

Teil 1. Die Bestimmung des globalen Meeresspiegels GMSL (Global Mean Sea Level)

geschrieben von Admin | 12. September 2024

Die Meeresspiegelangaben des IPCC, PIK etc. sind sowohl zeitlich als auch messtechnisch zu ungenau, um aus den beobachteten nur vage ermittelten Veränderungen (ca. 1 bis 2 mm/Jahr), deren Abhängigkeit von der Globaltemperatur hinreichend klar zu bestimmen.

von Michael Limburg

Die Universität von Colorado zeigt derzeit auf einer ihrer Websites folgende Tabelle mit den Ergebnissen der Schätzung des GMSL verschiedener Autoren (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

Sealevel rise (mm/yr)	Error	(years)	# of Tide Gauge Stations	References
1.43	±0.14	1881-1980	152	Barnett, 1984
2.27	±0.23	1930-1980	152	Barnett, 1984
1.2	±0.3	1880-1982	130	Gornitz & Lebedeff, 1987
2.4	±0.9	1920-1970	40	Peltier & Tushingham, 1989
1.75	±0.13	1900-1979	84	Trupin & Wahr, 1990
1.7	±0.5	Min 10 Jahre Dauer*	655*	Nakiboglu & Lambeck, 1991
1.8	±0.1	1880-1980	21	Douglas, 1991
1.62	±0.38	1807-1988	213	Unal & Ghil, 1995

- vom Autor eingefügt nach [Douglas, 1994],

Tabelle 11: Übersicht über Ergebnisse zum berechneten Anstieg des globalen Meeresspiegels in mm/Jahr für die Zeit von 1881 bis 1988 verschiedener Autoren ohne Anspruch auf Vollständigkeit. (Quelle: <http://sealevel.colorado.edu/tidegauges.php>)

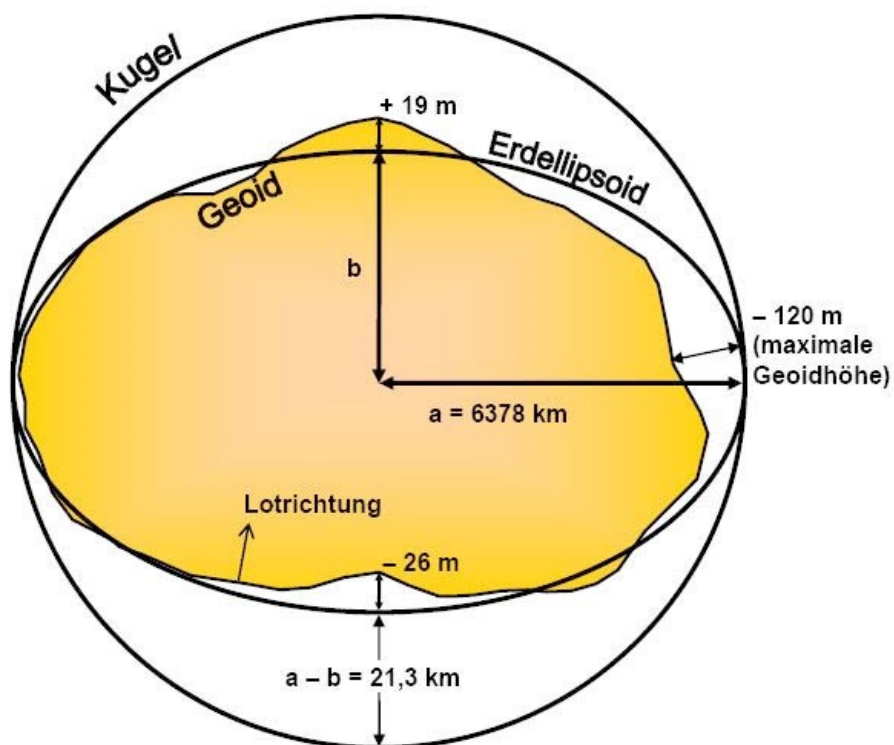
Die Trendangaben haben durchweg die Dimension mm/Jahr, mit Fehlerangaben von ± 0,1 (Douglas, 1991) bis max. ± 0,9 mm/Jahr (Peltier & Tushingham 1989) Sie sind also um fast eine Größenordnung verschieden. Die zuvor erwähnten Trends der vom IPCC zitierten Autoren, liegen zwar alle innerhalb der in der obigen Tabelle gezeigten Werte, bei der genannten Fehlergröße bleiben diese Autoren mit max. ± 0,4 mm jedoch unter dem Ausreißer von Peltier & Tushingham mit ± 0,9 mm. Eventuell haben verbesserte statistische Methoden oder höhere Sicherheiten bei der

Abschätzung, zu dieser höheren Genauigkeit von rd. $\pm 0,4$ mm/Jahr bzw. 20% bis $\pm 25\%$, geführt.

Da aber alle, wie später gezeigt wird, dieselbe Datenbasis nutzen, ist dies jedoch wenig wahrscheinlich. Das IPCC schließt sich dieser engeren Fehler-Toleranz auch nicht an, sondern bleibt bei $\pm 0,5$ mm/Jahr. In den Aufsätzen selbst wurden die Fehler als Standardabweichung, oder als mehrfache davon, durch die statistische Behandlung der Daten ermittelt. Systematische oder grobe Fehler können jedoch auf diese Weise weder erfasst noch ausgemittelt werden. Auf diese wird im folgenden Text daher ausführlich eingegangen. Zuvor muss jedoch eine Begriffsbestimmung der zu untersuchenden Größen vorgenommen werden. Was ist der globale mittlere Meeresspiegel und wie kann man ihn bestimmen?

4.1. Begriffsbestimmung des globalen Meeresspiegels „Global Mean Sea Level“ (GMSL)

Die Erde ist keine Kugel. Sie hat auch keine ebenmäßig, symmetrische Gestalt wie z.B. ein Rotationsellipsoid. Sie ist daher nur angenähert eine Kugel bzw. nur angenähert ein Rotationsellipsoid. Am ehesten, wenn auch stark übertrieben-, beschreibt der Vergleich mit einer Kartoffel die Gestalt der Erde. Diese wird Geoid^{III} genannt, nach einem Vorschlag von J.B. Listing (1872). Die genaueren Daten dieses Geoids sind allerdings erst seit der Verfügbarkeit von Satelliten (Poseidon -Topex Mission ab 1993) bekannt.



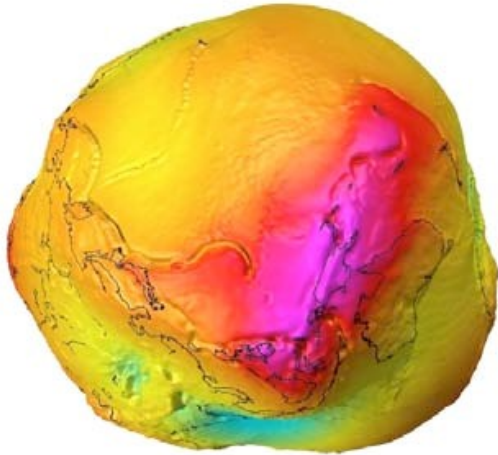


Abbildung 43: Das Lexikon der Fernerkundung hat auf seiner Website die Wandlung von der idealen Kugel über den auf Grund der Fliehkräfte sich bildenden Rotationsellipsoiden „Erdellipsoid“ hin zur „Kartoffel-Erde“ anschaulich dargestellt und gleich auch die Abweichungen zur idealen Form eingetragen. Zur Veranschaulichung ist die um -90° gedrehte 3D Darstellung der Kartoffel-Erde hinzugenommen worden. Quelle: links BMI rechts GFZ Potsdam

Eine stark übertriebene Darstellung dieser Form zeigt die Abbildung 43. Um trotzdem einen globalen mittleren Meeresspiegel „GMSL“ definieren zu können, bedarf es deshalb der Einführung einer sog. Äquipotentialfläche^[2] des Schwerfeldes der Erde. Diese dient als Bezugsfläche für die Bestimmung des „virtuell“ vorhandenen GMSL und seiner Änderungen.

