

AMSeL_Ostsee A

Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee

Schlussbericht zu 3.2 BNBest-BMBF 98

gefördert durch:

BMBF

Förderkennzeichen:

03KIS114

Bearbeitungszeitraum:

08/2015 – 07/2018

Auftragsnummer:

WBL 280D

Aufgestellt von:

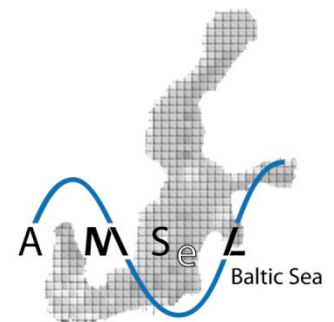
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Dipl.-Ing. Jessica Kelln
Dr.-Ing. Sönke Dangendorf

Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)
der Universität Siegen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Siegen, den 31.01.2019

Universität Siegen
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)
Lehrstuhl für Hydromechanik, Binnen- und Küstenwasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Paul-Bonatz-Straße 9-11
57076 Siegen

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
I Kurzdarstellung.....	1
1 Veranlassung und Aufgabenstellung.....	1
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	2
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn	3
4.1 Die Ostsee	3
4.2 Maßgebliche Einflüsse auf den Meeresspiegel der Ostsee.....	3
4.3 Trends und Beschleunigungen der letzten 200 Jahre	5
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II Eingehende Darstellung.....	6
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	6
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	6
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	7
4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	7
5 Fortschritt bei anderen Stellen.....	7
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisse	7
Literaturverzeichnis	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der säkularen relativen Meeresspiegeländerungen in der Ostsee (RICHTER et al. 2012)4

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die bewilligten Mittel (ohne Projektpauschale)6

Tabelle 2: Durch Projektmittel finanzierte in- und ausländische Dienstreisen.....6

I Kurzdarstellung

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Einordnung des vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Meeresspiegelverlaufs ist für die nachhaltige und sichere Nutzung der Küstenregionen von Nord- und Ostsee von höchster Wichtigkeit. Vor diesem Hintergrund ist es insbesondere der mittlere Meeresspiegel (englisch: Mean Sea Level (MSL)), der sich als Basisgröße zur Beurteilung von Klimaszenarien und als Grundlage für die Risikobewertung darstellt. Weiterhin ist er die Grundlage für weitergehende wasserwirtschaftliche und küsteningenieurtechnische Fragestellungen und Bemessungen sowie der zukünftigen strategischen Ausrichtung des integrierten Küstenzonenmanagements.

Für die Nordsee wurde im Rahmen des KFKI-Projektes „AMSeL - Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste" (gefördert durch das BMBF unter der Projektnummer 03KIS068), die Entwicklung des mittleren Meeresspiegels in der Deutschen Bucht seit 1843 auf Basis hochaufgelöster Pegeldata analysiert. Gleichzeitig wurden Untersuchungen zu Verweildauern und Tideketten durchgeführt. Entsprechende Auswertungen und Forschungsergebnisse aus dem KFKI-Projekt AMSeL haben u. a. ergeben, dass Langzeit-Trends, welche aus den dort ermittelten relativen MSL Zeitreihen der Deutschen Bucht abgeleitet wurden, Ähnlichkeiten mit gleichen Trenduntersuchungen von anderen regionalen oder globalen Untersuchungen aufweisen. Zudem konnte ein beschleunigter MSL Anstieg für den Zeitraum um 1900 sowie innerhalb der zurückliegenden Dekaden detektiert werden. Vor allem im Hinblick auf den Vergleich mit Beobachtungsdaten über die vergangenen 166 Jahre, können die ermittelten Meeresspiegelanstiegsraten innerhalb der letzten Jahre nicht als ungewöhnlich bezeichnet werden. Weiterhin zeigte der Vergleich der Rekonstruktion des MSL-Verlaufs der Deutschen Bucht mit globalen MSL Rekonstruktionen erhebliche regionale Differenzen auf interannuellen bis mehrdekadischen Zeitskalen, welches die Notwendigkeit von regionalen Klima- und MSL-Anstiegsprojektionen für Zwecke des Küsteningenieurwesens hervorhebt. Diese sind für den Küstenschutz von weitaus größerer Relevanz als globale Projektionen, die regional stark von der Wirklichkeit abweichen können. Hieraus leitet sich das Ziel ab, die entsprechenden Auswertungen in vergleichbarer Art auf die Pegel im Ostseeraum auszudehnen und die in AMSeL entwickelten Methoden zur Analyse vorhandener Wasserstandsdaten zu ergänzen und zu erweitern. Insbesondere eine methodisch vergleichbare Auswertung von Ostseepiegeln mit Pegeln der Nordseeküste sollte hilfreiche Erkenntnisse über den Vergleich der Charakteristik und des Ausmaßes der MSL Änderungen an beiden Meeren ergeben, sowie einen Beitrag zum Aufschluss über die wechselseitigen Beziehungen zwischen Nordsee und Ostsee sowie hintergründige Prozesse liefern. Weiterhin ist es von Bedeutung, Muster zeitlicher Schwankungen erkennen und erklären zu können. Dazu werden u. a. meteorologische und ozeanografische Datensätze in die Untersuchung miteinbezogen.

