

Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee (AMSeL_Ostsee A)

Jessica Kelln¹, Sönke Dangendorf¹, Jürgen Jensen¹, Justus Patzke², Peter Fröhle², Ulf Gräwe³

¹Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Universität Siegen, Paul-Bonatz-Str. 9-11, 57076 Siegen

²Institut für Wasserbau, TU Hamburg-Harburg, Denickestr. 22, 21073 Hamburg

³Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), Seestraße 15, 18119 Rostock

Einführung

Der globale Meeresspiegel (GMSL) steigt derzeit aufgrund der globalen Erwärmung und der damit verbundenen thermischen Expansion des Ozeans (Sterik) sowie der Eisschmelze der Gletscher und Eisschilde immer schneller an (DANGENDORF et al. 2017; CHEN et al. 2017; CAZENAVE et al. 2018) und es wird erwartet, dass sich die derzeitige Anstiegsrate von ca. 3,2 mm/a (CHURCH et al. 2013) im 21. Jahrhundert weiter beschleunigt (JEVREJEVA et al. 2010; GRINSTED et al. 2010; CHURCH et al. 2013; DANGENDORF et al. 2017; NEREM et al. 2018). Der Anstieg des Meeresspiegels verläuft dabei allerdings weder zeitlich noch räumlich gleichmäßig, sondern unterliegt komplexen durch unterschiedliche Prozesse verursachten Mustern. Neben den häufig an Eisschmelze gekoppelten gravitativen Einflüssen beeinflussen vor allem Ozeanzirkulation, sowie Wind- und Luftdruckänderungen die regionale Ausprägung mittlerer Wasserstände. Zudem wird der Meeresspiegel an vielen Küsten weltweit von lokalen/regionalen Landbewegungen überlagert, die in vielen Fällen eine ähnliche Größenordnung wie das eigentliche klimatische Signal einnehmen (CONRAD 2013). Um lokale und regionale Küstenschutzmaßnahmen zu planen, sind regionale/lokale Studien zum Verständnis beobachteter Entwicklungen sowie der Ableitung möglicher Zukunftsszenarien des Meeresspiegelanstiegs daher unerlässlich. Die Untersuchungen erfordern qualitativ hochwertige und möglichst langzeitliche Beobachtungszeitreihen des mittleren Meeresspiegels (MSL) durch Tidepegel.

Datengrundlage und Projektziele

In der Ostsee als Ganzes ist die Verfügbarkeit der Beobachtungsdaten, mit einigen der längsten Pegelzeitreihen weltweit, im globalen Vergleich als hervorragend zu bewerten. Dennoch sind im Untersuchungsgebiet in der südwestlichen Ostsee entlang der deutschen und polnischen Ostseeküste bisher nur an vereinzelten Pegelstandorten MSL Zeitreihen veröffentlicht (z. B. PSMSL) und untersucht worden. Dies liegt vor allem auch daran, dass bisher nur für wenige Pegelstandorte langzeitliche digitalisierte Wasserstände zur Verfügung standen. Im Projekt AMSeL_Ostsee ist es nun, aufgrund der erstmals digital verfügbaren (hochaufgelösten) Pegelzeitreihen (zusammengetragen und/oder digitalisiert im

Teilprojekt AMSeL_Ostsee B) für eine größere Anzahl an Pegeln im Untersuchungsgebiet möglich eine detaillierte Analyse der Änderungen im MSL durchzuführen. Im Zeitraum vom 01.08.2015 bis zum 31.07.2018 wurden das Forschungsinstitut Wasser und Umwelt der Universität Siegen (fwu) sowie das Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, dass Verbundprojekt AMSeL_Ostsee (Projektnummern 03KIS0114 & 03KIS0115) durchzuführen. Das fwu befasste sich innerhalb dieses Verbundprojektes mit dem Vorhaben „Analyse vergangener, gegenwärtiger und zukünftiger Wasserstände in der südwestlichen Ostsee (AMSeL_Ostsee A)“. Ziel des Teilprojektes A ist es, die Entwicklung des mittleren Meeresspiegels im Untersuchungsgebiet über einen möglichst langen Zeitraum auf Basis hochaufgelöster Pegeldaten zu analysieren und mit altimetrischen Auswertungen sowie Ergebnissen numerischer Modellläufe zu verknüpfen und zu vergleichen. Einer der Arbeitsschwerpunkte bestand in der Ermittlung möglichst langzeitlicher qualitativ hochwertiger MSL Zeitreihen auf der Basis der im Teilprojekt B zusammengetragenen Pegelzeitreihen.

