

# 2000 Jahre Meeresspiegel + Updates

von [Stefan Rahmstorf](#), 20. Juni 2011, 23:20

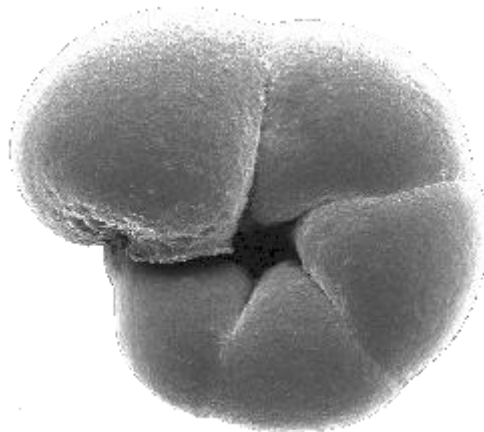
**US-Kollegen ist es erstmals gelungen, eine durchgehende Rekonstruktion des Meeresspiegels über die letzten 2000 Jahre zu erstellen. Demnach steigt der Meeresspiegel heute schneller als je zuvor in den letzten beiden Jahrtausenden.**

Gute Daten über die frühere Meeresspiegelhöhe sind nicht leicht zu bekommen. Dabei lässt sich der riesige Anstieg seit der letzten Eiszeit ([120 Meter](#)) noch ganz gut rekonstruieren, weil wenige Meter Ungenauigkeit in der Höhe oder ein paar Jahrhunderte in der Datierung dabei relativ wenig ins Gewicht fallen. Aber für die subtilen Veränderungen der letzten Jahrtausende braucht man genauere Verfahren.

Andrew Kemp, Ben Horton und Jeff Donnelly haben ein solches entwickelt. Dabei nutzen sie Sedimente in [Salzwiesen an der Küste](#), die regelmäßig durch die Gezeiten überflutet werden. Wenn der Meeresspiegel steigt, dann wächst auch die Salzwiese mit in die Höhe, da sie Sedimente einfängt. Die auf diese Weise anwachsenden Sedimentschichten kann man untersuchen und datieren. An ihrer Höhe in Abhängigkeit vom Alter sieht man schon grob den Verlauf des Meeresspiegels.

## **Wie wird der Meeresspiegel rekonstruiert?**

Jetzt aber kommt die clevere Feinarbeit. Denn der Aufbau der Sedimente folgt zwar im Mittel dem Meeresspiegel - aber er hinkt etwas hinterher, wenn der Anstieg besonders rasch ist, oder eilt voraus, wenn der Anstieg langsam ist. Daher möchte man noch wissen, wie hoch - relativ zum mittleren Meeresspiegel - die Salzwiese zu jedem Zeitpunkt lag. Dazu nutzt man aus, dass es eine charakteristische Abfolge von Organismen gibt: für jede Höhe im Bereich des Tidenhubs findet man eine bestimmte Artenzusammensetzung. Die kann man analysieren - zum Beispiel anhand der winzigen Kalkschalen der [Foraminiferen](#), die sich in den Sedimenten finden. Dazu muss man diese Kalkschalen in jedem Zentimeter Sediment unter dem Mikroskop bestimmen und zählen.



Mikroskopaufnahme der Foraminifere Trochammina inflata

Um eine lückenlose Sedimentabfolge mit hoher zeitlicher Auflösung zu erhalten, braucht man einen Ort mit einem kräftig und kontinuierlich steigenden Meeresspiegel. Kemp et al. nutzen Salzwiesen in North Carolina, wo das Land in den letzten beiden Jahrtausenden ([infolge des Endes der letzten Eiszeit](#)) stetig rund 2 m abgesunken ist. So erhält man einen rund 2,5 m langen Sedimentbohrkern. Den Effekt der Landsenkung muss man dann hinterher wieder herausrechnen, um den eigentlichen Anstieg des Meeresspiegels zu erhalten.

