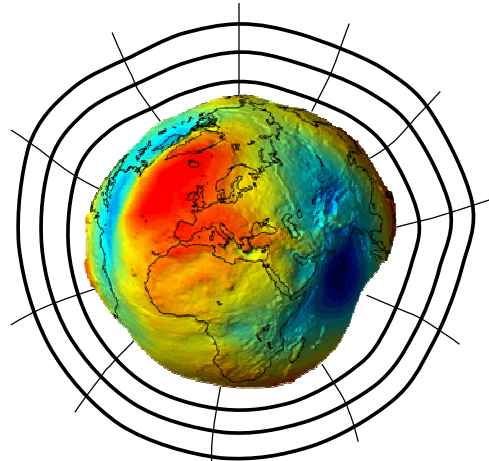


Erdmessung 2

Erdfigur und Normalschwere

Einführung



Roland Pail

Definitionen

Geodäsie (Helmert, 1880):

„Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“

- Figur der Erde (inkl. Ozeanboden)
- Schwerefeld
- Orientierung der Erde im Weltraum

Geodätisches Randwertproblem

Terrestr. Beobachtung:

$$b = b(S, W)$$

↑
Erdoberfläche

↑
Schwerepotential
(an der Oberfläche und im Außenraum)

Das geodätische Randwertproblem verknüpft:

- Geometrie (Figur der Erde): S
- Physik (Schwerefeld): W

→ Zentrale Aufgabe der Geodäsie: Bestimmung von S und W aus b.

Diese Aufgabe ist i.A. nicht-linear; wir benötigen „Taylorpunkt“.

Historischer Rückblick: Figur der Erde



Aristoteles (384-322 B.C.)

“ ... es folgt, dass die Figur der Erde eine Kugel sein muss, und auch dass ihre Größe klein sein muss gemessen an der Distanz zu anderen Himmelskörpern.”

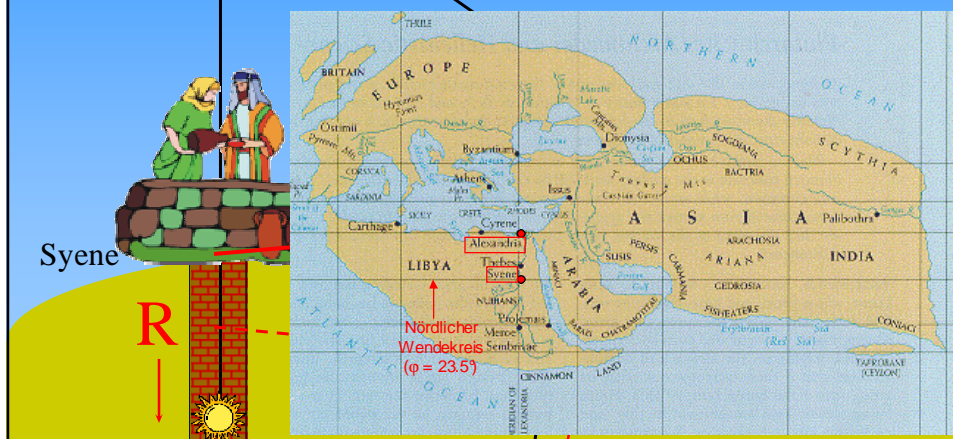
Historischer Rückblick: Die Erde als Kugel

