



Schwerefeld und Höhensysteme

Höhe – Parameter des Erdschwerefeldes

Johannes Ihde

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Begutachtung des
Forschungs- und Entwicklungsprogramms 2011 – 2015
der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie FGS
Bad Kötzting, 24. – 25. Juni 2010



- **Motivation**
- **Schwere und Höhe**
- **Höhen- und Schwerereferenzsysteme – Stand**
- **Definition eines Höhenreferenzsystems**
- **Realisierungen**
- **Satellitenschwerefeldmission GOCE – zentrale Komponente für die Vereinigung der Höhensysteme**
- **Schlussfolgerungen**



Entwicklung

- **Erfolgreiche Satellitenschwerefeldmissionen (CHAMP, GRACE, GOCE) und Ableitung verbesserter Produkte**
- **Erhöhung der Anzahl der verfügbaren Instrumente für die terrestrische Gravimetrie**
- **Entwicklung von Schweredatenbanken (Datenpolitik)**
- **ICP1.2 Vertical Reference Systems 2003 bis 2011, CfP WHS**
- **GGOS Theme 1: Global Unified Height System (WHS)**

Fortschritte bei der Erfassung und Nutzung des Erdschwerefeldes:

- **Höhere Genauigkeit und Auflösung der globalen Schwerefeldmodelle, Verbesserte Produkte (EGM08, EGG08)**
- **Homogenere globale Abdeckung mit terr. gravimetrischen Messungen**
- **Erfassung von Schwerefeldvariationen mit Satellitenmissionen (GRACE) und terr. Messungen (SG), Beitrag zur Untersuchung der Massentransporte zum besseren Verständnis des Systems Erde (DFG)**



Das Erdschwerefeld kann äquivalent als Vektorfeld $\vec{g}(X)$ und Skalarfeld W_P dargestellt werden.

Beide Feldformen sind miteinander verknüpft

$$\vec{g}_P = \text{grad } W_P = -g_P \begin{pmatrix} \cos\Phi & \cos\Lambda \\ \cos\Phi & \sin\Lambda \\ \sin\Phi \end{pmatrix}$$

Höhe

$$-\Delta W_P = c_P = W_0 - W_P.$$

Schwere

$$g_P = g(X) = |\text{grad } W_P|$$

Position

$P(X)$



Schwerefeld und Geometrie

Beobachtungen			Geodätische Raumverfahren			Satelliten-radar		SSM	Terrestrische Gravimetrie					
			VLBI	SLR	GNSS	I-SAR	ALT	SST Gradio	Niv.	grav. rel.	AG	SG	Pegel	
Parameter (t)			10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹		10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	
Terrestrisches Referenzsystem (TRF)	Datum													
	Geozentrum	X_0		✓	✓		✓	✓						
	Maßstab		✓	✓										
	Polschwank.		✓	✓	✓									
	UT1		✓											
	Stationen	X_p	✓	✓	✓	✓					h'	h'	h'	
Erdoberfläche	DGM					✓	✓							
Höhen- referenz- system (VRF)	Datum	W_0			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Stationen	H_p			✓		✓	✓	✓	✓				✓
Schwere- referenz- system (GRF)	Datum	g_0			✓					✓	✓			
	Stationen	g_p			✓					✓	✓	✓		
Schwerefeld	GGM	T		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Reg. Geoid	T			✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓
Atmosphäre			✓		✓		✓			✓	✓			
Hydrosphäre					✓		✓			✓	✓			✓
Kryosphäre					✓		✓							
Lithosphäre			✓	✓	✓		✓			✓				✓



Höhen- und Schwerereferenzsysteme – Stand

Höhe:

Weltweit existieren einige hundert Höhensysteme (incl. Chart datums) realisiert

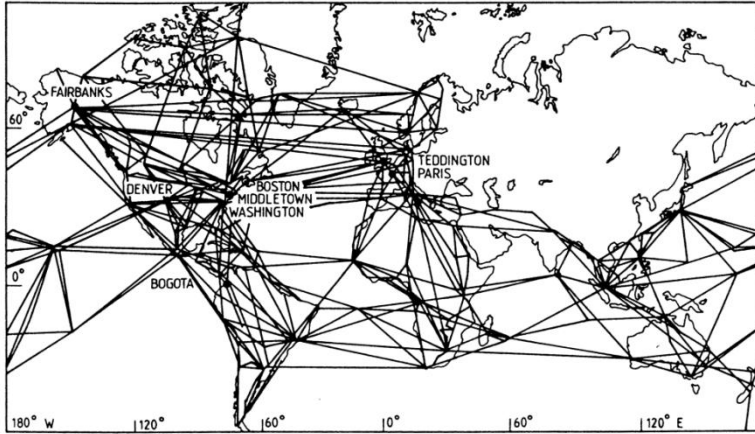
- **durch Anschluss an den Meeresspiegel mit unterschiedlichen Pegeln (Globale Niveauunterschiede bis 2 m wegen Meerestopographie)**
- **Durch Nivellement, reduziert nach unterschiedlichen Theorien (10^{-7})**
- **Zu unterschiedlichen Epochen, meistens statisch.**

Schwere:

- **IGSN71**
- **Absolute Schweremessungen (AG) im μGal -level - 10^{-9}**
- **Hochsensible Permanentbeobachtungen mit supraleitenden Gravimetern im sub- μGal level**
- **Schwerfeld/Geoidmodelle EGM08 – 1...4 dm, EGG08 dm**
- **Satellitenschwerfeldmissionen CHAMP, GRACE, GOCE – Ziel: 1 cm-Geoid (100 km)**



- IAG-Standard ist das IGSN71 – Stationsgenauigkeiten: $1 \mu\text{m}/\text{s}^2$ ($100 \mu\text{Gal}$)
- 1985 Vorschlag von Boedecker zur Realisierung des IAGBN



IGSN71 reference network

Ref. Morelli



1986

IAGBN (A)

Ref: Boedecker

Stand

- AG-Messungen mit $20 \text{ nm}/\text{s}^2$ ($2 \mu\text{Gal}$)
- AG-Vergleichsmessungen sichern den Standard
- Bestimmung von zeitlichen Variationen mit SG im sub- μGal Genauigkeitsbereich möglich
- Korrelation mit zeitlichen Variationen des Schwerefeldes möglich



Definition eines Höhenreferenzsystems

1. Das Höhendatum ist eine Äquipotentialfläche des Erdschwerfeldes

$$W_0 = \text{const.}$$

Der Potentialwert W_0 ist numerischer Standard.

Anm.: Das Höhendatum definiert die Beziehung der Höhen zum Erdkörper.

W_0 ist numerischer Standard und muss reproduzierbar sein.

