen Erwärmung von 3°C aus, weil dies der Wirkung einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration, also einem CO₂-Äquivalent von 560ppm, entspricht.

Die Ausdehnung des Wassers⁴ wird nach den meisten Modellrechnungen im 21. Jahrhundert der dominante Faktor sein, der zum Anstieg des Meeresspiegels beiträgt. Das Max-Planck-Institut für Meteorologie hat eine neue Simulation zur Bestimmung des sterischen Meeresspiegelanstiegs durchgeführt. Das IPCC-Szenario A1B hat dabei gezeigt, dass der sterische Meeresspiegelanstieg durch Erwärmung des Ozeans und Abnahme des Salzgehaltes in manchen Regionen 26cm bis 2100 und 65cm bis 2200 betragen wird. Wie vorher schon dargestellt, steigt der Meeresspiegel nicht überall gleich. Demnach wird der stärkste Anstieg für den Atlantik erwartet, weil hier die Verringerung der Dichte durch Süßwasserzufuhr eine wichtige Rolle spielt. Der Unterschied zwischen dem mittleren Meeresspiegelniveau des Atlantiks und des Pazifiks wird so teilweise ausgeglichen, der gegenwärtig noch 78cm beträgt.

Der Anteil der Gletscher- und Eiskappenschmelze wird in den nächsten Jahrzehnten zunehmend geringer und wahrscheinlich noch in diesem Jahrhundert gegen Null gehen. Wenn die Gletscher und Eisschilde, außerhalb der Arktis bzw. Antarktis, komplett abschmelzen, entspricht das einem potentiellen Meeresspiegelanstieg von 0,65m⁵. Für das Volumen aller Gletscher außerhalb von Grönland und der Antarktis gibt der IPCC-Bericht (2001a) einen Meeresspiegelanstieg von 0,5m an. Bei einer globalen Erwärmung von 3°C bis 2100 wäre dann mit einem Verlust der Gletschermassen von 80% zu rechnen. Eine neue Arbeit von Raper und Braithwaite aus dem Jahre 2006 verwendet Werte von 0,2-0,4m⁶, was der Hälfte des IPCC-Berichtes entspricht.

Noch ist der Einfluss der großen Eisschilde umstritten, wie bei den Ursachen schon erläutert. In fernerer Zukunft ist dies aber sicherlich die größte Gefahr. Zu dieser Erkenntnis ist man gekommen, weil man den Höhepunkt der letzten Kaltzeit vor ca. 20000 Jahren betrachtet hat. Seit damals sind fast die gesamten Eismassen auf den Kontinenten der Nordhalbkugel abgeschmolzen, was einen Meeresspiegelanstieg um 120m verursacht hat. Die Ausdehnung des Meerwassers durch Erwärmung hatte daran nur einen kleinen Anteil. Auch in den nächsten Jahrhunderten und Jahrtausenden wird bei anhaltender globaler Erwärmung das

⁴ Quelle: Dieter Kasang, „Zukünftiger Meeresspiegelanstieg“ :
<http://lbs.hh.schule.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/prognosen.html>, 30.01.2007

⁵ Quelle: Dieter Kasang, „Zukünftiger Meeresspiegelanstieg“:
<http://lbs.hh.schule.de/klima/klimafolgen/meeresspiegel/prognosen.html>, 30.01.2007

⁶ Quelle: WGBU(2006): Die Zukunft der Meere- zu warm, zu hoch, zu sauer, Seite 37

Abschmelzen Grönlands und von Teilen der Antarktis den Meeresspiegel zunehmend beeinflussen. Der Anteil der Erwärmung des Ozeanwassers und der der Gletscher und Eiskappen wird hingegen wie beim Übergang von der letzten Kältezeit zur gegenwärtigen Warmzeit immer geringer.

Der Anteil, den Grönland am Anstieg des Meeresspiegels, bei einer lokalen Erwärmung von 5,5°C, was einer globalen Erwärmung von 3°C entspricht, haben wird, wird bis zum Jahre 2300 auf 0,9m geschätzt. Durch dynamische Mechanismen, die in den Kontinentaleismassen vorkommen, wird eher ein Wert zwischen 0,9-1,8m⁷ angenommen.

Verschwinden weitere Eisschelfe, ist ein Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes auf einer ähnlichen Zeitskala wie bei Grönland zu befürchten. Hierdurch werden 1-2m Meeresspiegelanstieg⁸ bis 2300 angenommen. Bei konstanter Rate entspricht dies einem Verschwinden des westantarktischen Eisschildes über einen Zeitraum von 900-1.800 Jahren.

