

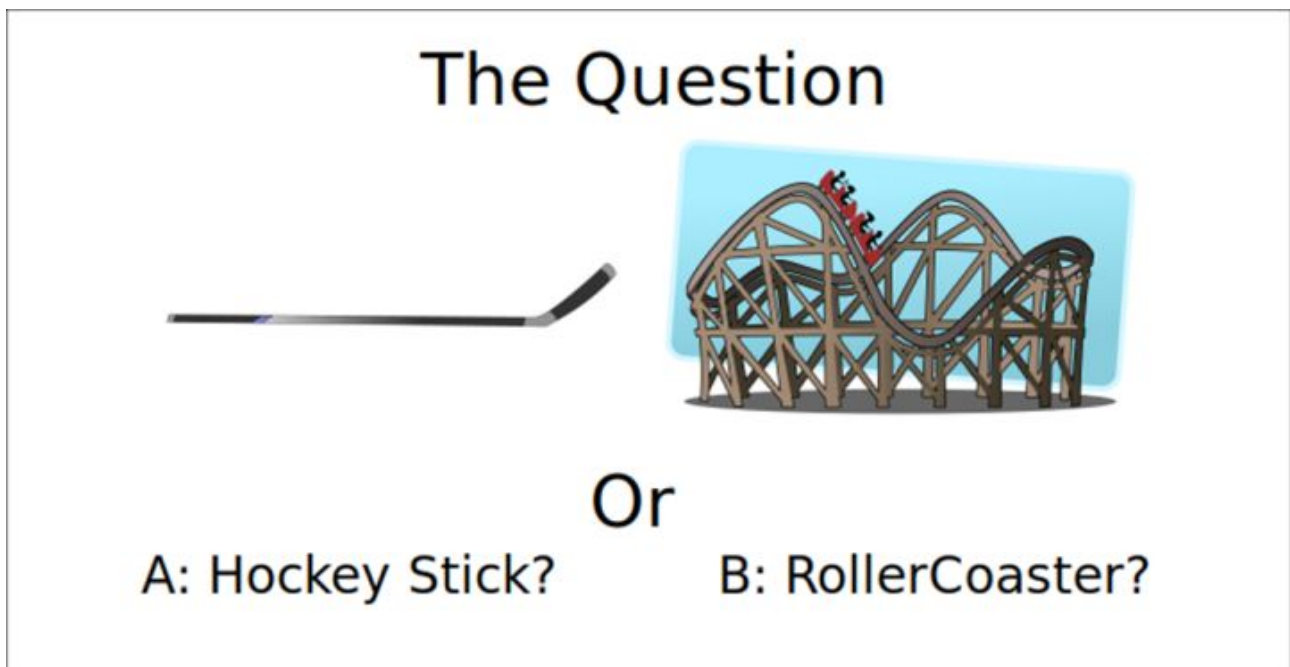
# Weitere Erforschung der historischen Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs

geschrieben von Chris Frey | 23. Februar 2023

Chris Hall

## Einführung

Dieser Artikel baut auf einem früheren [Beitrag](#) von mir mit dem Titel „Sea Level Rise: Hockey Stick or Roller Coaster“ auf [etwa: „Meeresspiegelanstieg: Hockeyschläger oder Achterbahn?“]. Siehe:



In diesem Artikel beschrieb ich einen von mir verwendeten Ansatz, um Anzeichen für eine Beschleunigung des Anstiegs des Meeresspiegels im historischen Gezeitenpegel des Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) herauszuarbeiten (Holgate et al., 2013; PSMSL, 2022). Der Beitrag wurde durch den Peer-Review-Artikel Nerem et al. (2018) inspiriert, der hier als PNAS2018 bezeichnet wird. In diesem Artikel schätzten die Autoren die aktuelle Änderungsrate des Meeresspiegelanstiegs (d. h. die Beschleunigung des Meeresspiegels) und argumentierten, dass die historischen Gezeitenpegel-Aufzeichnungen für die Messung der Beschleunigung des Meeresspiegel-Anstiegs in der Vergangenheit unzureichend sind. Ich wollte sehen, was die Aufzeichnungen der Gezeitenpegel über die historische Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs aussagen.

