

Was bedeutet Normal Null? Unser Höhensystem und der Meeresspiegel

Dr. Gunter Liebsch

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

GIZ-Vortragsprogramm
Meeresspiegelschwankungen - Teil III



Hochrheinbrücke bei Laufenburg

Mittwoch, 14. Januar 2004
**Brückenneubau mit "Stufe"
Peinliche Panne am
Rhein**

Beim Bau der neuen Rheinbrücke zwischen dem deutschen und dem Schweizer Teil der Stadt Laufenburg ist eine peinliche Panne passiert: Zwischen beiden Seiten tut sich ein Höhenunterschied von 54 Zentimetern auf. Behördensprecher diesseits und jenseits der Grenze bestätigten am Mittwoch einen entsprechenden Bericht der "Bild"-Zeitung. Der Grund ist die grundsätzlich unterschiedliche Höhenberechnung auf beiden Seiten der Grenze. Während die Schweiz das Niveau des Mittelmeers zu Grunde legt, orientiert sich Deutschland an der Nordsee.

"Die Differenz von 27 Zentimetern ist natürlich bekannt, und auf dem Papier war alles klar", erläuterte Beat von Arx, Abteilungsleiter im Bauamt des Schweizer Kantons Aargau. In der Praxis habe es dann aber gehapert: Auf Schweizer Seite hätte das Niveau um 27 Zentimeter angehoben werden müssen. Stattdessen sei es aber um 27 Zentimeter gesenkt worden. Auf deutscher Seite muss nun der Straßenanschluss tiefer gelegt werden, erläuterte Wolfgang Schädel vom Straßenbauamt in Bad Säckingen. Für die Kosten komme die Haftpflichtversicherung des Ingenieurbüros auf. Quelle: n-tv.de



Die neue Brücke bei Laufenburg

Neue Rheinbrücke ist ein Reinfall

Laufenburg (dpa). Beim Bau der neuen Rheinbrücke zwischen dem deutschen und dem Schweizer Teil der Stadt Laufenburg ist eine peinliche Panne passiert: Zwischen beiden Seiten tut sich ein Höhenunterschied von 54 Zentimetern auf. Der Grund ist die grundsätzlich unterschiedliche Höhenberechnung auf beiden Seiten der Grenze.

Quelle: Weser Kurier Bremen (15.01.2004)

54 Zentimeter fehlen – Rechenpanne bei Rheinbrücke

Laufenburg (dpa). Beim Bau der neuen Rheinbrücke zwischen dem deutschen und dem Schweizer Teil der Stadt Laufenburg ist eine peinliche Panne passiert: Zwischen beiden Seiten tut sich ein Höhenunterschied von 54 Zentimetern auf. Der Grund ist die grundsätzlich unterschiedliche Höhenberechnung auf beiden Seiten der Grenze.

Quelle: Leipziger Volkszeitung (15.01.2004)



Quelle: Wladyslaw (<http://de.wikipedia.org/wiki/Hochrheinbr%C3%BCcke>)

Rheinbrücke mit Treppe - 54 Zentimeter Höhenunterschied

Der Name für die neue Rheinbrücke stand schon fest: "Hochrheinbrücke" sollte die Verbindung zwischen dem deutschen und dem Schweizer Teil der Stadt Laufenburg

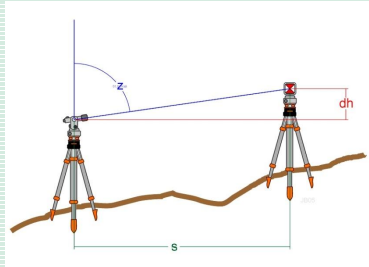
Quelle: Spiegel Online (14.01.2004)

- Beginn der Höhenbestimmung in Deutschland
- Bezug des Höhensystems zum Meeresspiegel
- Messverfahren zur Höhenbestimmung
- Höhensysteme in Europa
- Eignung des Meeresspiegels als Bezugsfläche
- Anforderungen an Höhen
- Satellitengestützte Höhenbestimmung

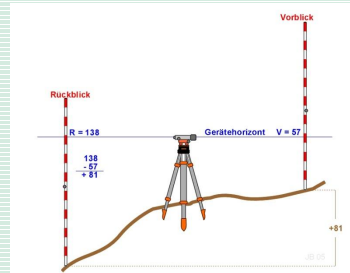
- Konferenzen der Bevollmächtigten zur Mitteleuropäischen Gradmessung vom 15. bis 22. Oktober 1864 und vom 30. September bis 7. Oktober 1867
„Es ist wünschenswerth, dass in allen an der Europäischen Gradmessung beteiligten Ländern neben den trigonometrischen Höhenbestimmungen geometrische Nivellements erster Ordnung ausgeführt werden, bei welchen die Operationsmethode aus der Mitte auf das Dringlichste zu empfehlen ist. Diese Nivellements werden namentlich für die Verbindung der verschiedenen Meere für unentbehrlich erklärt.“
- bis zu diesem Zeitpunkt wurde Höhen barometrisch bzw. trigonometrisch bestimmt
- Gradmessungsnivellements wurden im Wesentlichen von wissenschaftlichen Institutionen durchgeführt
- Nivellements der Trigonometrischen Abteilung der Königlich Preußischen Landesaufnahme