MSL-Zeitreihen

Innerhalb des Projektes konnte die Datenverfügbarkeit grundlegend erweitert werden. Dabei wurde nicht nur die Anzahl der zu analysierenden Pegelstandorte erhöht, sondern auch die Qualität der MSL Zeitreihen durch die Nutzung hochaufgelöster Daten sowie die Anbringung einer Gezeitenkorrektur an historische Einzelterminwerte verbessert. Es liegen nun MSL Monatszeitreihen an insgesamt 72 Pegelstandorten im Untersuchungsgebiet vor, wovon 66 an der deutschen und sechs an der polnischen Ostseeküste liegen. Weitergehende Analysen, insbesondere zu Langzeittrends, wurden jedoch nur an Pegeln durchgeführt, die eine Zeitreihenlänge von mindestens 19 Jahren (Nodalzyklus) aufweisen. 49 der insgesamt 72 Pegelreihen erfüllen dieses Kriterium. Zudem wurde das Datenkollektiv für die Analyse beckenweiter Prozesse um weitere 90 Pegel aus umliegenden Gebieten der gesamten Ostsee ergänzt.

Da vertikale Landbewegungen die Meeresspiegeltrends maskieren, wurden alle

MSL Zeitreihen um vertikale Landbewegungen aufgrund von postglazialen Landbewegungen (GIA) bereinigt. Dies erfolgte indem die Landbewegungsraten des NKG2016LU Modells nach VESTØL ET AL. (2016) von den MSL Zeitreihen abgezogen wurden. Der Vergleich mehrerer alternativer GIA Modelle zeigte, dass sich das NKG2016LU Model in der gesamten Ostsee als am geeignetsten erwies, wobei entlang der Deutschen Küsten dennoch einige Differenzen verbleiben. Dies zeigt die großen Unsicherheiten der GIA Modellierung, die insbesondere darauf zurückzuführen sind, dass das Untersuchungsgebiet im Übergangsbereich zwischen Landhebung und Landsenkung liegt und derzeit kein Konsens in Bezug auf die Lage der Nulllinie besteht.

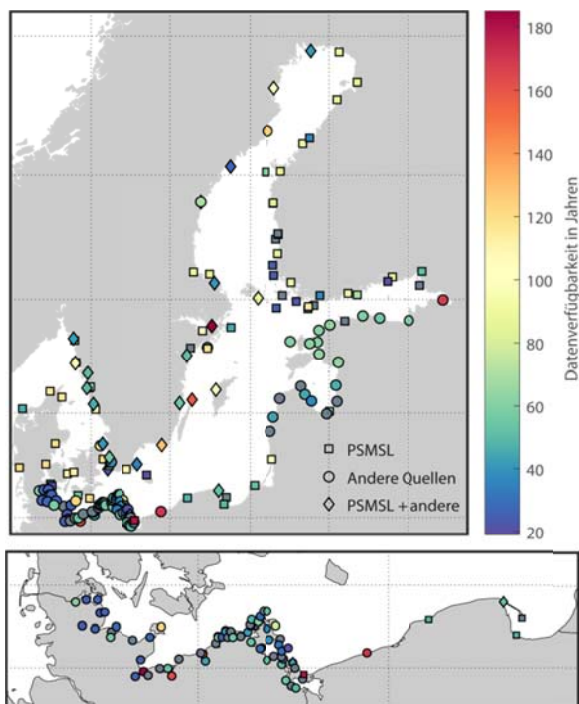


Abbildung 1: Oben: Alle zusammengetragenen Pegelstandorte in der Ostsee mit Angabe der Zeitreihenlänge der ermittelten MSL Zeitreihe. Grau dargestellt sind Zeitreihen mit einer Länge von < 19 Jahren. Unten: Vergrößerte Darstellung der Pegelstandorte im Untersuchungsgebiet.

Trendanalysen

In den weitergehenden Analysen der MSL Monatszeitreihen konnte an allen Pegeln im Untersuchungsgebiet ein langfristiger Meeresspiegelanstieg beobachtet werden (gemeinsame Analyseperiode 1958-2015), wobei die Amplituden der Trends zwischen einzelnen Stationen zum Teil erheblich variieren ($0,90 \pm 0,26$ mm/a in Marienleuchte und $3,19 \pm 0,75$ mm/a in Wladyslawowo). Nach Bereinigung der MSL Zeitreihen um den GIA ändert sich die Streuung um den mittleren linearen Trend nur unerheblich. Gründe für diese verbleibenden Trenddifferenzen über dieselbe Analyseperiode zwischen einzelnen Stationen sind unterschiedliche Zeitreihenlängen aufgrund von Datenlücken, Unsicherheiten in den GIA Modellen, sowie lokale vertikale Landbewegungen, die nicht mit GIA in Verbindung stehen. Über das gesamte

