

# Projektionen für Meere und Küsten

Hans von Storch<sup>1</sup>, Marisa Montoya<sup>2</sup>,  
Fidel J. González-Rouco<sup>2</sup> und Katja Woth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Coastal Research, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, Deutschland

<sup>2</sup>Dpto. Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Facultad Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Spanien

## Zusammenfassung

Der Ozean spielt eine entscheidende Rolle im globalen Klimasystem und stellt gleichzeitig eine wichtige Ressource für die Küstenbewohner dar. Der sich abzeichnende anthropogene Klimawandel hat daher nicht nur Auswirkungen auf die Rolle des Global Players "Ozean", sondern auch auf die Gefahren, denen die Menschen in den Küstenregionen ausgesetzt sind. In diesem Artikel beschreiben wir eine Modellsimulation der vergangenen 1000 Jahre und eine Prognose für die kommenden 100 Jahre nach dem SRES-Szenario A2 des IPCC. Im Einzelnen betrachten wir dabei die atlantische meridionale Overturning-Zirkulation und die Gefahr von Sturmfluten an der Nordseeküste. In beiden Fällen stellen wir einen spürbaren Wandel fest: eine Verringerung der meridionalen Overturning-Zirkulation um 25 % und mehr und eine Erhöhung der windbedingten Wasserstände um 30 cm und mehr.

## 1 Einleitung

Die Ozeane, die etwa 70 % der Erdoberfläche bedecken, sind ein Schlüsselement in unserem Klimasystem. Zuerst trägt die thermische Trägheit der Ozeane zur Persistenz des Klimasystems bei, daneben sind die Weltmeere aber auch zuständig für den Transport großer Mengen von Bewegungsenergie und Wärme. Darüber hinaus üben sie eine wichtige Funktion als Stoffspeicher aus, insbesondere für Kohlenstoff.

Gleichzeitig stellen die Meere aber auch eine wichtige Ressource für die Wirtschaftstätigkeit des Menschen dar, insbesondere der Seefracht, des Fischfangs oder der Offshore-Industrien. Derartige Aktivitäten konzentrieren sich in den küstennahen Zonen und kollidieren dort häufig mit den Funktionen des küstennahen Meeres als ein entscheidendes Element reichhaltiger Ökosysteme. Sowohl der Nutzen der Wirtschaftstätigkeit als auch das Funktionieren der küstennahen Ökosysteme hängt zu einem gewissen Grad von den natürlichen Gefahren in den Küstengebieten ab, insbesondere von säkularen Variationen des Wasserstands, windbedingten Wasserstandsextremen sowie hohen Windwellen bei starken Stürmen.

Wegen der anhaltenden Emissionen von strahlungsaktiven Substanzen in die Atmosphäre und der Trägheit des wirtschaftlichen und politischen Systems rechnet das IPCC<sup>1</sup> mit signifikanten Klimaänderungen in den kommenden einhundert Jahren. Im Folgenden werden wir zwei Beispiele dieser Veränderungen betrachten, die für das 21. Jahrhundert als plausibel angesehen werden (aber durchaus nicht als Vorhersagen).

Die beiden Hauptgesichtspunkte des Meeres als globaler Akteur im Klimasystem einerseits und als regionale Ressource und Risiko andererseits umfassen ein breites Spektrum unterschiedlicher Aspekte, die natürlich in einem so kurzen Beitrag wie dem Vorliegenden nicht bewältigt werden können. Eine umfassende Darstellung verschiedener Aspekte hat hierzu das IPCC mit großer Sorgfalt und Detailtiefe erstellt (Houghton et al., 2001). Wir

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change – siehe Houghton et al. (1996, 2001)

beschränken uns auf zwei relevante Themen, zu denen wir glauben, etwas Wichtiges beitragen zu können. Die Variabilität und Veränderung der nordatlantischen Overturning-Zirkulation (Abschnitt 2) ist eine der Eigenschaften des Ozeans auf globaler Skala. Die Statistik der Sturmfluten an der Nordseeküste (Abschnitt 3) verdeutlicht beispielhaft eine Folge des Klimawandels, die unmittelbar spürbare Auswirkungen auf die Landnutzung und den Küstenschutz hat.