In der Summe ergibt sich ein Anstieg um ca. 3-5m bis zum Jahr 2300, wie es auch unten in der Tabelle noch einmal aufgelistet ist.

Mechanismus	Anstieg in m
Thermische Ausdehnung	0,4-0,9
Gebirgsgletscher	0,2-0,4
Grönland	0,9-1,8
Westantarktis	1,0-2,0
Summe	2,5-5,1

Abb.7: Geschätzter globaler Meeresspiegelanstieg bis zum Jahre 2300 bei einer auf 3°C begrenzten Erwärmung, Quelle: WBGU (2006): Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer, Sondergutachten, Berlin, S. 33; auch als Download: http://www.wbgu.de/wbgu_sn2006.pdf

⁷ Quelle: WBGU(2006): Die Zukunft der Meere- zu warm, zu hoch, zu sauer, Seite 38

⁸ Quelle: WBGU(2006): Die Zukunft der Meere- zu warm, zu hoch, zu sauer, Seite 38

5. Die Ostsee

5.1 Allgemein

Die Ostsee ist ein 413 000 km² großes, flaches Binnenmeer, das nur über die schmalen Meerengen am Kattegatt (Sund, Kleiner und großer Belt) mit dem Atlantik in Verbindung steht. Globale Schwankungen des Meeresspiegels wirken sich damit direkt auf den Ostseemeeresspiegel aus. Ihre mittlere Tiefe beträgt 55m, und die größte Tiefe befindet sich mit 473m im Landsorter Tief südlich Stockholms. Die Nordsee im Vergleich hat eine mittlere Tiefe von 90m, und die tiefste Stelle ist 809m tief. Die Zirkulationsvorgänge werden durch Schwellen am Meeresgrund, die die Ostsee in einzelne Becken gliedern, erschwert.

Durch die schmalen Öffnungen zum Meer ist der Wasseraustausch mit der Nordsee sehr gering. Deshalb beträgt der Tidenhub auch nur ca. 10cm. In der Ostsee sedimentieren weniger Sinkstoffe, und die Sedimente sind - aufgrund der fehlenden Gezeiten - deutlich grobkörniger im Uferbereich als an der Nordsee. Die Ostsee wird auch als Brackwassermeer (eine Mischung aus Süß- und Salzwasser) bezeichnet, weil der Salzgehalt zwischen 2-3% in der Beltsee und zwischen 1,3-0,3% im Bottnisch-Finnischen Meerbusen schwankt. Dies ist zurückzuführen auf den geringen Wasseraustausch und die ständige Süßwasserzufuhr über die Flüsse.

Im Sommer bildet sich in 8-10m Tiefe eine stabile thermohaline Sprungschicht aus, die den vertikalen Wasseraustausch erschwert. Die lange Eisbedeckung der nordöstlichen Ostsee unterbindet zusätzlich den Wasseraustausch. Die stabile Sprungschicht kann auch nur durch sehr heftige Stürme aufbrechen.

Geologisch gesehen ist die Ostsee ein junges Meer, das sich in der heutigen Form erst nach der letzten Eiszeit durch den Rückgang der Eismassen gebildet hat. Mit dem Abtauen des Eises wurde die Mittelschwedische Senke frei und das Wasser des Süßwassersees floss in das Weltmeer ab. Bedingt durch den stärkeren Anstieg des Weltmeeresspiegels strömte über einen Zeitraum von ca. 1000 Jahren Salzwasser in die Ostsee.

5.2 Krustenbewegungen

Die Klimaerwärmung und die Hebung der Landmassen beeinflussten und beeinflussen die weitere Entwicklung der Ostsee und ihrer Küste noch immer. Die Klimaveränderung bewirkt ein Abschmelzen der in den Gletschern gebundenen Wassermassen, was einen globalen Meeresspiegelanstieg zur Folge hat. Durch den Abschmelzprozess verlieren die Gletscher an Gewicht und die darunter liegenden Landmassen, die durch das Gewicht der Eismassen in den Erdmantel gedrückt wurden, werden entlastet. Von der Auflast befreit, heben sie sich bis sie sich in einem isostatischen Gleichgewicht befinden. Der Ausgleichsprozess ist noch nicht abgeschlossen, er wirkt sich außerdem nicht überall gleich aus. So sieht man in der Abbildung 8, dass sich fast ganz Skandinavien hebt und sich die deutsche Ostseeküste senkt.

