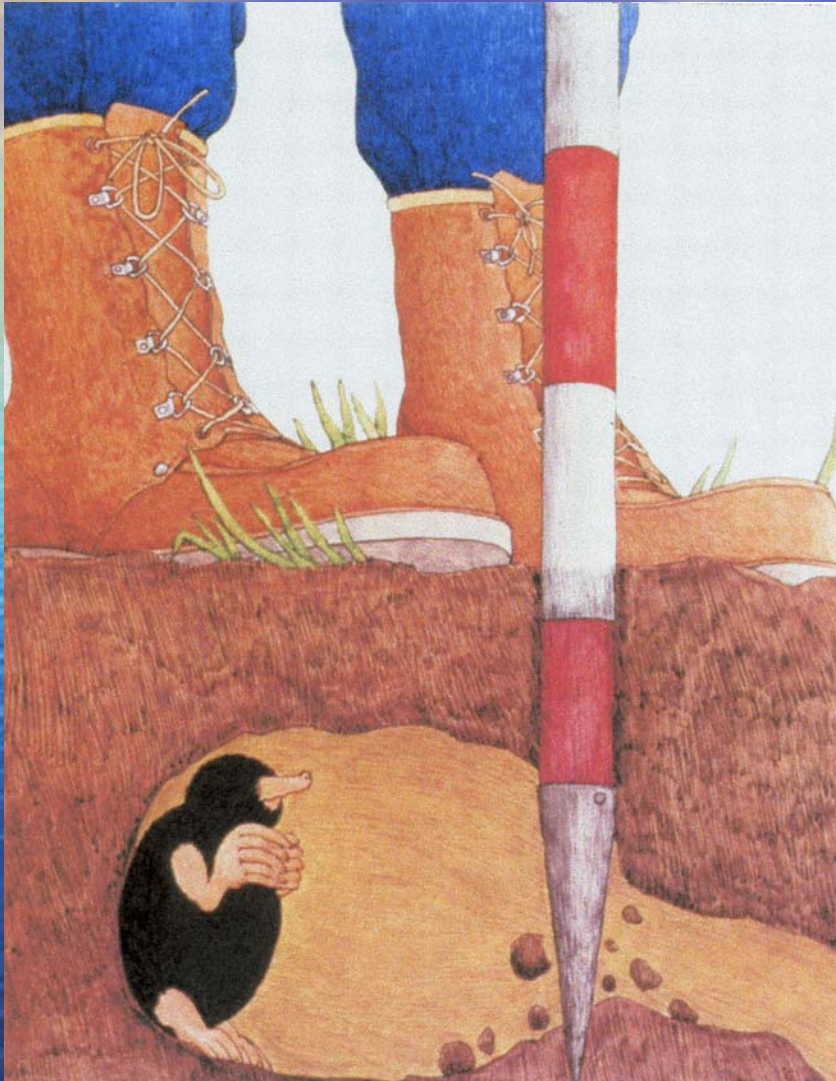


Der Maulwurf Grabowski



- Ein lesenswertes Kinderbuch von Murschetz
- Der Geodät – nicht immer willkommen

Höhenmessung oder wohin fließt das Wasser ?



Grundlagen der Höhenmessung

Die Lotrichtungen stehen senkrecht auf den „horizontalen“ Potentialflächen des Erdschwerefeldes



Wasser richtet sich nach Flächen aus, die den selben Potentialwert besitzen – „Äquipotentialflächen“.

Die geometrischen Abstände von Äquipotentialflächen sind nicht konstant – und deshalb nur genähert als Höhen brauchbar

Meeresoberfläche und Schwerefeld

Die geodätische Ausmessung und Abbildung der Erde erfordert eine genaue Kenntnis des Schwerefeldes

- Die Meeresoberfläche bedeckt zwei Drittel der Erde – und wird ebenfalls vom Schwerefeld beeinflusst
- Die Vermessung der Meeresoberfläche ist – im Prinzip – eine Vermessung des Schwerefeldes der Erde

Die Meeresoberfläche – Narbengesicht einer sich wandelnden Erde

Wolfgang Bosch

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)
München

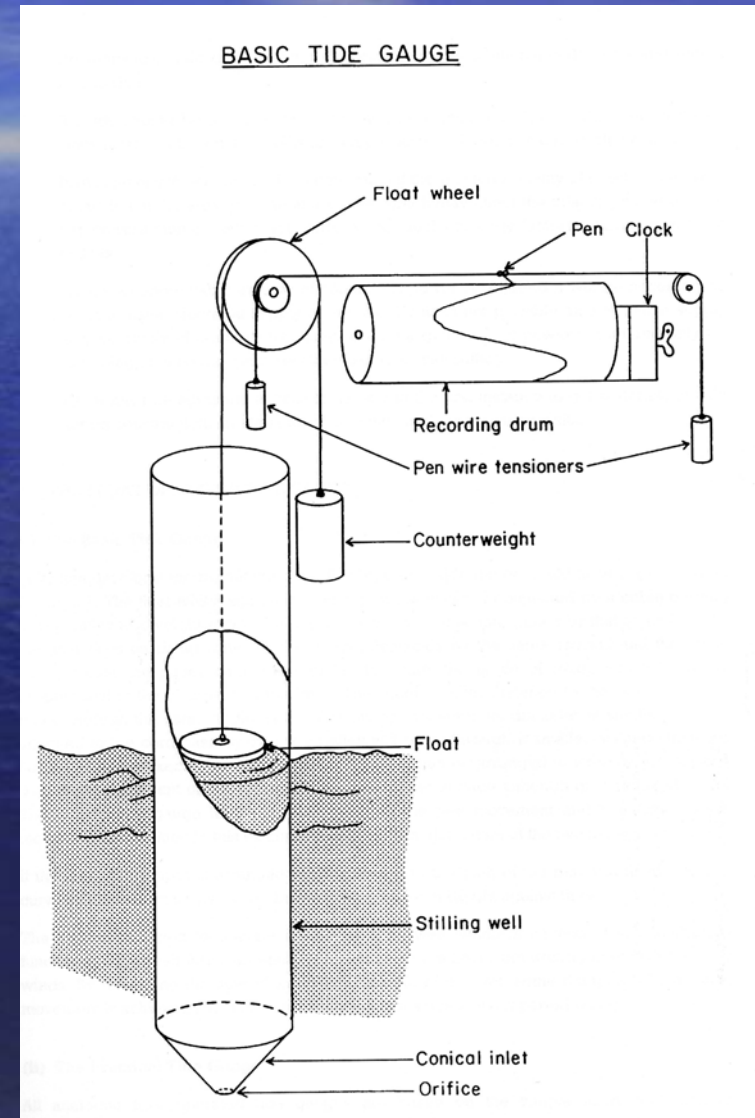
Email: bosch@dgfi.badw.de

Die Meeresoberfläche vermessen ...

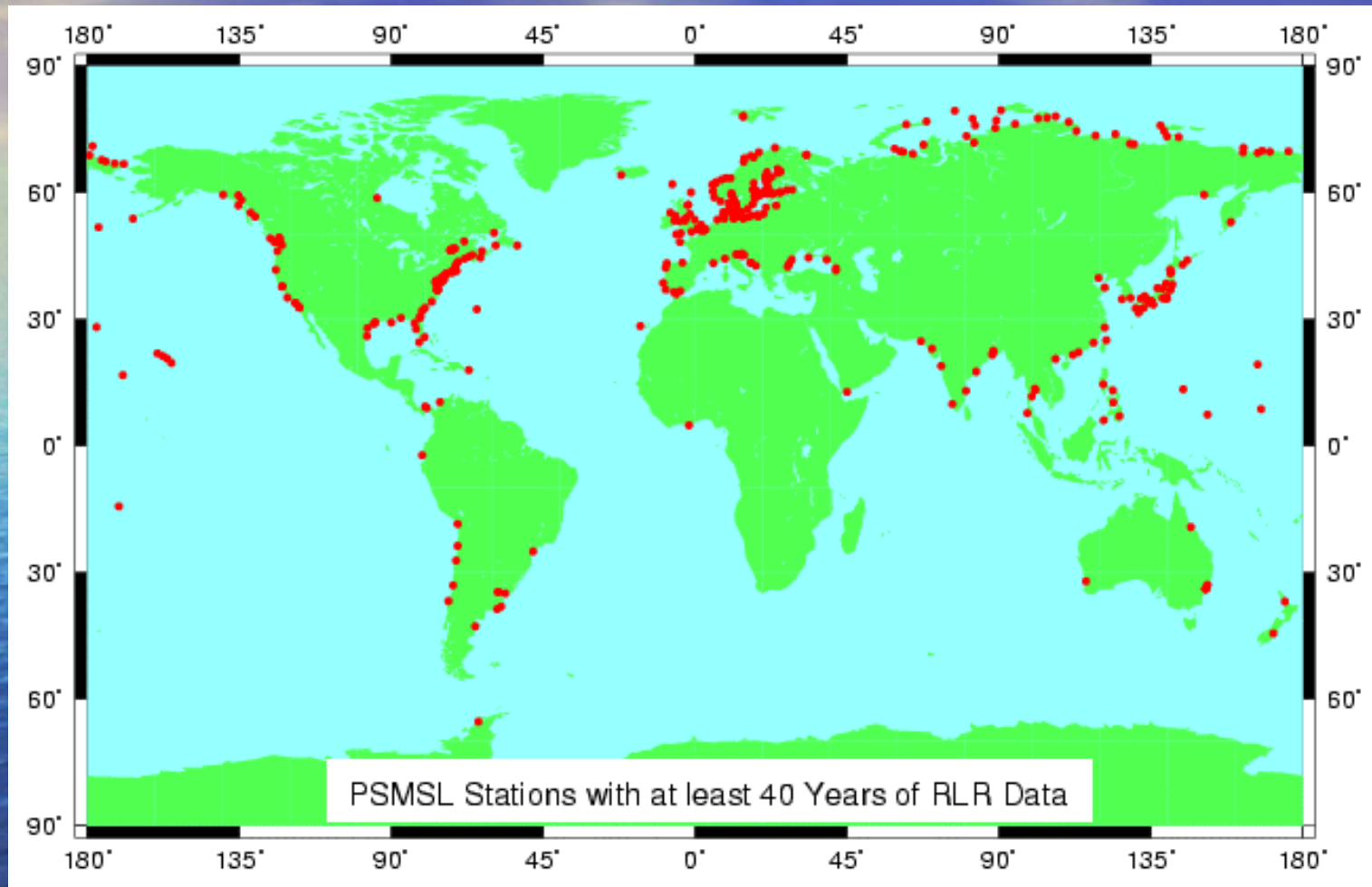
- wie geht das?
- durch Pegel
(in Häfen zur Sicherung der Schifffahrt)
- durch Satellitenaltimetrie
(Höhenmessung aus dem Weltraum)

Wie funktionieren Pegel ?

- Meßprinzip
 - ein Rohr im Wasser
 - ein Schwimmkörper im Rohr
 - eine Registriereinrichtung
- Moderne Techniken statt Schwimmkörper:
 - Akustisches Signal
 - Radarimpuls
 - oder Drucksensoren



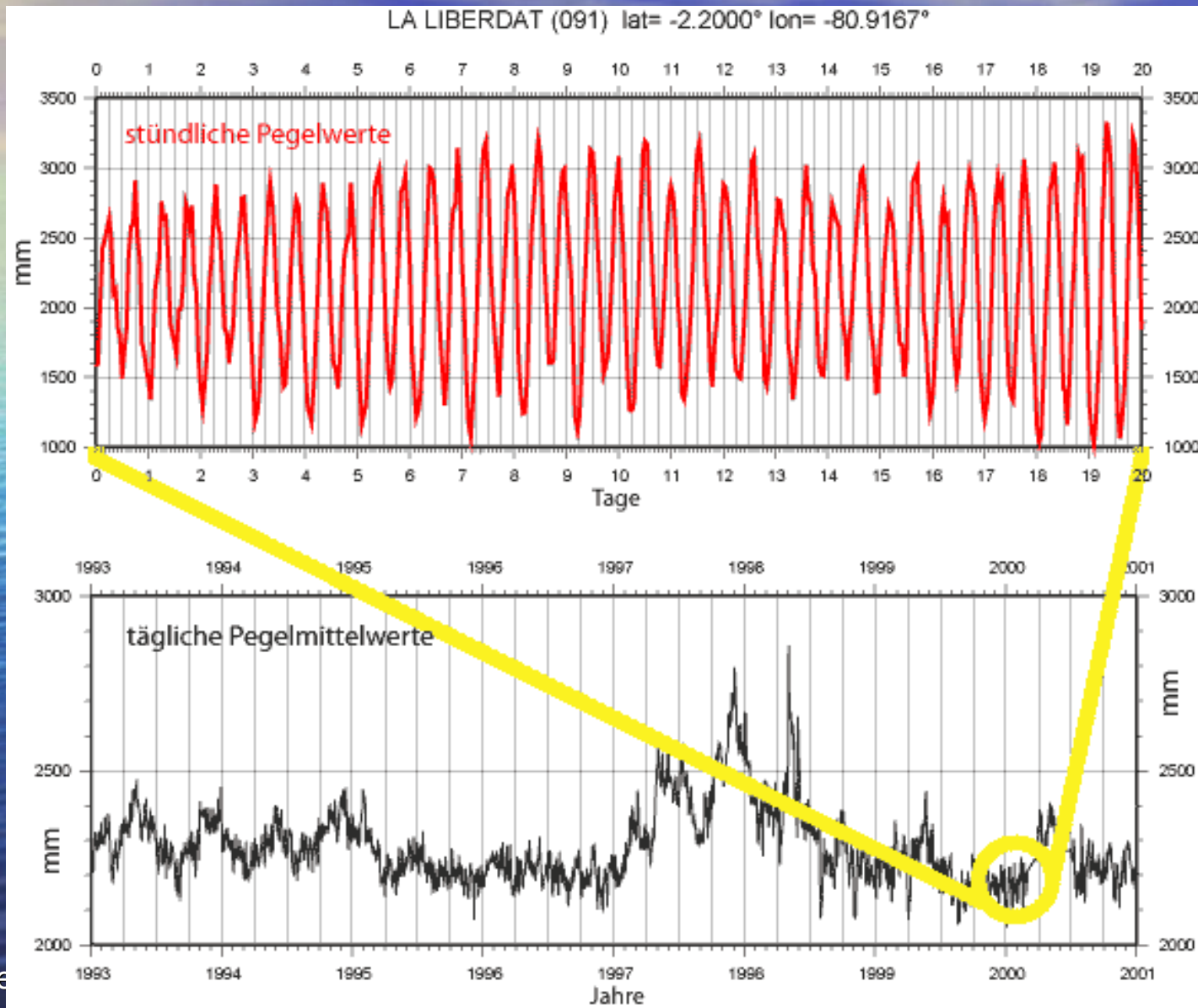
Kontrollierte Pegel mit Messreihen von mehr als 40 Jahren