## **2 Die "Erik den Røde"-Simulation: Globaler Wandel im historischen Kontext**

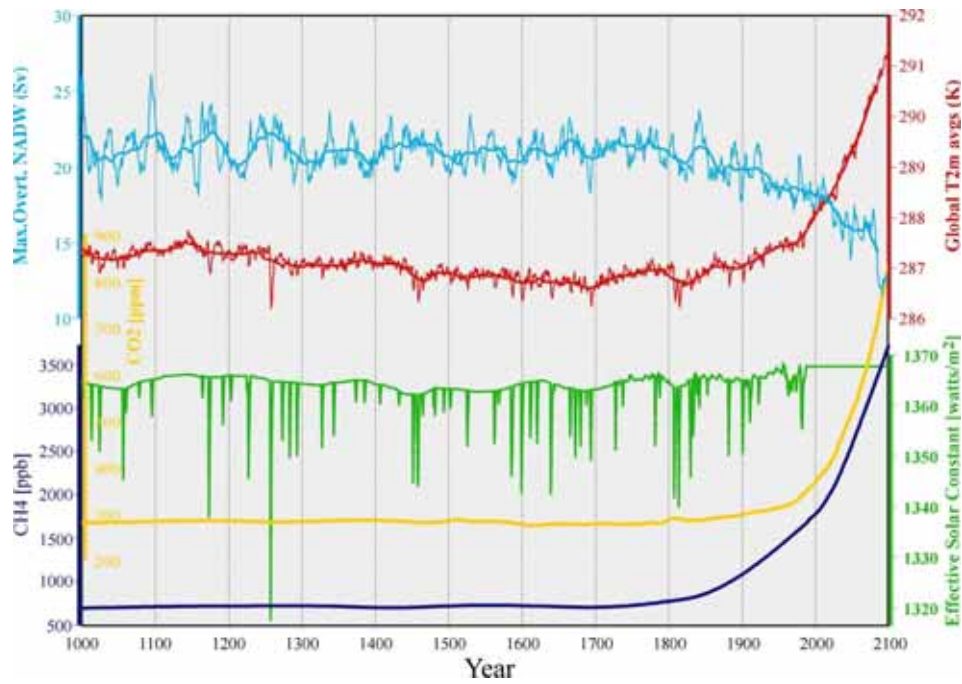
Unter dem Namen "Erik den Røde" haben wir eine Jahrtausend-Integration mit dem aktuellen Klimamodell ECHO-G durchgeführt, einem gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modell, das aus dem Ozeanmodell HOPE-G in T42-Auflösung und dem Atmosphärenmodell ECHAM4 in T30-Auflösung besteht. Für den Durchlauf des Modells wurde ein geschätzter zeitvariabler historisch externer Antrieb bezüglich Sonnen- und Vulkanaktivität benutzt sowie sich ändernde Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre angesetzt (Abb. 1; Einzelheiten siehe Zorita et al., 2004, oder González-Rouco et al., 2003). Start der Simulation war das Jahr 900 n.Chr., die ersten 100 Jahre dienten zur Equilibrierung des Modells. Für die Zeit ab 1990 wurde die Simulation mit konstantem solarem Antrieb und ohne Vulkanaktivität, jedoch mit zunehmenden Treibhausgaskonzentrationen, wie im SRES-Szenario A2 des IPCC<sup>2</sup> spezifiziert, fortgesetzt. Abbildung 1 zeigt den Zeitverlauf der effektiven Sonnenaktivität und der Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen vulkanischen Ursprungs, die als Antrieb für das Modell für den relevanten Zeitraum von 1000-2100 benutzt wurden.

Das Modell integriert und speichert alle relevanten ozeanischen und atmosphärischen Variablen. Die "Erik den Røde"-Simulation wurde hauptsächlich in Bezug auf Lufttemperaturvariationen untersucht (Abb. 1). Das Modell simuliert korrekt eine allmähliche Abkühlung von einem relativ hohen Temperaturplateau im 11. und 12. Jahrhundert, mit einer kühleren Periode im "Late Maunder Minimum" (LMM), und einen kontinuierlichen Anstieg der Temperaturen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. Das Variationsmuster deckt sich mit dem allgemein anerkannten Kenntnisstand, dagegen wird die Intensität der Temperaturschwankungen kontrovers diskutiert: Die LMM-Temperaturschwankungen in Europa passen gut zu den regionalen Rekonstruktionen (KIHZ-Konsortium, 2004, Zorita et al., 2004), und sind vergleichbar mit den Schätzungen auf der Grundlage von Bohrlochmessungen (Briffa und Osborn, 2002). Sie sind jedoch deutlich zu stark im Vergleich zu historischen Schätzwerten, die durch eine Regression von Proxy-Daten zur Temperatur ermittelt wurden.