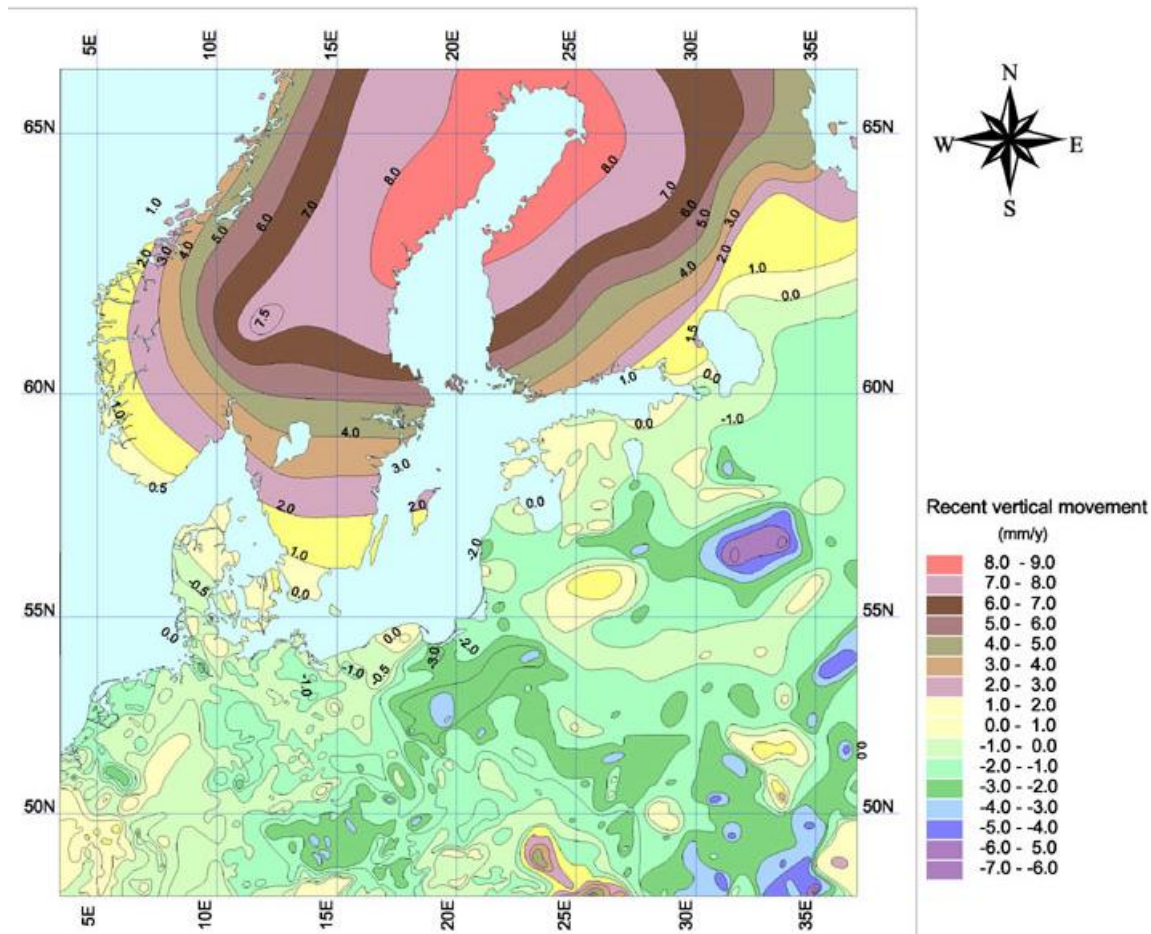


Abb.8: Aktuelle Krustenbewegung, Quelle: Harff, J.; Frischbutter, A.; Lampe, R. & Meyer, M. (2001): Sea-Level Change in the Baltic Sea: Interrelation of Climatic and Geological Processes. - In: Gerhard, J. et al. [eds.]: Geological Perspectives of Climate Change: - Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., Special Publ.: p. 231-250; Tulsa, Oklahoma.
 (oder: <http://www.io-warnemuende.de/projects/sincos/archive/meyer/iso.htm>)