Hier haben untrennbar auch die Effekte von Extremwetterlagen bzw. extremen Wasserständen große Bedeutung. Aufgrund des geringen Einflusses der Gezeiten in der Ostsee ist die Dauer entsprechender Extremereignissen im Wesentlichen von der Dauer der Sturmflut erzeugenden Wetterlagen abhängig. Diese können an der Ostsee bis zu mehre-

re Tage andauern und sind somit im Gegensatz zur Nordsee ein wesentlicher Faktor sowohl im zeitlich variierenden Verhalten des MSL als auch der Gefährdung und Belastung der Küstenregion über längere Zeiträume (Mudersbach und Jensen 2009). Aus diesem Grund sollen weiterhin die Auswirkungen der MSL-Variationen auf extreme Hochwasserereignisse in die Untersuchung einbezogen werden, um ein geschlossenes Bild der Gefährdungslage der Küste, aber auch des Langzeitverhaltens des MSL zu erhalten.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Datengrundlage für die Ostsee ist grundsätzlich als sehr gut zu bewerten. Die Ostsee gilt als eines der am besten und auch am längsten bepegelten Gebiete der Welt. Gerade in der südwestlichen Ostsee liegt eine große Anzahl an Pegelstandorten vor, deren Daten jedoch nicht öffentlich zugänglich sind. Erst vor kurzem wurde durch die WSÄ ein erweiterter Stundendatensatz einer großen Anzahl von Pegeln digitalisiert, der wissenschaftlich bisher noch nicht ausgewertet wurde. Einschränkungen stellten die erst seit kurzem und nur an wenigen Pegelstandorten verfügbaren GPS Messungen dar. Des Weiteren konnten keine hochaufgelösten Wasserstände von polnischen Behörden bezogen werden, da die polnischen Behörden Wasserstandsdaten nur gegen horrenden Kosten, die im Projekt nicht miteingeplant waren, zur Verfügung stellen.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Analyse von hochaufgelösten Wasserstandsaufzeichnungen an mehreren Standorten entlang der südlichen und südwestlichen Ostseeküste. Auf der Grundlage von konsistenten Stichproben für Wasserstandsganglinien aus (verfügbaren) Messdaten (Pegeldaten, Satellitendaten, GPS) wird die räumliche und zeitliche Verteilung des MSL ermittelt. Hierzu werden statistische Verfahren zur Mittelwertbildung herangezogen und auf die Messdaten angewendet. Insbesondere soll der detaillierte Verlauf und Trend (linear und nicht-linear) des MSL ausgewertet werden.