Im Folgenden untersuchen wir die Intensität der atlantischen meridionalen Overturning-Zirkulation. Deutliche Veränderungen zeigen sich in der Simulation seit dem Beginn der Industrialisierung, was konsistent mit vorangegangenen Simulationen (Wood et al., 1999) ist. Unsere Simulation umfasst jedoch acht frühere Jahrhunderte ohne nennenswertes Eingreifen des Menschen. Diese zusätzlichen Daten ermöglichen es uns, das anthropogene Signal mit dem "Rauschen" natürlicher Schwankungen zu vergleichen.

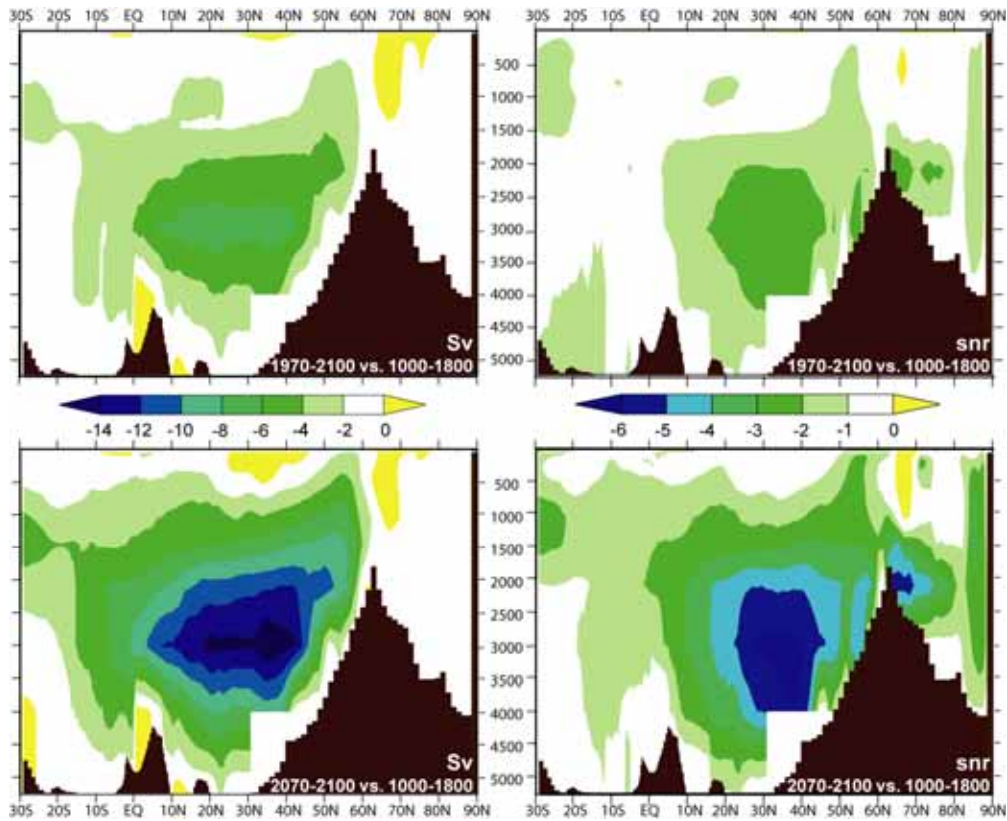
---

<sup>2</sup> Bei diesem A2 Szenario wird von einem erheblichen Anstieg der zukünftigen Treibhausgasemissionen ausgegangen (Houghton et al., 2001). Nach dieser Szenariomodellgeschichte liegen die Kohlendioxidemissionen am Ende des 21. Jahrhunderts bei 30 Gt/Jahr; die Konzentrationen liegen bei 800-900 ppm; gleichzeitig wird angenommen, dass die Schwefelemissionen auf etwa 60-70 Millionen Tonnen Schwefel pro Jahr zurückgehen; die erwartete Auswirkung auf das Klima wird mit einer Erwärmung von 3,8 K und einem Anstieg des Meeresspiegels um 40 cm angesetzt.