- Barometrische Höhenbestimmung
- Trigonometrische Höhenbestimmung
- Nivellement

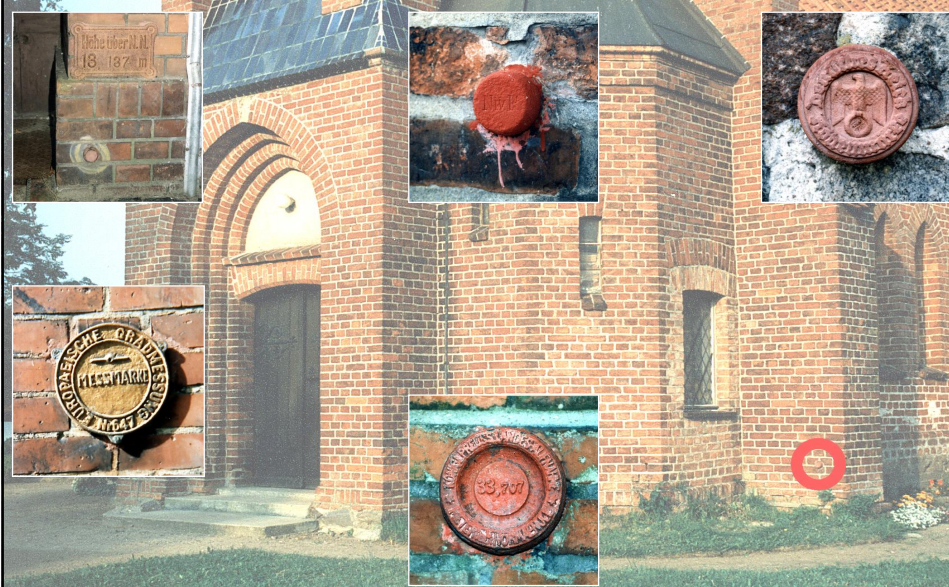
Trigonometrische Höhenbestimmung

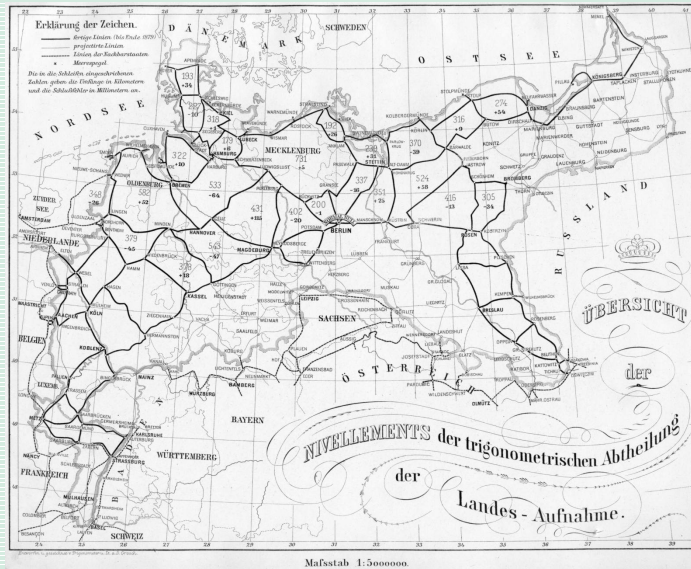


Nivellement

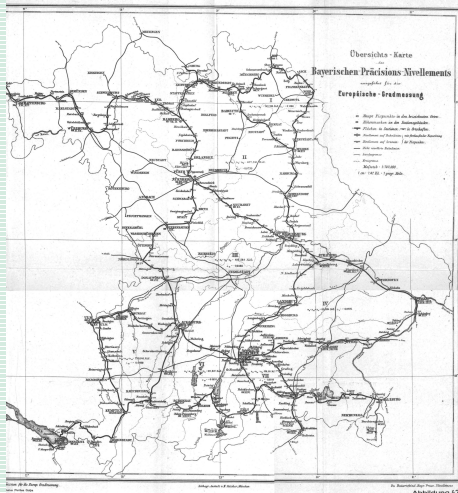


Quelle: Wikipedia





Quelle: Wikipedia



Präzisionsnivellement der Königlich Bayerischen Erdmessungskommission von 1869 bis 1878 unter Leitung von Max von Bauernfeind