Im Detail sollen folgende Forschungsziele erreicht werden:

- Ermittlung qualitativ hochwertiger Monats-MSL-Zeitreihen für eine größere Anzahl von Pegeln auf Basis möglichst hochaufgelöster Wasserstandsdaten
- Ableitung einer räumlich und zeitlich konsistenten Zeitserie des MSL (und der extremen Einzelereignisse) in der südlichen und südwestlichen Ostsee
- Ermittlung der wesentlichen Einflüsse auf die beobachteten relativen Wasserstandsänderungen; Landhebungs- und -senkungseffekte spielen, wie im Stand der Forschung aufgeführt, vermutlich eine große Rolle und sollen daher quantifiziert werden (durch regional hoch aufgelöste GIA-Modelle, GPS Messungen am Tidepegel, geologische Untersuchungen)
- Einbeziehung von Extremereignissen und statistische Analyse der zeitlichen Entwicklung extremer Hochwasserereignisse in Bezug auf die Entwicklung des MSL
- Einordnung der ermittelten Veränderungen des mittleren Meeresspiegels in großräumige Untersuchungen und Vergleich mit anderen Bereichen (z.B. in welcher Form kann die Ostsee als gedämpfter Nordsee-Pegel aufgefasst werden (siehe Abbildung 5) und wie gut sind globale Meeresspiegelszenarien auf Basis der Analyse der Beobachtungsdaten für das Untersuchungsgebiet einzuschätzen?)

- Ableitung plausibler und räumlich konsistenter Projektionen für ingenieurpraktische Zeiträume (20 / 30 Jahre bzw. 50 / 70 Jahre)

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens sind detaillierte Kenntnisse über die in der Vergangenheit stattgefundenen Änderungen des MSL entlang der deutschen und (teilweise auch der) polnischen Ostseeküste verfügbar, die mit aktuellsten Methoden und Wasserstandsdaten auf dem Stand der Wissenschaft erarbeitet wurden (im Gegensatz hierzu wurden in früheren Studien vielfach unter anderem auch PSMSL – Datensätze herangezogen, welche zwar leicht verfügbar, zumindest im Falle der deutschen Ostseeküste jedoch teilweise inkonsistent sind). Weiterhin wird hierdurch eine Wissenslücke im Vergleich zur deutschen Nordseeküste geschlossen. Es wurde weiterhin überprüft, inwieweit kohärente Änderungen entlang der gesamten südwestlichen und südlichen Ostseeküste (auch im Vergleich zur Nordsee) zu beobachten sind.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn

4.1 Die Ostsee

Die Ostsee, auch Baltisches Meer genannt, ist ein 413.000 km² großes und bis zu 459 m tiefes Binnenmeer. Sie ist über das Kattegat mit der Nordsee und dem Atlantischen Ozean verbunden. Aufgrund ihrer eiszeitlichen Entstehungsgeschichte und der daraus resultierenden Topographie beträgt ihre durchschnittliche Tiefe lediglich 52 m. Das 22.000 km² große Kattegat und die sich daran anschließende, etwa 8.000 km² große Beltsee, welche ein Netz aus Inseln, Meerengen und Buchten bildet, sorgen nicht nur für eine rasche Abnahme der Salinität des Wassers von der Nordsee in die Ostsee, sondern auch für einen sehr geringen Einfluss der Gezeiten. Aufgrund der großen Nord-Süd-Ausdehnung, welche zudem über die Entlastungszone des fennoskandischen Eisschildes und damit stark unterschiedlicher Landhebungs- und auch Senkungsraten verläuft, wurde die Beschränkung des Untersuchungsgebietes auf die südliche und südwestliche Ostseeküste vorgeschlagen; entsprechend der deutschen und polnischen Ostseeküste. Hiermit sollte ein Einstieg für eine spätere Gesamtanalyse für die Ostsee geschaffen werden.

4.2 Maßgebliche Einflüsse auf den Meeresspiegel der Ostsee

Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte der letzten Jahre wurden diverse Arbeiten zum MSL der Ostsee und dessen Einflüssen sowie Ausprägungen von Landhebungen und Landsenkungen erstellt (BACC AUTHOR TEAM 2008; HÜNICKE 2010; RICHTER et al. 2012). Die Haupteinflussfaktoren auf den MSL lassen sich geographisch in die Kategorien global, regional und lokal einordnen. Während global das Volumen des Ozeans durch sterische (daher thermohaline Dichteeffekte) Variationen und Massenänderungen im Austausch mit den landgebundenen Eismassen und terrestrischen Wasserspeichern dominiert wird, spielen auf regionaler und lokaler Skala erheblich mehr Prozesse eine wichtige Rolle (DANGENDORF et al. 2014). So steht die Ostsee auf regionaler Ebene durch Prozesse wie der Umverteilung von Wärme und Salz, Veränderungen des Windregimes, des Luftdruckfeldes oder Ozeanströmungen über die Nordsee im direkten Austausch mit dem Nordatlantik. Zudem ergeben sich regionale Differenzen aus gravitati-