**Abb. 1.** Zeitreihe von Jahresdurchschnittsvariablen in der Simulation "Erik den Røde". Die Grafik zeigt die Antriebsfaktoren Sonneneinstrahlung (Variationen sind auf Schwankungen in der Sonnenaktivität und das Vorhandensein von Aerosolen vulkanischen Ursprungs in der Atmosphäre zurückzuführen; grün) und Treibhausgase (Kohlendioxid (gelb) und Methan (dunkelblau)) sowie die globale durchschnittliche Lufttemperatur (rot) und das nordatlantische Tiefenwasser (NADW) (hellblau). Der Antrieb bis 1990 beruht auf Beobachtungen und indirekten Nachweisen; für die Zeit ab 1990 werden die natürlichen Antriebsfaktoren als gleichbleibend angenommen, während die Treibhausgaskonzentrationen erhöht werden, wie es im SRES-Szenario A2 des IPCC vorgesehen ist.

Die großräumige Zirkulation des Atlantiks hat eine nach Norden gerichtete Komponente in der Nähe der Meeresoberfläche, eine nach unten gerichtete Bewegung in den sub-polaren Gewässern und einen nach Süden gerichteten Rückfluss in den tieferen Schichten des Beckens. Der Tiefenwasserproduktion im Nordatlantik wird auf derzeit  $15 \pm 2$  Sv geschätzt (Ganachaud und Wunsch, 2000). Diese Zirkulation transportiert Wärme vom Süden in den Nordatlantik und trägt damit zum milden Klima in Europa bei (siehe z. B. Rahmstorf, 2002). Es ist daher von entscheidender Bedeutung zu ermitteln, wie sie sich in der Zukunft verändern könnte. Diese Zirkulation kann gut an Hand der meridionalen Stromfunktion dargestellt werden (Abb. 2) – die Strömung verläuft parallel zu den Stromlinien.



**Abb. 2.** Meridionale Stromfunktion der nordatlantischen Overturning-Zirkulation. Dargestellt sind 30-Jahres-Abweichungen vom vorindustriellen "Normalwert" für die Zeit von 1000-1800 in Sverdrup (links) und das Signal-Rausch-Verhältnis dieser Änderungen (d. h. 30-Jahres-Anomalien, dividiert durch zwei Standardabweichungen von mittleren 30-Jahres-Variationen in vorindustrieller Zeit; rechts). Oben: 1970-2000, unten: 2070-2100 nach dem A2-Szenario.

Eine Kennzahl für die Intensität der meridionalen Overturning-Zirkulation im Atlantik ist die „Nordatlantische Tiefenwasserbildung“ (NADW)<sup>3</sup>. Abb. 1 verdeutlicht die zeitliche Entwicklung des NADW seit dem Jahr 1000 bis heute und für die nächsten einhundert Jahre. Bis zum Beginn der Industrialisierung betrug das NADW durchschnittlich 22 Sv und war damit etwas größer als aus den Beobachtungen geschätzt. Das NADW war keinen starken Schwankungen unterworfen – zwischenzeitliche Anomalien lagen in der Größenordnung von  $\pm 2$  Sv, wobei anfänglich etwas höhere Werte auftraten. Seit 1850 geht das NADW zurück. Im Durchschnitt liegt das NADW im Zeitraum 1850-2000 in der Simulation bei etwa 19-20 Sv, was am unteren Ende der Variabilität des vergangenen Jahrtausends liegt.<sup>4</sup> In den kommenden 100 Jahren wird sich bei Annahme der Emissionen gemäß dem A2-Szenario der Rückgang bis auf einen Wert von etwa 12 Sv fortsetzen und damit erheblich über das Ausmaß natürlicher Schwankungen während des vergangenen Jahrtausends hinausgehen.

<sup>3</sup> Definiert als Maximum der Stromfunktion zwischen 200 m und 2000 m, und zwischen 40 °N und 90 °N.

<sup>4</sup> Diese Änderung entspricht der Simulation von Änderungen während des Industriezeitalters durch Wood et al. (1999).

Die Standardabweichung des 30-jährig gleitenden Mittels des NADW im Zeitraum 1000-1850 wird auf 0,52 Sv geschätzt, so dass alle Abweichungen im 30-Jahresmittel von mehr als etwa  $\pm 1$  Sv als statistisch signifikant angesehen werden können. Die jüngsten Änderungen (Abb. 2) im Zeitraum 1970-2000 sind mit einer Verringerung von 4 Sv und mehr und einem Signal-Rausch-Verhältnis von bis zu 3 signifikant. Bis Ende des 21. Jahrhunderts ist der Rückgang nach dem A2-Szenario mit 10 Sv und mehr bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von 5 und mehr beträchtlich.