Kurz gesagt, ich habe viele verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung

der früheren Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs untersucht, um festzustellen, ob die in PNAS2018 festgestellte moderne Beschleunigung ein neues Phänomen ist oder ob diese Art der Beschleunigung im 20. Jahrhundert durchgängig war. Am Ende wählte ich eine Untergruppe von Daten aus den vollständigsten Aufzeichnungen von Gezeitenpegeln im Zeitraum von 1925 bis 2015 aus, eine Art Top-100-Seiten der „Hitparade der Gezeitenpegel“. Die beste Methode, die ich gefunden habe, um Beschleunigungssignale so zu kombinieren, dass keine Artefakte durch fehlende Datenpunkte entstehen, war die Berechnung eines Beschleunigungsdatensatzes für jeden Standort und die anschließende Kombination der Beschleunigungsdaten mit einem flächengewichteten Durchschnitt. Einzelheiten zu diesem Verfahren finden Sie im vorherigen Beitrag.

Nach der Veröffentlichung dieses WUWT-Artikels wurde mir klar, dass ich mit einer ähnlichen Technik ein breiteres Netz auswerfen und die Daten einer viel größeren Teilmenge der 1548 im PMSL-Datensatz aufgezeichneten Orte nutzen könnte. Die Ergebnisse dieser Bemühungen sind in diesem Beitrag dargestellt und stellen die maximale Menge an Informationen über die historische Meeresspiegelbeschleunigung dar, die ich ableiten kann.

## **Wo die Daten sind**

Der herunter geladene PMSL-Datensatz enthielt Standortinformationen für insgesamt 1548 Gezeitenpegelstandorte, aber nur 1537 Standorte verfügten über lokale Wasserstandsdaten. Die Aufzeichnungen beginnen 1807 für den Gezeitenpegel in Brest, Frankreich, und die Informationen, die ich hatte, endeten Ende 2021.

Um ein Maß für die Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs zu erhalten, würde ich idealerweise 25 Jahre (plus 1 Monat) an Daten verwenden, die um einen bestimmten Zeitpunkt zentriert sind, und ich habe ein quadratisches Polynom an die Daten angepasst. Wegen fehlender Daten können die Rohdaten manchmal einem Schweizer Käse ähneln. Deshalb habe ich die Regeln etwas gelockert und verlangt, dass für einen bestimmten Monat an einem Standort mindestens 200 gültige Datenpunkte innerhalb des Zeitfensters von plus/minus 12,5 Jahren um diesen Monat herum vorliegen müssen. Die Wahl von 200 als Grenzwert war willkürlich, aber vernünftig, da dies bedeutete, dass es genügend Datenpunkte gab, um einige anständige Anpassungsstatistiken zu erhalten, und dass sowohl die Zeit vor als auch nach dem gewählten Monat vertreten sind.

In Abb. 1 ist die Anzahl der Standorte, die Beschleunigungsdaten zum Gesamtdatensatz beitragen können, als Funktion der Zeit dargestellt. Beachten Sie die logarithmische Skala. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gibt es nur sehr wenige brauchbare Standorte, aber nach etwa 1880 geht es etwas aufwärts. Ab etwa 1920 wird die Dichte der verfügbaren Daten wesentlich größer.