5.3 Meeresspiegelschwankungen der Ostsee

Die Ostsee weist eine geringere Tiefe (Mittlere Tiefe 52m) auf, als andere Meere, wie zum Beispiel die Nordsee mit einer mittleren Tiefe von 90m. Das Wasser der Ostsee kann sich durch die einfallende Sonnenstrahlung aufgrund der geringen Tiefe sogar bis auf den Grund erwärmen. Auch wird es in der Tiefe nicht durch andere Wassermassen abgekühlt. So kann sich das Wasser der Ostsee stark ausdehnen. Der sterische Effekt ist also sehr hoch. Durch die Verbindung zur Nordsee macht sich der stärkere Anstieg des Meeresspiegels allerdings nicht bemerkbar, weil das Abfließen von Wassermassen die Ausdehnung des Wasserkörpers der Ostsee kompensiert. Um jetzt den genauen Anstieg des Meeresspiegels für bestimmte Orte an der Küste zu bestimmen, muss man den globalen Meeresspiegelanstieg und die Hebung bzw. Senkung der Landmassen betrachten.

6. Scharbeutz- konkrete Auswirkungen

6.1 Allgemein

Bei 10° 45' n. Br. und 54°02' ö. L. liegt die Gemeinde Scharbeutz im Kreis Ostholstein in Schleswig-Holstein. Scharbeutz liegt unmittelbar an der Lübecker Bucht der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und gehört landschaftlich zum glazialen Östlichen Hügelland. Scharbeutz ist 51,78km² groß und liegt 1m über NN. Es gibt 11.874 Einwohner (31.Dez.2004) und somit eine Bevölkerungsdichte von 229 Einwohner je km².

Scharbeutz ist ein beliebtes Strandbad und seit 1970 staatlich anerkanntes Seeheilbad. Im Jahre 2002 gehörte der Ort zu den zehn wichtigsten Zentren im Schleswig-Holsteinischen Fremdenverkehr. Es waren 45.314 Gäste da, davon 1.366 (2,29%) aus dem Ausland und buchten 292.468 Übernachtungen. Der Ort verfügte über 3.940 Gästebetten⁹. Die Wirtschaft in Scharbeutz ist sehr vom Tourismus abhängig. Dies sieht man an den ganzen Sehenswürdigkeiten und der Kultur, sowie am Verkehr und den öffentlichen Einrichtungen. In meiner Arbeit werde ich untersuchen, ob der zukünftige Meeresspiegelanstieg den Strand als wichtige Einnahmequelle, „verschlingt“ bzw. zerstört.

6.2 Prognosen für den Meeresspiegelanstieg in Scharbeutz

Der globale Meeresspiegelanstieg wird bis 2100 um mindestens 0,59m bis maximal 2m ansteigen.¹⁰ In meiner Arbeit werde ich beide Prognosen für Scharbeutz durchspielen. Man muss dabei immer beachten, dass sich zusätzlich zum steigenden Meeresspiegel die Landmassen bei Scharbeutz senken, wodurch der Meeresspiegel „schneller“ steigt. Das Sinken der Landmassen hat einen jährlichen Beitrag von -0,5mm. Die Karte (Abbildung 8) zeigt die aktuellen Krustenbewegungen im Ostseeraum. Die roten, braunen und gelben Flächen kennzeichnen Hebunggebiete. Grüne und blaue Flächen kennzeichnen Senkungsgebiete. Wie aus der Karte ersichtlich ist, hebt sich Skandinavien, hingegen senkt sich die gesamtdeutsche Küstenregion bis auf Kiel und Fehmarn. Das heißt, dass sich die Landmassen bis 2100 (gerechnet von 2007) um 4,65cm senken werden. Also haben wir einen Meeresspiegelanstieg in Scharbeutz um 63,65cm bzw. im Extremfall um 204,65cm (2,0465m).

6.3 Folgen des Meeresspiegelanstiegs auf den Scharbeutzer Strand

Die Folgen für den Scharbeutzer Strand können bei den heutigen Prognosen über den zukünftigen Meeresspiegelanstieg sehr unterschiedlich ausfallen. Im Szenario1 gehe ich davon aus, dass der Meeresspiegel in Scharbeutz um 63,65cm steigen wird. Im Szenario2 werde ich das für den Extremfall mit 204,65cm untersuchen.

⁹ Quelle: Harff et al.(2001), „Prognostizierte Isostasie: <http://www.ostseegebiet.de/scharbeutz-8/> 31.01.2007

¹⁰ Quelle: Intergovernment Panel on climate Change; Climate Change 2007: The Physical Science Basis IPCC 2007 ist so wie zitiert noch nicht erschienen!!!