### 3 Nordsee-Sturmflutstatistik

Das zweite Thema beschäftigt sich mit Sturmfluten an der Nordseeküste. Historisch und bis heute sind sie eine der größten Gefahren, die mit dem Leben an der Küste verbunden sind – Abb. 3 zeigt eine alte Grafik einer schweren Flut im 17. Jahrhundert<sup>5</sup> und darunter eine Fotografie eines Deichs kurz vor dem Durchbruch bei der katastrophalen Sturmflut, die sich im Februar 1962 an der deutschen Nordseeküste ereignete und erhebliche Auswirkungen für die Bevölkerung hatte.

Die entscheidende Größe einer Sturmflut setzt sich zusammen aus dem Wasserstand und der Wellenhöhe. Die Wellenhöhe hängt von verschiedenen lokalen Bedingungen ab, etwa der Form des Deichs und der Morphodynamik in dem Gebiet vor der Küstenlinie. Der Wasserstand hängt vom mittleren Meeresspiegel ab, der das Volumen des Wassers widerspiegelt, das die weltweiten Meeresbecken füllt, sowie von den regionalen Windbedingungen und den astronomischen Gezeiten. Änderungen des Wasservolumens und Änderungen lokaler Windverhältnisse sowie Änderungen in morphologischen Gegebenheiten, z.B. durch das Ausbaggern von Fahrrinnen für die Schifffahrt, können eine wichtige Rolle bei der Entwicklung zukünftiger Sturmfluten spielen (Wyrski, 1993).

Szenarien des globalen Klimawandels berücksichtigen Änderungen im Wasservolumen und Veränderungen regionaler Wetterbedingungen, insbesondere der Stürme. Für Ersteres hat das IPCC für das A2-Szenario eine Erhöhung um 40 cm des Meeresspiegels bis zum Ende dieses Jahrhunderts als günstigste Schätzung angenommen. Schätzungen über Änderungen der Sturmaktivität sind wegen der unzureichenden Auflösung der globalen Klimamodelle von regionalen Änderungen schwieriger.

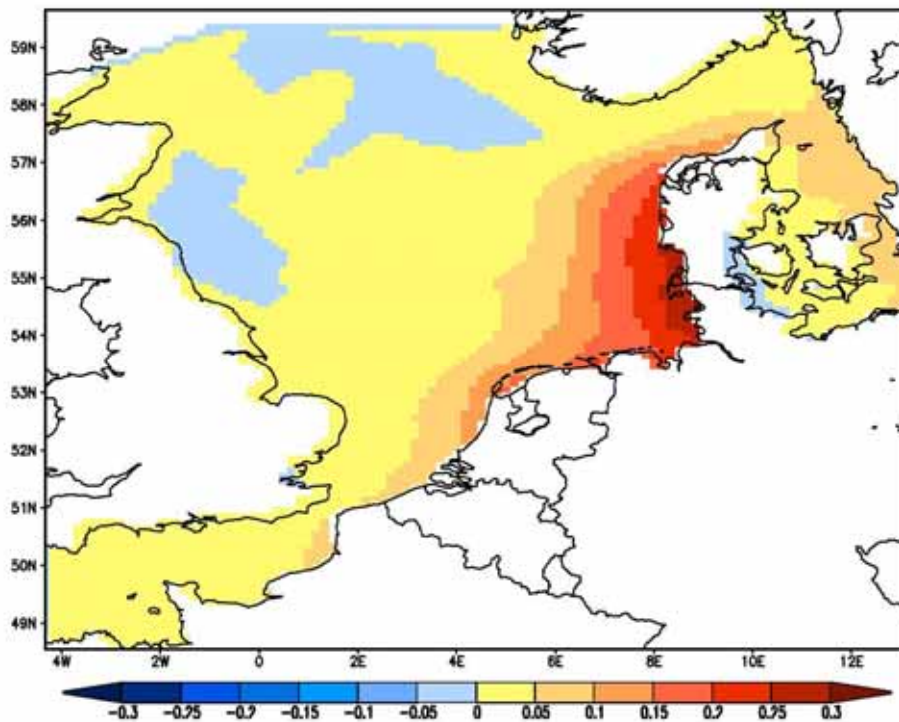
---

<sup>5</sup> Siehe beispielsweise Jakubowski-Thiessen (2004) und Petersen und Rohde (1977) zu einer historischen Darstellung früherer Sturmfluten und der Wahrnehmung durch die Bevölkerung



