Meeresniveau und Erdrotationsvektor–

zwei moderne Forschungsrichtungen mit Ursprung in der Mitteleuropäischen Gradmessung (MEG) bzw. Internationalen Erdmessung (IE)

Horst Montag, Brandenburg/H.

E-Mail: homontag@t-online.de

Tagung MEG-IAG 150

veranstaltet von

Leibniz Sozietät zu Berlin e.V.

und DVW Berlin-Brandenburg e.V.

Berlin, 14.09.2012

Nachweis *von* ***Spektrum*** *und* ***Variationen*** *der Parameter –* ***Wozu?***

- **Meeresniveau und**
- **Erdrotationsvektor**, bestehend aus Polbewegung und Rotationsschwankungen sind **heute**

Wichtige Eingangsgrößen für aktuelle geodynamische Untersuchungen des **Systems Erde** mit großer **Praxisrelevanz**, z.B. Klimaschwankung , Referenzsystem, Navigation…

Größe der Effekte + Vielzahl der **Einflussgrößen** erfordert **lange Messreihen** und **höchste Genauigkeit**

➡ **Verdienst von MEG** (gegr. 1862) **+ IE** (ab 1886)

Einflussgrößen und Wechselwirkungen

Mittleres Meeresniveau (MSL)

Ab- oder Zunahme der **Festlandsgletscher**

Tektonische und sedimentäre **Veränderungen der Meeresbecken**

Atmosphärische Massenverlagerungen: Luftdruck, Winde, Wellen

Hydrologischer Wasserkreislauf: Seen, Flüsse, Grundwasser

Meeresströmungen sowie **-Änderungen**

Luni-solare Gezeiteneffekte

Temperatur- und Dichte der Meere sowie deren **Änderungen**

Postglaziale Ausgleichsbewegungen

Schwereänderungen

Schwankungen des **Erdrotationsvektors**

Erdrotationsvektor (ERP)

Ab- oder Zunahme der **Festlandsgletscher**

Tektonische und andere **Massenverlagerungen** im und auf Erdkörper

Atmosphärische Massenverlagerungen: Luftdruck, zonale Winde

Hydrologischer Wasserkreislauf: Seen, Flüsse, Grundwasser

Luni-solare Gravitationswirkungen, einschl. **Gezeitenreibung** &&&

Seismische Anregungseffekte

Elastizität der Erde

Wechselwirkung zwischen flüssigem äußeren **Erdkern und Mantel**

Änderung v. **Meeresspiegel + Strömungen**

Einfluss d. **Sonnenwindes** auf **Magnetosphäre**

(Expansion der Erde bzw. Änderung der **Gravitationskonstante**?)

Mittleres Meeresniveau und MEG

J.J. Baeyer 1794-1885

- **Mittleres Meeresniveau für Geodäsie fundamental** als **Höhenreferenzfläche**
- **Baeyers Arbeiten schon vor Gründung der MEG mit Meeresniv. verbunden (1837-47 Küstenverm. an Ost- u. Nordsee, Niv. Berlin-Ostsee)**
- **Baeyer empfiehlt** auf **1. Allg. Konf.** d. **MEG 1864, „die mittlere Höhe der verschiedenen Meere in einer möglichst großen Zahl wo es angeht, mittels registrirender Apparate zu bestimmen“**

Meeresniveau – Aktivitäten der MEG bzw. IE

- Ab **1870 Einrichtung von Mareografen** an **Ost- und Nordsee sowie Übernahme der Betreuung** der **Stationen durch** das **GIP als Centralbureau**
- **Es sind dies folgende Stationen:**

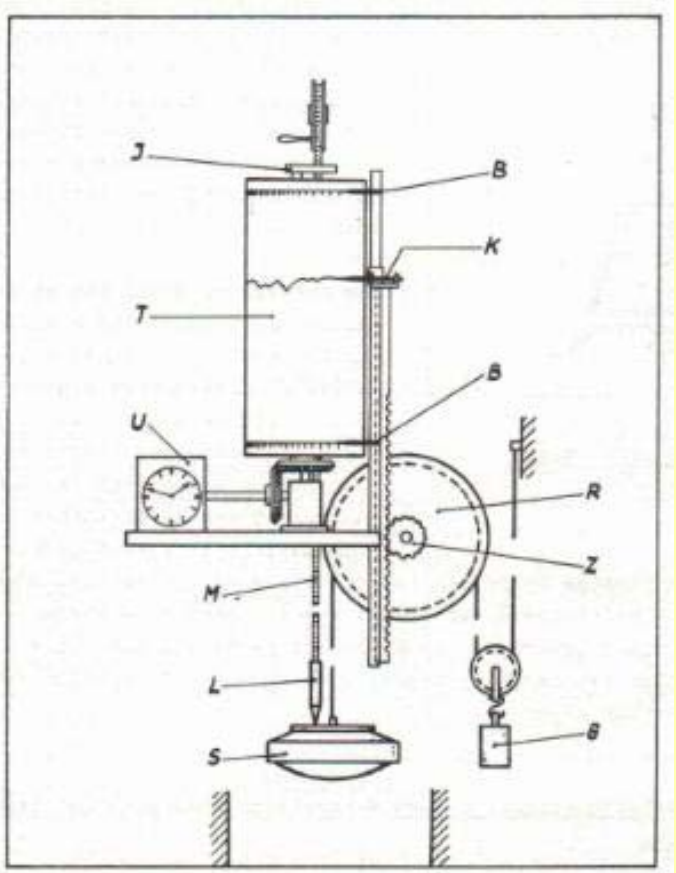
  1870 **Swinemünde** (Lattenpegel seit 1811!), 1883 **Warnemünde**, 1885 **Wismar**, 1886 **Travemünde**, 1893 **Marienleuchte** und **Arkona**, 1898 **Bremerhaven**, 1897 **Pillau**, 1908 **Stolpmünde**
- **Wichtig** neben präzisen Messungen **Höhenanschluß** und ständige –**Kontrolle** des **Pegelnullpunktes.** Deshalb u.a.

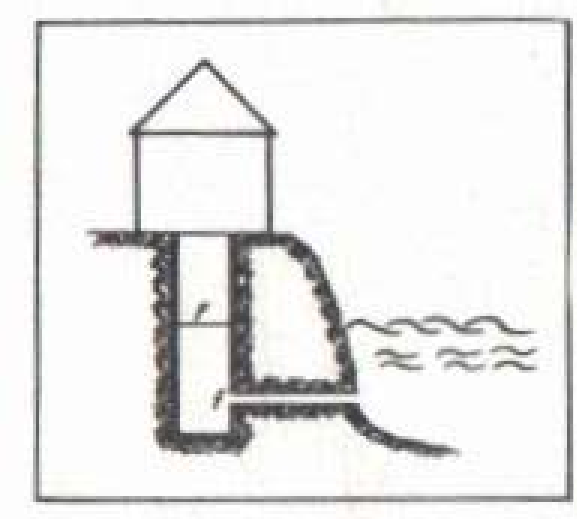
- **1882-1888 Gradmessungs-Nivellements** zwischen Ostsee, Nordsee, Atlantik, Mittelmeer und Adria
- **Ostseeküstennivellement** 1896-1911 zur Verbindung der Pegel (Kgl.Pr. LA f. GIP)

