

Meeresspiegelschwankungen vom Eiszeitalter bis in die Zukunft

Björn Hillmann

Holzoppelweg 35, 24118 Kiel, Norweger165@web.de

Zusammenfassung: Im Gebiet der Ostseeregion hat sich in den vergangenen Jahrtausenden ein enormer Wandel vollzogen. Nach dem Abschmelzen der Skandinavischen Eismassen und dem daraus resultierenden baltischen Eisstausees, der durch Exaration vorgeformt wurde, befand sich das erste mal ein Meer in dieser Region welches der heutigen Ostsee in Ansätzen entspricht. Es gab jedoch keine direkte Verbindung zum Weltmeer. Erst Durch weiteren Zufluss von Schmelzwasser kam es zu einer Verbindung zum Weltmeer und zum erstmaligen Einstrom von Salzwasser. Dies war der Beginn der Ancylusphase, in welcher eustatische und isostatische Prozesse dominierten. Die nächste Entwicklungsstufe, das Litorinameer, entspricht nahezu der Ostsee, wie wir sie von heute kennen, mit einer Verbindung zum Weltmeer im Gebiet Öresund und Belt. Wie sich der Meeresspiegel in der Zukunft entwickelt lässt sich nicht mit 100%iger Wahrscheinlichkeit sagen. Fest steht nur, dass der Meeresspiegel der Ostsee steigen wird. Es wird jedoch zu Regionalen unterschieden kommen.

1. Einleitung

Im Gebiet der Ostsee haben sich in den vergangenen Jahrtausenden gravierende Veränderungen im Verlauf der Küstenlinien und des Meeresspiegel ereignet (Sauramo 1958, Björck 1979). Bewegungen der Erdkruste spielten dabei eine ebenso wichtige Rolle wie klimatische Veränderungen. Die Bewegungen der Erdkruste und klimatische Veränderungen hatten und haben erheblichen Einfluss auf die Meeresspiegelschwankungen in der Ostsee und den restlichen Meeren (1). Oftmals wird in den Medien über den globalen Temperaturanstieg in der Zukunft und den daraus resultierenden Folgen berichtet (Häckel 1999). Wenige Aspekte der negativen Folgen der globalen Erwärmung sind dabei dramatischer hervorgehoben worden als die Vorhersage eines Meeresspiegelanstieges um mehrere Meter, der niedrige Küsten und deren Städte überfluten würde. Von einem bedrohlichen Temperaturanstieg ist oftmals die Rede. Die Frage bleibt, um wie viel Grad sich das Klima in welcher Zeit erwärmen wird. Zu klären ist weiterhin, wie sich der Meeresspiegel im Laufe der Geschichte bis in die heutige Zeit entwickelt hat. Wie hoch war jedoch der Meeresspiegel in der Vergangenheit? Ist es nicht trivial, dass der Meeresspiegel im Laufe der Zeit variiert?

Klimaänderungen tragen erheblich zu den Weltweiten Meeresspiegelschwankungen bei (Häckel 1999). Während der letzten Eiszeiten lag das Niveau des Weltweiten Meeresspiegel weit unter dem heutigen Niveau (Mahlberg 1997). Das Aktuelle scheint auf den Ersten Blick als konstant.

In meiner Ausarbeitung werde ich auf den Meeresspiegel der Ostsee in der Vergangenheit und der Gegenwart eingehen. Mein Schwerpunkt ist dabei ein Untersuchungszeitraum von vor 8.000 Jahren

bis heute in dem ich das Wechselspiel zwischen eustatische und isostatischen Prozessen aufzeige. Diese Prozesse führen zu einer Verlagerung von Küstenlinien.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die geringe Tiefe der Ostsee, die Besonderheit der Ostsee als ein sehr flaches Meer. Flache Gewässer erwärmen sich schneller als tiefe, durch Erwärmung dehnt sich der Wasserkörper aus und es kommt zu einem thermalen Meeresspiegelanstieg.

2. Die Ostsee

2.1 Allgemeines über die Ostsee von heute

Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Ostsee 412.500km² groß und umfasst ein Volumen von ca. 21.630 km³ Ostseewasser (Klug, Sterr & Boedeker 1988). Im Norden und Westen wird sie vom Bergland Skandinaviens begrenzt, wogegen im Osten und Süden der Ostsee sich weiträumige Tiefebene anschließen (Klug, Sterr & Boedeker 1988).