**Abb. 3.** Sturmfluten an der Nordseeküste. Oben: Historische Darstellung einer Sturmflut in Holland aus dem Jahr 1675 (nach Jakubowski-Thiessen, 2004); unten: Sturmflut in der Elbemündung im Februar 1962 (nach Petersen und Rohde, 1977)

Zur Lösung dieses Skalenproblems, wurden Verfahren zur Regionalisierung ("Downscaling") entwickelt. Eins dieser Verfahren besteht darin, ein regionales Atmosphärenmodell mit den großskaligen Änderungen eines globalen Modells zu betreiben, um dann das regionale Modell die regionalen Änderungen als Antwort auf den großskaligen atmosphärischen Strom sowie den regionalen physiographischen Einzelheiten abschätzen zu lassen. Im europäischen Projekt PRUDENCE (Christensen et al., 2003) wurde das A2-Klimaänderungsszenario zunächst durch ein globales Modell des Hadley Centers modelliert, bevor diese dann durch einer Reihe verschiedener regionaler Modelle regionalisiert wurde; ein regionaler Effekt war in allen Fällen ähnlich, nämlich eine moderate Zunahme hoher Windgeschwindigkeiten in den meisten Teilen der Nordsee während des Winters.



**Abb. 4.** Erwarteter Effekt stärkster Stürme in der Nordsee auf die Windstauhöhen nach einem A2-Klimawandelszenario unter Verwendung einer Kette von Modellen: ein globales Klimamodells des Hadley Center, das regionale Atmosphärenmodell des Danish Meteorological Institute und das Sturmflutmodell der GKSS. Einheit: m.

Diese simulierten Winde wurden genutzt, um ein Sturmflutmodell zu betreiben (Woth, 2004). Abb. 4 zeigt die erwartete windbedingte Erhöhung der höchsten Wasserstände<sup>6</sup> in einer Simulation, bei der der Output des regionalen Atmosphärenmodells des Danish Meteorological Institute als Antrieb für das Sturmflutmodell genutzt wurde. Die stärksten Auswirkungen finden sich entlang der südlichen und östlichen Küste, mit Höchstwerte von 30 cm und mehr längs des nordfriesischen Wattenmeeres. Zusammen mit dem erwarteten Anstieg des mittleren Meeresspiegels um 40 cm ergibt sich bei diesem eher pessimistischen A2-Szenario bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ein Gesamtanstieg um 70 cm.

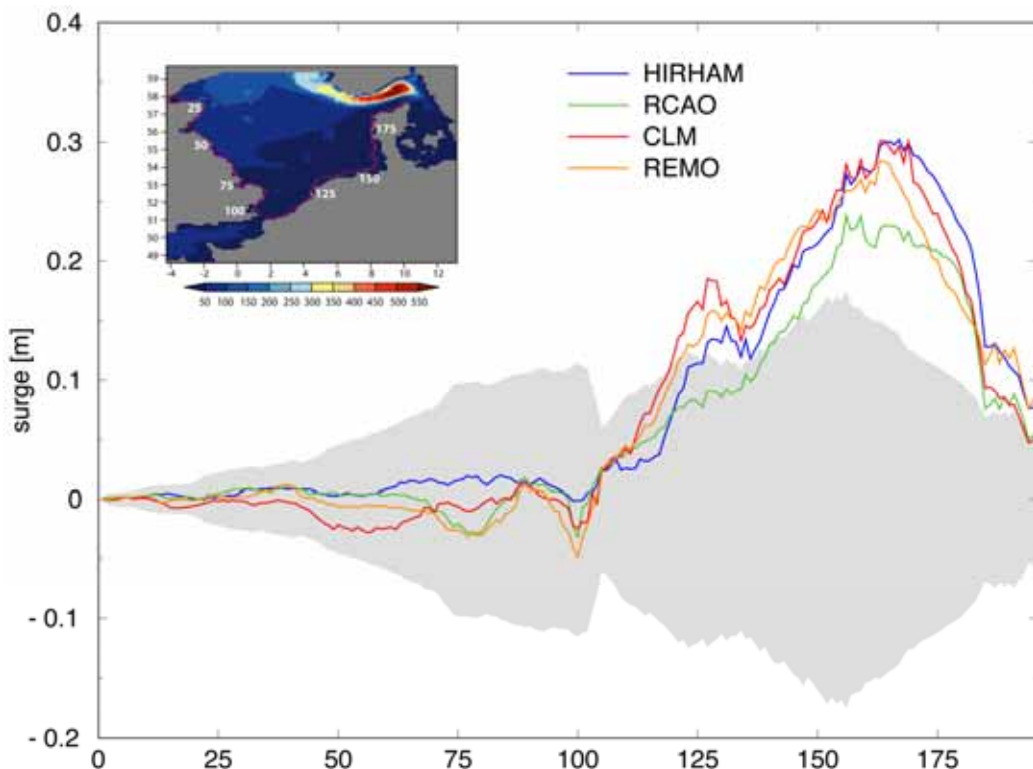
Die Verwendung eines anderen regionalen Klimamodells führt zu recht ähnlichen Veränderungen an der Nordseeküste<sup>7</sup> (Abb. 5). Nach vier verschiedenen regionalen Modellen, für die jeweils das globale Szenario aus der A2-Simulation des Hadley Center als Antrieb diente, sind an der östlichen Küste der Nordsee erhebliche Anstiege zu erwarten, die über das Ausmaß der normalen Schwankungen von Jahr zu Jahr hinausgehen. Wird anstatt der Hadley Simulation ein ECHAM A2-Szenario als Grundlage der Regionalisierung genutzt, werden quantitativ ähnliche Resultate erhalten.