6.3.1 Szenario1

Bei einem Meeresspiegelanstieg von mindestens 63,65cm bis zum Jahre 2100 wird es schon zu erheblichen Folgen für den Strandabschnitt Scharbeutz kommen.

Die folgenden Bilder zeigen die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs von knapp über einem halben Meter. Im linken Bild sieht man den Scharbeutzer Strand nach Süden ausgerichtet, rechts dementsprechend den Strand nach Norden ausgerichtet.



Abb.9: Scharbeutzer Strand (rechts nach Süden und links nach Norden). Die schwarze waagrecht verlaufende Linie kennzeichnet einen erwarteten Meeresspiegelanstieg bis 2100 mit 63,65cm

Anhand der Bilder erkennt man, dass der Meeresspiegelanstieg für Scharbeutz fatale Folgen hat und das schon bei einem Anstieg von 63,65cm bis zum Jahr 2100. Der Scharbeutzer Strand wird fast durchweg „halbiert“ und stellenweise sogar komplett verschwinden.

Bei Sturmfluten, wie es zum Beispiel gerade Ende November 2006 vorkam, steigt das Wasser bis kurz vor das Dünengras. Wenn man bedenkt, dass in 100 Jahren der Meeresspiegel noch 63,65cm höher ist, so kommt es bei Sturmfluten auch zu Überschwemmungen des dahinter gelegenen Fußwegs bzw. der Promenade und Straße.

6.3.2 Szenario2

Bei einem Meeresspiegelanstieg von 204,65cm bis zum Jahre 2100 wird es zu noch schlimmeren Folgen für den Strandabschnitt Scharbeutz kommen.

Die folgenden Bilder zeigen die Auswirkungen für einen Meeresspiegelanstieg von etwas über zwei Meter. Links ist wieder der Scharbeutzer Strand nach Süden zu sehen und rechts nach Norden ausgerichtet.

Wie auf den Bildern erkennbar ist, wird bei einem Meeresspiegelanstieg von 204,65cm bis 2100, wie er im Extremfall erwartet wird, der komplette Strand überschwemmt. Nach meinen Einschätzungen wird auch die dahinter gelegene Promenade und die Straße stellenweise bis

komplett überschwemmt sein. Dies bedeutet bei Sturmfluten eine Gefährdung der strandnah gebauten Häuser.



Abb.10: Scharbeutzer Strand (rechts nach Süden und links nach Norden). Die schwarze waagrecht verlaufende Linie kennzeichnet einen erwarteten Meeresspiegelanstieg bis 2100 mit 204,65cm

Wie auf den Bildern erkennbar, wird bei einem Meeresspiegelanstieg von 204,65cm bis 2100, wie er im Extremfall erwartet wird, der komplette Strand überschwemmt. Nach meinen Einschätzungen wird auch die dahinter gelegene Promenade und die Straße stellenweise bis komplett überschwemmt sein. Dies bedeutet bei Sturmfluten eine Gefährdung der strandnah gebauten Häuser.

Dies bestätigen auch die Satellitenbilder. Im linken Bild ist deutlich der Aufbau des Scharbeutzer Strandes erkennbar. Rechts ist die Ostsee, danach kommt der Strand (helle Fläche), die Promenade (grün und kleine helle Wege), die Straße (gräulich) und dann kommen die Häuser. Das rechte Satellitenbild liegt etwas nördlicher als das linke. Man sieht die Scharbeutzer Seebrücke, und das weiße Gebäude von oben ist die Ostseetherme. Bei einem Meeresspiegelanstieg von 63,65cm bis 2100 ist der helle Strand halb bis ganz überschwemmt und bei einem Meeresspiegelanstieg von 204,65cm bis 2100 werden auch die grünliche Promenade und die gräuliche Straße überschwemmt. Wenn man das ganze aus der Luft betrachtet, zeigen sich die Auswirkungen viel deutlicher als vom Boden auf Bildern.



Abb.11: Satellitenbilder von Teilen Scharbeutz. Linkes Bild liegt südlicher als das rechte Bild, Quelle: Google Earth, <http://maps.google.de/maps?q=Scharbeutz&hl=de&ie=UTF8&t=k&om=1&ll=54.035672,10.75112&spn=0.002596,0.007253&z=17&iwloc=addr>

6.4. Fazit

Für einen Meeresspiegelanstieg, wie er für 2100 schon erwartet wird, egal ob mit 63,65cm oder 204,65cm, müssen auf jeden Fall Küstenschutzmaßnahmen getroffen werden.