Im Lexikon der Fernerkundung steht dazu: *„Betrachtet man das Meerwasser als frei bewegliche Masse, welche nur der aus Gravitation und Zentrifugalkraft zusammengesetzten Schwerkraft unterworfen ist, so bildet sich die Oberfläche der Ozeane nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes als Niveaufläche des Schwerepotentials aus. Diesen idealisierten Meeresspiegel kann man sich (etwa durch ein System kommunizierender Röhren) unter den Kontinenten fortgesetzt denken, so dass eine geschlossene Fläche entsteht, die das Geoid veranschaulicht. Mit dem auf einen Raumpunkt mit dem Ortsvektor x bezogenen Schwerepotential $W(x)$ lautet die Gleichung des Geoids: $W(x)=W_0= \text{const.}$ “*

Das Geoid als eine teilweise im Innern der Erdmasse verlaufende Fläche ist stetig und stetig differenzierbar, besitzt jedoch Unstetigkeiten in der Flächenkrümmung an allen Unstetigkeitsstellen der Massendichte und ist somit keine analytische Fläche. Aufgrund der unregelmäßigen Verteilung der Massendichte im Erdkörper kann das Geoid nicht durch eine algebraische Flächengleichung beschrieben werden, sondern muss mit terrestrischen oder satelliten gestützten Methoden der Geodäsie bestimmt werden. Das Geoid ist Bezugsfläche für die orthometrischen Höhen.“

Die Äquipotentialfläche erlaubt es dann den mittleren Meeresspiegel bestmöglich zu approximieren. Dieser ist dahingehend idealisiert, indem so getan wird, als ob das ihn bildende Wasser frei beweglich und homogen ist, d.h. nur den Gesetzen der Schwerkraft unterworfen wäre. Nur in diesem Fall bildet das Wasser eine gleichmäßige Niveaulfläche aus. Wie bekannt sind diese Voraussetzungen in der Natur niemals gegeben. Deshalb wird einschränkend darauf hingewiesen: *„Der mittlere Meeresspiegel ist die über längere Zeiträume gemittelte Meeresoberfläche. Sie richtet sich in erster Näherung nach dem Erdschwerefeld, d.h. senkrecht zur Lotrichtung aus, fällt jedoch nicht völlig mit einer Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes, bzw. dem Geoid zusammen. Durch stationäre Strömungssysteme bildet sich zusätzlich eine permanente Meerestopographie^[3] von 1-2 m aus. Schließlich unterliegt der mittlere Meeresspiegel einer ständigen Deformation von ca. 0,1 – 0,2 m durch die permanente Tide von Sonne und Mond. Der mittlere Meeresspiegel wird beschrieben durch Meereshöhen (sea heights), die als Abweichungen von einem mittleren Erdellipsoid ähnliche Beträge besitzen wie die Geoidundulationen. Die genaue Kartierung des Mittleren Meeresspiegels ist durch Satellitenaltimetrie möglich. Durch den dominanten Einfluss des Erdschwerefeldes und die unregelmäßige Verteilung der Erdmassen bilden sich im mittleren Meeresspiegel tektonische Strukturen wie Tiefseegräben, Bruchzonen und unterseeische Berge ab.“*

Die oben erwähnten Definitionen der Äquipotentialfläche und des Geoids sind erst vor kurzem eingeführt worden, obwohl die nach J.B. Listing (1872) als Geoid bezeichnete Äquipotentialfläche, erstmals von C.F. Gauß (1828) theoretisch definiert und mathematisch beschrieben wurde. Mit der Einführung des Begriffes der Äquipotentialfläche konnte dann ein virtueller Referenz-Meeresspiegel definiert werden, der es erlaubte, ähnlich wie in der Meteorologie, mittels Anomalienbildung, Meeresspiegel-Berechnungen erstellen zu können^[4].

Es fehlten jedoch bis dahin die Mittel die Äquipotentialfläche einigermaßen genau zu bestimmen. Bis in die Mitte der 60 Jahre des vorigen Jahrhunderts ging man daher von einer einfachen Bestimmung der Pegelhöhen bezogen auf den „Normalnull“ (NN) Pegel aus. So hatten sich viele Länder Nordeuropas auf den im Jahre 1818 definierten Amsterdamer Pegel^[5] geeinigt. Österreich verwendet hingegen den Triester Pegel, der im Mittel um etwa 27 cm über dem Amsterdamer Pegel liegt. Die ehemalige DDR, wie der gesamte Ostblock, richteten sich nach dem Kronstädter Pegel bei St. Petersburg, der etwa 14 cm über dem Amsterdamer Pegel liegt.^[6] Die Schweiz bezog sich mit ihrem Höhennetz auf den Pegel von Marseille, der wiederum von den anderen Pegeln abweicht. Die wichtige Erkenntnis für diese Arbeit daraus ist: Messtechnisch, per Beobachtung, kann immer nur der lokale Pegel bestimmt werden. Man nennt ihn relativen Pegel oder Relative Sea Level (RSL). Das hat u.a. zur Folge, dass zur Bestimmung eines Wertes für den GMSL jede lokale Pegelmessung des RSL umfangreichen und sehr detaillierten Rechenprozessen unterzogen, d.h. korrigiert, werden muss. Die gewonnenen Ergebnisse werden dann mit anderen Pegelmessungen zusammengeführt und zu einem globalen Mittelwert, dem

GMSL, verdichtet. Diese Rechenschritte basieren nur z.T. auf Beobachtungen, in der Mehrzahl aber auf Faustformeln und Vermutungen. Der GMSL wird dann über die korrigierten RSL mittels bestimmten Computermodellen wie z.B. dem ICE-3G Modell [Tushingham, 1991] oder seinen Nachfolgern berechnet.

4.2. Der relative (lokale) Meeresspiegel RSL und seine Messung

Entscheidend für alle Aussagen über den GMSL sind klare Langzeit-Daten der lokalen relativen Meeresspiegel RSL. Nur sie können, in Verbindung mit einer Fülle von geologischen, meteorologischen und anderen Daten, Auskunft geben über die eigentlichen Veränderungen sowie evtl. über ihre Ursachen.

Wie Teile dieser Veränderungen ausgelöst werden, wird im Lexikon der Fernerkundung über den beobachtbaren RSL wie folgt beschrieben: „...Der aktuelle Meeresspiegel unterliegt zahlreichen, räumlich und zeitlich stark variierenden Einflüssen. Oberflächenwellen werden durch Schwankungen des Wind- und Luftdruckfeldes angeregt. Der Meeresspiegel steigt und fällt vor allem an den Küsten durch die Anziehungskräfte von Sonne und Mond im etwa halb- und ganztägigen Rhythmus. Der Meeresspiegel tendiert dazu, Luftdruckschwankungen auszugleichen (inverser Barometereffekt). Schließlich ergeben sich Wasserstandsänderungen durch Verlagerung von Meeresströmungen und Dichteunterschiede des Wassers, die durch Veränderungen von Temperatur- und Salzgehalt verursacht werden. Sekundärkräfte wie die Corioliskraft, Reibung und Reflexion beeinflussen ebenfalls den Meeresspiegel. Zusätzlich hängt er noch von einer Fülle weiterer Parameter ab, die z.T. schon benannt und auf die später ausführlicher eingegangen wird.“

Wichtig ist jedoch, dass zur Bestimmung des RSL vergleichbare, dauerhaft stabile Messstationen verwendet werden sollten. Doch auch das allein genügt nicht. Beispielhaft schreiben die Autoren der Website ^[7] der Technischen Universität München, gedacht für Berufseinsteiger der Geodäten: „Zur Bestimmung relativer Höhenunterschiede dienen Messungen des Wasserstandes an einer Pegelstation. Auf Basis solcher lokaler Messungen lässt sich jedoch nicht erkennen, ob etwa der (lokale^[8]) Meeresspiegel ansteigt, oder die Pegelstation absinkt. Daher werden (heute) diese lokalen relativen Messungen mit globalen Methoden, wie etwa dem satellitengestützten Positionierungssystem GPS miteinander verknüpft. Dies gibt Aufschluss über die Eigenbewegung der Höhenfestpunkte aufgrund von Hebungen und Senkungen der Landmassen.“ Diese kurze Beschreibung umfasst nur den Tatbestand der Veränderung, nicht aber deren Ursachen. Aber gerade die sind es, die herauszufiltern sind, um eine einwandfreie Zuordnung z.B. durch die Klimaerwärmung zu ermöglichen.