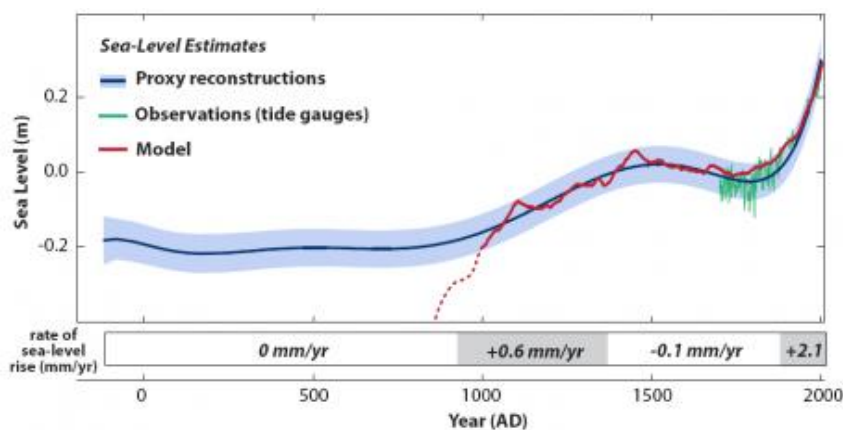


Messungen in der Salzwiese: ~~die postdocs Andy Kemp und Simon Engelhart~~ Ben Horton und Reide Corbett bei der Arbeit in Sand Tump Point, einem der Studienorte [sorry, Foto verwechselt]

## Wie hat sich der Meeresspiegel entwickelt?

Die Grafik zeigt den so gefundenen Meeresspiegelverlauf über die letzten 2000 Jahre. Man erkennt vier Phasen:

- Von 200 vor Christus bis 1000 nach Christus war der Meeresspiegel stabil.
- Ab dem 11. Jahrhundert stieg er 400 Jahre lang um etwa sechs Zentimeter pro Jahrhundert an.
- Dann folgt eine weitere stabile Periode bis ins späte 19. Jahrhundert.
- Seither ist der Meeresspiegel um gut 20 Zentimeter angestiegen.



Verlauf des Meeresspiegels in North Carolina nach Proxidaten (blaue Kurve mit Unsicherheitsband). Die lokale Landabsenkung ist bereits herauskorrigiert. Die grüne Kurve zeigt ~~Messdaten von einem nahe gelegenen Hafen~~ eine Rekonstruktion auf Basis eines globalen Satzes von Hafenpegeln (Jevrejeva et al. 2006, 2008). Die rote Kurve zeigt ein einfaches Modell über den Zusammenhang von Meeresspiegel und globaler Temperatur. Über die letzten tausend Jahre folgt die Meeresspiegelrekonstruktion sehr gut dem, was man aufgrund des Temperaturverlaufs erwarten würde - damit stützen die beiden von einander unabhängigen Rekonstruktionen von Meeresspiegel und Temperatur sich gegenseitig, da sie ein konsistentes Bild liefern. Vor 1000 n.Chr. gibt es aber eine Diskrepanz: warme Temperaturen in der verwendeten Temperaturrekonstruktion lassen einen steigenden Meeresspiegel erwarten, die Daten zeigen aber stabilen Meeresspiegel. Allerdings sind die Temperaturdaten aus diesem Zeitraum spärlich und weniger zuverlässig, und schon bei nur 0,2 °C kühleren Temperaturen wäre diese Diskrepanz beseitigt. Eine mögliche Erklärung der Diskrepanz ist daher eine etwas zu warme Temperaturrekonstruktion.

Diese Daten gelten zunächst für das Untersuchungsgebiet in North Carolina, wo sie auch gut mit Pegeldaten (~~grüne Kurve~~) (Abb. 2 im Paper) übereinstimmen. Sie decken sich aber auch sehr gut mit einem weiteren Datensatz aus Massachusetts. Veränderungen des Meeresspiegels entlang der US-Atlantikküste müssen allerdings nicht genau mit dem globalen Verlauf übereinstimmen. Zwar steigt der Wasserspiegel überall gleichmäßig an, wenn ich Wasser in meine Badewanne einlasse. Aber im Ozean gibt es eine Reihe von Mechanismen, die zu regionalen Abweichungen vom globalen Meeresspiegelverlauf führen können. Ein Beispiel kennen wir auch aus der Badewanne: das Wasser kann "herumschwappen", im Ozean über Zeiträume von Jahrzehnten. Es gibt aber auch andere Faktoren, etwa Veränderungen der Meeresströme oder des Gravitationsfeldes (durch Abschmelzen von Landeis Massen). In der Studie werden diese Faktoren abgeschätzt und gefolgert, dass die gezeigte Kurve bis zu 10 Zentimeter vom global gemittelten Meeresspiegel abweichen kann. Damit wäre der globale Verlauf immer noch dem gezeigten ähnlich.

## Zusammenhang mit der Klimaentwicklung

Wir waren selbst an der Studie beteiligt (mit den Kollegen Martin Vermeer und Mike Mann), um den Zusammenhang von globaler Temperatur und Meeresspiegel zu analysieren. Dabei verwendeten wir ein einfaches [semi-empirisches Modell](#), bei dem im Wesentlichen davon ausgegangen wird, dass die Rate des Meeresspiegelanstiegs proportional zur Temperatur ist. Mit anderen Worten: je wärmer es wird, desto schneller steigt der Meeresspiegel. Dieser Zusammenhang wurde schon für Pegeldata für die letzten 130 Jahre aufgezeigt, funktioniert aber auch sehr gut für die abgelaufenen 1000 Jahre (rote Kurve). Davor gibt es Diskrepanzen (mehr dazu in der Bildunterschrift).

