

Graz in Space 2012

IWF | Graz | 6.–7. September 2012

Faszination Schwerefeldforschung: Was uns die Anziehungskraft über die Natur der Erde und des Mondes verrät

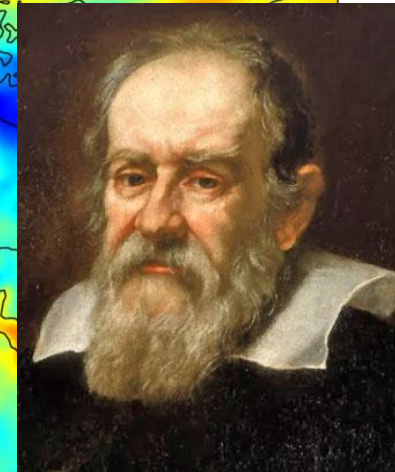
Oliver Baur

Institut für Weltraumforschung
Österreichische Akademie der Wissenschaften

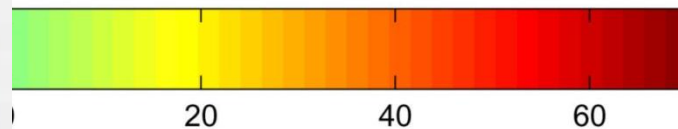
[Gal] : in den Geowissenschaften gebräuchliche Einheit für die Beschleunigung

$$1 \text{ Gal} = 0,01 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$$



Galileo Galilei
1564-1642



nalie [mGal]

- Was? ...ist das Ziel der Schwerefeldforschung?
Forschungsgebiet
- Warum? ...Schwerefeldforschung?
Fragestellungen
- Wie? ...kann das Schwerefeld bestimmt werden?
Satellitenmissionen

Was?

Geodäsie (griechisch: γη = Erde δαιζω = ich teile)

Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche

Friedrich R. Helmert
1843-1917

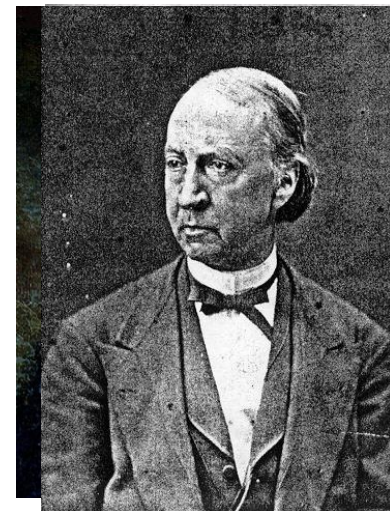
Geodäsie ist das womit ein Geodät sein Brot verdient

Helmut Moritz
1933-

Geoid

*Was wir im **geometrischen** Sinn Oberfläche der Erde nennen, ist nichts anderes als diejenige Fläche, welche überall die Richtung der **Schwere** senkrecht schneidet, und von der die Oberfläche des Weltmeeres einen Teil ausmacht.*

*... wir werden die vorhin definierte mathematische Oberfläche der Erde, von welcher die Oberfläche des Ozeans einen Teil bildet, die **geoidische** Fläche der Erde oder das **Geoid** nennen.*



Carl F. Gauß
1777-1855

Johann B. Listing
1808-1882

Geometrie und Schwere

„Äquivalente“ Größen

- symmetrische, homogene Erde (Kugel)

$$\gamma = \text{const} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

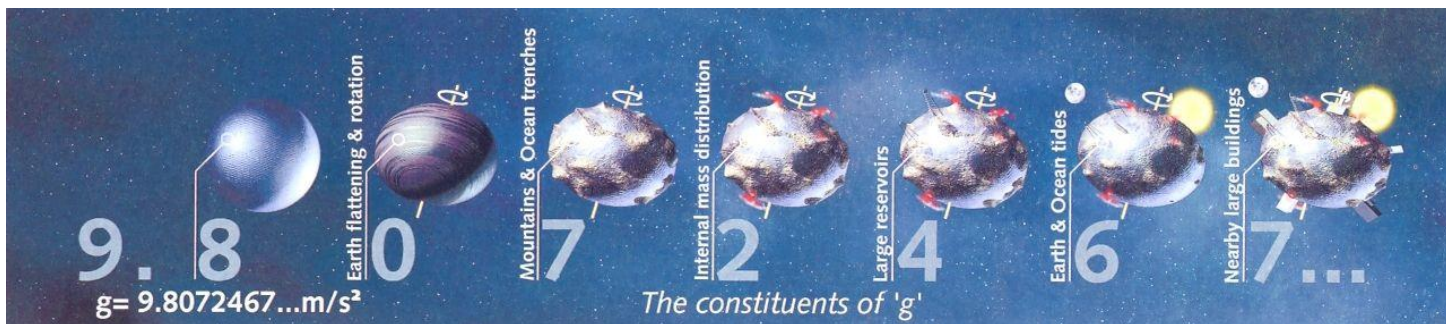
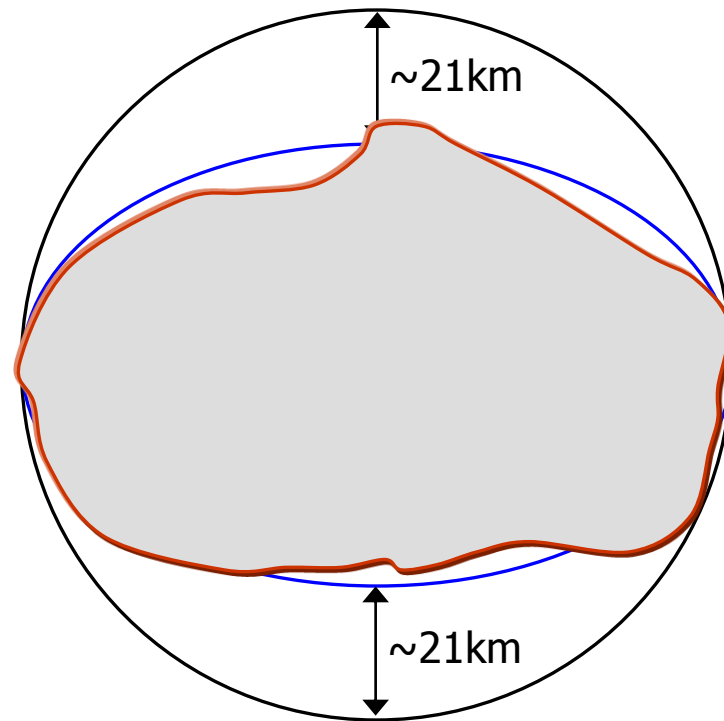
- rotierende, homogene Erde (Ellipsoid)

$$\gamma = 9,784 \text{ m/s}^2$$

$$\left[F = G \frac{Mm}{R^2}; F = m\gamma \right]$$

- rotierende, inhomogene Erde (Geoid)

$$\left[\gamma = ? \frac{GM}{R^2} \right]$$



Schwerefeldmodellierung (Potenzialtheorie)

$$V(\lambda, \varphi, r) = \frac{GM}{r} \left(1 + \sum_{l=1}^L \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r} \right)^l \left(c_{lm} \cos(m\lambda) + s_{lm} \sin(m\lambda) \right) P_{lm}(\sin \varphi) \right)$$

l	m	c_{lm}	s_{lm}
0	0	1.0	0.0
1	0	0.0	0.0
1	1	0.0	0.0
2	0	-4.841e-004	0.0
2	1	-1.869e-010	1.195e-009
2	2	2.439e-006	-1.400e-006
3	0	9.572e-007	0.0
⋮	⋮	⋮	⋮
70	70	-4.704e-010	-6.483e-010
⋮	⋮	⋮	⋮
160	160	2.083e-010	-1.461e-010
⋮	⋮	⋮	⋮
360	360	-4.475e-025	-8.302e-011

Potenzial einer homogenen Kugel

Auswirkung der Lage des Massenmittelpunktes

Auswirkung der Erdabplattung

Auswirkung der Hauptträgheitsmomente

langwellige Strukturen (z.B. Himalaya)

mittelwellige Strukturen (z.B. Alpen)

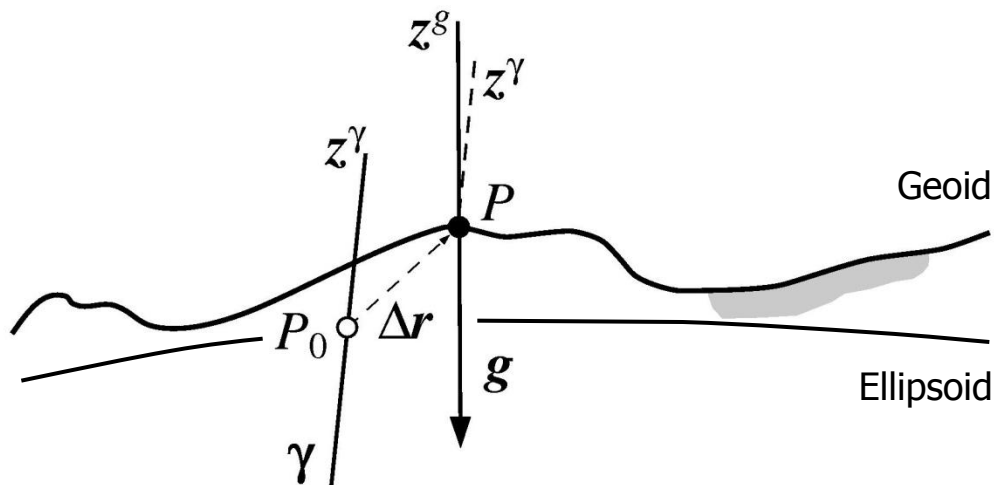
kurzwellige Strukturen (z.B. Schwarzwald)