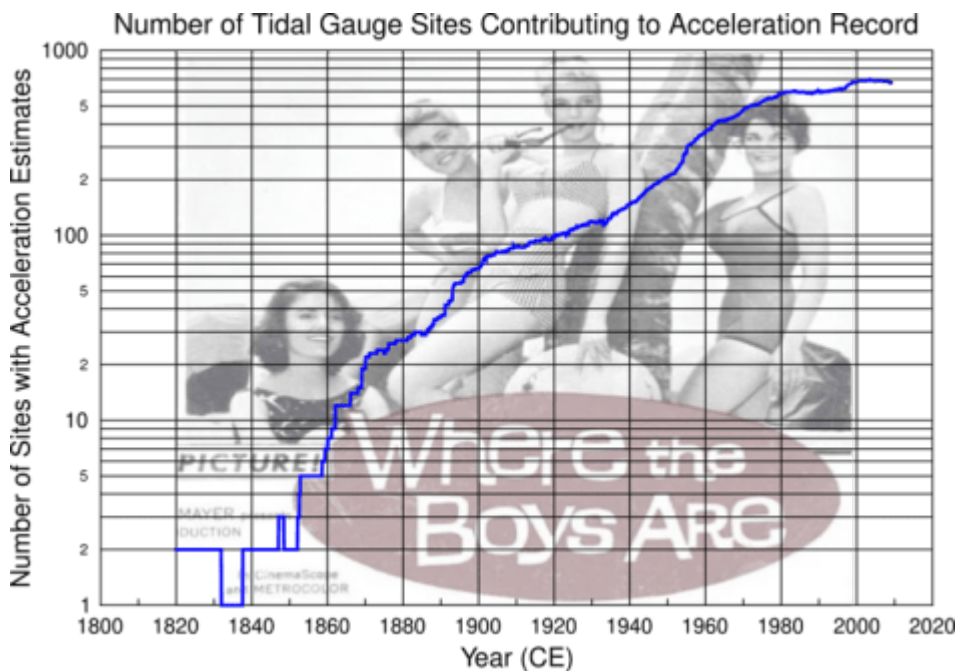


Abbildung 1: Wo sich die Daten befinden. Anzahl der Standorte mit gültigen Werten für die Meeresspiegelbeschleunigung für jeden Monat, der vom PMSL-Datensatz abgedeckt wird.

Ich möchte auch ein mea culpa bezüglich meines früheren Artikels aussprechen. Ich hatte es versäumt, Fehlerschätzungen für die Werte der Meeresspiegelbeschleunigung zu berechnen, was mir ein wenig peinlich ist, wenn man bedenkt, dass der verstorbene großartige Derek York mein Doktorvater war. Derek war der Mann, der den Isotopengeochemikern beigebracht hat, wie man Geraden durch Reihen von Isotopenverhältnis-Datenpunkten richtig anpasst, und bevor Sie sich darüber lustig machen und sagen, das sei trivial, es ist in der Tat ein kniffliges Stück nichtlineare inverse Theorie. Zur Buße habe ich mich daher bemüht, in diesem Artikel Fehlerschätzungen für Beschleunigungswerte anzugeben.

Doch zunächst möchte ich auf eine Frage eingehen, die in den Kommentaren zu meinem vorherigen Artikel aufgeworfen wurde. Es geht darum, dass es wichtig ist, die Details der lokalen Bedingungen jedes Standorts zu betrachten, und dass solche Faktoren die scheinbare Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs erheblich beeinflussen können. Im nächsten Abschnitt gehe ich auf diese Frage ein, die bis zu einem gewissen Grad von der philosophischen Unterscheidung zwischen „Pauschalisten“ und „Spalter“ in den wissenschaftlichen Gemeinschaften abhängt. Ich wurde als Ingenieur ausgebildet und habe sowohl in der Physik als auch in der Geologie gearbeitet. Physiker neigen dazu, „lumpers“ zu sein, d.h. sie freuen sich, wenn sie ein Phänomen weitgehend erklären können. „Splitter“ freuen sich, wenn sie alle exquisiten Details untersuchen können, und sind nie zufrieden, bevor nicht alle verschiedenen Details eines Phänomens kategorisiert sind. Geologen neigen dazu, Splitter zu sein. Da ich von Grund auf ein fauler Mensch bin, falle ich eher in die

Kategorie der „Pauschalisten“, und ich bekenne mich gerne zu meinen Sünden.

## Die Beschleunigungs-Aufzeichnung ist größtenteils global – größtenteils

Es wurde argumentiert, dass lokale Effekte wie das Abpumpen von Grundwasser einen Anstieg des lokalen Meeresspiegels verursachen könnten. Ursprünglich ging ich davon aus, dass dies ein anthropologischer Effekt ist, der sich als positive, jüngste Beschleunigung zeigen sollte. Es wurde jedoch auch angemerkt, dass ein Stopp des Abpumpens eine *Verlangsamung* zur Folge haben und als natürliches Phänomen missverstanden werden könnte. Ich beschloss, einen kleinen Test dieser Hypothese durchzuführen, und die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt:

