

# Was lässt den Meeresspiegel steigen?

von [Stefan Rahmstorf](#), 31. Mai 2012, 12:00

**Letzte Woche wurde die Fachgemeinde durch die These geschockt, 42 Prozent des Meeresspiegelanstiegs der letzten Jahrzehnte sei auf die Grundwassernutzung zur Bewässerung zurückzuführen. Was könnte das für die Zukunft bedeuten – und stimmt die Zahl überhaupt?**

Die Ursachen des globalen Meeresspiegelanstiegs kann man grob in drei Kategorien aufteilen: (1) die thermische Ausdehnung des Meerwassers, (2) das Schmelzen von Landeis und (3) Veränderungen in den an Land gespeicherten Mengen an flüssigem Wasser. Für diese Beiträge gibt es unabhängige Abschätzungen, und eine wichtige Frage ist natürlich, ob die Summe der so abgeschätzten Beiträge dem tatsächlich gemessenen Meeresspiegelanstieg entspricht.

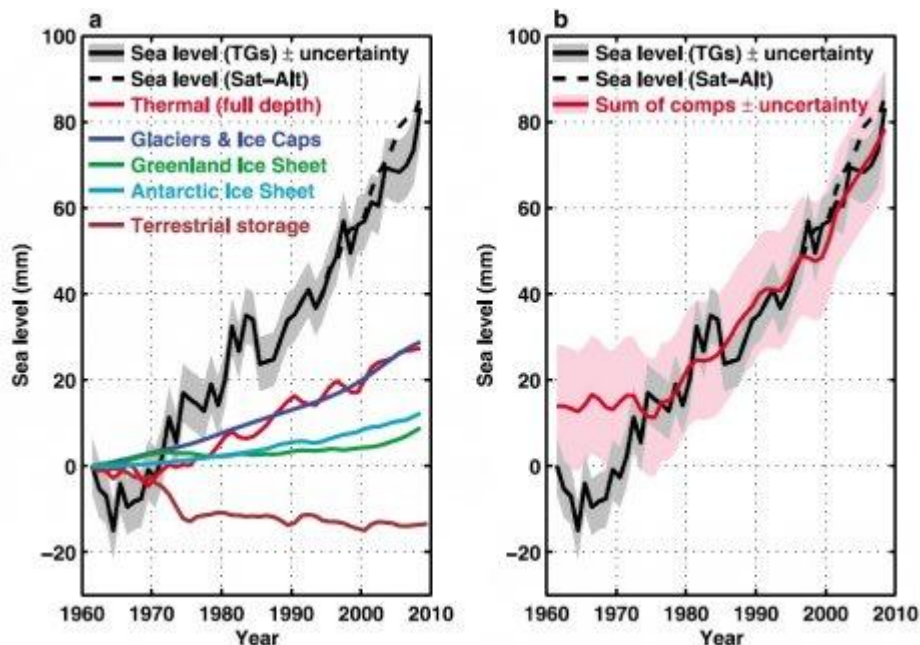


Foto (c) SR

Im letzten IPCC-Bericht (2007) wurde der Zeitraum 1961-2003 näher analysiert, und es zeigte sich ein Problem: die Summe der Einzelbeiträge war geringer als der tatsächlich gemessene Anstieg – allerdings waren auch die Unsicherheiten groß. Inzwischen ist viel Forschungsarbeit in ein genaueres Verständnis aller Beiträge investiert worden. Für das letzte Jahrzehnt gibt es auch verbesserte Beobachtungstechniken, z.B. durch die GRACE Satellitenmission oder die tausenden autonomen ARGO-Floats, die weltweit die Erwärmung der Ozeane messen.