Die Ostsee ist mit der Nordsee und damit dem Weltmeer durch die Dänische Straße verbunden. Insgesamt erfährt sie einen größeren Zufluss durch Niederschlag und Grund- bzw. Oberflächenwasser als durch Verdunstung abgeführt wird. Der Meeresspiegel liegt im nördlichen und östlichen Teil 35cm über Normalnull. Das führt zu einem größeren Ausstrom über die dänischen Straßen und das Kattegatt, als durch Einstrom aus der Nordsee zugeführt wird. (2508 km³ Ausstrom gegenüber 2000 km³ Einstrom (Anderson 1981). Die Ostsee verfügt nur über drei Verbindungen mit der Nordsee, deren Tiefe durchschnittlich höchstens 17 m beträgt. (Öre Sund - 7m; Großer Belt - 26m; Kleiner Belt - 18m). Hinzu kommen für die Ostsee typische einzelne Becken mit hohen Schwellen, wodurch ein schlechter Wasseraustausch zustande kommt. Daraus folgt ein niedriger Salzgehalt, wobei es von West nach Ost zur Aussüßung kommt. Die Ostsee hat heute eine ständig offene Verbindung zur Nordsee und somit zu den Weltmeeren. Globale Schwankungen des Meeresspiegels wirken sich damit direkt auf den Ostseemeeresspiegel aus (Küster 2002).

Die Ostsee befindet sich auf 2 Platten, die Nördliche hebt sich, die Südliche, wozu Kiel zählt, senkt sich. Aufgrund dieser Situation entstehen unterschiedliche Hebungs- und Senkungstendenzen. Somit ist ein genereller Anstieg des Meeresspiegels nicht pauschalisierbar. Dazu im weiteren Verlauf mehr

2.2. Die Entstehung der Ostsee und ihre weitere Entwicklung bis heute

Im geologischen Sinne handelt es sich bei der Ostsee um ein vergleichsweise junges Meer (Ekman 1996). Zwar bestanden schon in der Kreide (140 bis 65 Millionen vor heute) und im Trias (65 bis 2 Millionen vor heute) immer wieder entstandene Meere im Ostseeraum (1). Eine Trennung zwischen Ost- und Nordsee existierte jedoch noch nicht. (1) Erst die Gletscher der Elster- und vor allem der Saalekaltzeit (bis ca. 125.000 vor heute) schufen mit Jütland und der schleswig-holsteinischen Geest einen Riegel zwischen Nord- und Ostsee (Björck 1979). In der an die Saalekaltzeit anschließenden Eemzwischenkaltzeit gab es erstmals nachweislich ein Meer, das der heutigen Ostsee entsprach (Newig & Theede 1985). Die Geschichte der heutigen Ostsee beginnt jedoch vor ca. 13.000 Jahren mit dem Ende der Weichselvereisung (Björck 1979). Mit dem zügigen Abtauen des Eises bildet sich in einem durch die Exaration (Aushobende Wirkung vorrückender Gletscherfronten) der Gletscher vorgeformten Becken zunächst der Baltische Eisstausee heraus (Liedtke & Marcinek 2002).

Baltischer Eisstausee

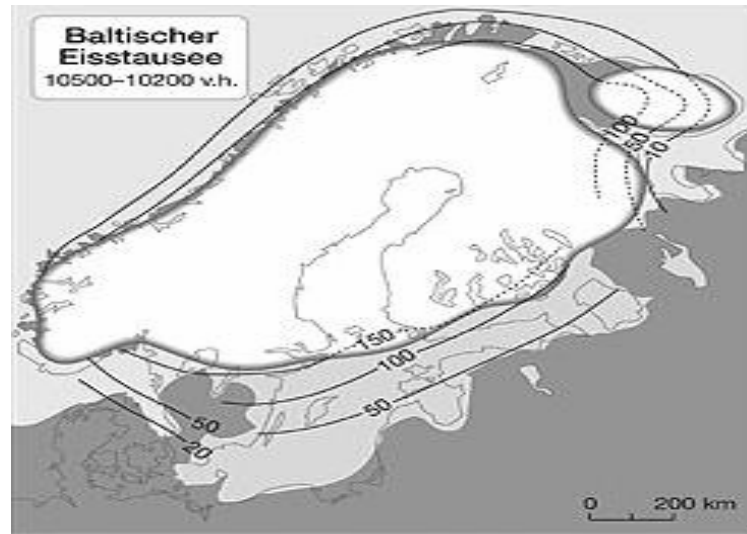


Abb. 1: Baltischer Eisstausee (Quelle: Liedtke & Marcinek 2002)