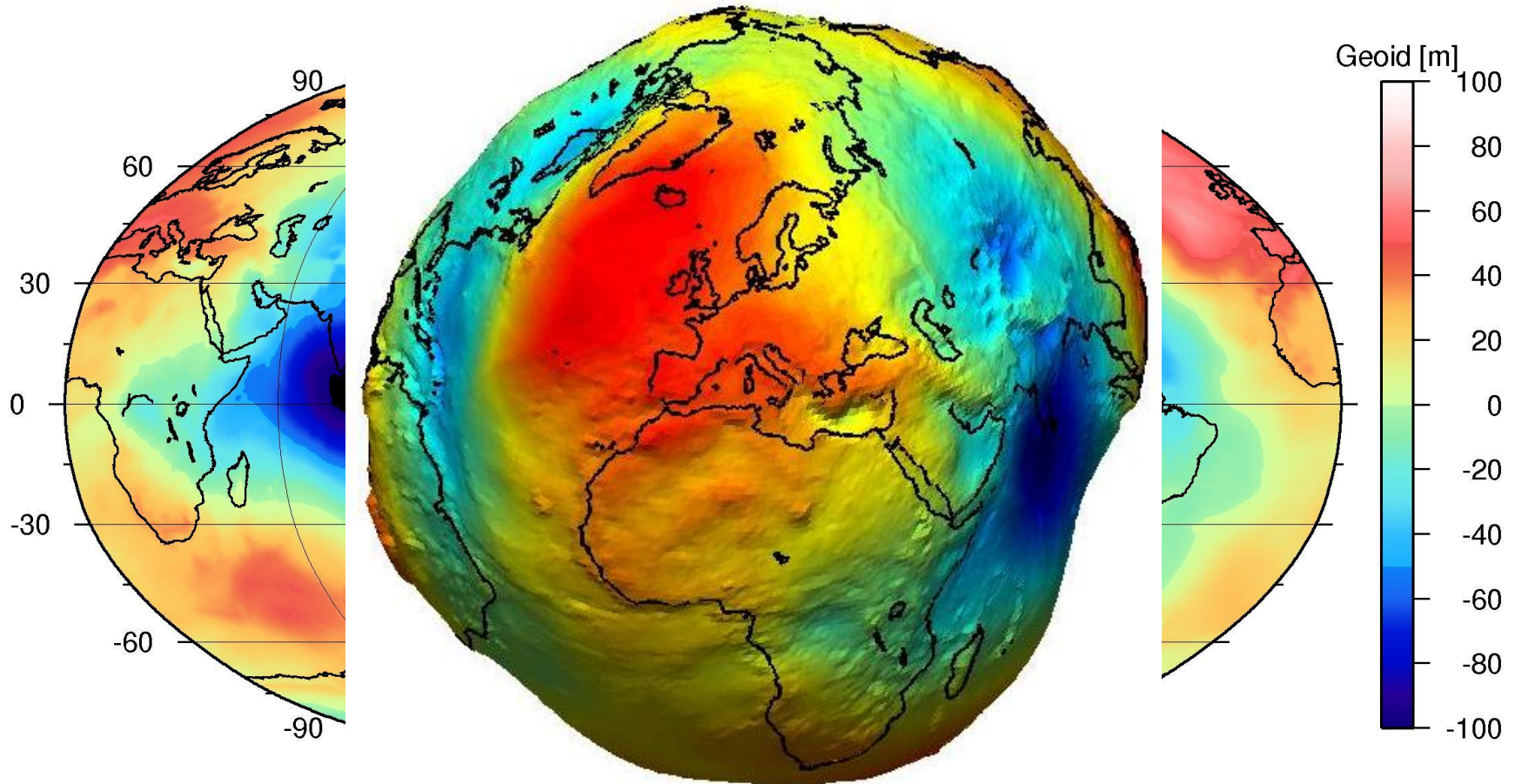
Geometrie und Schwere

	reale Erde	approximierte Erde („Linearisierung“)
Form	Geoid	Ellipsoid
Schwerefeld	unbekannt (beobachtet)	bekannt (berechnet)

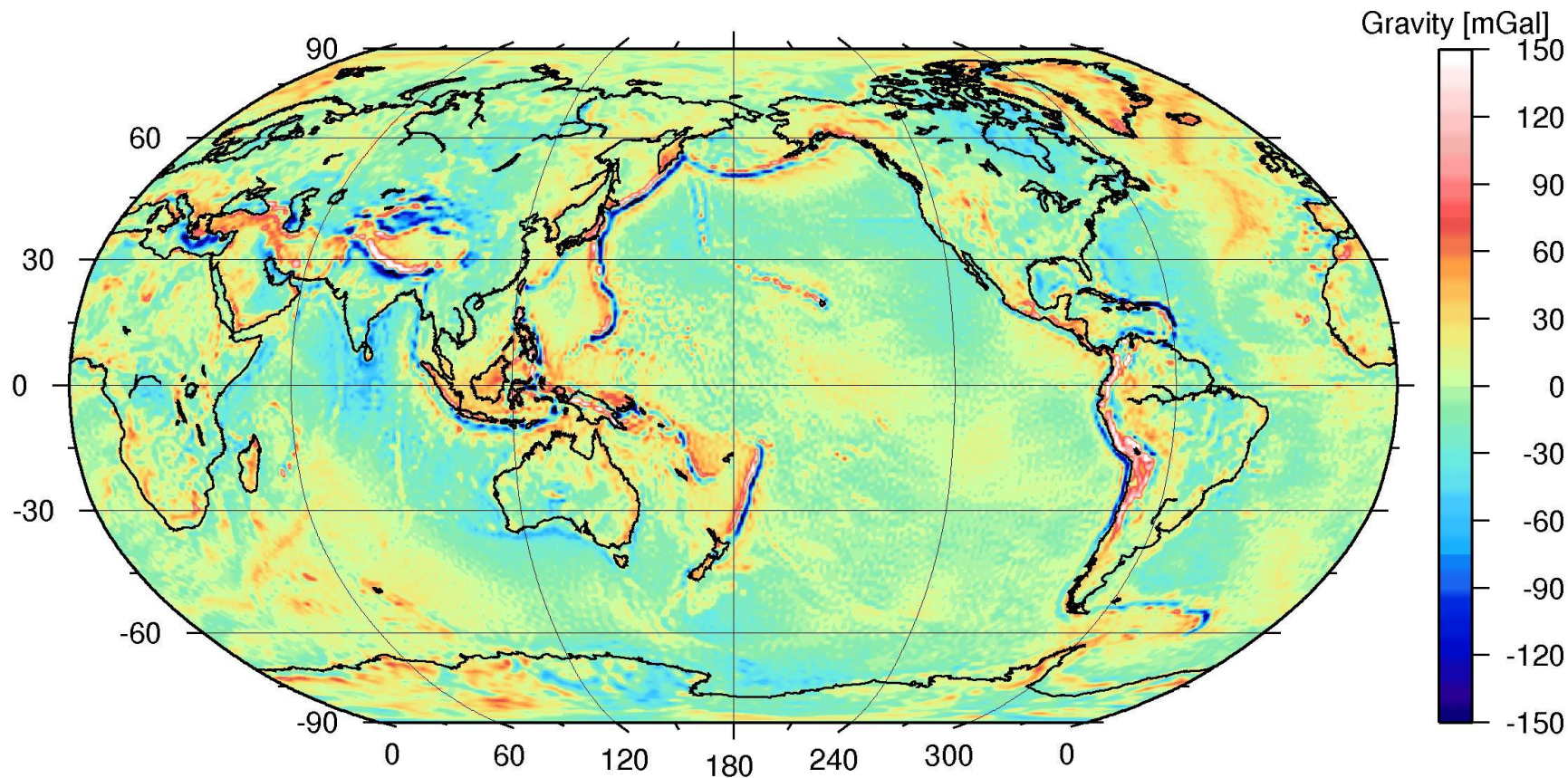
Unterschiede in der Geometrie: **Geoidhöhen Δr**

Unterschiede im Schwerefeld: **Schwereanomalien $g - \gamma$** } geben Aufschluss über Unregelmäßigkeiten der Massenverteilung im Untergrund