Letztes Jahr wurde von Church et al. (2011) ein neues Meeresspiegel-Budget erstellt (siehe Abb. 1). Für den Zeitraum 1972-2008 ist das Budget geschlossen, bei einem Gesamtanstieg von rund 7 Zentimetern. Etwas mehr als die Hälfte davon ist auf das Schmelzen von Landeis zurückzuführen, etwas weniger als die Hälfte auf thermische Ausdehnung. Die

Wasserspeicherung an Land liefert einen geringen negativen Beitrag, weil die Speicherung in Stauseen (die den Meeresspiegel senkt) größer abgeschätzt wird als die Entnahme von fossilem Grundwasser zur Bewässerung (das dann größtenteils im Meer endet). Auch für den kürzeren Zeitraum 1993-2008 (für den es Messungen des globalen Meeresspiegelanstiegs durch Satelliten gibt, er liegt bei rund 3 Millimeter pro Jahr) schließen Church und Kollegen erfolgreich das Meeresspiegelbudget. Allerdings sind die Unsicherheiten der Beiträge immer noch so groß, dass das Problem nicht als völlig gelöst angesehen werden kann. Dieses Paper definiert aber den gegenwärtigen „state of the art“, an dem sich neuere Ergebnisse messen lassen müssen.



**Abb. 1.** Meeresspiegelanstieg 1961-2008. Links sind die Einzelkomponenten aufgezeigt, rechts der Vergleich der Summe der Einzelkomponenten (rot) mit dem gemessenen Anstieg (schwarz). Grafik aus Church et al. 2011.

## Der Grundwasser-Schock

Am 20. Mai erschien in Nature Geoscience eine japanische Modellrechnung zur Wasserspeicherung an Land (Pokhrel et al. 2012), die die Fachwelt mit dem Schluss überraschte, 42 Prozent des Meeresspiegelanstiegs (rund 3 von 8 cm) im Zeitraum 1961-2003 gingen auf eine Abnahme der Wasserspeicherung zurück. Im Unterschied zu früheren Studien wurde die Speicherung in Stauseen geringer angenommen, vor allem aber das Abpumpen von fossilem Grundwasser um ein Mehrfaches höher berechnet.

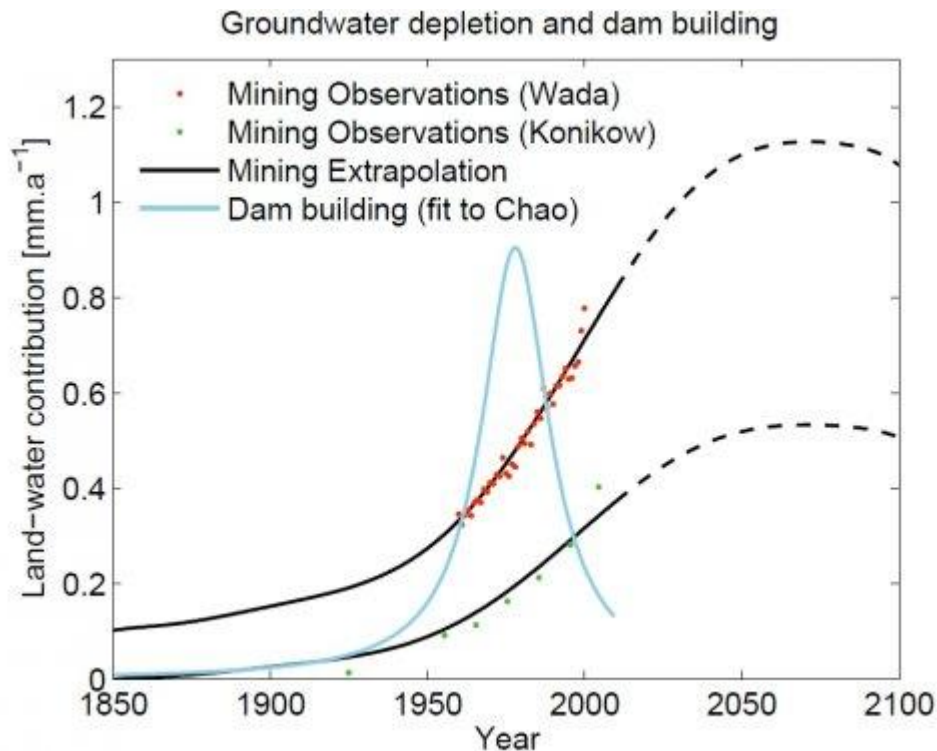
Sind diese neuen Zahlen realistisch? Ich und viele Kollegen haben da ernsthafte Zweifel. Es handelt sich hier um eine Modellrechnung, deren Ergebnis in markantem Widerspruch zu datenbasierten Abschätzungen steht. Die Rechnung beruht auf der folgenden simplen Annahme: es wurde erstens der Wasserbedarf abgeschätzt, zweitens die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser, und dann wurde angenommen, dass die Differenz komplett durch Nutzung fossilen Wassers ausgeglichen wird. Über den Realismus dieser Annahme kann man sicher diskutieren – mir scheint sie Gefahr zu laufen, die Entnahme fossilen Wassers stark zu überschätzen.