20. Jahrhundert (1900 bis 2015) konnte ein linearer Trend für das gesamte Untersuchungsgebiet (mittlere synthetische MSL Zeitreihe) von $1,23 \pm 0,11$ mm/a ermittelt werden. Dieser Wert liegt an der unteren Grenze derzeitiger GMSL Trendschätzer (1,3 bis 2 mm/a) für die gleiche Periode (CHURCH und WHITE 2006; HAY et al. 2015; DANGENDORF et al. 2017) und etwas geringer als die zeitgleiche Entwicklung entlang der Deutschen Nordseeküste (ca. 1,7 mm/a) (WAHL et al. 2011). Letzteres ist vor allem auf die Ausrichtung der Küsten und die zeitgleiche Intensivierung der in der Region dominanten Westwindlagen zurückzuführen (DANGENDORF et al. 2014). Vertiefte Analysen und Sensitivitätsstudien mittels numerischer Modelle finden sich in (GRAWE et al. under review).

Untersuchungen zur nichtlinearen Trendentwicklung in der synthetischen MSL Zeitreihe für das gesamte Untersuchungsgebiet zeigen eine signifikante Beschleunigung der Trends mit den höchsten beobachteten Anstiegsraten über die vergangenen drei Dekaden. Der grundsätzliche Verlauf der Trendraten stimmt mit den im Projekt AMSeL für die Deutsche Bucht (JENSEN et al. 2011) ermittelten Ergebnissen sowie den Analysen der gesamten Nordsee (WAHL et al. 2011) gut überein.

Zusammenfassung

Im Projekt AMSeL_Ostsee wurden erstmalig alle verfügbaren Messdaten im Bereich der südwestlichen Ostsee zusammengetragen und analysiert. Die umfangreiche Zusammenstellung sowie Nachdigitalisierung langzeitlicher (hochaufgelöster) Wasserstandszeitreihen in unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen haben die Erstellung eines qualitativ hochwertigen und langzeitlichen MSL Datensatzes erst möglich gemacht. Die Ergebnisse der Analysen verdeutlichen die Wichtigkeit und Notwendigkeit umfangreicher Datenaufbereitungen und Digitalisierungskampagnen historischer Pegeldaten. Anhand des neuen qualitativ hochwertigen MSL Datensatzes konnten langzeitliche Trends und Anstiegsraten der Meeresspiegeländerungen im Untersuchungsgebiet zuverlässiger und belastbarer als mit den wenigen bisher verfügbaren MSL Zeitreihen abgeschätzt werden. Das bessere Verständnis der vergangenen und gegenwärtigen Entwicklung des MSL bietet die Basis zur Ableitung möglicher Zukunftsprognosen des Meeresspiegelanstiegs.

Literatur

- CAZENAVE et al. (2018): Global sea-level budget 1993–present. In: Earth System Science Data, Jg. 10, 3, 1551-1590. doi: 10.5194/essd-10-1551-2018.
CHEN et al. (2017): The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. In: Nature

- Climate Change, Jg. 7, 7, 492-495. doi: 10.1038/nclimate3325.
- CHURCH et al. (2013): Sea Level Change. In: STOCKER et al. (Hrsg.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- CHURCH und WHITE (2006): A 20th century acceleration in global sea-level rise. In: Geophysical Research Letters, Jg. 33, 1, n/a. doi: 10.1029/2005GL024826.
- CONRAD (2013): The solid Earth's influence on sea level. In: Geological Society of America Bulletin, Jg. 125, 7-8, 1027-1052. doi: 10.1130/B30764.1.
- DANGENDORF et al. (2014): 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.
- DANGENDORF et al. (2017): Reassessment of 20th century global mean sea level rise. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Jg. 114, 23, 5946-5951. doi: 10.1073/pnas.1616007114.
- GRÄWE et al. (under review): Decomposing regional mean sea level rise in a semi-enclosed basin, the Baltic Sea. In: Journal of Climate.
- GRINSTED et al. (2013): Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 ad. In: Climate Dynamics, Jg. 34, 4, 461-472. doi: 10.1007/s00382-008-0507-2.
- HAY et al. (2015): Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. In: Nature, Jg. 517, 7535, 481-484. doi: 10.1038/nature14093.
- JENSEN et al. (2011): Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste (AMSeL). Abschlussbericht.
- JEVREJEVA et al. (2010): How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcings by 2100? In: Geophysical Research Letters, Jg. 37, 7, n/a-n/a. doi: 10.1029/2010GL042947.
- NEREM et al. (2018): Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, doi: 10.1073/pnas.1717312115.
- WAHL et al. (2011): Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years. In: Ocean Dynamics, Jg. 61, 5, 701-715. doi: 10.1007/s10236-011-0383-x.