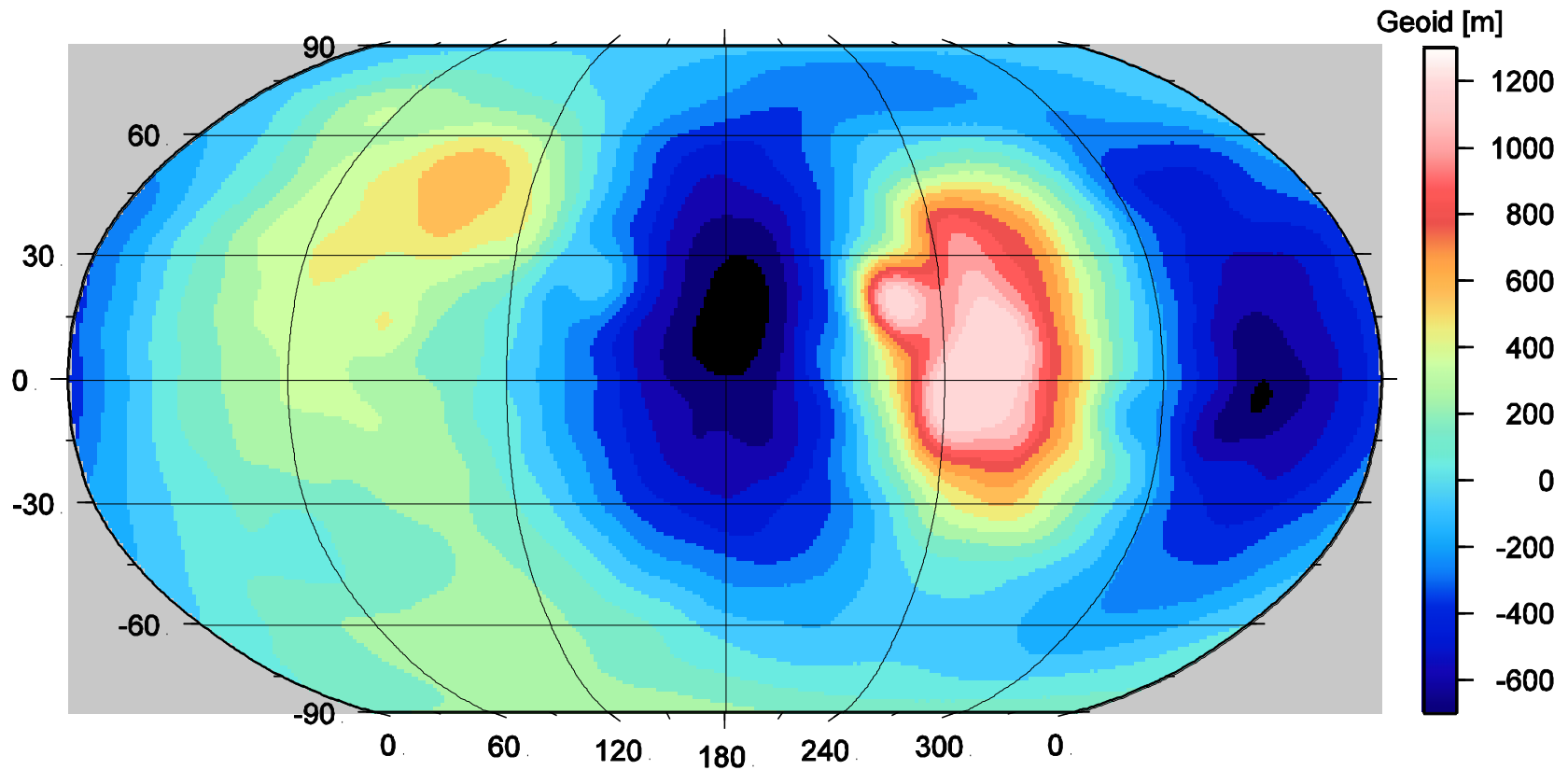




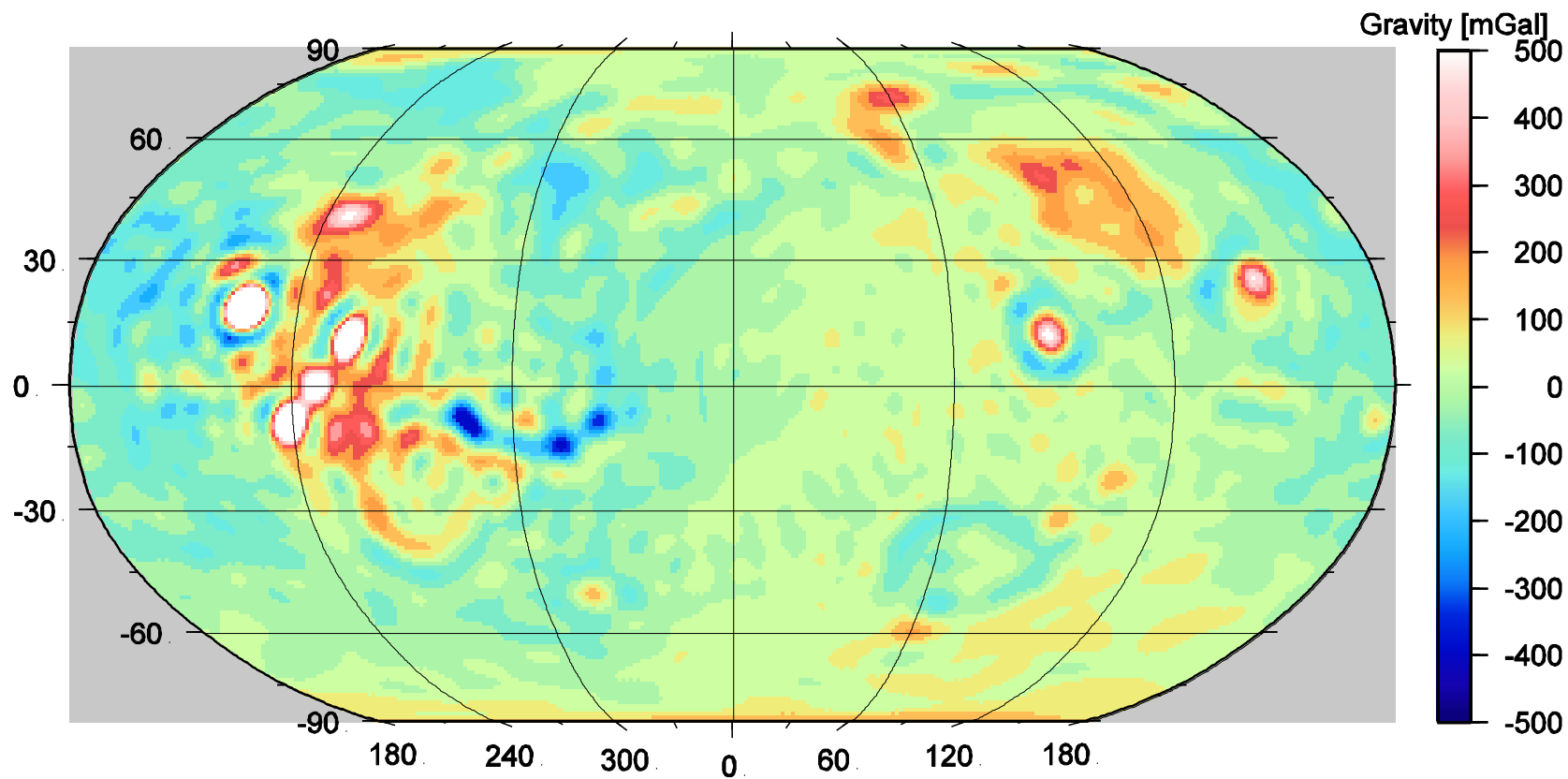
Die physikalische Form der Erde (über die Geoidstellung):
 Abweichungen zum mittleren Rotationsellipsoid



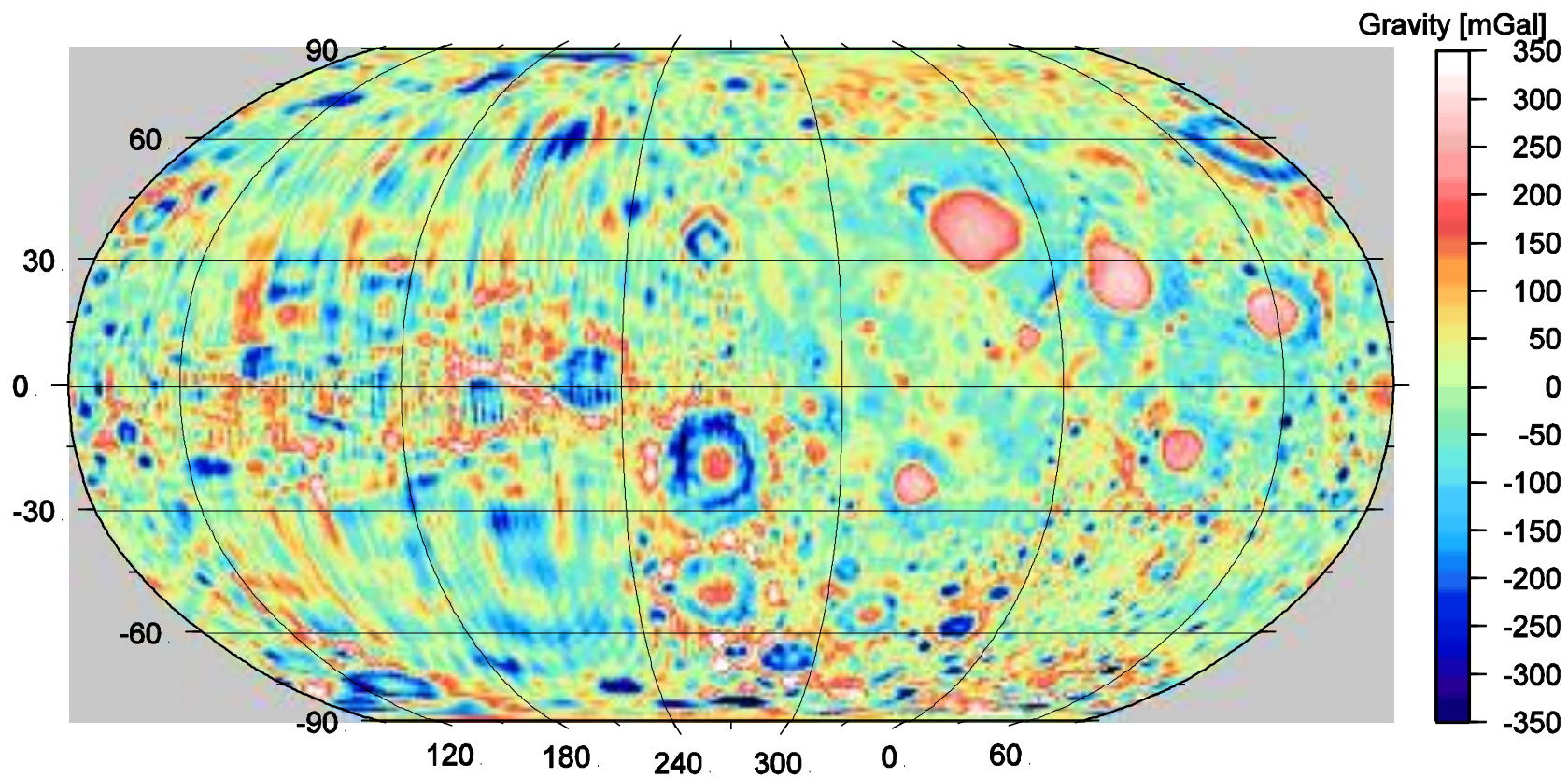
Das Schwerefeld der Erde (**Schwereanomalien**):
Abweichungen zum Normalschwerefeld



Die physikalische Form des Mars (**Areoid**):
Abweichungen zum mittleren Rotationsellipsoid



Das Schwerefeld des Mars (**Schwereanomalien**):
Abweichungen zum Normalschwerefeld



Das Schwerefeld des Mondes (**Schwereanomalien**):
Abweichungen zum Normalschwerefeld

Fazit

Das **primäre Ziel** der Schwerefeldforschung ist die Berechnung der

- i. physikalischen Form
- ii. gravitativen Anziehung

der Erde sowie planetarer Himmelskörper



irox

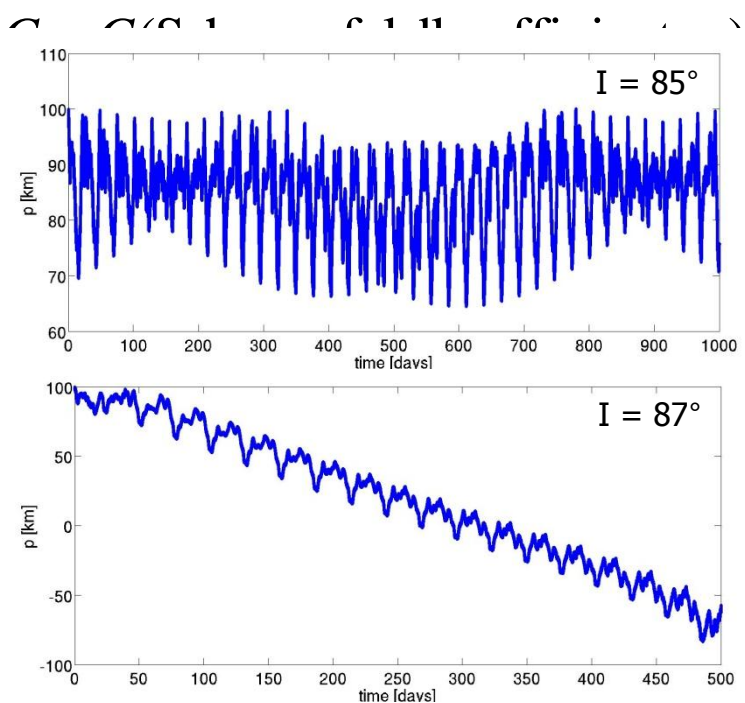
Warum?