onsbedingten Veränderungen (als Reaktion auf jegliche Massenaustauschprozesse zwischen Land und Ozean). Lokal (daher im Becken selber) hingegen sind es eher Landhebungs- bzw. Landsenkungserscheinungen, lokale Windeffekte, veränderte Süßwasserzufuhr und lokale Temperaturschwankungen, die den MSL beeinflussen (HÜNICKE 2010).

Der Langzeittrend des Ostsee MSL wird maßgeblich von Landsenkungen und Landhebungen als Folge der letzten Eiszeit dominiert. Auf der Basis empirischer relativer MSL Vermessungen lassen sich Variationen in den Anteilen der postglazialen Isostasie (englisch: *glacial isostatic adjustment*: GIA) zwischen 10 mm/a Landhebung für die nördlichen Gebiete der Ostsee und bis zu 1 mm/a Landsenkung im Bereich der südwestlichen Ostsee feststellen (ROSENTAU et al. 2007). Aktuellere Forschungen konzentrieren sich auf die Auswertung von Daten modernerer geodätischer Messtechniken, wie zum Beispiel GPS Daten (RICHTER et al. 2012). RICHTER et al. (2012) bestätigen die grundsätzlichen Tendenzen und Variationen im Bereich der Ostsee und stellen weiterhin fest, dass sich die Übergangszone zwischen Landhebung und –senkung entlang der deutschen Ostseeküste erstreckt (Abbildung 1). Bei der Betrachtung der Unsicherheiten der Schätzwerte übersteigen die Unsicherheiten im Bereich der deutschen Ostseeküste jedoch deutlich die eigentlichen Schätzwerte. Dies verdeutlicht den weiteren Forschungsbedarf, der mit dem Thema der Isostasie in Verbindung steht.

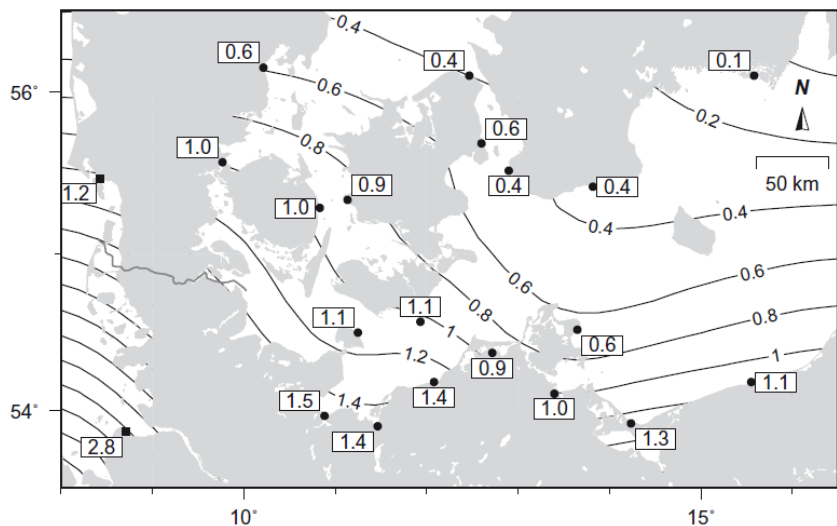


Abbildung 1: Darstellung der säkularen relativen Meeresspiegeländerungen in der Ostsee (RICHTER et al. 2012)