GRS80 6 263 6860.850, 1

IERS2003 6 263 6856.0

DGFI 62 636 853,4 (in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

2. Die Einheit der Länge ist Meter (SI).



3. Die Höhe eines Punktes P ist die Potentialdifferenz des Erdschwerefeldes

$$-\Delta W_P = c_P = W_0 - W_P .$$

W_P Erdschwerepotential in P

W_0 konventionelles Niveau des Höhensystems

c_P geopotentielle Kote

4. Das Höhensystem ist ein zero tidal system, entsprechend der IAG Resolution No 16 angenommen in Hamburg in 1983.

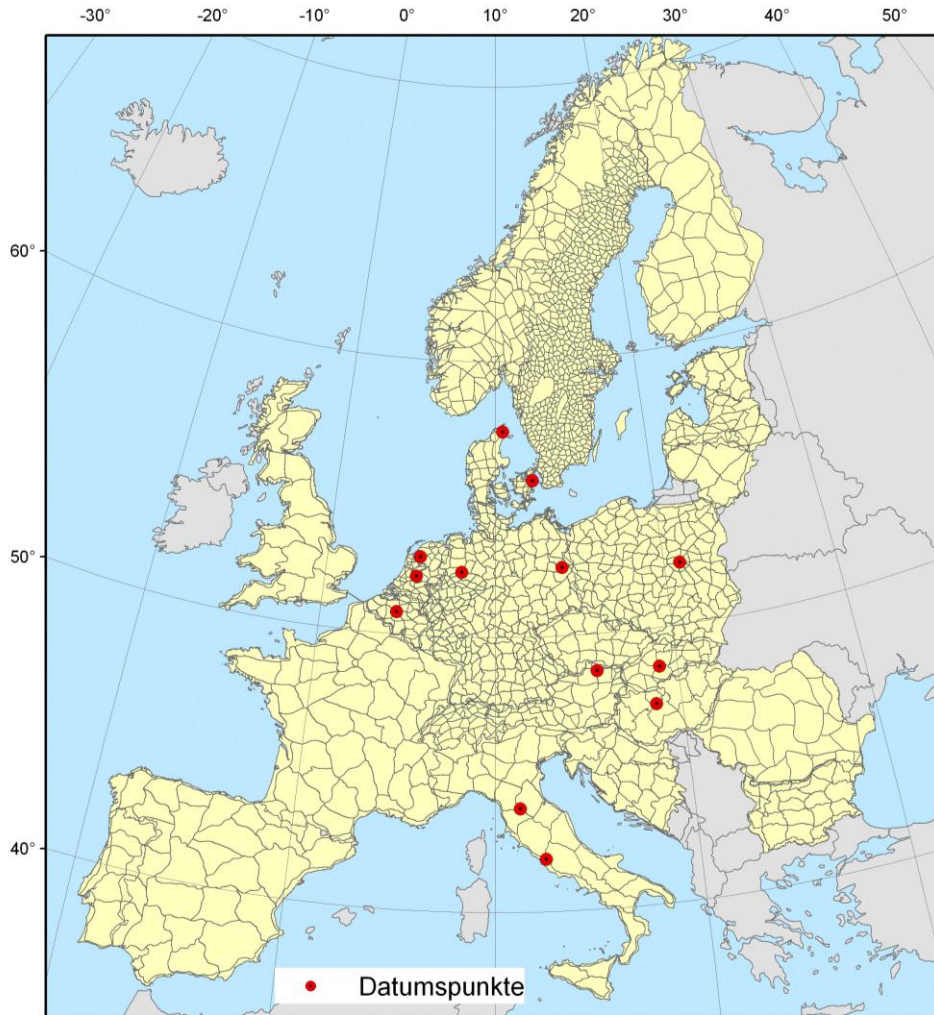


(i) Klassisches Konzept (kontinental/Nivellement):

$$W_p = W_0 - c_p \text{ (levelling)}$$

$$H_n = \frac{c_p}{\bar{\gamma}}$$

durch Ausgleichung von Nivellementsnetzen (kontinental)



Ausgleichungsparameter EVRF2007

- 27 beteiligte Länder
- 7939 Knotenpunkte
- 10347 Beobachtungen
- a-posteriori Standardabweichung für 1 km Nivellement : 1.11kgal·mm
- Mittlere Standardabweichung der ausgeglichenen geopotentiellen Koten (Höhen) : 16 kgal·mm

Resolution Nr. 3 EUREF Symposium Brüssel 2008:

Vorschlag an europäische Kommission
zur Annahme des EVRF2007 als
einheitliches vertikales Referenzsystem
für europaweite Georeferenzierung
(INSPIRE)



(ii) Generelles Konzept (global/GBVP): GNSS/Levelling

$$W_p = U_p + T_p \text{ (GBVP)}$$

$$c_p = W_0 - W_p$$

$$H_n = \frac{c_p}{\bar{\gamma}}$$

*unter Nutzung eines globalen Schwerefeldmodells (GGM) -
in Verbindung mit einer lokalen Verdichtung*

$$\zeta = \frac{T_p}{\gamma_Q} = \frac{W_p - U_p}{\gamma_Q}$$

und GNSS-Höhen h_p

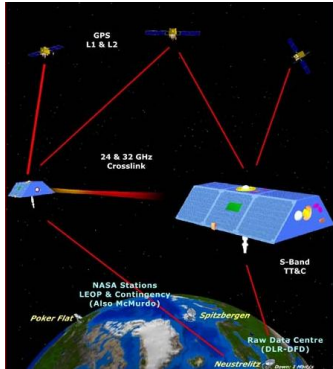
$$H_n = h_p - \zeta$$



***(iii) Ozeanographisches Konzept (interkontinental)
entlang der Küsten unter Nutzung der
dynamischen Meerestopographie (Modelle) und
von Pegelmessungen***