- Messung entlang von Eisenbahnstrecken
- Grundlage für das Bayerische Landesnivellement
- Länge 2400 km, 1600 Höhenfestpunkte
- Verbindung zum preußischen Netz

Quelle: Max Seiberger: Wie Bayern vermessen wurde. Hefte zur Bayerischen Geschichte und Kultur, Band 26. Haus der Bayerischen Geschichte. 2001 Planheft Großdeutsches Reich, vorläufige Ausgabe, Beiheft Anlagen, Geodätischer Teil, Abbildung 43, Reichsamt für Landesaufnahme, August 1944

Höhenbezug der Nivellementsnetze

Normalnull-Anzeiger an der
tiefsten Landstelle
Deutschlands in Neuendorf-
Sachsenbände

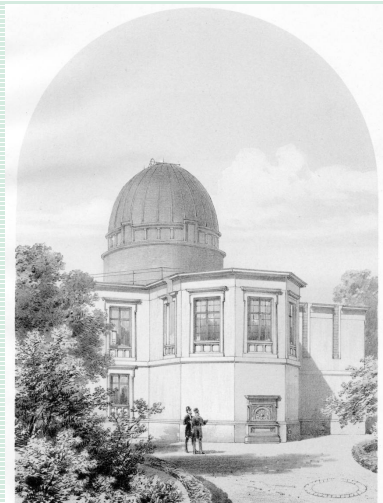
- Natürliches Bezugsniveau für den Nullpunkt:
Mittlere Meeresspiegel
- Praktische Realisierung durch Pegel
- Mitte des 19.Jh. wurden verschiedene
Bezugspegel in Deutschland verwendet:
Hamburg, Neufahrwasser, Venedig,
Amsterdam, ...



Quelle Wikipedia, CC-BY-SA

Höhenbezug der Nivellementsnetze

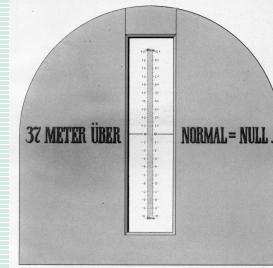
- 1875 - Kommission zum Studium der
Nullpunktfrage eingesetzt
- Nullpunkt des Höhennetzes soll mit dem
Nullpunkt des Pegels in Amsterdam
übereinstimmen
- sehr häufig genutztes Bezugsniveau in
Preußen
- hinreichende Übereinstimmung mit dem
Mittelwasser an den Preußischen Küsten
- Nullpunkt soll Normal-Null (N.N.) genannt
werden
- Nullpunkt soll durch einen
Normalhöhenpunkt an der Königlichen
Berliner Sternwarte festgelegt werden
- Ende 1877 – Baubeginn des
Normalhöhenpunktes



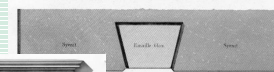
Die Königliche Sternwarte zu Berlin.
von der Nordseite gesehen.

Quelle: Wikipedia

- 22.3.1879 - Einweihung des Normalhöhenpunktes an der Berliner Sternwarte (82. Geburtstag Kaiser Wilhelm I.)
- Höhe 37,000 m über dem Nullpunkt des Amsterdamer Pegels
- Bestimmung durch Nivellements aus den Jahren 1875 und 1876 zwischen Amsterdam und Berlin
- Normalnullpunkt (N.N.) wurde mit 37,000 m unter dem Normalhöhenpunkt definiert
- Schrittweise Umstellung der bis dahin genutzten Bezugsniveaus in Deutschland
- Bei späteren Neuvermessungen wurde der Normalhöhenpunkt als Ausgangspunkt verwendet
- Wiederholungsnivellements nach Amsterdam bestätigten den Höhenunterschied (im Rahmen der Messgenauigkeit)



Vordrücke des Scalasteins.



