

Berichtszeitraum: **01.01.2014 – 31.12.2017**

Projekttitel: **PEARL: Preparing for Extreme And Rare events in coastal regions**

Teilnehmer: **Uwe Mikolajewicz, Alberto Elizalde, Moritz Mathis**

Überflutung aufgrund extremer Meeresspiegelstände stellt eine der folgenschwersten Naturkatastrophen für besiedelte Küstenregionen dar. Zunehmende Urbanisierung in Kombination mit globaler Klimaänderung und unzureichenden Küstenschutzmaßnahmen erhöhen das Risiko für Flutkatastrophen durch gleichzeitiges Auftreten von Hochwasserereignissen in Flüssen und extremer Meeresspiegelstände durch Springtiden oder Sturmfluten. Änderungen des relativen Meeresspiegels werden durch eine Vielzahl physikalischer Prozesse verursacht. Auf globalen Skalen resultiert der beobachtete rasante Meeresspiegelanstieg in den vergangenen Jahrzehnten vor allem aus der thermischen Ausdehnung durch die Erwärmung der Ozeane, sowie aus zusätzlichem Süßwasserfluss durch das Abschmelzen von Landeismassen. Auf regionalen Skalen hingegen können sich globale Veränderungen sehr unterschiedlich auf Meeresspiegelschwankungen auswirken und zusammen mit Veränderungen der Niederschlagsraten und Windverhältnisse das Risiko von Hochwasserereignissen erhöhen.

Der wissenschaftliche Schwerpunkt des Projektes liegt in der Verbesserung des Verständnisses von gleichzeitigem Eintreten extremer hydro-meteorologischer Ereignisse in europäischen Küstenregionen. Im Besonderen soll eine gemeinsame Bewertung von starkem Niederschlag, extremen Sturmfluten, regionalem Meeresspiegelanstieg und anderen natürlichen Bedrohungen sowohl unter heutigen klimatischen Bedingungen als auch für potentielle zukünftige Klimaänderungen untersucht werden. Dazu wurden Simulationen mit dem regional gekoppelten Klimamodell REMO/MPIOM durchgeführt und die Ergebnisse hinsichtlich Ausprägung und Häufigkeit entsprechender Extremereignisse analysiert. Das formal globale Ozeanmodell MPIOM wird dabei mit einer hohen räumlichen Auflösung in den europäischen Meeren eingesetzt. Gezeitenwellen werden durch die Implementierung des vollständigen luni-solaren Tidenpotentials simuliert. In der hier verwendeten hohen räumlichen Auflösung von bis zu 5 km beträgt der mittlere Fehler der Amplitude der halbtägigen Mond-Tide M2 in der Nordsee weniger als 20%. Über Europa und dem Nordost-Atlantik ist MPIOM mit dem regionalen Atmosphärenmodell REMO interaktiv gekoppelt um Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre zu berücksichtigen und eine höhere Auflösung des atmosphärischen Antriebs zu gewährleisten. Der hydrologische Kreislauf ist durch die Einbindung eines hydrologischen Abflussmodells geschlossen. Im Vergleich zu herkömmlichen regionalen Ozeanmodellen hat dieses Klimasystemmodell den Vorteil, dass sich auch kurzfristige Meeresspiegelschwankungen in die europäischen Küstenregionen ausbreiten können, da das globale Ozeanmodell über keine offenen Ränder des Modellgebietes verfügt. Der Antrieb des Modellsystems ist den CMIP5 Klimaprojektionen des globalen Erdsystemmodells MPI-ESM entnommen. Um die statistische Signifikanz der Modellergebnisse zu erhöhen, wurde ein Ensemble-Ansatz gewählt, in dem die Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5 für jeweils 3 MPI-ESM-Realisationen regionalisiert wurden.