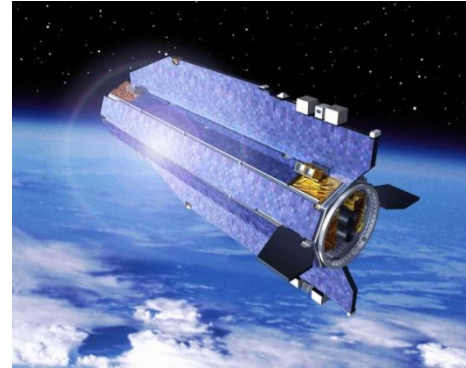
zentrale Komponente für die Vereinigung der Höhensysteme



V plus 1 "horiz." Ableitung

SSM

Integrierte
Schwerefeldparameter



V plus fünf 2. Ableitungen
(Tensor von V)

$$H_{0,VRF} = h_{i,ITRF} - H_{i,VRF} - \zeta_{i,GGM}$$

h und ζ sind global

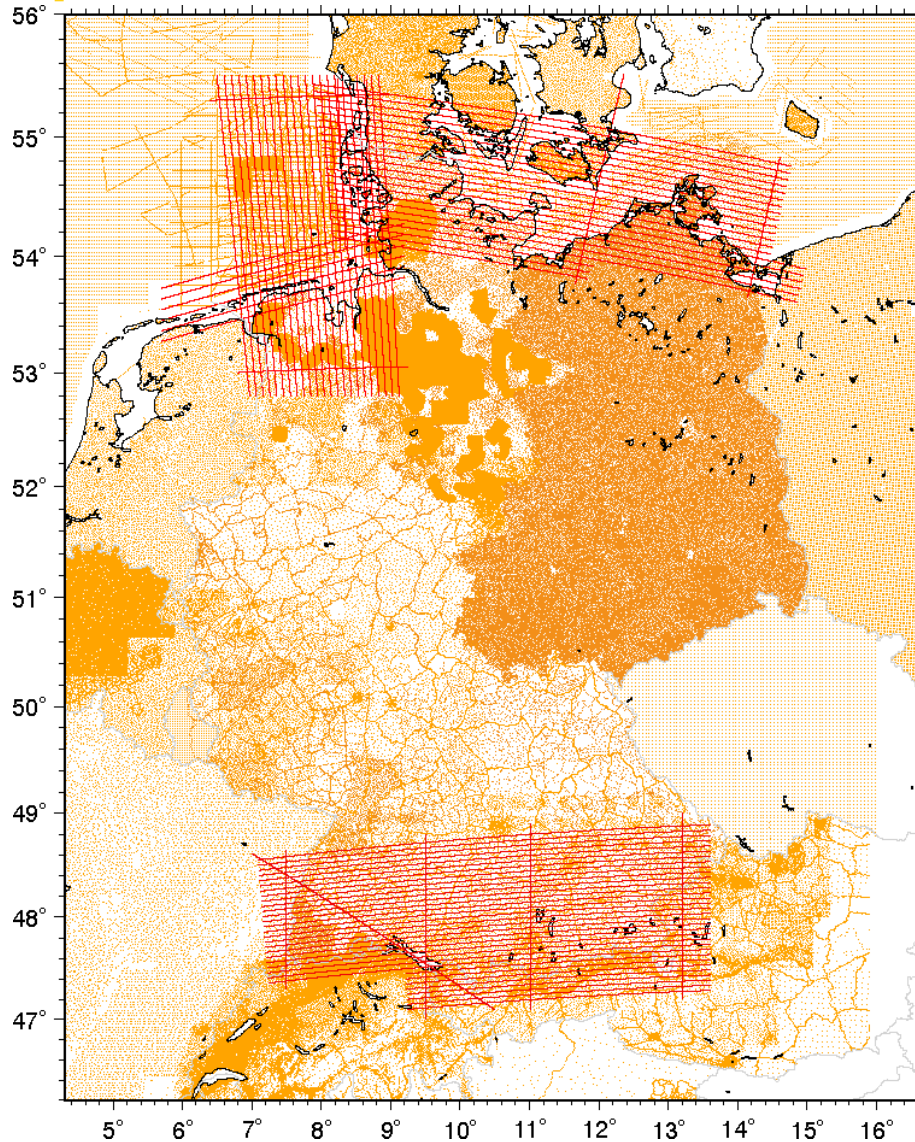
$$H_{VRF} = h_{ITRF} - \zeta_{GGM}$$



Verbundvorhaben im Geotechnologienprogramm GOCE Cal/Val, Quasigeoid and Height System in Germany (WP310)