Doch was löst lokale Meeresspiegeländerungen aus? Im Einzelnen und geologisch betrachtet ^[8] .. „verschiebt sich bei einem Meeresspiegelanstieg der Sedimentationsgürtel zwischen Festland und

Schelf (mit den markanten sandigen Küstenablagerungen in der Mitte) in Richtung Kontinent. Eine solche landwärtige Verschiebung des Sedimentationsgürtels wird „Transgression“ genannt. Bei einem Abfall des Meeresspiegels verschiebt sich der Sedimentationsgürtel zwischen Festland und Schelf in Richtung Schelfrand. Eine solche meerwärtige Verschiebung des Sedimentationsgürtels wird „Regression“ genannt. Das vom Kontinent angelieferte Sediment wird dabei voranschreitend („progradierend“) über vormals vom Meer bedeckten Flächen ausgebreitet.

Auf den RSL wirken also ständig eine Vielzahl von tektonischen Prozessen ein, die auch zu Volumenänderungen der ozeanischen Becken führen. Ebenso wirkt die sedimentäre Kompaktion von Lockergesteinen und ähnliche Prozesse, z.B. die Kompaktion von Schwemböden durch zunehmendes Gewicht großer Städte. Auch die Veränderung der Positionshöhe der Messapparatur mit der Zeit, der Einfluss des barometrischen Druckes auf die Meeresspiegelhöhe (Hochdruck senkt den RSL um 1 cm/mBar, Tiefdruck erhöht ihn entsprechend), Einflüsse des Mondes und der Sonne auf die Tide, strömungsbedingte Veränderungen etc. sind zu berücksichtigen. Einige der Einflussgrößen erhöhen den Pegel, andere senken ihn. Aus alledem lässt sich herleiten, dass besonders die Dauer der Erfassung des RSL für die Herleitung der Ursachen eine wesentliche Rolle spielt. Müssen doch die hochfrequenten Einflüsse von den niederfrequenten getrennt werden können. Sie entscheidet, ob die Messwerte dieser Station zur Berechnung des GMSL herangezogen werden können. Je nach betrachtetem Zeithorizont müssen die einzelnen Einflussgrößen bei der Berechnung des GMSL sorgsam herausgefiltert werden. Ein schwieriges, oft unmögliches Unterfangen, das nur zu mehr oder weniger genauen Schätzungen führen kann.

Die lokalen Pegelmessungen können somit nicht direkt zur Berechnung des GMSL herangezogen werden. Sie müssen, wie die lokalen Temperaturdaten, einer Fülle von Anpassungen und Korrekturen unterzogen werden, um verwendet werden zu können. Man versucht dazu aus den relativ wenigen vorhandenen Langzeitbeobachtungen der Pegelhöhe von div. Küstenorten, die Veränderungen des Pegels auf den gedachten Meeresspiegel zu beziehen, d.h. herauszurechnen.

Einige Autoren wie Gornitz [Gornitz, 1994] schreiben, dass erst ab einer Beobachtungsdauer des Pegels eines Ortes von mindestens 20 Jahren brauchbare Ergebnisse zu erwarten sind. Weil erst nach min. 18,6 Jahren^[9] bestimmte periodischen Schwankungen wiederkehren und somit berücksichtigt und ggf. herausgerechnet werden können. Besser als Mindestbeobachtungsdauer wären aber 30 Jahre und länger. Douglas [Douglas, 1994] kommt in einer umfangreichen Analyse, sogar zu dem Schluss, dass kürzere Beobachtungszeiträume als 50 Jahre auf keinen Fall zur Bestimmung des globalen Trends oder gar dessen Beschleunigung herangezogen werden dürfen. Diese sollten auf jeden Fall auch ohne Unterbrechungen sein. Er begründet dies sehr plausibel mit der Dominanz hochfrequenter Anteile in kürzeren Beobachtungszeiträumen. Kürzere Beobachtungszeiträume sollten also nicht herangezogen werden, bzw. nur

dann, wenn sie mindestens 10 Jahre [Nakiboglu, 1991] andauern und evtl. dazu dienen könnten auf beginnende Trends aufmerksam zu machen. Für langzeitliche globale Trendbestimmung seien sie aber nicht geeignet.

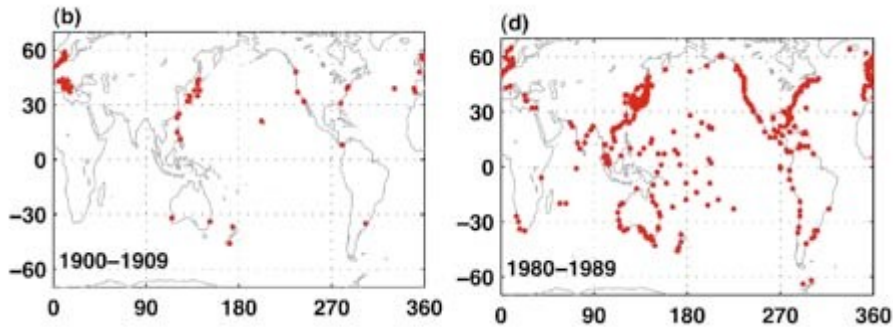


Abbildung 44: Lage und Anzahl der für die IPCC (AR4, Chapter 5) Untersuchungen verwendeten Pegelmessstationen an den Küsten der Ozeane. (b) Lage und Anzahl zwischen 1900-1909; (d)) Lage und Anzahl zwischen 1980-1989

Es ist also zunächst aus der lokalen einfachen Pegelmessung nicht erkennbar, was sich verändert hat: Position oder Messgröße. Zudem gilt für alle: Was beeinflusst sie? Wie bekannt, beschränkte sich zudem die Erfassung von Pegelständen auf wenige ausgesuchte Küstenstreifen, die dazu noch über viele Jahrzehnte verlässliche Aufzeichnungen über stetig schwankende Pegelhöhen liefern müssten. Abbildung 44 zeigt dazu die Anzahl und Lage der von den IPCC Leitautoren verwendeten Pegelmessstationen von 1900 bis 1989.