Evolutiongeschichte, Missionsdesign

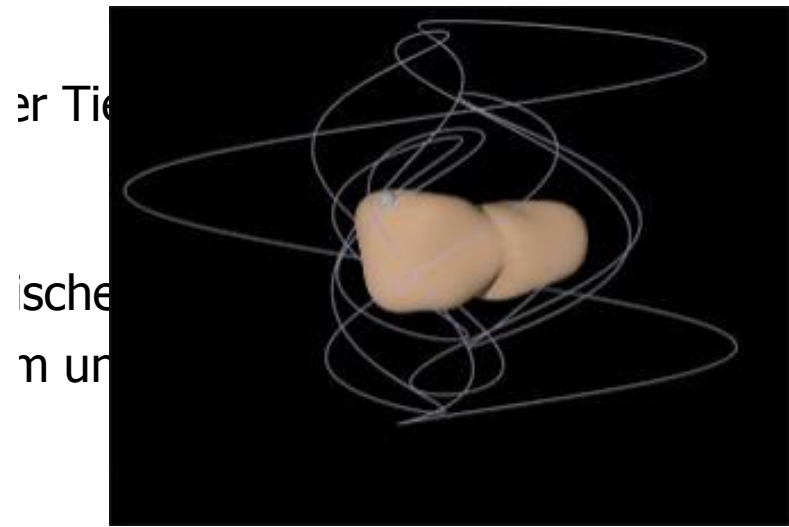
Schwerefeld ist sensitiv gegenüber

- Aufbau, Dichtestruktur und Rotationsverhalten eines Himmelskörpers
- Beispiele für Hauptträgheitsmomente (Anzahl der Körper) (z.B. Satellit) im nahen Außenraum eines Himmelskörpers

Beispiel: Bahndesign für zukünftige Satellitenmissionen

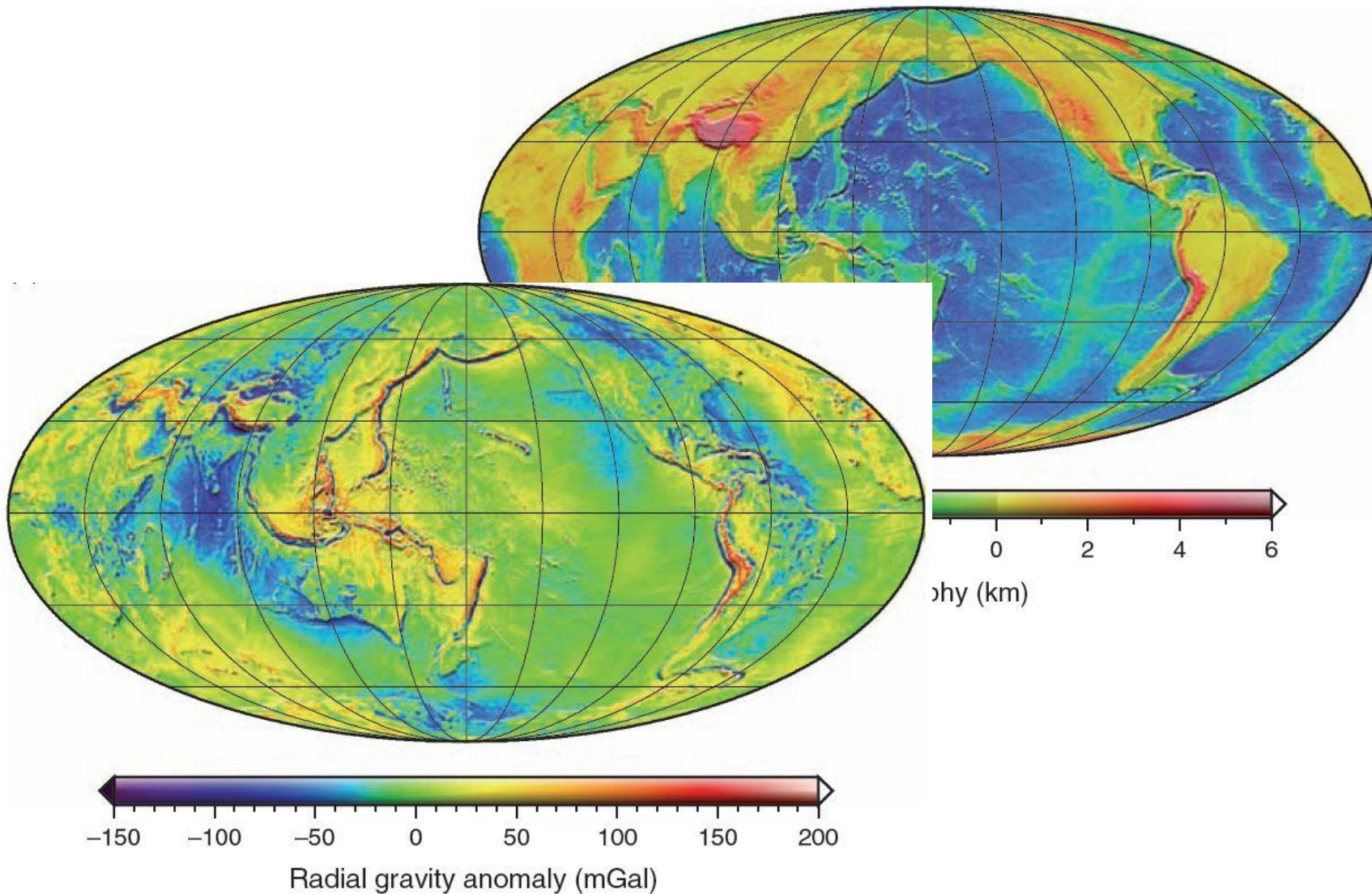


l	m	C_{lm}	S_{lm}
2	0	-4.841e-004	0.0
2	1	-1.869e-010	1.195e-009
2	2	2.439e-006	-1.400e-006