Real GOCE Cal/Val, Quasigeoid und Höhensysteme in Deutschland (BKG,IFE):

- **Kalibrierung und Validierung von GOCE-Produkten mit terrestrischen Daten (Cal/Val-D)**
- **Regionales Quasigeoidmodell für Deutschland (Quasigeoid-D)**
- **Vereinheitlichung von regionalen Höhensystemen und Realisierung eines europäischen und globalen Höhensystems mit Hilfe von Quasigeoidmodellen (HRef)**

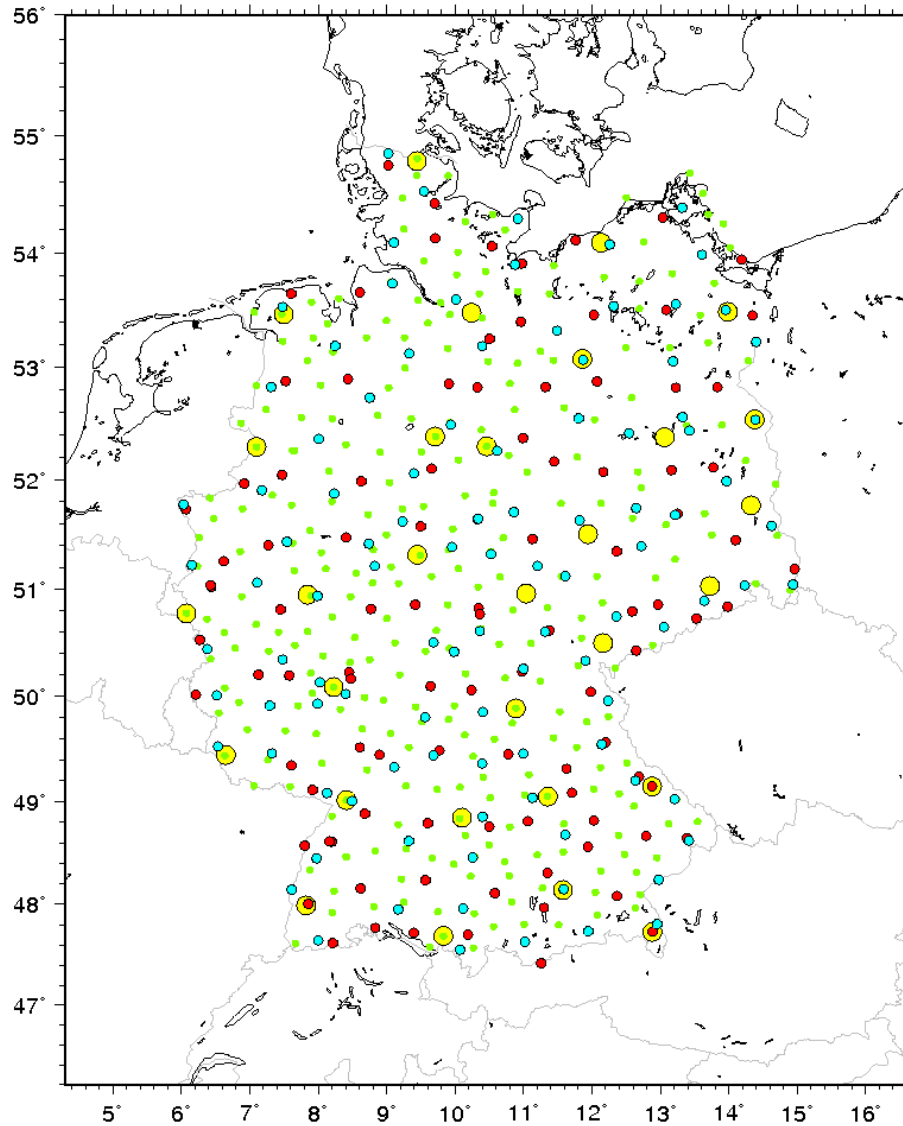


der deutschen Landesvermessung
des IfE
des DGFI
des BSH
der Erdöl-Erdgasindustrie
der KMS / DNSC 08
der Nachbarländer
des BKG – BalGrace, NorthGrace,
AlpinAero



