



Der Meeresspiegel im globalen Wandel

Präzise Kalibration von Satellitenaltimetern

Walter Hausleitner

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Institut für Weltraumforschung

■ Veränderungsprozesse im System Erde

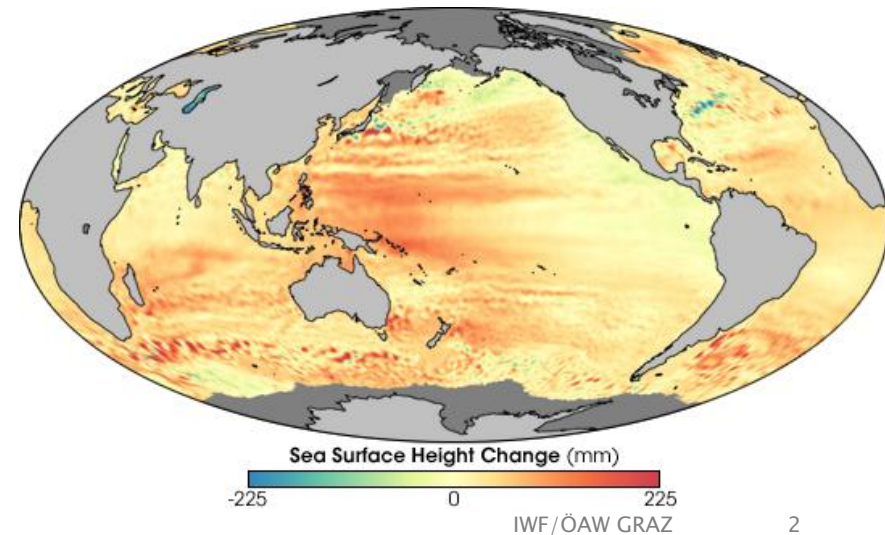
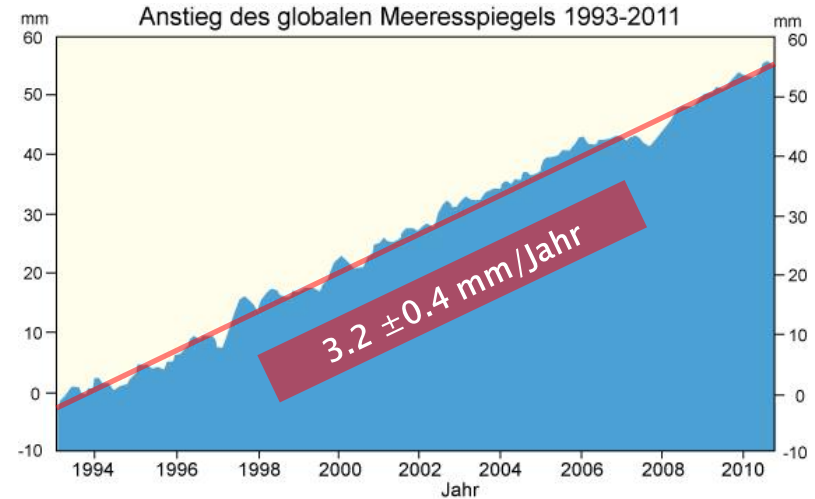
- Globale Erwärmung
 - Thermische Aufheizung
 - Eisabschmelzung

■ Anstiegsraten

- 1.5–2 mm/Jahr (*Douglas, 1997*)
- 3.2 ± 0.4 mm/J. seit 1993
- 0.5–2 m bis 2100

■ Beobachtungsmethoden

- Pegelstationen
- Satellitenmethoden

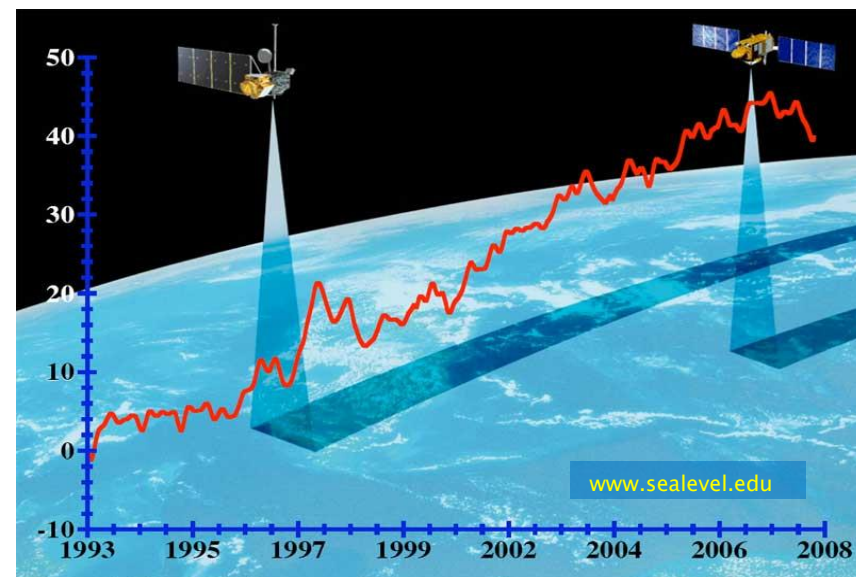
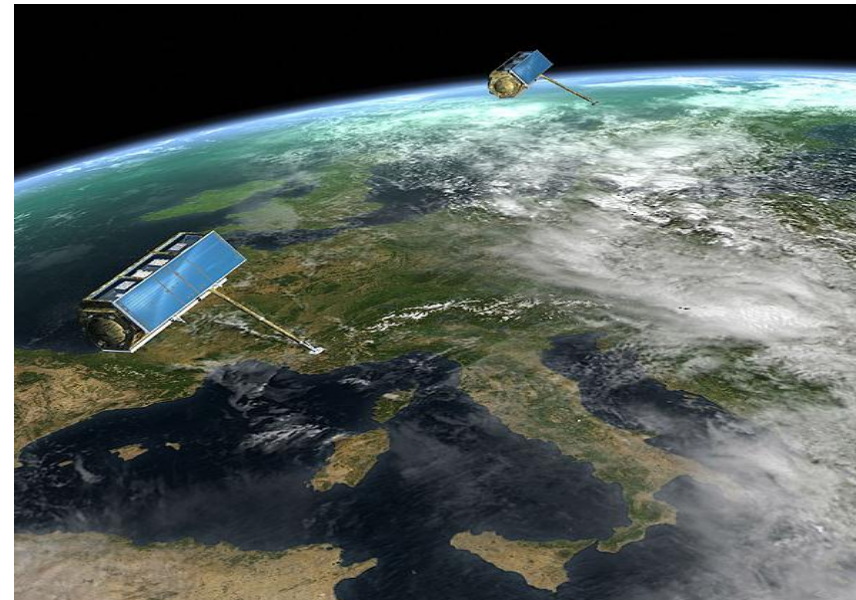


■ Satellitengeodäsie

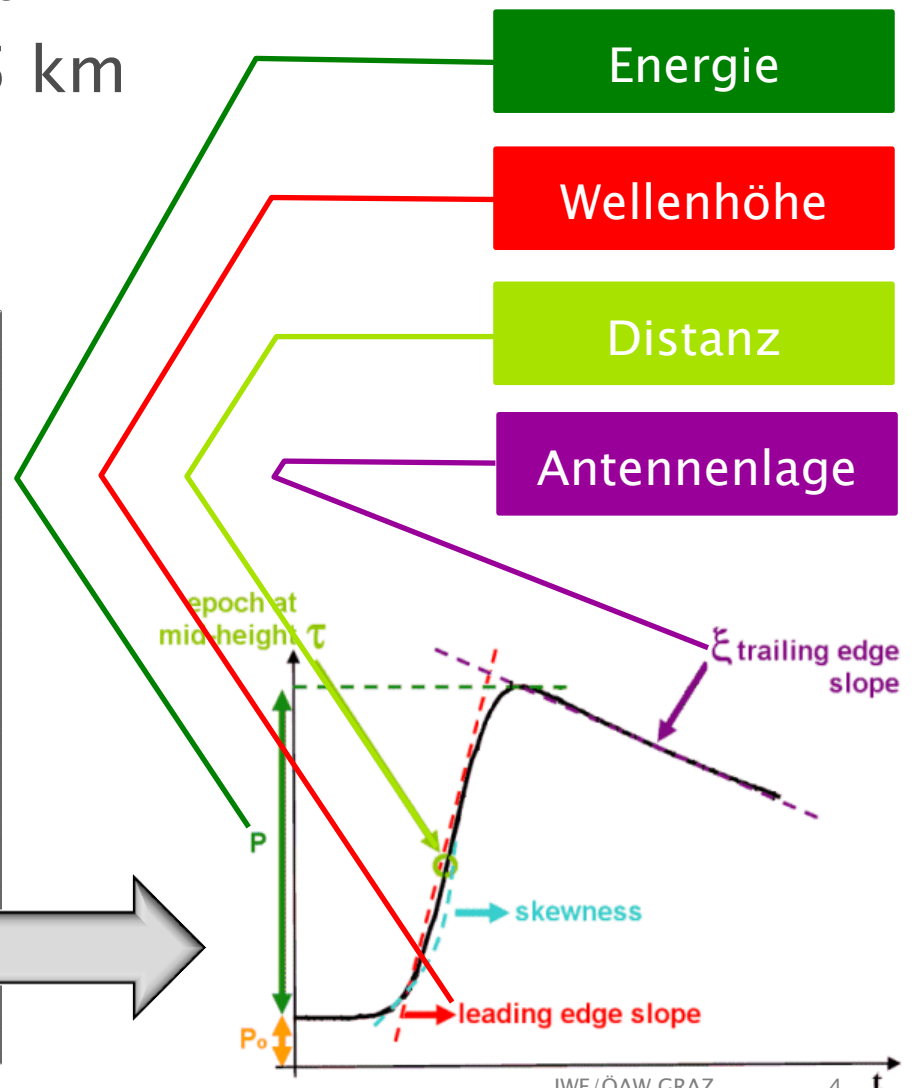
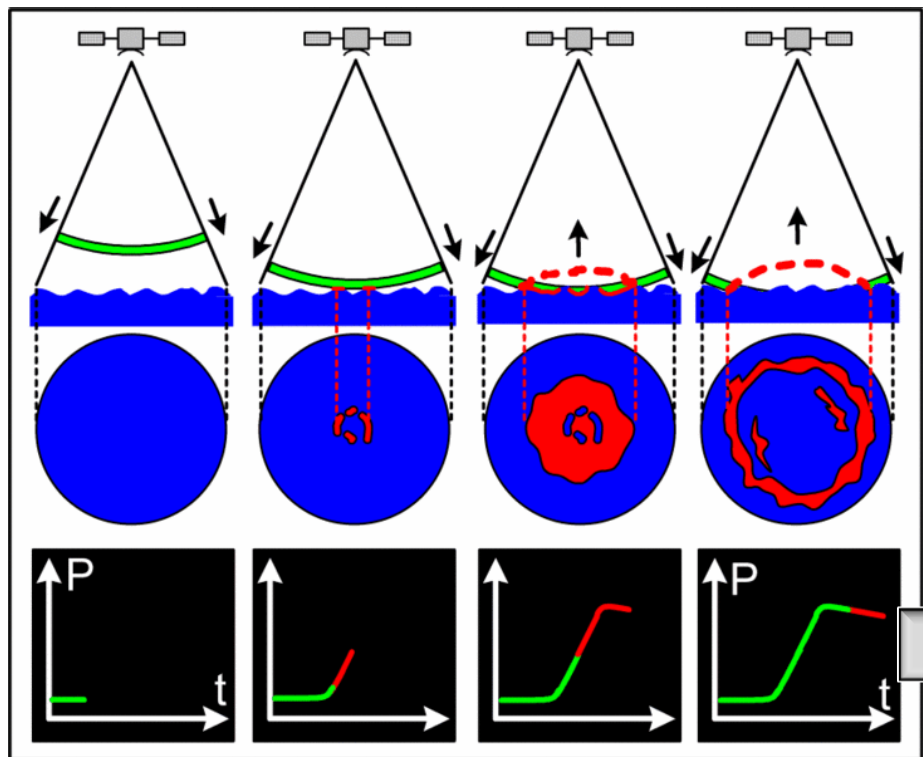
- Erdvermessung mit Satellitenmethoden
 - Geodätische Satelliten
 - Erdbeobachtungssatelliten

■ Satellitenaltimetrie

- Messung der Meereshöhe
 - 2-Weg Radarpulsverfahren
 - Laufzeitmessung (Δt) eines Radarpulses
 - Reflexion an Meeresfläche
 - Distanz $\rho = 1/2 \Delta t c$



- Altimeter-Footprint liefert detailreiche Daten
 - Bahnhöhen: ca. 800–1400 km
 - Footprint-Radius: ca. 1–5 km
 - Pulslänge: ca. 100 μ s
 - Frequenz: ca. 13 GHz

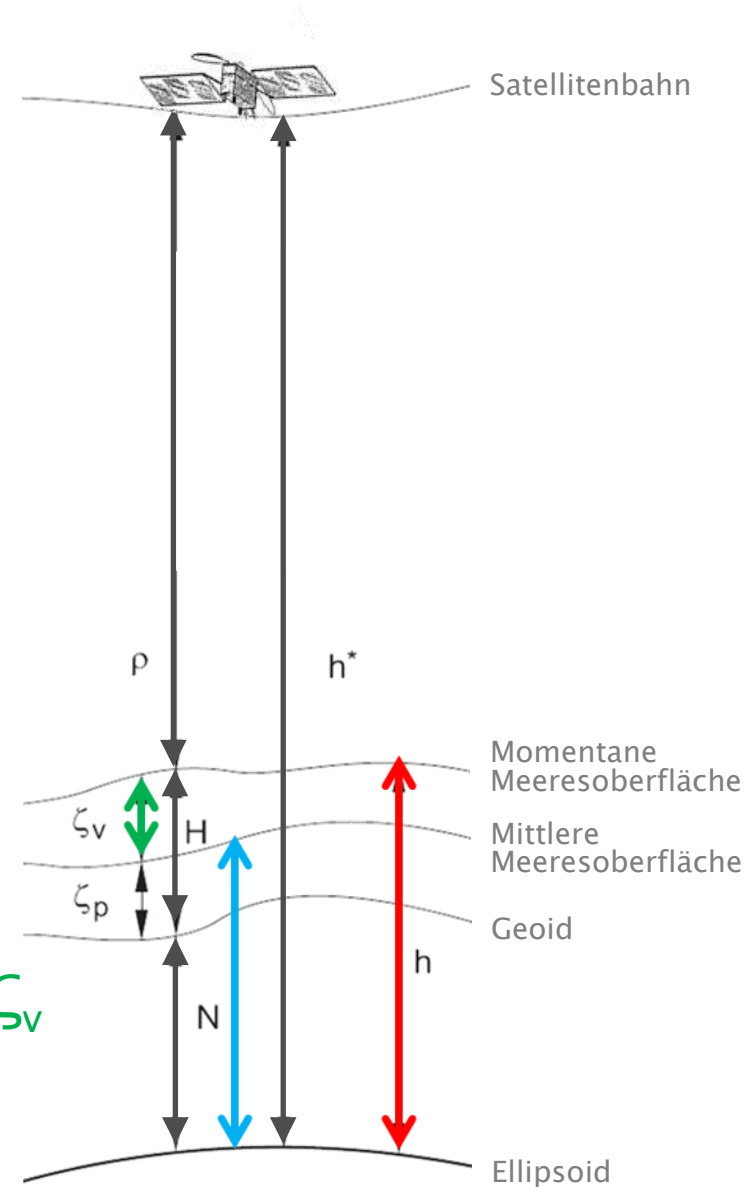


- Altimetermessung und exakter Orbit liefern ellipsoidische Meereshöhe
 - Sea Surface Height: $SSH = h^* - \rho$

▪ Grundgleichung der Satellitaltimetrie

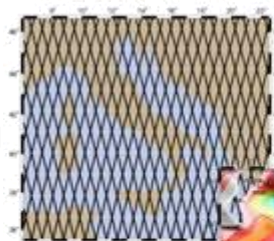
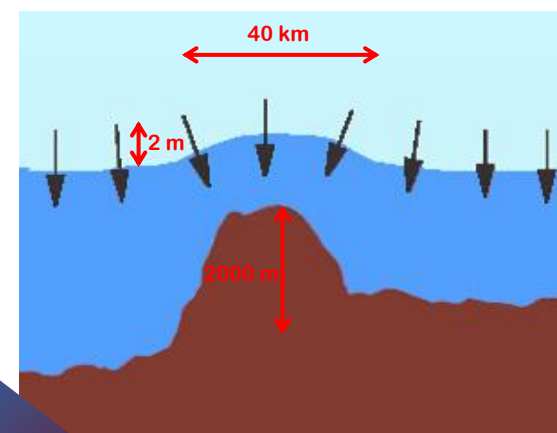
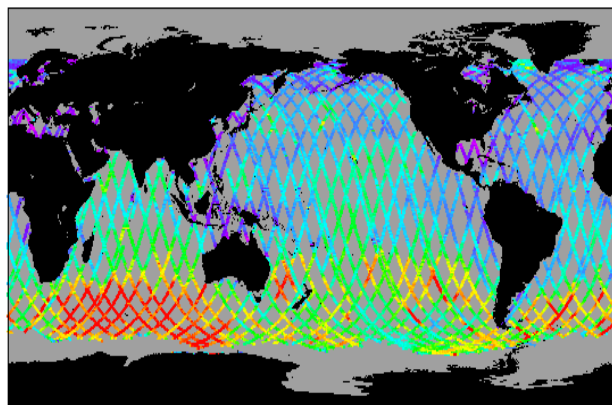
$$h(t) = N + \zeta_p + \zeta_v(t)$$

- Ellipsoidische Meereshöhe, h
- Dynamische Meerestopographie, ζ_v
- Quasi-stationäre Meereshöhe, $N + \zeta_p$

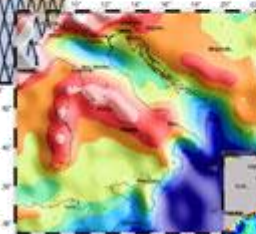


Global verfügbare Meereshöhen sind Basis für ...

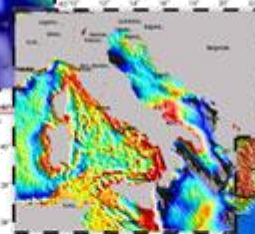
- Geodäsie und Geophysik
 - Geoid
 - Bathymetrie
- Ozeanographie
 - Meeresniveau
 - Ozeanströmungen
- Klimatologie
 - El Nino
- Glaziologie
 - Eismassen
- Hydrologie
 - Binnengewässer



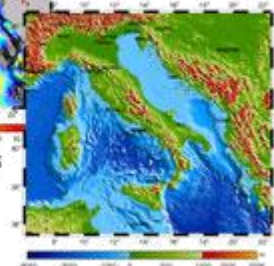
Altimetry



SSH/Geoid



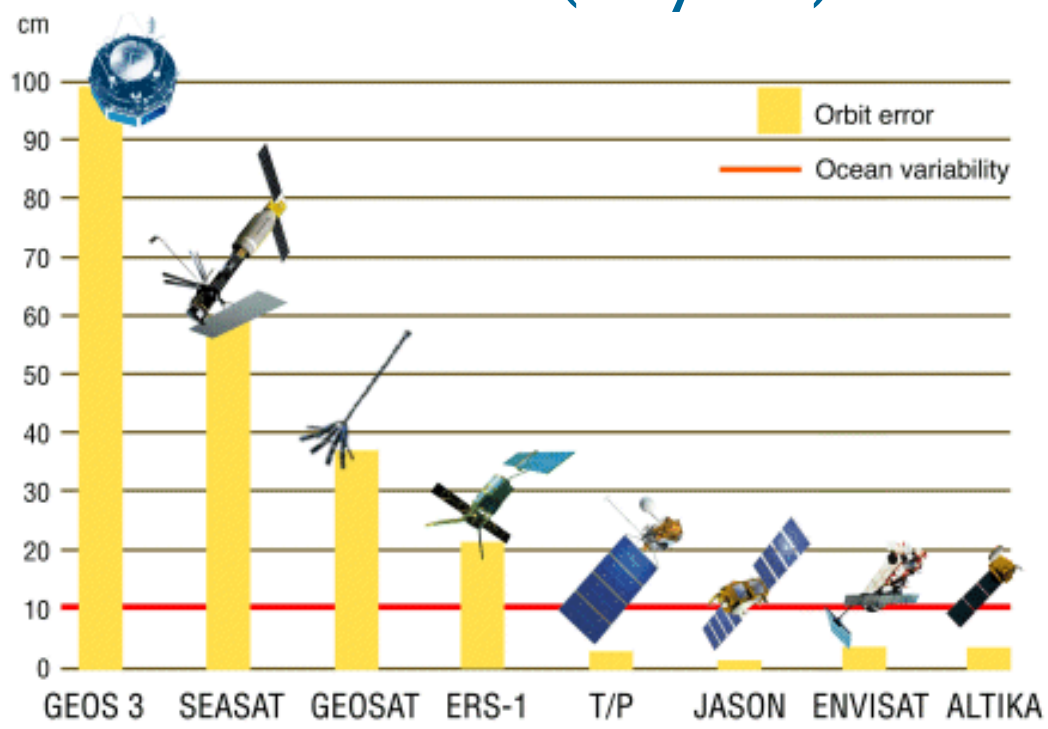
Gravity anomalies



Bathymetry

- 1973: Erstes Altimeter im Weltraum (Skylab)
- Altimetersatelliten

- GEOS-3 (1974)
- Seasat (1978)
- Geosat (1985)
- ERS (1991)
- Topex/P (1992)
- Jason-1 (2001)
- Envisat (2002)
- Cryosat-2 (2006)
- Jason-2 (2008)
- HY-2A (2011)

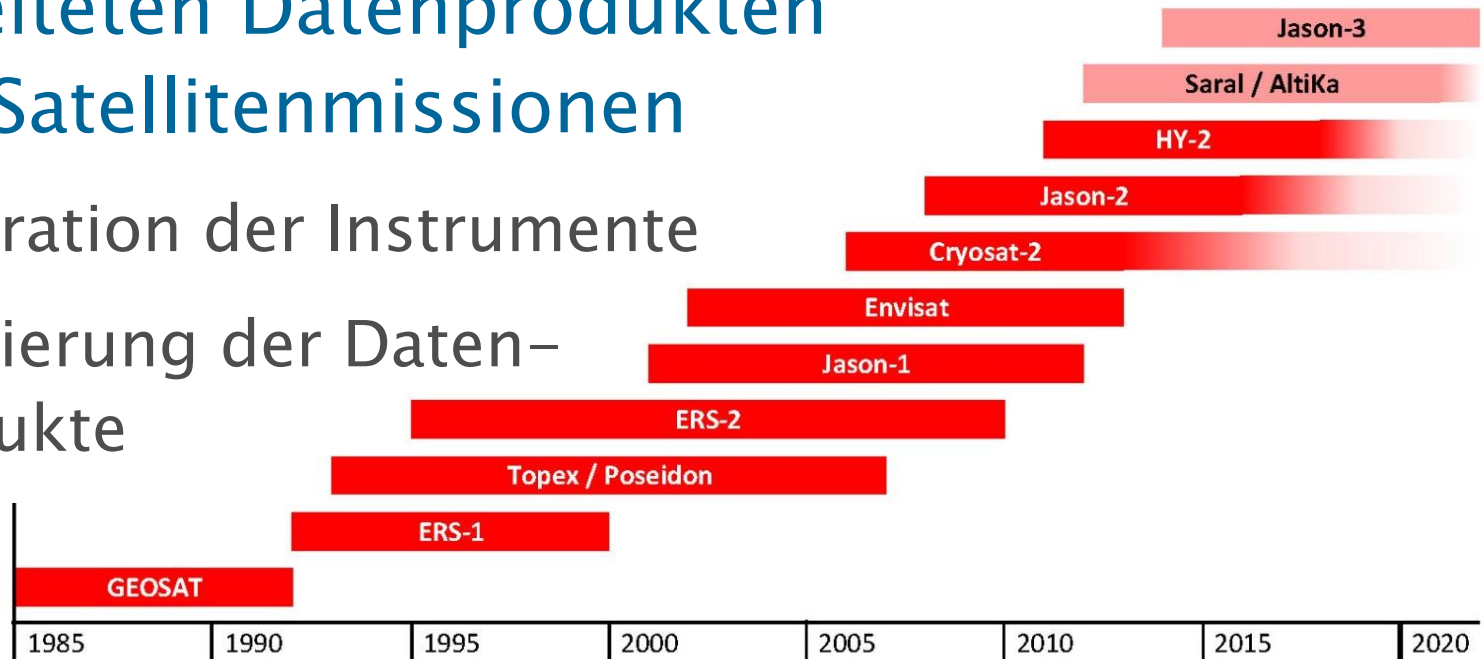


▪ Künftige Missionen

- Saral/AltiKa (2012)
- Jason-3 (2014)
- HY-2x (2011-2019)

- Wissenschaftliche Schlüsse nur auf Basis von ...
 - Präzisen Altimetermessungen
 - Langen Beobachtungszeitreihen
- Verknüpfung von Messungen und daraus abgeleiteten Datenprodukten vieler Satellitenmissionen

- Kalibration der Instrumente
- Validierung der Datenprodukte



▪ Dedizierte Cal/Val Stationen

▪ Kalibration der Altimeter und Validierung der Produkte

- Harvest (CA, USA)
- Corsica (FR)
- Bass Strait (AUS)
- Gavdos (GR)

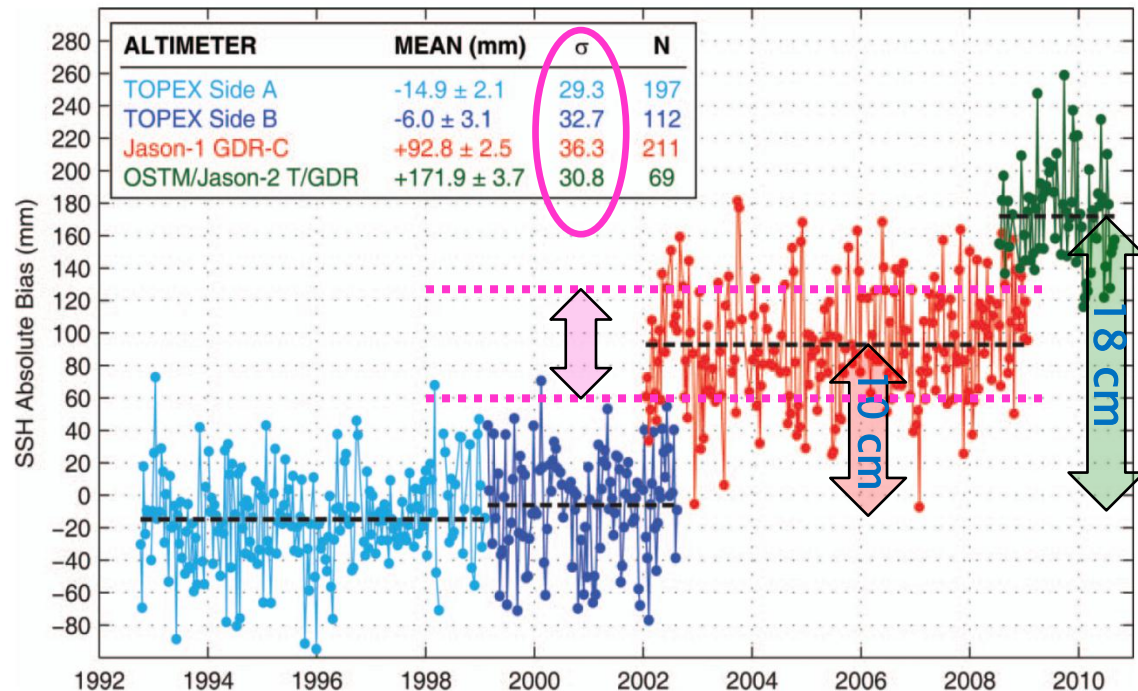
▪ Vergleich von Altimeterdaten zw. Missionen

▪ Instrumentenbias

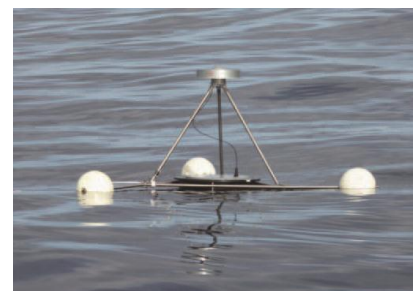
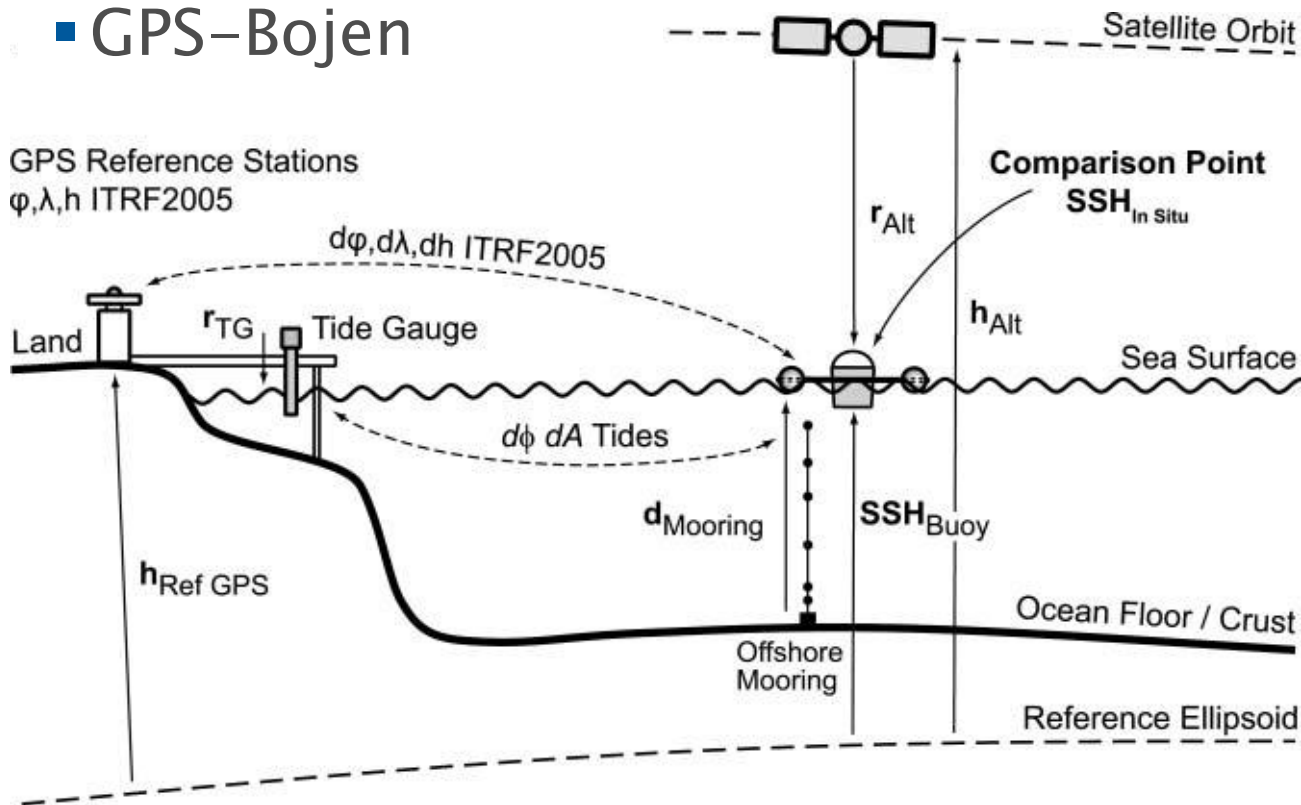
$$SSH_{J_2} - SSH_{T/P} \approx 18 \text{ cm}$$

$$SSH_{J_2} - SSH_{J_1} \approx 8 \text{ cm}$$

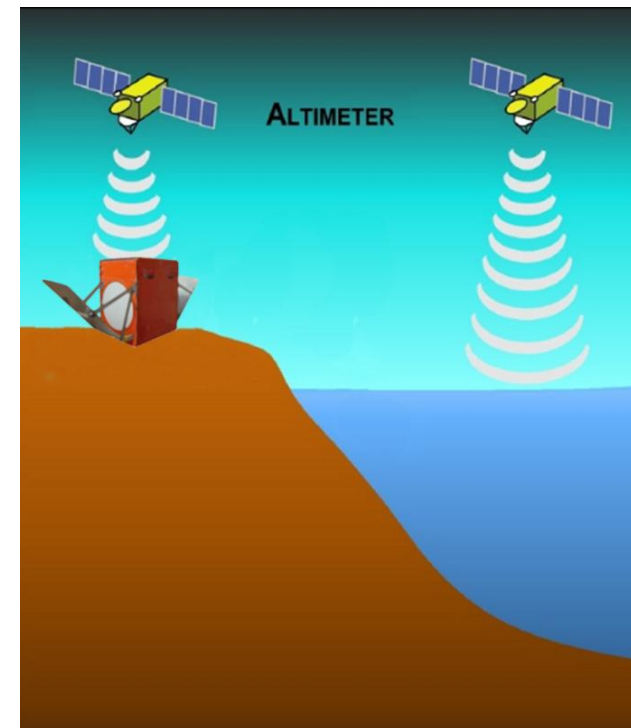
▪ Hohe Streuung



- Vergleich der Meereshöhen aus Satelliten- altimeter- und in-situ gemessenen Daten
 - Gezeitenstationen
 - GPS-Bojen



- **Ku-Band Signal Repeater**
 - Empfängt Satelliten-Radarpulse
 - Frequenz: $13.75 \text{ GHz} \pm 300 \text{ MHz}$
 - Sendet verstärktes Signal zurück
 - Signalverstärkung: 77 dB
 - Simulation der Meeresoberfläche
 - Konstanter Delay
 - Signalverzögerung: 13.24 ns
- **Vorteile**
 - Landmessung
 - Stabile Referenz
 - Keine Ozeandynamik involviert

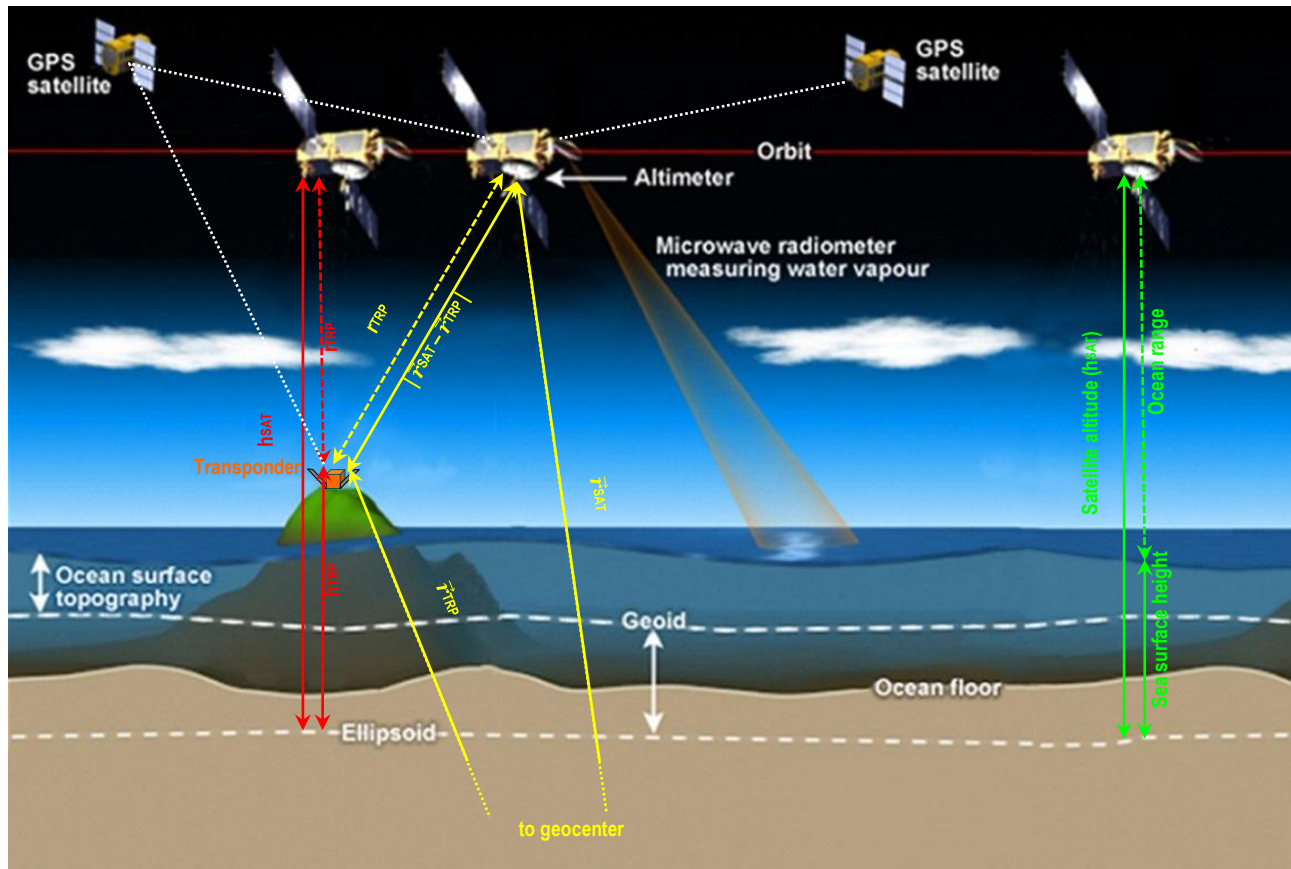


Konventionelle Methode

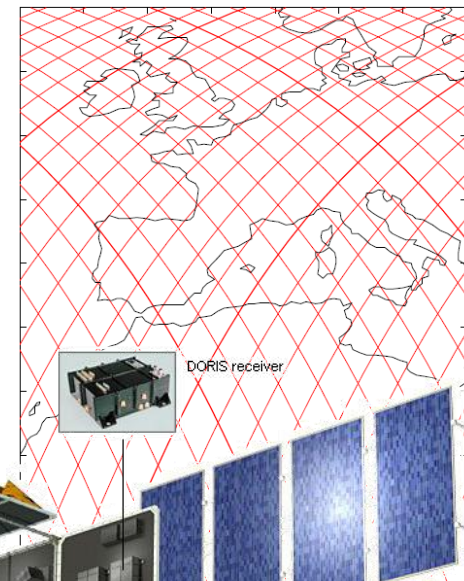
- Messung der Distanz zur Meeresoberfläche in Nadir-Richtung

Transponder-Methode

- Messung der Schrägdistanz zum Transponder



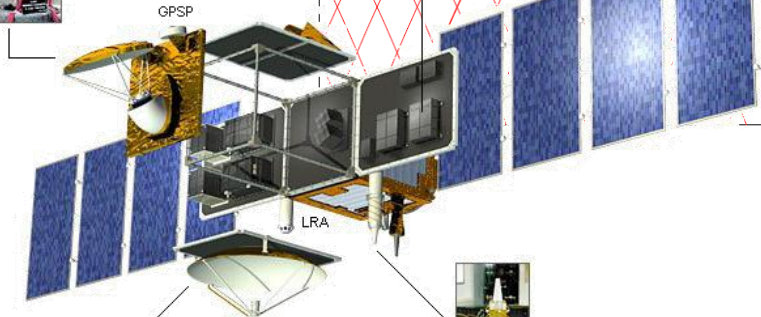
- Betreiber: NASA / CNES
- Orbit
 - Höhe/Inklin.: 1336km/66°
 - 90% Ozeanabdeckung
 - Spurseparation: 315 ± 1 km
- Bordinstrumente
 - Altimeter (Hauptinstrument)
 - AMR, DORIS, GPS, LRA
- Poseidon-3 Altimeter
 - Frequenz: 13.75 GHz
 - Pulsrate: 1800 Hz
 - Pulslänge: 105 μ s



AMR: radiometer



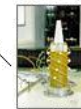
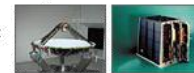
DORIS receiver



GPS

LRA

POSEIDON 3 : altimeter



DORIS



■ Ozean – Return

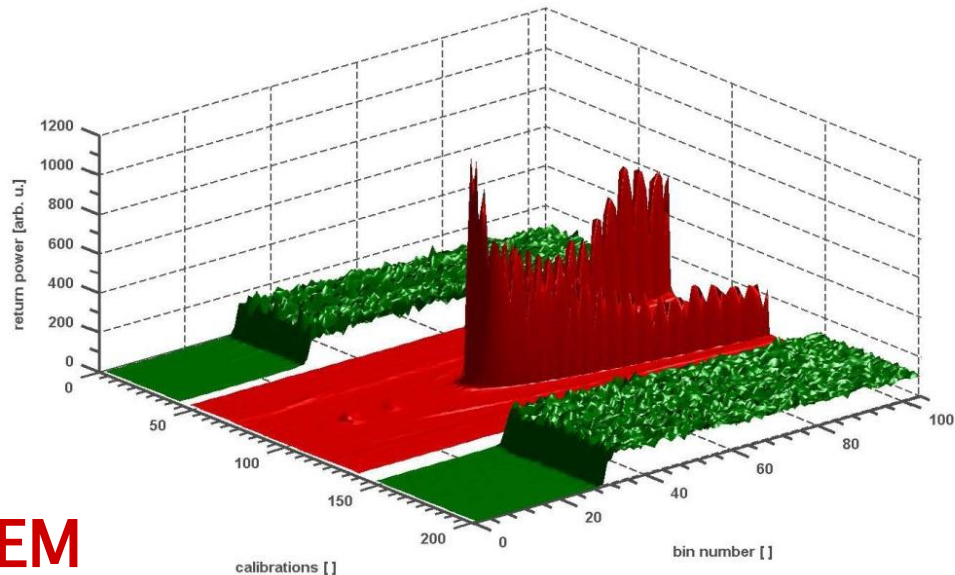
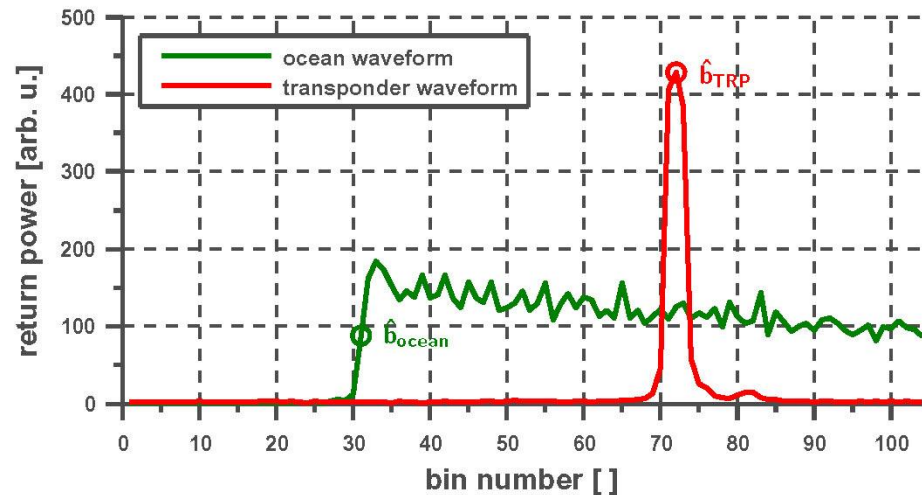
- Regionales Echo
- Referenzhöhe abhängig von Ozeandynamik

■ Transponder – Return

- Lokales Echo
- Präzise Referenzhöhe durch GPS

■ Betriebsmodi:

- Acquisition
- Tracking
- CAL2
- DIODE-DEM

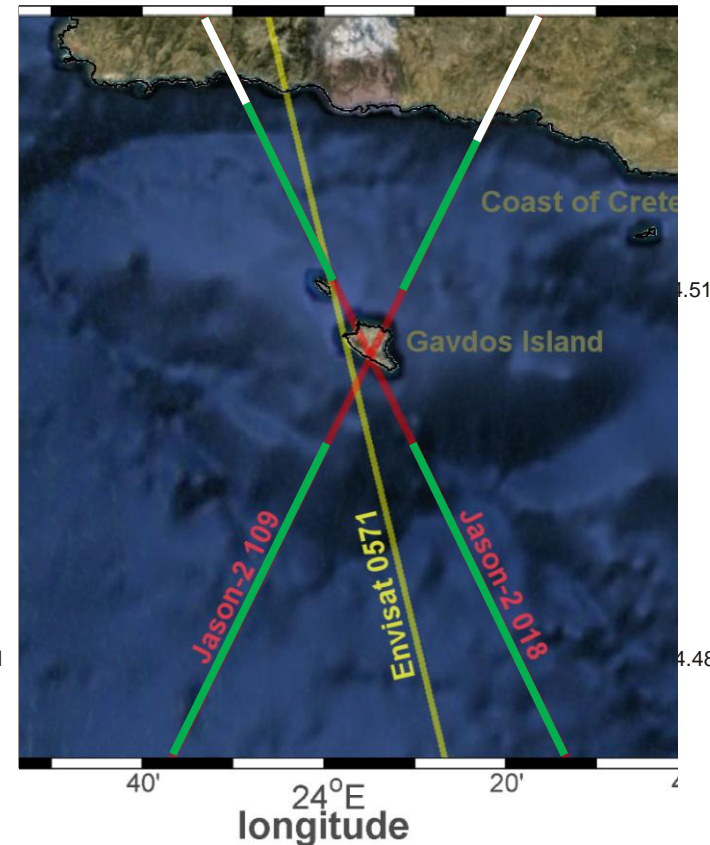


■ Gavdos Station (TU Kreta)

- Lage: 50 km südl. Kreta
- Größe: 33 km²
- Kreuzungspunkt: J2 018D/109A
- Aufgaben:
 - Absolute Altimeterkalibration
 - Regional Geoidbestimmung

■ Instrumentation

- GPS (THIO, KARA)
- Gezeitenstat. (KARA)
- DORIS (THIO)
- Transponder (DIAS)



- TRP Messpunkt
 - Betonplattform mit Schutzgehäuse
 - Schutz vor Wind, Staub, Tieren
- Energieversorgung
 - Photovoltaic-Anlage
 - 12 V Bufferbatterien
- Remote-Betrieb
 - Watchdog timer
 - GSM/GPRS-Modem



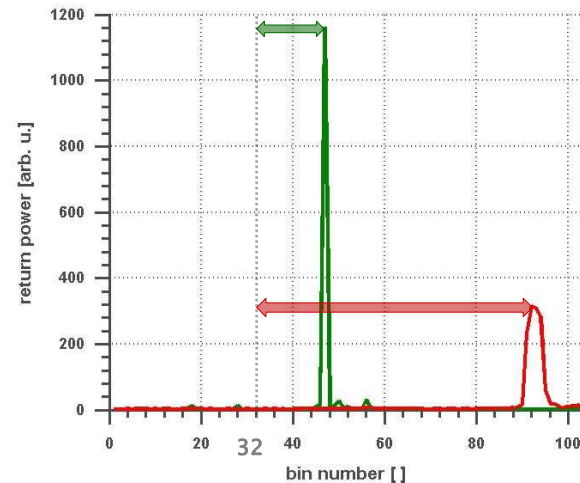
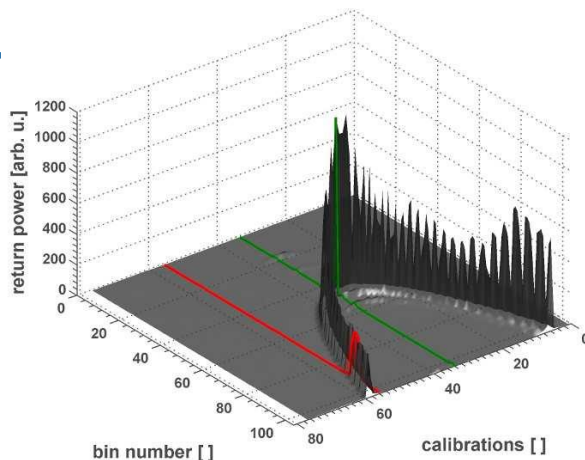
- DIODE/DEM Modus liefert Transponder-Waveform

- Bestimmung der Return-Bins

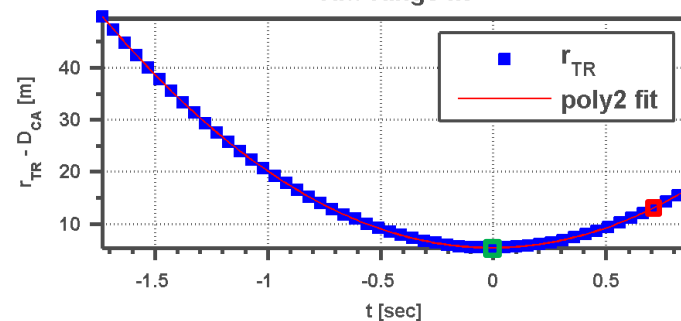
- Gauß Approx.
- Schwerpunkt
- Sinc-Funktion
- Zero Padding

- Iterativer Parabel-Fit

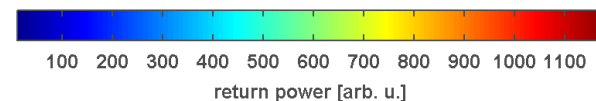
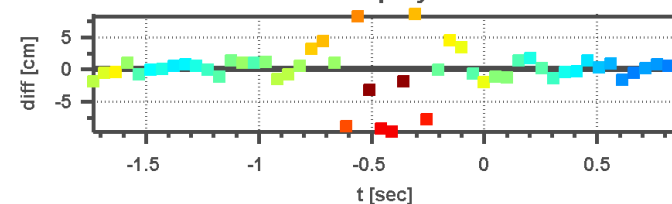
- Scheitelpunkt bestimmt PCA
 - Überflugzeit
- Return-Bin ergibt Signallaufzeit
 - Rohdistanz



raw range fit



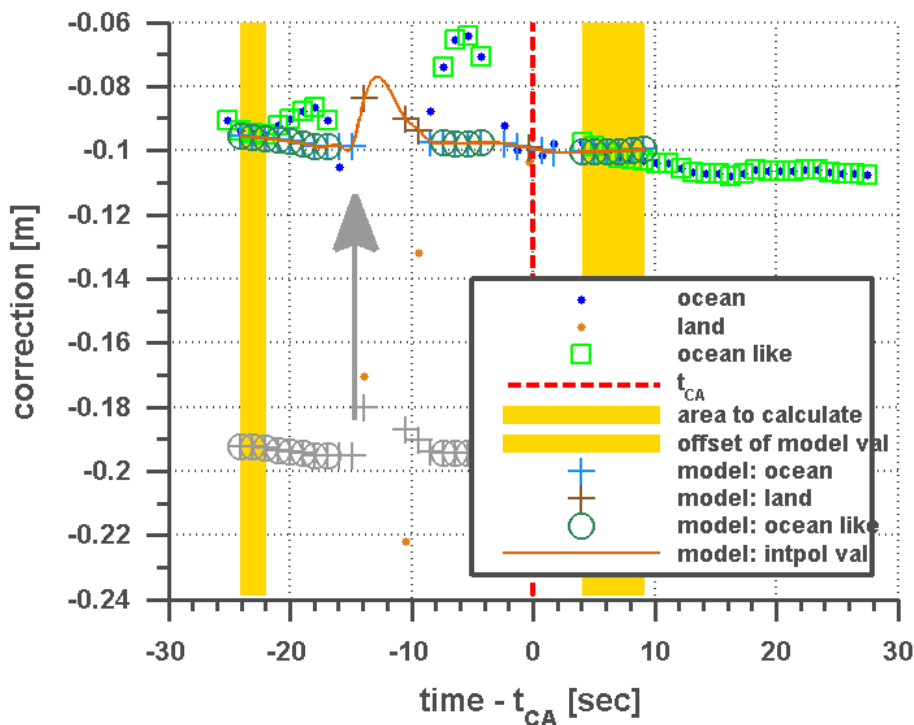
residuals of polynomial fit



■ Korrekturen der Rohdistanz

- Instrumente (Altimeter, TRP)
- Atmosphäre (Iono, Tropo)
- Geophysik. Phänomene

■ Summe d. Korrekturen: ≈ 12 m



Korrektur		
Altimeter	Altimeter Signalweg	Δr_{path}
	Altimeter Phasenzentrum	Δr_{cog}
	DORIS Uhrendrift	Δr_{uso}
Transponder	TRP elektron. Delay	Δr_{elec}
	TRP geom. Delay	Δr_{geom}
	TRP Signalverzög. Geh.	Δr_{pmma}
Ausbreitung	Ionosphäre	Δr_{iono}
	Trocken Troposphäre	Δr_{dry}
	Feuchte Troposphäre	Δr_{wet}
Geophys.	Gezeiten d. festen Erde	Δr_{solid}
	Polgezeiten	Δr_{pole}
	Gezeitenauflasten	Δr_{load}
sonst.	Pseudo-Doppler	Δr_{dopp}
	Pseudo Time-Tag Bias	Δr_{dat}

■ Transponder Kampagne

- 26 Passes (10/2010 – 01/2012)

■ Altimeterprodukte

- SIGDR

- Latenz: 2–3 d

- SGDR

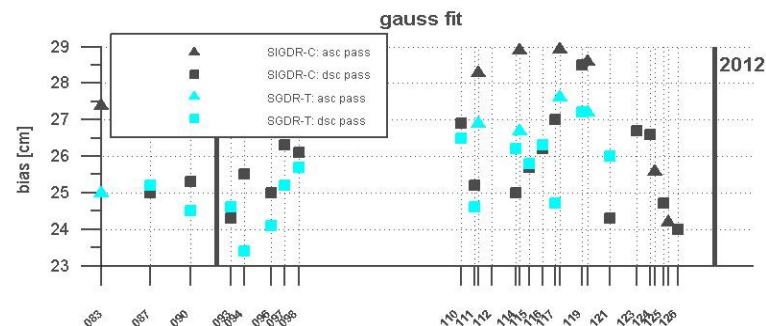
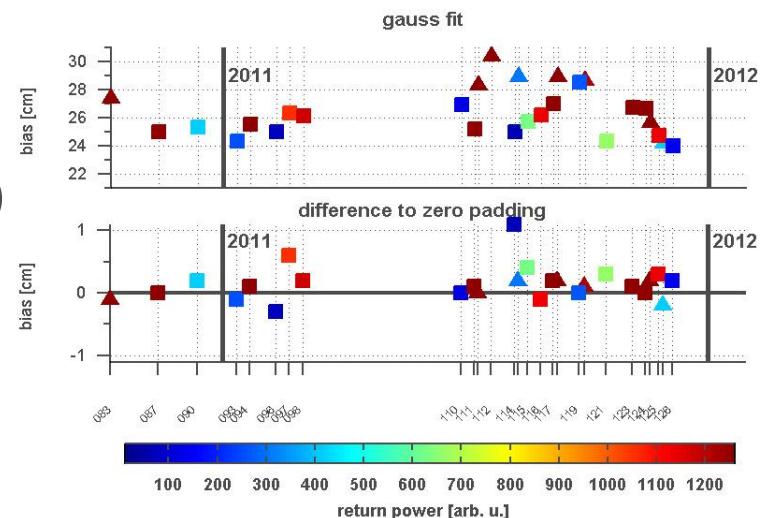
- Latenz: 60 d

■ Altimeterkalibrierwert

- 25.7 ± 0.3 cm

- Hohe Präzision

- Kein Trend



Marine Geodesy



A new method of precise Jason-2 altimeter calibration using a microwave transponder

DOI: 10.1080/01490419.2012.718239

Walter Hausleitner^a, Florian Moser^a, Jean-Damien Desjonqueres^b, Francois Boy^b, Nicolas Picot^b, Jörg Weingrill^a, Stelios Mertikas^c & Antonis Daskalakis^c

Accepted author version posted online: 30 Aug 2012

■ Schlussfolgerung / Ausblick

- Transponder sehr geeignet zur präzisen Altimeterkalibration
 - Flexible Einsatzmöglichkeit an Land bzw. im Küstenbereich
 - Um Faktor 3 höhere Präzision durch Unabhängigkeit von der Meeresdynamik
- Einsatz weiterer Transponder
 - Kooperation ÖAW mit CNES, TUC
 - Ka-Band Kalibration von SARAL
 - Verknüpfung mit SLR-Daten