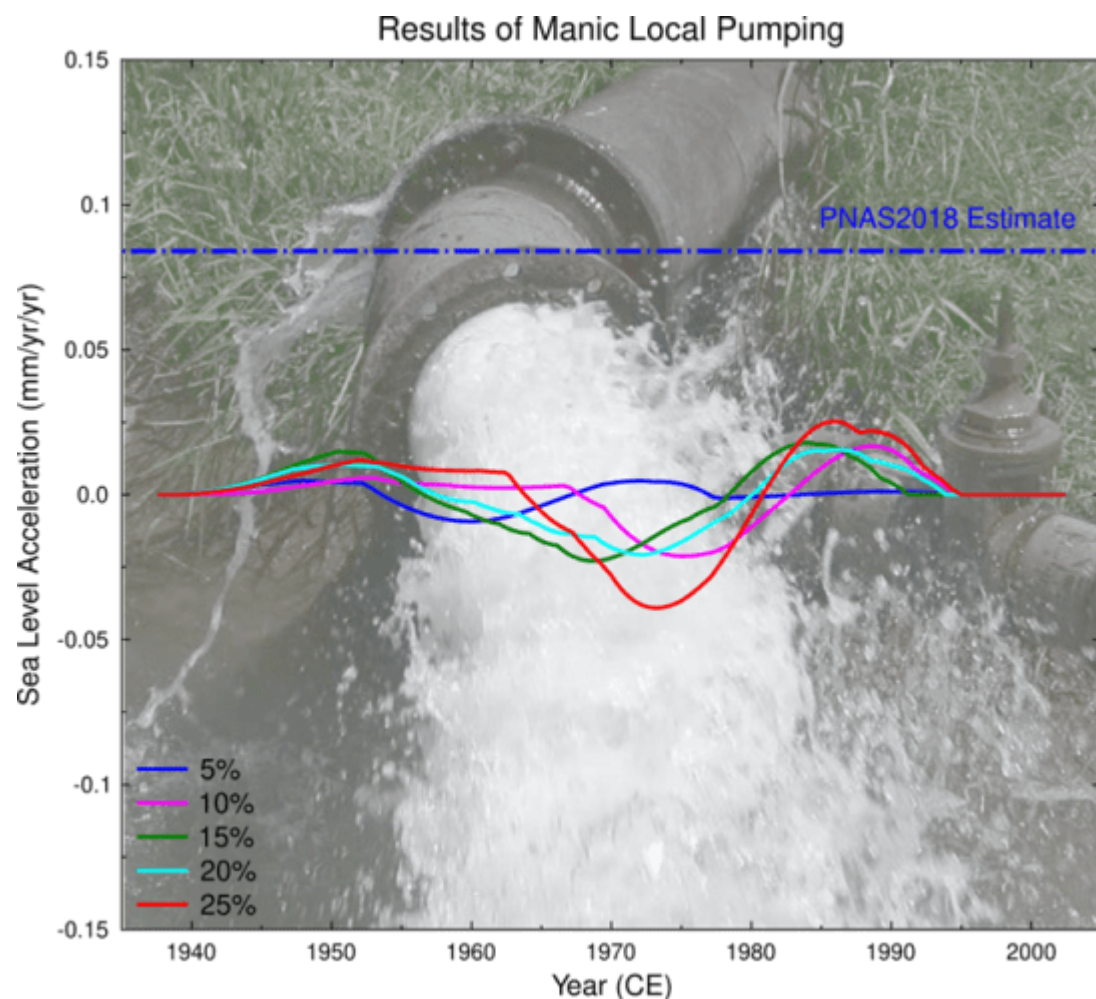


Abbildung 2: Ergebnisse einer randomisierten Studie mit Untergruppen von Standorten, die einen streng lokalen Meeresspiegelanstieg von 1950-1970 bis 1970-1995 aufweisen. Siehe Text für Details.

Bei diesem Gedankenexperiment wurde für einen Prozentsatz der Standorte,

der zwischen 5 % und 25 % lag, ein lokaler Anstieg des Meeresspiegels angenommen, der vermutlich durch eine verstärkte Grundwassernutzung verursacht wurde, die irgendwo zwischen 1950 und 1970 begann und irgendwann zwischen 1970 und 1995 endete. Die Start- und Endzeitpunkte wurden zufällig gewählt, da man davon ausging, dass die lokalen Auswirkungen nicht weltweit synchronisiert werden würden. Auch die durch das Abpumpen von Wasser verursachte Absenkung durfte gleichmäßig um bis zu 5 mm/Jahr variieren. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst dann, wenn ein Viertel aller Standorte signifikante zeitlich variierende lokale Absenkungen aufweisen würde, zu erwarten wäre, dass der Gesamteffekt auf die gesamte lokale Meeresspiegelbeschleunigung deutlich unter dem PNAS2018-Beschleunigungswert liegen würde. Lokale Effekte können sich also als Schwankungen im globalen Meeresspiegelanstieg bemerkbar machen, aber der Effekt ist wahrscheinlich gering im Vergleich zu den Schwankungen, die mit dem gesamten PMSL-Datensatz berechnet werden. Um die in Abb. 2 zu sehenden Schwankungen mit dem PNAS2018-Wert zu vergleichen, muss man die Augen zusammenknöpfen und die Absenkungsrate erhöhen und/oder den Prozentsatz der Standorte mit manuellem Pumpen vergrößern.