Die klimainternen Variationen des MSL sind vor allem in den Wintermonaten stark an die Variationen in der Nordatlantischen Oszillation (NAO) gekoppelt. Die maßgeblichen Einflussfaktoren stellen hierbei auf interannueller und dekadischer Ebene dominante Westwindlagen, Luftdruckvariationen, lokale Temperaturschwankungen des Wasserkörpers und Niederschlag dar (HÜNICKE et al. 2008). Der Einfluss der NAO ist hierbei jedoch sowohl zeitlich als auch geographisch heterogen (ANDERSSON 2002; JEVREJEVA et al. 2005). In der Summe lässt sich über den NAO Index auf interannueller Basis regionspezifisch jedoch nur zwischen 10 und 35 % der Variabilität erklären (JEVREJEVA et al. 2005). HÜNICKE et al. (2008) führten eine detailliertere Betrachtung der atmosphärischen Einflüsse mit einzelnen variierenden Prädiktoren des MSL für den gesamten Ostseebereich durch und konnten mit Niederschlag einen weiteren Faktor identifizieren der den

MSL vor allem auf dekadischer Ebene maßgeblich beeinflusst. Sie vermuten, dass der Niederschlag vor allem Veränderungen in der Dichte und des Salzgehaltes bewirkt.

4.3 Trends und Beschleunigungen der letzten 200 Jahre

Wie oben bereits erwähnt, sind die Langzeittrends des MSL in der Ostsee maßgeblich durch die postglaziale Isostasie geprägt. Die Konsequenzen dieser vertikalen Landbewegungen äußern sich in dem breiten Spektrum relativer regionaler MSL Trends, die zwischen 1,7 mm/a für die südöstliche und -9,4 mm/a für die nordwestliche Ostsee variieren (VERMEER et al. 1988). Der eustatische Anteil des MSL Anstiegs wird im BACC Report (BACC AUTHOR TEAM 2008) zwischen 1 und 2 mm/a geschätzt, abhängig von Standorten und zeitlicher Verfügbarkeit der Daten. Ein wesentliches Merkmal hierbei ist, dass vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutlich größere Trends von bis zu 3 mm/a beobachtet wurden, welche maßgeblich auf Veränderungen in den Wintermonaten zurückzuführen sind (SUURSAAR et al. 2006). RICHTER et al. (2012) schätzen den linearen Trend der letzten 100 Jahre für das Gebiet der südwestlichen Ostsee nach der Korrektur um postglaziale isostatische Effekte auf rund 1,3 mm/a. Eine Auswertung der seit 1993 verfügbaren Altimetriedaten durch MADSEN (2009) ergab weiterhin deutlich höhere MSL Trends sowohl im Vergleich zum globalen Mittel als auch zu den Messwerten der Nordsee. Diese Werte gehen mit den Ergebnissen älterer Untersuchungen einher, die alle auf eine Beschleunigung des MSL im Bereich der Ostsee hindeuten (KALAS 1993; KONT et al. 1997; JOHANSSON et al. 2001; FENGER et al. 2001; EKMAN 2003; SUURSAAR et al. 2006). ZORITA und HÜNICKE (2010) hingegen untersuchten Pegelzeitreihen unterschiedlicher Standorte der Ostsee mit gleitenden Linear- und quadratischen Trends und weisen darauf hin, dass die aktuellen Anstiegsraten im historischen Kontext nicht als außergewöhnlich zu bezeichnen sind. Weiterhin zeigen unterschiedliche Studien je nach Datenherkunft und -verarbeitung signifikante qualitative Unterschiede (JENSEN und TÖPPE 1986; DIMKE und FRÖHLE 2009).

Diese Ergebnisse verdeutlichen die Dringlichkeit, einerseits geeignete Auswertungsmethoden zu testen und zu vergleichen und andererseits die Datensätze der entsprechenden Pegel und zugehöriger Informationen auf der Basis einheitlicher Methoden auszuwerten. Insbesondere eine methodisch vergleichbare Auswertung von Ostseepiegeln mit Pegeln der Nordseeküste sollte, wie bereits in der Veranlassung aufgeführt, hilfreiche Erkenntnisse über den Vergleich der Charakteristik und des Ausmaßes der MSL Änderungen an beiden Meeren ergeben sowie Beitrag zum Aufschluss über die wechselseitigen Beziehungen zwischen Nordsee und Ostsee liefern.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes ergab sich eine enge Zusammenarbeit mit kooperativen und Praxispartnern. Insbesondere hervorzuheben ist die Bereitstellung des GIA Modells NKGLU2016 durch Dr. Holger Steffen vom Lantmäteriet (VESTØL ET AL. 2016). Des Weiteren ergab sich auch auf Anregung der projektbegleitenden Gruppe eine intensive Zusammenarbeit mit Dr. Ulf Gräwe vom Institut für Ostseeforschung Warnemünde (I-OW), der die Ergebnisse verschiedener Läufe des 3D numerischen Ostseemodells zur Verfügung stellte. Zudem entstand bisher auch ein gemeinsamer Journal Beitrag (s. u.).

II Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Arbeiten sowie der erzielten Ergebnisse ist dem angefügten fachlichen Abschlussbericht KELLN et al. (2019) zu entnehmen.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Dem Zuwendungsempfänger standen für die Durchführung der Arbeiten die in nachfolgender Tabelle aufgeführten bewilligten Mittel zur Verfügung.

Tabelle 1: Überblick über die bewilligten Mittel (ohne Projektpauschale)

<i>Kostenart</i>	0812	0822	0843	0846	
<i>Zweck</i>	Personal- ausgaben	Beschäftigungs- entgelte	Allgemeine Verwaltungs- ausgaben	Dienst- reisen	Gesamt (ohne Pro- jektpauscha- le)
<i>Bewilligt/€</i>	276.646	12.679	3.200	8.938	301.463

Die bewilligten Mittel für Dienstreisen wurden für nachfolgend aufgeführte in- und ausländische Dienstreisen verwendet.

Tabelle 2: Durch Projektmittel finanzierte in- und ausländische Dienstreisen

<i>Datum</i>	<i>Anlass</i>	<i>Teilnehmer (Uni Siegen)</i>
07/2015	1. Projektgruppensitzung in Hamburg	Jürgen Jensen, Sönke Dangelndorf, Jessica Kelln
04/2016	EGU 2016, Wien, Österreich	Jessica Kelln
06/2016	1. Sitzung mit der Projektbegleitenden Gruppe in Bremen	Jürgen Jensen, Sönke Dangelndorf, Jessica Kelln
12/2016	2. Sitzung mit der Projektbegleitenden Gruppe in Hamburg	Jürgen Jensen, Sönke Dangelndorf, Jessica Kelln
04/2017	EGU 2017 Wien, Österreich	Jessica Kelln
06/2017	3. Sitzung mit der Projektbegleitenden Gruppe in Bremen	Jürgen Jensen, Sönke Dangelndorf, Jessica Kelln
10/2017	Treffen mit Frau Astrid Sudau bei der BfG in Koblenz bzgl. der Nutzung von GNSS Daten zur Bestimmung vertikaler Landbewegungen	Jessica Kelln
11/2017	4. Sitzung mit der Projektbegleitenden Gruppe in Hamburg	Jürgen Jensen, Sönke Dangelndorf, Jessica Kelln
03/2018	5. Sitzung mit der Projektbegleitenden Gruppe in Bremen	Jürgen Jensen, Jessica Kelln
07/2018	Sea Level Futures, Liverpool, UK	Jessica Kelln

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Da langzeitliche Pegeldata selten und Wasserstandsmessungen nicht wiederholbar sind, ist die Wiederherstellung alter Pegelzeitreihen von höchster Wichtigkeit (BRADSHAW et al. 2015). Die Wissenschaftsgemeinschaft der Meeresspiegelforschung hat die Verantwortung Datenarchäologie von so vielen noch nicht analysierten Meeresspiegelinformationen aus der Vergangenheit wie möglich durchzuführen (WOODWORTH 2006).

4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Rahmen des Projektes erzeugten qualitativ hochwertigen und langzeitlichen MSL Zeitreihen entlang der deutschen Ostseeküste sowie die generierten synthetischen Pegelzeitreihen für dieses Gebiet werden über die Metadaten des KFKI veröffentlicht sowie dem BSH zur möglichen Weitergabe an das PSMSL bereitgestellt.

5 Fortschritt bei anderen Stellen

Zu dem untersuchten Thema wurden im Rahmen der Bearbeitung sowie des wissenschaftlichen Austausches mit nationalen und internationalen Forschern sowohl im Bereich Küsteningenieurwesen als auch zutreffender weiterer Forschungsgebiete wie Ozeanographie bzw. der Geowissenschaften allgemein aktuelle Veröffentlichungen verfolgt, Konferenzen besucht sowie weiterer Informationsrecherchen durchgeführt.