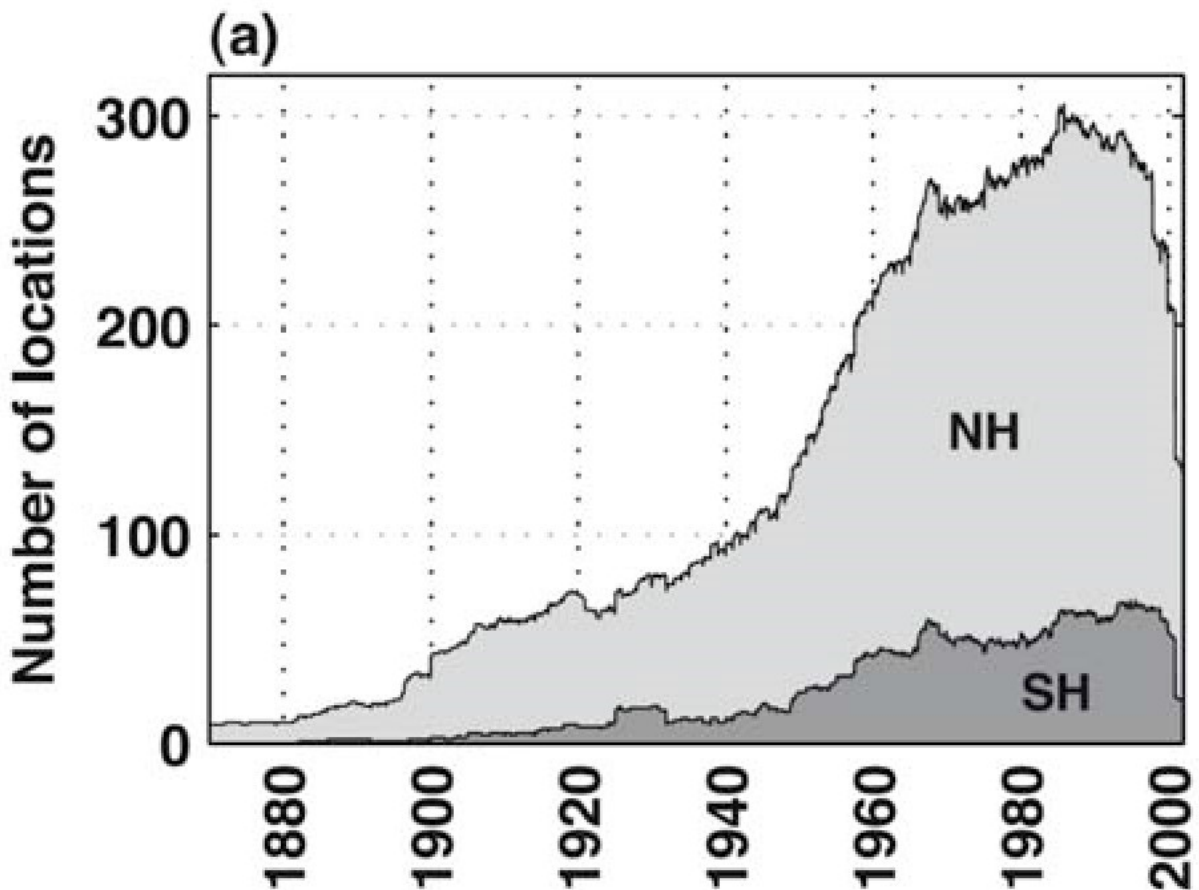


Abbildung 45: Anzahl der Pegelmessstationen zur Bestimmung der von den IPCC Autoren verwendeten lokalen maritimen Wasserstände für die Nord- (NH) und Südhalbkugel (SH). Von um die 10 Stationen nur auf der Nordhalbkugel um 1880 stieg die Zahl bis 1985 auf ca. 300 auf der NH und ca. 60 auf der SH an, um dann auf insgesamt ca. 160 zurückzufallen. (Quelle IPCC AR4, Ch5)

In den obigen Abbildungen 44 und 45 ist deutlich sichtbar, dass sich die Messung des RSL auf die Küsten der entwickelten Länder konzentriert, hingegen die Südhalbkugel mit ihren dominierenden Wasserflächen und die unterentwickelten Länder stark unterrepräsentiert ist. Wegen der starken Schwankung, räumlichen wie zeitlichen, der einzelnen Pegelstände einerseits, deren Abhängigkeit von schwer quantifizierbaren Kräften, wie Wind, Strömung, tektonische Bewegungen, thermischen und chemischen Veränderungen etc. andererseits und der gewollten Verknüpfung der lokalen Daten zu einer einzigen Aussage, nämlich der Änderung des globalen Meeresspiegels im Bereich weniger Millimeter pro Jahr, wird offenkundig, dass alle Berechnungen nur ungenaue Schätzungen sein können. Sie beruhen nur auf relativ ungenauen und wenigen Daten. Erst mit der Nutzung satellitengestützter Messungen des GMSL (Topex/Poseidon seit 1993) hat sich diese Situation geändert, z.T. deutlich verbessert.

Zusätzlich erschwert wird die Berechnung auch dadurch, dass insbesondere die vergleichsweise zahlreichen europäischen und US-amerikanischen Pegelmessstationen sich in Küstenstädten befinden, deren wachsendes

Gewicht, über die Jahre, ihre Landmasse absenkt. Daraus resultiert ein systematischer und schleichender Fehler, der sich dem „wahren“ Pegel und damit der Pegelmessung überlagert. Gleichzeitig befinden sich fast alle diese Stationen in einem Gebiet, welches die Hauptlast der gewaltigen Eismassen zur Eiszeit trug und nunmehr seit ca. 18.000 Jahren ungleichmäßig, aber deutlich, ansteigt. Dieser Effekt wird „Nacheiszeitliche Hebung“ bzw. Post Glacial Rebound (PGR) oder Glacial Isostatic Adjustment (GIA) genannt. Auch dies bedeutet, dass eine weitere Verschiebung, deutbar als systematischer Fehler, schleichend auf die lokalen Messwerte einwirkt. Auf ihn und die Versuche seiner Korrektur wird später ausführlicher eingegangen. Es kann aber schon jetzt festgestellt werden, dass nur sehr wenige, nicht von der GIA/PGR betroffene Stationen, kontinuierliche Langzeitmessungen aufweisen. Sie befinden sich zum größten Teil, auf der, zu fast 2/3 mit Wasser bedeckten, Südhalbkugel z.B. in Australien.

4.2.1. Die Bestimmung der lokalen relativen Pegel früher und heute

Die folgende Abbildung 46 zeigt noch einmal die Position und Anzahl der Pegelmessstationen von 1900 bis 1909

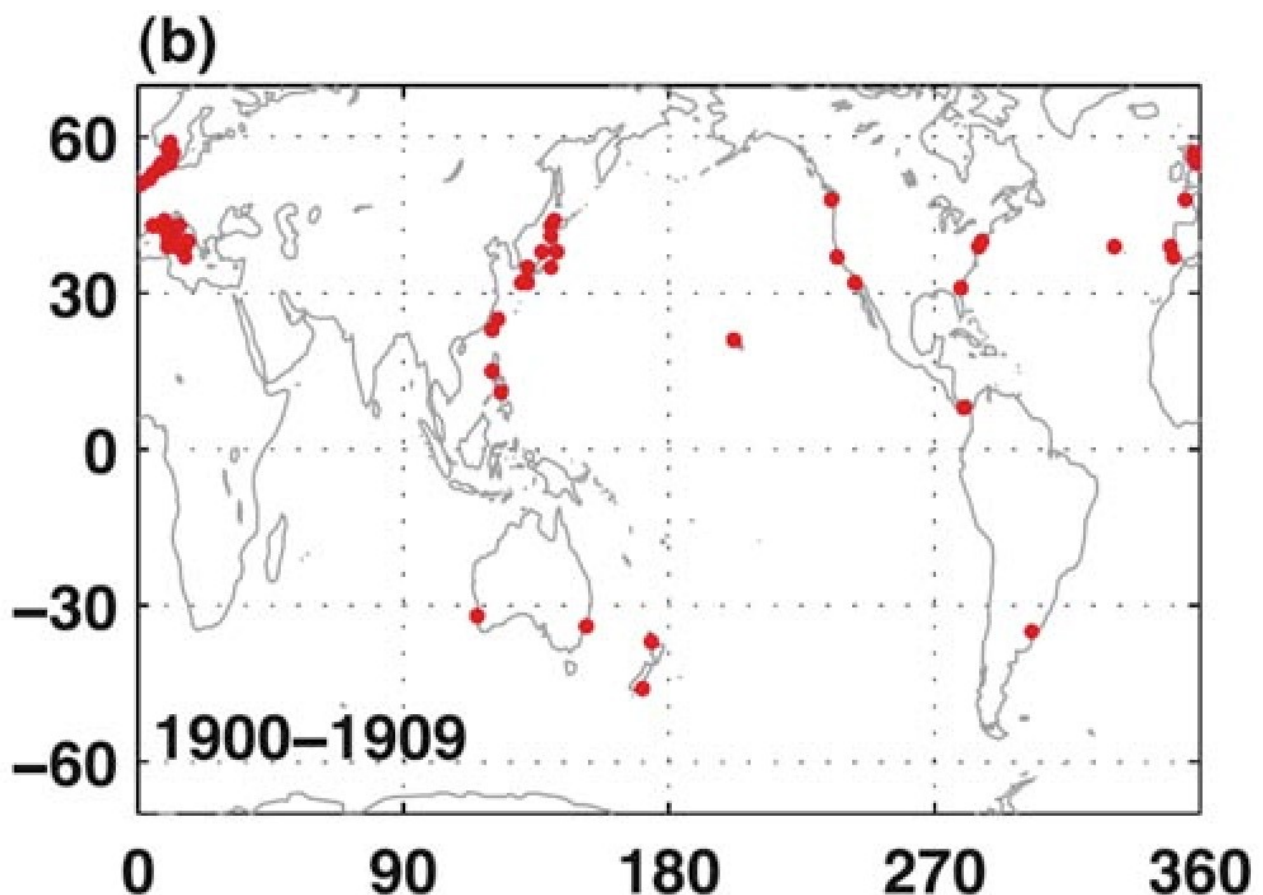


Abbildung 46: Lage und Position der vom IPCC AR4 Ch. 5 verwendeten

Pegelmessstationen zwischen 1900 bis 1909

Die überwiegende Zahl dieser wenigen Stationen liegt an den Küsten des Nordatlantischen Beckens, des Mittelmeeres und an der Küste Japans.