In Abb. 1 ist die simulierte zeitliche Entwicklung des mittleren relativen Meeresspiegels in der Deutschen Bucht unter historischen atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen (1920-2005) als auch unter RCP4.5- und RCP8.5-Konzentrationen (2006-2100) dargestellt. Sie beinhaltet die dynamische Komponente durch Änderungen in der Ozeanzirkulation und im Luftdruck sowie die sterische Komponente durch Änderungen im globalen und lokalen Wärmeinhalt bzw. Salzgehalt des Ozeans. Die durchgezogenen Linien zeigen das jeweilige Ensemble-Mittel, die blassen Flächen um das Mittel den Bereich zwischen minimalem und maximalem Meeresspiegel der zugehörigen 3 Realisationen als ein Maß für die interne Variabilität des gekoppelten Klimamodells. Um das anthropogen verursachte Klimaänderungssignal von der natürlichen Variabilität des Klimasystems zu unterscheiden bzw. um einen Einfluss langzeitlicher Modelldrift auf das Änderungssignal auszuschließen, wurde außerdem ein Kontrolllauf unter vorindustriellen Treibhausgaskonzentrationen durchgeführt (graue Linie in Abb. 1). Der mittlere relative

Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht zwischen 1971-2000 und 2071-2100 beträgt gemäß unserer Simulationen 0.35 m für Szenario RCP4.5 und 0.5 m für Szenario RCP8.5. Das Signal ist für beide Szenarien hoch signifikant, insofern es die natürliche Variabilität des Kontrolllaufs bei weitem übersteigt, selbst unter Berücksichtigung der Unsicherheiten aufgrund der internen Modellvariabilität. Der globale thermo-sterische Anteil des Signals beträgt für beide Szenarien etwa 60%. Die verbleibenden 40% resultieren aus regionalen Änderungen der Zirkulation und des Luftdrucks sowie aus lokalen Änderungen der Wasserdichte.

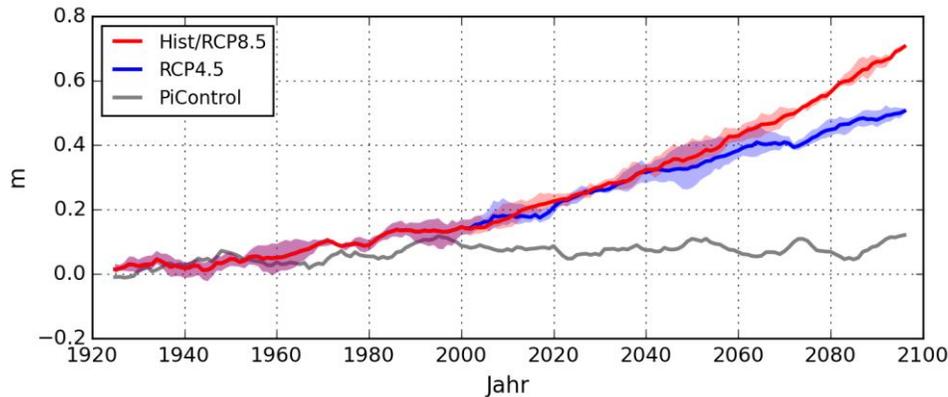


Abb. 1: Mittlerer relativer Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht gemäß der Emissionsszenarien RCP4.5 (blau) und RCP8.5 (rot) sowie des vorindustriellen Kontrolllaufes (grau). Durchgezogene Linien entsprechen dem Ensemble-Mittel aus jeweils 3 Realisationen (für RCP4.5 und RCP8.5), die Flächen um die Ensemble-Mittel stellen den Bereich zwischen Ensemble-Minimum und -Maximum dar, als ein Maß für die interne Modellvariabilität

In der linken Grafik von Abb. 2 ist die räumliche Verteilung des mittleren Meeresspiegelanstieges auf dem Nordwest-europäischen Schelf gemäß Szenario RCP8.5 gezeigt. Der maximale Anstieg von bis zu 0.56 m in der Ostsee ist überwiegend eine Folge der projizierten Verringerung des Salzgehaltes aufgrund eines verstärkten hydrologischen Kreislaufes. Höhere Festland-Abflussraten verstärken außerdem den Ausstrom salzreicher Wassermassen aus der Ostsee in die Nordsee und führen damit zu einem erhöhten Meeresspiegelanstieg an der Norwegischen Küste. Auswirkungen des höheren akkumulierten Niederschlages sind entsprechend auch entlang der kontinentalen Küste angezeigt.