21. Juni
Erathostenes
275-195 B.C.

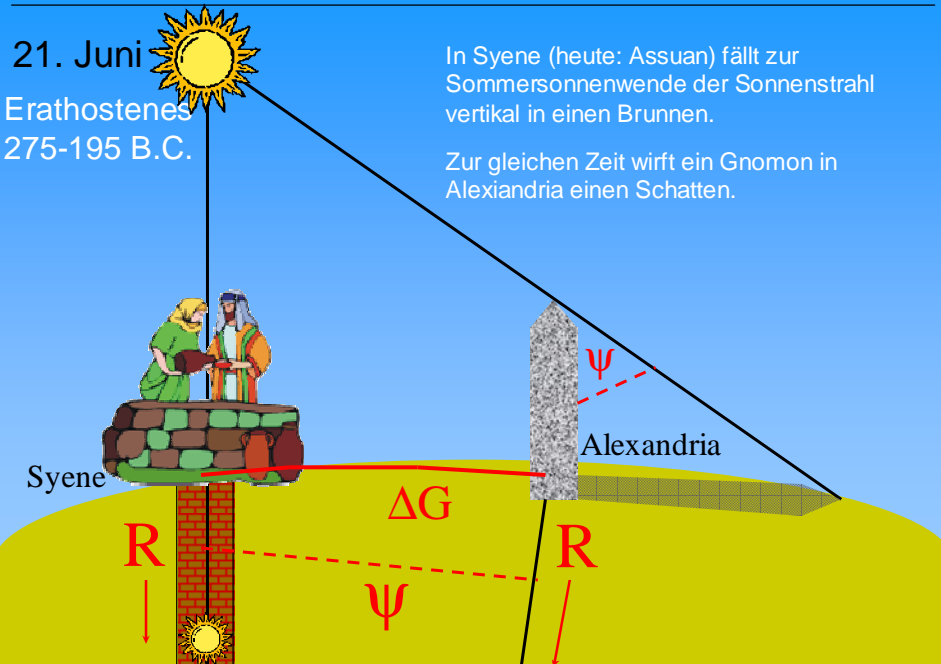


In Syene (heute: Assuan) fällt zur Sommersonnenwende der Sonnenstrahl vertikal in einen Brunnen.

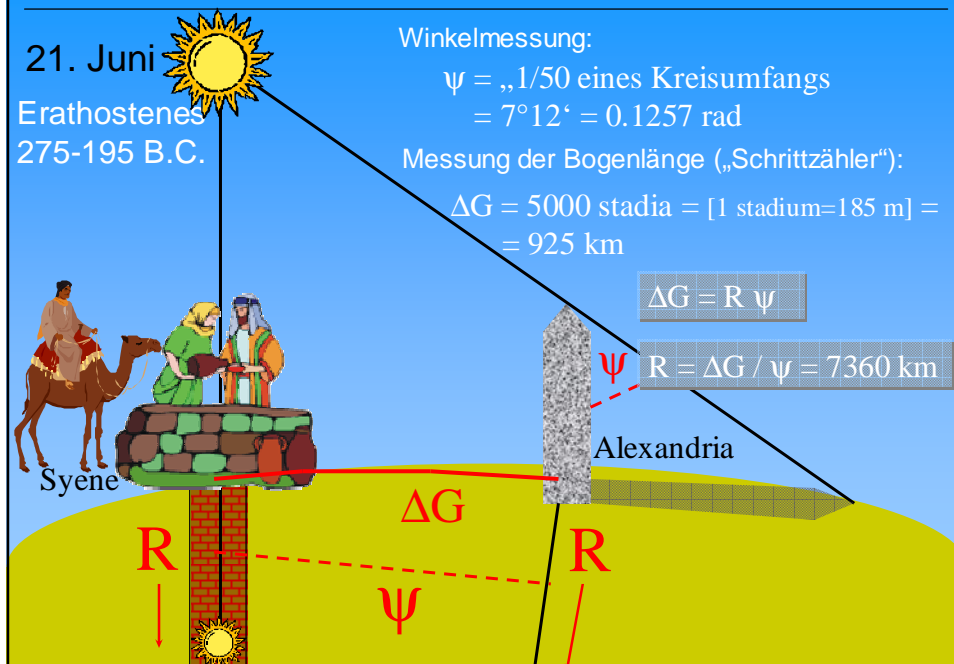
Zur gleichen Zeit wirft ein Gnomon in Alexandria einen Schatten.



Historischer Rückblick: Die Erde als Kugel



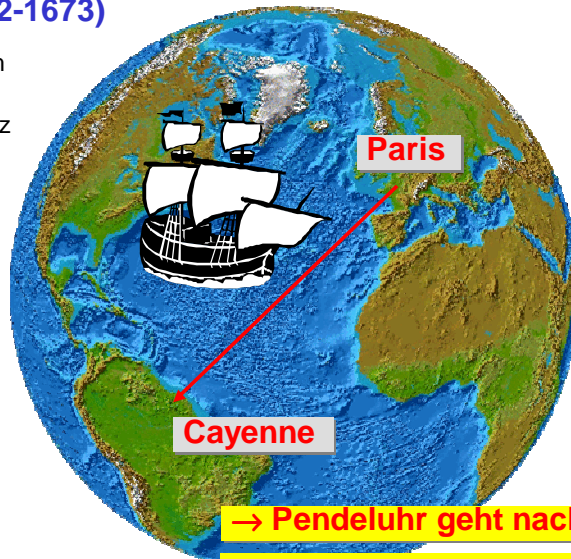
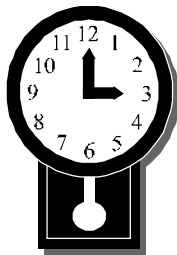
Historischer Rückblick: Die Erde als Kugel