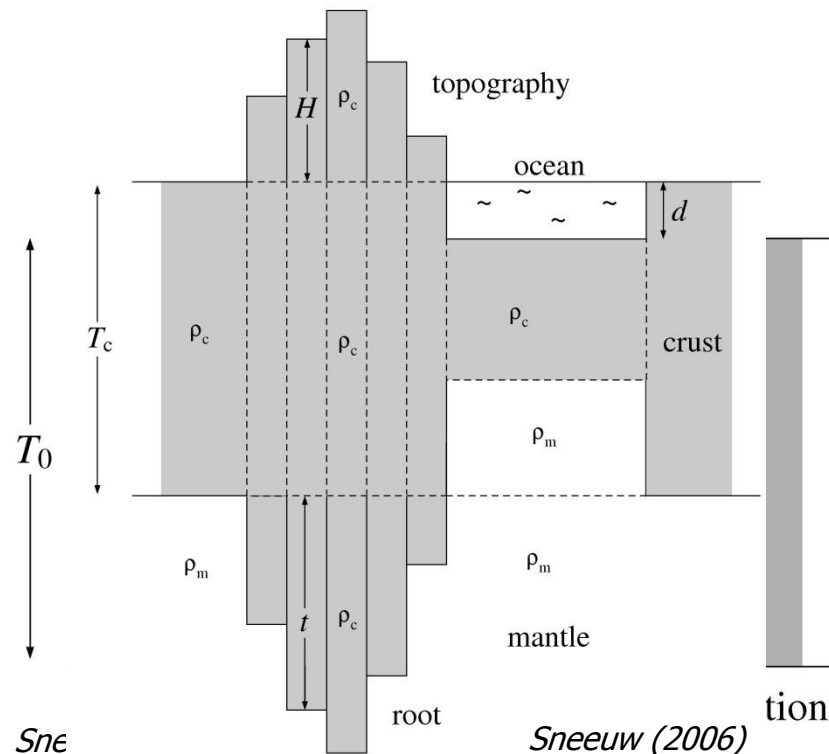
NASA-JPL

Blick ins Innere: Topografie und Schwerefeld - Erde

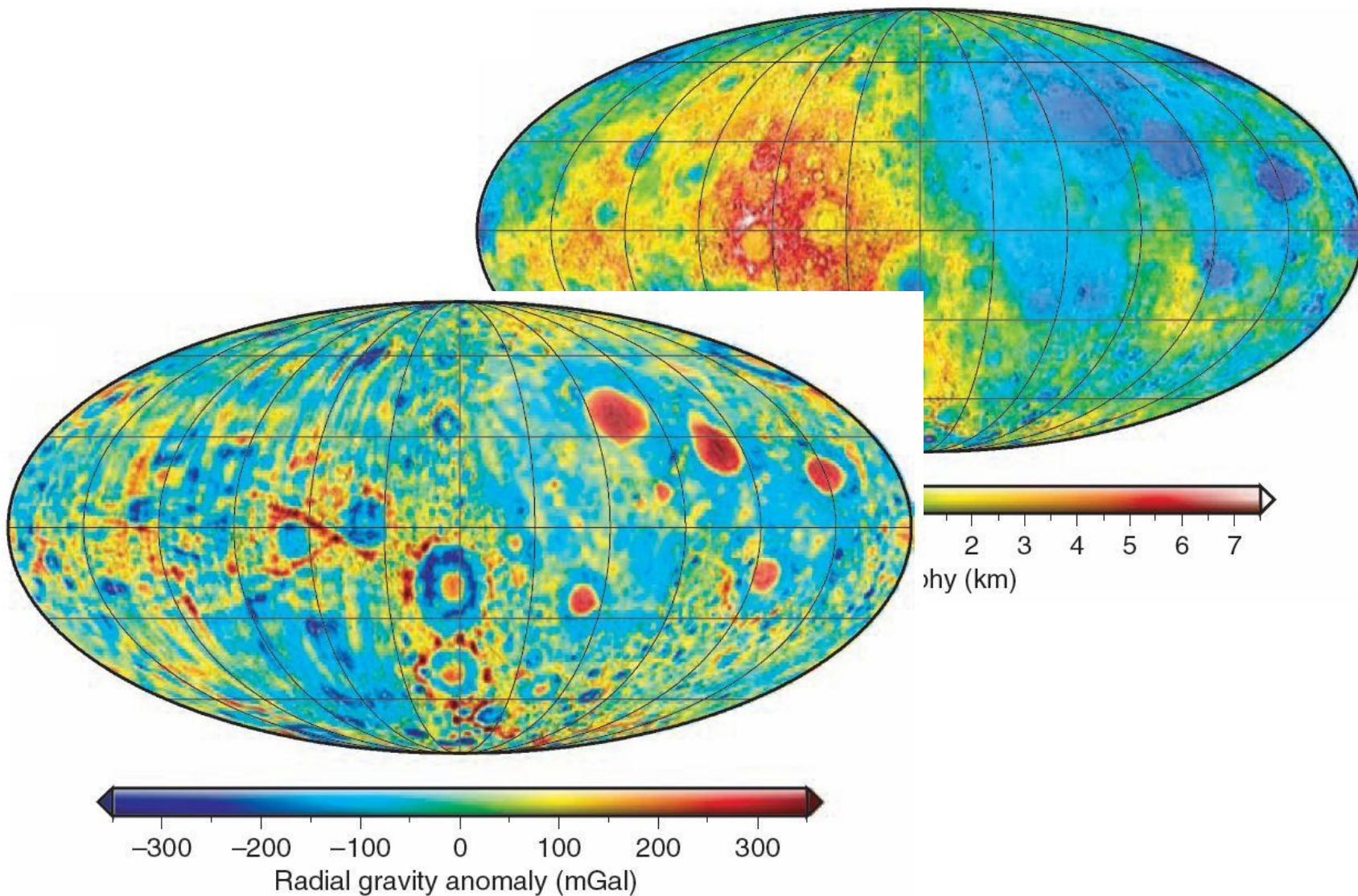


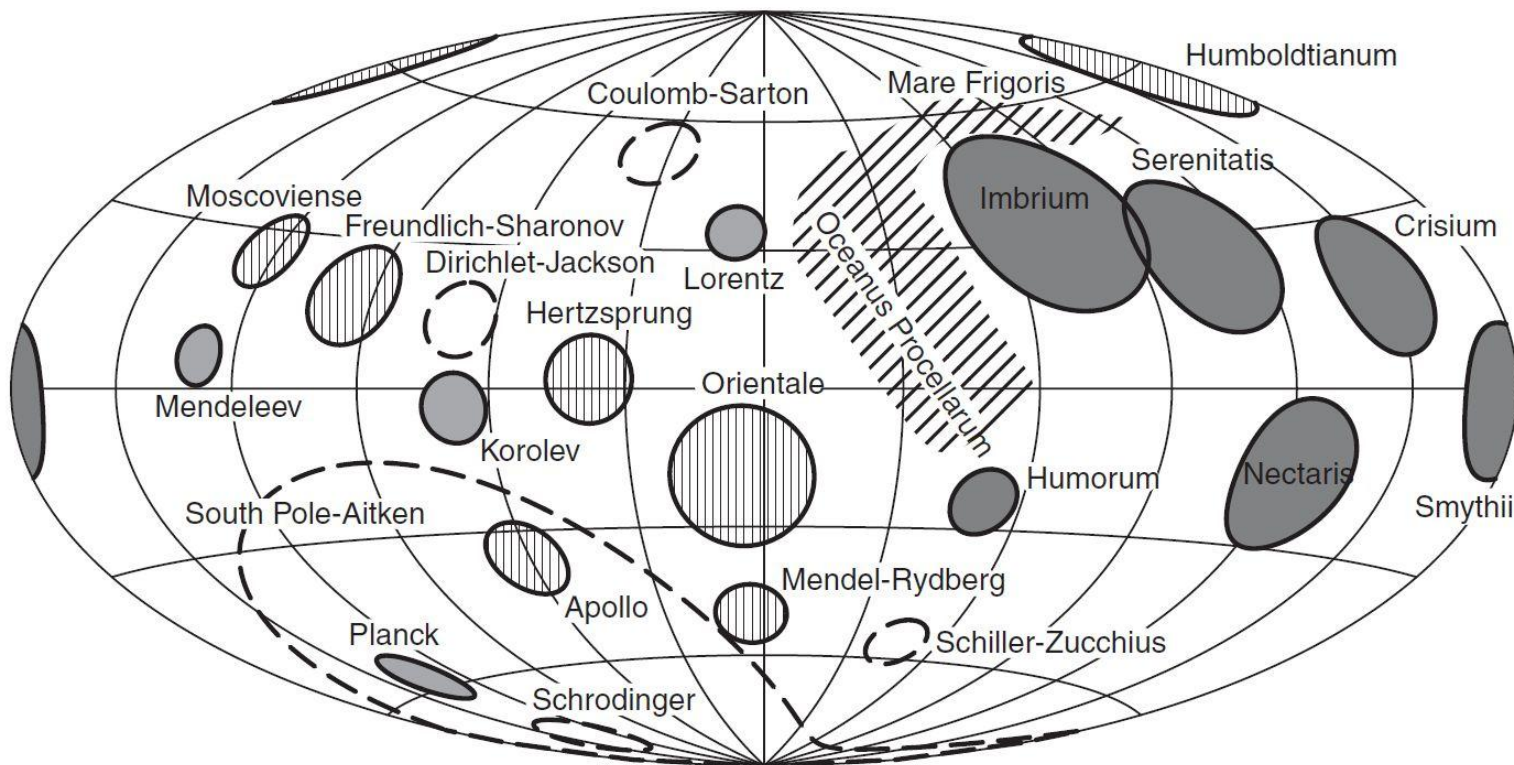
Isostasie

- Kompensationsmechanismus für den Einfluss der topografischen Massen
- Modell/Vorstellung: **Gleichgewichtszustand** jeder Massensäule in einer gewissen Kompensationstiefe



Blick ins Innere: Topografie und Schwerefeld - Erdmond

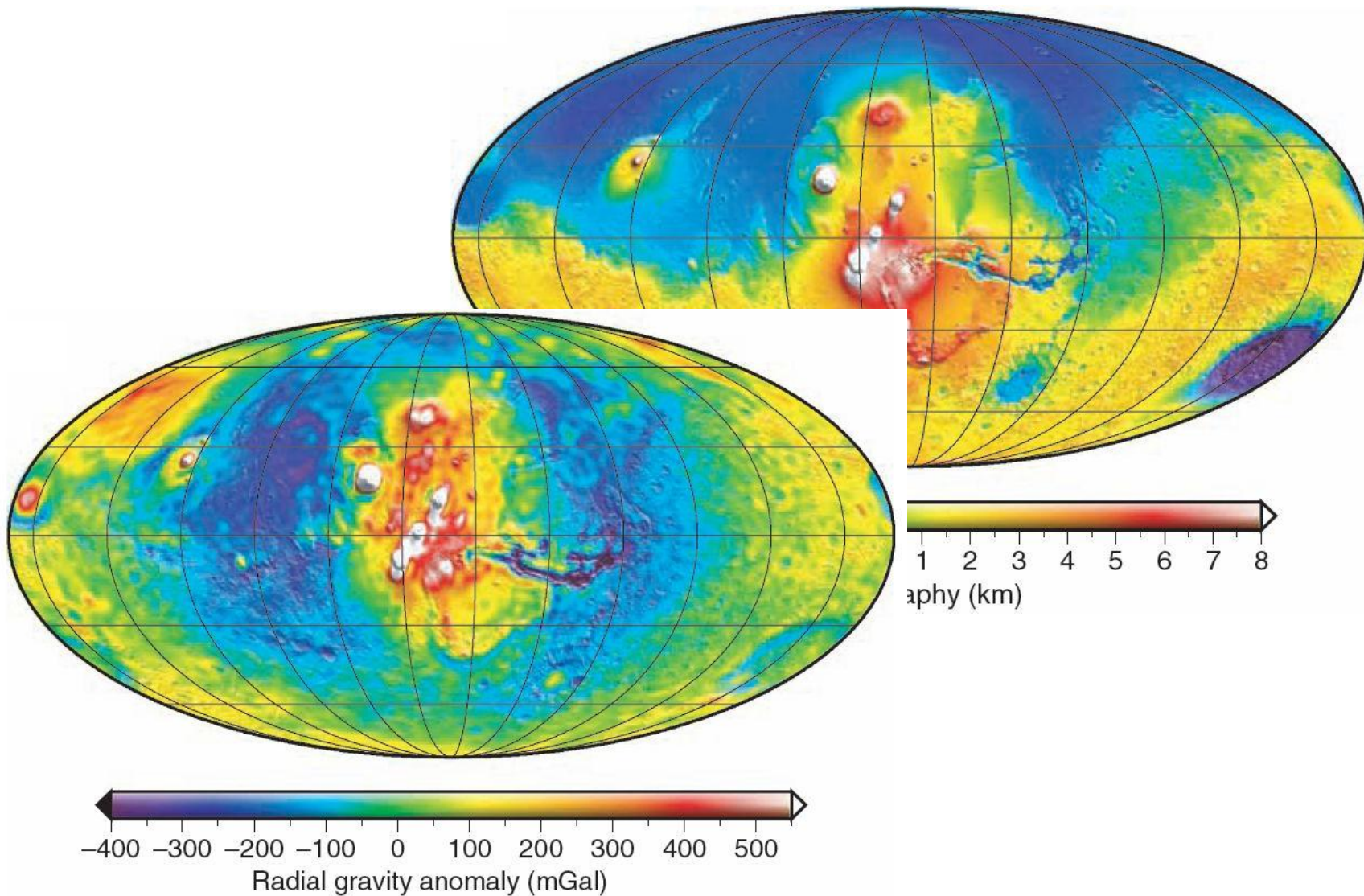




Lage der hauptsächlichen Maria:

Typ I (leicht schattiert), Typ II (schraffiert), ausgeprägte Mascone (schattiert),
unklassifiziert (gestrichelte Linien)

Blick ins Innere: Topografie und Schwerefeld - Mars



Statisches (zeitlich konstantes) Schwerfeld

Ozeanografie

- Ozeanzirkulation, Ozeantopografie

Physik der festen Erde

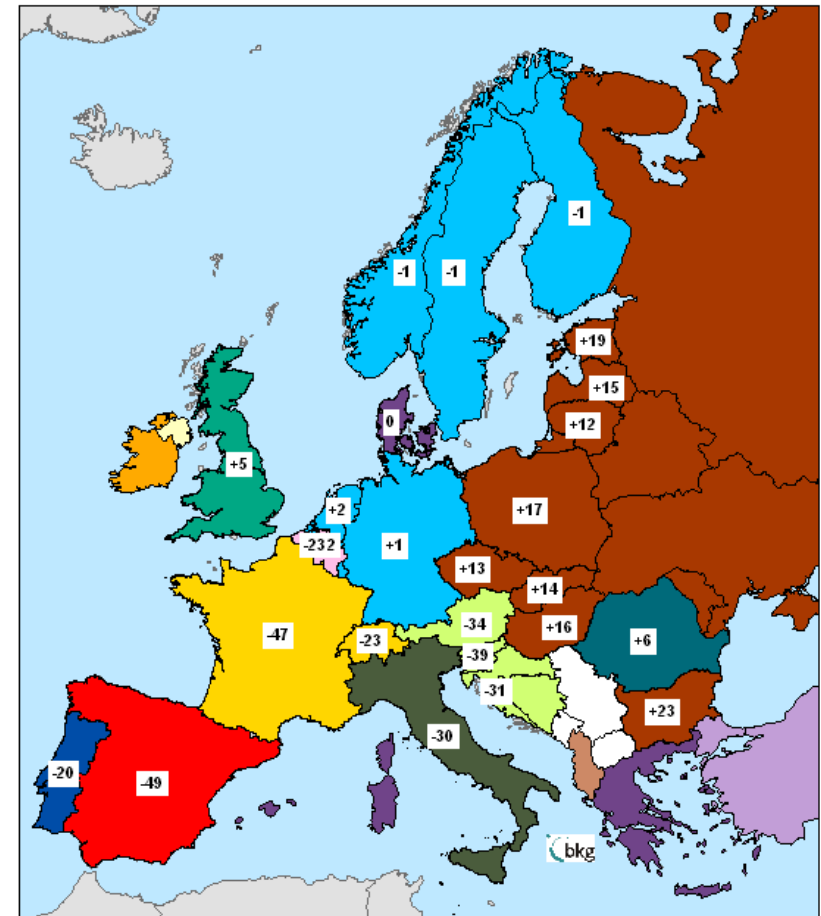
- Geophysikalische Modelle

Geodäsie

- Nivellement mit GPS
- Vereinheitlichung von Höhensystemen
- ...