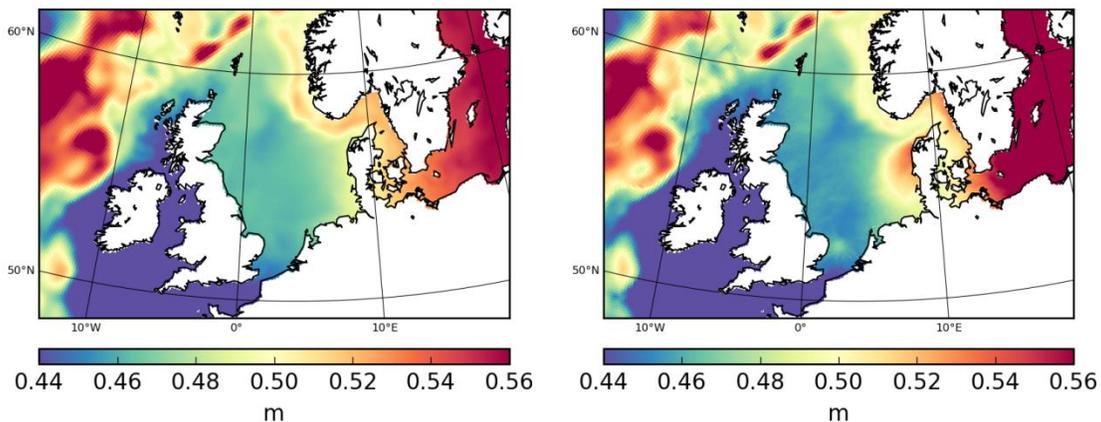


Abb. 2: Links: Änderung des mittleren relativen Meeresspiegels gemäß Emissionsszenario RCP8.5 (2071-2100 minus 1971-2000). Darin enthalten sind die dynamische Komponente bezüglich Änderungen in der Ozeanzirkulation und im Luftdruck sowie die sterische Komponente bezüglich Änderungen im globalen und lokalen Wärmeinhalt bzw. Salzgehalt des Ozeans. Rechts: Zugehörige Änderung des 95%-Perzentils 1-stündlicher Pegelstände über dem mittleren Meeresspiegel

In der rechten Grafik von Abb. 2 sind die Änderungen der oberen 5% der 1-stündlichen Pegelstände aller 3 Realisationen des Szenarios RCP8.5 dargestellt. In der Deutschen Bucht steigen die Hochwasser-Pegelstände ähnlich dem mittleren Meeresspiegel. Der maximale simulierte Pegelstand entspricht dabei einer Höhe von 6.2 m über dem Mittel 2071-2100 bzw. 6.7 m über dem historischen Mittel 1971-2000. Derartig hohe Wasserstände werden von Sturmfluten verursacht, die sich mit dem Gezeitenmaximum einer Springtide überlagern. Inwiefern Starkregenereignisse die Maxima beeinflussen, soll in weiteren Untersuchungen analysiert werden. Der Hochwasserstand mit einer Wiederkehrperiode von 10 Jahren beträgt am Ende des 21. Jahrhunderts in der Deutschen Bucht 5.3 m über dem Mittel 2071-2100 bzw. 5.8 m über dem historischen Mittel 1971-2000.

Das verwendete regional gekoppelte Klimamodell REMO/MPIOM beinhaltet jedoch keine Berechnungen von Änderungen in der Kryosphäre und im Wasserspeicher an Land z.B. durch Gletscher und Eisschilde. Entsprechende Anteile regionaler Meeresspiegelschwankungen sind daher in den bisherigen Analysen nicht berücksichtigt. In eingehenderen Untersuchungen sollen auch Abschätzungen ihrer räumlichen Verteilung nach Peltier (2004), Bamber und Riva (2010), Marzeion et al. (2012) sowie Church et al. (2013) und Vizcaino et al. (2015) herangezogen werden. Außerdem soll sich die weitere Analyse der Modelldaten mit 1-stündiger zeitlicher Auflösung auf die Variabilität des mittleren Meeresspiegelanstiegs, auf die Veränderung der Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten und Starkregenereignissen sowie auf den zusätzlichen Einfluss von Springtiden auf extreme Hochwasserstände konzentrieren.

Literatur:

- Bamber, J., Riva, R., 2010. The sea level fingerprint of recent ice mass fluxes. *The Cryosphere* 4, 621-627
- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., Unnikrishnan, A. S., 2013. Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1137-1216
- Marzeion, B., Jarosch, A. H., Hofer, M., 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere* 6, 1295-1322
- Peltier, W. R., 2004. Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G(VM2) model and GRACE. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* 32, 111-149
- Vizcaino, M., Mikolajewicz, U., Ziemen, F., Rodehacke, C. B., Greve, R., van den Broeke, M. R., 2015. Coupled simulations of Greenland Ice Sheet and climate change up to A.D. 2300. *Geophysical Research Letters* 42, 3927-3935