Quelle: Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL)

Wettzell, 17. März 2005

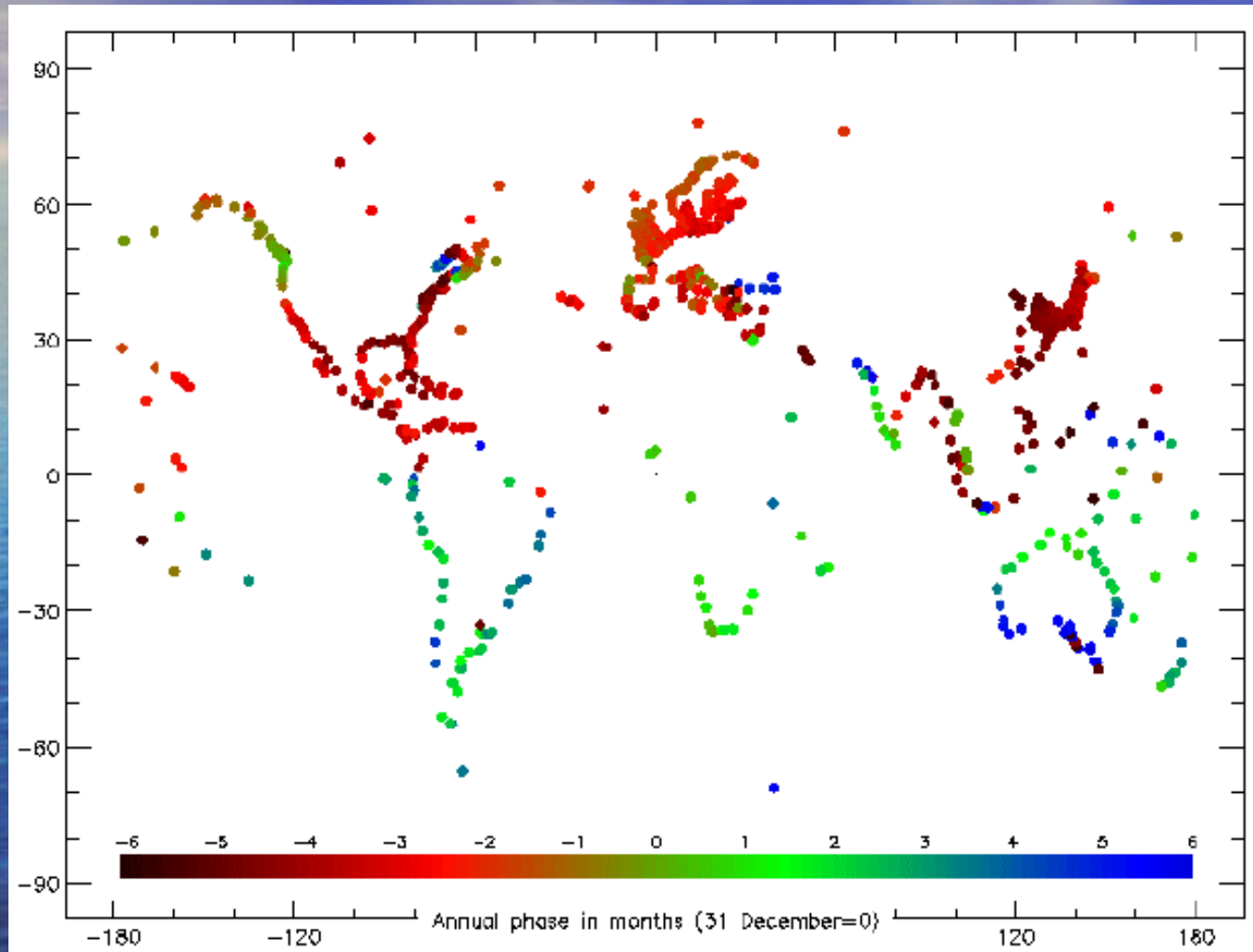
Stündliche und tägliche Pegelwerte – ein Beispiel



Pegelregistrierung

- Zeigen 12-stündige und tägliche Schwankungen (Gezeiten von Sonne und Mond)
- In jedem Jahr ergibt sich ein ähnlicher Verlauf (jahreszeitliche Schwankungen – Temperatureinfluss durch wechselnden Sonnenstand)
- Allmähliche oder ungewöhnliche Veränderungen (über mehrere Jahre, z.B. Anstieg oder Abfall der Meeresspiegels)

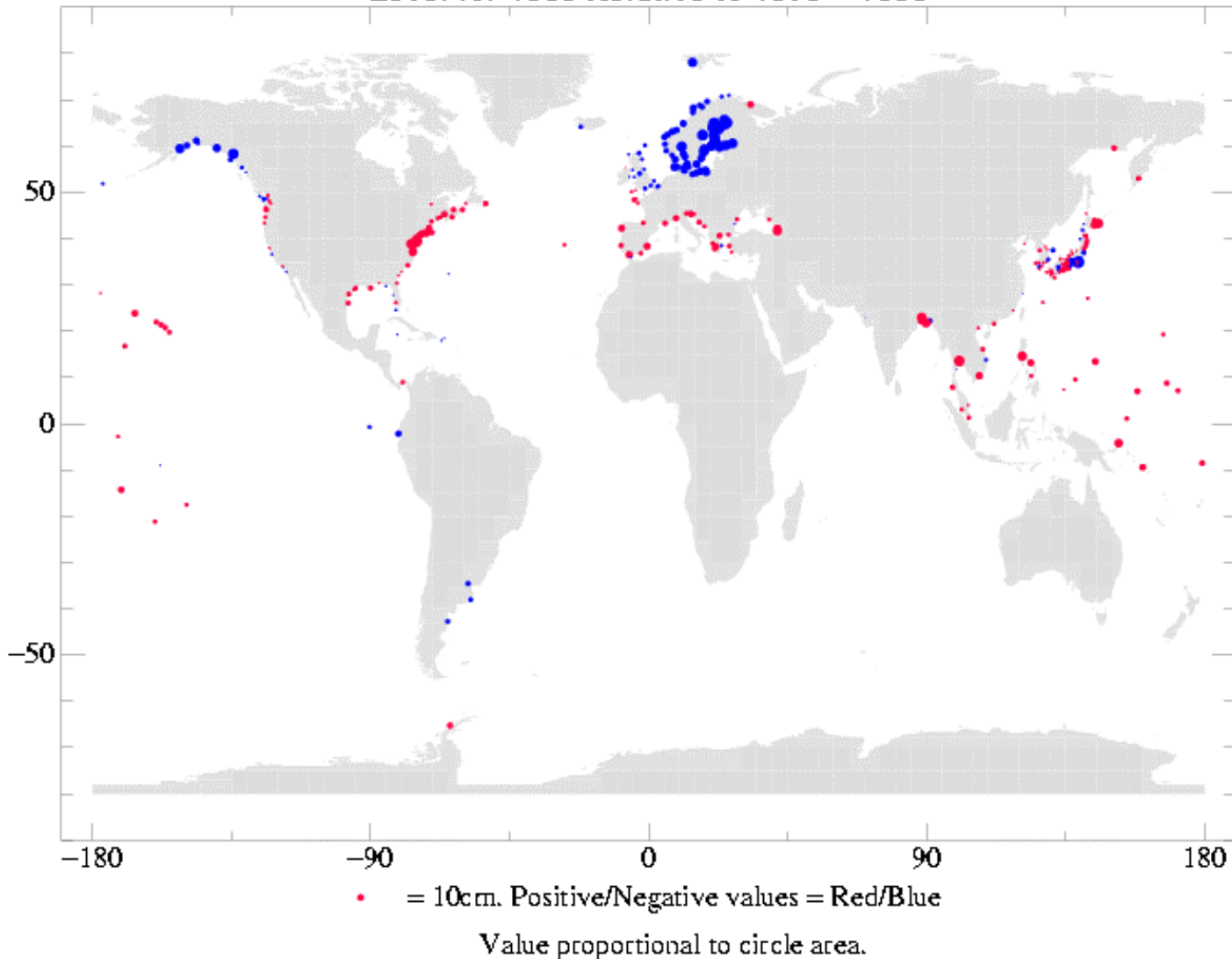
Zu welcher Jahreszeit nehmen die Pegel den höchsten Stand an?



Quelle: Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL)

Wie ändern sich die Pegelregistrierungen langfristig?

Level for 1996 Relative to 1979 – 1990



Quelle:
Permanent
Service of
Mean Sea
Level
(PSMSL)

Pegelregistrierungen sind relativ!

Die scheinbaren Absenkungen des Meeresspiegels sind verursacht durch nacheiszeitliche Landhebung

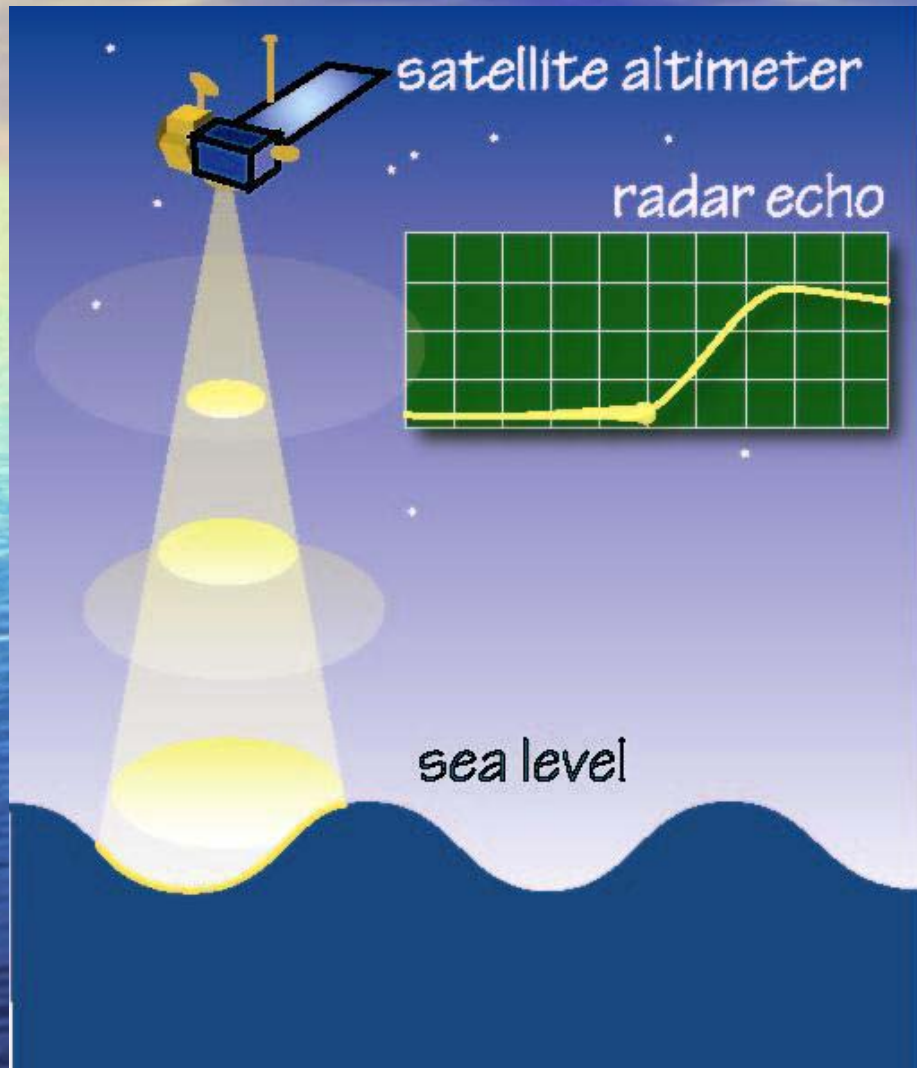
Deshalb: Kontrolle der Vertikalbewegung von Pegelstationen durch Geodätische Raumverfahren (GPS oder später GALILEO)