Auch über die Unsicherheiten muss man diskutieren: es werden zwei große, unsichere Zahlen voneinander abgezogen. Eine Unsicherheitsabschätzung dazu gibt es nicht – es wird einfach eine Zahl mit drei signifikanten Stellen als Ergebnis angegeben ( $359 \text{ km}^3$  pro Jahr für 1950-2000). Dies ist fast das Fünffache der Rate von  $82 \pm 22 \text{ km}^3$  pro Jahr, die Konikow (2011) für 1961-2008 aufgrund von Daten der Grundwassernutzung berechnet hat. Hydrologen argumentieren, dass die von Pokhrel et al. genannte riesige Menge an Grundwasser unmöglich abgepumpt worden sein kann, ohne dass dies von Grundwasserhydrologen bemerkt wurde. Stutzig macht auch die Tatsache, dass laut Pokhrel et al. für den Zeitraum 1950-2000 weniger als 20 Prozent des Meeresspiegelanstiegs auf das Landwasser zurückzuführen sind, nicht 42 Prozent wie für 1961-2003. Laut Rückfrage bei Pokhrel entsteht dies dadurch, dass der Beitrag von 2000 bis 2003 kurzfristig stark angestiegen ist und die Zahlen einfach aus der Differenz der Endpunkte (also dem Wert von 2003 minus dem von 1961) berechnet wurden. 2003 war ein Dürrejahr mit wetterbedingt wenig Wasser an Land. Church et al. berechnen ihr Budget dagegen auf Grundlage der linearen Trends – also auf Basis aller Datenpunkte, nicht nur der Endjahre, was wesentlich robuster ist.

Pokhrel et al. erwähnen übrigens das Paper von Church et al. überhaupt nicht; sie beziehen sich bei der Diskussion des Meeresspiegel-Budgets noch auf das im IPCC-Bericht gefundene „fehlende Wasser“, das sie nun gefunden hätten. Der Eigenwerbung der Forscher folgend hatten viele Medienberichte den Tenor „Rätsel um steigenden Meeresspiegel gelöst“.

### **Bedeutung für den künftigen Anstieg**

Sollten die Zahlen von Pokhrel et al. doch stimmen, was bedeutet das für die Zukunft? Es gibt zwei Methoden, den künftigen Anstieg des Meeresspiegels abzuschätzen: komplexe prozessbasierte Modelle, die alle Einzelbeiträge (z.B. die Eisschmelze) unter veränderten Klimabedingungen zu berechnen versuchen, und semi-empirische Modelle, die an der Vergangenheit kalibriert sind und sich den beobachteten Zusammenhang von globaler Temperatur und Meeresspiegel zunutze machen (siehe [Modeling sea level rise](#) auf der Nature Education Seite). Beide Ansätze haben ihre Probleme und Grenzen – welcher näher an die künftige Wahrheit herankommt, vermag heute noch niemand seriös zu entscheiden.