Demnach ist der Anstieg ab dem 11. Jahrhundert eine Folge der Warmperiode des Mittelalters. In diese Phase fielen übrigens auch einige der großen Sturmfluten und Landverluste an der deutschen Nordseeküste, etwa die Julianenflut im Jahr 1164, die Marcellusflut 1219, die Luciaflut 1287 und die "Grote Mandränke" am 16. Januar 1362. Dabei hat wohl die lokale Landabsenkung die Hauptrolle gespielt; es wäre aber eine interessante Frage für die weitere Forschung, inwieweit ein global steigender Meeresspiegel hier mit beigetragen hat.

Die dann folgende Phase mit stabilem Meeresspiegel von 1400 n. Chr. bis ins 19. Jh. ist den etwas kühleren Temperaturen der "kleinen Eiszeit" zuzuschreiben. Dann folgt ein steiler Anstieg im Zuge der globalen Erwärmung im 20. Jahrhundert. Die (genaueren) Pegel- und Satellitendaten zeigen, dass sich auch innerhalb des 20. Jahrhunderts der globale Meeresspiegelanstieg [weiter beschleunigt](#).

**Quelle:** Kemp et al., [Climate related sea-level variations over the past two millennia](#), PNAS 2011.

**Weitere Infos zum Meeresspiegel:** [Meeresspiegel-Themenseiten des PIK](#)

**Update 21. Juni:** Spiegel Online [behauptet](#) über unsere Studie:

*„Die neue Meeresspiegel-Rekonstruktion weicht zudem deutlich von früheren Studien ab. So hatte ein Team um Michael Mann, der auch zu den Autoren der aktuellen Untersuchung gehört, in einer 2008 veröffentlichten Studie einen viel steileren Meeresspiegel-Anstieg für die vergangenen Jahrhunderte berechnet. Für das Jahr 500 etwa liegt das Wasserniveau um fast eineinhalb Meter unterhalb des neuen Wertes. Auch Rahmstorf selbst hatte 2007 und 2009 Studien zur historischen Entwicklung des Meeresspiegels mitveröffentlicht, die ähnlich stark von der neuen Berechnung abweichen.“*

Das ist falsch. Weder Michael Mann noch ich selbst haben schon einmal abweichende Aussagen zum früheren Meeresspiegelverlauf publiziert. Offenbar hat der Spiegel-Online Autor Markus Becker unsere Abb. 4D im Paper missverstanden. Im Jahr 2007 und 2009 haben wir einfachere Modellgleichungen zum Zusammenhang von Meeresspiegel und Temperatur publiziert, die sich nur für kurze Zeiträume eignen (~100 Jahre), wie auch explizit in beiden Papers gesagt wird. Daher haben wir im neuen Paper eine etwas kompliziertere Gleichung benutzt, die die Langzeitentwicklung erfasst.

Lediglich zum Vergleich - um den Unterschied zwischen den verschiedenen Modellen transparent zu machen - haben wir in Abb. 4D gezeigt, was man mit diesen alten Modellen für die letzten 1500 Jahre bekommen würde. Die Grafik soll zeigen, dass man tatsächlich den Langzeiterm in der Gleichung braucht und wie er sich auswirkt. (Die eigentliche Überraschung bei dieser Grafik war für mich, dass die alten, einfacheren Modelle nicht nur für ~100 Jahre gut funktionieren, wie wir dachten, sondern sogar bis zu 800 Jahren zurück.)

Solche Missverständnisse lassen sich übrigens leicht vermeiden, wenn Journalisten einmal mit den Forschern sprechen, über deren Arbeit sie schreiben - wie das die Berichterstatter anderer Zeitungen auch getan haben, Markus Becker aber leider nicht.