Dieser hatte keine Öffnung mit den Weltmeeren. Der Wasserspiegel dieses Süßwassersees staute sich durch weiteres Schmelzwasser der abschmelzenden Gletscher bis ca. 10.300 Jahren vor heute auf und senkte sich dann nach Abfluss über die Mittelschwedische Senke auf das damalige Meeresspiegelniveau um 25 – 30 m (Lambeck 1999). Durch die nun geschaffene Verbindung zum Weltmeer kam es zum Einstrom von Salzwasser. Diese Phase wird als Yoldia Phase bezeichnet und reichte bis etwa 9.500 Jahre vor unsere Zeit (Janke & Lampe 1999). Als Folge der Hebungstendenzen des Baltischen Schildes nach dem Abtauen der Eisbedeckung schloss sich die bestehende Verbindung zum Weltmeer jedoch. Die Folge war eine erneute Aussüßung des Wasserkörpers (Liedtke & Marcinek 2002). Der damit um 9.500 Jahren vor heute entstandene Ancylus – See hatte keinen Zugang zum Weltmeer.

Ancylussee

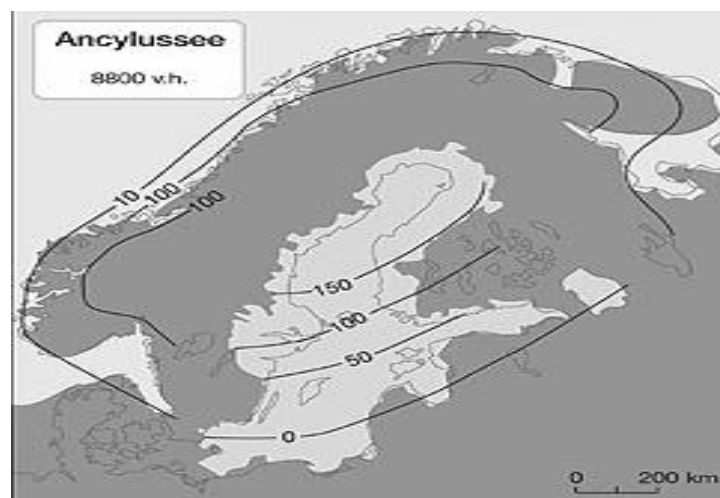


Abb. 2: Ancylussee (Quelle: Liedtke & Marcinek 2002)

Durch ständiges Aufstauen von Wassermassen kam es aber um 9.000 Jahren vor heute zu einem erneuten Ausfluss, dieses mal im Bereich des Kattegatt (Liedtke & Marcinek 2002). Dadurch sank der Meeresspiegel erneut und große Teile fielen trocken (1).

Dieses rasche, innerhalb von nur 500 Jahren stattfindende Absinken des Wasserspiegels des Ancylus – Sees auf das Niveau des damaligen Weltmeeres betrug um die 10 m. (Björck 1979). Die folgende zweite Ancylus – Phase dauerte bis ca. 8.000 Jahre vor heute an. Bedingt durch globale eustatische Prozesse (Lambeck & Chappel 2001) kam es dann zu einem schnellen Anstieg des Meeresspiegels und der damit verbundenen Litorina – Transgression (Liedtke & Marcinek 2002).

Litorinameer

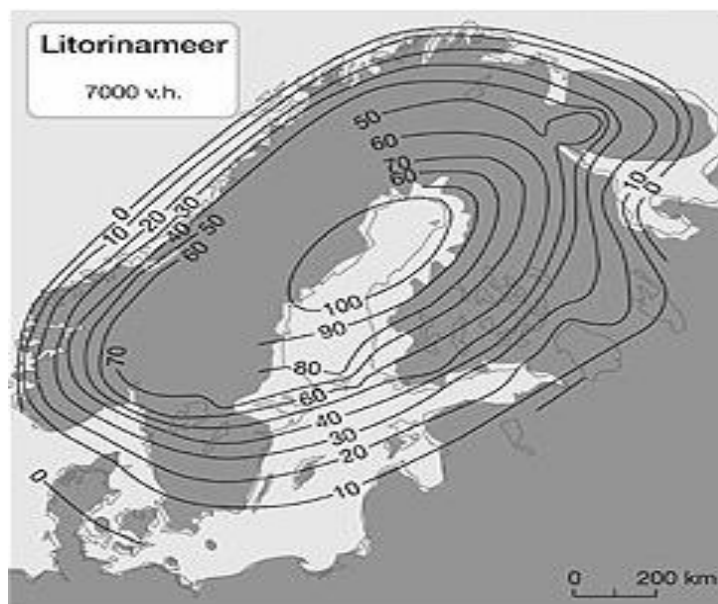


Abb. 3: Litorinameer (Quelle: Liedtke & Marcinek 2002)