GOCE CAL/VAL in Deutschland

Gravimetrische Daten



Deutsches Schweregrundnetz 1994

GOCE Grand II (A10)

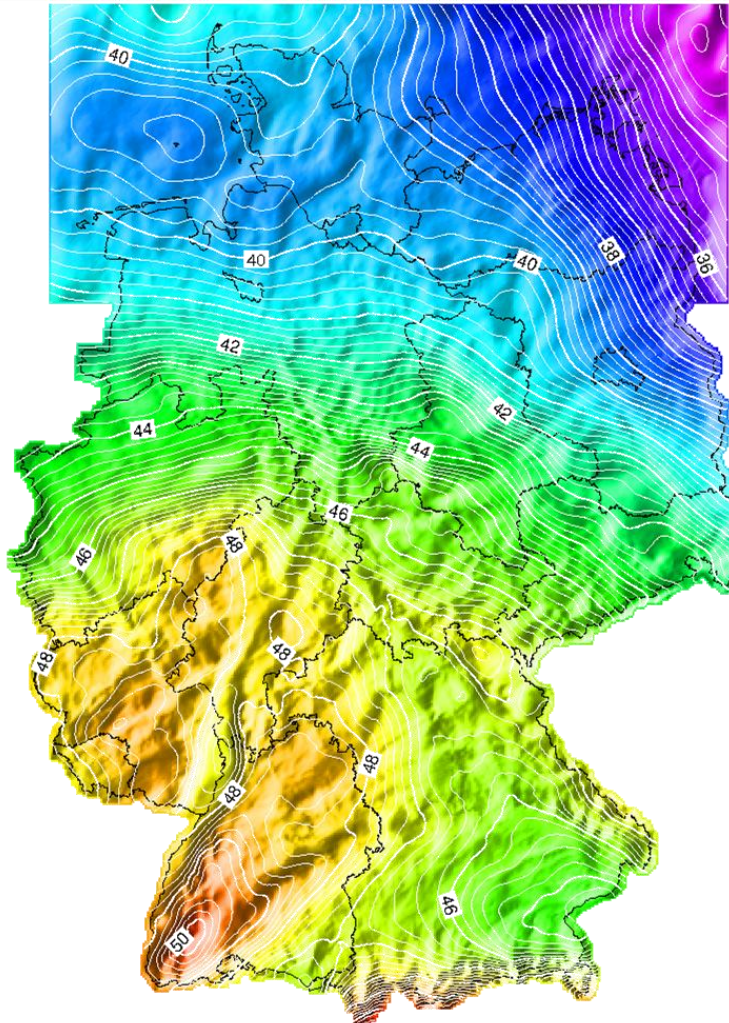
Erneuerung DHHN (A10)

Deutsches Hauptschwerenetz
1996





German Combined Quasigeoid 2005 (GCG05)



- 900 GNSS/Niv-Punkte, 550000 grav. Punkte, DLM25, EIGEN05C
- Hochauflösendes terrestrisches regionales Schwerfeld
- RRT, Punktmassenmodellierung, Kollokation
- Passfähig zu verwendeten amtlichen Referenzsystemen in Deutschland (Normalhöhen im DHHN92 und ellipsoidische Koordinaten im ETRS89)
- Nutzbar für die Höhenbestimmung / die Berechnung von Normalhöhen mittels GNSS-Beobachtungen bzw. GNSS-Positionierungsdiensten (GREF, SAPOS)
- Genauigkeit ca. 1 bis 5 cm