Reference tide gauges

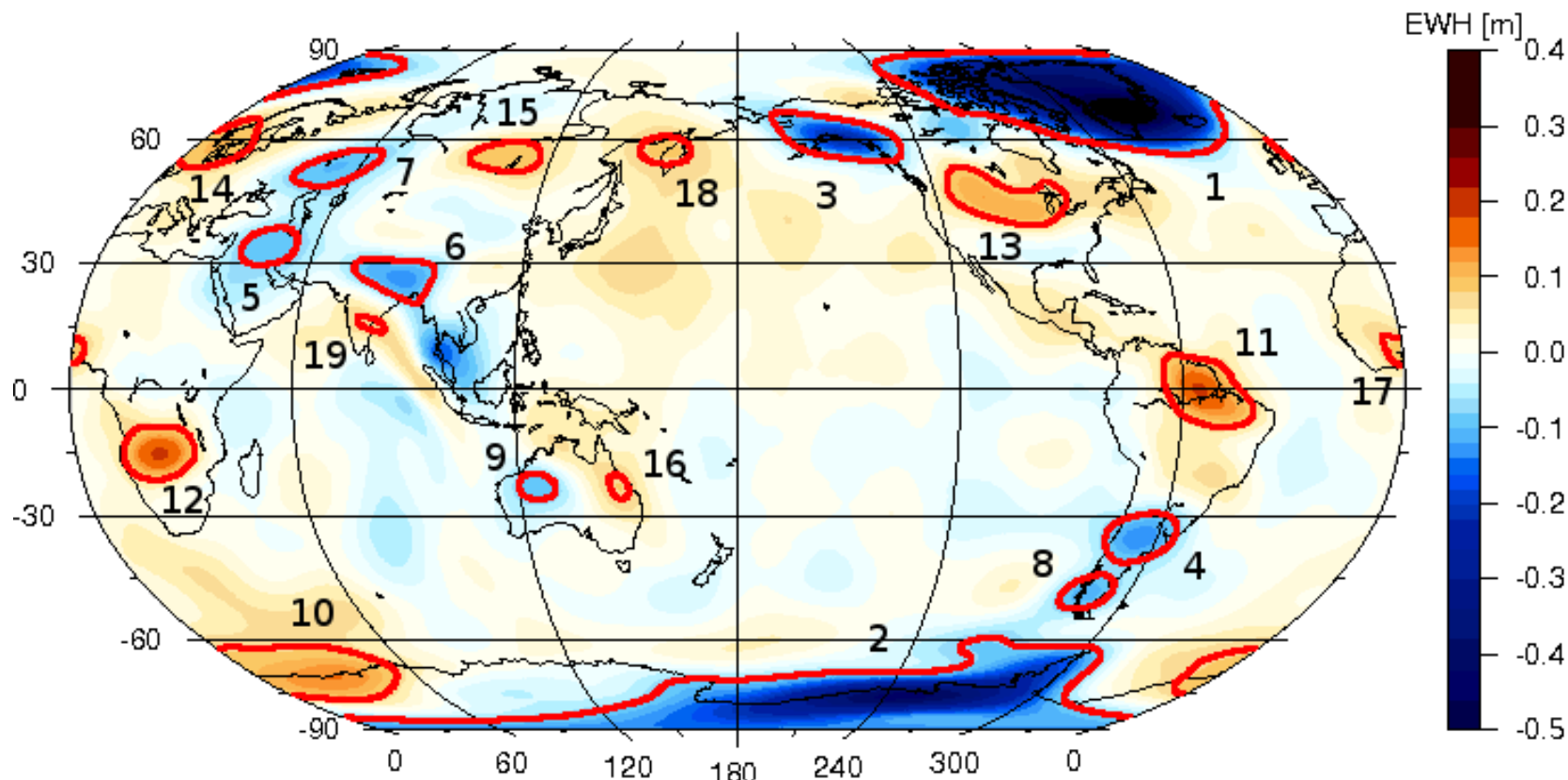
 Alicante	 Cascais	 Kronstadt	 Ostend
 Amsterdam	 Constanta	 Malin Head	 Trieste
 Antalya	 Dures	 Marseilles	 other
 Belfast	 Genoa	 Newlyn	 no information



(d) Datenassimilation

BKG

Zeitvariables Schwerfeld



Aus Schwerfeldinformation abgeleitete Massenänderungen im Zeitraum Mai 2002 bis April 2011 (9 Jahre), ausgedrückt in äquivalenter Wasserhöhe [m]

Gletscher schrumpfen doch nicht so stark

Neue Untersuchung über globalen Verlust an Landeismassen brachte Überraschungen

London/Wien – Auf den Landmassen der Erde gibt es insgesamt 160.000 Gletscher, Eisschilder und Eiskappen. Bilder vom Rückgang der Gletschermassen zählen zu den eindrucksvollsten Veranschaulichungen des Meeresspie-

Gletschern, also nicht einmal einem Promille, wird die jährliche Massebalance genau registriert, und bei bloß 37 der vermessenen Eismassen gehen diese Aufzeichnungen weiter als 30 Jahre zurück.

Aus diesem Grund nimmt es nicht Wunder, dass die bisherigen

Analysen zur globalen Landeisschmelze an Land eher vorläufig ausfielen. Und ebenfalls nur sehr grob konnte bisher geschätzt werden, wie groß der Beitrag dieser abgeschmolzenen Gletschermassen zum Meeresspiegelanstieg

DER STANDARD, 9. Februar 2012

wie aber lassen sich die Eismassen und ihre Veränderungen überhaupt global messen? Ein Team von Klima- und Gletscherforschern um Thomas Jacob und John Wahr von der Universität von Colorado in Boulder (US-Staat Colorado) hat dazu eine neue Me-

thode entwickelt: Es wertete Aufnahmen der Grace-Satelliten-Mission aus, die monatliche globale Schwerefeldmessungen vornimmt. Damit konnten die Forscher auch Rückschlüsse auf Massevariationen der Gletscher anstellen.

Die Wissenschaftler konzentrierten sich zunächst auf große Gletscher und Eiskappen mit einer Fläche von mehr als 100 Quadratkilometern. Zu den untersuchten Regionen gehörten etwa die Gletscher in den Hochgebirgen wie den Alpen oder dem Kaukasus, das patagonische Inlandeis oder die kanadischen Eiskappen.

Dabei zeigte sich durchaus Überraschendes: Laut der im Fachblatt *Nature* (online) veröffentlichten Studie verloren die Gletscher und Eiskappen zwischen 2003 und 2010 deutlich weniger Masse als bisher angenommen. Vor allem in den Hochgebirgen Asiens sei der Masseverlust deutlich geringer als in früheren Studien errechnet.

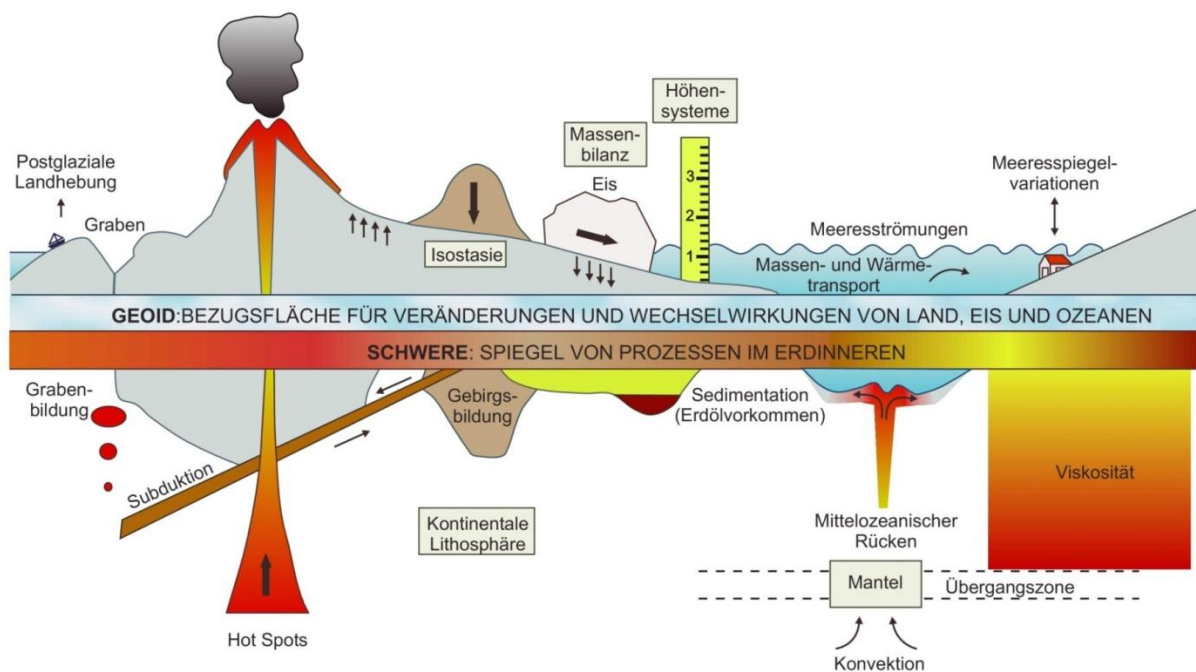
Aus der verflüssigten Eismasse errechnete das Forscherteam auch den Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels: Der betrug ganze 1,5 Millimeter pro Jahr. (tasch)



Noch kein Auslaufmodell: Gletscher (hier der Gornergletscher mit dem Matterhorn) verlieren global weniger Masse als gedacht. Foto: EPA