Ansonsten sind die Häuser in Küstennähe bzw. Strandnähe bei jeder Sturmflut gefährdet.

Das Problem bei den Küstenschutzmaßnahmen ist, dass meistens schon der rückwärtige Raum verbaut ist und gar kein Platz für solche Schutzmaßnahmen ist. Zudem bedeuten Küstenschutzmaßnahmen auch einen Verlust des Strandes von beiden Seiten. Von der einen Seite kommt das Wasser und von der anderen Seite nehmen zum Beispiel Deiche viel Platz ein.

Der Verlust des Strandes bedeutet auch einen Verlust an Attraktivität für Scharbeutz. So werden sich die Touristen einen anderen Urlaubsort suchen müssen, wenn sie an den Strand gehen möchten, da dieses spätestens 2100 in Scharbeutz nicht mehr möglich ist. Scharbeutz wird so eine seiner wichtigsten Einnahmequellen verlieren.

7. Diskussion der eigenen Arbeit

In meiner Arbeit ist leider ein sehr großes Problem zum Schluss aufgetreten. Zur Bestimmung und Eingrenzung der genauen Folgen des Meeresspiegelanstiegs für den Scharbeutzer Strand habe ich mir eine topographische Karte im Maßstab 1:5000 bestellt. In diese Karte hätte ich den genauen Meeresspiegelanstieg einzeichnen und auf Sattelitenbilder übertragen können. Leider ist bis zum heutigen Zeitpunkt die Karte vom Landvermessungsamt Schleswig-Holstein noch nicht gekommen. Ich war deshalb auf Fotos angewiesen, die nicht so detailliert das widerspiegeln, was aus einer topographischen Karte herauszufinden ist. Deshalb ist mir eine exakte Übertragung meiner vorhandenen Daten auf den Scharbeutzer Strand nicht möglich.

Ich hätte meine Arbeit auch gerne noch etwas ausgebaut. Ich wollte vor Ort einen Strandabschnitt genau vermessen und kartieren. Nachher war die Zeit aber so eng bemessen, dass ich es nicht mehr geschafft habe, nach Scharbeutz zu fahren und diese Arbeiten durchzuführen.

8. Literatur und Quellen

Internetquellen:

- ~ „Meeresspiegelanstieg“, Dieter Kasang
<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>, 24.09.2006
- ~ „Meeresspiegelanstieg beschleunigt“, vom 31.01.2006
<http://www.welt.de/data/2006/01/31/838761.html>, 24.09.2006
- ~ „Antike Aquakultur bestätigt Meeresanstieg“, pte
<http://www.rhombos.de/shop/a/show/story/?88>, 24.09.2006
- ~ „Klimaszenarien für das 21. Jahrhundert“, Elmar Uherek
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Nr2June05_Research_5j2.html, 24.09.2006
- ~ „Wenn die Gletscher tanzen“, Katja Seefeldt 24.03.2006
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gletscherschmelze>, 25.09.06
- ~ „Prognostizierte Isostasie“, Harff et al.(2001)
<http://www.ostseegebiet.de/scharbeutz-8/> 31.01.2007
- ~ „Klimaszenarien für das 21. Jahrhundert“, Elmar Uherek
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Zukunft_der_Arktis/Eisschilde_3tz.html 24.09.2006
- ~ „Meeresspiegelschwankungen vom Eiszeitalter bis in die Zukunft“, B. Hillmann (2004)
http://www.ikzm-d.de/seminare/pdf/MS_Ostseeregion_Hillmann.pdf

Nachschlagwerke:

- ~ „Das Nachschlagewerk“, Dudenverlag, 7. Auflage von 2001
- ~ „Der neue Reader's digest Brockhaus“, Verlag das Beste GmbH von 1973
- ~ „Die Zukunft unserer Meere- zu warm, zu hoch, zu sauer“, WGBU von 2006
- ~ „Seydlitz Geographie-Band 1“, Schroedel von 1998
- ~ „Climate Change 2007: Physical Science Basis“, Intergovernment Panel on Climate Change von 2007

Zeitschriften:

- ~ Spiegel Extra : „Die Jahrhundertflut- das Protokoll der Katastrophe“ vom September 2002