Kommentar [A1]: Hier war der Halbsatz drin

<sup>6</sup> Hier definiert als das 99,5%il während des Winters bei halbstündiger Erfassung – damit wird dieser Wert durchschnittlich während etwa 10 Stunden innerhalb einer dreimonatigen Wintersaison überschritten.

<sup>7</sup> Hier spezifischer: an der 10 m Tiefenlinie entlang der Küstenlinie.





*Abb. 5. Im Rahmen des PRUDENCE-Projekts geschätzte Änderungen der windbedingten Veränderungen der Wasserstände entlang der Nordseeküste (rote Linie im eingebildeten Bild). Die graue Fläche markiert die 95 % Konfidenz der interannualen Variabilität, und die vier Linien zeigen die Schätzungen durch vier beteiligte regionale Klimamodelle, die alle ein- und dasselbe globale Klimawandelmodell des Hadley Center nach dem A2-Szenario regionalisieren.*

## 4 Schlussfolgerungen

Der beschriebene Anstieg des Wasserstands um 70 cm bei einer Sturmflut an der östlichen Nordseeküste und die Verringerung des nordatlantischen Tiefenwassers (NADW) um mehr als ein Drittel sind hohe Zahlen – aber ungewisse Zahlen. Sie gelten nur für das A2-Szenario, und sie hängen in gewissem Umfang von dem verwendeten globalen Klimamodell ab. Bei Verwendung eines anderen Modells ergeben sich etwas andere Zahlen, aber sie haben dasselbe Vorzeichen und sie sind signifikant. Das A2-Szenario ist relativ pessimistisch, und es kann gut sein, dass die zukünftigen Emissionen von strahlungsaktiven Substanzen eine erheblich umweltfreundlichere Entwicklung nehmen. Wenn ein anderes, aber ebenso wahrscheinliches Szenario verwendet wird, beispielsweise B2, ist der Effekt zum Ende des 21. Jahrhunderts geringer aber dennoch signifikant: die Schätzung des Temperaturanstiegs liegt bei 2,8 K und die des Anstiegs des Meeresspiegels bei 35 cm (Houghton et al., 2001) und die der Tiefenwasserbildung (NADW) bei etwa 15 Sv.

Bei den Sturmflutszenarien haben wir keinen Zugriff auf B2-Simulationen – aber es wurden A2-Szenarien mit verschiedenen globalen Modellen simuliert: Dabei ergeben sich zwar ähnliche, aber eben doch unterschiedliche Sturmflutimplikationen. Trotz der Ungewissheiten sollten die genannten Zahlen die Küstenschützer veranlassen, sich auf veränderte Gefahren einzustellen und langfristig ihre Strategien zu überdenken.