erschnitt des Scalasteins.
Höhe: 14,4 cm



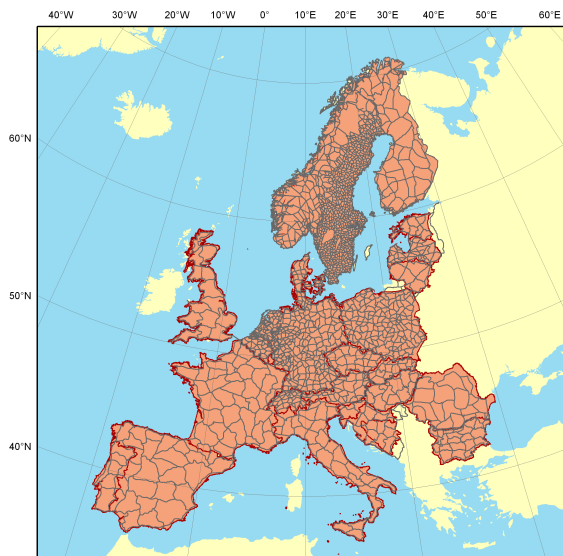
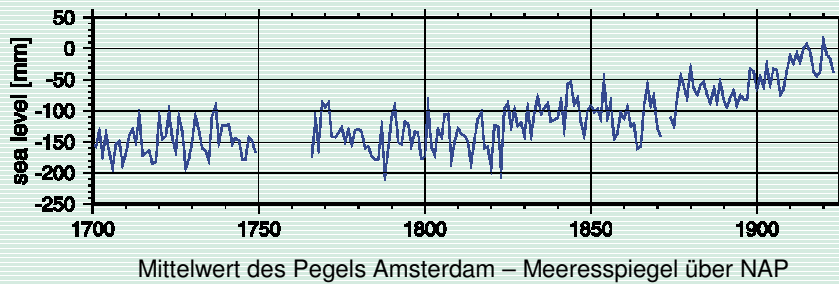
Quelle: Wikipedia

- Grachten dienten zur Schifffahrt sowie zur Entwässerung und mussten deshalb regelmäßig mit Frischwasser gespült werden
- Nutzung der Gezeiten zur Spülung (Tidehub 0.34 m),
- Vermeidung von Überschwemmungen
- Regelung durch Schleusen
- 1674 wird ein Stein, der die Höhe des „Stadtpegels“ angibt, erstmals erwähnt
- Nullpunkt des Amsterdamer Pegels stimmte mit dem mittleren Tidehochwasser (1683–1684) überein
- Nullpunkt lag ca. 17 cm über dem Mittelwasser

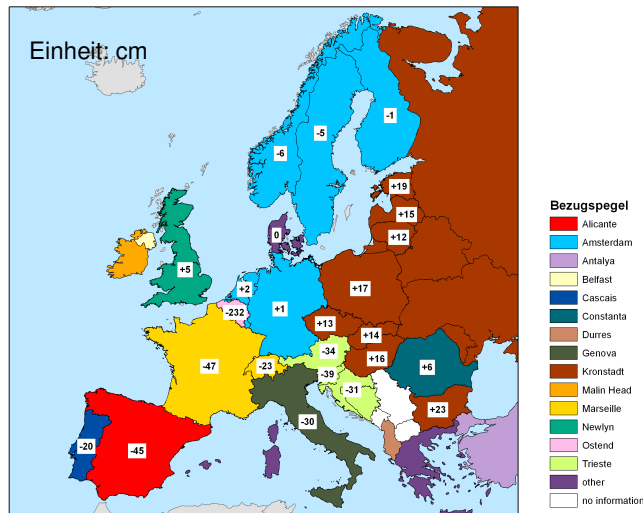


A. Waalewijn: Der Amsterdamer Pegel (NAP), ÖZfV u. PH., 74(1986)4, pp. 264-270

- Niveau des Amsterdamer Pegels wurde auf die Umgebung übertragen und in Napoleonischer Zeit mit anderen Bezugsniveaus verglichen
- mit einem königlichen Erlass vom 18. Februar 1818 wurde der Amsterdamer Pegel zum offiziellen Bezugsniveau in der Niederlande
- durch Eisenbahn- und Kanalbau fand er weitere Verbreitung
- seit 1891 mit NAP (Normaal Amsterdams Peil) abgekürzt
- 1954 - NAP wird zum Ausgangspunkt des westeuropäischen Nivellementsnetzes erklärt



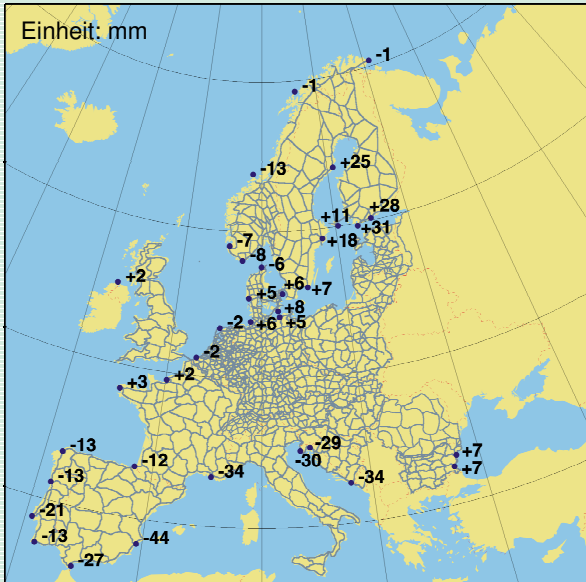
Transformationsparameter von nationalen Höhensystemen zum EVRF2007



Pegel zur Realisierung des Höhenbezuges?