Es sind keine Hinweise bekannt, die einzelne Bearbeitungsschritte und Ziele des Forschungsprojektes obsolet machen.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisse

Journal-Artikel

- Kelln, J.; Dangendorf, S.; Jensen, J.; Patzke, J.; Fröhle, P.; Gräwe U.: AMSeL_Ostsee A – Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee, KFKI aktuell, 18 (1), 2019 (In prep.).
- Kelln, J.; Dangendorf, S.; Jensen, J.: Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee. Die Küste. (In prep.)
- Gräwe, U.; Klingbeil, K.; Kelln, J.; Dangendorf, S.: Decomposing regional mean sea level rise in a semi-enclosed basin, the Baltic Sea. Journal of Climate. (In prep.)

Konferenzbeiträge:

- Kelln, J.; Dangendorf, S.; Jensen, J.: AMSeL_Ostsee A – Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee. 23. KFKI Seminar zur Küstenforschung. 05. Dezember 2018. Hamburg. Vortrag
- Kelln, J.; Dangendorf, S.; Jensen, J.; Patzke, J.; Niemeier, W.; Gräwe, U.; Malagon Santos, V.: Geocentric mean sea level fields at the German North Sea and Baltic coast. 36th International Conference on Coastal Engineering 2018 (ICCE 2018). 30 July – 3 August 2018. Baltimore, Maryland, USA

- Kelln, J.; Dangendorf, S.; Patzke, J.; Jensen, J.: Assembling historical and current sea level measurements to a novel tide gauge dataset for the Baltic Sea. Sea Level Futures Conference. 2.-4. July 2018. Liverpool, UK
- Schmidt, J.; Dangendorf, S.; Calafat, F. M.; Patzke, J.; Jensen, J.: A novel tide gauge dataset for the Baltic Sea – Part 1: Spatial features and temporal variability of the seasonal sea level cycle. European Geosciences Union. General Assembly 2017. 23-28 April 2017. Vienna, Austria. Posterbeitrag
- Schmidt, J.; Dangendorf, S.; Arns, A.; Jensen, J.; Patzke, J.; Fröhle, P.: Mean and extreme sea level changes in the southwestern Baltic Sea. European Geosciences Union. General Assembly 2016. 17-22 April 2016. Vienna, Austria. Posterbeitrag



(Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen)



(Dipl.-Ing. Jessica Kelln)



(Dr.-Ing. Sönke Dangendorf)