Wir haben von möglichen und plausiblen zukünftigen Änderungen berichtet; die Änderungen, die wir als für die Zukunft möglich beschreiben, sind signifikant, aber wenn wir einen linearen Anstieg über den Zeitverlauf annehmen<sup>8</sup>, beträgt die Erhöhung der windbedingten Wasserstände nach dem A2-Szenario (maximal) 7 cm pro Jahrzehnt – die Auswirkungen sind daher heute und in den nächsten paar Jahren noch nicht erkennbar, aber die Situation könnte in den kommenden Jahrzehnten ernster werden.

### Danksagung

Wir danken Herrn Peter Höppe und der Münchener Rück, die uns die herausfordernde Aufgabe stellten, die NADW-Entwicklung bei der "Erik den Røde" Simulation näher zu untersuchen. Beate Gardeike erstellte die Diagramme in professioneller Weise.

### Literaturhinweise

- Briffa, K. R. und T. J. Osborn, 2002: Blowing hot and cold. *Science* 295, 2227-2228.
- Christensen, J.H., T. Carter, F. Giorgi, 2002: PRUDENCE employs new methods to assess European climate change, EOS, Vol. 83, p. 147.
- Ganachaud, A. und C. Wunsch, 2000: Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrographic data. *Nature* 408, 453-456
- González-Rouco J. F., E. Zorita, U. Cubasch, H. von Storch, I. Fischer-Bruns, F. Valero, J. P. Montavez, U. Schlese und S. Legutke, 2003: Simulating the climate since 1000 A. D. with the AOGCM ECHO-G. *Proc. ISCS 2003 Symposium, 'Solar Variability as an Input to the Earth's Environment'*, Tatranská Lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003. ESA SP-535, 329-338.
- Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg und K. Maskell (Hrsg.), 1996: Climate Change 1995. *The Science of Climate Change*. Cambridge University Press ISBN 0 521 56436-0, 572 pp.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell und C.A. Johnson, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 881 pp.
- Jakubowski-Thiessen, M., 2004: "Trutz, Blanker Hans". Der Kampf gegen die Nordsee. In B. Lundt (Hrsg.). *Nordlichter. Geschichtsbewusstsein und Geschichtsmymen nördlich der Elbe*, Böhlau Verlag Köln Weimar Berlin, 67-84
- KIHZ-Consortium: J. Zinke, H. von Storch, B. Müller, E. Zorita, B. Rein, H. B. Mieding, H. Miller, A. Lücke, G.H. Schleser, M.J. Schwab, J.F.W. Negendank, U. Kienel, J.F. González-Rouco, C. Dullo und A. Eisenhauser, 2004: Evidence for the climate during the Late Maunder Minimum from proxy data available within KIHZ. In H. Fischer, T. Kumke, G. Lohmann, G. Flöser, H. Miller, H von Storch und J. F. W. Negendank (Hrsg.): *The Climate in Historical Times. Towards a synthesis of Holocene proxy data and climate models*, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 487 pp., ISBN 3-540-20601-9, 397-414
- Petersen, M., und H. Rohde, 1977: *Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten Schleswig-Holsteins und in der Elbe*. Karl Wachholz Verlag, 148 pp.
- Rahmstorf, S., 2002: Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature* 419, 207-214.
- Wood, R. A., A. B. Keen, J. F. Mitchell und J. M. Gregory. 1999. Changing spatial structure of the thermohaline circulation in response to atmospheric CO2 forcing in a climate model. *Nature* 399, 572-575.
- Woth, K., 2004: North Sea storm surge statistics based on a series of climate change projections. *Proc. Regional scale climate modelling workshop*, Lund, 29. März – 2. April 2004. Im Druck.
- Wyrtki, K., 1993: Global sea level rise. *Proc. Circum-Pacific Int. Symp. Earth Environment*, National Fisheries Univ. Pusan, Pusan. D. Kim und Y. Kim, Hrsg., 215-226.
- Zorita, E., H. von Storch, F. González-Rouco, U. Cubasch, J. Luterbacher, S. Legutke, I. Fischer-Bruns und U. Schlese, 2004: Climate evolution in the last five centuries simulated by an atmosphere-ocean model: global temperatures, the North Atlantic Oscillation and the Late Maunder Minimum. *Meteorologische Zeitschrift*, im Druck

---

<sup>8</sup> Es ist realistischer, einen gemäßigt exponentiellen Anstieg anzunehmen, der in den frühen Jahrzehnten langsam und später schneller verläuft.