Die Littoria – Transgression (Meeresspiegelanstieg) führte zu starken Veränderungen im Verlauf der Küstenlinie. (Newig & Theede 1985). In der Zeit von 7.900 bis 7.300 vor heute vollzog sich ein Meeresspiegelanstieg von 15 Metern. (Newig & Theede 1985). Im südlichen Ostseebereich kam es während des initialen Stadiums der Transgression bei Anstiegsraten von bis zu 2, 5 cm im Jahr zu einem sogenannten „Ertrinken“ der Küste (Küster 2002). Es entstand eine neue Verbindung von Ost- und Nordsee über die Beltsee. Durch isostatische Hebungen wurde die Verbindung zwischen Nord- und Ostsee in den beiden vergangenen Jahrtausenden jedoch wieder eingengt, aber nicht wieder verschlossen (Küster 2002).

Die weitere Entwicklung der Ostsee und ihrer Küsten wurde und wird von zwei gegenläufigen Prozessen maßgeblich bestimmt.

Zum einen kam es durch die Klimaerwärmung zum Abschmelzen der in den Gletschern gebundenen Wassermassen. Daraus resultierte ein globaler Meeresspiegelanstieg (Newig u. Theede 1985). Im Gegensatz zur Transgressionsregion im Süden ist im Norden die Regression maßgebend. Ursache hierfür sind die isostatischen Bewegungen Skandinaviens. Die Landmassen in Skandinavien befinden sich in nachkaltzeitlichen Hebungen (Meyer, Harff & Lampe 2001). Unter dem Gewicht der Gletscher sind die Landmassen herabgedrückt worden. Seitdem die Gletscher abschmelzen, befinden sich die

Landmassen in einer Ausgleichshebung, die man als isostatisch bezeichnet (Meyer, Harff & Lampe 2001). Allerdings wirkt sich die isostatische Hebung im Ostseeraum nicht überall gleich aus gleich aus.