- Langzeitstabilität des Untergrundes ist an den Küsten häufig nicht gegeben
- Pegel befinden sich an der Küste (meist Flussmündungen und Häfen) und können lokalen Einflüssen unterliegen, so dass sie ggf. nicht repräsentativ für andere Gebiete sind
- Pegel liegen dezentral im Nivellementsnetz
- Bereits bei den Urnivellements ergaben sich für Pegel in Deutschland unterschiedliche Werte zwischen -0.420 m (Wilhelmshaven) und -0.077 m (Greifswald), Amsterdam -0.144 m über N.N.
- Mittelwerte langjähriger Messreihen der Pegel ergeben keinen konstanten Wert, d.h. sie liegen nicht auf der gleichen Niveaufläche

Mittlerer Meeresspiegel über NAP (2002)



Ursachen:

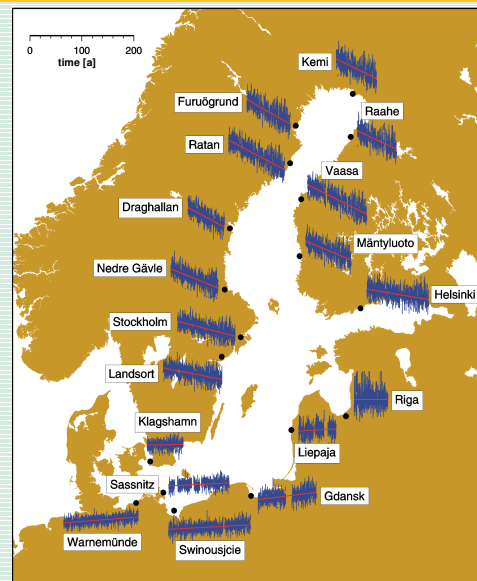
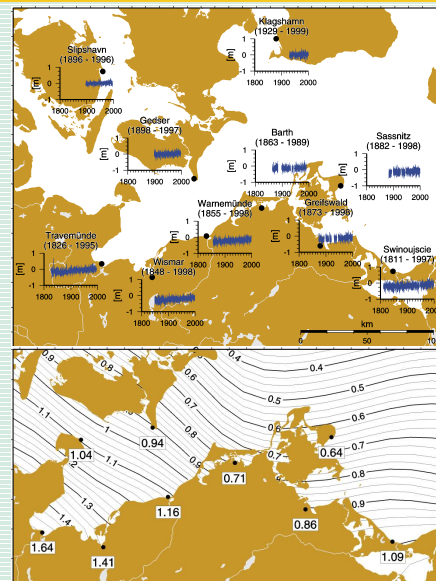
- Temperaturunterschiede
- Salzgehaltsunterschiede
- Luftdruckunterschiede
- Strömungen
- Windstau

Meerestopographie: max. 2 m

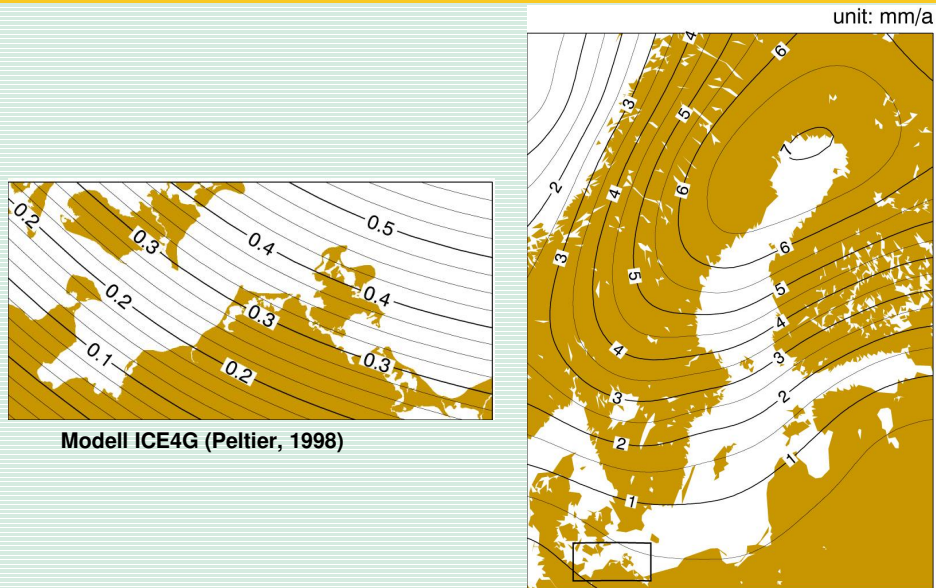
nach:

Wöppelmann, Sacher, Adam, Gurtner, Harsson, Ihde and Schlüter (2002): „Report on EUVN tide gauge data collection and analysis“, EUREF Publication No. 11/1, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 25

Langjährige Wasserstandszeitreihen der Ostsee



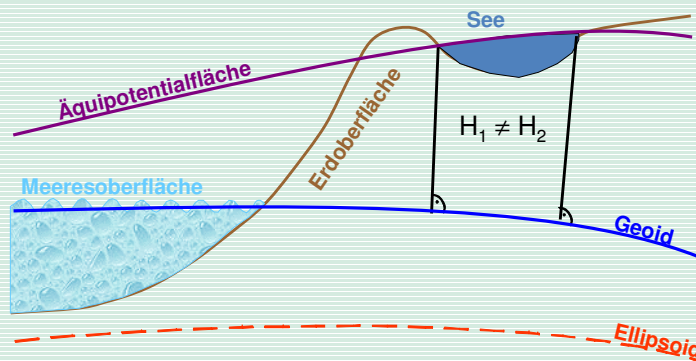
Postglaziale Landhebungen



Anforderungen an Höhen

- Punkte der gleichen Äquipotentialfläche sollten die gleiche Höhe haben (zwischen Punkten der gleichen Höhe sollte kein Wasser fließen)
- die Höhe soll den Abstand vom Geoid (Niveaufläche in mittlere Meereshöhe) angeben

Abstand der Niveauflächen am Pol:	0,995 m	$\gamma_P = 9.832\ 186\ \text{m/s}^2$
Abstand der Niveauflächen am Äquator:	1,000 m	$\gamma_A = 9.780\ 327\ \text{m/s}^2$



Anforderungen an Höhen

- Höhen sollten eindeutig und unabhängig vom Messweg bestimmbar sein
- Höhen sollen möglichst frei von hypothetischen Annahmen sein
- Korrekturen von gemessenen Höhenunterschieden auf das angenommene Höhensystem sollen möglichst klein sein

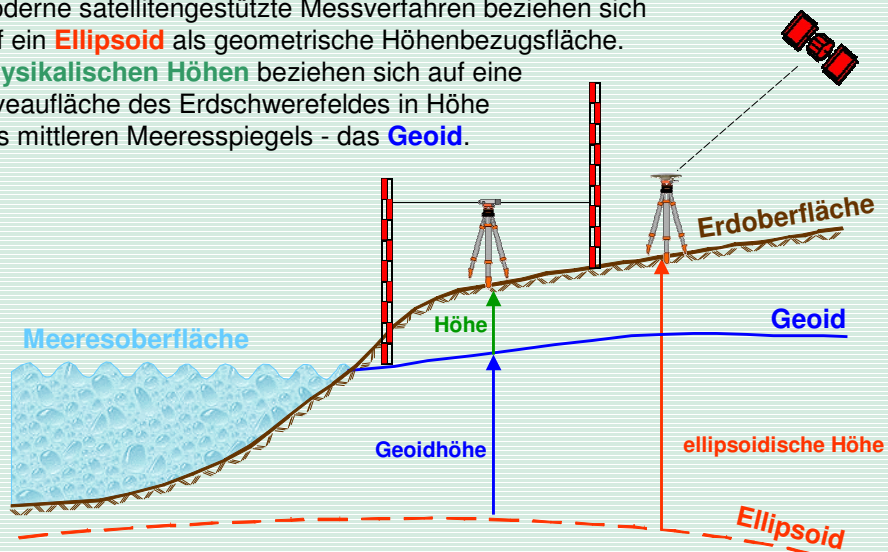
Verschiedene Höhenarten

- dynamische Höhen
- orthometrische Höhen
- normalorthometrische Höhen
- Normalhöhen

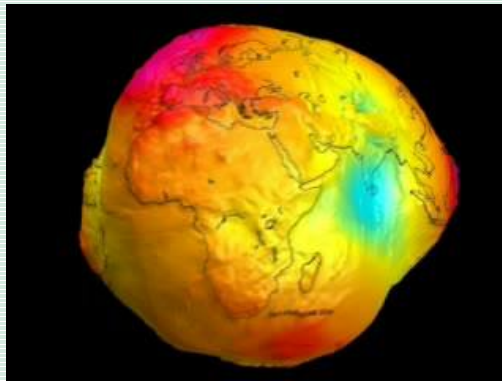
Ausgangsgröße:

- Potentialdifferenzen (geopotentielle Koten)
- Produkt aus Höhenunterschied und Schwerebeschleunigung
- Theoretischer Schleifenschlußfehler