SpON macht natürlich auch wieder eine "Debatte" daraus, die die "Forschergemeinde entzweit". Dabei werden drei Kritikpunkte genannt:

1. Die Daten gelten nur lokal für die US-Atlantikküste. Genau das sagen wir in der Studie auch. Unserer detaillierten Abschätzung, wonach die gezeigte Meeresspiegelentwicklung dort nur bis zu 10 cm vom globalen Mittel abweichen dürfte, hat offenbar keiner der gefragten Kollegen widersprochen. Es würde uns natürlich sehr interessieren, wenn jemand da zu anderen Zahlen käme. Ab dem Jahr 1700 gibt es eine globale Zusammenstellung von Pegeldaten (Jevrejeva et al. 2006, 2008 - grüne Kurve im Bild oben), die gut zu den Proxidaten passt (wobei es zwischen 1700 und 1850 nur europäische Pegeldaten gibt).
2. Es wird bezweifelt, dass diese Daten für Zukunftsprojektionen hilfreich sind. Nun hat damit auch bislang niemand Zukunftsprojektionen gemacht - inwieweit die Daten aus der Vergangenheit helfen, die künftige Entwicklung einzugrenzen, das kann man erst dann kritisch diskutieren, wenn der Versuch gemacht worden ist. Grundsätzlich sollte man natürlich alle verfügbaren Informationen nutzen und Meeresspiegel-Modelle an der Vergangenheit testen.
3. Jens Schröter vom AWI wird mit der Aussage zitiert: "Hätte man versucht, allein auf Basis der Daten eine Kurve zu entwickeln, wäre das wohl schwierig geworden." Aber genau das haben unsere US-Kollegen gemacht, die über fünf Jahre an dieser Studie gearbeitet haben. Erst als die Daten fertig analysiert waren und die Meeresspiegelkurve stand, haben sie uns involviert, um den Zusammenhang dieser Kurve mit der globalen Temperaturentwicklung zu untersuchen.

**Update 22.6.:** Spiegel Online hat nun eine Art Korrektur publiziert - bzw. einfach dem Artikel einen Einschub hinzugefügt, in dem steht, dass ich feststelle, dass Mann oder ich keine früheren, abweichenden Meeresspiegelberechnungen publiziert hätten. Das liest sich jetzt ein wenig so, als gäbe es darüber unterschiedliche Meinungen: SpON sagt, wir haben, Rahmstorf sagt dagegen, wir haben nicht. Dabei ist das natürlich ein leicht objektiv nachprüfbares Faktum - sauberer wäre m.E. gewesen, das im Dienste der Leser einfach klar als Missverständnis richtig zu stellen (wie ich oben im Artikel auch einige Flüchtigkeitsfehler sichtbar korrigiert habe). Inzwischen ist auch eine [englische Fassung](#) des SpON-Artikels erschienen, wo der ganze Abschnitt über die angeblichen "Abweichungen von früheren Studien" fehlt.

Ich habe auch den von SpON zitierten Kollegen Jens Schröter um Klärung gebeten, was mit einigen seiner Zitate konkret gemeint war. Hoffentlich können wir hier in Kürze genauer eingrenzen, in welchen Punkten tatsächlich ein sachlicher Dissens besteht. Und auf [RealClimate](#) habe ich noch einen kurzen Anhang publiziert, der einige der in der Diskussion aufgetauchten Fragen erläutert.

Und als [Kontrastprogramm](#) zu SpON: hier [ZEIT online zu unserer Studie](#). (Siehe dazu auch unsere [beiden Beiträge](#) zur Diplomarbeit von Robin Avram zur Klimaberichterstattung von Spiegel vs. Zeit, die zu den meistgelesenen des letzten Jahres gehörten.)

**Update 24.6.:** Inzwischen hat Jens Schröter auf meine Rückfrage geantwortet. Wie ich vermutet hatte, besteht in keiner Sachfrage ein nennenswerter Dissens zwischen uns. Allerdings ist es in seinem Gespräch mit dem Journalisten wohl zu einigen Missverständnissen gekommen, und er hat die Zitate nicht autorisiert. Schröter dazu:

*„Ich stimme weder mit der Überschrift des SpON-Artikels überein noch mit der Behauptung, die Studie stünde "auf wackligem Fundament". Im Gegenteil: Die Datenlage der Messungen in North Carolina ist eindeutig. Wir kommen beide zum Ergebnis, dass sich der Anstieg des Meeresspiegels nach einer langen Ruhephase beschleunigt hat. Heute zeigt sich der steilste Anstieg der vergangenen 2100 Jahre. Auch die Abschätzung der Studie, dass der Meeresspiegel in North Carolina im Rahmen von  $\pm 10$  cm dem globalen Meeresspiegelverlauf gefolgt sein dürfte, halte ich für vernünftig. „*

Auch darüber, dass man natürlich nicht nur aus einem solchen Datensatz die Zukunft voraussagen kann, gibt es keinerlei Dissens. Solche Daten über die Vergangenheit sind aber wichtig um Modelle zu testen, die für Zukunftsprojektionen verwendet werden sollen.

Der "Forscherstreit" ist zwar ein beliebter Topos, entspricht aber oft nicht der realen Fachdiskussion unter Kollegen.

[Dieses Update erscheint mit Zustimmung von Jens Schröter.]