Quelle: G. Liebsch, BKG

Wettzell, 17. März 2005



Satellitenaltimetrie

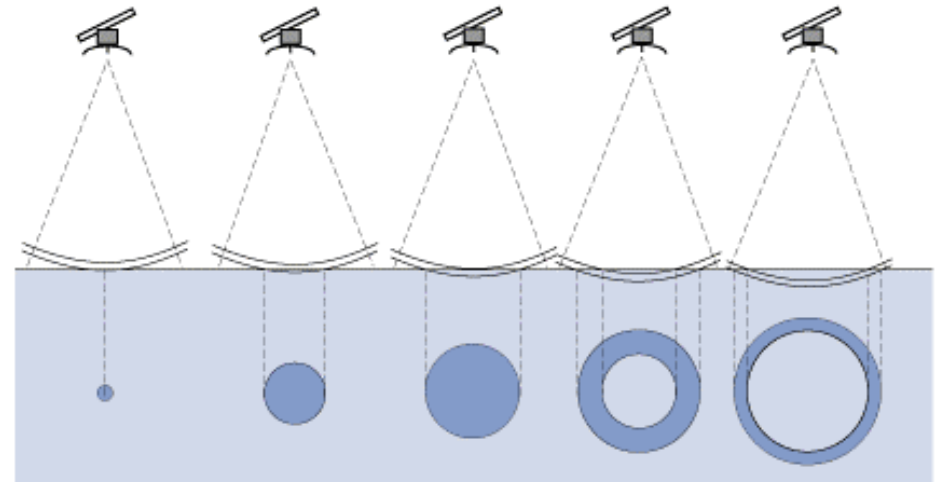


Typische Kennzeichen:

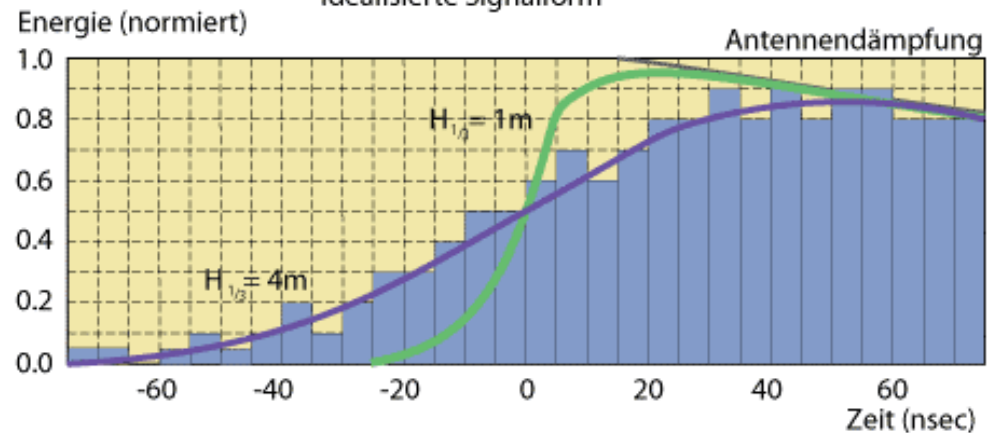
Trägerfrequenz	13.5 GHz
Impulsdauer	12.5 nsec
Impulslaufzeit	5 msec
Pulsfolge	1000Hz
Mittelbildung	0,05 sec
Flughöhe	800km
„footprint“	2-11 km
Geschwindigkeit	6,7 km/sec

Messprinzip der Altimetrie

Funktionsweise der Satellitenaltimetrie



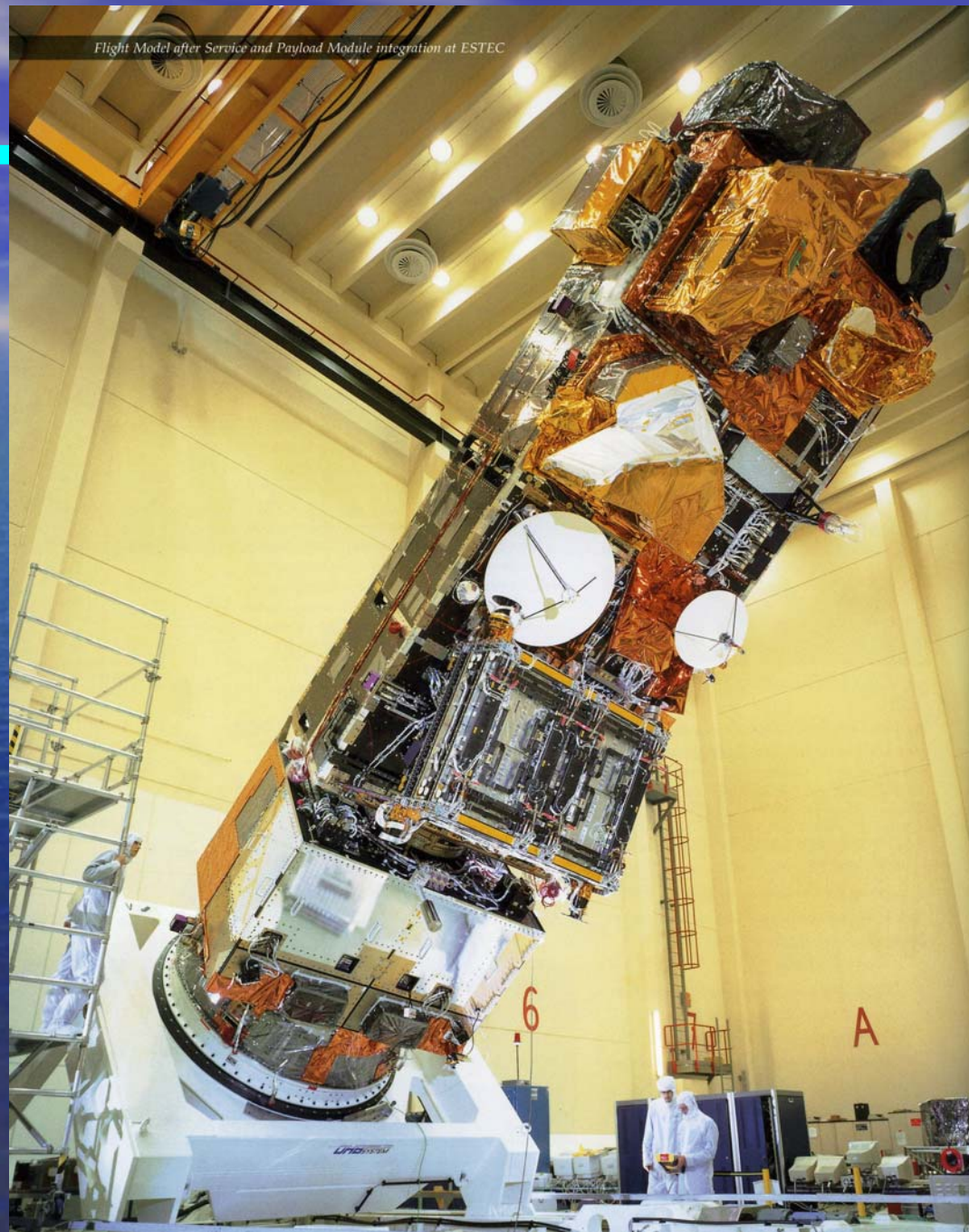
Idealisierte Signalform



- Signallaufzeit → Abstand zur Meeresoberfläche
- Energie des Signalechos → Windgeschwindigkeit
- Neigung des Signalechos → Wellenhöhe

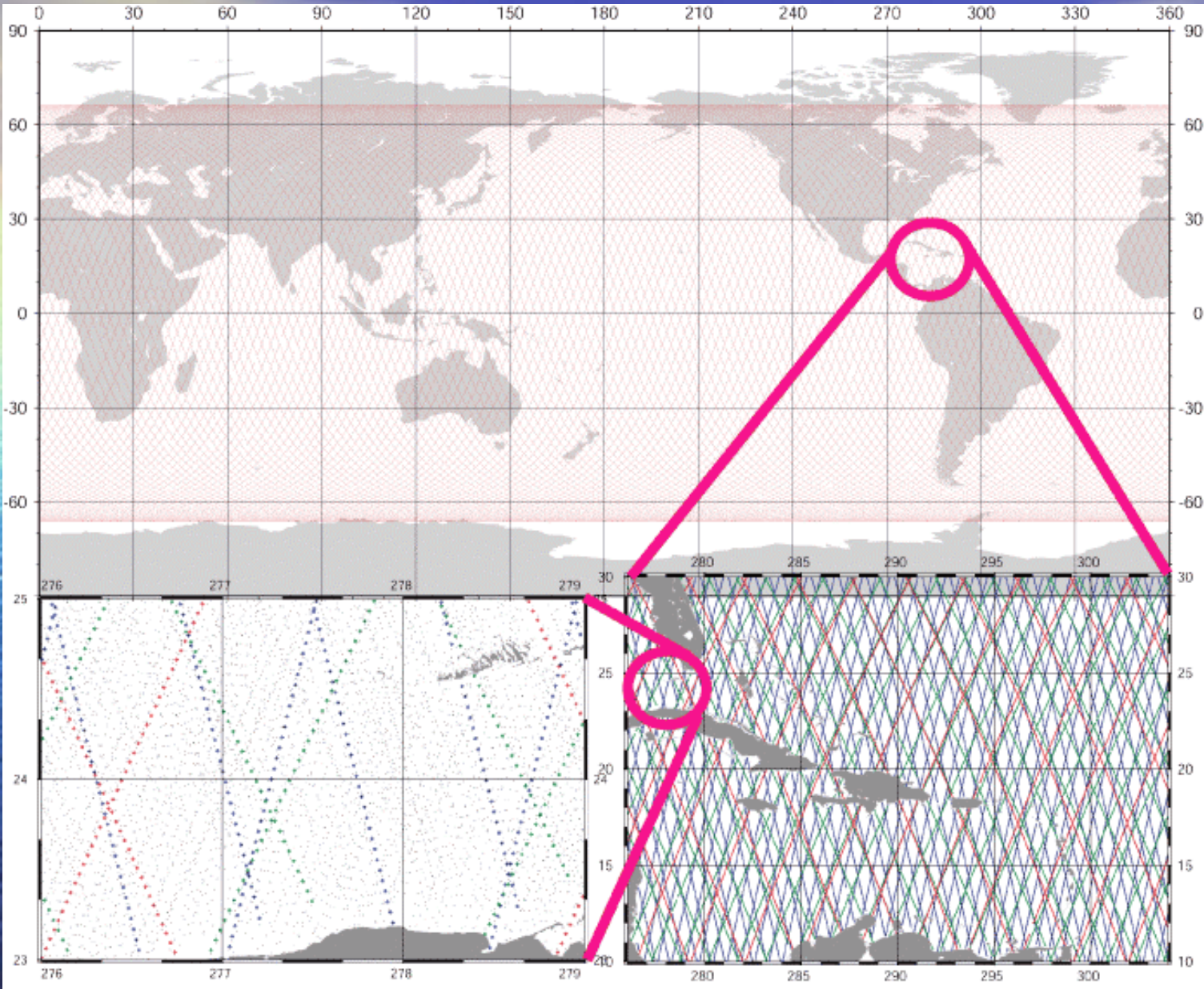
ENVISAT

- Größter und komplexester Umweltsatellit
- Seit März 2002 in Betrieb
- Bau und Betrieb durch die Europäische Raumfahrt-Agentur ESA