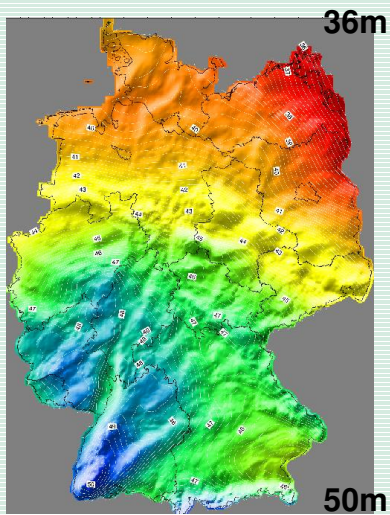
Moderne satellitengestützte Messverfahren beziehen sich auf ein **Ellipsoid** als geometrische Höhenbezugsfläche. **Physikalischen Höhen** beziehen sich auf eine Niveauläche des Erdschwerefeldes in Höhe des mittleren Meeresspiegels - das **Geoid**.



Differenzen zwischen Geoid und Ellipsoid
Global: von -100 m bis 85 m



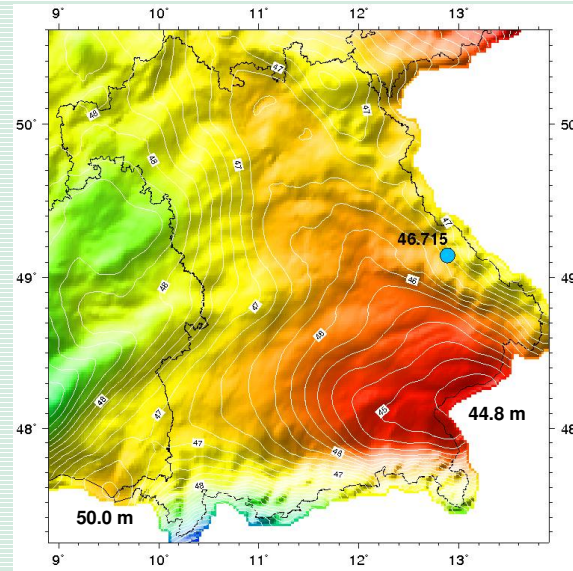
Quelle: GFZ Potsdam



In Deutschland liegen die
Differenzen zwischen 36 m auf
Rügen und 50 m in den Alpen.

Quasigeoidmodell GCG05

Quasigeoidvariationen in Bayern



In Bayern liegen die Differenzen zwischen 44.8 m und 50 m.