Literaturverzeichnis

- ANDERSSON, H. C.: Influence of long-term regional and large-scale atmospheric circulation on the Baltic sea level. In: *Tellus A*, Jg. 54, 1, 76-88. doi: 10.1034/j.1600-0870.2002.00288.x, 2002.
- BACC AUTHOR TEAM: Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. 2008.
- BRADSHAW, E.; RICKARDS, L. J. und AARUP, T.: Sea level data archaeology and the Global Sea Level Observing System (GLOSS). In: *GeoResJ*, Jg. 6, 9-16. doi: 10.1016/j.grj.2015.02.005, 2015.
- DANGENDORF, S.; CALAFAT, F. M.; ARNS, A.; WAHL, T.; HAIGH, I. D. und JENSEN, J.: Mean sea level variability in the North Sea: Processes and implications. In: *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Jg. 119, 10, n/a. doi: 10.1002/2014JC009901, 2014.
- DIMKE, S. und FRÖHLE, P.: Measured sea level rise at the Baltic Sea coast of Mecklenburg-Vorpommern and implications for the design of coastal structures. In: *Proceedings of the Conference on Climate Change*. University of Szczecin, Poland, 1681-6471. 2009.
- EKMAN, M.: The world's longest sea level series and a winter oscillation index for northern Europe 1774-2000. 12, 2003.
- FENGER, J.; BUCH, E. und JACOBSEN, P. R.: Monitoring and impacts of sea level rise at Danish coasts and nears shore infrastructures. In: JØRGENSEN A. M., FENGER J. und HALSNÆS K. (Hrsg.): *Climate change research – Danish Contributions*. Copenhagen, 237-254. 2001.
- HÜNICKE, B.: What do we know about sea-level change in the Baltic Sea? In: *Proceedings of the 6th Study Conference on BALTEX*. Miedzzydroje, Island of Wolin, Poland, 20-21. 2010.
- HÜNICKE, B.; LUTERBACHER, J.; PAULING, A. und ZORITA, E.: Regional differences in winter sea level variations in the Baltic Sea for the past 200 yr. In: *Tellus A*, Jg. 60, 2, 384-393. doi: 10.1111/j.1600-0870.2007.00298.x, 2008.
- JENSEN, J. und TÖPPE, A.: Zusammenstellung und Auswertung von Originalaufzeichnungen des Pegels Travemünde/Ostsee ab 1826. In: *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM)*, Jg. 30, 4, 1986.
- JEVREJEVA, S.; MOORE, J. C.; WOODWORTH, P. L. und GRINSTED, A.: Influence of large-scale atmospheric circulation on European sea level: results based on the wavelet transform method. In: *Tellus A*, Jg. 57, 2, 183-193. doi: 10.1111/j.1600-0870.2005.00090.x, 2005.
- JOHANSSON, M. M.; BOMAN, H.; KAHMA, K. K. und LAUNIAINEN, J.: Trends in sea level variability in the Baltic Sea. In: *Boreal environment research*, Jg. 6, 159-179. 2001.
- KALAS, M.: Characteristic of sea level changes on the Polish Coast of the Baltic Sea in the last forty-five years. In: *International Workshop, Sea Level Changes and Water Management*. Noordswijerhout Nederlands, 51-61. 1993.
- KELLN, J.; DANGENDORF, S. und JENSEN, J.: AMSeL_Ostsee A - Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee. Abschlussbericht Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu), Siegen, 2019.
- KONT, A.; RATAS, U. und PUURMANN, E.: Sea-level rise impact on coastal areas of Estonia. 175-184. 1997.
- MADSEN, K. S.: Recent and future climatic changes in temperature, salinity, and sea level of the North Sea and the Baltic Sea. University of Copenhagen, 2009.
- RICHTER, A.; GROH, A. und DIETRICH, R.: Geodetic observation of sea-level change and crustal deformation in the Baltic Sea region. In: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Jg. 53-54, 43-53. doi: 10.1016/j.pce.2011.04.011, 2012.
- ROSENTAU, A.; MEYER, M.; HARFF, J.; DIETRICH, R. und RICHTER, A.: Relative Sea level change in the Baltic Sea since the Littorina Transgression. In: *Z geol Wiss*, Jg. 35, 1/2, 3-16. 2007.
- SUURSAAR, Ü.; JAAGUS, J. und KULLAS, T.: Past and future changes in sea level near the Estonian coast in relation to changes in wind climate. 123-142. 2006.
- VERMEER, M.; KAKKURI, J.; MÄLKKI, P.; BOMAN, H.; KAHMA, K. K. und LEPPÄRANTA, M.: Land uplift and sea level variability spectrum using fully measured monthly means of tide gauge readings. In: *Finnish Marine Research*, Jg. 256, 1-75. 1988.
- VESTØL, O.; ÅGREN, J.; STEFFEN, H.; KIERULF, H.; LIDBERG, M.; OJA, T.; RÜDJA, A.; KALL, T.; SAARANEN, V.; ENGSAGER, K.; JEPSEN, C.; LIEPINS, I.; PARŠELIŪNAS, E. und TARASOV, L.: NKG2016LU, an improved postglacial land uplift model over the Nordic-Baltic region. Vortrag, Presentation at Nordic Geodetic Commission Working Group of Geoid and Height Systems meeting, Tallinn, 2016.
- WOODWORTH, P. L.: Some important issues to do with long-term sea level change. In: *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, Jg. 364, 1841, 787-803. doi: 10.1098/rsta.2006.1737, 2006.
- ZORITA, E. und HÜNICKE, B.: Is Baltic sea-level change accelerating? In: *Proceedings of the 6th Study Conference on BALTEX*. Miedzzydroje, Island of Wolin, Poland, 1681-6471. 2010.