**Abb. 2.** Veränderung des Meeresspiegels in Millimeter pro Jahr aufgrund der Beiträge der Grundwassernutzung (schwarze Kurven - Abschätzung auf Basis der Datensätze von Konikow und Wada et al) und Wasserspeicherung in Stauseen (blau - dieser Beitrag ist negativ, senkt also den Meeresspiegel). Grafik aus Rahmstorf et al. (2011).

Für die prozessbasierten Modelle würden sich die Zukunftsprognosen einfach um den nach Pokhrel viel höheren Beitrag der Nutzung fossilen Wassers erhöhen. Wir haben letztes Jahr einfache Projektionen dieses Faktors für die Zukunft publiziert (Rahmstorf et al. 2011, siehe Abb. 2), auf Basis der o.g. Daten von Konikow (2011) und einer anderen Studie von Wada et al. (2010) sowie Projektionen der Bevölkerungsentwicklung. In der oberen der beiden Kurven erhöht die Grundwassernutzung den Meeresspiegel um 10 Zentimeter bis 2100. Ginge man auf Basis von Pokhrel et al. auch für die Zukunft von rund der doppelten Grundwassernutzung aus, könnten so grob geschätzt 20 Zentimeter zusätzlicher Meeresspiegelanstieg zusammen kommen. Eine ebenfalls diesen Monat erschienene Studie von Wada et al. (2012) liefert übrigens eine wesentlich detailliertere Projektion bis 2050, die zwischen unseren beiden hier gezeigten Kurven liegt.

Für die semi-empirischen Modelle wäre die Auswirkung geringer, weil sich hier zwei Anteile teilweise kompensieren: einerseits käme auch hier der eben erwähnte zusätzliche Anstieg hinzu, andererseits würde aber der klimabedingte Anstieg geringer ausfallen, weil auch der klimatisch verursachte Anteil am vergangenen Anstieg dann geringer ist, was die Kalibrierung des Modells beeinflusst. In unserem Paper fanden wir, dass daher die Berücksichtigung der Grundwassernutzung nach Wada (obere Kurve in Abb. 2) die Projektionen für ein moderates Treibhauszenario um knapp 6 Zentimeter gesenkt hat. Gehen wir auch hier davon aus, dass Pokhrels Zahlen rund doppelt so hoch sind, auch für die Zukunft, würde der Anstieg mit seinen Zahlen 91 Zentimeter betragen, im Vergleich zu 98 Zentimetern in unserem 'Standardfall' (der die untere, Konikow-Kurve benutzt).

Insgesamt würden die neuen Zahlen also die prozessbasierten Projektionen erhöhen und die semi-empirischen absenken, was die beiden Methoden näher zusammen brächte und insofern aus meiner Sicht erfreulich wäre. Allein mir fehlt der Glaube.

### **Weblink**

[Meeresspiegelseiten des PIK](#)

### **Literatur**

Church, J.A. et al (2011) Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008, *Geophys Res Lett* 38, L18601, doi:10.1029/2011GL048794

Konikow LF (2011) Contribution of global groundwater depletion since 1900 to sea-level rise. *Geophys Res Lett* 38:5. doi:10.1029/2011gl048604

Pokhrel, Y.A. et al (2012) Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage. *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGEO1476

Rahmstorf, S, Perrette, M & Vermeer, M (2011) Testing the robustness of semi-empirical sea level projections. *Clim. Dynam.* 97, 1-15, <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1226-7>

Wada Y, van Beek LPH, van Kempen CM, Reckman J, Vasak S, Bierkens MFP (2010) Global depletion of groundwater resources. *Geophys Res Lett* 37:L20402. doi:10.1029/2010gl044571

Wada, Y et al (2012) Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophys Res Lett* 39, L09402, doi:10.1029/2012GL051230