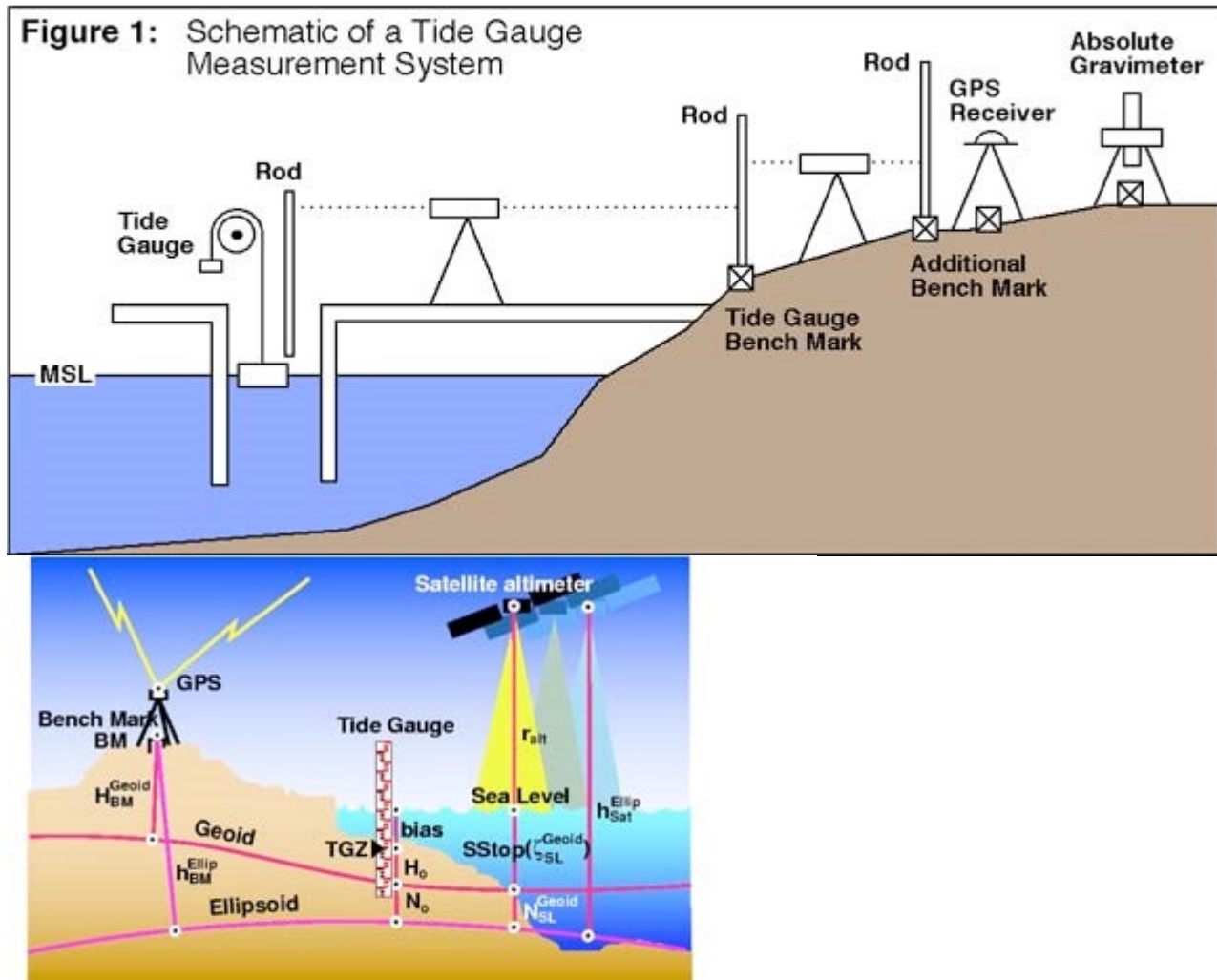


Abbildung 47: Das linke Bild zeigt eine schematische Darstellung der Messung des beruhigten Pegels in einem unten offenen Rohr mit Umlenkrolle und Messstab (Rod) sowie Vergleichsmessstab (Benchmark). Das Ablesefernrohr wird mit einem festen Bezugspunkt (Benchmark Fußpunkt) auf Höhenkonstanz überprüft. Die Vorschrift verlangt 1 x jährlich. Quelle: Universität Colorado; das rechte Bild zeigt die Gegenüberstellung heutiger Messsysteme mit dem früheren Messstab (Mitte) Quelle Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut München dgfi.

Als Pegelmesser wurden früher einfache, in cm oder Zoll eingeteilte, Messlatten oder Pegelmesskonstruktionen mit einfachen Schwimmkörpern verwendet. Diese sitzen in einem runden Gehäuse von ca. 30 bis 50 cm Durchmesser, das unten, zur Beruhigung der zu messenden Wasseroberfläche, ein kleineres Loch hat. Durch dieses strömt mit Verzögerung das Wasser ein und aus. Die Verzögerung gleicht die sehr

kurzzeitigen Wellenbewegungen aus und ermöglicht eine um den Wellenschlag beruhigte Messung. Bei den direkt ins Wasser gestellten Messlatten war wegen der Wellen eine genaue Ablesung nicht möglich. Abbildung 48 gibt einen schematischen Überblick über die verwendeten Messmethoden.

4.2.2. Bestimmung des GMSL mittels Satelliten

Mit den TOPEX/POSEIDON (T/P Mission) Satellitendaten waren erstmalig ab 1993 weltweit genaue Messungen des GMSL möglich. U.a. Mörner stellt deren Ergebnisse umfassend in seinem Aufsatz [Mörner, 2004] „*Estimating future sea level changes from past records*“ vor. Als wichtiges Ergebnis merkt er an, dass die Messungen von 1993 bis 1996 keinen Trend zeigen, erst ab 1997 bis 2000 wären un stetige Schwankungen zu erkennen. Für die ersten 4 Jahre bestimmte Nerem et. al [Nerem, 1997] sogar eine geringe Abnahme von $-0,2$ mm/Jahr. Diesen Verlauf zeigt Abbildung 49.

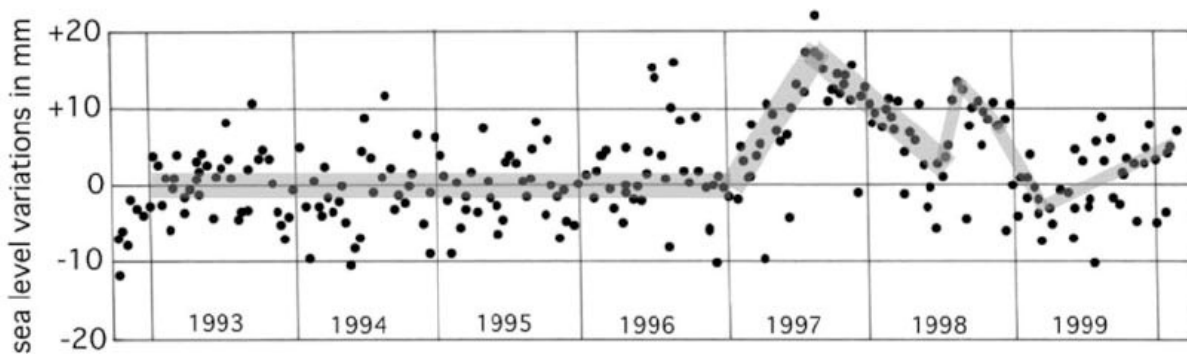


Abbildung 48: Messdaten der Topex/Poseidon (T/P) von 1993 bis Anfang 2000 nach Mörner. Man beachte den fehlenden Trend von 1993 bis 1997 und danach die starken Schwankungen um $+15$ mm bis -10 mm^[10]. Die gezeigten Satellitendaten enthalten die erforderlichen Driftkorrekturen des Satelliten nach Mitchum [Mörner, 2008].