Historischer Rückblick: Erdfigur Rotationsellipsoid

Jean Richer (1672-1673)

- französischer Astronom
- eigentliche Aufgabe: Bestimmung der Distanz Sonne – Mars anhand der Parallaxe)
- Beobachtung an Orten:
 - Paris
 - Cayenne



→ Pendeluhr geht nach

→ Unterschiedliche Schwerkraft

Historischer Rückblick: Erdfigur Rotationsellipsoid

Isaac Newton (1687)

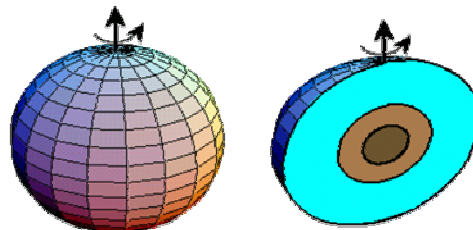
- *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*
- Erdmodell basierend auf physikalischen Prinzipien
- Gleichgewichtsfigur einer
 - homogenen
 - flüssigen
 - rotierenden Erde
- Rotationellipsoid: Dieses soll genau die Masse, Größe und Rotation der Erde haben



Colin MacLaurin (1742)

- Theoretische Lösung: Bedingungs- gleichung dieser 3 Größen
- Gleichgewichtsfigur → Lösung ergibt:

$$f = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{230}$$



Historischer Rückblick: Erdfigur Rotationsellipsoid

Gradbogenmessungen

Clairaut & Maupertuis



(1736-37)

Lapland

$\varphi = 66^{\circ}20' \text{ N}$,

$\Delta\varphi = 57.5'$

Clairaut

- Messung des Meridianbogens an unterschiedlichen geograph. Breiten
- Die Länge eines 1° Bogens nimmt aufgrund der Abplattung in Richtung Pol zu
- Die Meridianbögen ΔG und $\Delta G'$ werden durch Triangulation bestimmt

$$\rightarrow f = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{210}$$

La Condamine & Bouguer

(1735-43)

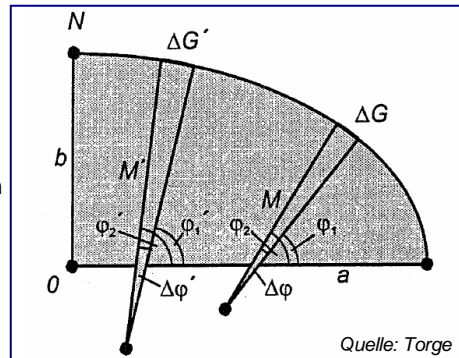
Peru

$\varphi \sim 1^{\circ}31' \text{ S}$,

$\Delta\varphi = 3^{\circ}7'$

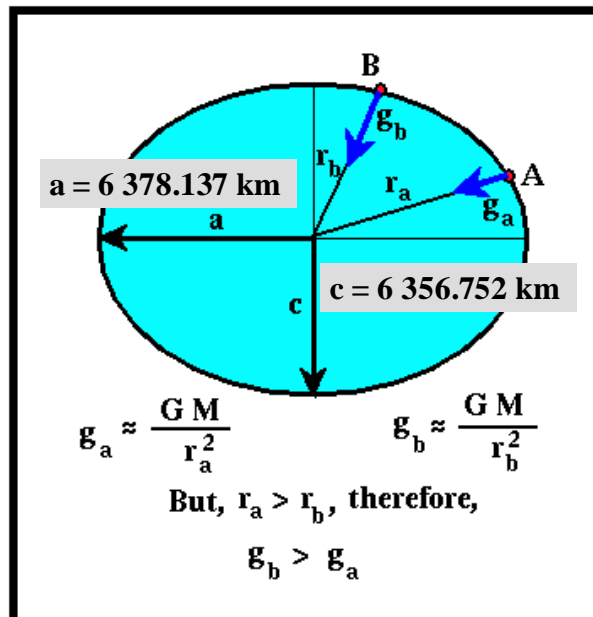


La Condamine



Historischer Rückblick: Erdfigur Rotationsellipsoid

$$\frac{a-c}{a} \approx \frac{1}{298.25}$$



Historischer Rückblick: Erdfigur Rotationsellipsoid - Geoid

Clairaut Theorem (1473)