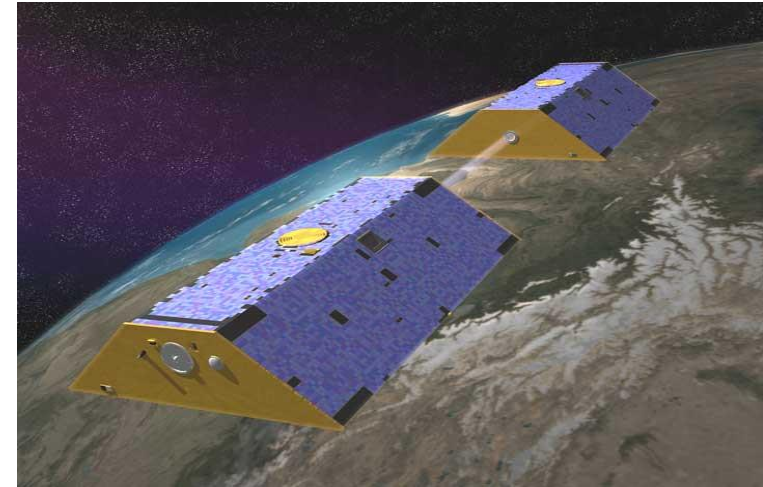
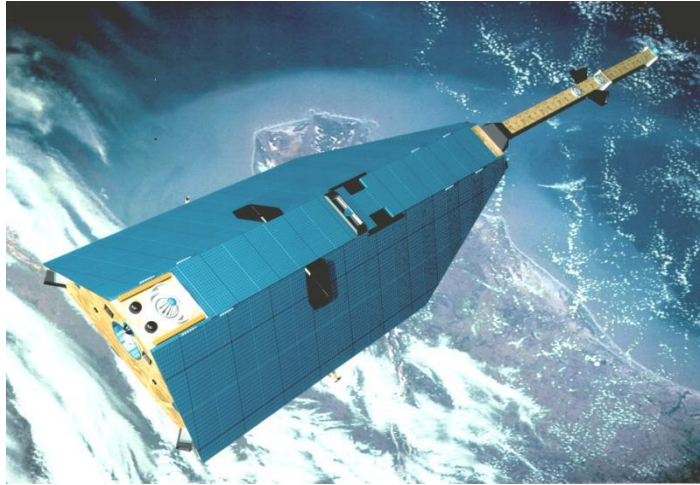
Fazit

Die Schwerefeldforschung trägt zur Detektion, Interpretation und Modellierung **geophysikalischer Prozesse** im Innen und an der Oberfläche der Erde sowie planetarer Himmelskörper bei



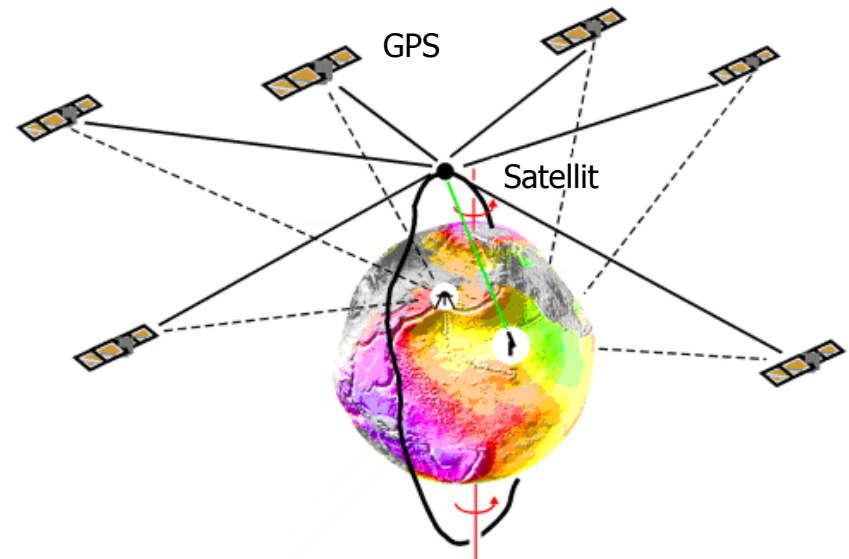
GOCE-Projektbüro

Wie?



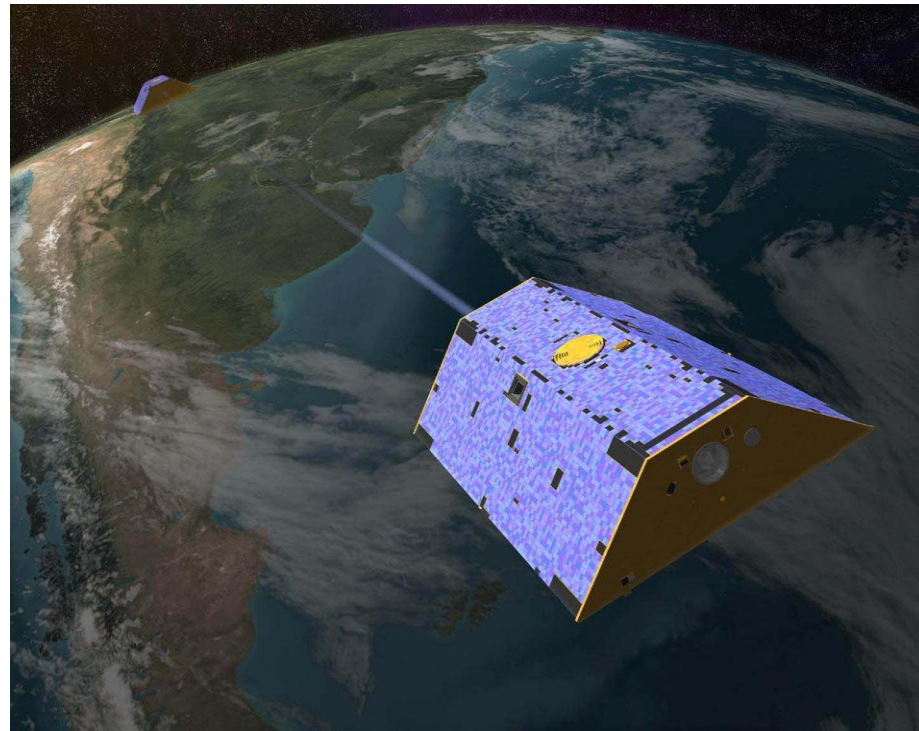
Allgemeine Charakteristika

- globale und kontinuierliche Datenüberdeckung
- gezieltes Bahndesign
 - geringe Höhe (< 500 km)
 - nahezu polar
 - geringe Exzentrizität
- GPS vermessene Satellitenbahn
- Kompensation nicht-gravitativer Störeinflüsse (Atmosphärenreibung, etc.)

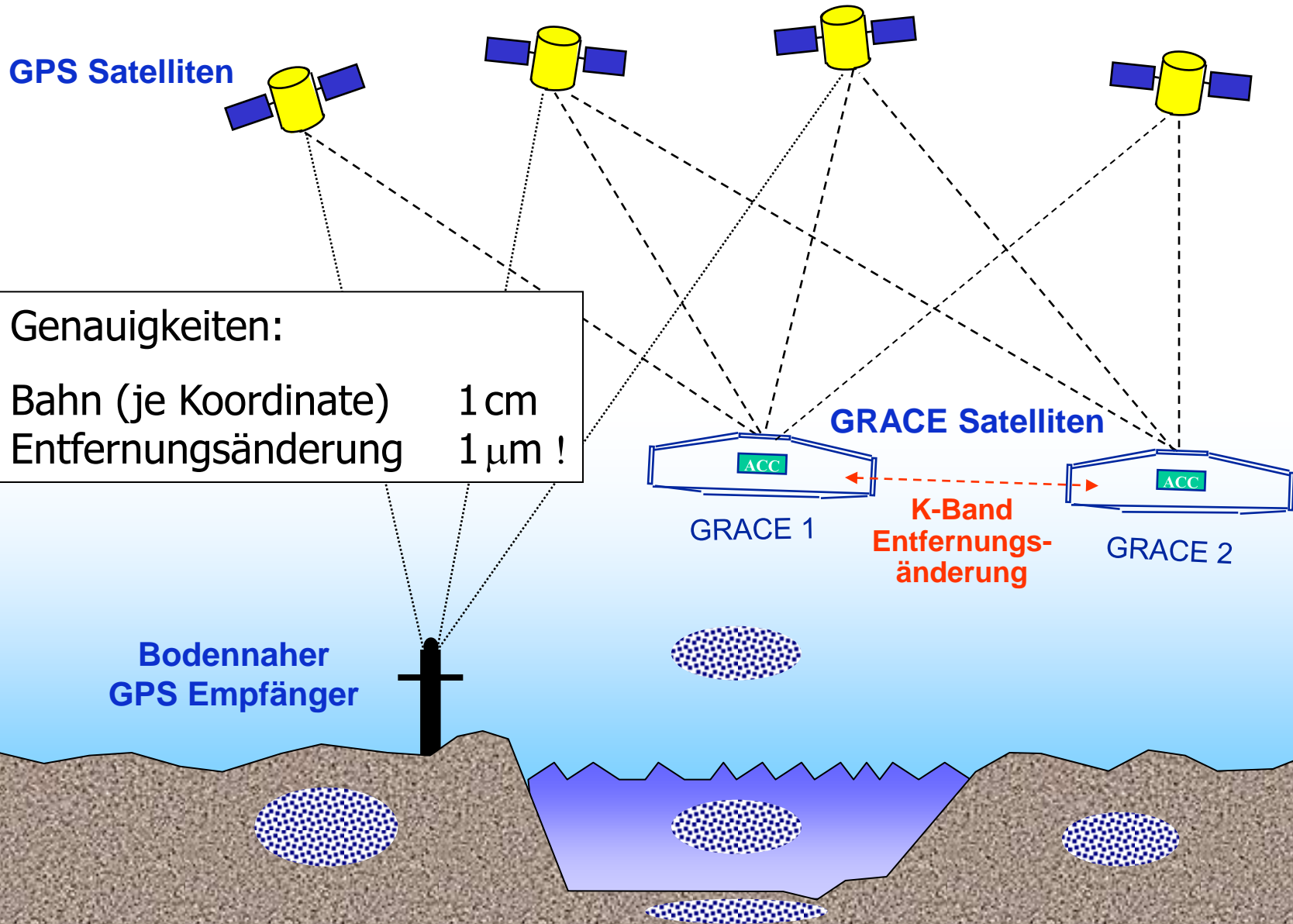


Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)