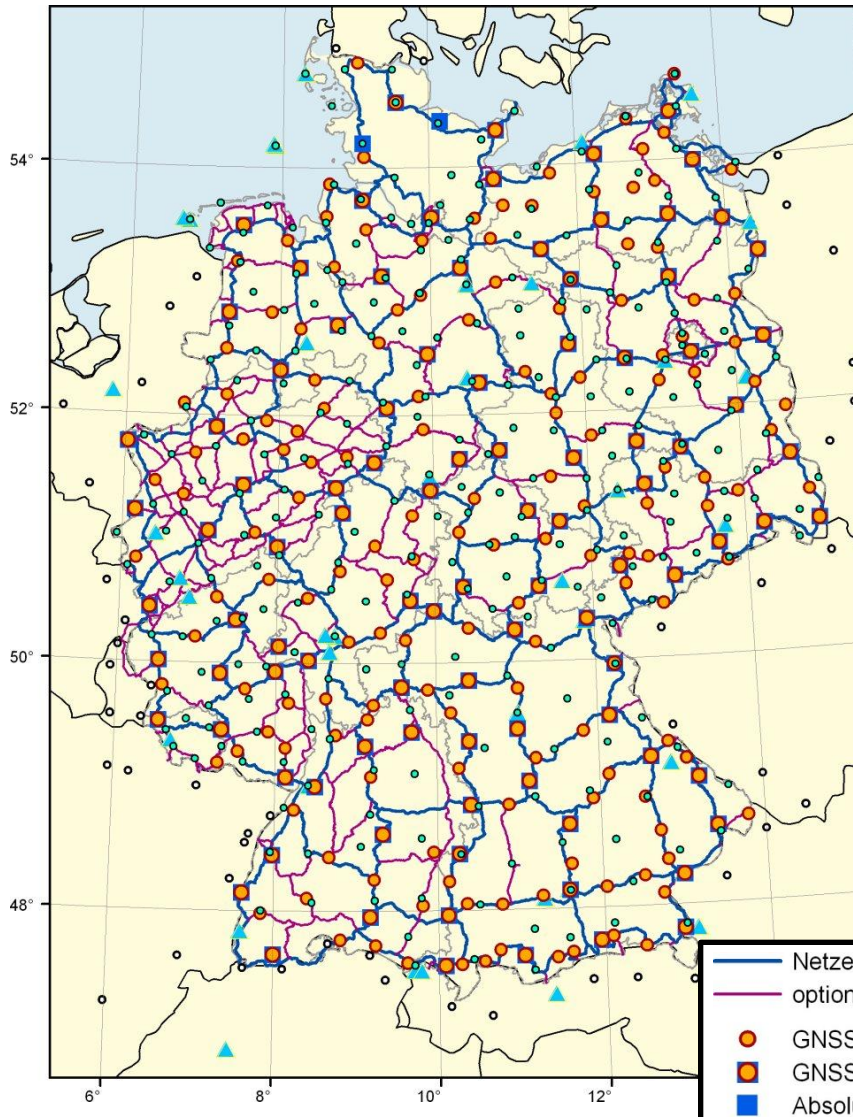


GOCE CAL/VAL in Deutschland

Kreuzvalidierung

Erneuerung des DHHN

- Neubeobachtung der Nivellementslinien durch Bundesländer (Abschluss 2011)
- GNSS-Kampagne (Sommer 2008, Auswertungen am BKG und am LGN Hannover)
- Absolutschwerepunkte (A-10-Messungen BKG, Abschluss 2010)





Schussfolgerungen, Defizite und Fragestellungen

- **Kein globales Höhenreferenzsystem**
- **Kein globales Schwerereferenzsystem (aktuell IGSN71)**
- **Einheitliche Standards für Analyseprozeduren und Produktgenerierung (Permanente Tide)**
- **Einheitliche numerische Standards (GRS80/IERS2003)**
- **Wo liegt das Nullniveau eines Welthöhensystems?**
- **Nutzungskonzepte für Höhe und Schwere**

Eckpunkte

- **Erdschwerfeld ist zu einer verbindenden Komponente der Geodisziplinen geworden (Massentransporte)**
- **Entwicklung der Grundlage für eine einheitliche globale Höhenreferenzierung (Welthöhensystem mit Sub-dm-Genauigkeit)**

Sollte man fundamentale Parameter wie W_0 ändern?



Carl Calvert, EUREF 2007

Carl
8.6.7

Die Konsequenzen sind zu Berücksichtigen