- Verknüpfung zwischen physikalischen, geometrischen und dynamischen Größen
- Berechnung der Abplattung aus zwei Schwerefeldmessungen in unterschiedlichen Breiten

Laplace, Gauss, Bessel (1800-1840)

- Ellipsoidisches Erdmodell ist unzureichend für größere Genauigkeitsanforderungen
- Beobachtung der Abweichungen der physikalischen Lotlinie von der Ellipsoidnormalen (Lotabweichung)

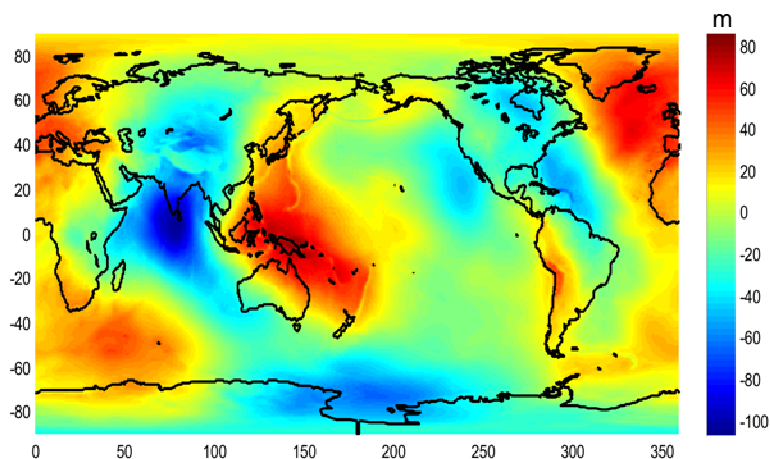
Gauss, Bessel (1828, 1837)

Unterscheidung bei der Definition der Figur der Erde:

- Physikalische Oberfläche der Erde („Topographie“)
- Mathematische Referenzfläche basierend auf Schwerefeld (Geoid)
- Ellipsoidisches Referenzmodell (bestanschießend an Geoid)

Historischer Rückblick: Erdfigur Geoid

Geoidhöhen: Abweichungen des Geoids vom bestanschießenden Referenzellipsoid



Historischer Rückblick: Erdfigur: 3D-Geodäsie

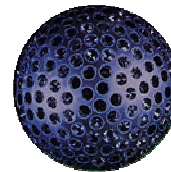
3D-Geodäsie

- Gemeinsame Verwendung von horizontaler und vertikaler Positionsinformation innerhalb desselben mathematischen Modells
- Konzept erstmals vorgeschlagen von Bruns (1878), neu betrachtet von Marussi (1949) und Hotine (1969)
- Neue Impulse und technische Realisierung erst durch Satellitengeodäsie:



Sputnik 1
(4. Okt. 1957)

LAGEOS 1, 2
(1976, 1992)



- Satelliten-Bahnbestimmung: Kontrollpunkte in einem 3D-System
- Ableitung des langwelligen Schwerfeldes aus der Satellitenbahn
- insbes.: Ableitung der niedrigen harmonischen Grade (Abplattung) und deren zeitliche Veränderung

Erdfigur: 3D-Geodäsie

3D-Geodäsie

GPS



GLONASS



Galileo



- Gemeinsame Bereitstellung von horizontaler und vertikaler Positionsinformation
- zusätzlich: Zeit

Erdfigur: 4D-Geodäsie

4D-Geodäsie

- Zeitliche Veränderungen der Erdfigur:
 - Gezeiten
 - Massentransporte (Hydrologie, Eis, Ozean, Tektonik, Isostasie, ...)
 - Krustendeformationen
 - Variationen in der Erdrotation