Messtechnik und -verfahren

- Anfangs **Lattenpegel (Terminwerte)**
- Später **Mareografen** (**kontinuierliche** Daten)
- Jährliche **Kontrollnivellements** zu möglichst 6-8 **stabilen Höhenfestpunkten** in Umgebg. auf **geolog. sicherem Grund!**

Mechanischer Mareograf



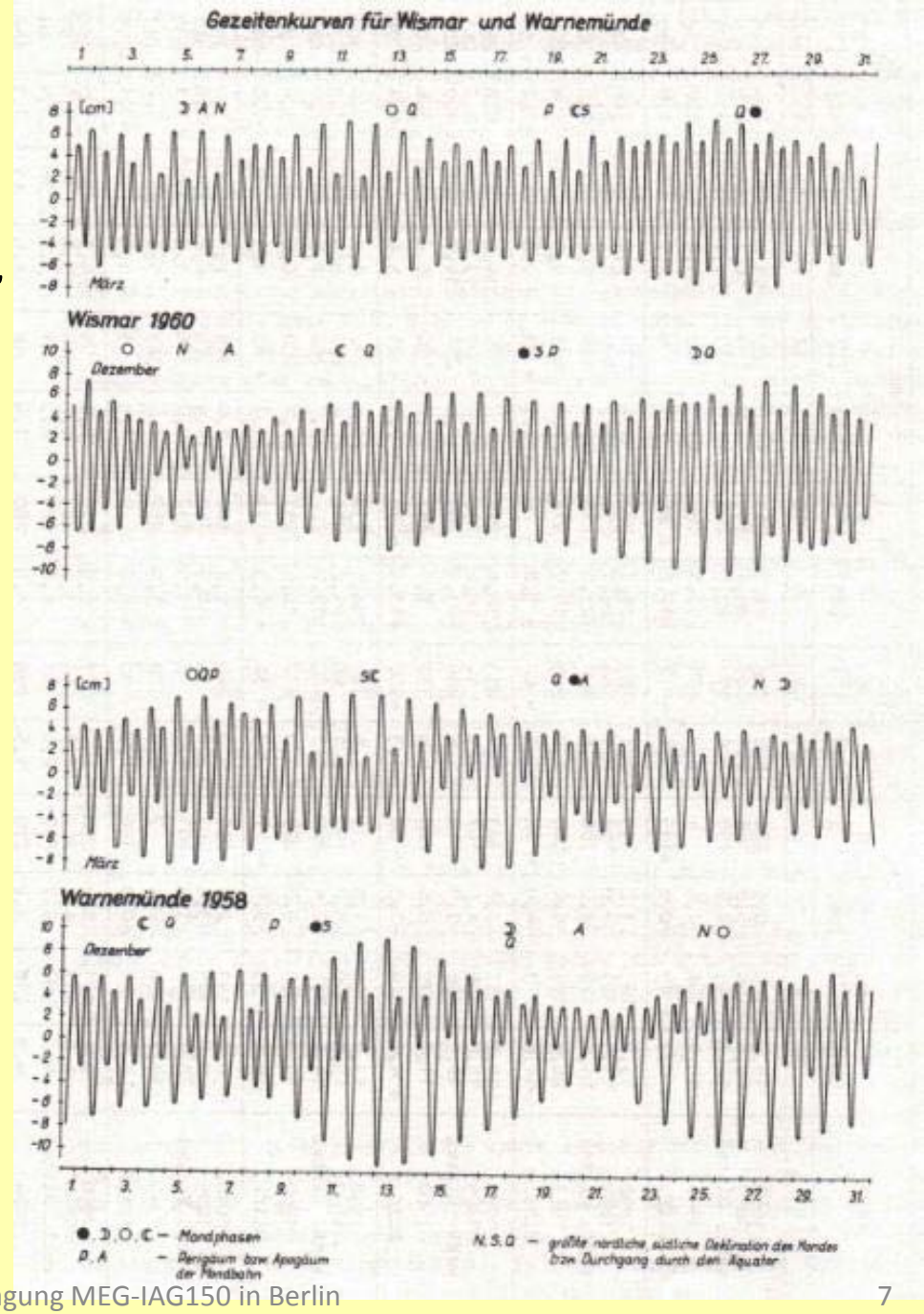


Pegelschacht mit Zuflussrohr

Beispiel für einen Störeffekt – Gezeiteneinfluß

Wismar und Warnemünde, jeweils 2 Monate

Gesamt-Amplitude: bis 10 cm

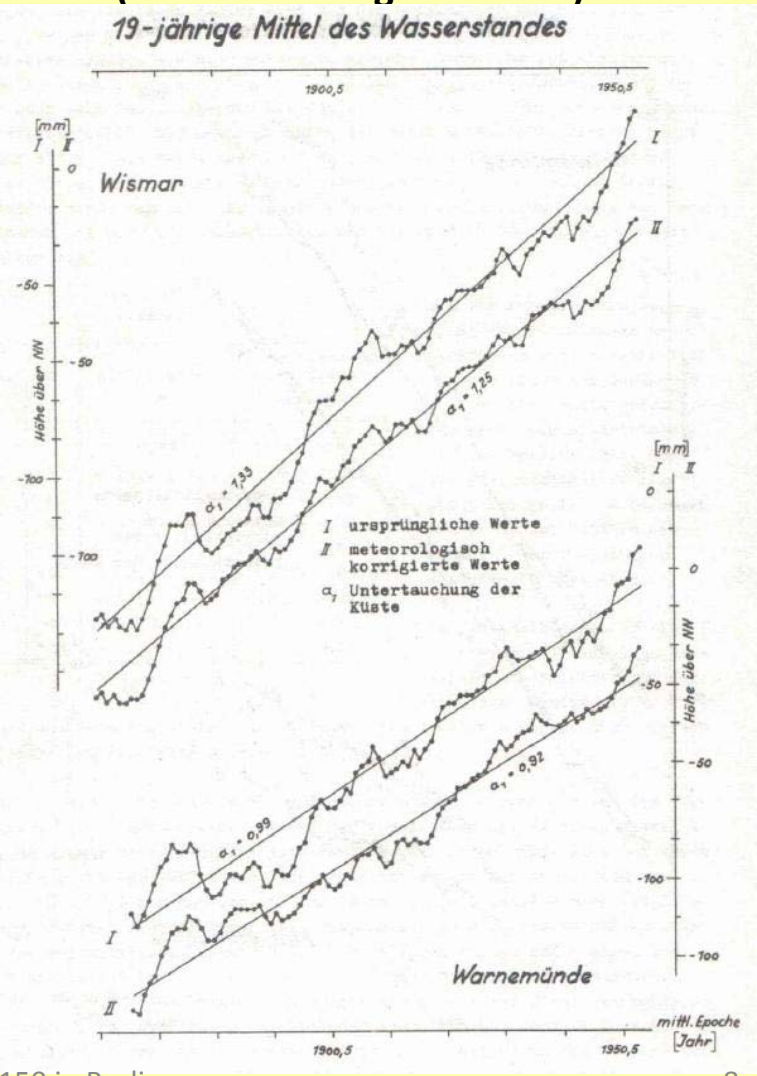


Analyse und Ergebnisse der Pegelmessungen

- **Analyse + Elimination** obiger **Störeffekte** (Nutzeffekt f. andere!)
- **Ergebnisse + Bedeutung**:
- Realisierung einer **einheitlichen Höhenreferenzfläche**, regional und **heute global**
- Nachweis von **Niveauverschiebungen** zwischen Küste und Meer – **Referenz** für **vertikale Krustenbewegungen**
- **MSL-Änderungen** als **Indiz** für **Klimaschwankungen**
- **Bessere Kenntnisse** über **obige Parameter** („Störeffekte“)

Beispiel Niveauverschiebung Ostsee

(Untertauchung der Küste)



Neuere Globale Mittelwerte

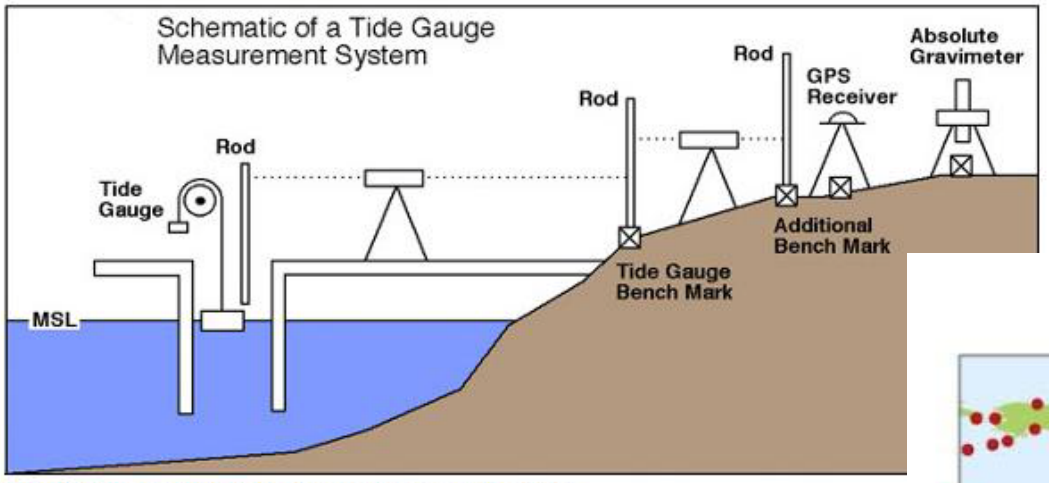
aus langjährigen Pegeldaten (z.T. über 200 Stationen)

Deutlich: Abhängigkeit von Zeitraum

Sea Level Rise (mm/yr)	Error (mm/yr)	Data Used (years)	# of Tide Gauges	References
2.8	±0.8	1993-2009	~200	Church & White (2011)
1.7	±0.2	1900-2009	>38 since 1900	Church & White (2011)
1.9	±0.4	1961-2009	>190 since 1960	Church & White (2011)
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 and Lebedeff (1987)
2.4	±0.9	1920-1970	40	Peltier and Tushingham (1989)
1.75	±0.13	1900-1979	84	Trupin and Wahr (1990)
1.7	±0.5	N/A	N/A	Nakiboglu and Lambeck (1991)
1.8	±0.1	1880-1980	21	Douglas (1991)
1.62	±0.38	1807-1988	213	Unal and Ghil (1995)

Moderne Pegelstationen

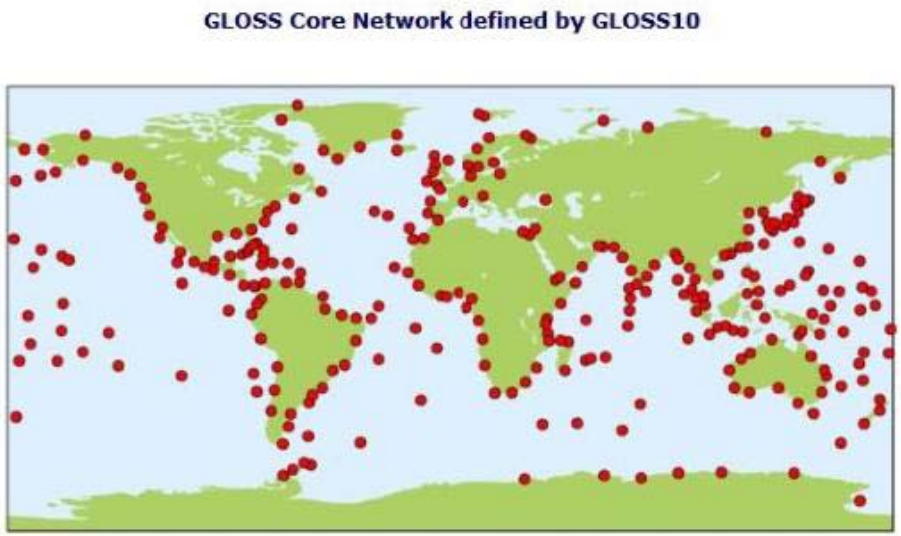
Schema einer modernen Station



Tide Gauge Estimates of Mean Sea Level Rise

Globales Pegelnetz

(Global Sea Level Observing System – GLOSS)



Komplexer Einsatz:

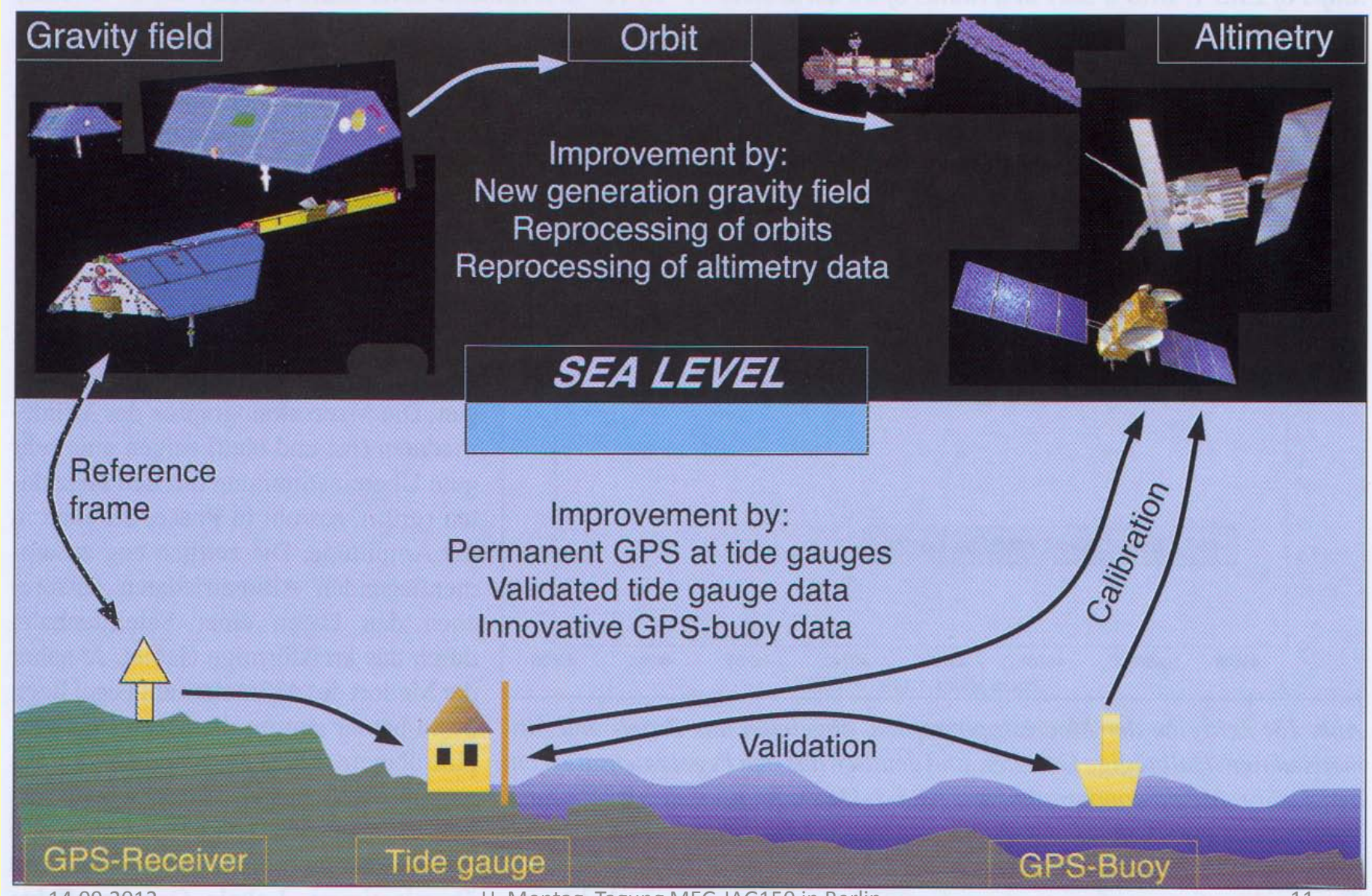
→Mareograf + Höhenref.punkten

→GPS, (SLR …)

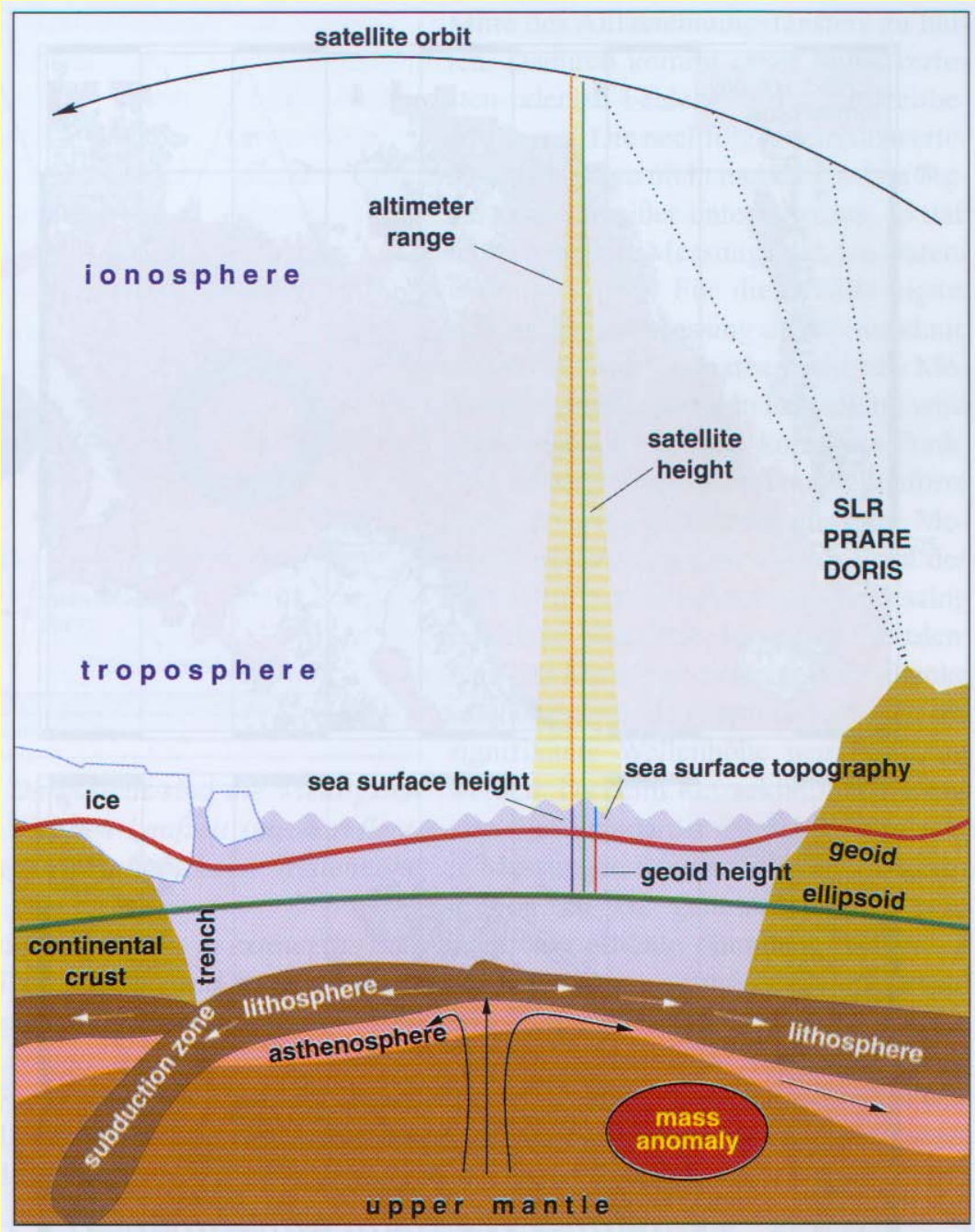
→Schweremessung

- **Kombination mit Altimetrie** (Topex/Poseidon, Jason …)
  + globalen Schweremessung (CHAMP, GRACE, GOCE…)

Komplexes Meeresspiegel-Monitoring



Prinzip
der
Altimetrie



Globale MSL- Änderungen aus Altimeterdaten, 1992-2011

Topex/Poseidon, Jason-1 und -2

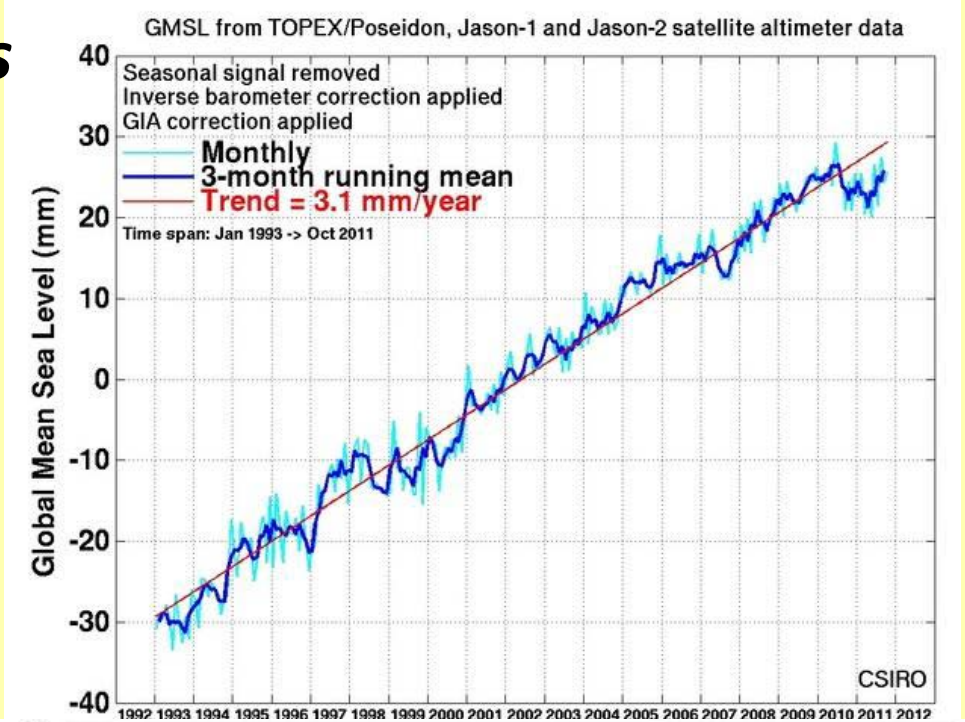
Ergebnisse von 3 Zentren:

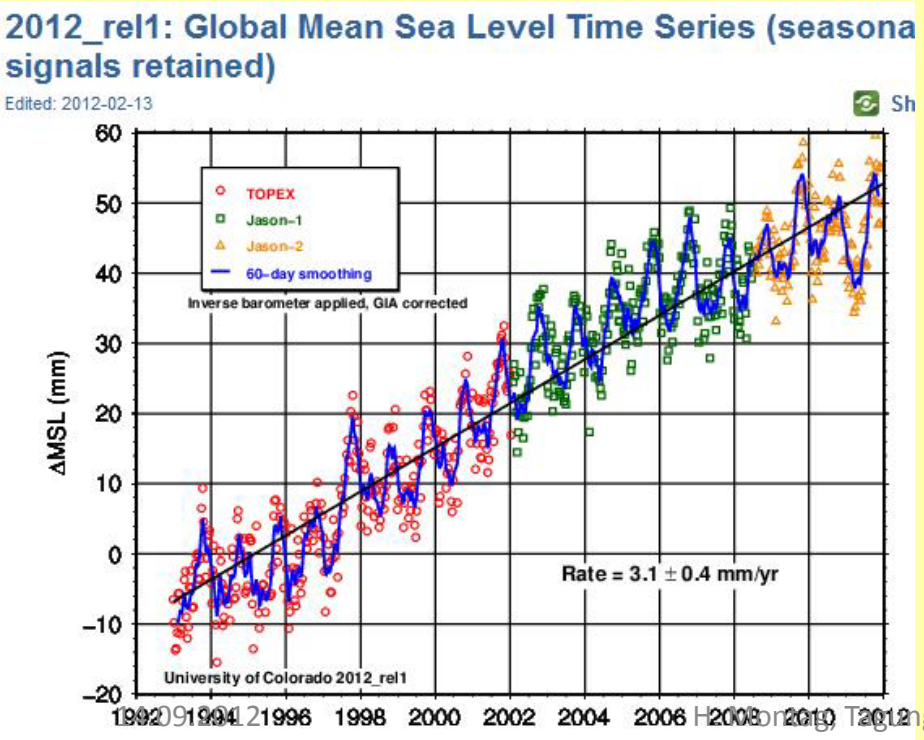
-University of Colorado, Boulder:

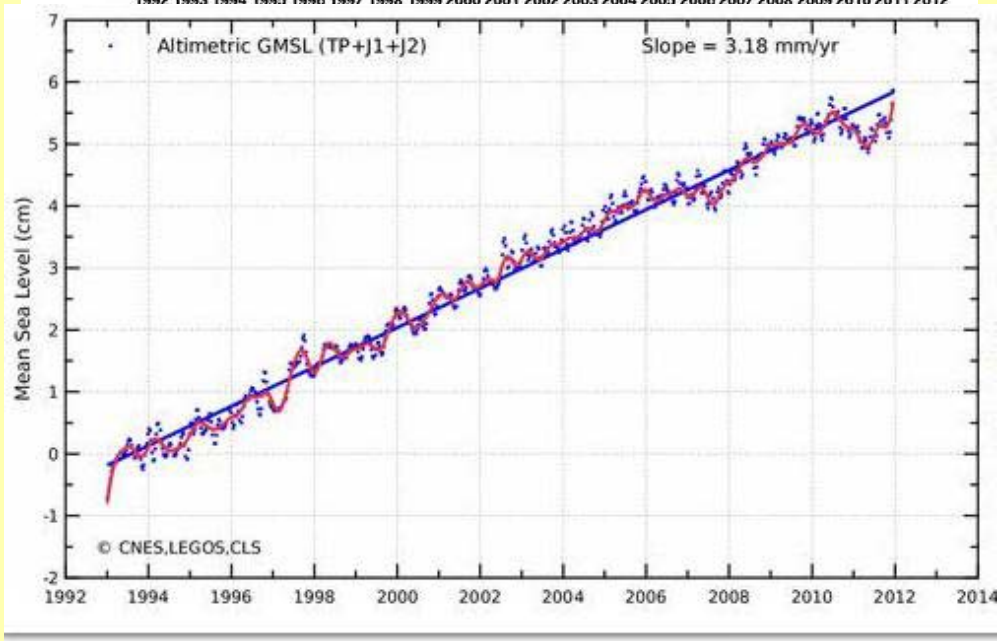
3,1 ± 0,4 mm/a – unten

-CSIRO, Marine & Atmospheric Research, Australia : 3,1 mm/a – rechts

-CNES, Frankreich: 3,2 mm/a – unten







Entdeckung der Polbewegung

1844 ***F.W. Bessel***: **„Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Polhöhe“**
Meridiankreis-**Messungen** in **Königsberg seit 1841** - **Brief** an A. v. **Humboldt**
C.A.F. Peters: Zenitdistanzmessungen von **Polaris 1841-42** in **Pulkowo, Periode** von ca. **304 Tagen**

1883 E. Fergola schlägt auf **7. Allg. Conferenz** d. Europäischen Gradmessung in Rom einen Dienst zur systematischen Untersuchung von Polhöhenschwankungen vor

1885 K.F. Küstner findet in Messreihen der **Polhöhe periodischen Effekt von ca. 0,3“;** er gilt allg. als **Entdecker**, veröff. 1888

1891 S.C. Chandler findet neben **Jahreswelle** eine **Periode** von ca. 430 Tagen (heute 435^d) **Amplitude** von ca. 0,17“ , Periode nach ihm benannt - ***Chandler Wobble*** (freie Schwingung; Periode einer starren Erde nach **Euler** (1758) ca. 300 Tage!)

1888, Sept. Konf. d. ***Permanenten Commission der IE*** in Salzburg beschließt spezielle Comm. zur **systematischen Untersuchung der Breitenvariation** (Foerster)

1889/90 Breitenbeobachtungen in **Berlin, Potsdam, Prag** und **Straßburg: Nachweis** einer **jährlichen Schwankung von ca. 0,5“**

1891/92 parallele Breitenbeobachtungen in Berlin, Prag, Straßburg sowie Honolulu

80 Pf-Sondermarke der Deutschen Bundespost (1984) mit einem Porträt Bessels

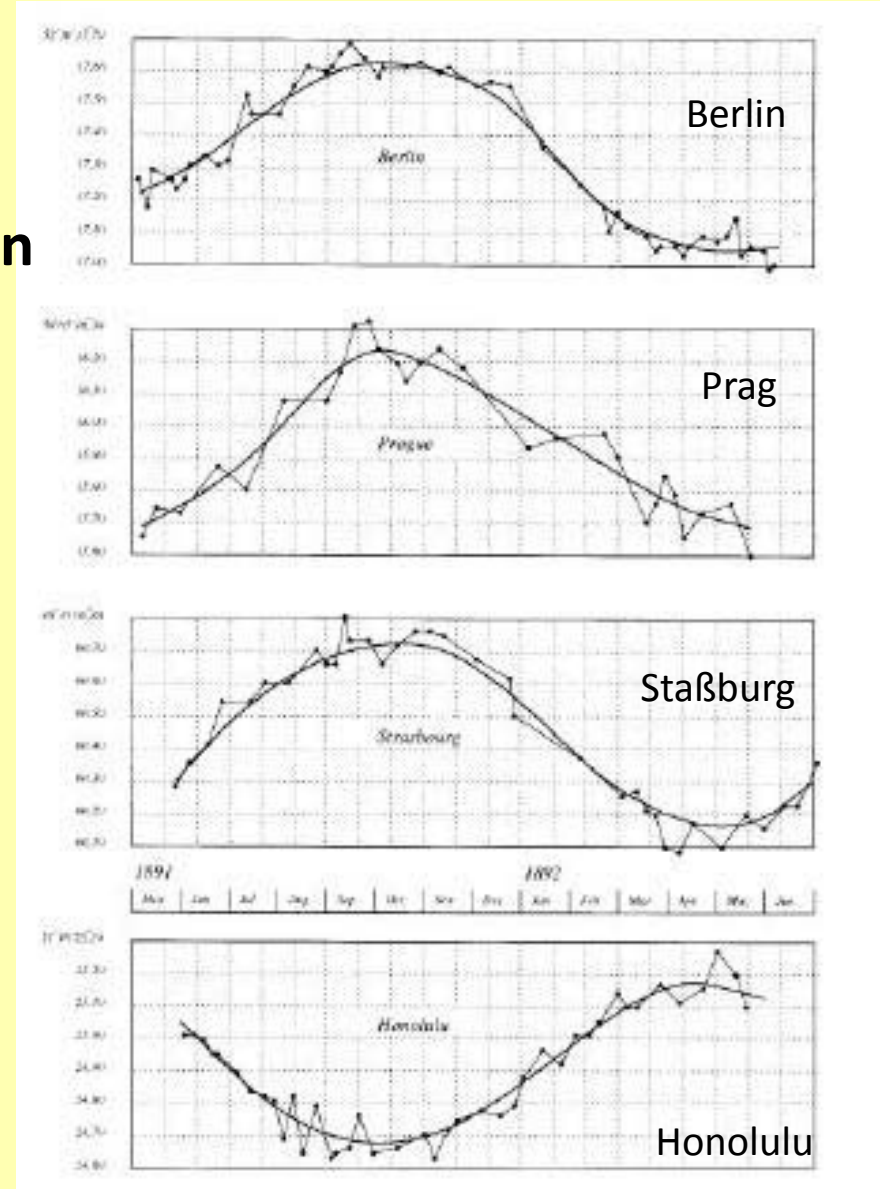
F.W. ***Bessel***
1784-1846

K.F. ***Küstner***
1856-1936

Endgültiger
Nachweis der Polbewegung:

➢**simultane Breitenbeobachtungen**
in ***Europa*** (Berlin, Prag, Straßburg)
und ***Honolulu*** *(gegenläufig!)*
Mai 1891 – Juni 1892
Amplitude ca. 0,3“

Grundlage für weitere
systematische Untersuchung
durch **internationalen**
Breiten- bzw**. Polhöhen-Dienst**



Internationaler Breiten- bzw. Polhöhendienst

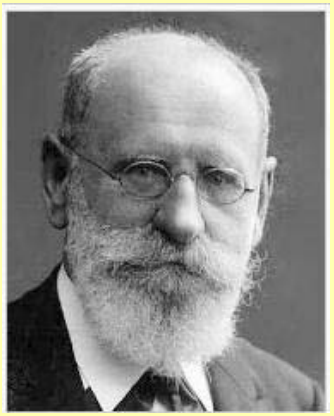
(International Latitude Service – ILS)

1895 Beschluss zur Einführung eines **Internationalen Breiten- bzw. Polhöhendienstes** auf **11. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung (IE**), Berlin

1898 Endgültiger Beschluss auf **12. Allg. Konf.** der **IE** in Stuttgart

1899 Gründung des Internationalen Breitendienstes (***Albrecht, Foerster*** *und* ***Helmert),*** **Zentralbüro** in Potsdam (**GIP,** Leitung: **Albrecht**)

- **Erster** permanenter **wissenschaftlicher Dienst** in **internationaler Kooperation**
- **6** (zunächst) **globale Stationen** auf **Breite 39° 08´** : Mizusawa (Japan), Carloforte (Italien) , Gaithersburg bis1915, Ukiah, Cincinnati bis1916 (USA), Tschardjui (ab 1927 Kitab, Usbekistan).
- Messung von **Sterndurchgängen** (gleiche Sterngruppen), Methode **Horrebow-Talcott**



Carl Theodor **Albrecht**
1843 - 1915

Wilhelm Julius **Foerster**
1832 - 1921

Friedrich Robert **Helmert**
1843 - 1917

Eingesetztes
visuelles Zenitteleskop
(Wanschaff,Berlin)

Der Erdrotationsdienst im Wandel der Zeit

- ***Zentralbüro des ILS:***

  1899-1922 GIP (Leiter bis **1915 Albrecht,** danach **B. Wanach),**

  1922-1935 Mizusawa, 1935-1961 Neapel bzw**. Turin,**

  1962-1987 als **IPMS** in **Mizusawa**

- **Einbeziehung der Zeit** bzw. **Rotationsschwankungen**

  *** Anfg. 20. Jahrh.: Geod.-astr. Messungen, Pendeluhren** u. **Zeitvergleich** über **Radiosignale** ermöglichen **Definition** von **UT**

  *** 1919 Int. Service für Zeit, koordiniert** durch **BIH** am **Paris Obs.**

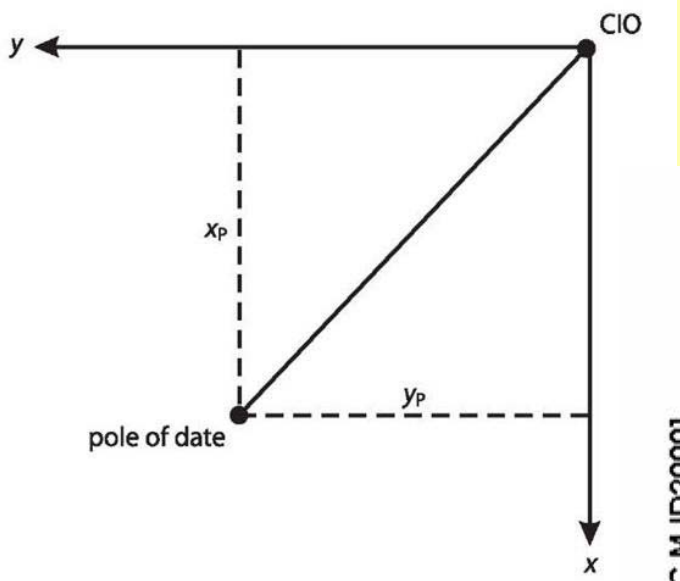
  *** Erster Nachweis** von **Rotationsschwankungen durch Quarzuhren** um **1935** (Pavel + Uhink im GIP);

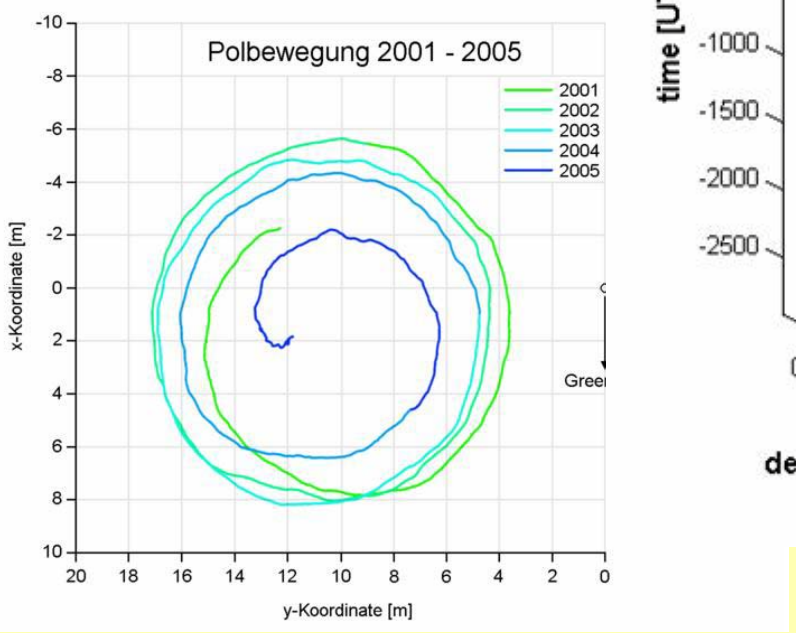
  *** seit 1960er genauer** mit **Atomuhren**

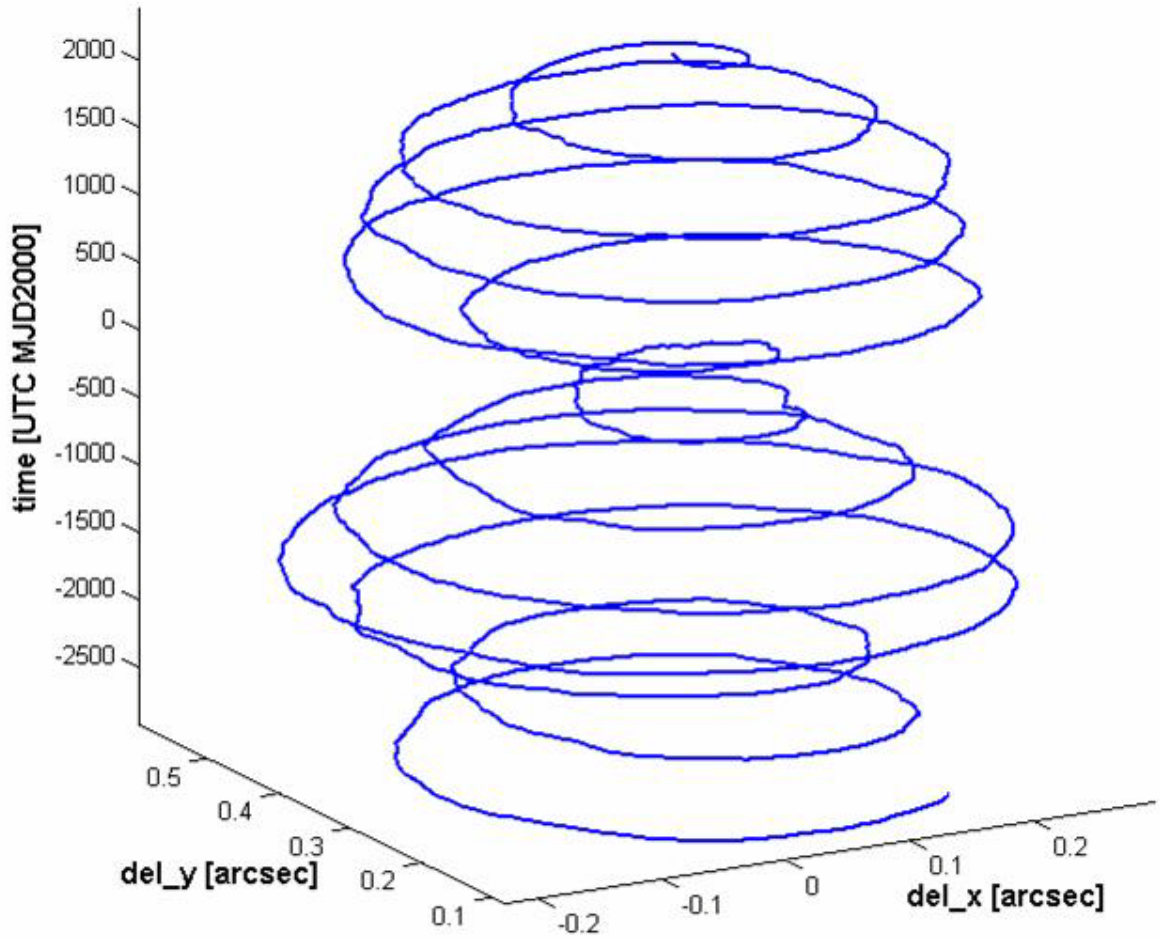
- **Ab 1988 neuer Dienst IERS** mit **kosmisch-geodätischen Verfahren VLBI, SLR, LLR, GPS, DORIS** (nach Testung bei **MERIT-Kampagne** 1980-1983; **Ablösung** der ***Sternbeobachtungen***)

  ***Kombination der Methoden** erlaubt: → **Präzise Bestimmung aller Parameter** d. **Geod**. **Ref.systems** (ERP, Präz./Nut.; Geoz., Maßst.)

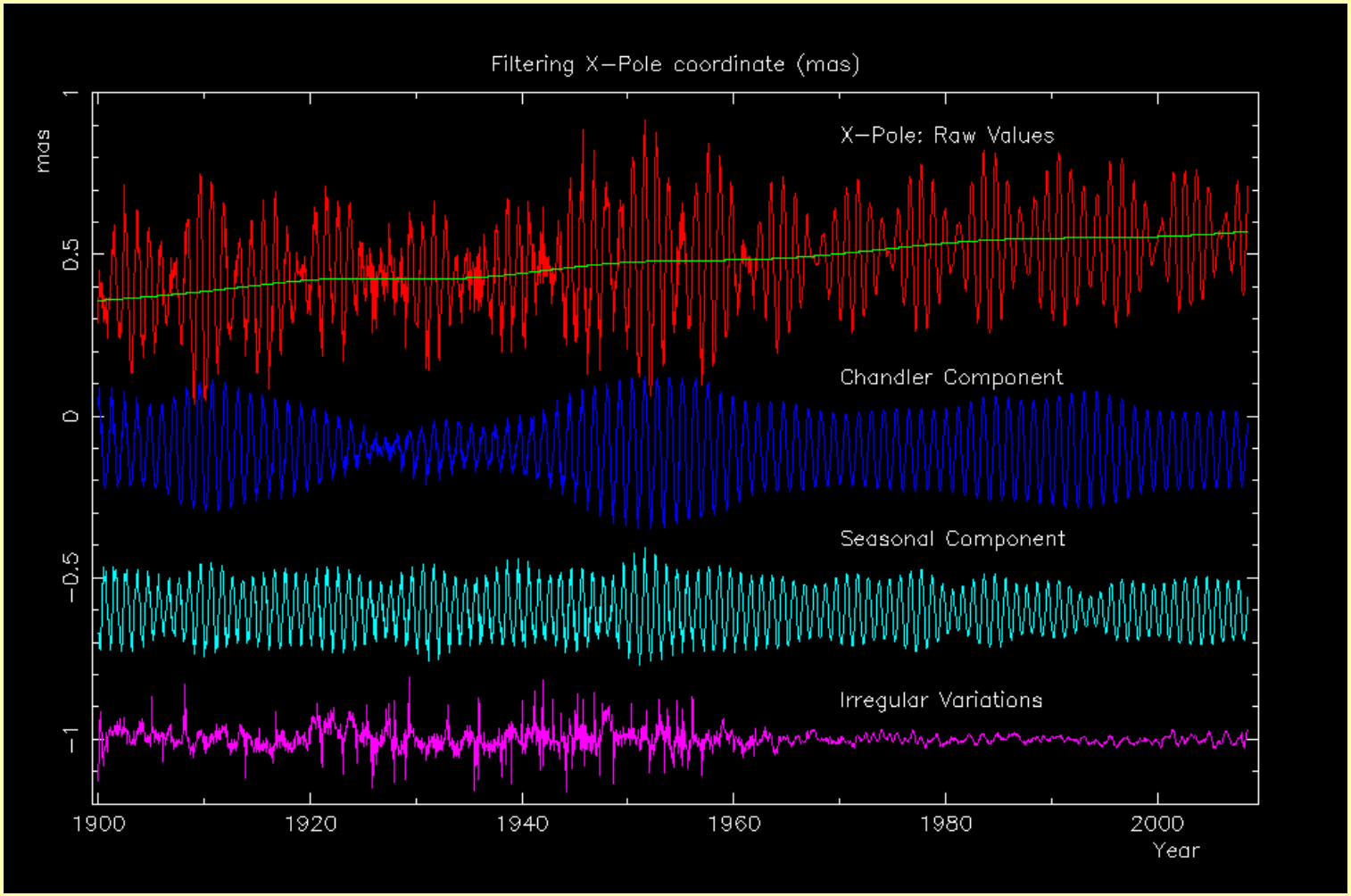
CIO-System und Polkurven







X-Komponente des Pols seit 1890, Serie EOP(IERS) C 01 des IERS



Die untere Kurve enthält Restvariationen , Periodenspektrum Tag bis Jahr – verursacht hauptsächlich durch meteorologisch-ozeanografische Störungen

Ergebnisse einst und heute

- **x_p** und **y_p von ± 0,1´´** auf **± 0,1-0,2 mas (< 1 cm)**, **Faktor 1000!**
  - **Zeitauflösung bis < 1 Tag (abh. v. Methode + Zeitint.)**
- **UT** und **LOD von ± 0,1 s** auf **< ± 0,1 ms,** ebenfalls **Faktor 1000**
- **Meeresniveau anfangs** nur **punktuelle Pegel, heute globale** und **komplexe Daten**

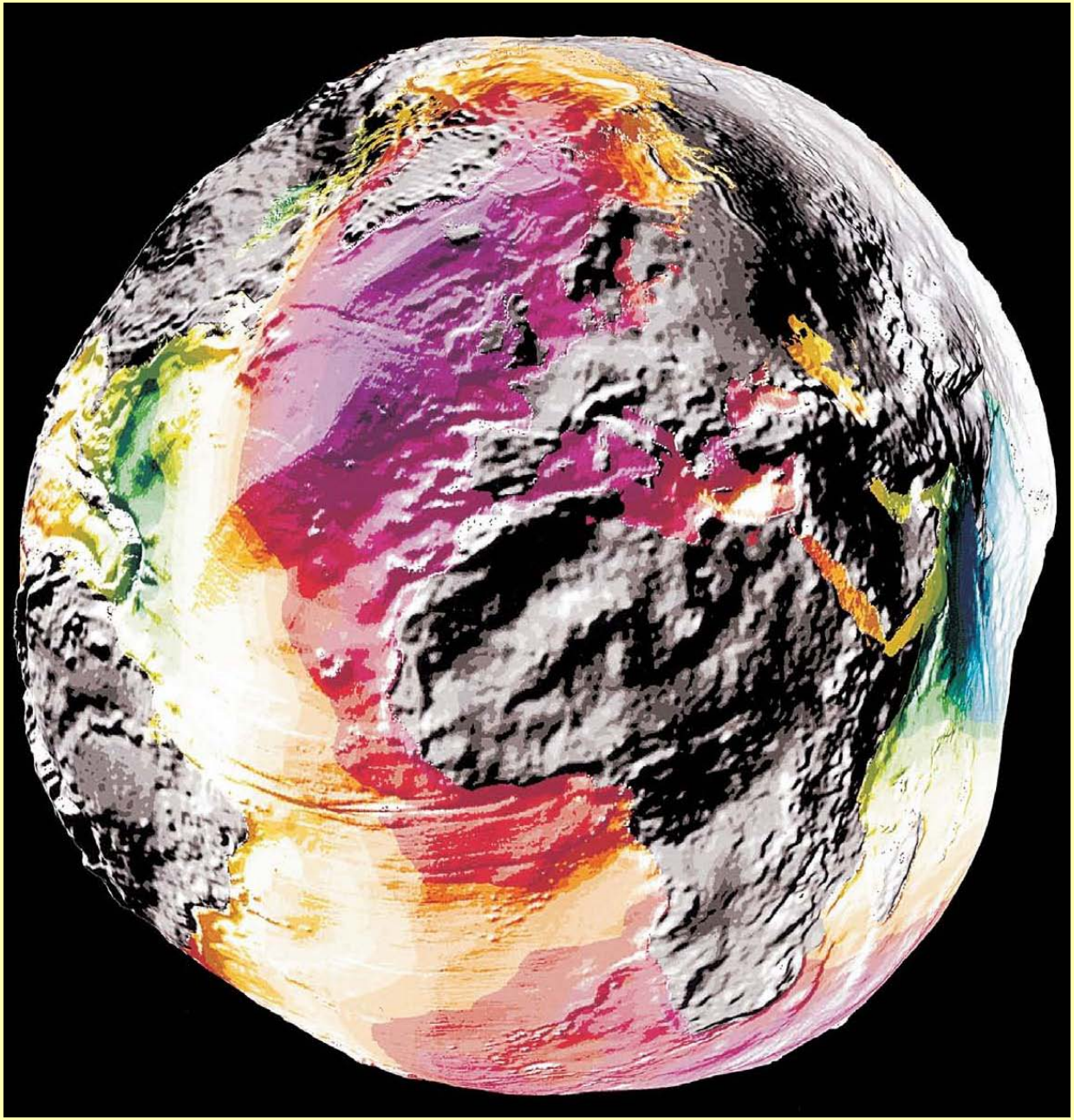
➢ **Analyse der langen Zeitreihen beider Phänomene** bringt Vielzahl **neuer Erkenntnisse zu Amplituden und Periodenspektrum einzelner Effekte** sowie deren **Wechselwirkung**

* **Beitrag** zur Erforschung des **Systems Erde**

* **Anwendungen** für **präzise Referenzsysteme** und **Navigation**

* Beitrag zu **Klimaphänomene und** deren **Änderungen**

→ **Große gesamtgesellschaftliche Relevanz!**



DANKE

FÜR IHRE

AUFMERK-SAMKEIT!