## Ergebnisse

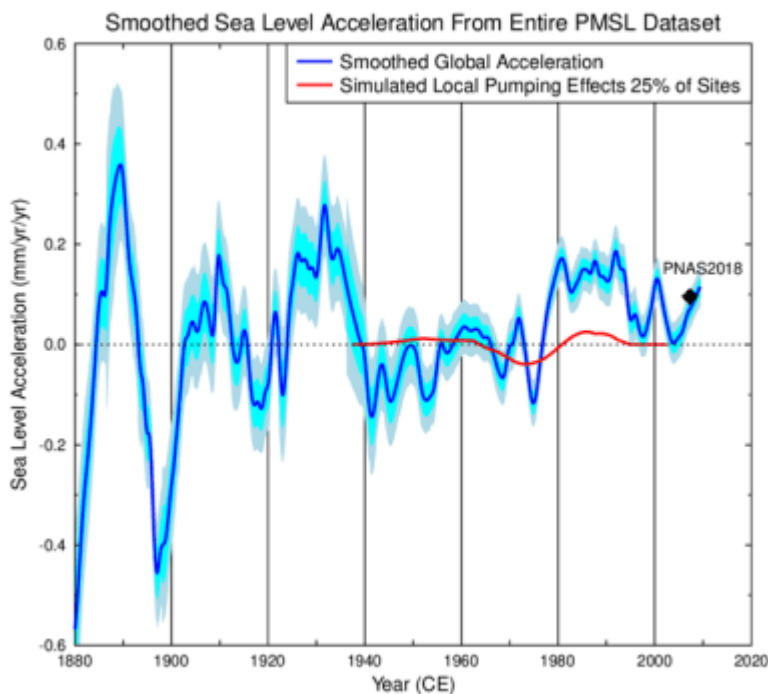


Abbildung 3: Geglättete Aufzeichnung der globalen Meeresspiegelbeschleunigung von 1880 bis heute. Hellblaue Schattierung zeigt Fehlerschätzungen von 1 und 2 Sigma an. Die Auswirkungen lokaler variabler

Absenkungen und die PNAS2018-Schätzung sind als Referenz dargestellt.

Die Ergebnisse der Zusammenstellung aller Pegeldata sind in Abb. 3 dargestellt. Die Standorte wurden in 5×5-Grad-Gitterzellen sortiert, und für jeden Monat der Aufzeichnungen wurde ein fehlergewichteter Durchschnitt für jede Zelle berechnet. Um die Informationen über die 321 Gitterzellen, die zur Aufzeichnung beigetragen haben, zu kombinieren, wurde ein gewichteter Mittelwert berechnet, der sowohl den Fehler als auch die Fläche der Gitterzelle berücksichtigt. Der in Abb. 3 dargestellte Datensatz wurde geglättet, indem die drei höchsten Frequenzkomponenten aus der CEEMD-Zerlegung entfernt wurden. Die hellblaue Schattierung in Abb. 3 zeigt sowohl 1- als auch 2-Sigma-Fehlerbalken, und zum Vergleich sind die Ergebnisse der 25%igen lokalen Pumpstudie in Abb. 2 dargestellt. Beachten Sie, dass die Breite der Fehlerbalken abnimmt, wenn die Anzahl der Standorte, die zur Aufzeichnung beitragen, mit der Zeit zunimmt (siehe Abb. 1). Und meine Aufzeichnung des globalen historischen Meeresspiegelanstiegs stimmen recht gut mit dem PNAS2018-Wert überein.