Quasigeoidmodell GCG05

Globale Schwerefeldmodelle

CHAMP



Start 2000

www.gfz-potsdam.de

GRACE

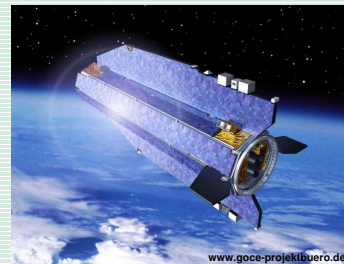


Start 2002

Statisches und zeitlich variables Schwerefeld

www.csr.utexas.edu

GOCE



www.goce-projektbuero.de

Start 2009

- Schwereanomalien 1 mGal
- Höhenanomalien 1-2 cm
- Räumliche Auflösung 100 km



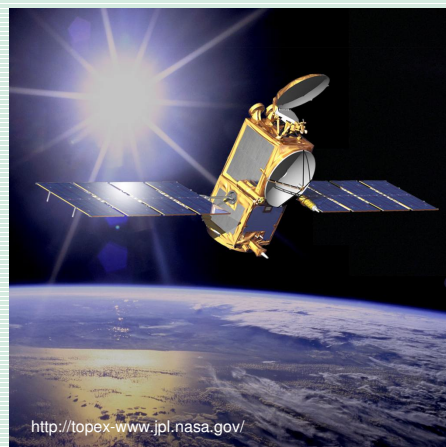
Deutschland
DGM – D-25
25 m x 25 m

Europa
Euro DEM
50 m x 50 m

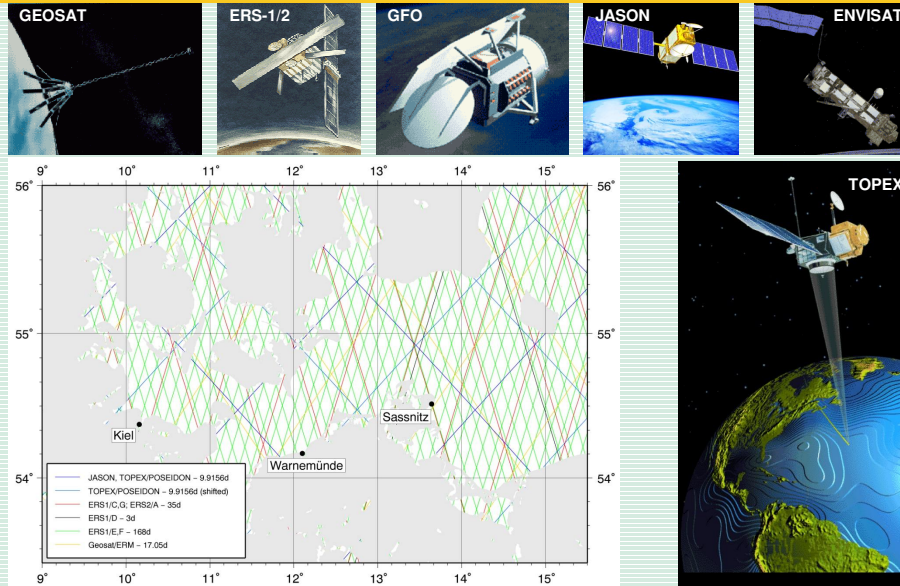
Meeresbereich
BSH
GEBCO

Verfahren

- Terrestrische Schweremessungen
- Schiffs-/Fluggravimetrie
- Satellitenaltimetrie



<http://topex-www.jpl.nasa.gov/>



- ab ca. 1913 erfolgte eine Erneuerung des gesamten Netzes, der bis zum Ende des zweiten Weltkrieg aber nicht abgeschlossen werden konnte
- unterschiedliche Entwicklung nach dem 2. Weltkrieg
- BRD:
Arbeiten wurden fertiggestellt (DHHN12)
Neumessung großer Netzteile (Niv.-Netz 1960, nicht amtlich)
Neumessung 1980-1985 (DHHN85), Höhen über Normal Null (NN)
- DDR:
Neumessung 1954 - 1956 (SNN56), Höhen über Höhennull (HN)
Neumessung 1974 - 1976 (SNN76), Höhen über Höhennull (HN)
- Verbindung der beiden Netze 1991-1993 und Berechnung des gesamtdeutschen Höhennetzes (DHHN92), Höhen über Normalhöhennull (NHN)
- 2006-2011 Neumessung von ca. 80 Prozent des DHHN92

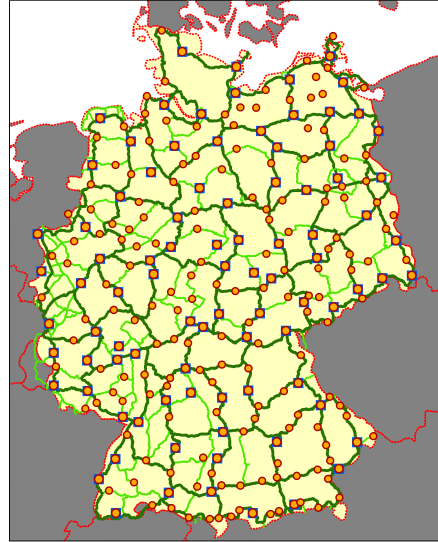
Durch die Durchführung von **Nivellements**, **GNSS-Messungen** und **Absolutschweremessungen** im Zeitraum 2006 bis 2011 wird bundesweit ein homogener Datensatz von Höhenanomalien für die Quasigeoidbestimmung zur Verfügung stehen, der

- nach einheitlichen Richtlinien und
- zur selben Epoche

bestimmt wurde.



- GNSS-Station
- GNSS+Absolutschwere
- Pflichtlinien
- optionale Linien



- Die Höhe ist physikalischer Natur (proportional zur Potentialdifferenz)
- Zur Höhenbestimmung sind sowohl geometrische Beobachtungen (Nivellement) als auch die Bestimmung von Schwerebeschleunigungen notwendig
- Normal Null ist die Bezeichnung des Höhenbezuges in Deutschland bis etwa 1995
- Nach der Wiedervereinigung wurde ein einheitliches Höhensystem geschaffen, Höhen über Normalhöhennull (NHN)
- Nullniveau: Amsterdamer Pegel (in Strenge kein Bezug zum Mittelwasser)
- In Europa werden ca. 15 verschiedene Bezugsniveaus verwendet
- Zukünftig werden zunehmend satellitengestützte Messverfahren in Zusammenhang mit Geoid- bzw. Quasigeoidmodellen zur Höhenbestimmung verwendet werden
- Bezug zum Meeresspiegel durch Beobachtungen der Satellitenaltimetrie, die Bestimmung grundlegender Parameter und die Anpassung an vorhandene Höhensystem
- Derzeitig (2006-2011) werden die messtechnischen Grundlagen für die Überprüfung des derzeitigen Höhensystems und ggf. die Realisierung eines neuen Höhensystems gelegt

***Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!***