Parallel dazu wurden von anderer Seite Zweifel an den Messergebnissen der T/P Mission, wie sie z.B. Mörner erwähnt, geäußert. Der Grund war, dass eine oder einige Landstationen, erwähnt wird in diesem Zusammenhang **eine** von mehreren Stationen in Hongkong, deutlich positive Trends in derselben Zeit zeigten, während die T/P Daten dies nicht taten.

Einschub des Geodäten und Eike- Gründungsmitglied Werner Eisenkopf :

...Sie haben sicherlich unzählige Male in Medien gewisse Meldungen mitbekommen wie „Der Meeresspiegel steigt“ – und dazu richtige Panikmache, was dort alles angeblich bald

„überflutet“ werde. Dies wird abgeleitet aus „Satellitenmessungen“ und Computer-Szenarien. Niemand hinterfragt dann die Behauptung, man würde „Meeresspiegelanstiege in Millimetertendenzen“ tatsächlich „messen“ können. Dies wäre dann jedoch ein unfassbares „Wunder der Technik“ und heute wohl nur mit irgendeiner „Alien-Technik“ möglich.

Für jede Vermessung gelten die grundsätzlichen Zwänge von Naturwissenschaft besonders der Physik. dazu die zum Zeitpunkt der Messung verfügbare Technik und das Knowhow. Im Gegensatz zur Politik, die einfach physikalisch absurde Dinge behaupten, sogar in Gesetze formulieren kann und sich selbige sogar von Gerichten dann „legitimieren“ kann, ist die Messtechnik nicht so austricksbar. Dies geht nur bei einer „gezielten Bearbeitung der Rohdaten mit kreativem Jonglieren von Parametern“.

Laut den publizierten „Infos zum gemessenen und in die Zukunft prognostiziertem Anstieg des Meeresspiegels“, müssten die speziellen Satelliten dafür, um Größenordnungen genauer messen können, als terrestrische Vermessungen am Boden und in ungleich kürzeren Distanzen. Eine terrestrische Landvermessung mit Meßinstrument per Laser über Reflektoren, hat je nach Tagestemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wetter usw. hat durchaus 2 cm Toleranz. Zwei Zentimeter also immer möglich auf nur mal 1-2 km Meßdistanz. Dabei „vermißt“ eigentlich so ein Meßgerät nicht direkt, sondern ein Chip und ein Software-Programm erzeugen aus Rohdaten (Laser-Signalstärke usw.) und „berechnet“ ein „Meßergebnis“ und somit kann exakt dieselbe Strecke mal so und mal so bei anderen Messungen mit anderem Gerät und anderer Software abweichen.

Wenn aber schon die Laser-Messung auf 1-2 Kilometer Distanz, demnach locker 2 cm (ZWEI ZENTIMETER !) Abweichung ergeben kann, wie sollte dann ein Satellit, von dann ca. 1.336 km Flughöhe, überhaupt in Millimetern genau messen können?

Das ist physikalisch unmöglich.

Die Meßgenauigkeit ist dann eher im METERBEREICH anzusehen, aus denen man über Computerprogramme und viel Parameter-Jonglieren, dann diese „Millimetertendenzen“ erschafft, die über viele Jahre gerechnet, dann diese angeblichen „schrecklichen Meeresspiegelanstiege“ in den Medien ergeben.

Diese Meßgenauigkeit der Satelliten, die 1992 mit TOPEX/POSEIDON begannen und aktuell vom Sentinel-6 Michael Freilich fortgeführt werden, ist jedoch nochmals um viele Faktoren schlechter, als bis eben beschrieben. Zum einen

sind die Meßstrecken auf dem Boden (mit den 2 cm Toleranz auf 1-2km) still, also ohne Bewegung von Meßinstrument und Reflektor, während dagegen der Satellit stets mit hoher Geschwindigkeit um die Erde rast. Es kommt also schon mal eine „Bewegungs-Ungenauigkeit“ dazu, die das Verhältnis verschlechtert.

Dann hat so ein Boden-Meßgerät ja das Gerät selbst und einen festen Reflektor, der als Spiegel den vom Meßgerät kommenden Laserstrahl zurückwirft, woraus dann das Maß im Meßgerät berechnet wird. Der Satellit aber bekommt die Reflexion gar nicht von einem Reflektor und punktgenau zurück, sondern bekommt dies ungleich diffuser von einer fast nie ganz ruhigen Wasseroberfläche und breit gestreut zurückgestrahlt.

Doch es kommt noch schlimmer, Während diese ca. 2 m Toleranz bei 1-2 km Meßstrecke mit LASER als Meßtechnikart zustandekommen, muss der Satellit stattdessen auf RADAR zurückgreifen. RADAR ist aber ungleich ungenauer, als gebündeltes Laserlicht./Laserstrahl. Also werden die bisher schon immer schlechteren Vergleichparameter der Bodenmessung zum Satellit, auch immer schlechter.

Selbst die besten und am Boden fest montierten RADAR-Geräte, können anfliegende Flugzeuge nicht mal im `Dezimeterbereich erfassen. da sind eher Abweichungen in Metern möglich. dabei Wellen, als das Wasser des Meeres die Radarwellen vom Satelliten. Doch das ist nun immer noch nicht alles. Es wird noch schlimmer für die Satellitengenauigkeit. Es geht um die technischen Veränderungen durch die fortentwickelte Technik. Wer weiß noch, was beim Start der Satellitenprogramme ab 1992, für Hardware und Software üblich waren und verwendet wurde? Dies war „IT-Steinzeit“ gegenüber heute. Insofern kann man die gesamten „Meßergebnisse“ zwischen 1992 und heute mit allen Zeiten dazwischen, gar nicht wirklich vergleichen oder in eine Linie bringen. Genau solche Linien ergeben aber erst diese hochgerechneten Panikmeldungen. Dazu kommt noch eine ganze Fülle weiterer Details, die alle samt solche „Meeresspiegel-Anstiege“ als Zahlenwerke ungenauer machen. Die Satelliten ließen und lassen nämlich generell die Polregionen des Planeten völlig weg. Dazu wurden auch durch technische Schwächen, eine Menge willkürlich festgelegter „Fixparameter“ eingerichtet, die z.B. offenbar eine konkrete „Wellenhöhe von 2.00 Metern“ überall vorzugeben scheinen, ganz egal wie ruhig oder stürmisch das Meer dort gerade ist beim Überflug. Dazu heben sich Küsten und senken sich durch tektonische Vorgänge, was damit na´ja auch die Bezugs-Pegel mit verändert. Auf irgendeinen Punkt der Oberfläche, muss aber solche Satellitenmessung „kalibriert“ sein, um nicht stets nach „oben“ oder „unten“ zu schwanken. Niemand von all den Reportern fragte bisher offenbar überhaupt

danach. Ein Fachmann hatte zumindest mal den Name von „Singapur“ genannt, aber auch Singapur ist nicht DER Fixpunkt einer sich stets verändernden Erdoberfläche. Auch die „Poleisschmelze“ ist kein Grund zur Besorgnis. 90% des Süßwassers ist im Festlandeis der Antarktis in teils kilometerdicken Schichten gefroren. Ob da Minus 50 Grad oder Minus 40 Grad herrschen, da gibt es keine Eisschmelze. Kurioserweise berechnen viele der „Meeresspiegel-Panikmeldungen“ ihre „Anstiege“ unter der Voraussetzung, dass dafür sämtliches Eis an beiden Polen vollständig geschmolzen sein muss! Eine eigentlich total absurde Annahme für die nächsten paar tausend Jahre. Sehr salopp könnte man also als Fazit sagen, es ist kein Grund zur Panik, Die sehr unterschiedlichen „Meeresspiegel“ verändern sich so wie seit Jahrhunderten und Jahrtausenden aber keinesfalls plötzlich schneller als die Panikmacher uns das einreden wollen. Speziell an der deutschen Nordseeküste, hat sich der natürliche historische Meeresanstieg sogar eher verlangsamt und ist derzeit weit weniger, als jene 24 oder 25cm Anstieg, die man bisher je Jahrhundert hier pauschal abnahm.

Ich werde später noch darauf eingehen, was das für die Fehlerbestimmung bedeutet.