Um zu interpretieren, was die Aufzeichnung bedeuten könnte, ist es wichtig zu beachten, dass immer dann, wenn die Beschleunigung des Meeresspiegels gleich Null ist, dies entweder einem lokalen Maximum oder einem lokalen Minimum des Meeresspiegelanstiegs relativ zu einem konstanten linearen Trend entspricht. In diesem Sinne schätze ich, dass es in den folgenden Jahren lokale Minima gab: 1883, 1902, 1922, 1958 und 1977. Lokale Maxima traten in den Jahren 1893, 1915, 1940 und 1965 auf. Ich versuche, kleinere Ausschläge nach oben oder unten zu ignorieren. Wir befinden uns seit 1977 in einer ziemlich langen Periode positiver Beschleunigung, aber wir waren um 2003 mit einer Verlangsamung konfrontiert. Meine Schätzung des Beginns der positiven Beschleunigung ist ein wenig später als die von Dangendorf et al. (2019). Es ist sicherlich möglich, dass ein Teil der Aufzeichnung auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen ist, aber ist das „temperatur-“ oder „klimawandelbedingt“? Ich versuche, diese Frage in Abb. 4 zu beantworten.

## **Korrelation oder Kausalität?**

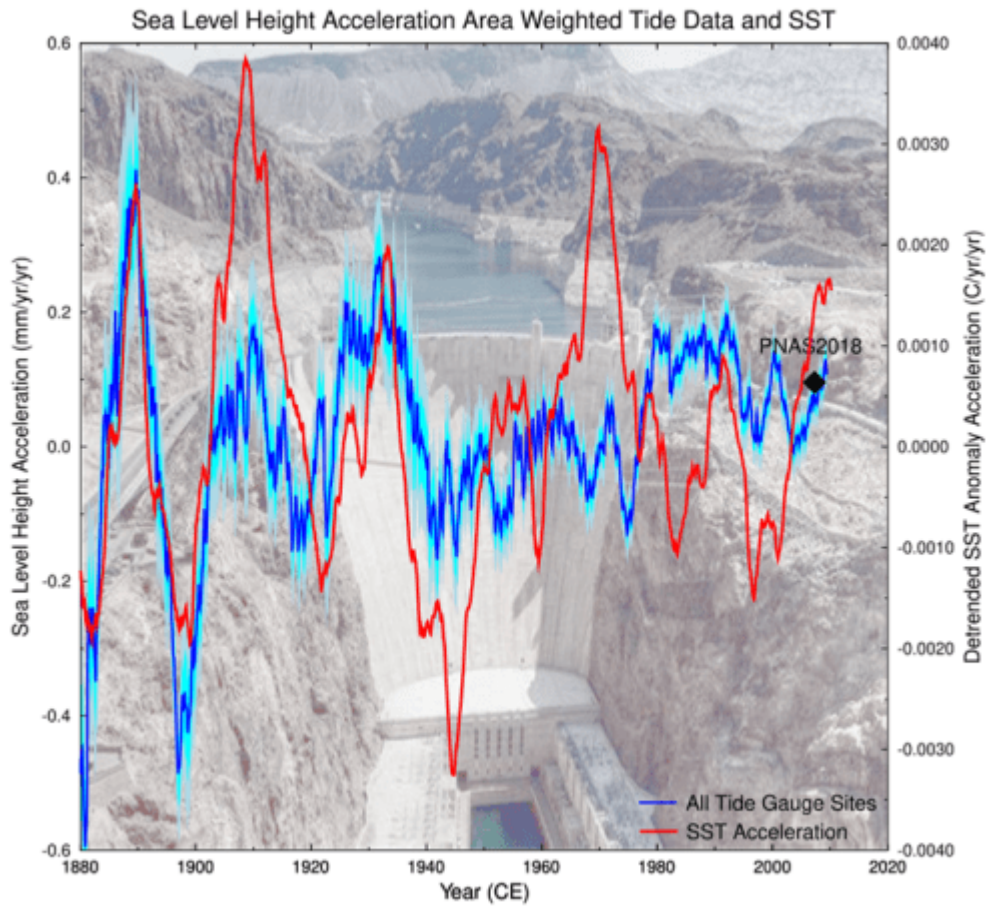


Abbildung 4: Meeresspiegelbeschleunigung im Vergleich zur SST-Beschleunigung seit 1880.

