

# Kriging: Anstieg des Meeresspiegels

geschrieben von Chris Frey | 5. Juni 2019

## Ergebnisse

Hier die Rekonstruktion von 1900 bis 2017:

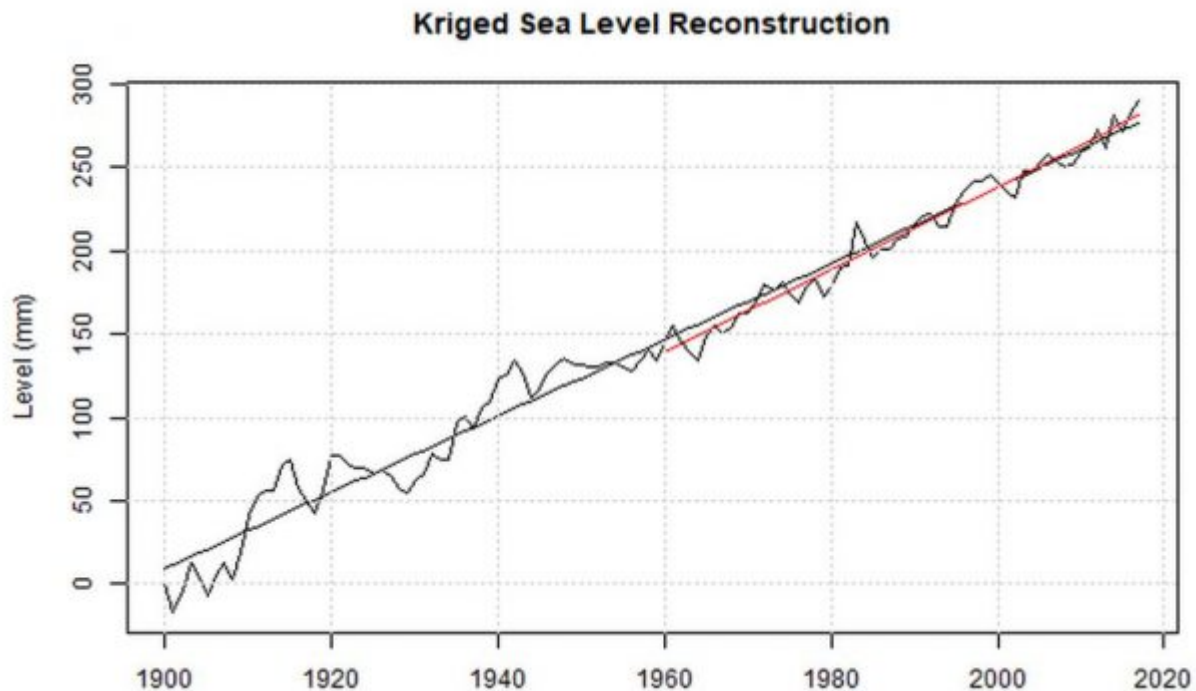


Abbildung 1: *Kriged* Rekonstruktion des Meeresspiegels von 1900 bis 2017. Schwarz: Trend seit 1900, rot: Trend seit 1960

Der allgemeine lineare Trend beträgt 2,3 (2,2 bis 2,4) mm pro Jahr. Der Trend ab 1960 beträgt 2,5 (2,4 bis 2,6) mm pro Jahr. Der lineare Trend seit 1993 beträgt 2,5 (2,3 bis 2,7) mm pro Jahr. Das ist signifikant weniger als der Trend von 3,3 mm pro Jahr, geschätzt aus Altimeter-Daten von Satelliten. In keiner Regression findet sich eine signifikante Beschleunigung oder Verlangsamung.

Der SLR über das 20. Jahrhundert betrug etwa 23 cm. Die Prognose für das 21. Jahrhundert beläuft sich auf 22 cm und 26 cm, wenn man jeweils die fortlaufende quadratische Regression ab 1900 bzw. ab 1960 heranzieht.

Die rekonstruierten Werte können hier eingesehen werden.

## Verfahren

Zunächst wurden die Tiden-Messdaten abgelesen aus dem Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). Besonders der *Annual Revised Local Reference*

(RLR)-Datensatz wurde herangezogen. Mit einem Qualitäts-Fähnchen versehene Stationen und solche, bei denen die Qualität fraglich erschien, wurden ausgesondert.

Die Tiden-Messpunkte wurden dann an die nächstgelegenen GPS-Stationen angepasst, die in der *vertical land velocity*-Tabelle von SONEL gelistet sind. Die kombinierten Daten wurden gefiltert, so dass nur Tiden-Messpunkte mit einem GPS-Punkt innerhalb eines Radius' von 80 km darum herum betrachtet wurden.

Die kombinierten Daten wurden auch gefiltert, um Stationen auszuschließen, an denen die Vertikalgeschwindigkeit außerhalb der Bandbreite der Standardabweichung derselben lagen ( $\pm 5$  mm pro Jahr) oder falls die damit verbundene Unsicherheit größer als 0,5 mm pro Jahr war. Damit sollten Beobachtungen von einem möglicherweise instabilen Grund ausgeschlossen werden. Hier folgt eine Karte mit den verbleibenden Tiden-Messpunkten:

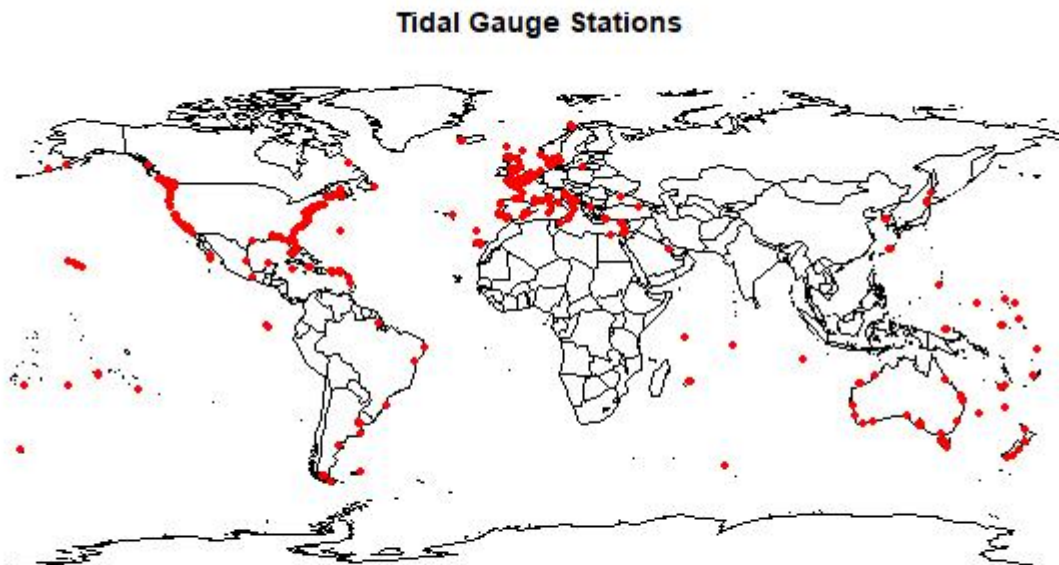


Abbildung 2: Betrachtete Tiden-Messpunkte

Aus der Karte wird die ungleichmäßige Verteilung ersichtlich. Diese Ungleichheit wird noch größer bei Berücksichtigung der zeitlichen Abdeckung. Beim *Kriging* wird den Stationen nicht das gleiche effektive Gewicht beigemessen. Stationen ohne große Überlappung sind signifikanter. Zum Beispiel wird isolierten Stationen im Südpazifik ein relativ hohes Gewicht beigemessen relativ zu den Leichtgewichten im dichten Netz von Messpunkten im Nordatlantik.

Der Unterschied zwischen aufeinander folgenden Jahren wurde dann für die verbleibenden Beobachtungen übernommen und an vertikale Landbewegungen angepasst. Dies wurde dann noch einmal gefiltert, um ausschließlich Werte zu bekommen, welche innerhalb von zwei Standardabweichungen des Mittels eines jeden Jahres lagen. Mittels dieser Daten wurde das folgende Variogramm erzeugt:

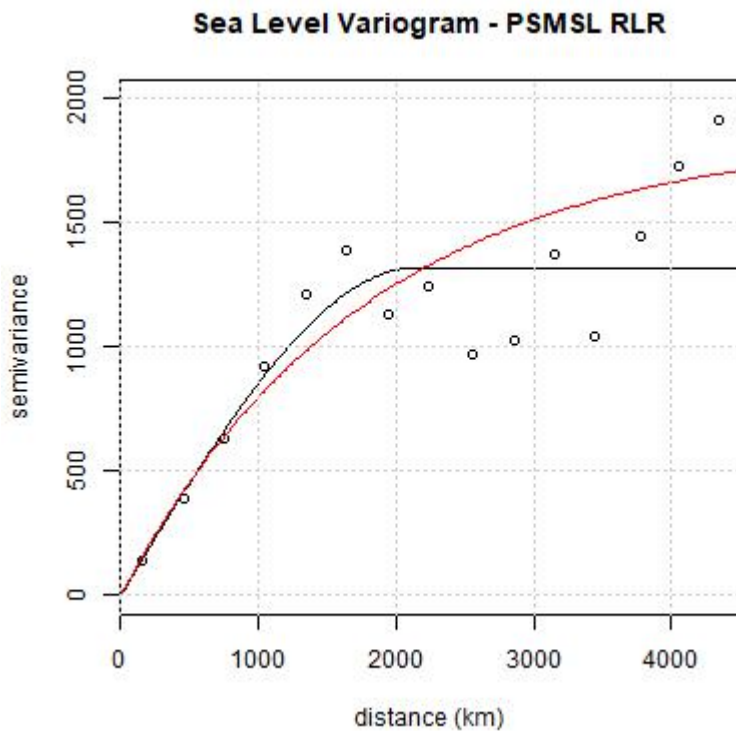


Abbildung 3: SLR-Variogramm. Schwarz: sphärischer *Fit*, rot: exponentieller *Fit*

Dieses Variogramm ist tatsächlich ein Mittel von vier Jahren mit Beobachtungen aus jüngerer Zeit (2013 bis 2016). Der sphärische *Fit* wurde nachfolgend angebracht, um die Rekonstruktion dem *Kriging* zu unterziehen. Dies zeigt, dass die Beobachtungen zwischen benachbarten Stationen hoch korreliert sind. Die Beobachtungen zeigen eine relative Prognose-Fähigkeit bis zu einer Breite von rund 2150 km. Die maximale Distanz für das *Kriging* wurde auf diese Bandbreite limitiert.

Ein Grund für die Wahl der „GPS innerhalb von 80 km“-Regel war, dass jenseits dieses Wertes leichter Messfehler erkannt werden konnten.

Ursprünglich sollte sich dieser Beitrag um ein Variogramm drehen, das aus Aviso-Satelliten-Altimeterdaten abgeleitet worden ist. Dieser Gedanke wurde aber verworfen, nachdem das folgende Variogramm erzeugt worden war, welches wiederum ein Mittel von vier Jahren aus jüngerer Zeit ist:

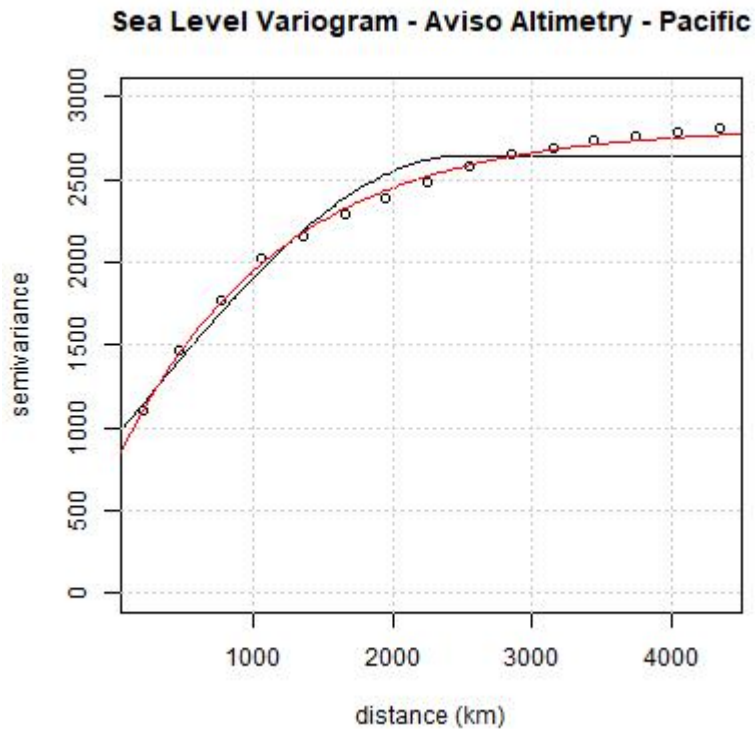


Abbildung 4: Pazifisches SLR-Variogramm nach Aviso. Schwarz: sphärischer *Fit*, rot: exponentieller *Fit*.

Der relativ hohe *Nugget*-Wert deutet auf einen großen Messfehler in den Beobachtungen. Vielleicht liegt das an der rauen Ozean-Oberfläche wegen des Wellengangs. Vielleicht gleicht die große Zahl der Beobachtungen dieses Beobachtungs-Rauschen aus? Anzumerken ist, dass ein exponentielles *Fit* für diesen Datensatz am Besten geeignet ist.

Die Aviso-Daten wurden herangezogen, um ein 5×5-Gradnetz von Ozean-Gitterpunkten zu berechnen. Dies war eine Version mit geringerer Auflösung des angebotenen 0,25 Grad-Netzes. Das Ergebnis sieht so aus:

### 5x5 Ocean Grid

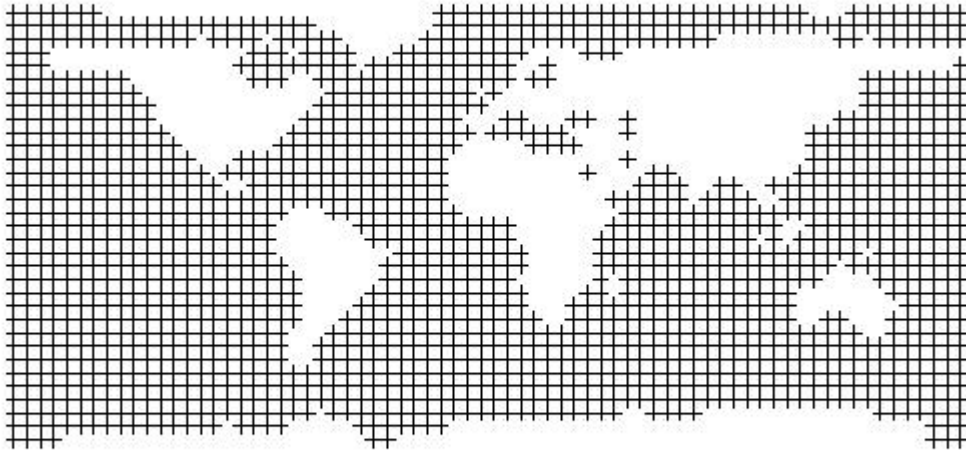


Abbildung 5: 5x5 Ozean-Gitternetzpunkte

Dieses Netz sieht sehr geeignet aus für das *Kriging*-Verfahren. Es gibt eine Reihe von Anomalien (Kaspisches Meer, Nordpol), aber nichts, was die Ergebnisse materiell beeinflussen würde.