Also entschlossen sich Nerem et. al [Nerem, 1997], die Satellitendaten mit einem positiven Trend zu versehen, weil sie davon ausgingen, dass eine noch unbekannt negative Drift von $-2,3 \pm 1,2$ mm/Jahr die T/P Daten verfälscht hätte. Deshalb wurde diesen Daten, per Beschluss, ein positiver Trend von $+2,3 \pm 1,2$ mm überlagert („calibrated“ wie Nerem selbst in Parenthese gesetzt schrieb), der insgesamt zu einem positiven Trend von $2,1 \pm 1,3$ mm/Jahr führte^[11]. Die untenstehende Abbildung 50 zeigt diesen Sachverhalt fortgeführt bis 2000^[12]. Seit dieser Korrektur, die von vielen als nicht gerechtfertigt angesehen wird, berufen sich fast alle Autoren auf die gute Übereinstimmung der Messdaten von Pegelstationen (nach Korrektur des GIA Effektes) mit den Satellitenmessungen der T/P Mission. Dass dies ein unfreiwilliger Zirkelschluss ist, fiel diesen Autoren offenbar nicht auf.

Mit der Verfügbarkeit von Satellitendaten wurden aber nicht nur die Messungen genauer, sondern es gab auch Erkenntnisse über bisher nicht gekannte Verformungen des GMSL. So schreiben Cazenave et. al [Cazenave, 2004] dass die Satellitenaltimetrie eine *“non-uniform geographical distribution of sea-level change, with some regions exhibiting trends about 10 times the global mean.”* gezeigt hätten. Wie damit umzugehen ist, ist derzeit nicht geklärt und wird wohl noch ausführlich untersucht werden müssen.

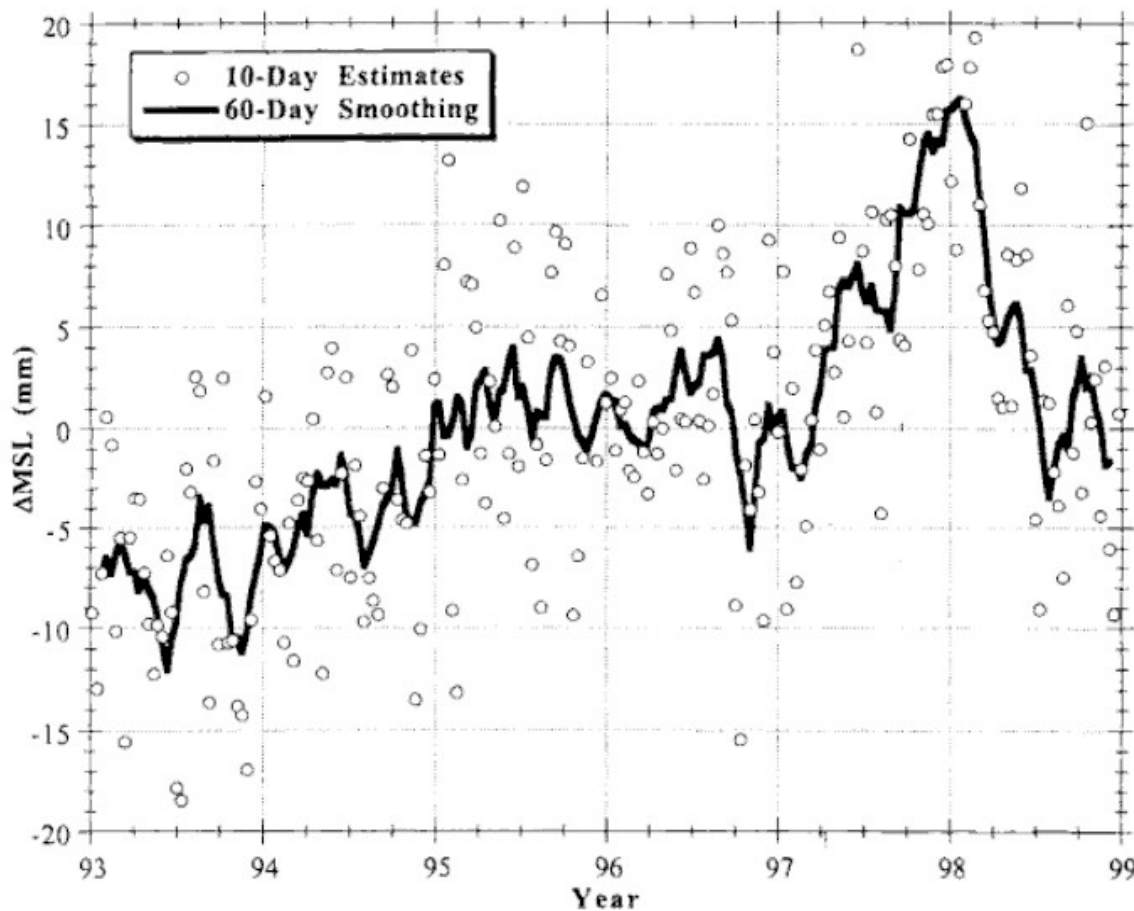


Figure 6.9 Same as Fig. 6.8, but after correction for instrument effects using the tide gauge calibration time series (Fig. 6.5) and removal of annual and semiannual variations.

Abbildung 49: Korrigierte Zeitreihe des GSML der TopexPoseidon Mission.
Quelle [Douglas, 2000] Chapter 6 Nerem, Mitchell

4.2.3. Die erzielbare Messgenauigkeit früher und heute

Die mit Schwimmkörpern in Röhren (tide gauges) oder Messlatten erreichbare Messgenauigkeit lag früher günstigstenfalls im Bereich von ± 1 cm bzw. $\pm \frac{1}{2}$ Zoll, sehr häufig auch schlechter. Heute werden für diesen Zweck überwiegend automatisierte Pegelmesser eingesetzt, welche die Höhe des Wasserspiegels im Messgehäuse per Ultraschall oder Radar abtasten, zusätzlich den barometrischen Druck messen und gegenrechnen. Auch bei den Satellitenmessungen rechnet man diese Korrektur des barometrischen Druckes. Man erwartet von ersteren Messgenauigkeiten von ± 1 mm, Satelliten sollten heute etwa dieselbe Genauigkeit erreichen. Diese gilt jedoch nur für die jüngste Vergangenheit. Noch weiter zurück war dies

unmöglich.

Beispiele für alte und moderne Messstationen zeigt die folgende Abbildung 50.