Abb. 4 zeigt die rohe, ungeglättete Aufzeichnung der Meeresspiegelbeschleunigung, einschließlich der jährlichen Schwankungen, im Vergleich mit der HadCRUT4-Beschleunigung der Meerestemperatur (SST). Die Fehlerschätzungen sind für die Aufzeichnung des Meeresspiegels enthalten, aber aus Gründen der Klarheit sind sie für die SST nicht enthalten. Typische SST-Fehler sind in diesem Maßstab visuell ähnlich groß wie die Fehler beim Meeresspiegel nach etwa 1950. Der Gesamtkorrelationskoeffizient für die beiden Funktionen seit 1880 beträgt 0,44 mit einer Verzögerung von null Monaten. Wie in meinem vorigen Beitrag gezeigt, ist das kein sehr hoher Korrelationskoeffizient für eine Funktion mit diesem Grad der Autokorrelation. Rein optisch scheint es jedoch eine gewisse Korrelation zu geben, zumindest in der ersten Hälfte der Aufzeichnungen. Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts scheint sich sowohl bei der Temperatur als auch beim Meeresspiegel etwas Wesentliches getan zu haben. Danach beruhigen sich die Schwankungen des Meeresspiegels ein wenig, aber die beiden Aufzeichnungen scheinen bis etwa 1950 immer noch auf derselben Wellenlänge zu liegen. Danach jedoch scheinen sich SST und Meeresspiegel zu entkoppeln. Siehe die starke

positive SST-Beschleunigung in den späten 1960er Jahren, ohne dass der Meeresspiegel darauf reagiert hätte. Ich denke, dass der Anstieg des Meeresspiegels seit etwa 1950 in erheblichem Maße von anthropogenen Faktoren beeinflusst worden sein könnte, aber die Temperatur ist wahrscheinlich nicht der Grund dafür.

Ich stelle hier nur wilde Spekulationen an, aber ich frage mich, ob die Schwankungen bei der Beschleunigung des Meeresspiegels seit etwa 1950 durch den Bau großer Staudämme zur Verlangsamung und die Förderung von altem Grundwasser zur Beschleunigung verursacht werden könnten. Die Zerstörung von Dämmen und/oder die verstärkte Freisetzung von Stauseewasser, ein so genannter „Schneckeneneffekt“, könnte ebenfalls zu einer Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs führen. Mir liegen keine Daten vor, um das eine oder andere zu sagen, aber es ist ein interessanter Gedanke. Ein wichtiger Vorbehalt ist jedoch, dass die Anzahl der Gezeitenpegel, die in den Aufzeichnungen enthalten sind, in der Anfangsphase Dutzende oder sogar mehrere Dutzend beträgt, während sie gegen Ende in die Hunderte geht. Es ist also durchaus möglich, dass die Korrelation zwischen Meeresspiegel und SST im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert zufällig ist.

Zusammenfassend denke ich, dass die hier aus dem gesamten Gezeitenpegel-Datensatz abgeleitete Beschleunigung des Meeresspiegels fast das Maximum ist, was man aus dem PMSL-Datensatz herausholen kann. Natürlich könnte man noch Dinge wie vulkanische und ENSO-Effekte hinzufügen, aber das sind für mich nur natürliche Phänomene, deren zeitliche Abläufe wir weder vollständig verstehen noch kontrollieren können. Wir haben vielleicht Einfluss auf die Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs, aber sie scheint nicht auf einen Anstieg der Meerestemperatur zurückzuführen zu sein. Könnten wir dann Cassius paraphrasieren und sagen, dass der Fehler, lieber Brutus, nicht bei unseren SUVs liegt, sondern bei unseren Deichen?

## References

Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F.M., Marcos, M., Piecuch, C.G., Berk, K. and Jensen, J., 2019. Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9(9), pp.705-710.

Nerem, R.S., Beckley, B.D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D. and Mitchum, G.T., 2018. Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(9), pp.2022-2025.

Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), 2022, "Tide Gauge Data", Retrieved 09 May 2022 from <http://www.psmsl.org/data/obtaining/>.

Simon J. Holgate, Andrew Matthews, Philip L. Woodworth, Lesley J. Rickards, Mark E. Tamisiea, Elizabeth Bradshaw, Peter R. Foden, Kathleen M. Gordon, Svetlana Jevrejeva, and Jeff Pugh (2013) *New Data Systems and*



Products at the Permanent Service for Mean Sea Level. Journal of Coastal Research: Volume 29, Issue 3: pp. 493 – 504. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00175.1.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2023/02/21/further-exploration-of-historical-sea-level-rise-acceleration/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE