

Planetarium



Die Vermessung der Welt

Johannes Böhm

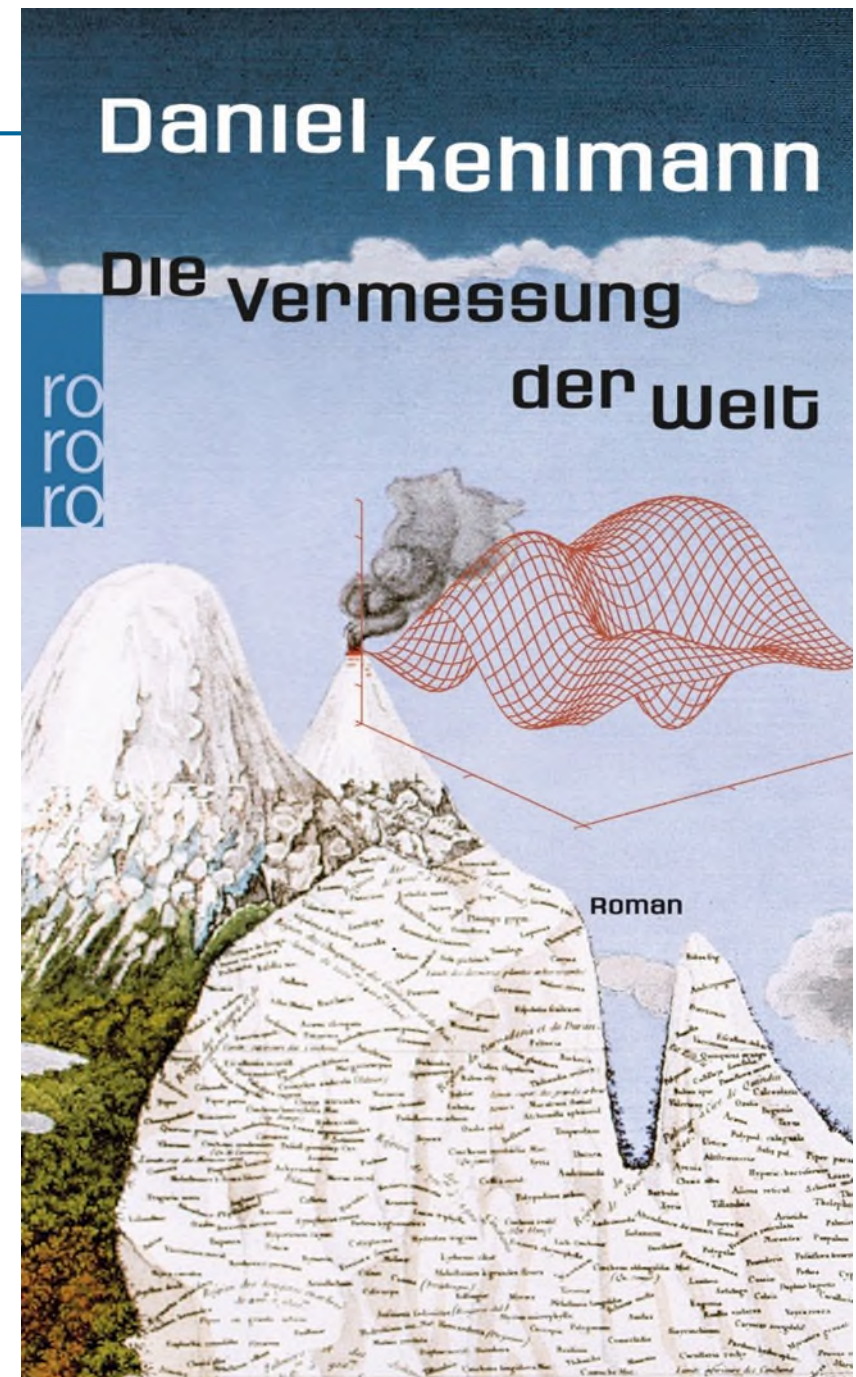
18. Mai 2022



TU Wien
Department of Geodesy and Geoinformation
Research Division Higher Geodesy

Die Vermessung der Welt

- Carl Friedrich Gauß (1777-1855)
- Alexander von Humboldt (1769-1859)



Höhere Geodäsie

- Figur der Erde
- Erdschwerefeld
- Rotation der Erde



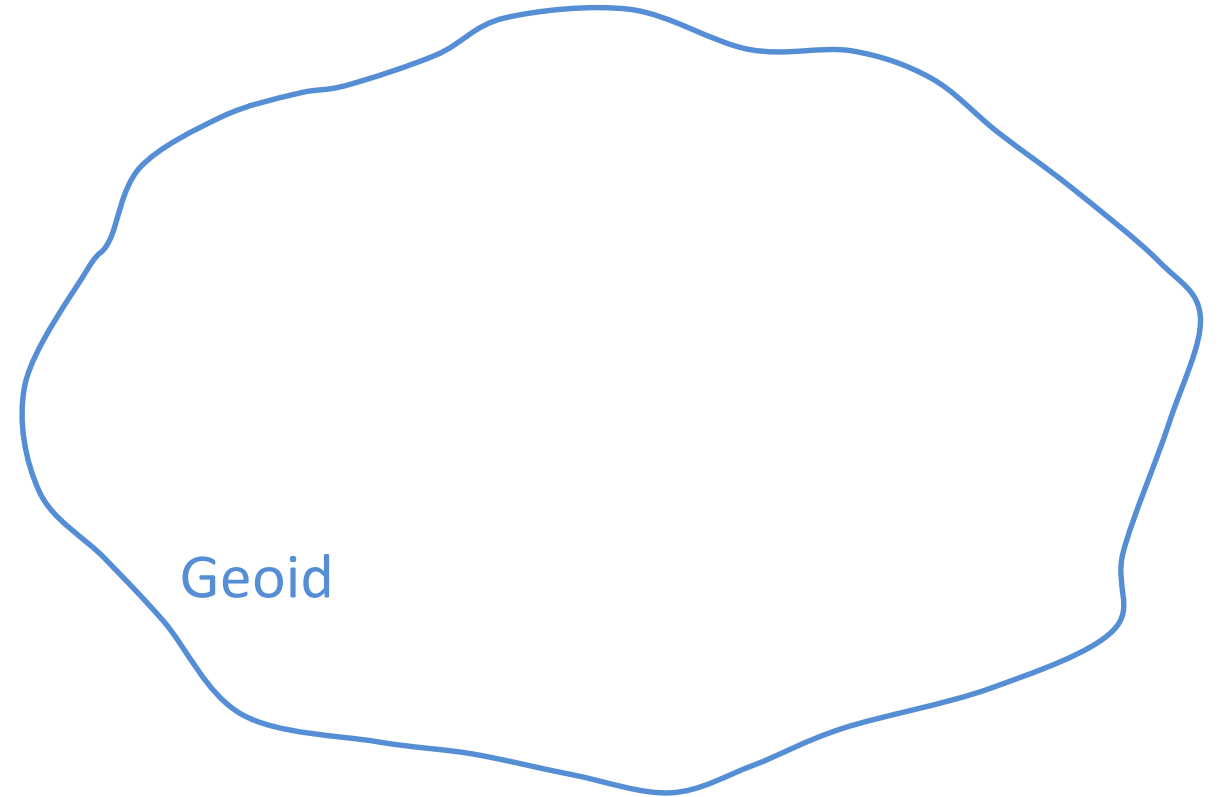
- .. und die Änderungen davon, nicht zuletzt wegen des Klimawandels.

Figur der Erde - aber welche?



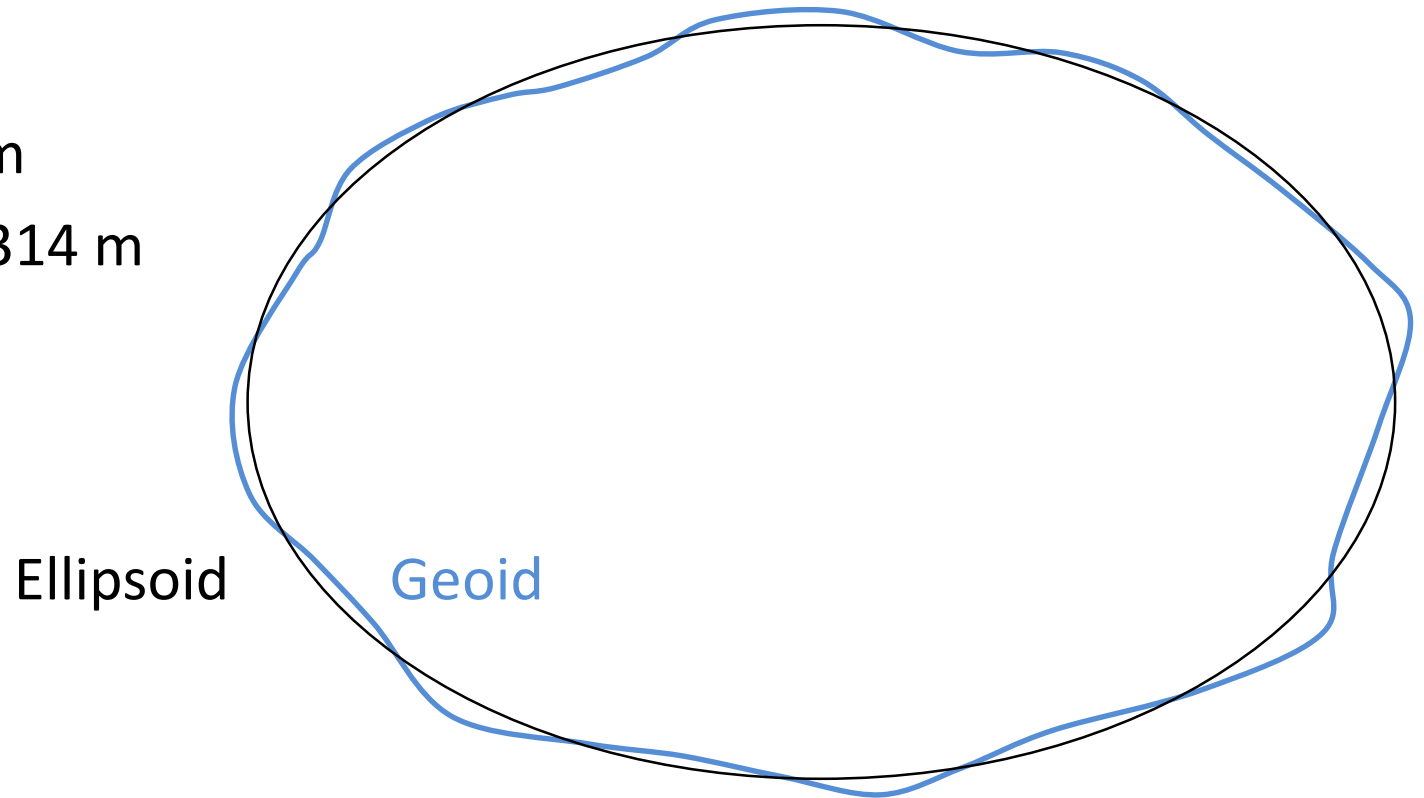
Figur der Erde - aber welche?

- Geoid als Äquipotentialfläche
 - mittlere Meeresoberfläche (unter Kontinenten fortgesetzt)
 - gleiche Arbeit ist notwendig um eine Masse ins Unendliche zu bringen
 - $62636853.4 \text{ m}^2/\text{s}^2$



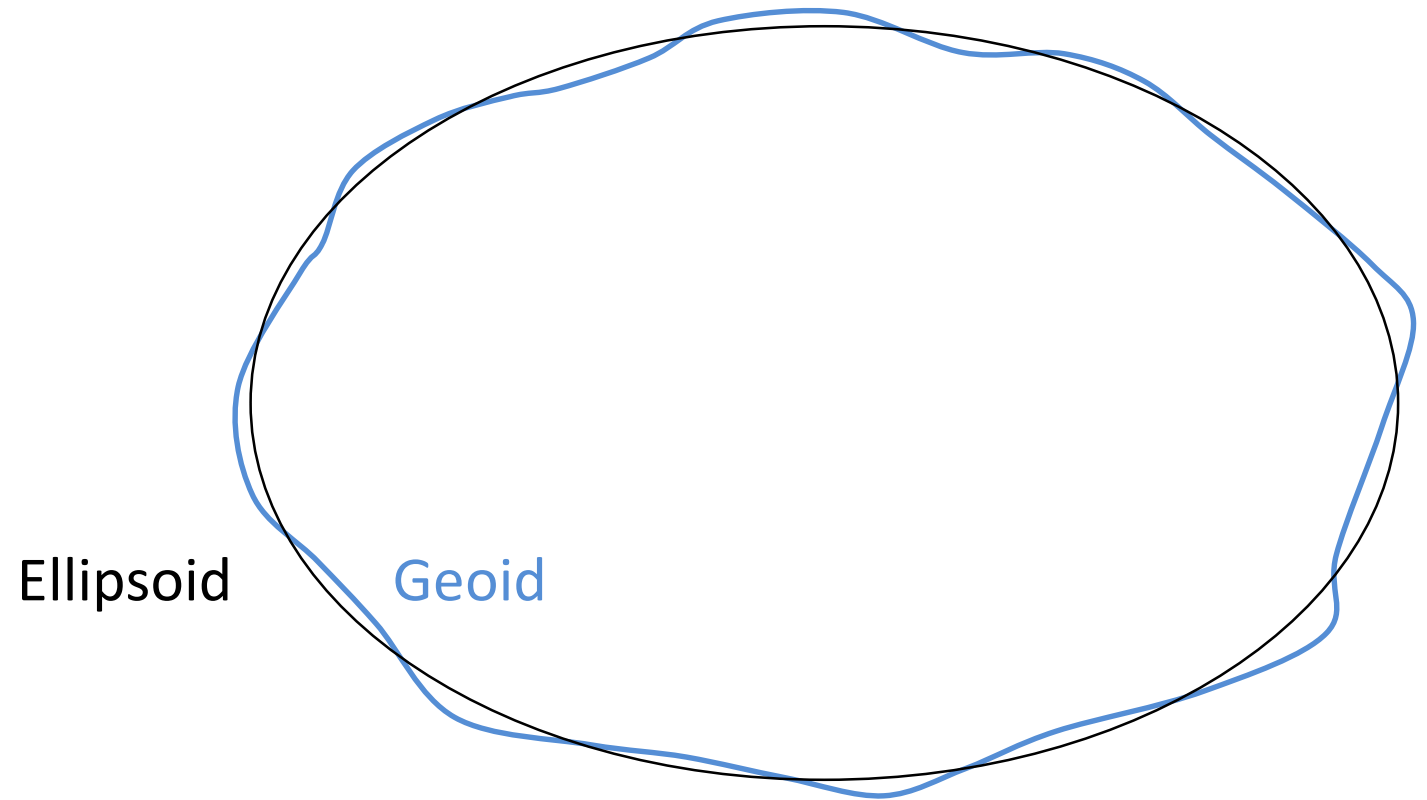
Figur der Erde - aber welche?

- Geoid als Äquipotentialfläche
 - mittlere Meeresoberfläche (unter Kontinenten fortgesetzt)
 - gleiche Arbeit ist notwendig um eine Masse ins Unendliche zu bringen
 - $62636853.4 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Ellipsoid
 - große Halbachse 6378137 m
 - kleine Halbachse 6356752.314 m



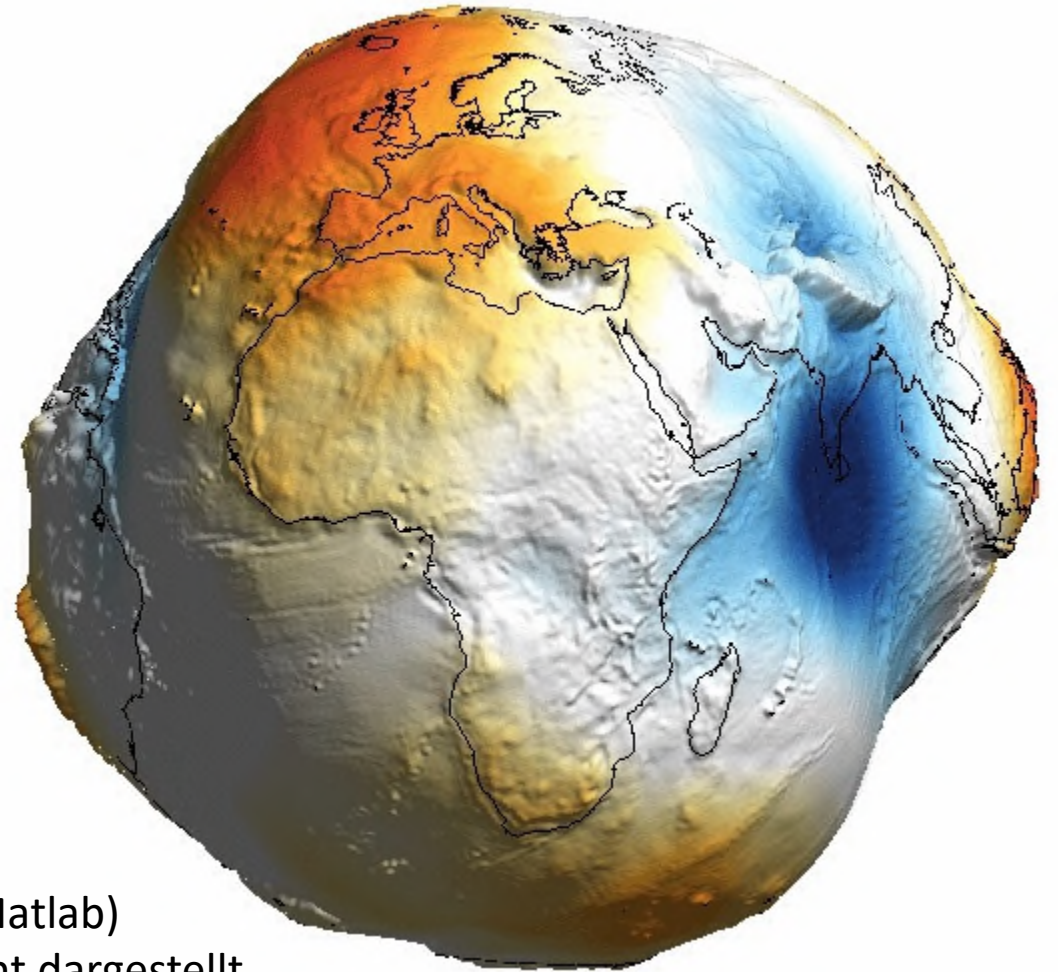
Figur der Erde - aber welche?

- Abweichungen zwischen Ellipsoid und Geoid ± 100 m



Figur der Erde - aber welche?

- Abweichungen zwischen Ellipsoid und Geoid ± 100 m
 - aus Satellitenbahnen
 - aus Schweremessungen
- "Potsdamer Kartoffel"

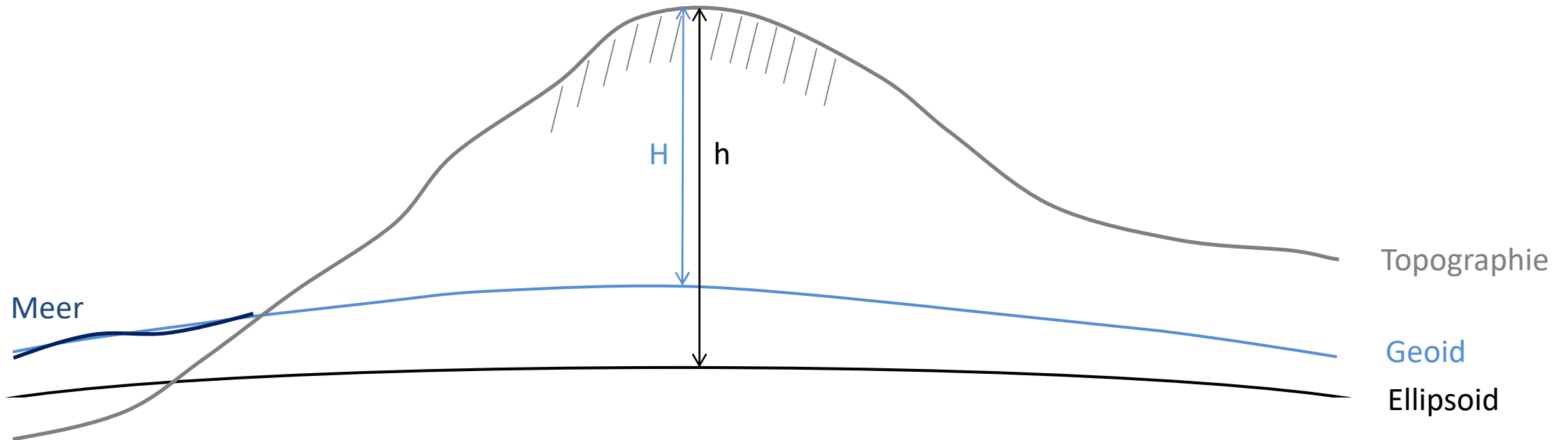


Geoid ASU (Matlab)
Stark überhöht dargestellt

Ellipsoidische Höhen versus Meereshöhen

- Meereshöhen H (vom Geoid)
 - Nivellement
 - Winkelmessung
 - Schweremessung

- Ellipsoidische Höhen h (vom Ellipsoid)
 - aus GNSS Messungen



Höhenbestimmung des Mount Everest

- Neue Höhe: 8848.86 m über Meeresspiegel durch China und Nepal

Höhenbestimmung des Mount Everest

- Neue Höhe: 8848.86 m über Meeresspiegel
 - 2.5 Stunden GNSS am Gipfel



<https://www.xyht.com/>

Höhenbestimmung des Mount Everest

- Neue Höhe: 8848.86 m über Meeresspiegel
 - 2.5 Stunden GNSS am Gipfel
 - Trigonometrie



<https://www.xyht.com/>

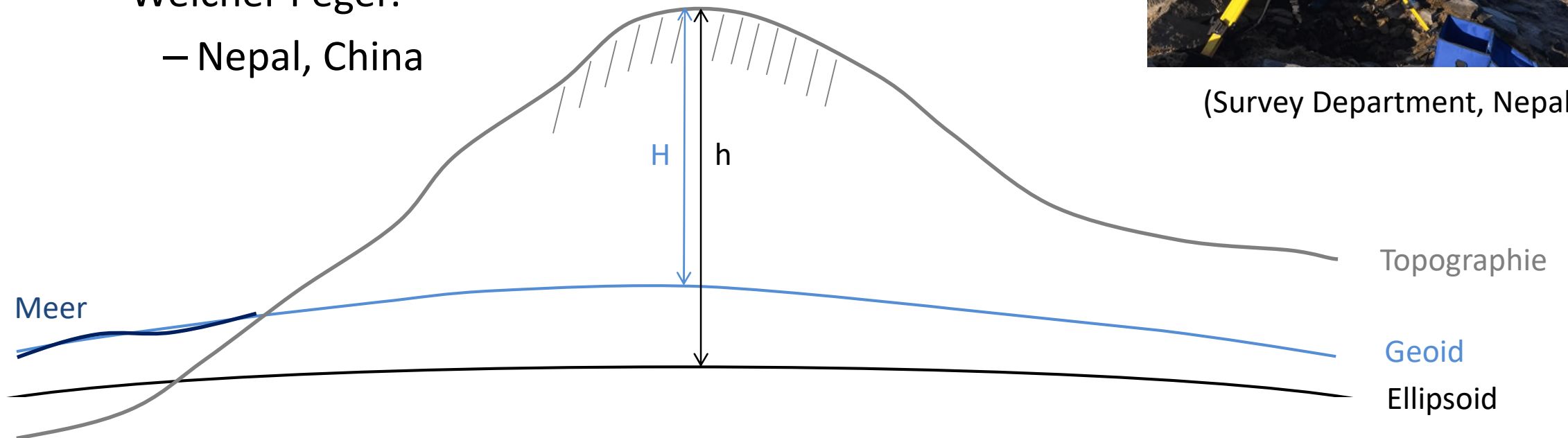


Höhenbestimmung des Mount Everest

- Neue Höhe: 8848.86 m über Meeresspiegel
 - 2.5 Stunden GNSS am Gipfel
 - Trigonometrie
 - Aber wo ist der Meeresspiegel?
 - Neue Schweremessungen für Geoidbestimmung
 - Welcher Pegel?
 - Nepal, China

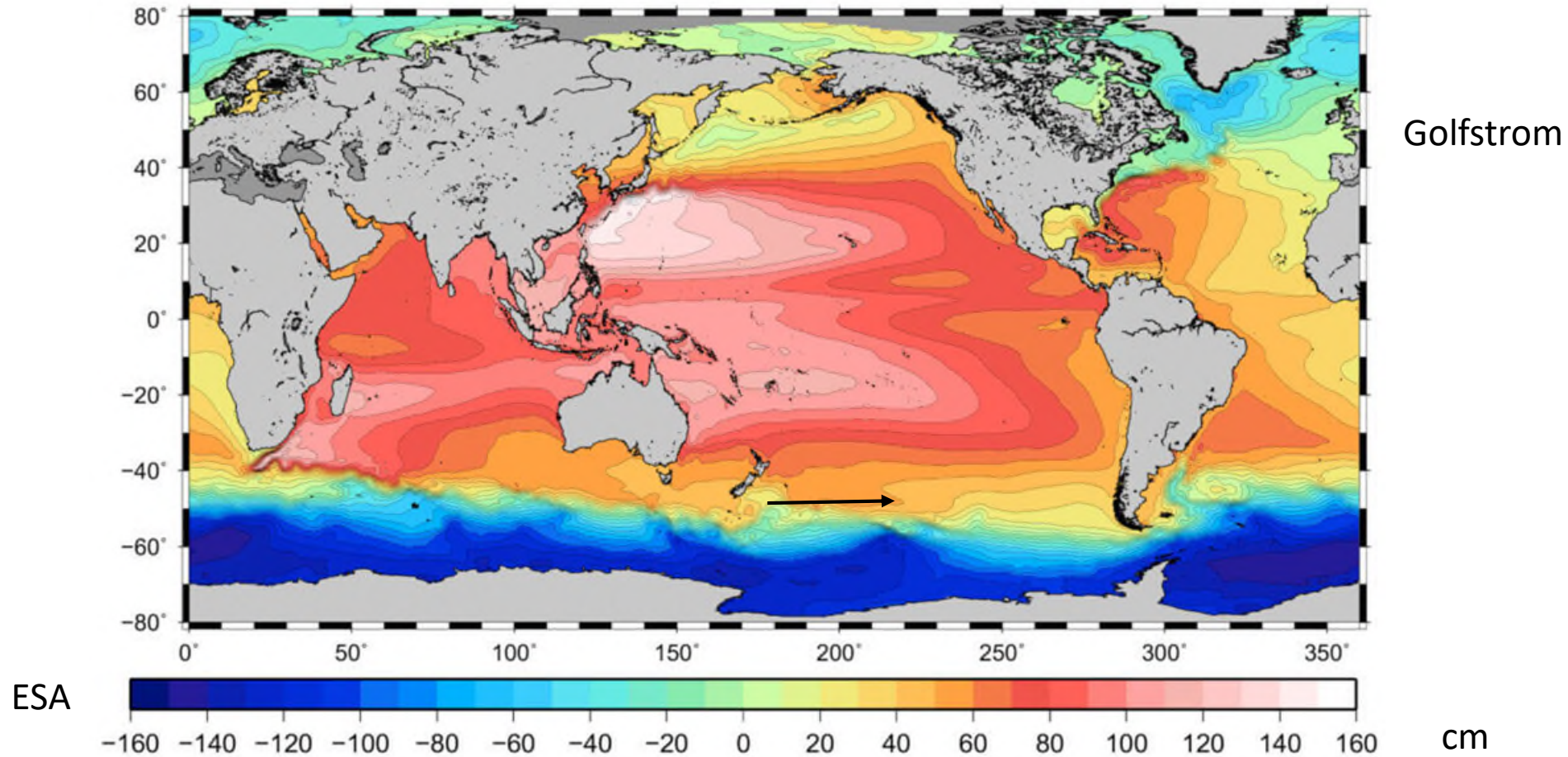


(Survey Department, Nepal)



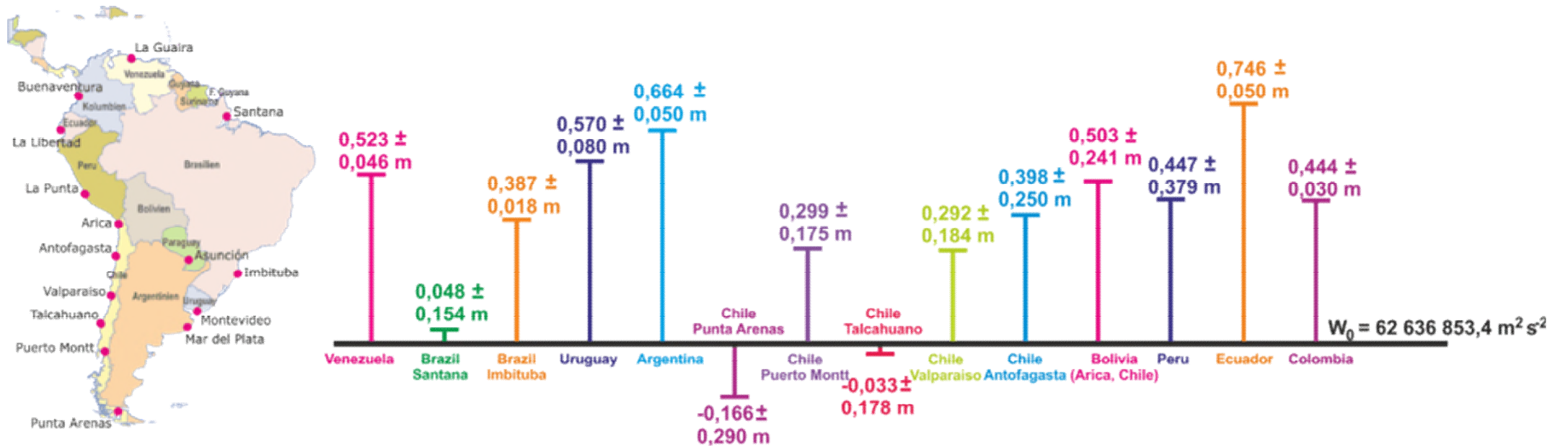
Wo liegt Meereshöhe Null?

- Abweichung zwischen Geoid und Meereshöhe zwischen ± 2 m
- In Abhängigkeit von Dichte und Strömungen



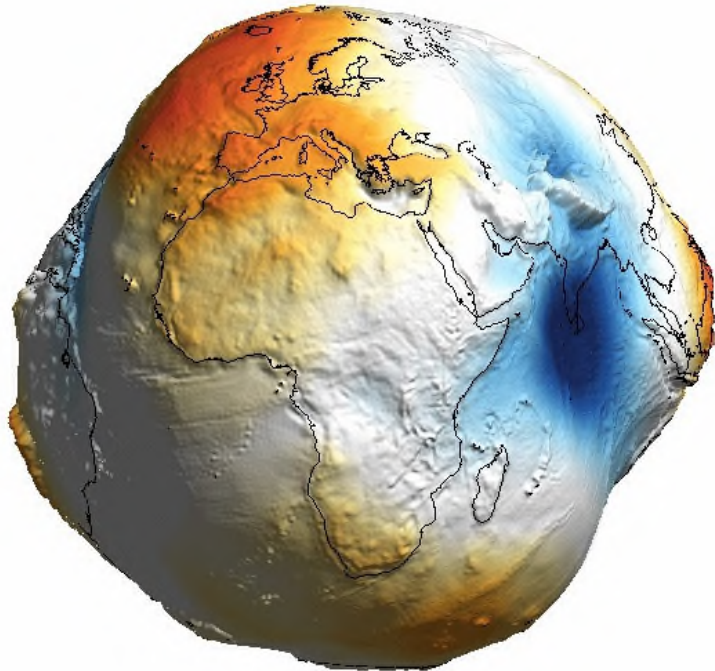
Wo liegt Meereshöhe Null?

- Höhe Triest etwa 3 dm über Höhe Amsterdam (Nordsee)
- Beispiel Südamerika



Erdschwerefeld

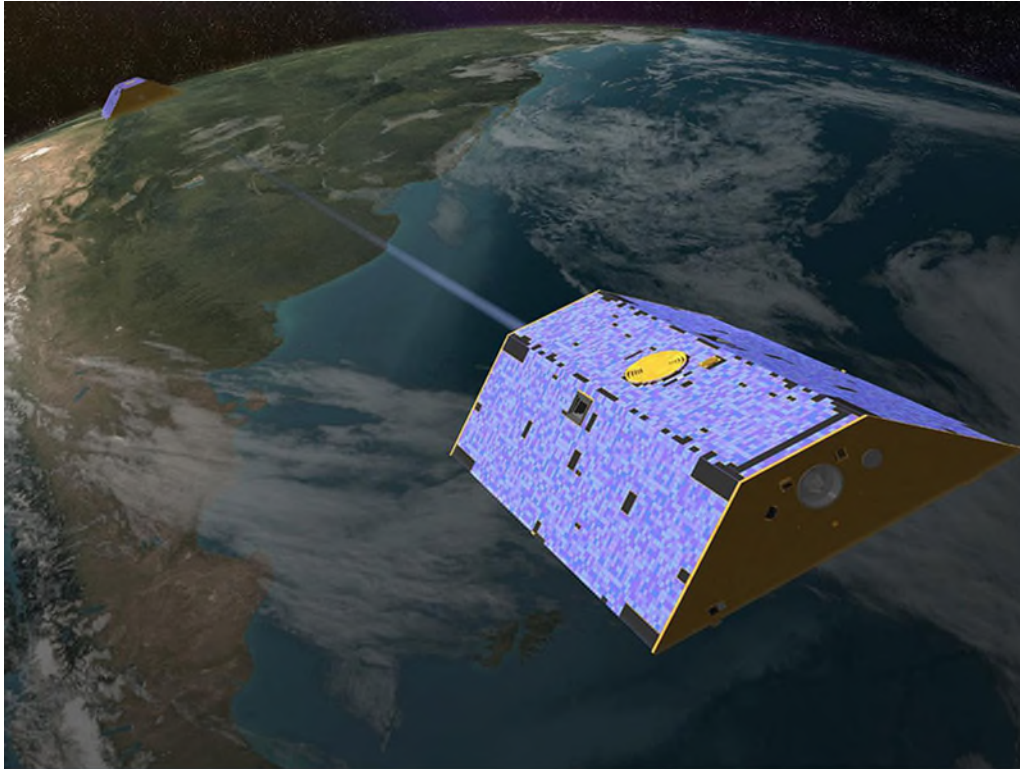
- Geoid gehört zum Erdschwerefeld
- Erdschwerefeld bestimmt aus (u.a.)
 - lokalen Schweremessungen und
 - Satellitenbahnen



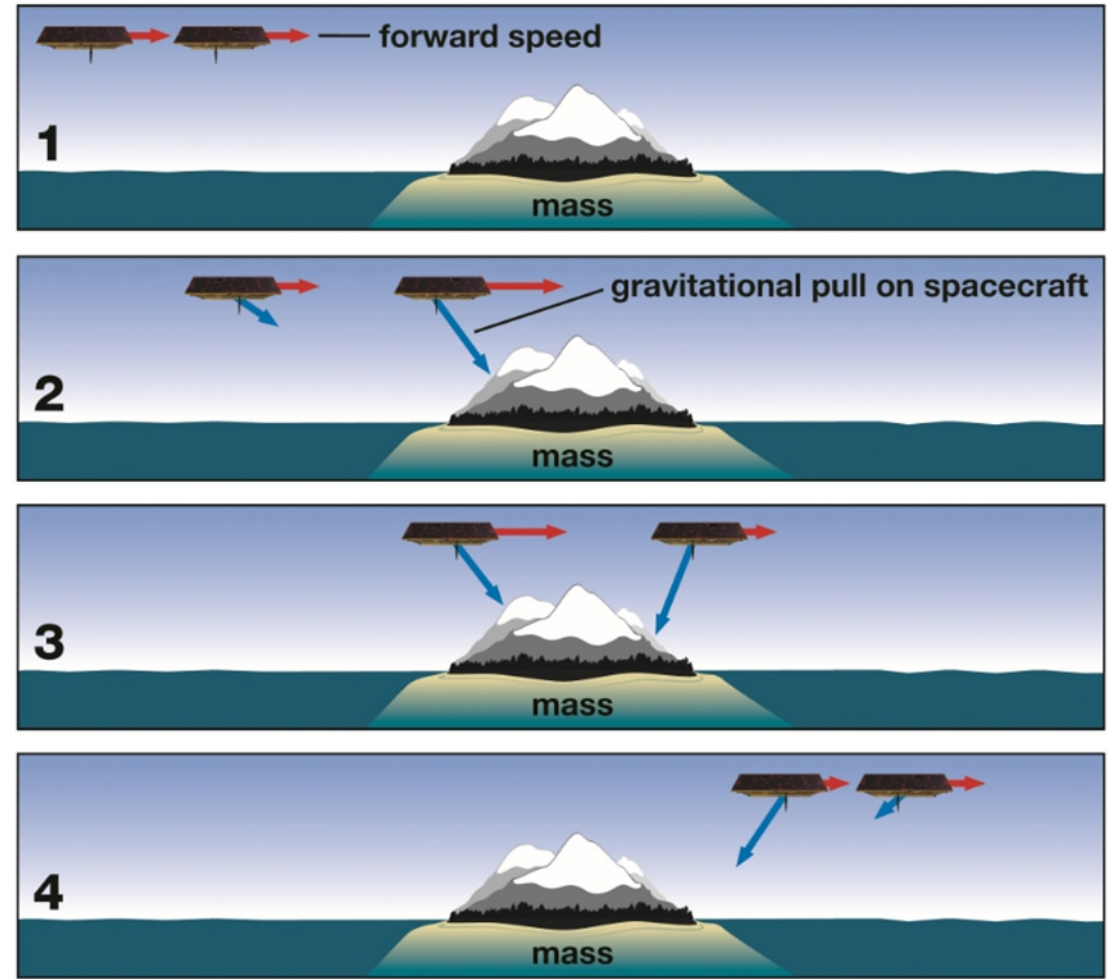
Lageos
(6000 km Höhe)

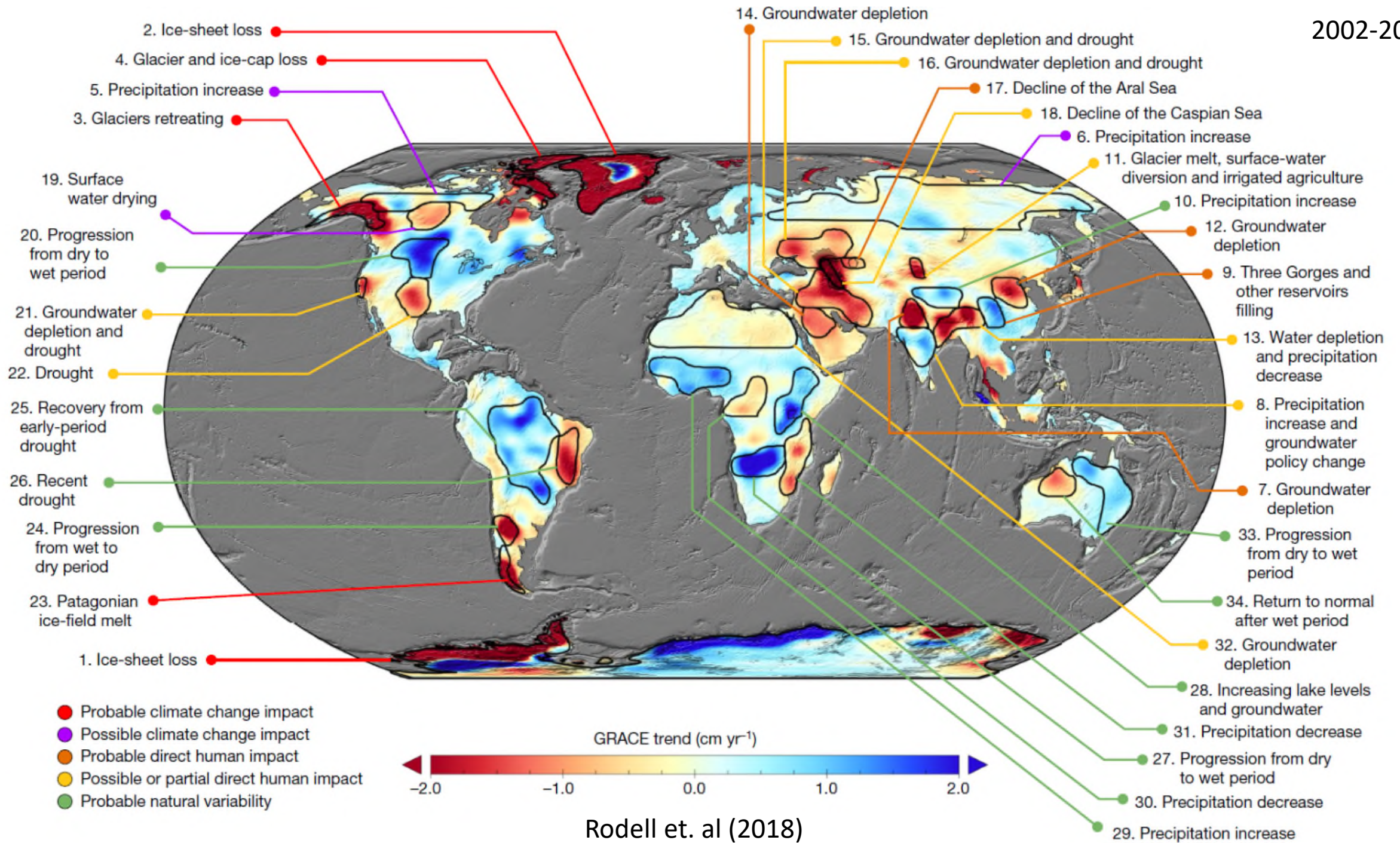
Erdschwerefeld: GRACE (2002-2017) und GRACE Follow-on (2018 -)

- "Tom und Jerry" extrem erfolgreich
- High-Low und Low-Low
- Monatslösungen



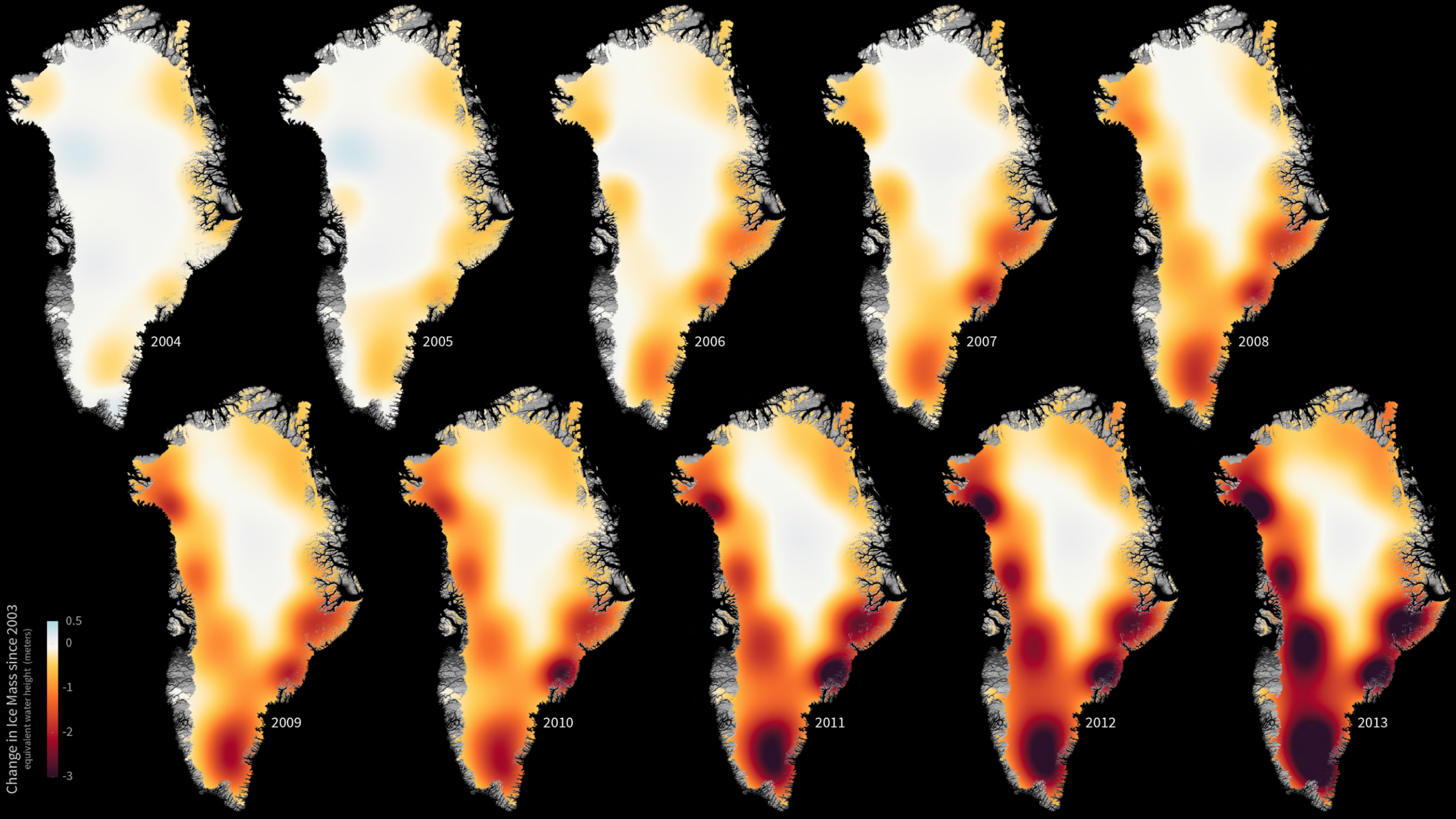
NASA (Artist's concept)





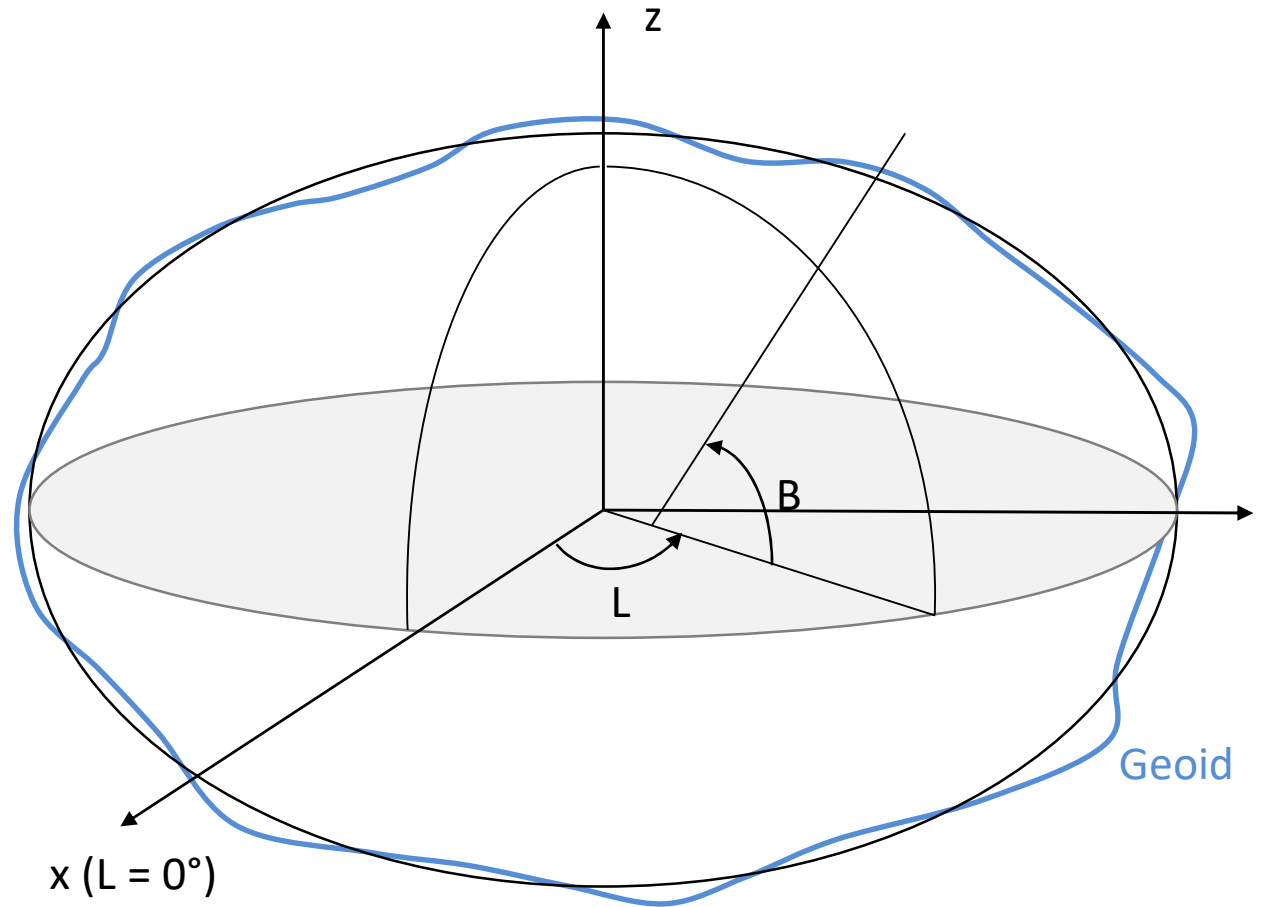
Rodell et. al (2018)

Change in Ice Mass since 2003
equivalent water height (meters)



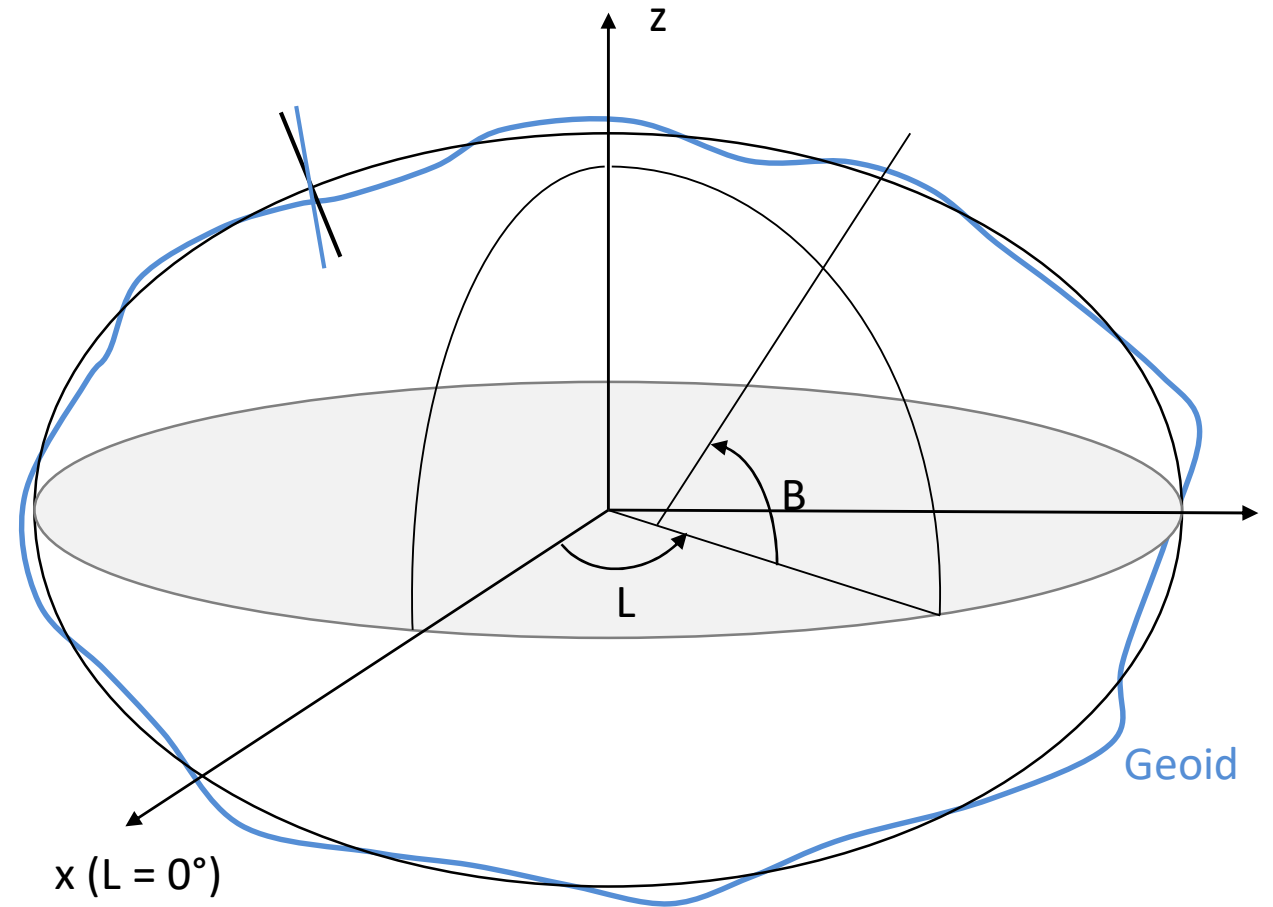
„Wir legen Koordinatensysteme in die Erde“

- Erdfeste Koordinatensysteme
 - Ursprung: Massenschwerpunkt
 - z-Achse: Rotationsachse
 - x-Achse: Greenwich
 - Ellipsoid: Σ Geoid
 - ..



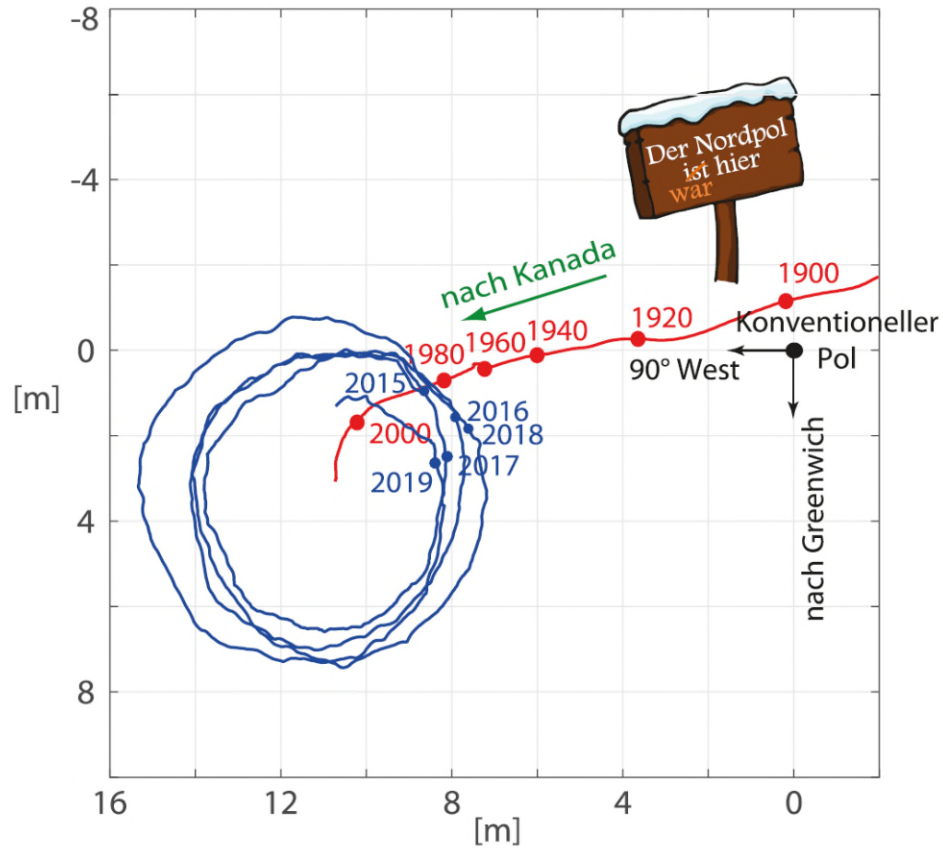
„Wir legen Koordinatensysteme in die Erde“

- Nullmeridian in Greenwich (1884)
 - Airy Transit Circle
 - GPS zeigt Abweichung von 102 m
 - Hauptgrund Lotabweichung

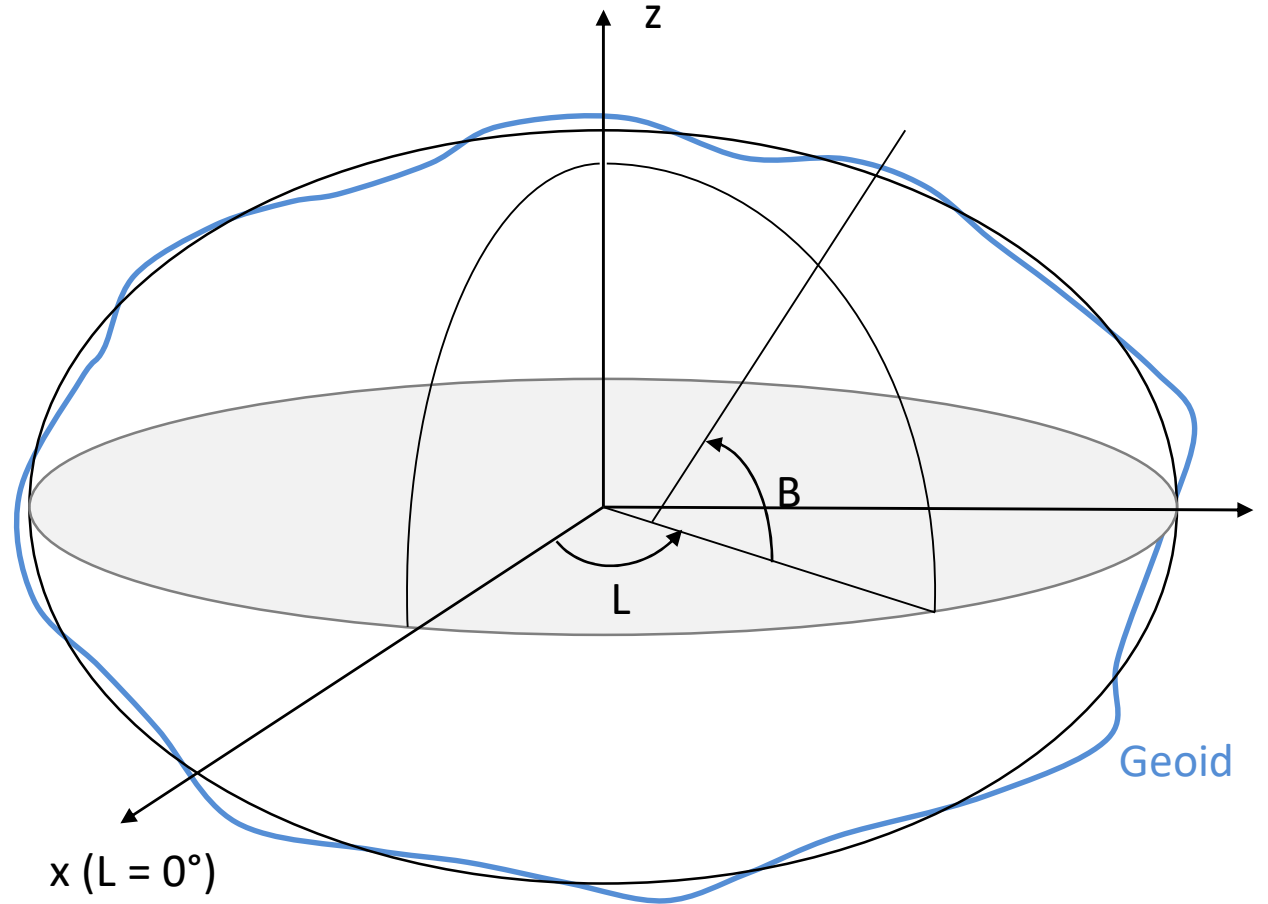


„Wir legen Koordinatensysteme in die Erde“

- Rotationsachse

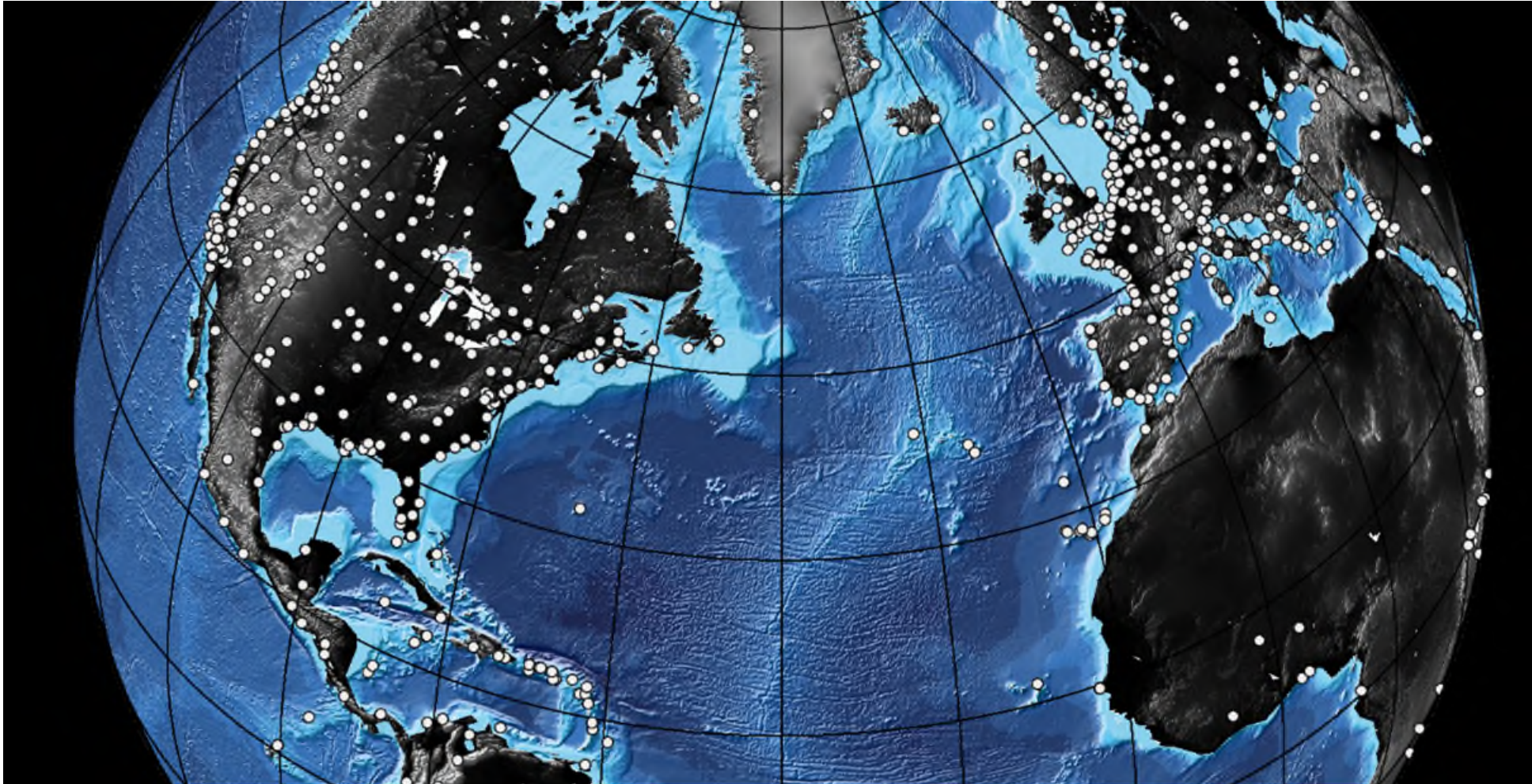


Angermann et al. (2021)



Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Positionen und Geschwindigkeiten von global verteilten Stationen



Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Wir verwenden Geodätische Weltraumverfahren
 - Globale Satellitennavigationssysteme (GPS, Galileo, GLONASS, Beidou, ..)
 - Satellite Laser Ranging
 - Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
 - Very Long Baseline Interferometry

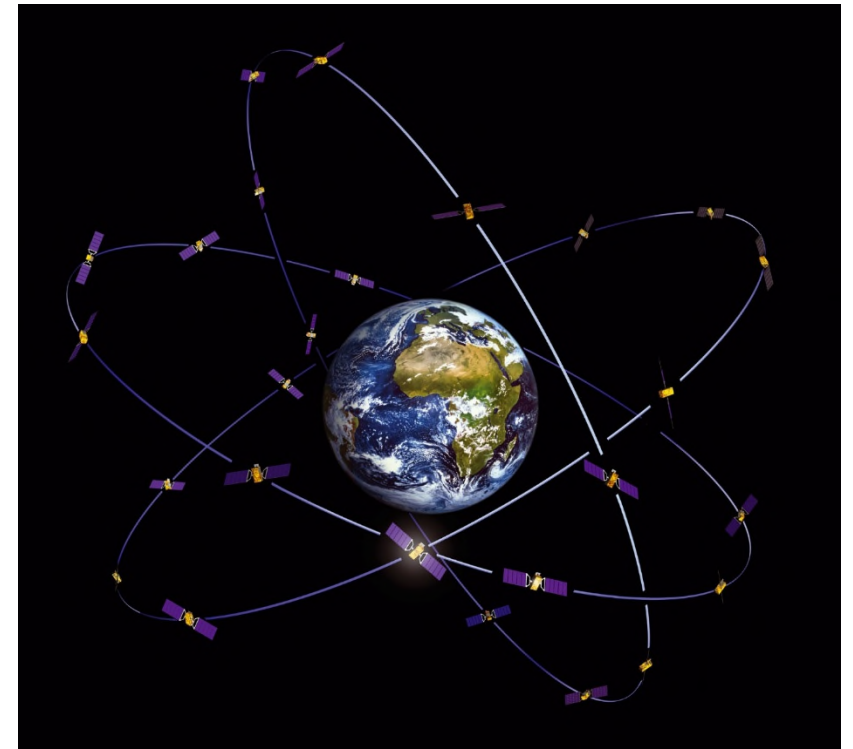


Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Grundlage für jede Art von Positionierung und Navigation
 - ITRF steht via GNSS zur Verfügung

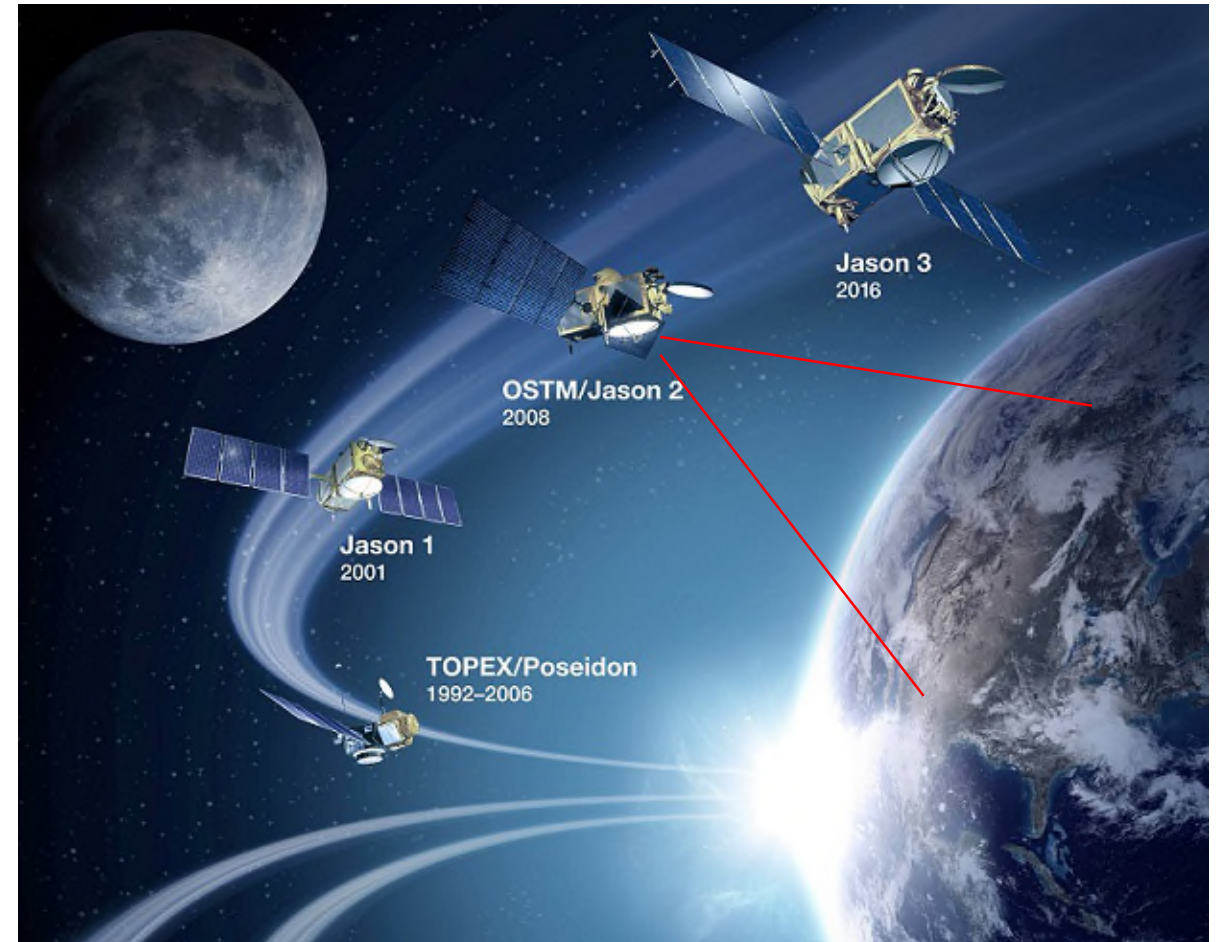


wikipedia.de



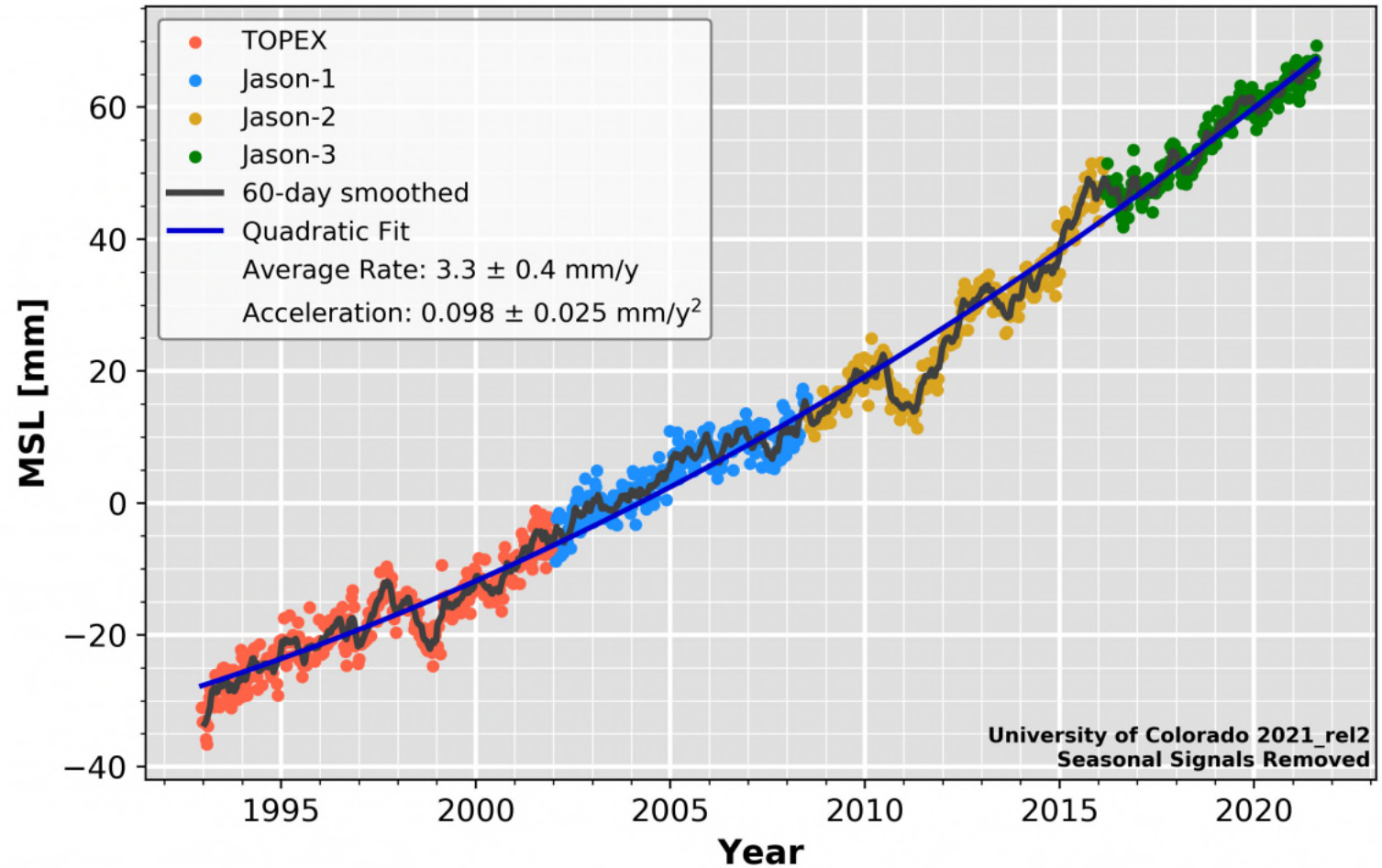
Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Kritisch bei der Bestimmung des Meeresspiegelanstiegs
- Bahnbestimmung mit cm-Genauigkeit



Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Meeresspiegelanstieg aus Altimetrie
- Hauptursachen
 - Eismassen (v. A. Grönland)
 - Temperaturerhöhung

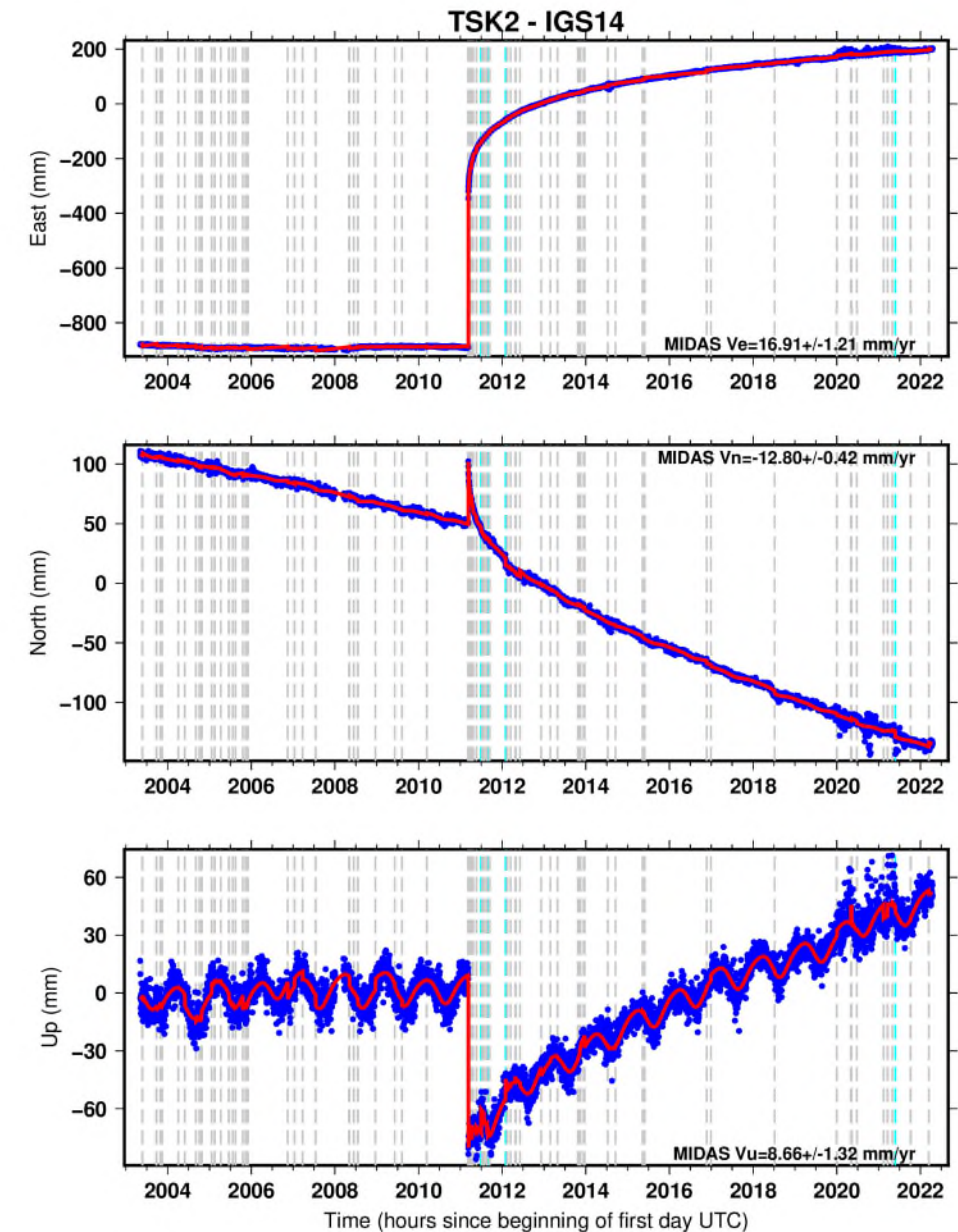


Stationskoordinaten

- Tsukuba (Japan; Tohoku Erdbeben 2011)



- Einiges schon korrigiert: Gezeiten der festen Erde, ozeanische und atmosphärische Auflasteffekte, ...



24 Hour Positions Using Final Orbits (blue) and Rapid Orbits (magenta).
Processed by the Nevada Geodetic Laboratory.
Plotted on 2022-May-11. Last data on 2022-Apr-16.

Realisierung: Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF2020)

- Wir verwenden Geodätische Weltraumverfahren
 - Globale Satellitennavigationssysteme (GPS, Galileo, GLONASS, Beidou, ..)
 - Satellite Laser Ranging
 - Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
 - Very Long Baseline Interferometry



Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

- Vermessung der Welt mit Quasaren
 - Milliarden von Lichtjahren entfernt

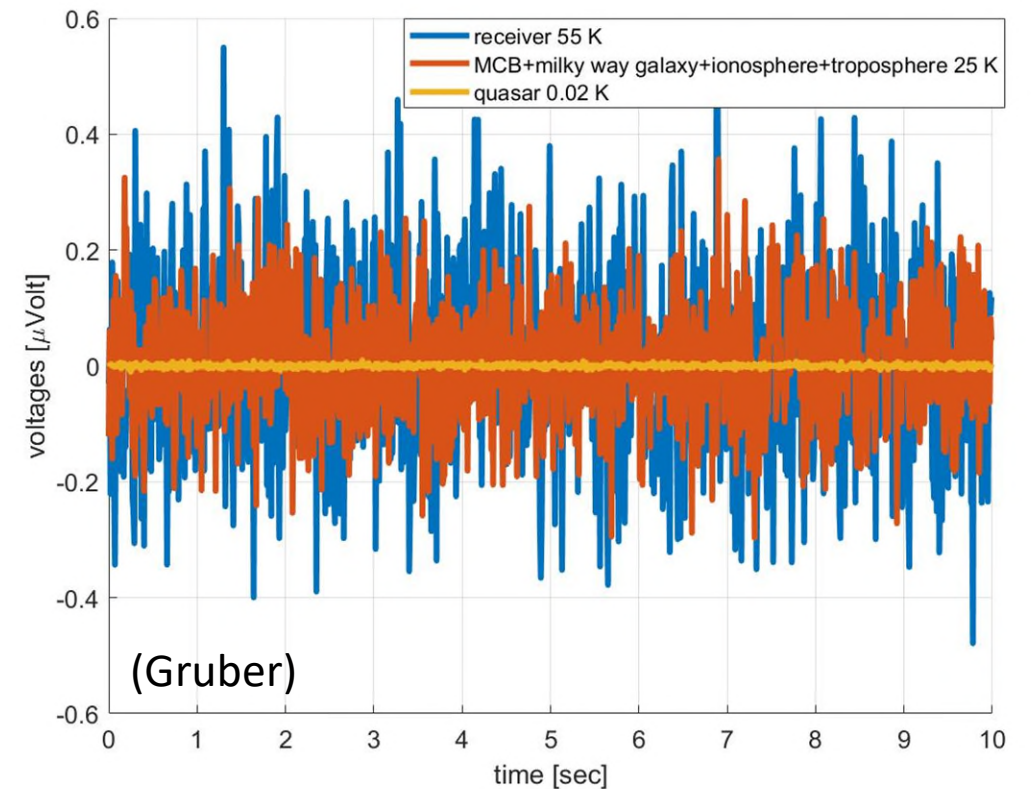
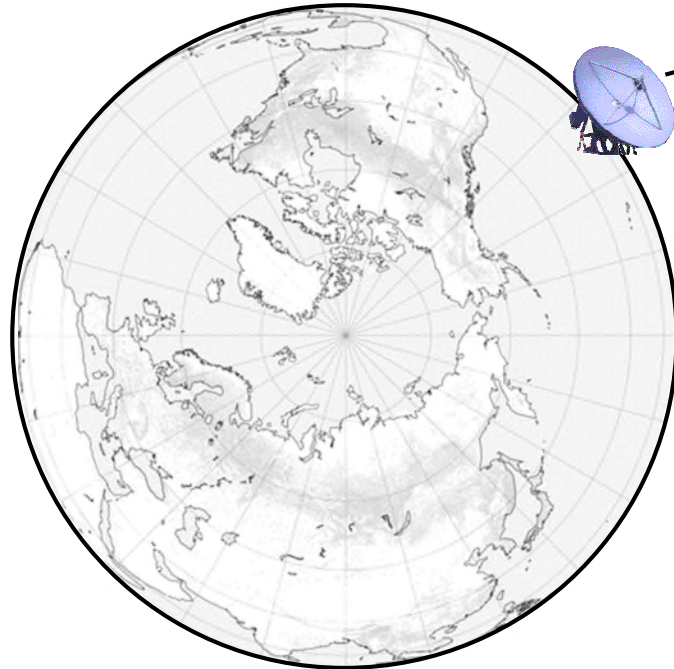


Wettzell (Bayerischer Wald)

Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



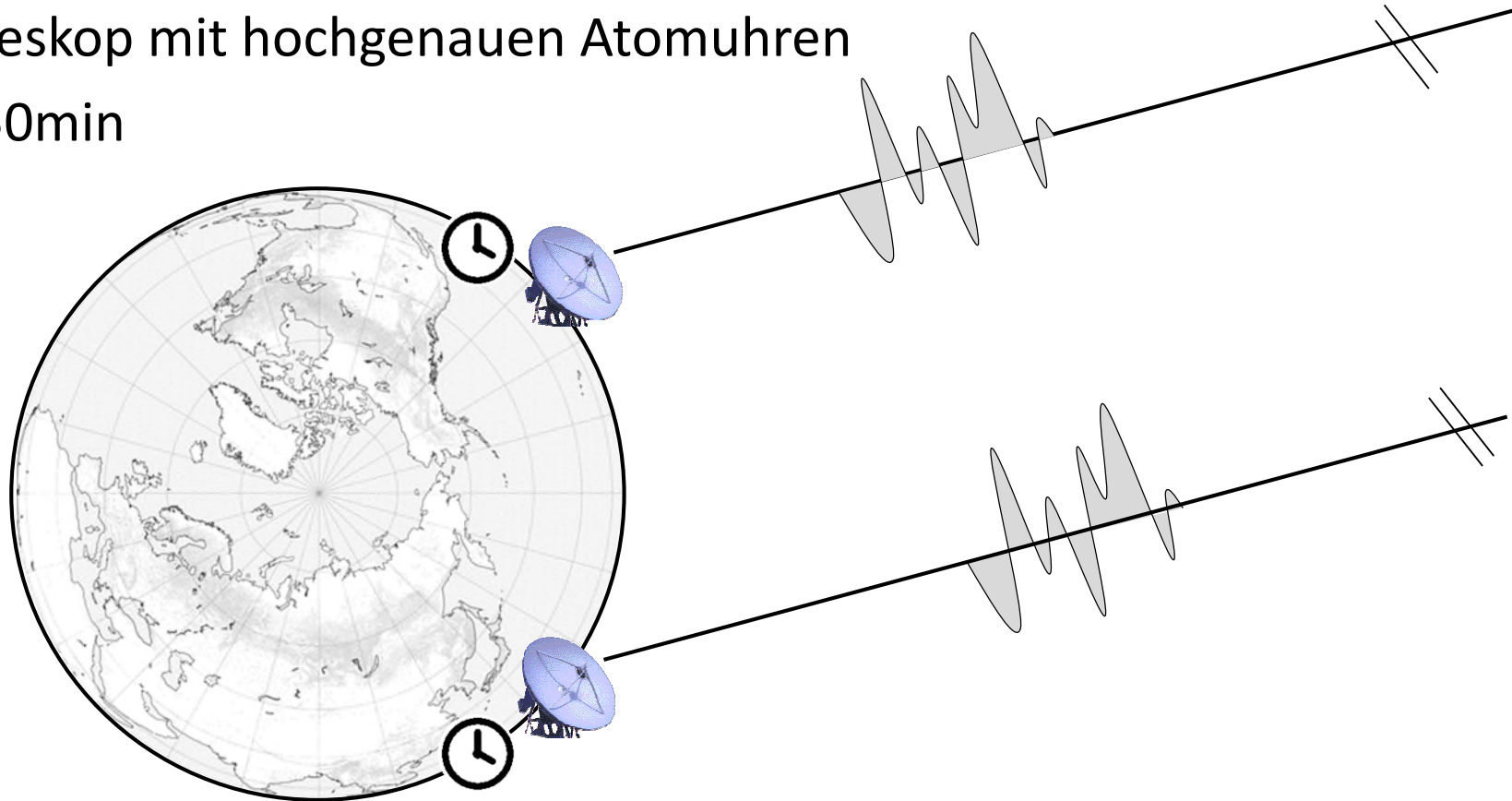
- Strahlung des Quasars 1000-fach überauschert durch Atmosphäre und Empfänger



Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



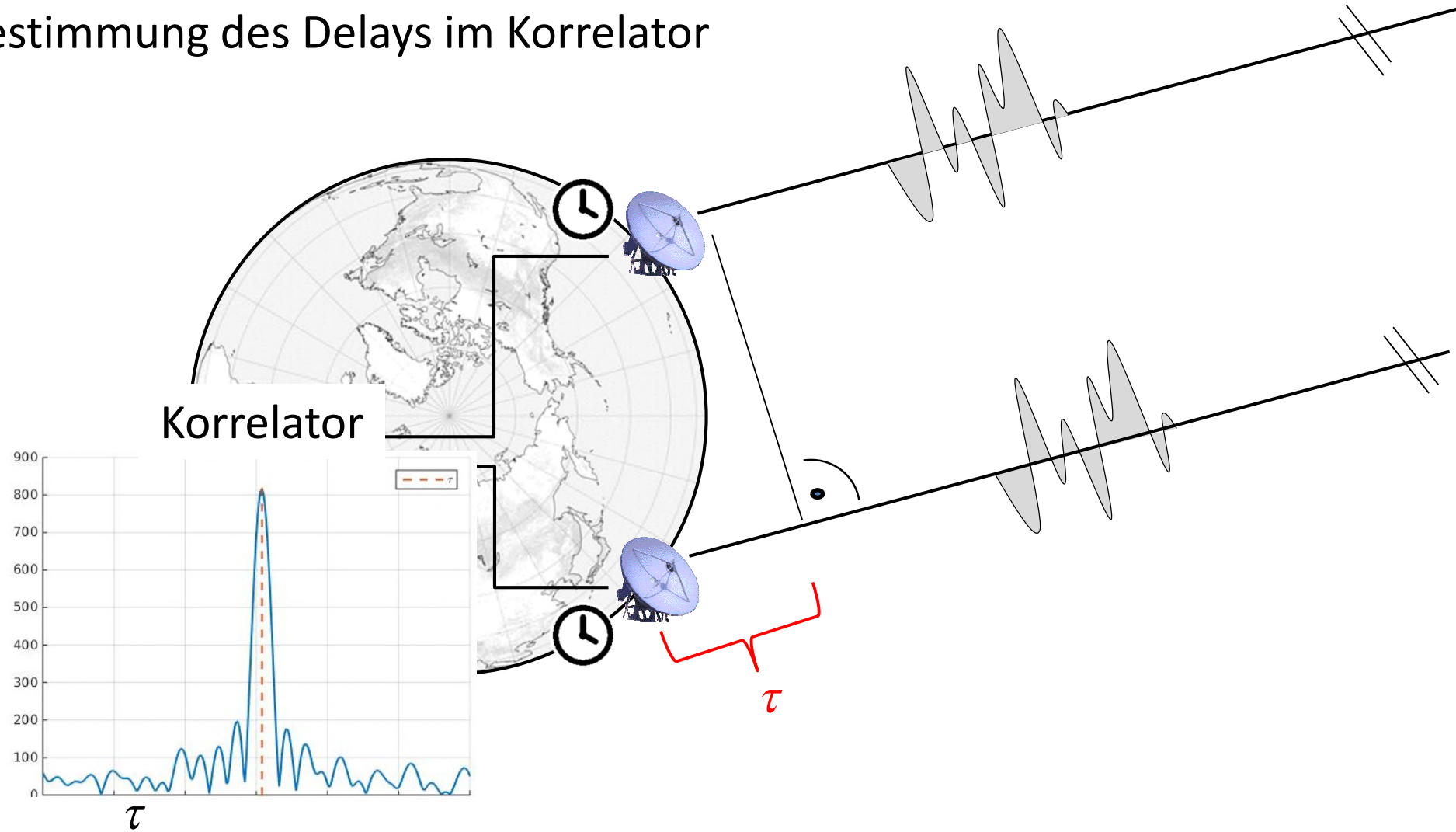
- Zweites Teleskop mit hochgenauen Atomuhren
 - 10^{-15} @50min



Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



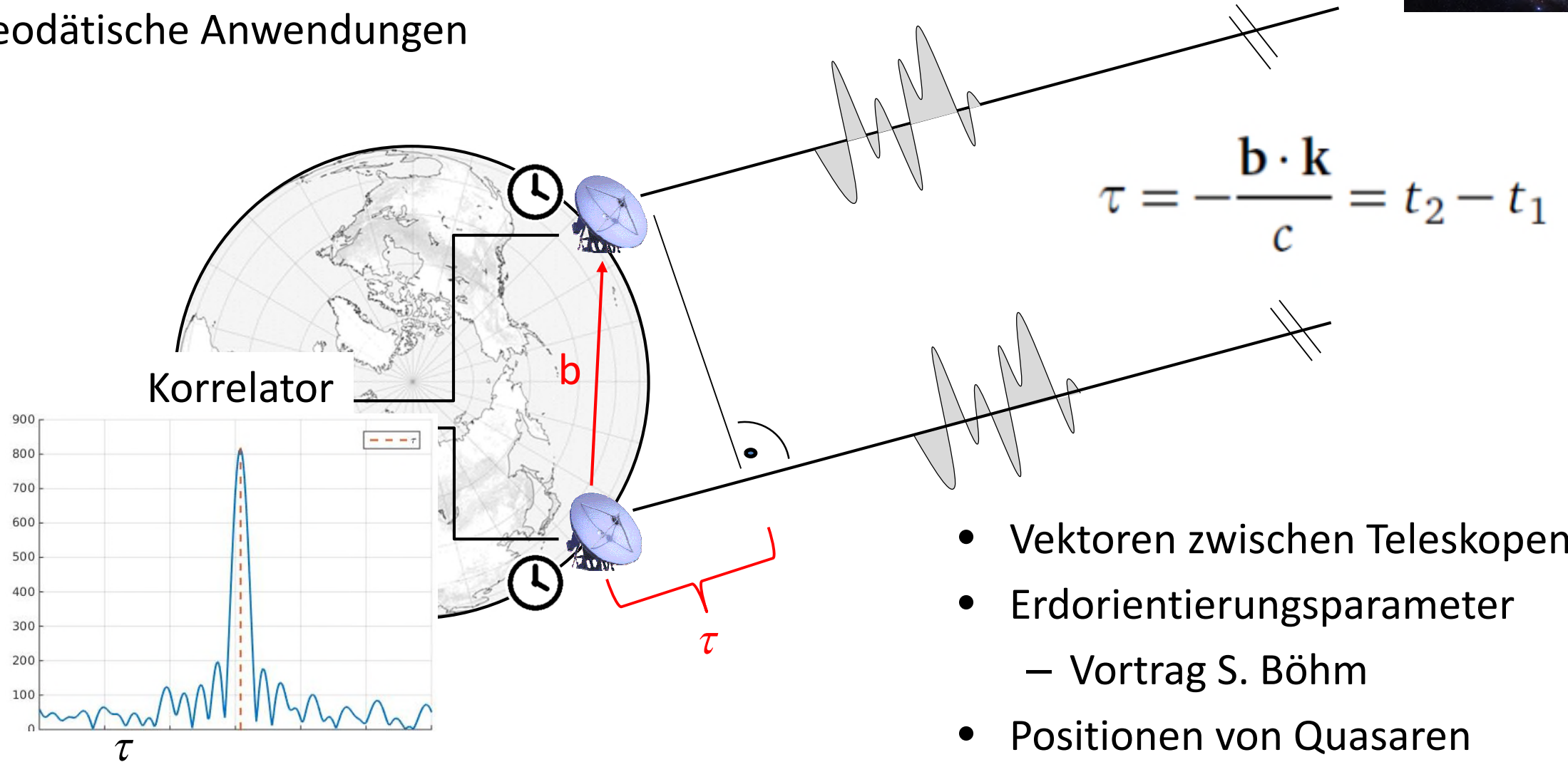
- Bestimmung des Delays im Korrelator



Very Long Baseline Interferometry (VLBI)



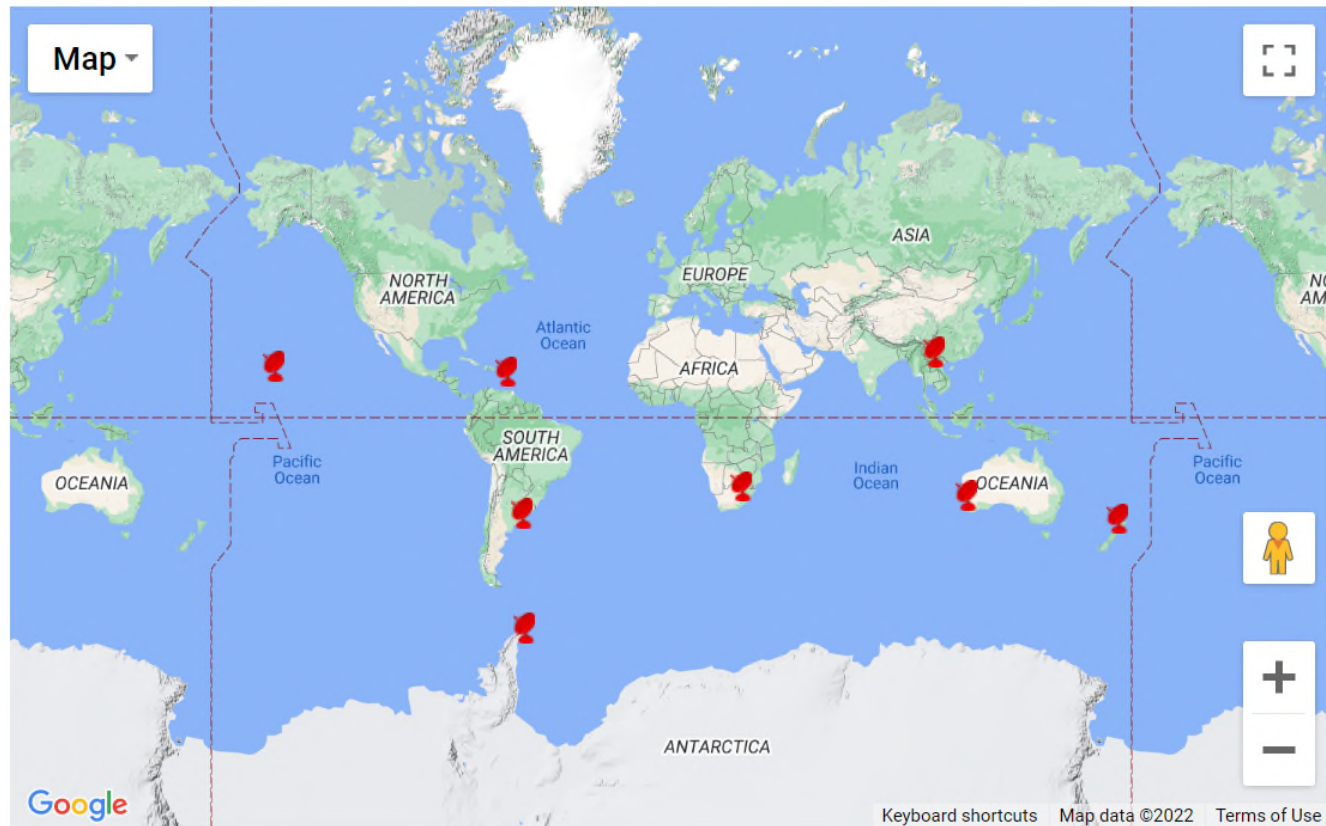
- Geodätische Anwendungen




Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

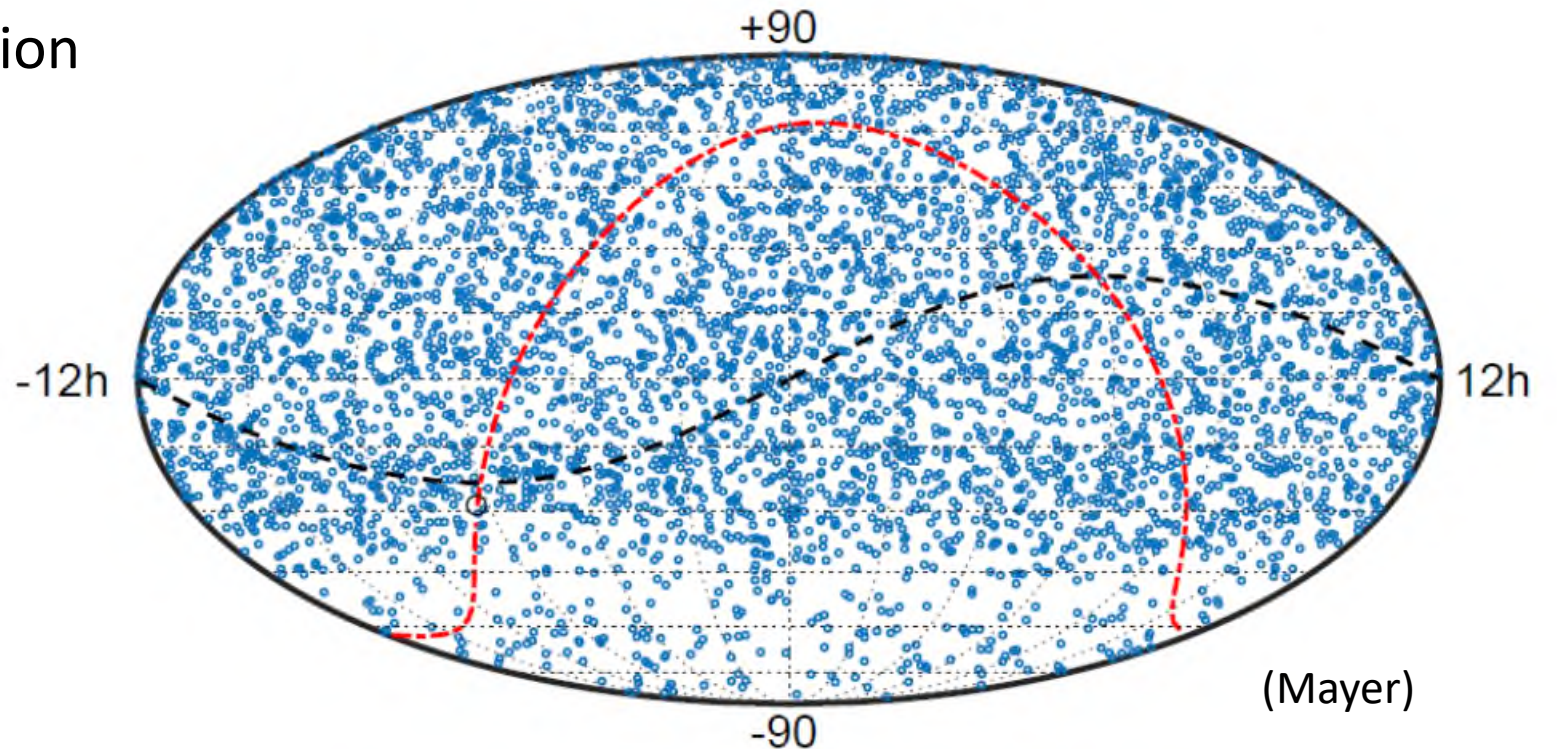
- IVS-Live: <http://ivslive.astrophys.u-bordeaux.fr/>
- CRD118 beginnt heute um 20 Uhr

AGGO, Hartebeesthoek, Kunming, Mauna Kea (VLBA), OHiggins, Sainte-Croix (VLBA), Warkworth, Yarragadee



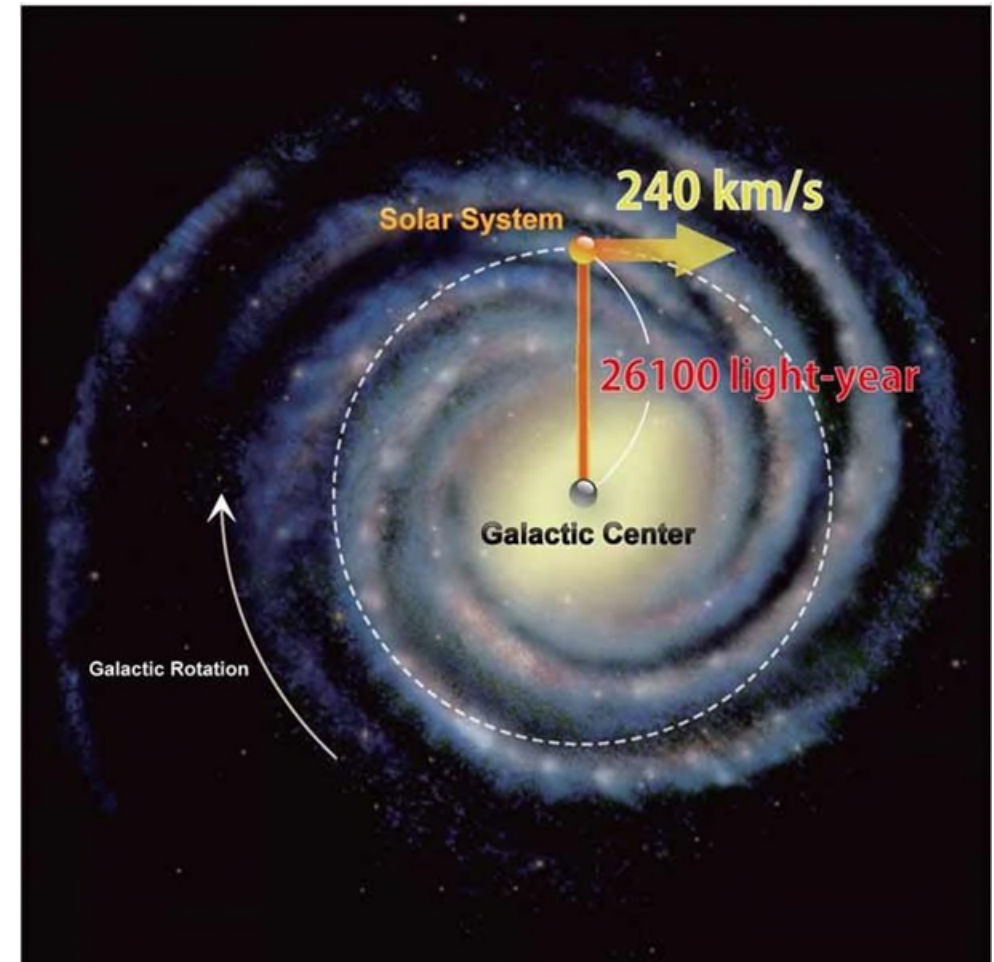
Himmelsfester Referenzrahmen (ICRF3)

- Realisierung mit VLBI Beobachtungen der Jahre 1979-2018
 - ICRF3 mit 4500 Quasaren (X-Band)
 - Genauigkeit $30 \mu\text{as}$ (Tennisball am Mond) 
- Bedeutung
 - Vielzahl astronomischer Anwendungen
 - Interplanetare Navigation
 - Erdorientierung



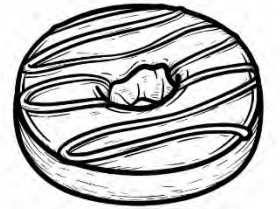
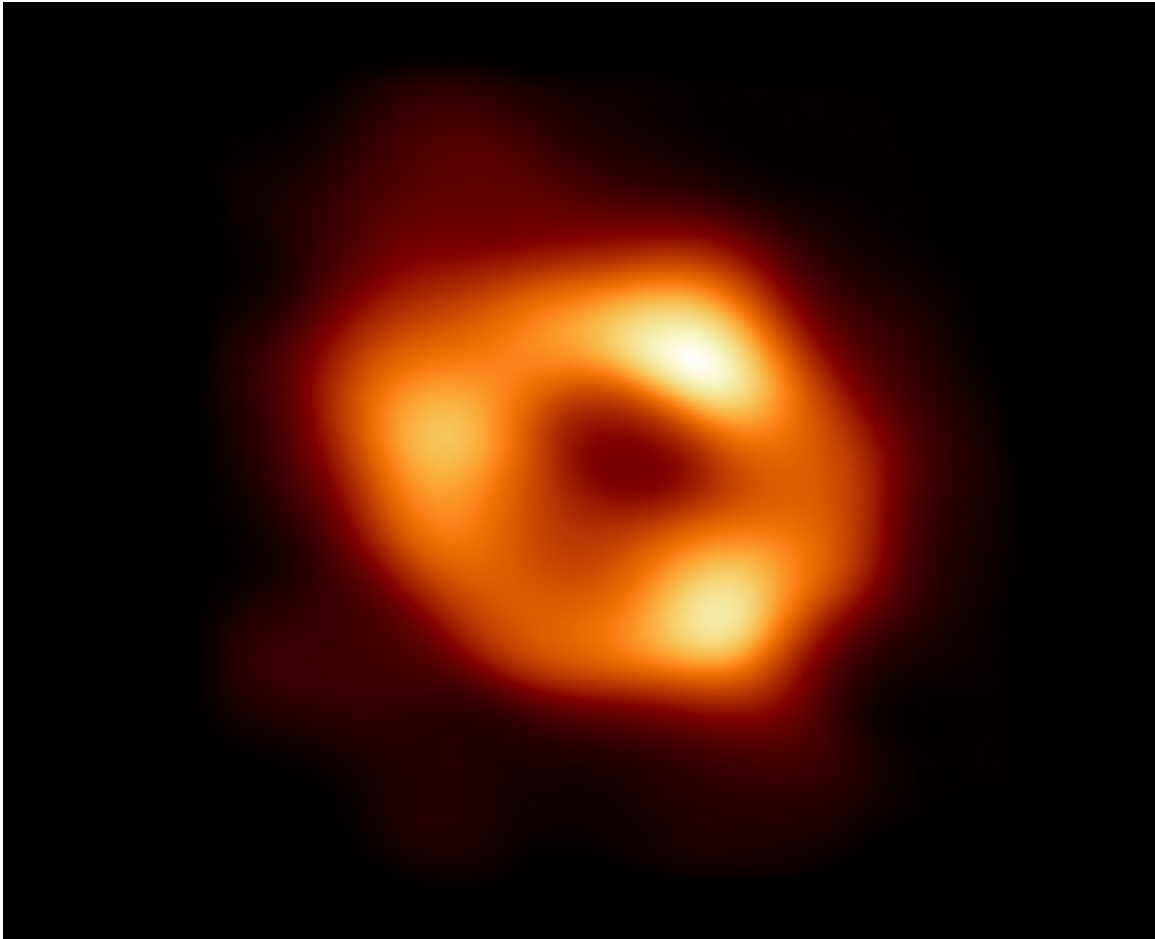
Himmelsfester Referenzrahmen

- Ursprung des ICRF3 im Schwerpunkt des Sonnensystems (SSB)
- SSB in beschleunigter Bewegung um galaktisches Zentrum
 - 200 Mio Jahre um SgrA*
 - verursacht systematische Effekte $5 \mu\text{s}/\text{Jahr}$



Sagittarius A*

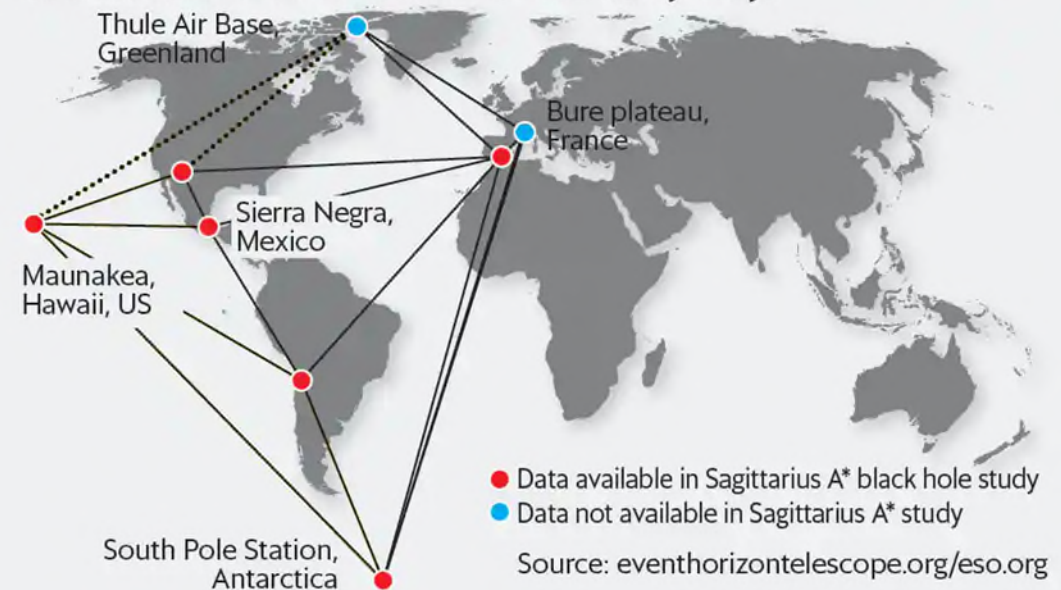
- VLBI mit dem Event Horizon Telescope



"Ein Donut auf dem Mond"

The event horizon telescope network

The virtual Earth-sized telescope has captured the first image of a black hole at the centre of the Milky Way.



Die Vermessung der Welt



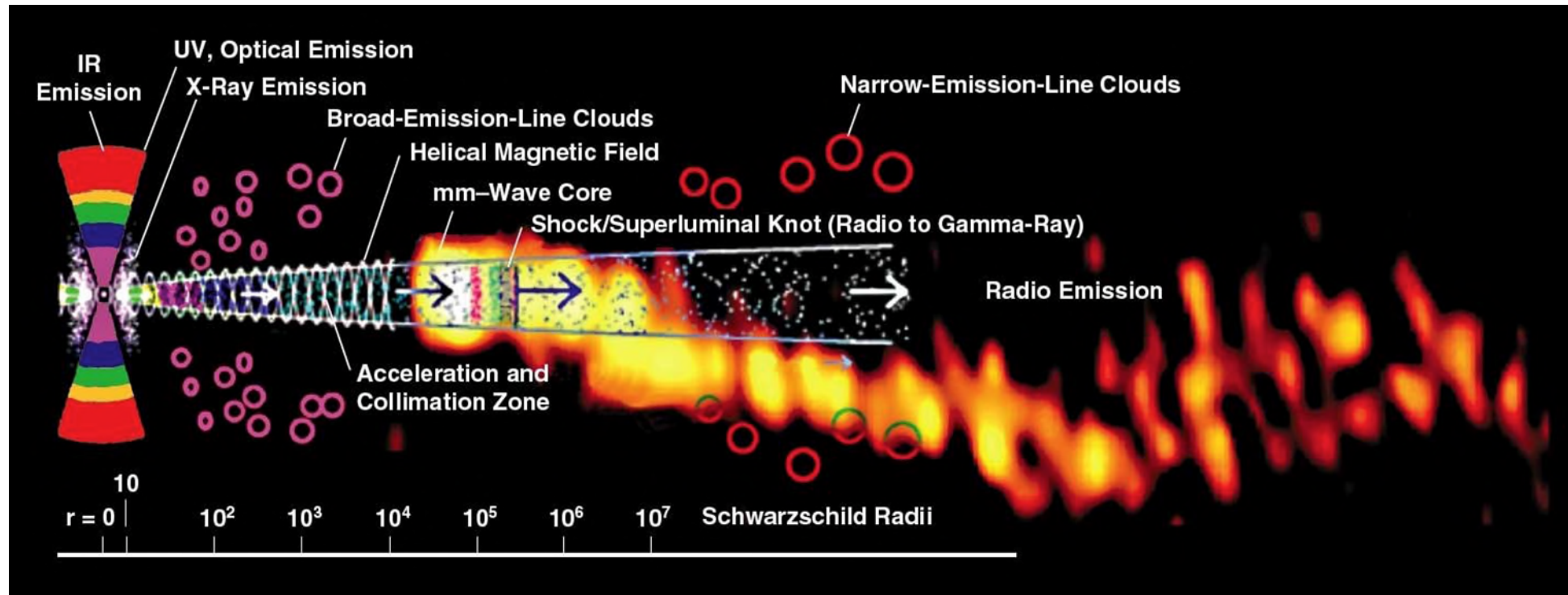
- .. aus der Sicht eines "Höheren Geodäten".
- Wir beobachten Figur, Rotation und Schwerefeld einer dynamischen Erde, nicht zuletzt aufgrund des Klimawandels.
- Mittel der Wahl sind Beobachtungen mit Satelliten und darüber hinaus.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
DEPARTMENT FÜR GEODÄSIE
UND GEOINFORMATION
FORSCHUNGSBEREICH
HÖHERE GEODÄSIE

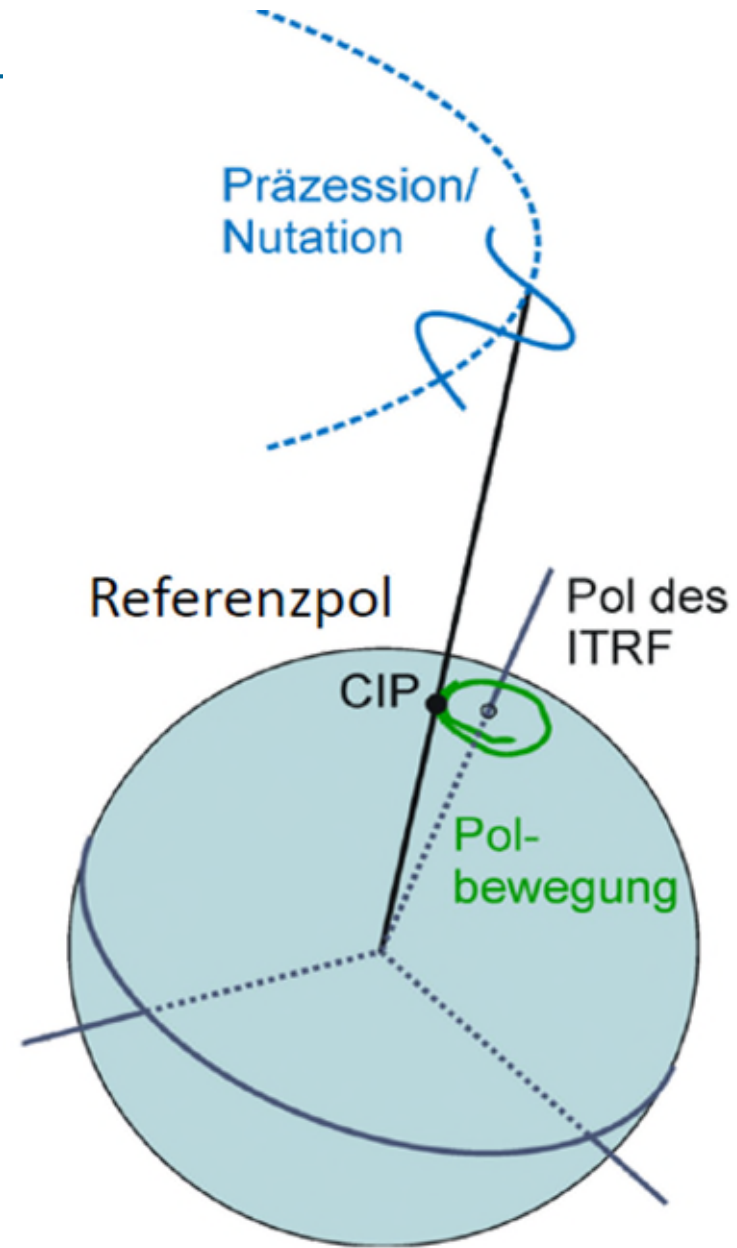
Quasare

- Radioquellen als fixe Punkte am Himmel, weil sehr weit entfernt
 - keine Eigenbewegungen wie sichtbare Sterne
 - Quellenstruktur



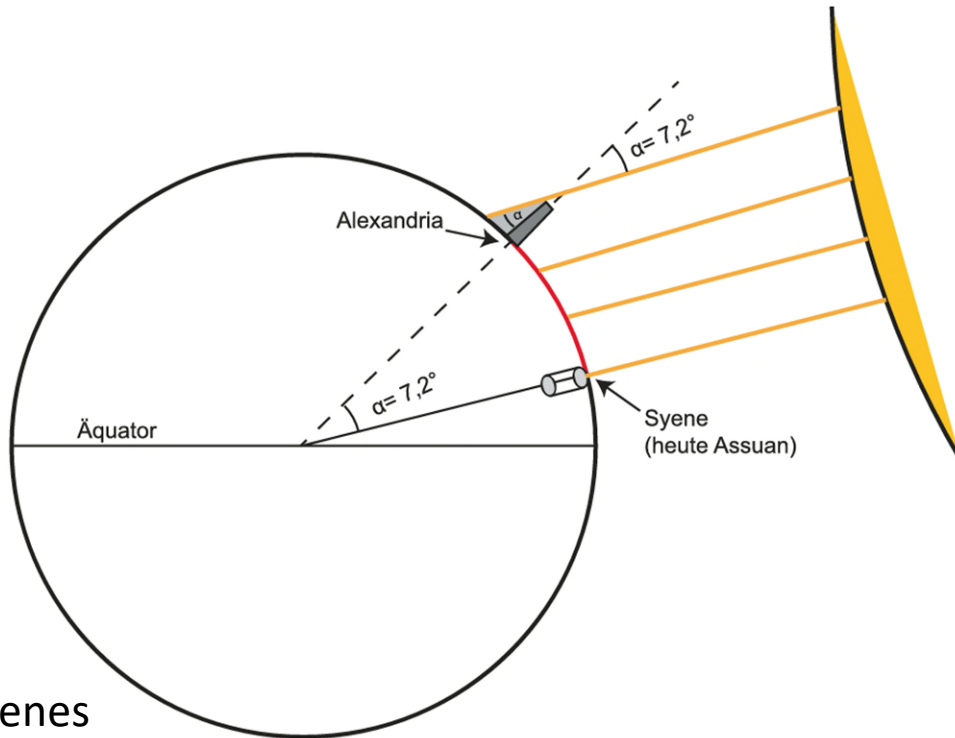
Erdorientierung in Bezug auf Quasare

- Präzession/Nutation
- Polbewegung
- UT1-UTC
 - UT1 Winkel der Erdrotation
 - UTC quasi Atomzeit

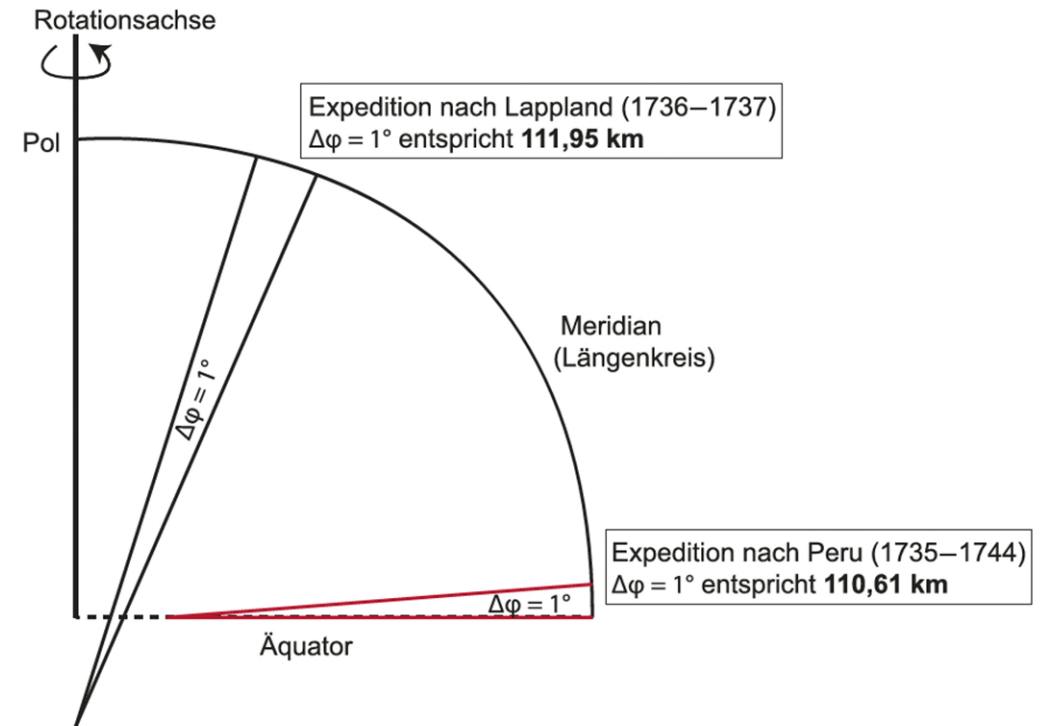


Höhere Geodäsie

- Erdmessung damals ...



Eratosthenes
(276-196 v. Chr.)



(Angermann et al., 2021)