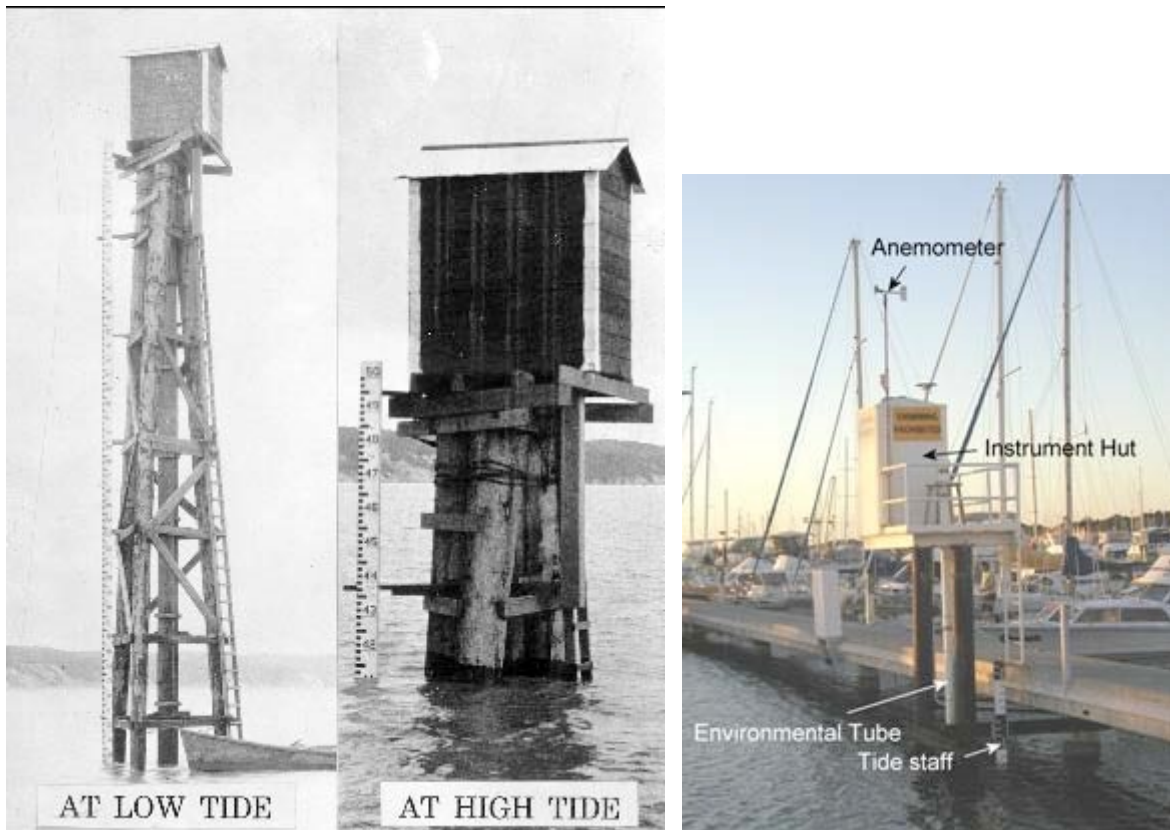


Abbildung 50: Pegelmessung (links) in Anchorage Alaska mit Messstab (Zollteilung) und (rechts) moderne australische Ultraschallmessstation. Die linke Konstruktion ist recht typisch für Pegelmessstationen in vielen Teilen der Welt.

Die lokalen Pegel wurden früher häufig, als stündliche Messung, auf einem Papierstreifen als gepunktete analoge Kurve aufgezeichnet. Daraus errechnete man einen Tagesgang, der zu einem Tagesmittel und zu weiteren Mittelwerten (Monatsmittel, Jahresmittel) verdichtet werden kann. Allerdings sind nach Aussage der o.a. Autoren erst wenige dieser Papierstreifen bis jetzt digitalisiert worden. Dies und der Mangel an langfristigen Zeitreihen (> 50 Jahre) in tektonisch stabilen Zonen sind vermutlich die Hauptgründe, warum nur so wenige Stationen zur Berechnung des GMSL herangezogen werden konnten.

Es liegt daher auf der Hand, dass erst mit der Einführung der präziseren Ultraschallmessung oder ähnlicher Verfahren^[13] eine genauere Messung der RSL als auf $\pm \frac{1}{2}$ bis ± 1 Zoll genau möglich wurde. Entsprechend vorsichtig müssen deswegen die Auswertungen der früheren Daten betrachtet werden. Die direkten Ablesefehler sind dabei wohl überwiegend zufälliger Art und sollten sich bei entsprechend großer Zahl von Messungen ausgleichen.

1. Das Geoid ist eine Äquipotentialfläche des Schwerfelds der Erde (Geopotential). Quelle: Lexikon der Fernerkundung: <http://www.felexikon.info/lexikon-a.htm#aequipotentialflaeche> ↑
2. Die Äquipotentialfläche ist eine Fläche konstanten Potentials, das heißt konstanter potentieller Energie in einem Potentialfeld. Diese Fläche steht stets senkrecht zu den Feldlinien. Beim Schwerepotential ist die Äquipotentialfläche eine Fläche, deren Punkte alle dasselbe Schwerepotential haben. Die Schwerebeschleunigung ist der Gradient (der Anstieg) des Schwerepotentials. Daher ist auf einer Äquipotentialfläche der Schwere die Schwerebeschleunigung nicht konstant. An den Polen ist die Schwerebeschleunigung größer als am Äquator. Manche Höhensysteme verwenden diese Potentialflächen der Erde zur Höhendefinition. ↑
3. Differenz zwischen dem aktuellen Meeresspiegel und dem Geoid. Sie beträgt ca. 1 – 2 m und bildet sich durch nichtgravitative Kräfte wie hydrostatische und hydrodynamische Vorgänge aus. Die Meerestopographie SST (Sea Surface Topologie) läßt deshalb grundsätzlich Rückschlüsse auf Meeresströmungen zu, ist aber mit ausreichender Genauigkeit schwierig zu bestimmen. Eine geometrische Bestimmung durch Differenzbildung von Meeresspiegel und Geoid ist nur für langwellige Strukturen sinnvoll, solange das Geoid für kurze Wellenlängen keine cm-Genauigkeit aufweist. Mit Hilfe der Bahnverfolgung von Satelliten und den Messungen der Altimetrie werden Meerestopographie und Schwerfeld gemeinsam geschätzt. Das Fehlerbudget erzwingt dabei jedoch auch eine Beschränkung der Meerestopographie auf großskalige Strukturen. Die dynamische Topographie liefert nur relative Höhen und beruht nur auf hydrostatischen Annahmen. Sie kann deshalb nur einen Teil der Meerestopographie und diesen nur relativ approximieren. Aus Lexikon der Fernerkundung <http://www.felexikon.info/lexikon-m.htm#meerestopographie> ↑
4. Zusätzlich existiert noch – wie oben erwähnt- die Problematik des topologischen Meeresspiegels. ↑
5. Quelle Spektrum Direkt „Wo liegt eigentlich Normalnull“ 2.11.2003 ↑
6. Die für die Ableitung der Höhe vom Amsterdamer Pegel zugrunde liegenden Nivellements aus den Jahren 1875 bis 1876 haben eine Unsicherheit von ± 1 Zentimeter. Das *Normalnull* repräsentiert das Mittelwasser der Nordsee mit einer Unsicherheit von etwa ± 1 Dezimeter. ↑
7. Quelle: <http://www.gug.bv.tum.de/seiten/natur/anstieg.htm> ¹⁰³
Ergänzung des Autors ↑
8. Quelle Uni Stuttgart: http://www.geologie.uni-stuttgart.de/edu/msp/msp_pop2.html#, **Wie erkennt man Meeresspiegelschwankungen?** ↑
9. bedingt u.a. durch den 228-monatigen Meton Zyklus Metonic cycle und 223- monatigen eclipse cycle ↑
10. In einer später abgegebenen Erläuterung schreibt Mörner: *“It should be noted that this graph includes the technical adjustments (including the drift factor of Mitchum, 2000, Fig. 10) illustrated*

by the lower arrow in Fig. 1. Later the same graph re-appears with a strong tilt (Aviso, 2003; cf. Leuliette et al., 2004; Moerner, 2005). Why is that?" Quelle: :
<http://antigreen.blogspot.com/2009/03/accelerated-sealevel-rise-i-mentioned.html> ↑

11. Begründung von Nerem et. al [Nerem, 1997]: The TOPEX/POSEIDON satellite altimeter mission has measured sea level on a global basis over the last 4 years at 10 day intervals. After correcting for a recently discovered error in the measurements, the estimated rate of global mean sea level change over this time period is -0.2 mm/year. Comparisons to tide gauge sea levels measured in spatial and temporal proximity to the satellite measurements suggest there is a residual drift in the satellite measurement system of -2.3 ± 1.2 mm/year, the origin of which is presently unknown. Application of this rate correction yields a "calibrated" estimate of $+2.1 \pm 1.3$ mm/year for the rate of sea level rise, which agrees statistically with tide gauge observations of sea level change over the last 50 years. ↑
12. Mörner: Quelle: Rise of sea levels is ,the greatest lie ever told'
<http://www.telegraph.co.uk/comment/columnists/christopherbooker/5067351/Rise-of-sea-levels-is-the-greatest-lie-ever-told.html> „But suddenly the graph tilted upwards because the IPCC's favoured experts had drawn on the finding of a single tide-gauge in Hong Kong harbour showing a 2.3mm rise. The entire global sea-level projection was then adjusted upwards by a „corrective factor“ of 2.3mm, because, as the IPCC scientists admitted, they „needed to show a trend“ .↑
13. Details siehe u.a. hier
(<http://www.icsm.gov.au/tides/SP9/section2.html>) ↑

Wird fortgesetzt.

Diese ist ein Teil der Dissertation vom Autor, welche die Universität – nach Gerichtsentscheidung vom September 2011 als nicht eingereicht betrachtet hatte.