Dann wurde das *Kriging*-Verfahren durchgeführt mittels der gefilterten Beobachtungen, des sphärischen *Fits* und des Netzes. Zusätzlich zu der am Anfang dieses Beitrags gezeigten Rekonstruktion wurde hier auch die Anzahl der Beobachtungen für jedes Jahr und für den Prozentanteil der Ozeane in Übereinstimmung gebracht:

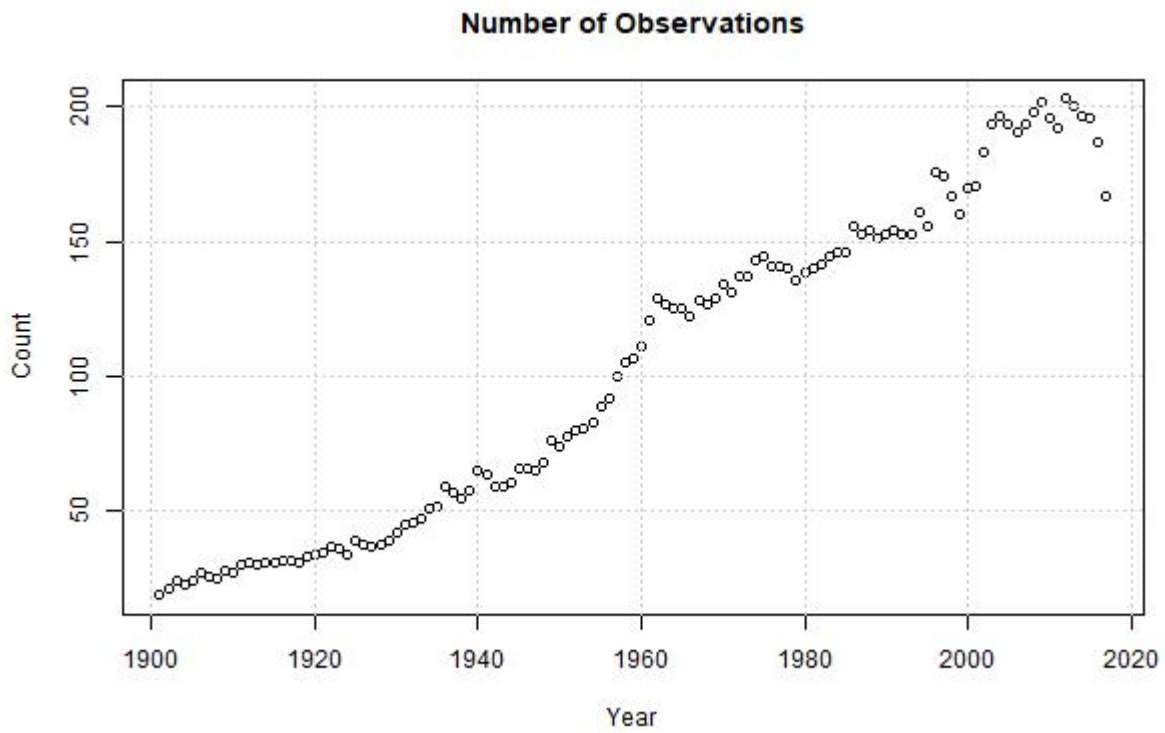


Abbildung 6: Anzahl der Beobachtungen pro Jahr

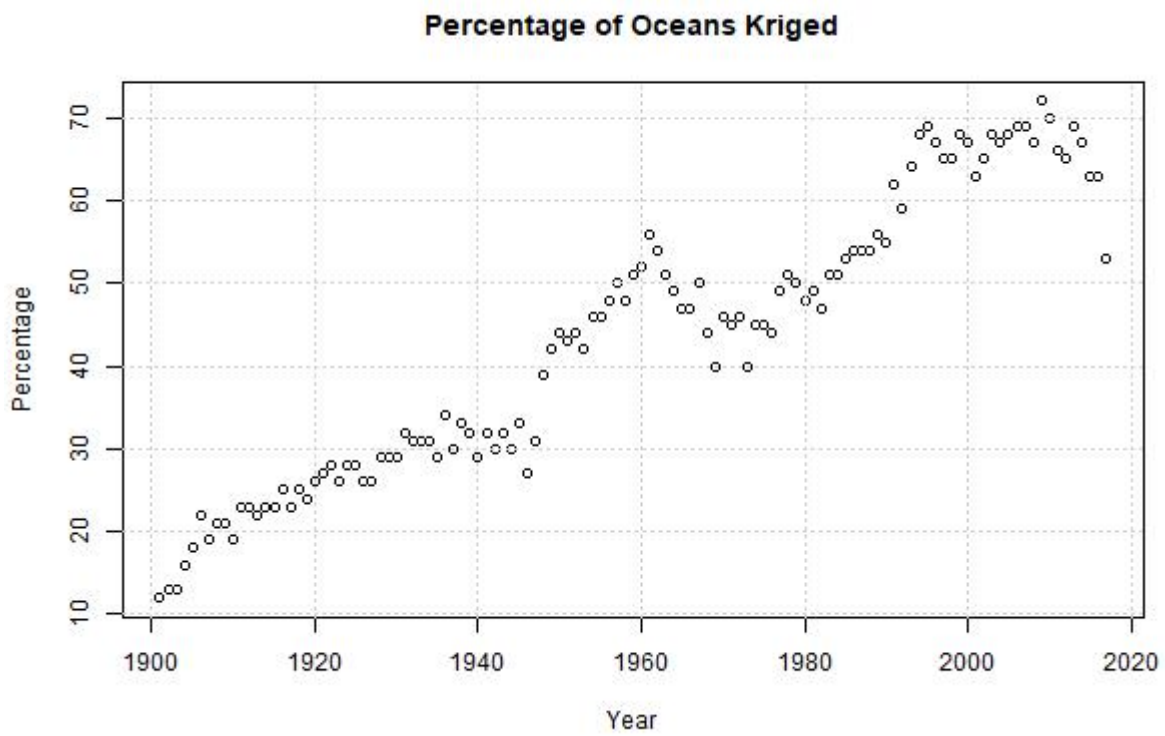


Abbildung 7: Prozentsatz der Ozeane für das *Kriging*-Verfahren

Anzumerken ist, dass die Anzahl der Beobachtungen einem glatteren Trend folgt als der Prozentsatz der *kriged* Ozeane. Dies ist ein Hinweis der Auswirkung von Stationen mit hoher Wichtung, wenn Beobachtungen verfügbar oder nicht verfügbar sind. Zusätzlich erklären die geringen Stichproben-Mengen zu Beginn des Zeitrahmens das damit verbundene Rauschen in der Rekonstruktion.

### **Schlussfolgerung**

Dieser Beitrag stellt das Narrativ in Frage, dem zufolge sich der SLR beschleunigt. Er zeigt, dass es möglich ist, eine lineare Zeitreihe zu erzeugen mittels Anwendung eines geeigneten Verfahrens und vernünftiger Auswahl von Parametern. Dies kann auch erklären, warum viele Tidenmessungen keine Beschleunigung zeigen.

Natürlich wurde in dieser Analyse viel willkürlich ausgewählt, so dass der Bestätigungs-Bias ein Problem ist. Infolge der verschiedenen Filterungen wurde nur ein Viertel aller PSMSL-Beobachtungen betrachtet, meistens deswegen, weil keine geeignete Anpassung an eine GPS-Station gefunden werden konnte.

Ein Beispiel dafür, wie eine Auswahl die Ergebnisse beeinflussen kann, besteht darin, welcher Wert dem maximalen Entfernungs-Parameter für das *Kriging*-Verfahren zugeordnet wird. Diese Rekonstruktion verwendete die Bandbreite aus dem Variogramm-*Fit* (~2150 km), weil dies als die maximale prognostische Distanz angesehen wurde, welche eine Beobachtung relativ zu anderen Beobachtungen hat. Variiert man diesen Parameter, wird deutlich, wie sich dies auf den prognostizierten SLR des 21. Jahrhunderts auswirkt:

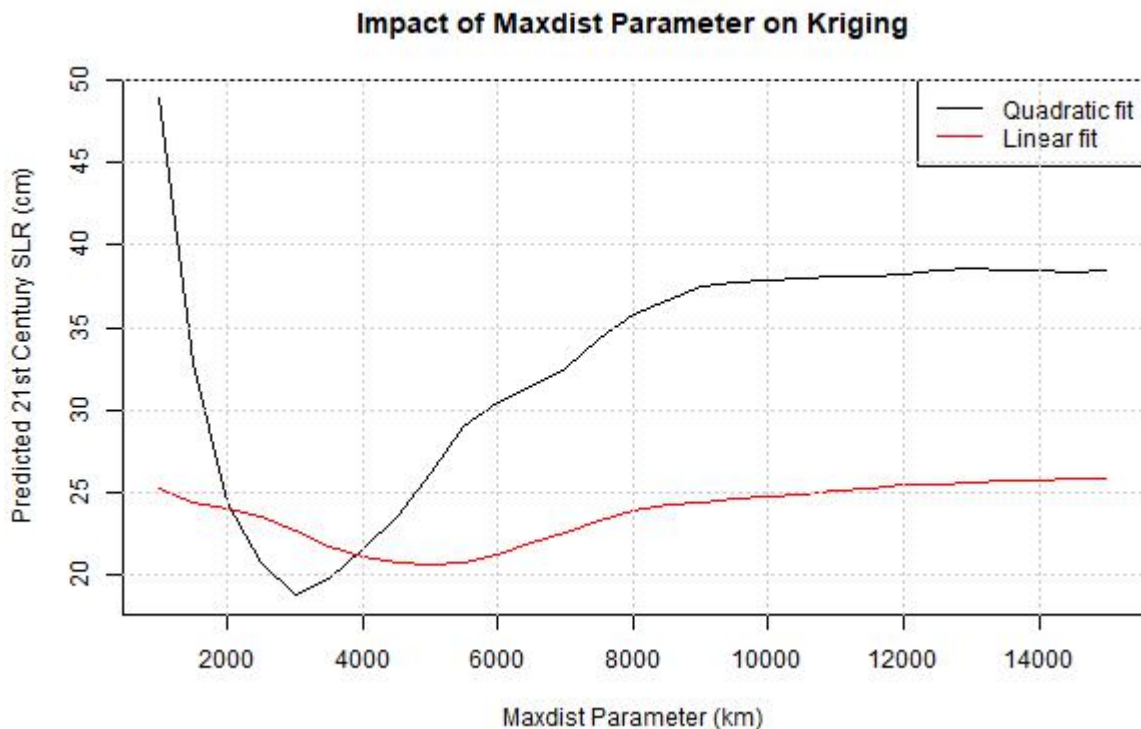


Abbildung 8: prognostizierter SLR im 21. Jahrhundert *based on 1960 onward regressions given different values of maxdist parameter used in krige() function.*

Dies zeigt, wie sensitiv die Prognose auf den Wert dieses Parameters reagiert, und es wirft die Frage auf, welcher Wert der geeignetste ist. In diesem Beitrag geht es aber nicht um diese Frage. Es wird einfach dargelegt, dass die Auswahl der Parameter signifikant die Ergebnisse beeinflussen kann. Dies ist möglicherweise ein Faktor in jedweden SLR-Rekonstruktionen aus Tidenmessungen.

*The R source code and Intermediary files can be found here*

## References

1. Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), 2019, "Tide Gauge Data", Retrieved 01 Apr 2019 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.
2. SONEL: Santamaría-Gómez A., M. Gravelle, S. Dangendorf, M. Marcos, G. Spada, G. Wöppelmann (2017). Uncertainty of the 20th century sea-level rise due to vertical land motion errors. *Earth and Planetary Science Letters*, 473, 24-32.



3. Aviso: The altimeter products were produced by Ssalto/Duacs and distributed by Aviso+, with support from Cnes (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

Link: <https://wattsupwiththat.com/2019/06/02/kriged-sea-level-rise/>

Übersetzt von Chris Frey EIKE