Wetzell, 17. März 2005

Bahnspuren von Altimetersatelliten



Jason1

ENVISAT

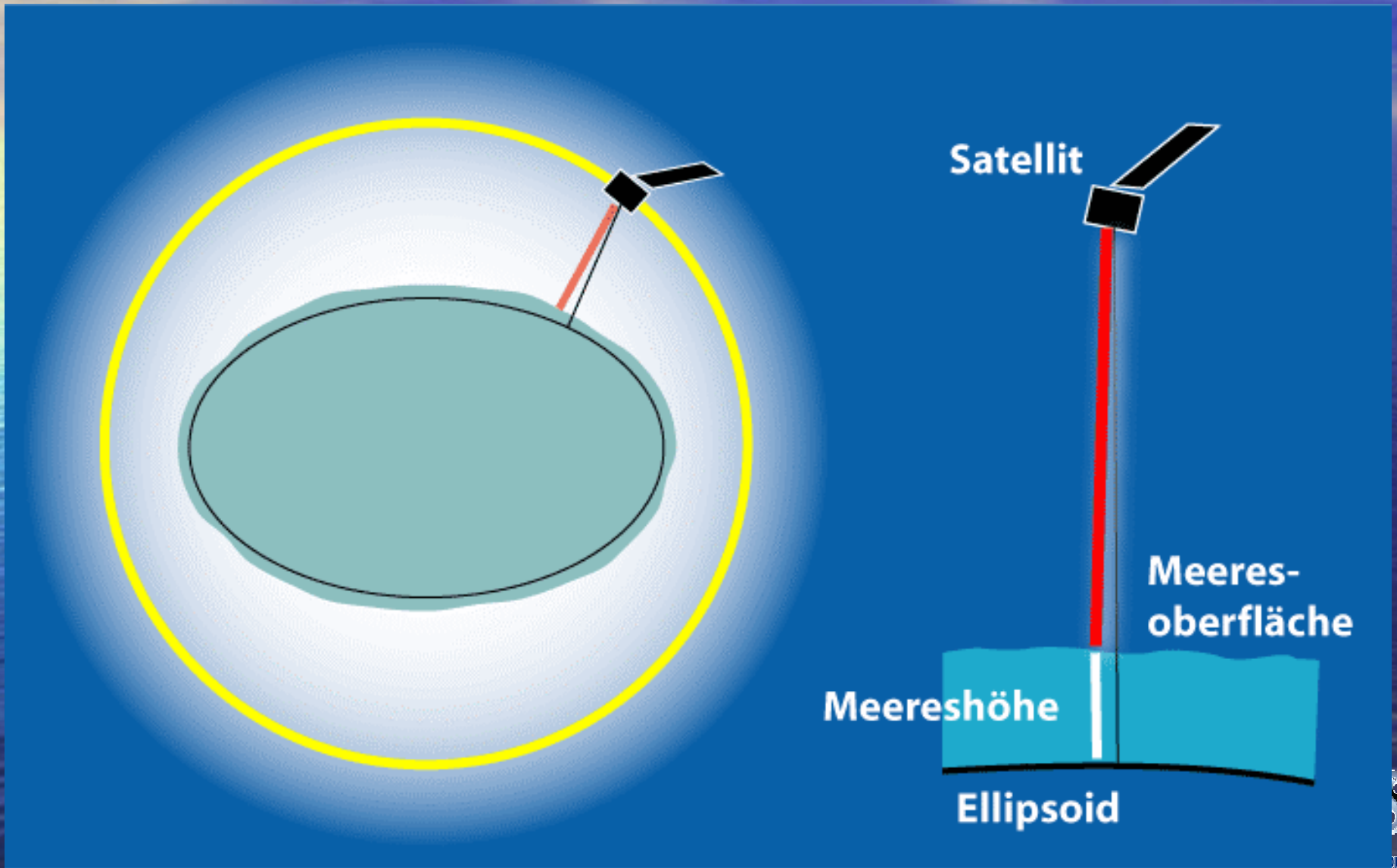
GFO

ERS1

Geosat

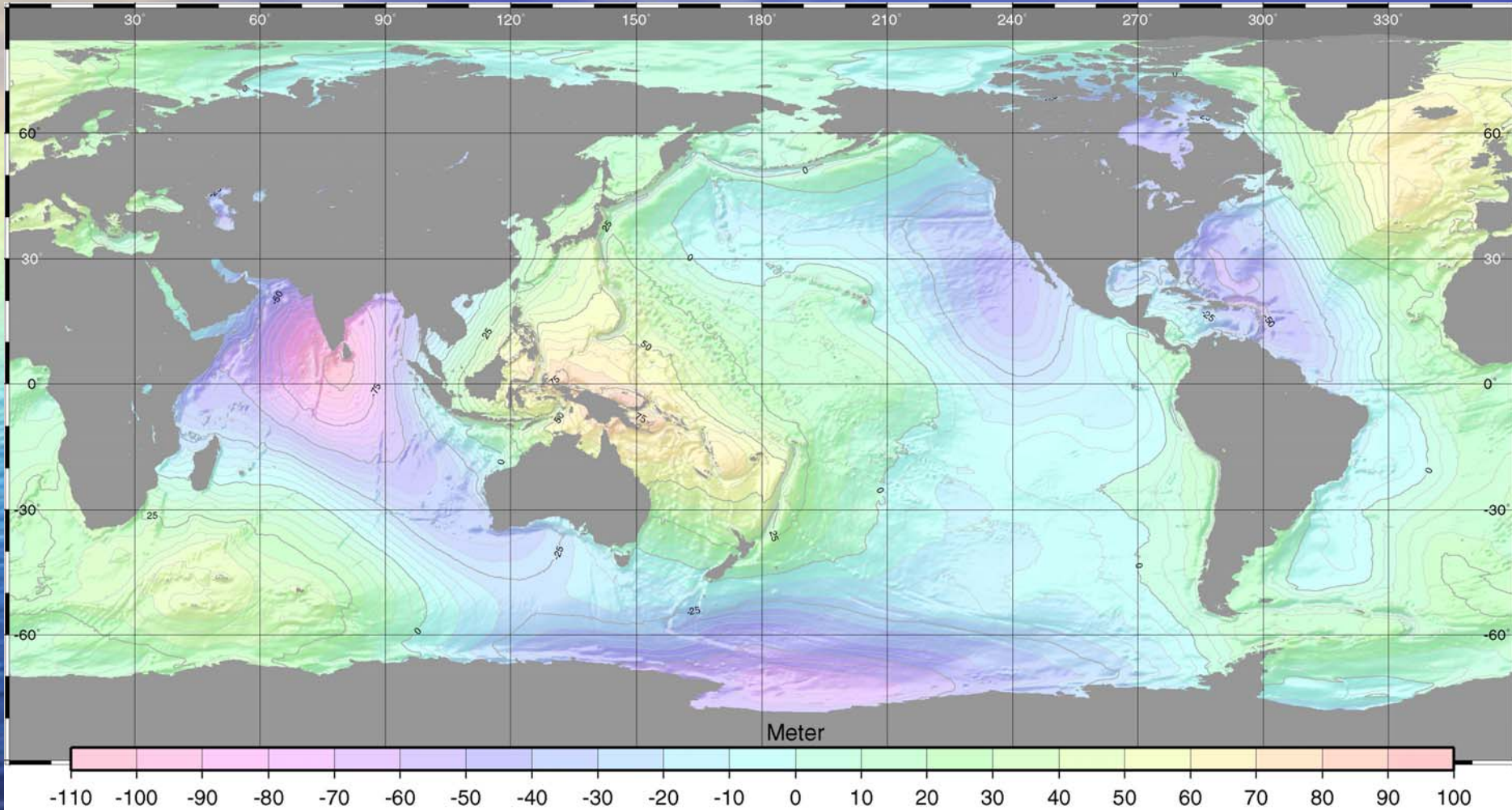


Meereshöhen aus Satellitenaltimetrie



Karte der mittleren Meeresoberfläche

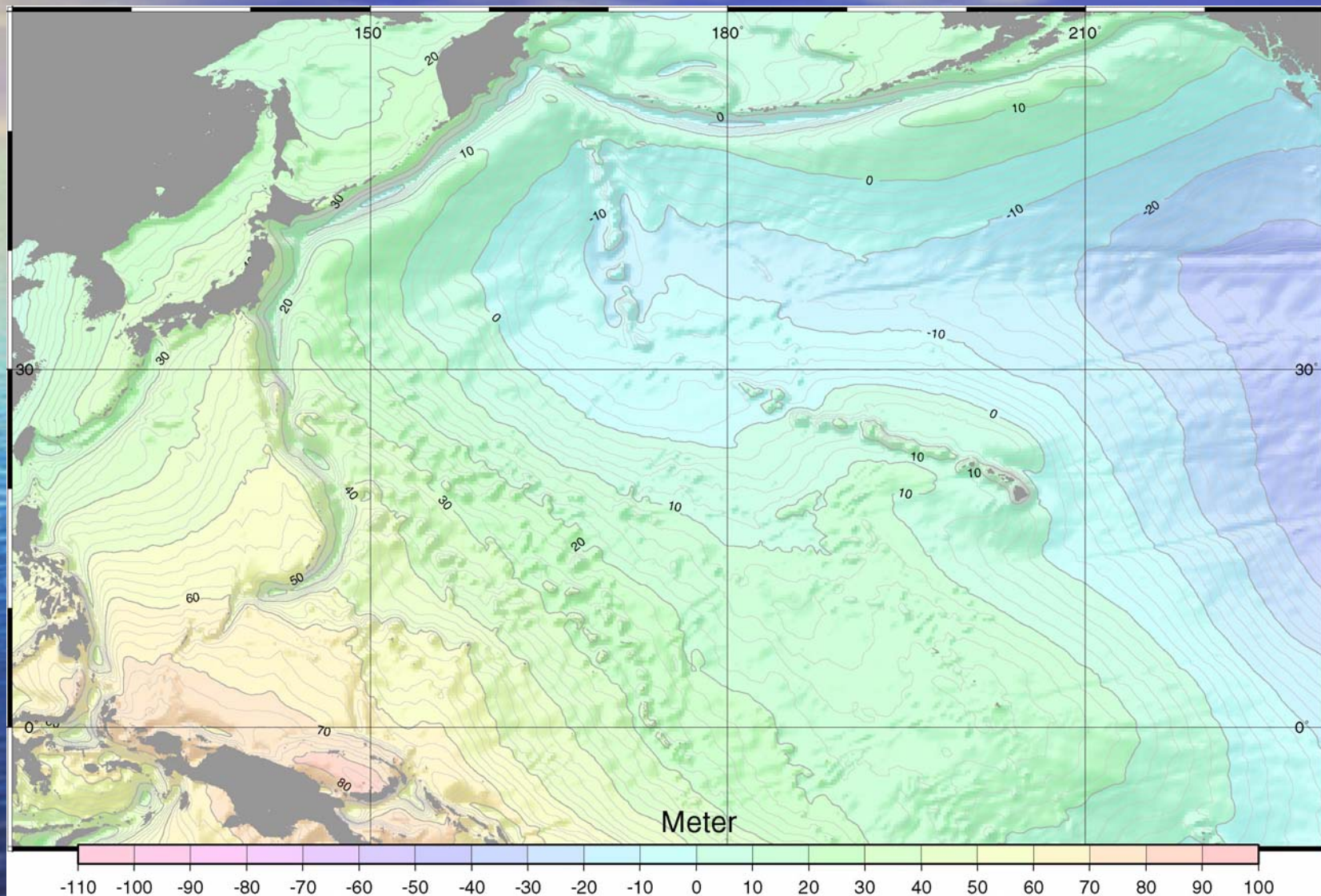
Höhen (m) über einem Erdellipsoid



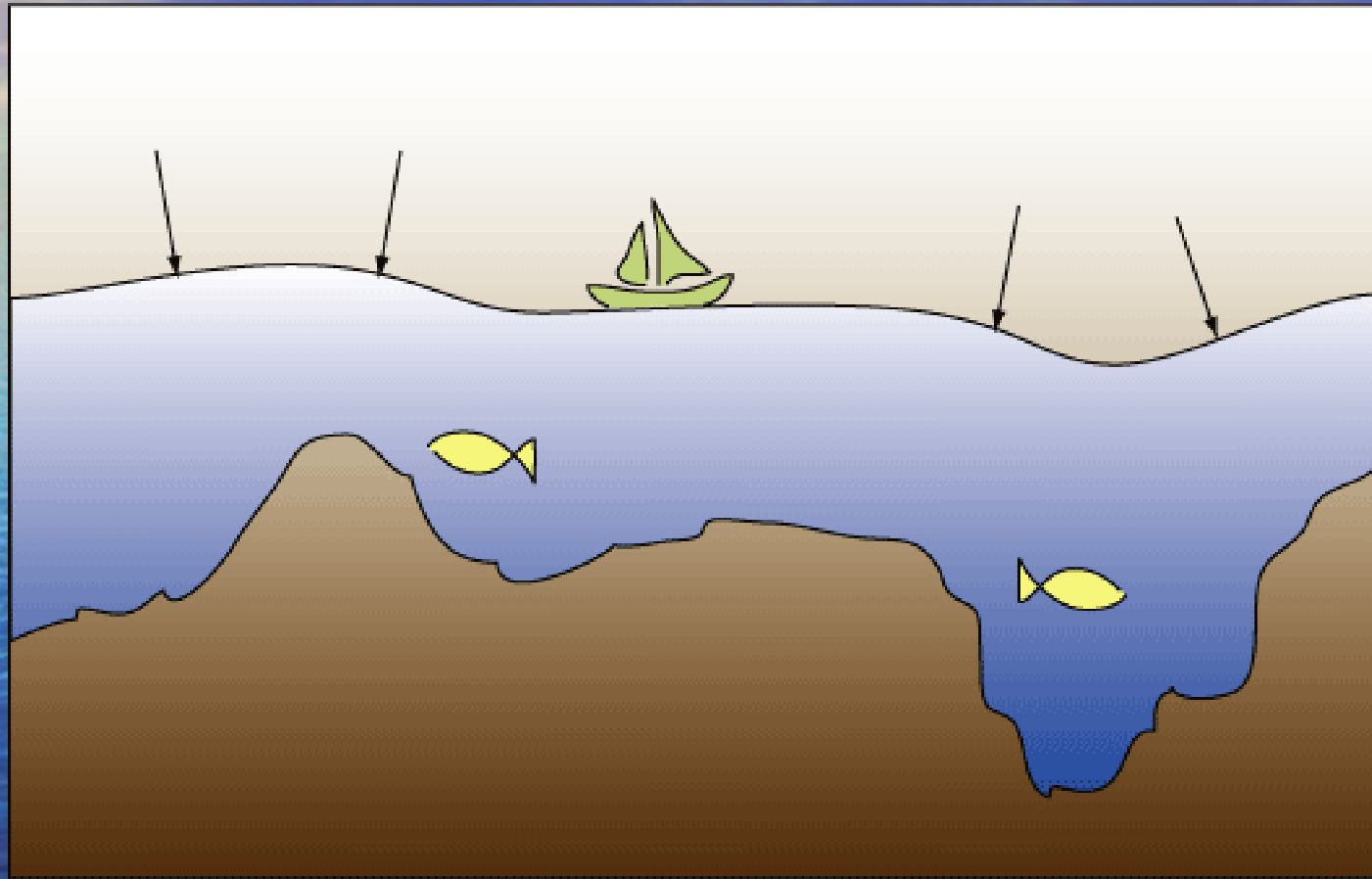
CLS01 Hernandez & Schaeffer 2001



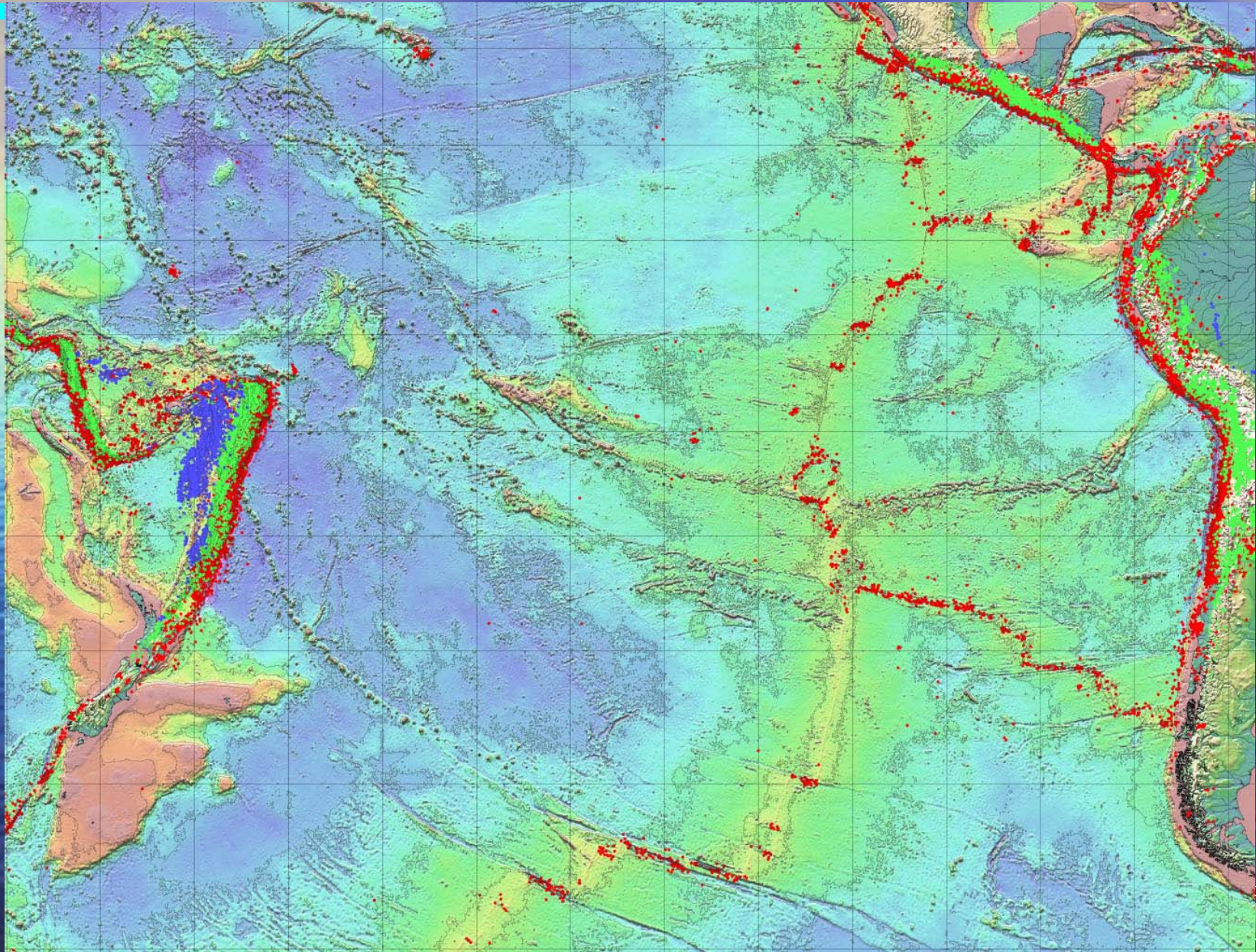
Mittlere Meeresoberfläche im West Pazifik



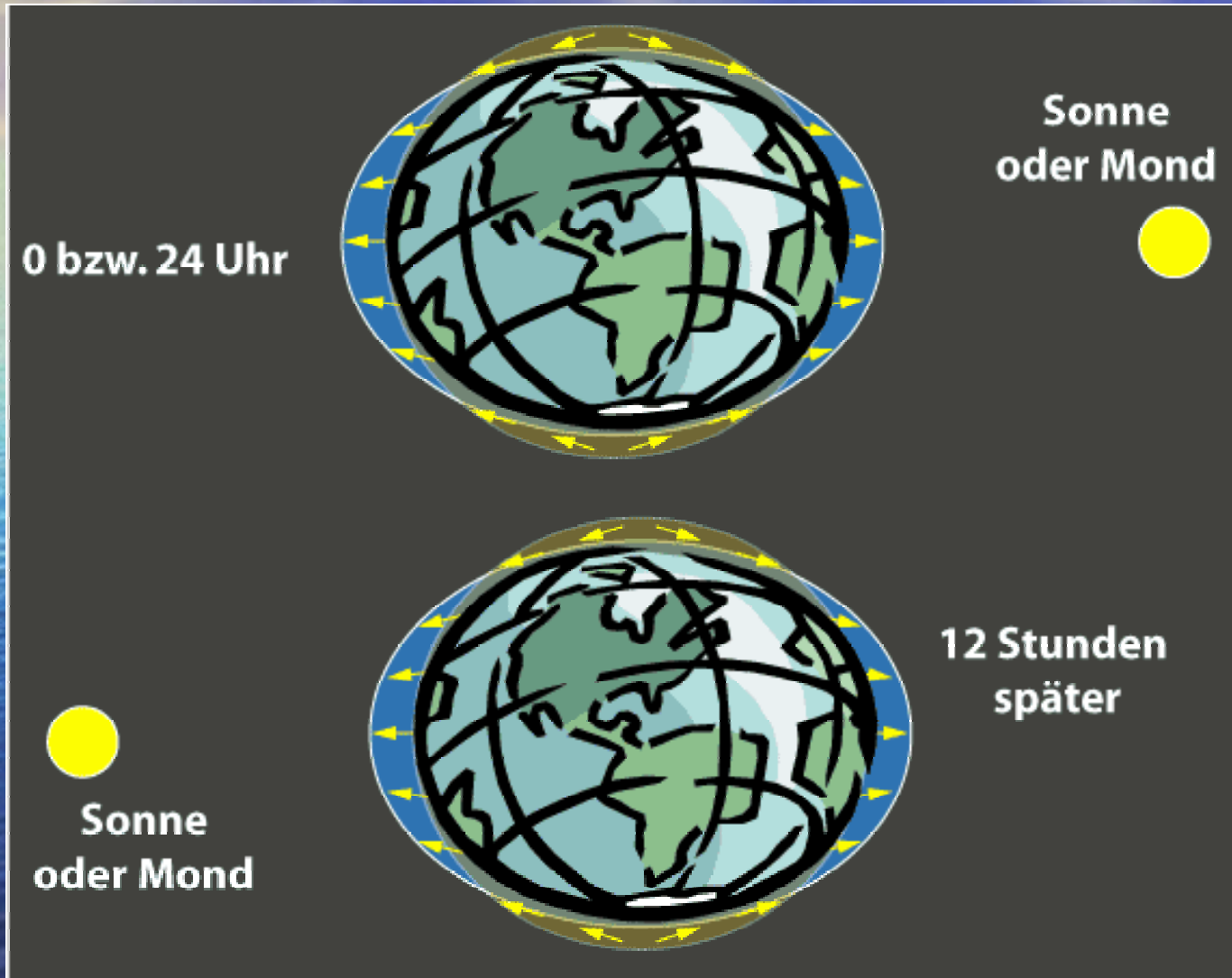
Der Meeresspiegel – geglättetes Abbild des Meeresbodens



Meeresboden im Süd-Pazifik (Sandwell & Smith)



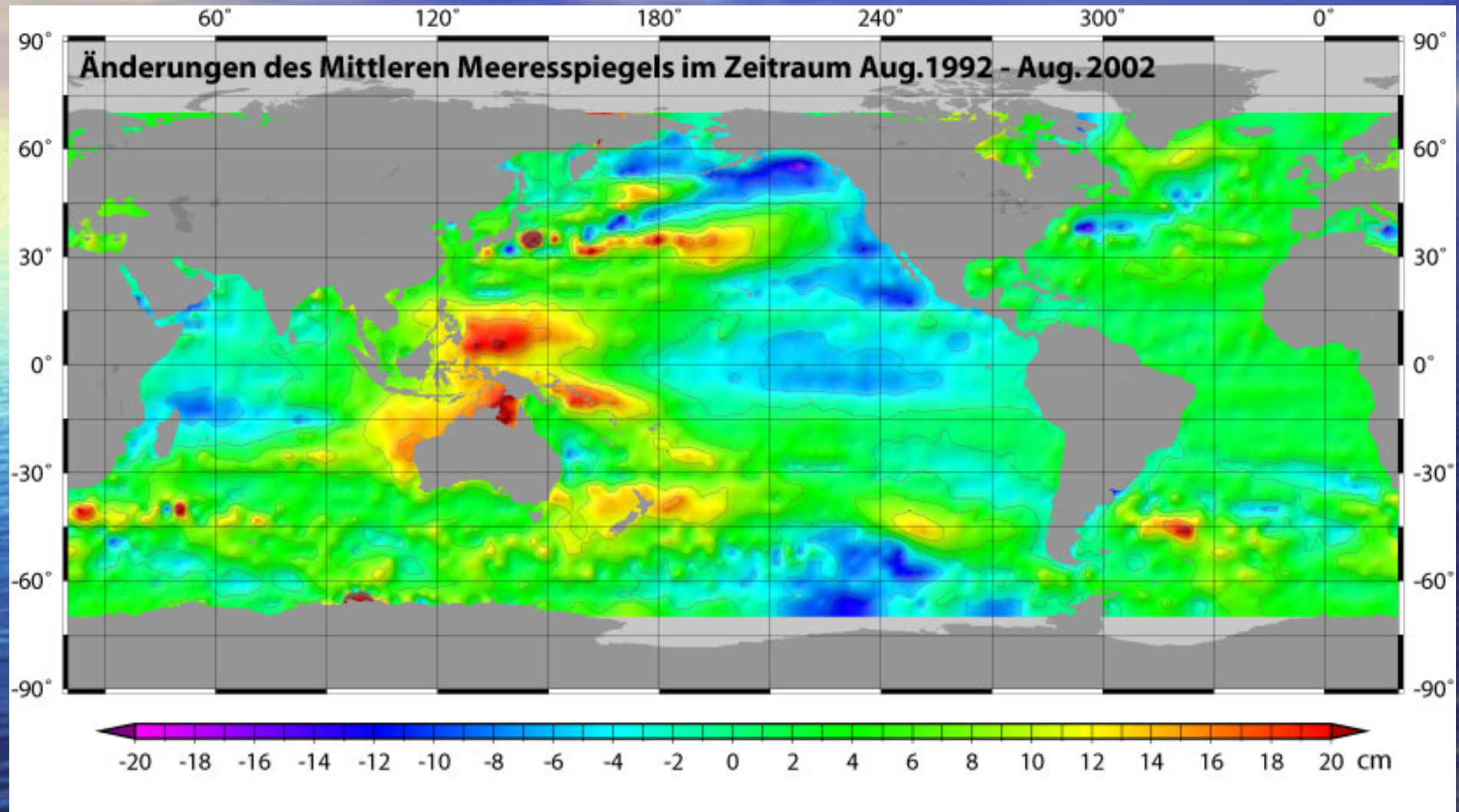
Gezeiten



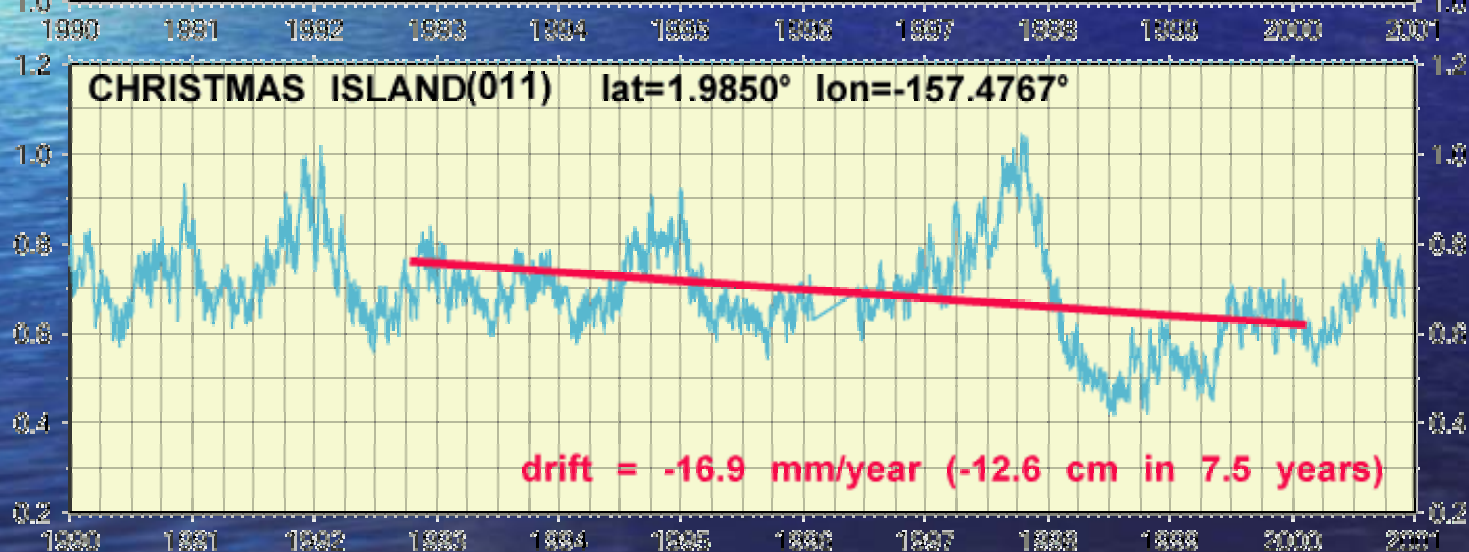
Gezeitenkorrekturen

- Die Stellungen von Sonne und Mond können sehr genau berechnet werden
- Auf dem offenen Ozean kann man den Gezeitenhub recht genau bestimmen
- Der Gezeitenhub wird „rausgerechnet“, damit Altimetermessungen zu verschiedenen Zeitpunkt miteinander verglichen werden können

Durchschnittliche Änderungen des Mittleren Meeresspiegels in einem Jahrzehnt (cm)



Pegel bestätigen Altimetrie



Mean seasonal sea level variation (mm)

60°

120°

180°

240°

300°

360°

JAN 01

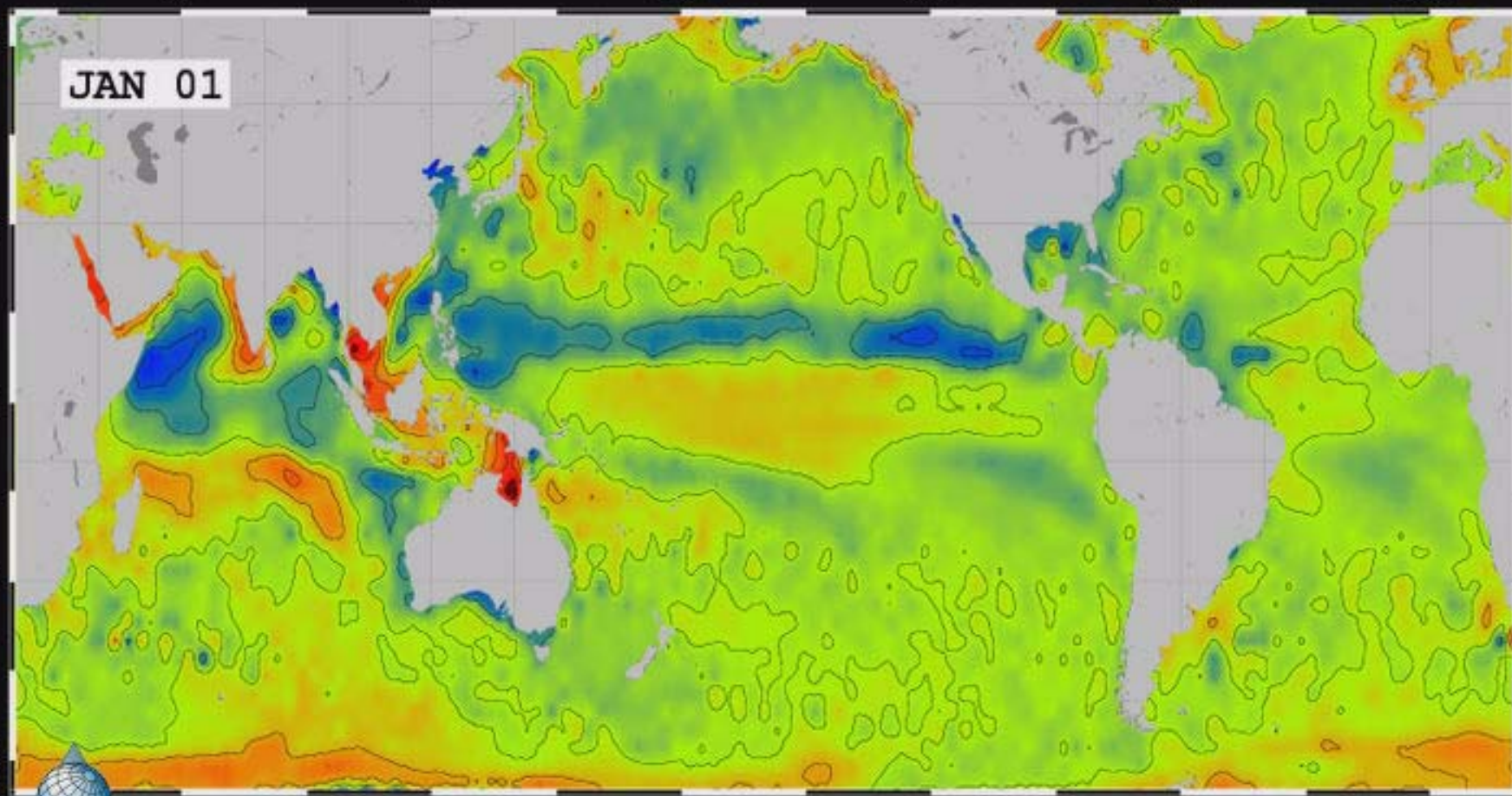
60°

30°

0°

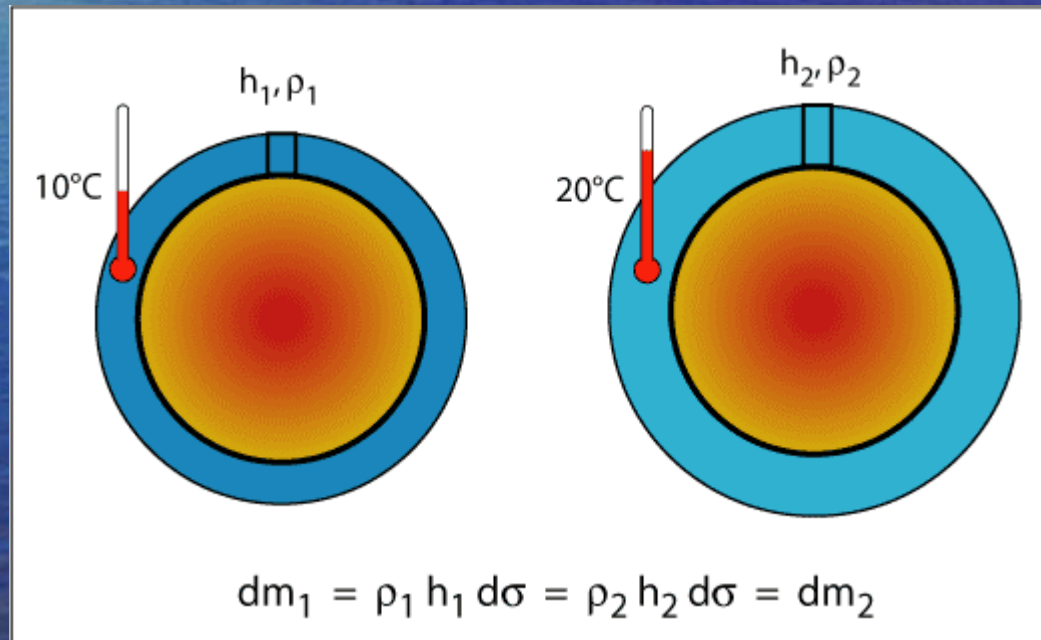
-30°

-60°



Jahreszeitliche Schwankungen

- ... sind zum größten Teil durch die unterschiedlich starke Sonneneinstrahlung auf Nord- und Südhalbkugel verursacht
- ... erwärmt die obersten Wasserschichten, die sich dann ausdehnen – ohne das sich die Wassermasse ändert



Residual sea level variations (mm)

seasonal periodicity and secular drift removed

60°

120°

180°

240°

300°

360°

60°

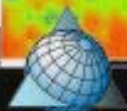
1992 SEP 24

30°

0°

-30°

-60°



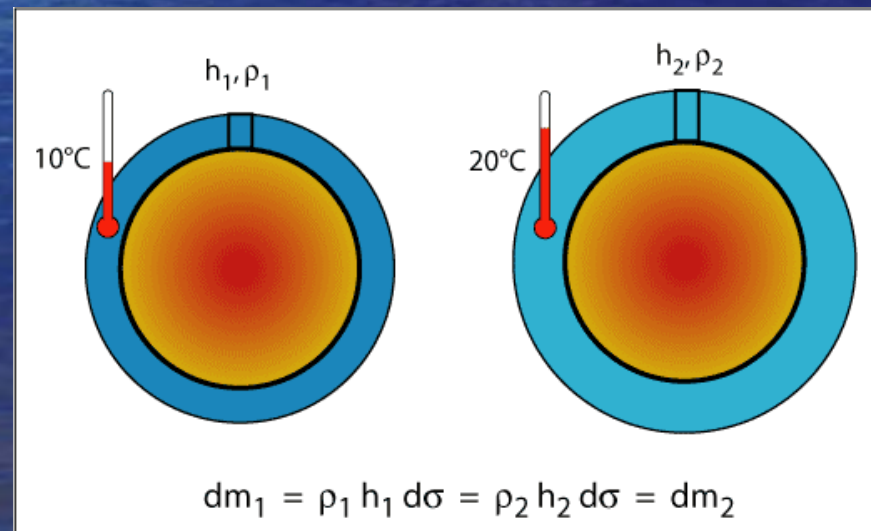
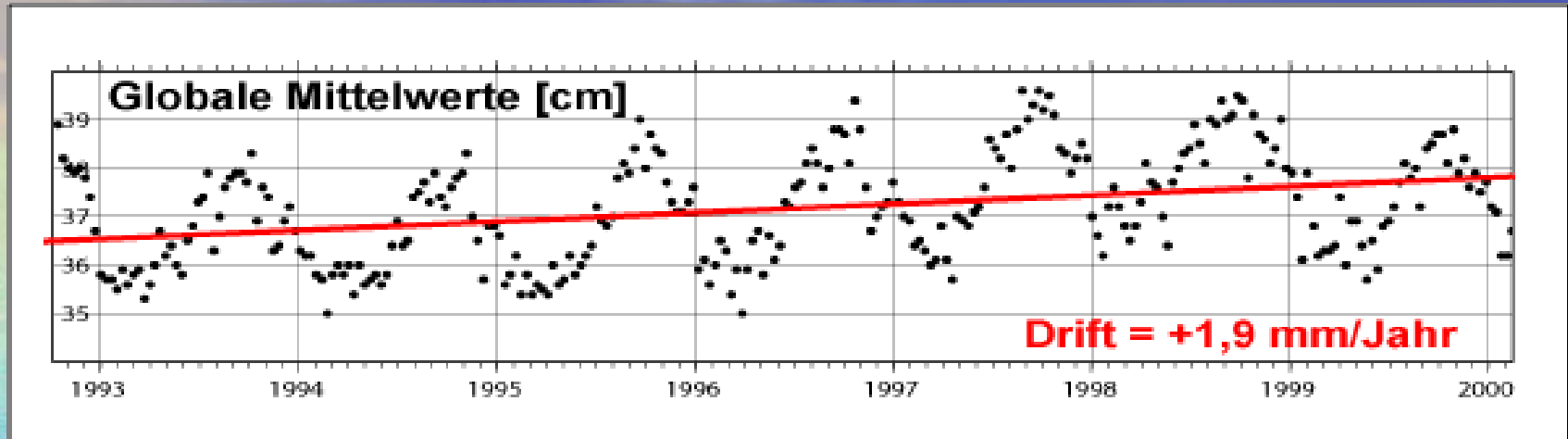
DGFI



*Surface Flow
of
the Kuroshio and Kuroshio Extension
for
1992 — 2001*
*derived from
satellite altimeter and surface drifter data*

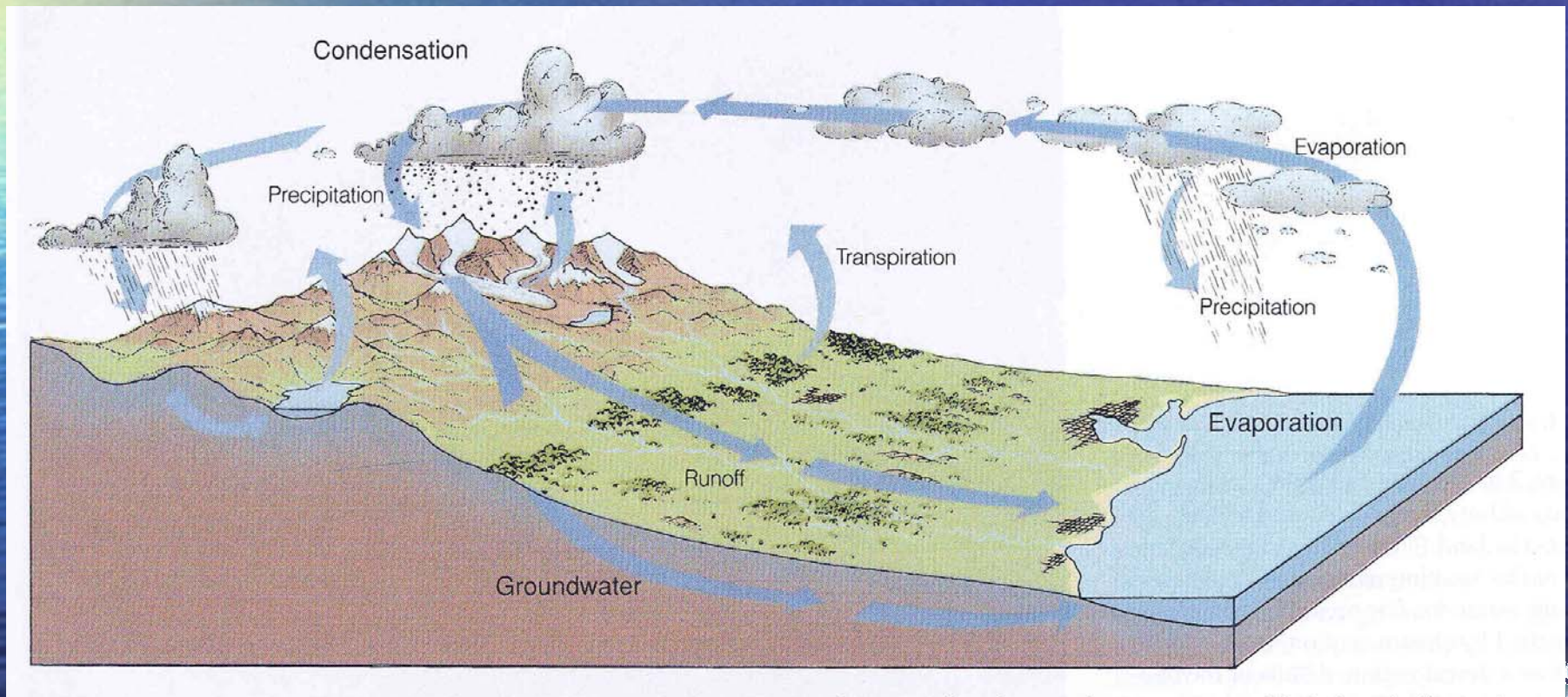
Shiro Imawaki (RIAM, Kyushu Univ., Japan)
Hiroshi Uchida (JAMSTEC, Japan)
Daisuke Ambe (ESST, Kyushu Univ., Japan)

Globale Mittelwerte der Meereshöhen in zeitliche Entwicklung



Globaler Wasserkreislauf

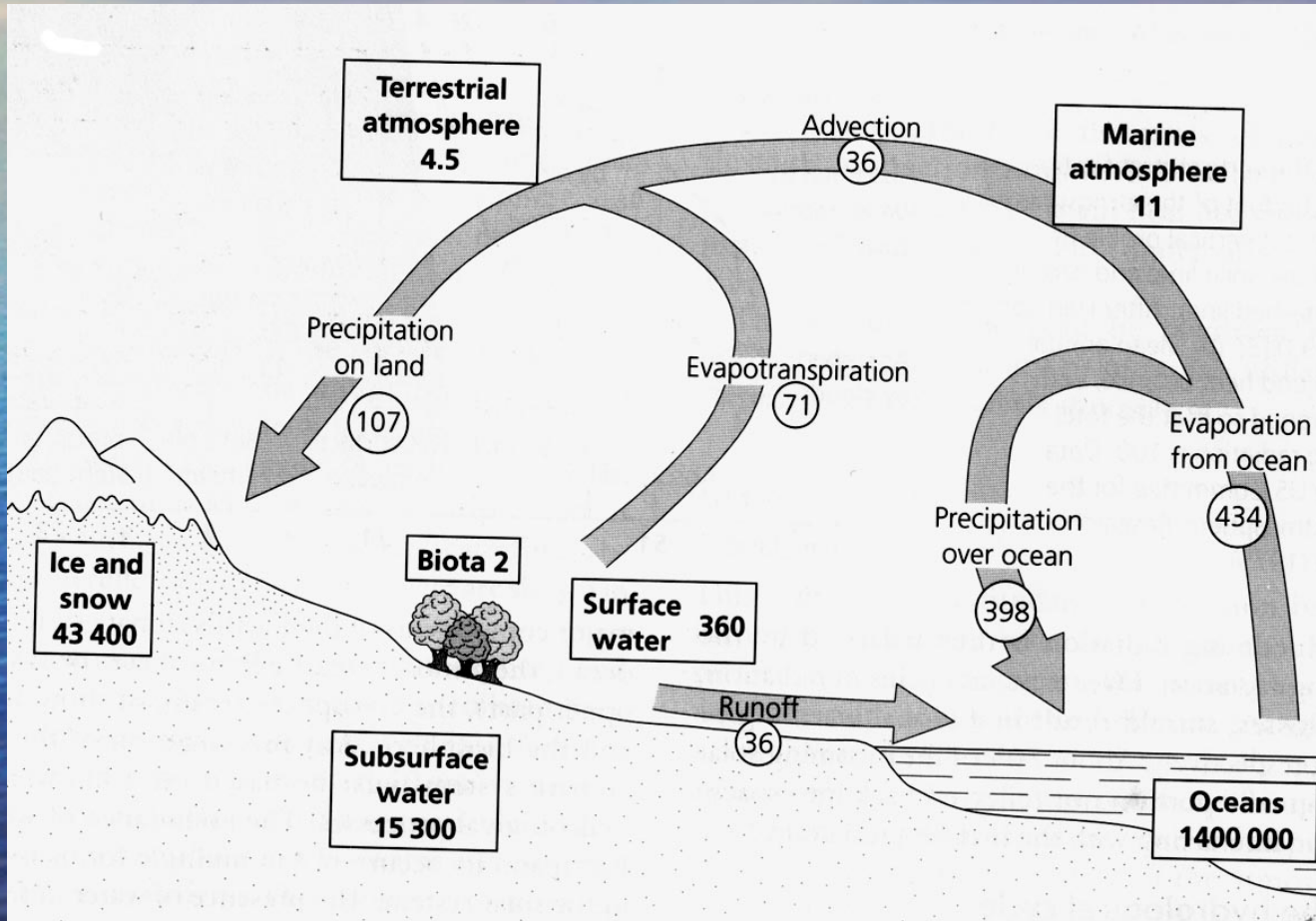
- Qualitative Darstellung



Globaler Wasserkreislauf

aus: Allen (1997) Earth surface processes

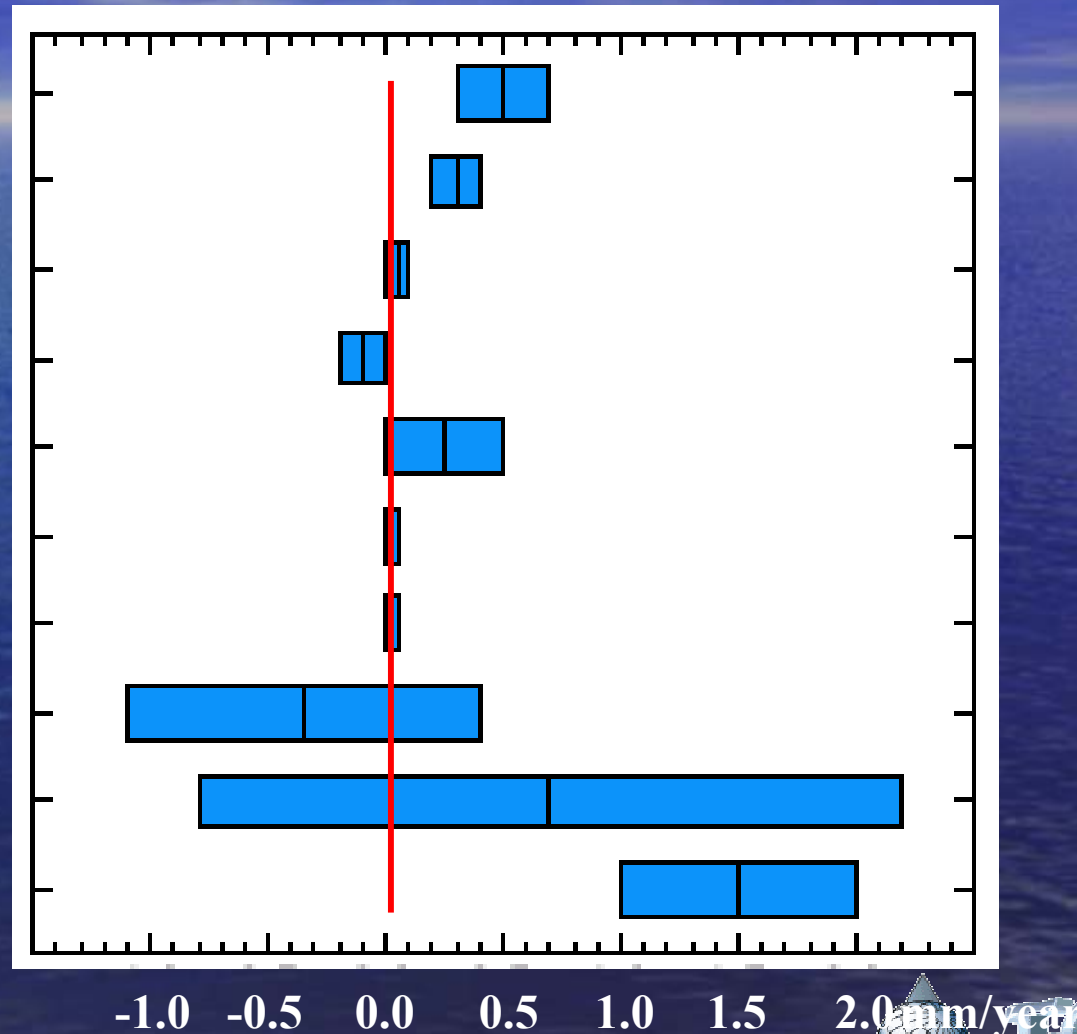
- Quantitativ (Speicher in 10^{15} kg, Transport 10^{15} kg/y)



Meeresspiegelanstieg, Ursachen & Unsicherheiten

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2001

Thermal expansion
Glaciers
Groenland (present)
Antarctic (present)
Ice sheets (long term)
Permafrost
Sedimentary deposits
Continental waters
TOTAL
OBSERVATIONS



Satelliten messen Schwerestörungen

Niedrig fliegend,
mit extrem
genauen
Messsystemen



GRACE Satellitenpaar

Zielsetzung:

- zeitliche Schwerefeld-Änderungen
- Atmosphären-Messung

Start: 03/2002 Dauer: 5 Jahre

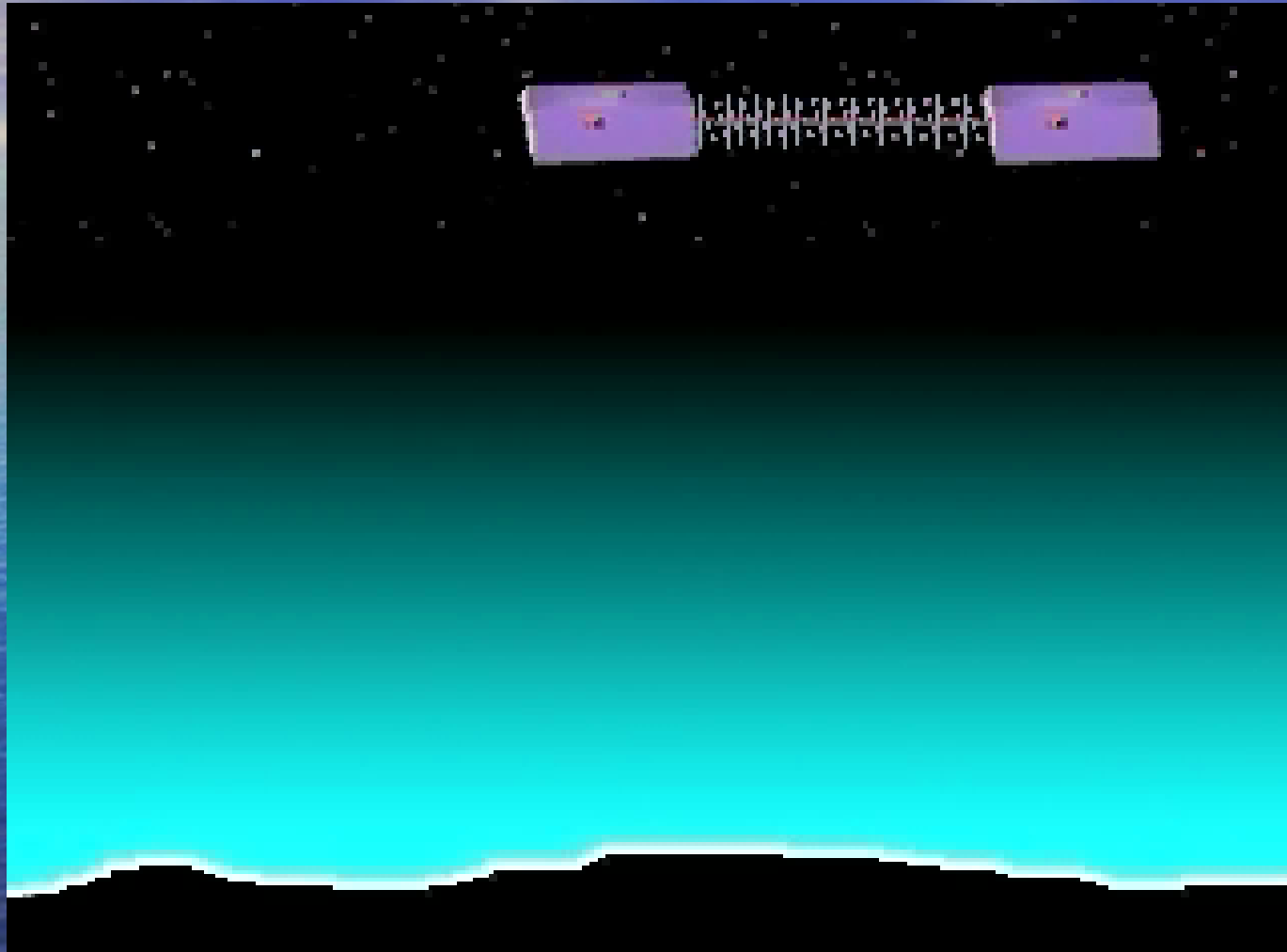
Bahnkennzeichen:

- polar ($i=89^\circ$)
- kreisförmig
- sinkende Flughöhe
- 500 – 300 km

Bahnbestimmung:

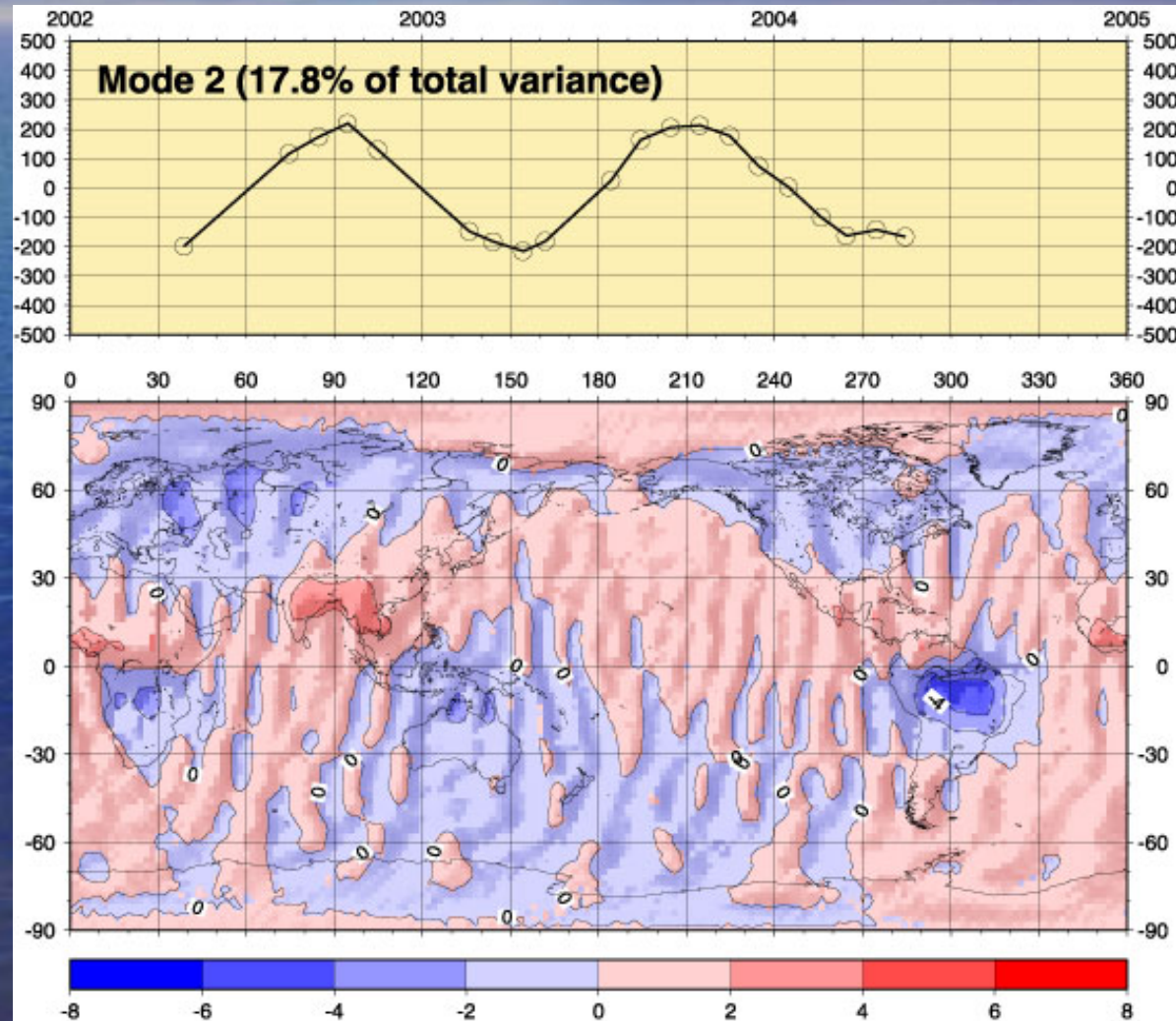
- GPS (satellite-to-satellite high-low)
- Laser Entfernungsmessung
- Akzelerometer
- K-Band-Link (satellite-to-satellite low-low)

GRACE Messprinzip

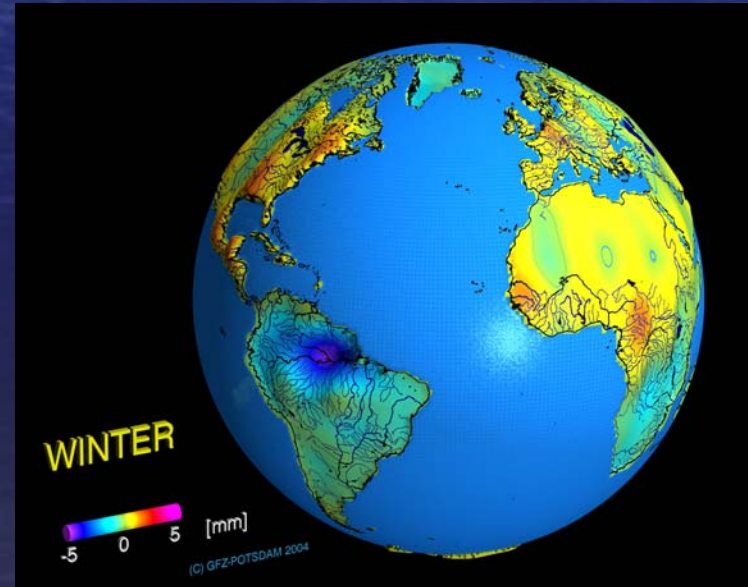
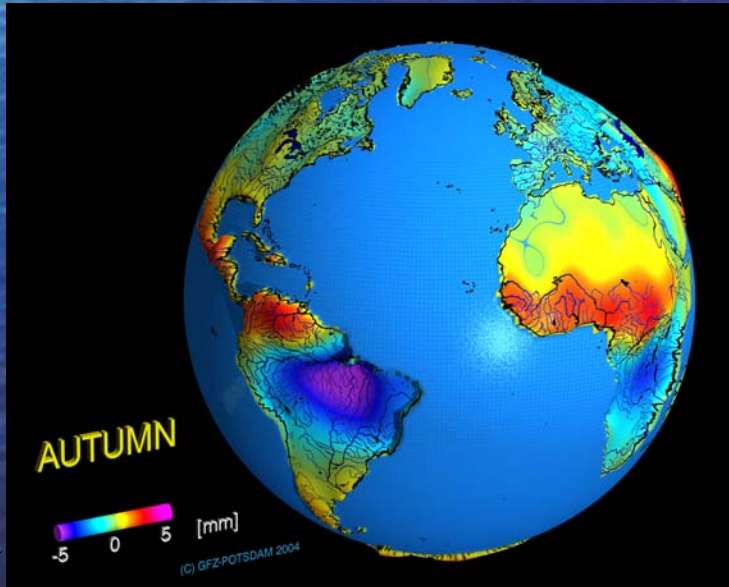
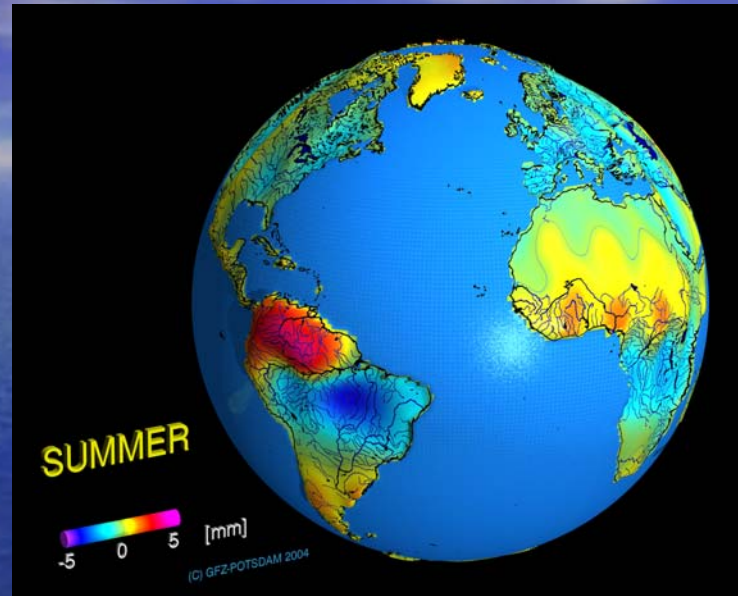
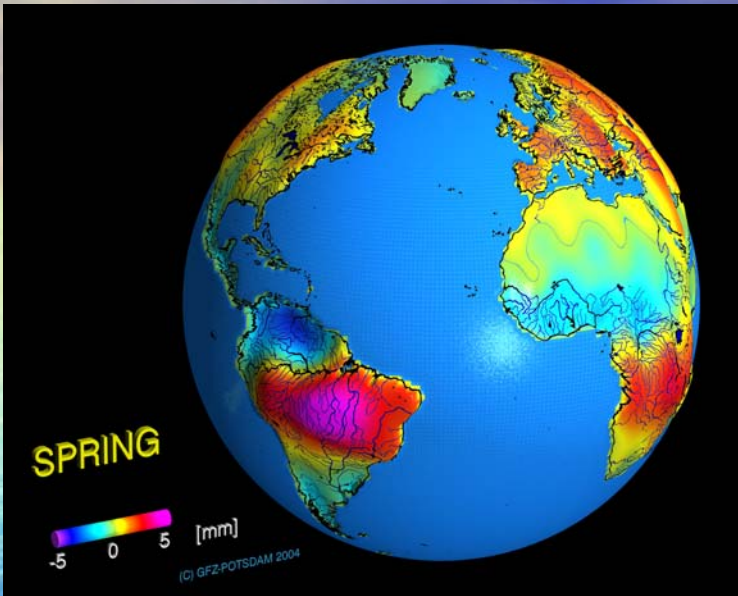


Erste GRACE Ergebnisse

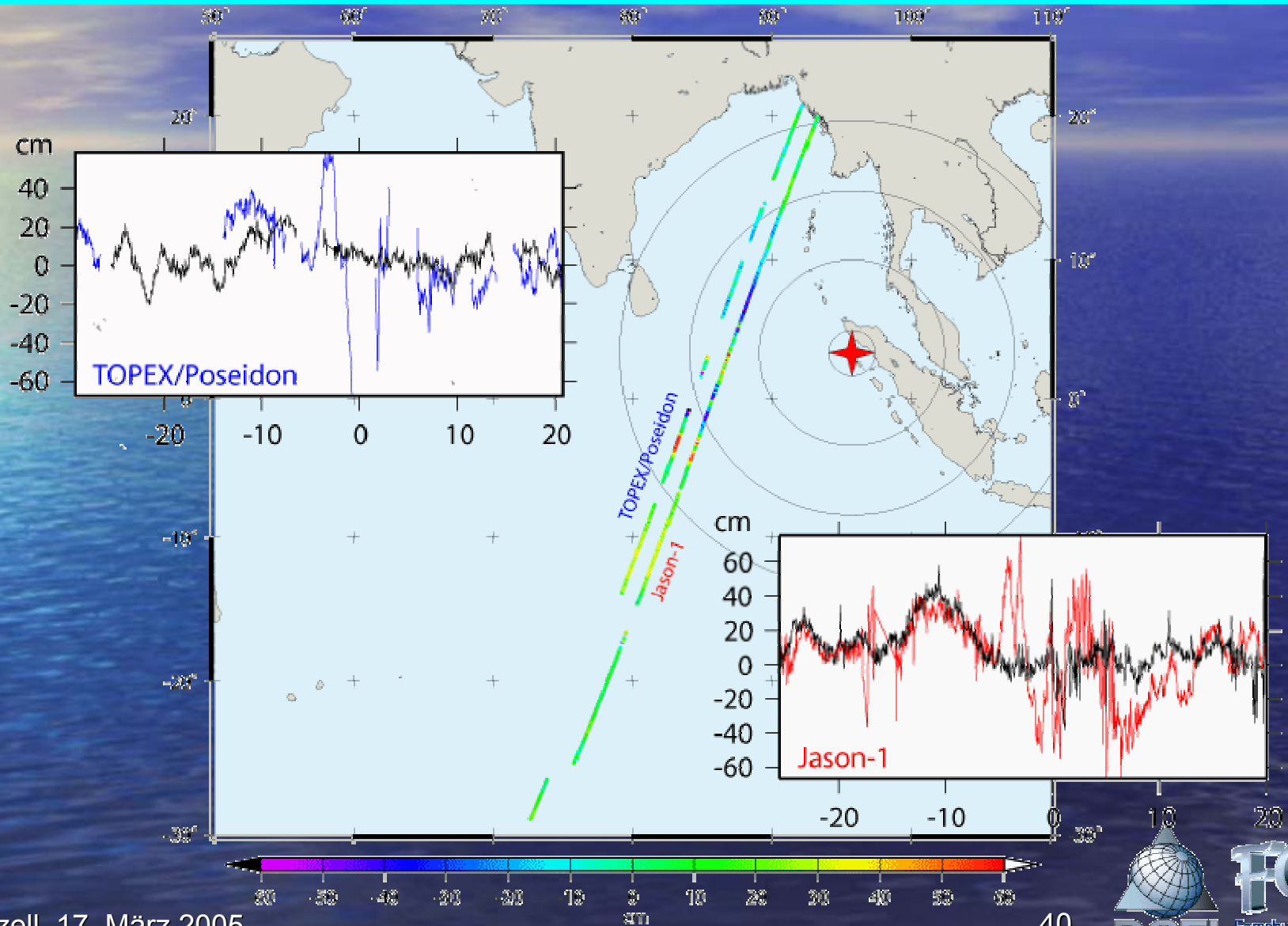
- Dominante Variationen (aus zwei Jahren)



Jahreszyklus kontinentaler Hydrologie



Tsunami vom 26. Dezember 2004



Tsunami-Warnung mit Altimetrie ?

- Tsunamis wandern mit ca. 720km/h (bzw. 200m/sec)
- Wellenlänge $\sim 200 - 400$ km
- Altimetersatelliten fliegen mit ca. 7km/sec über Grund
- Abstand benachbarter Bodenspuren ~ 300 km, von zeitlich aufeinander folgende Bodenspuren mehrere 1000 km
- Einzelne Altimetersatelliten ermöglichen nur eine unzureichende Überwachung
- Die gemessene Höhe der Welle kann evtl. eine berechnete Vorhersage der Welle skalieren.

Das Wichtigste ...

- Der mittlere Meeresspiegel ist natürliche Bezugsfläche für Höhen
- Die Geometrie der Meeresoberfläche ist geprägt von Massenunregelmäßigkeiten im Erdinneren.
- Die Meeresoberfläche variiert langperiodisch, jahreszeitlich und kurzfristig
- Der Anstieg der Meeresoberfläche als Teil des globalen Wasserkreislaufs ist messbar

Geodäsie

- ... ist zwar nicht immer willkommen, aber
- schafft Grundlagen für ein besseres Verständnis der dynamischen Vorgänge auf unsere Erde.
- Danke fürs Zuhören!