Karte der aktuellen Krustenbewegung

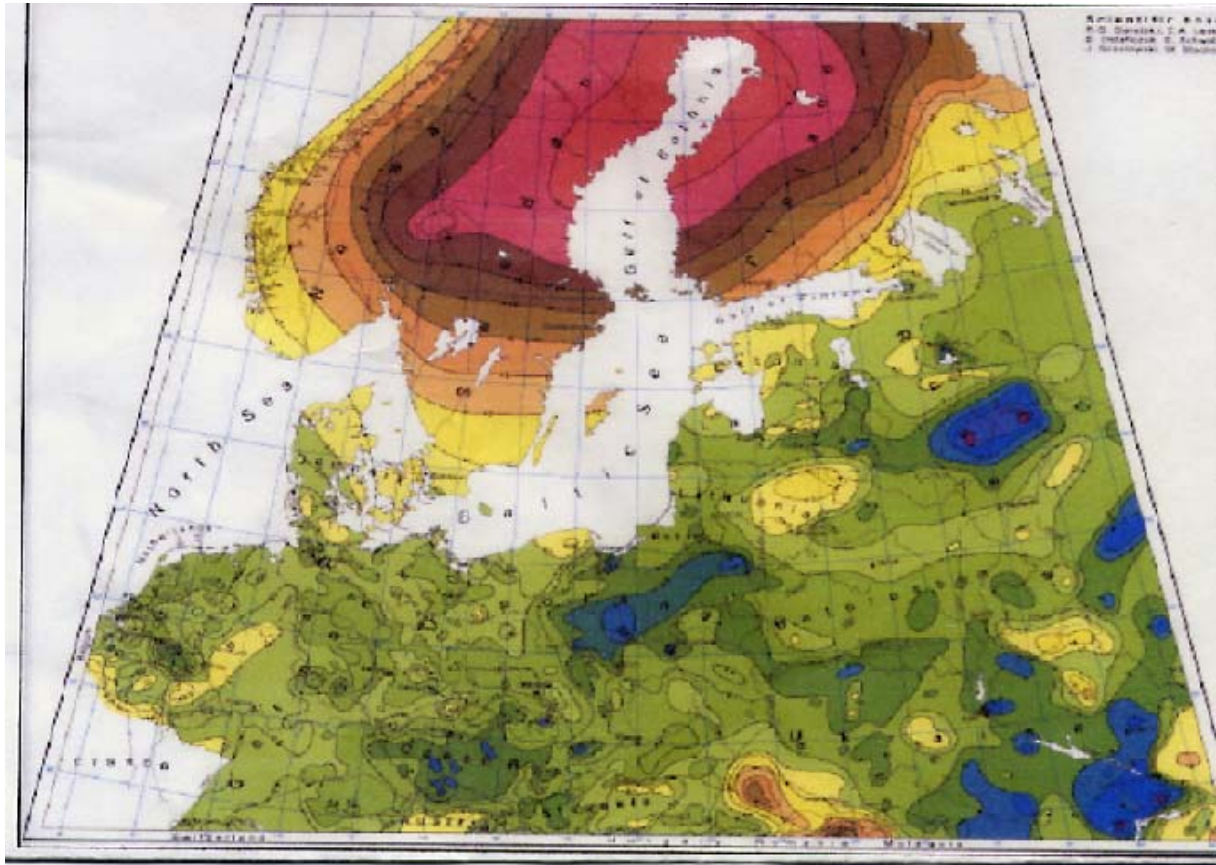


Abb. 4: Aktuelle Krustenbewegung (Quelle: http://www.io-warnemuende.de/projects/sincos/archive/meyer/diss_meyer.pdf)

Rote, braune und gelbe Farben kennzeichnen Hebungsgebiete, wobei sich die roten Gebiete bis zu 8 mm/J heben, braune zwischen 5 – 7 mm/J und gelbe 1 – 4 mm/J. Grüne und blaue Gebiete sinken stattdessen, folglich die gesamtdeutsche Küstenregion bis auf Kiel und Fehmarn. Absenkung in den grünen Gebieten bis zu 2 mm/J, in den blauen Gebieten zwischen 3 und 6 mm/J.

Wie aus der Karte ersichtlich, hebt sich Skandinavien mit ca. 8 mm im Jahr. In der Vergangenheit müssen diese Raten, zumindest im Norden um einiges größer gewesen sein, sonst würde es lediglich eine Differenz von 64 m zum Zeitpunkt 8.000 Jahre vor heute entsprechen (Liedtke & Marcinek 2002). Die relativen Meeresspiegeldaten zeigen aber, dass es Gebiete in Schweden gibt, die sich seit der Weichselkaltzeit bis um 200 m gehoben haben (Liedtke & Marcinek 2002). Als plausible Erklärung für das Abnehmen der vertikalen Bewegungsgeschwindigkeit der Erdkruste kann das Abklingen glaziosostatischer Prozesse seit dem Ende der letzten Eiszeit herangezogen werden (Liedtke & Marcinek 2002). Schlussendlich kann man feststellen, dass es im Ostseegebiet seit der Weichselvereisung zu keinem gleichmäßigen Verlauf von Meeresspiegelschwankungen beim Küstenverlauf gekommen ist. Hervorgerufen wurde dieses infolge der Überlagerung von eustatischen

und isostatischen Prozessen, die einen Nordsüdgradienten in der Verlagerung von Küstenlinien aufweist, sei es wie im Norden regressiv oder im Süden transgressiv (3).

Ich möchte einmal übersichtlich die Meeresspiegelschwankungen der Ostsee darstellen:

Tab. 1: Epochen der Ostseeentwicklung

Epoche	Jahre vor heute	Ostseephase	Meeresspiegel zum heutigen Wert
Drya III (jüngeres Spätglazial)	12.000	Baltischer Eisstausee	-
Präboreal Haselze (Vorwärmezeit)	10.000	Yoldia-Meer	Unter -40 m
Boreal (frühe Wärmezeit)	9.000	Ancylus-See	- 20 bis - 40 m
Atlantikum Eichenmischald- (Hauptwärmezeit)	6.000		
Subboreal Eichenmischwald (späte Wärmezeit)	3.000		um - 0,6 m
Subatlantikum	1.000	Mya - Meer	Um - 0,4m

(Quelle: http://www.uni-kiel.de/ewf/geographie/forum/hintergr/sh1995/01b_kues.htm)

3. Nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig- holsteinischen Ostseeküste

Wie erwähnt, wurden die Großformen der schleswig-holsteinischen Küste durch die Weichselkaltzeit geschaffen (Klug, Sterr & Boedeker 1988). Nach dem Ende der Kaltzeiten dienten die entstandenen Hohlformen als Sammelbecken für den Abfluß zur Ostsee hin (Klug, Sterr & Boedeker 1988). Da das Geschiebematerial verhältnismäßig weich und leicht erodierbar ist, wurden sie immer weiter vertieft (Klug, Sterr & Boedeker 1988). Die nacheiszeitliche Morphogenese der schleswig-holsteinischen Ostseeküste beginnt etwa im 6. Jahrtausend vor heute. Zu dieser Zeit war der Meeresspiegel soweit angestiegen, daß sich die Zungenbecken und Schmelzwasserrinnen im heutigen Küstenbereich mit Wasser füllten (Klug, Sterr & Boedeker 1988 s.8). Das heutige Bild der schleswig-holsteinischen Küste ist durch ein Mosaik von zwei bis zehn Kilometer langen Einheiten geprägt. Flach und Steilküsten mit aktiven und toten Kliffs wechseln sich ab (Sterr 1999).

Der größere Teil der schleswig-holsteinischen Küste zählt zum Typus Steilküste. Für den Bereich zwischen Kiel und Flensburg geben folgende Größenangaben: "Von den insgesamt ca. 145 Küstenkilometern zwischen Kiel und Flensburg entfallen knapp 90 km auf die Steilufer; von diesen wiederum befinden sich 35 km als aktive Kliffs rezent im Abbruch, der Rest verteilt sich auf inaktive

Steilufer (mehrere Jahre nicht mehr von den Wellen angegriffen, bewachsen) sowie tote Kliffs (durch Strandwälle dem Welleneinflu gänzlich entzogen, bewaldet)" (Klug, Sterr & Boedeker 1988).

4. Die Entwicklung der Meeresspiegelschwankungen der Ostsee bis 2100 für Deutschland

Erwärmung und Anstieg des Meeresspiegels gehören inzwischen zu den meistuntersuchten Konsequenzen des Klimawandels. Die exakte Höhe des steigenden Wasserspiegels ist noch nicht vorhersagbar. Die Aktuellen Prognosen schwanken zwischen 40 und 70 cm im globalen Mittel bis zum Jahr 2100 (5).

Eines steht jedoch fest. Die Ostsee würde stärker steigen als die großen Ozeane, wenn es keine Verbindung zu den Weltmeer geben würde. Der Grund hierfür ist, dass die Ostsee eine sehr geringe Tiefe aufweist (Mittlere Tiefe 52 m), als andere Meere (Sterr 1999). Durch Sonneneinstrahlung erwärmt sich das Wasser stärker, durch die geringe Tiefe teilweise bis zum Grund. Es kommt nicht zu einem Abkuhleffekt durch andere Wassermassen in tiefergelegenen Ebenen (Sterr 1999). Das Wasser der Ostsee kann sich so stärker ausdehnen, das Volumen nimmt im stärkeren maße zu, dadurch steigt folglich der Meeresspiegel. Das sich stärker ausgedehnte Wasser fließt jedoch durch die Dänische Straße ab. Ein tatsächlicher Anstieg des Ostseespiegels wirkt sich somit nicht aus. „Der Effekt der thermischen Ausdehnung des Oberflächenwassers ist bei den Flachwassermeeren wie der Ostsee im Vergleich zu den Weltmeeren überproportional hoch“ (Sterr 1999). Die Großen Ozeane sind um einiges tiefer, die tiefste Stelle ist die Vitias – Tiefe mit 11.022 m. Zum Vergleich ist die Ostsee an der tiefsten Stelle nur 459 m tief, im Landsorttief (4).

Der Blick zurück in die jüngste Erdgeschichte zeigt, dass der gegenwärtige menschengemachte Anstieg des Meeresspiegels in eine Periode natürlichen Anstiegs fällt, die schon sehr viel früher vor der Industrialisierungsphase eingesetzt hat (5). Geologische Untersuchungen des Meeresbodens brachten Torfablagerungen zutage, die beweisen, dass dort Pflanzenbewuchs vorhanden war. Die Küstenlinie hat sich in den letzten 8.000 Jahren um rund 300 km landeinwärts verschoben (5). Der Wasserstand ist seitdem um 20 bis 40 Meter gestiegen (5). In letzten Jahrhundert um die 20 cm Meeresspiegelanstieg (5). Aktueller erdgeschichtlicher und anthropogener Anstieg verstärken sich gegenseitig (Mahlberg 1997). Der natürliche Trend der Erderwärmung und das daraus resultierende Ansteigen der Ostsee, sei sie durch Wasserzunahme oder durch thermische Ausdehnung der Oberflächenwasser, verstärken sich somit gegenseitig (Liedtke & Marcinek 2002). Die Folgen des landeinwärts dringenden Wassers sind schon lange spürbar. An der Ostsee müssen neue Bezugsgrößen für den Küstenschutz her. (5) Aktuell wird sich noch immer am Jahrhunderthochwasser von 1872 in der Ostseeregion orientiert (5). Doch bei einem ähnlichen Sturmhochwasser wie 1872 würden durch den gestiegenen Meeresspiegel weite Areale der Küstenlandschaft einschließlich vieler Kustenorte überflutet werden. Die Mecklenburg – vorpommersche Küste, zu der die Rostocker Heide, Dar-Zingst und Hiddensee zählen, gelten als besonders gefährdet für etwaige Landverluste im Ostseebereich. Die Bodden werden sich, bei prognostizierten Meeresspiegelanstieg um mindestens 50 cm, zu offenen Meeresbuchten verwandeln (5).

Literatur:

Anderson, B. G. (1981): Late Weichselian Ice Sheets in Eurasia and Greenland. - In: Denton, G. H., Huthes, T. J. (eds.): The Last Great Ice Sheets. - John Wiley & Sons Interscience Publ., New York et al.: 1-65. Björck, S. (1979): Late Weichselian Stratigraphy of Bleking, SE Sweden, and Water Level Changes in the Baltic Ice Lake – Dep. Quat. Geol. Lund, Thesis 7: 248 p.

- Ekman, M. (1996): Extreme Annual Means in the Baltic Sea Level during 200 Years in: Small Publications in Historical Geophysics No. 2, Summer Institute for Historical Geophysics, Åland Islands,
- Häckel, H. (1999): Meteorologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart , 448 p.
- Klug, H., Sterr, H. u. Boedeker, D. (1988): Die Ostseeküste zwischen Kiel und Flensburg. Morphologischer Charakter und rezente Entwicklung, Geographische Rundschau 40, Heft 5, S. 6-14.
- Küster, H (2002): Die Ostsee - Eine Natur und Kulturgeschichte. C.H. Beck Verlag,, München, 357 p.
- Liedtke, H. & Marcinek, J. 2002: Physische Geographie Deutschlands. Klett Verlag, Gotha, 357 p.
- Lambeck, K. & Chappell, J. (2001): Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle. In: Science 292. 678 – 686
- Mahlberg, H. (1997): Meteorologie und Klimatologie. Springer Verlag, Berlin, 354 p.
- Meyer, M.; Harff, J. & Lampe, R. (2001): Coast Line Changes of the Baltic Sea with a Transgression – Regression Modell. In: Schriftenreihe der DGG, 14. S. 135 – 136
- Newig, J. u. Theede, H(1985): Die Ostsee. Natur und Kulturraum. Husum.
- Sauramo, M (1958): Die Geschichte der Ostsee. - Suomalainen Tiede akatemia, Helsinki: 522 S. (= Annales Acedemiae Scientiarum Fennicae, Ser. A III, Geologica-Geographica, 51).
- Sterr, H. (1999): Internationale Erfahrungen zum integrierten Küstenzonen – Management, Küstenschutz an Nord und Ostsee, BWK – Schriftenreihe Heft 4/1999, S. 65 – 80.

Links

- (1) http://www.uni-kiel.de/ewf/geographie/forum/hintergr/sh1995/01b_kues.htm
- (2) <http://www.io-warnemuende.de/projects/sincos/archive/meyer/zwischenbericht.pdf>
- (3) <http://home.germany.net/100-15891/geo/nao/nao.html#kap6>
- (4) <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen>
- (5) http://paeps.psi.uni-heidelberg.de/nordsee/Zeitungssarchiv/nord_316.htm