- Bestimmung des zeitvariablen Schwerefeldes
- Start: 17.03.2002

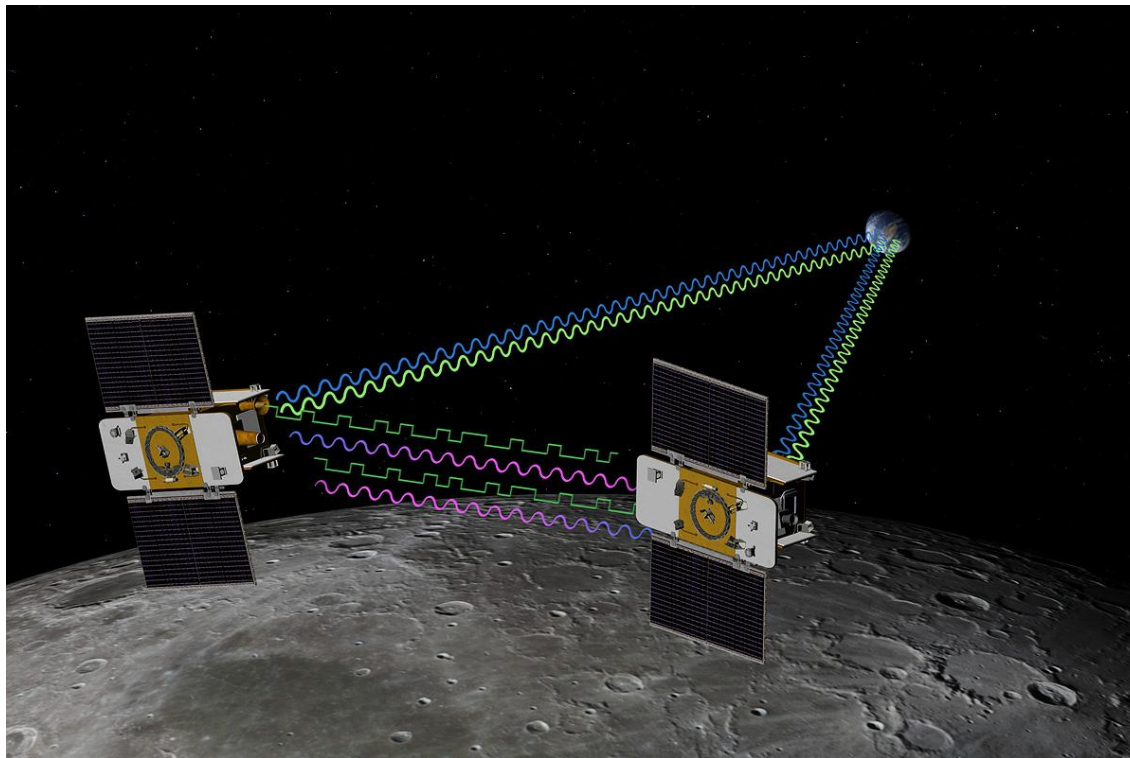


GRACE: Missionskonzept



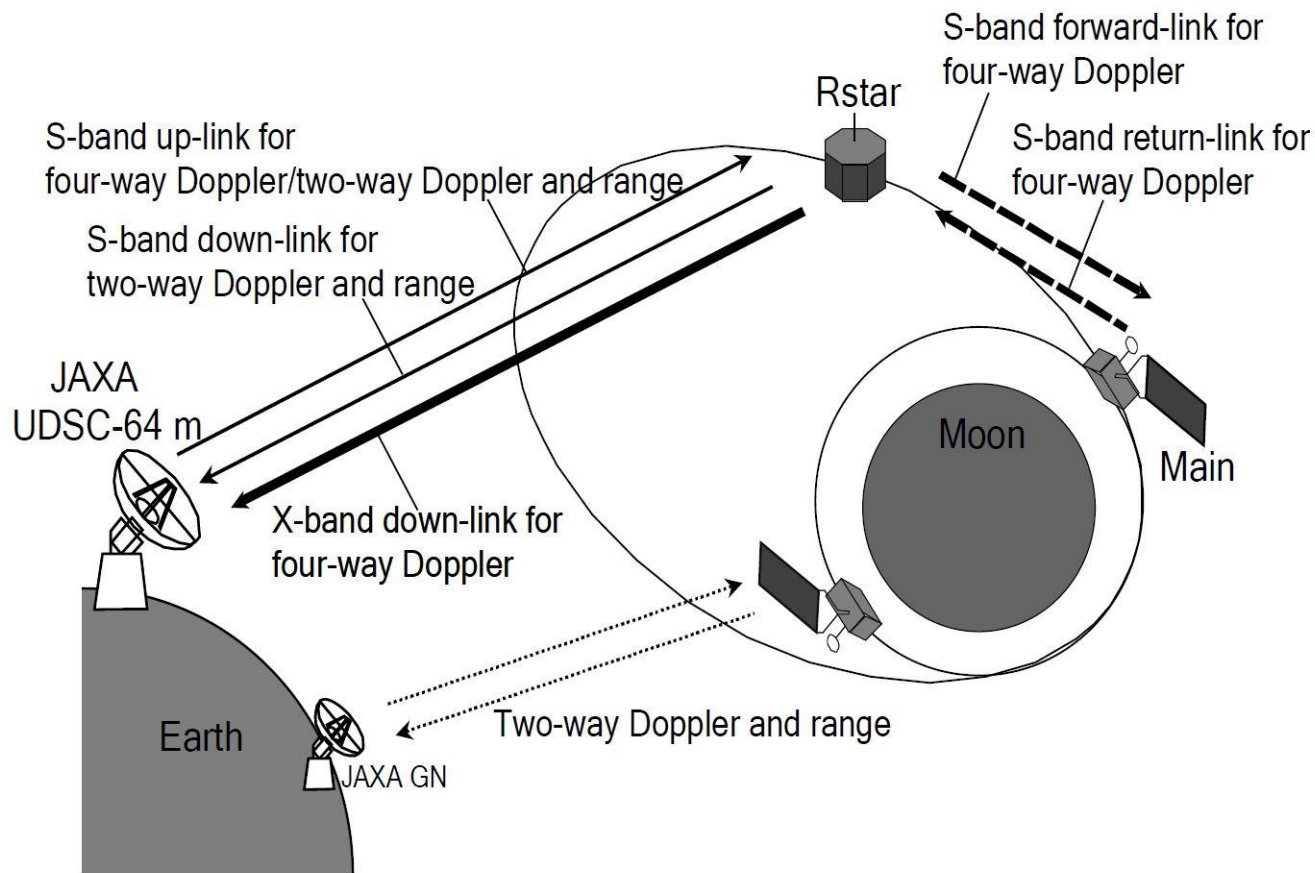
Gravity Recovery And Interior Laboratory (GRAIL)

- planetare „Kopie“ der GRACE Mission
(Bahnbestimmung über Distanzmessungen und Dopplerverschiebungen)
- Start: 10.09.2011



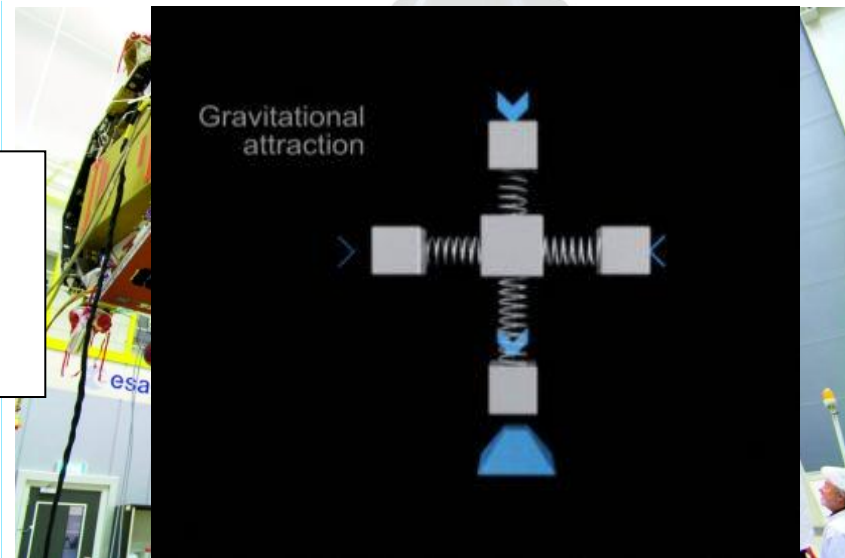
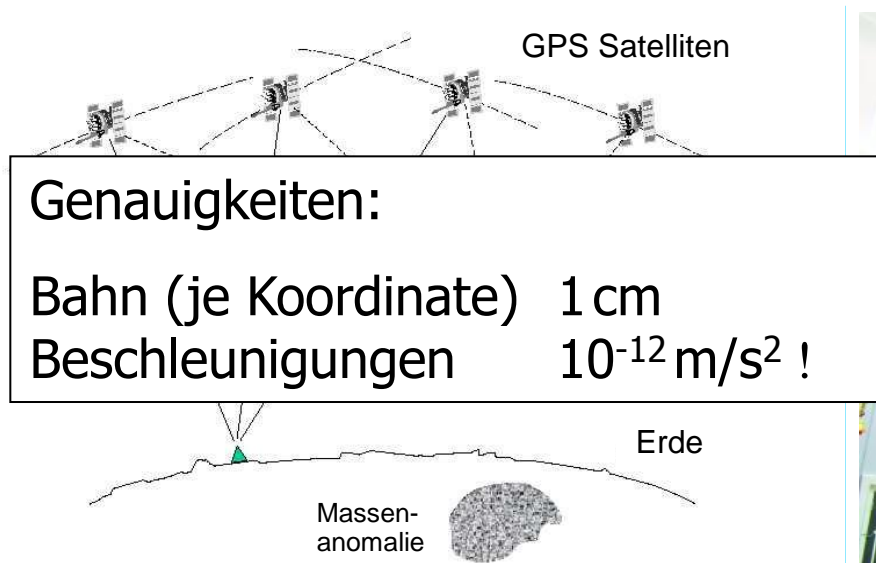
Selenological and Engineering Explorer (SELENE)

- Bahnvermessung auf der **Rückseite** des Mondes
- Start: 14.09.2007 (Ende: 10.06.2009)



Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE)

- erste Mission basierend auf dem Konzept der Satellitengradiometrie
- Start: 17.03.2009



Was?

Das **primäre Ziel** der Schwerefeldforschung ist die Berechnung der

- i. physikalischen Form
- ii. gravitativen Anziehung

der Erde sowie planetarer Himmelskörper

Warum?

Die Schwerefeldforschung trägt zur Detektion, Interpretation und Modellierung **geophysikalischer Prozesse** im Innen und an der Oberfläche der Erde sowie planetarer Himmelskörper bei

Wie?

Die Schwerefeldbestimmung erfolgt mit Hilfe von **Satelliten**, die über GPS und/oder von Stationen an der Erdoberfläche beobachtet werden; künftig werden vermehrt Satellitenkonstellationen eine Rolle spielen