



# Beitrag von Schwerezeitreihen zur Realisierung des „Terrestrial Reference System“

*H. Wilmes, R. Falk, B. Richter*

*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Germany*



# Schwerebestimmung

- Verschiedene geodätische und geophysikalische Anwendungen, wie Höhensysteme, Schwerefeldmodelle, Untersuchungen zur Krustendichte etc.
- Untersuchung zeitabhängiger Höhen- und Dichteänderungen, z.B. durch Variationen des Meeresspiegels, Zeitabhängigkeiten der Schwerefeldmodelle
- Überwachung von Fluiden (Wasser, Öl) im Untergrund
- Metrologische Definitionen und Anwendungen (Ampere, Druck, Masse, Wattwaage)
- Aufbau und Sicherung des Schwerereferenzsystems
  - Kein physikalischer Standard verfügbar
  - Keine Referenzstation mit konstanter Schwerebeschleunigung



# Referenzsystem

- Realisierung eines Schwerestandard  
– Historische Datumsdefinition durch eine oder mehrere Referenzstationen (Potsdamer System, IGSN71)

Verbesserung der Messtechnologie führt zur

- “In-situ” Realisierung des Referenzsystems
  - Absolutgravimeter  
Physikalischer Längen- und Zeitstandard  
(Stabilisierter Laser) (Rubidiumnormal)
- Derzeitige Genauigkeiten
  - Absolutgravimeter:  $\pm 1 - 2 \mu\text{Gal}$
  - Supraleitende Gravimeter (relativ) :  $\pm 0.01 \mu\text{Gal}$
  - Sicherung dieser Referenz!

[ 1  $\mu\text{Gal}$  = 10  $\text{nm/s}^2$  ]

# Referenzstation Bad Homburg

## Gravimetrische Messinstrumente



**Supraleitendes  
Gravimeter GWR  
SG30**



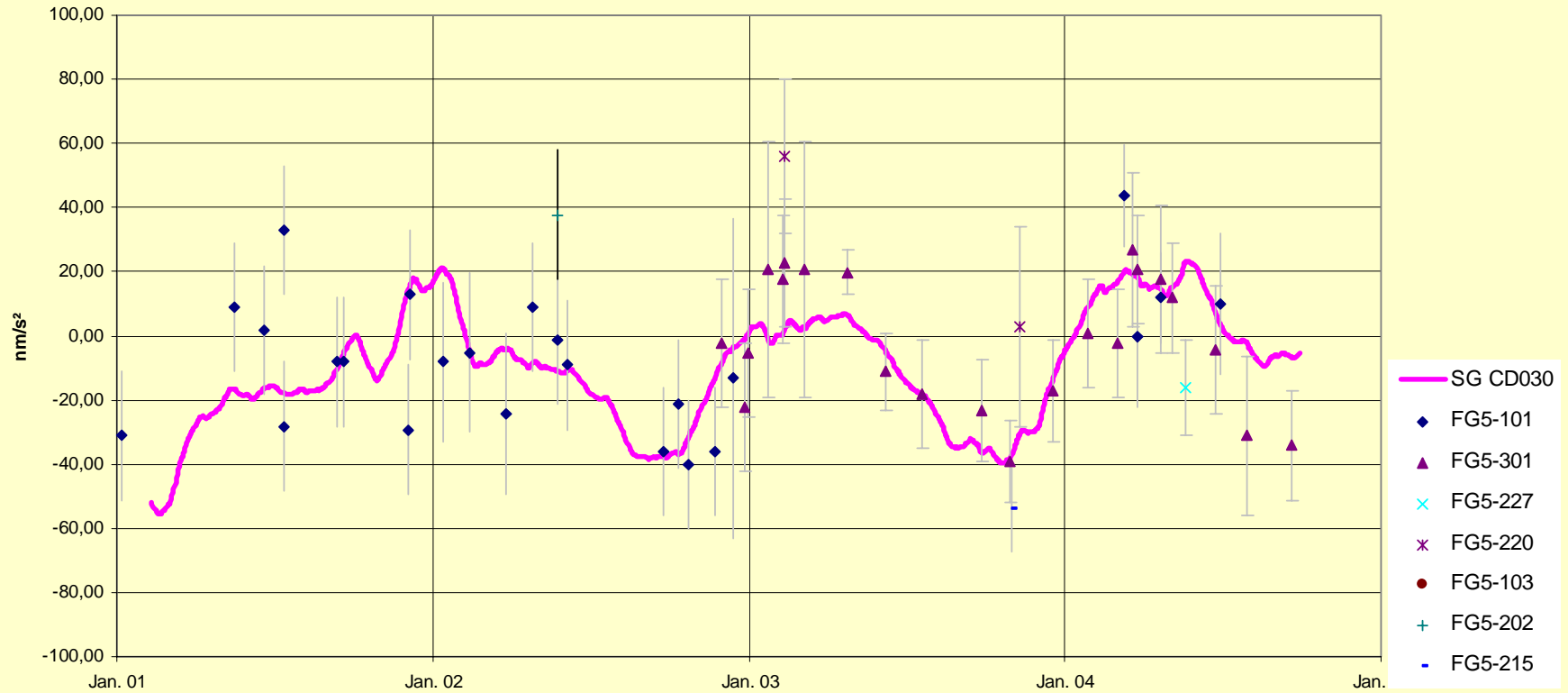
**Absolutgravimeter  
A10 und FG5**

- Kontinuierliche Schweremessungen
- Messgenauigkeit:  
ca. 0,01  $\mu\text{Gal}$  (0,1  $\text{nm}/\text{sec}^2$ )
- Driftrate:  
wenige  $\mu\text{Gal}$  / Jahr
- Kalibrierung erforderlich
- Stationäres System

- Messungen beruhen auf physikalischen Standards
- Keine Drift
- Kontrolle der Standards notwendig
- Transportable Systeme

# Kombination der Messungen von Supraleitendem Gravimeter und Absolutgravimetern

Station Bad Homburg  
Superconducting Gravimeter and Absolute Gravity Observations



# Deutsches Schweregrundnetz 1994 (DSGN94)



Absolutschwerenetz beruhend auf internationalen Standards: SI (Système International d'Unités)

- $\pm 5 \mu\text{Gal}$  Einzelpunktgenauigkeit
- DSGN94 bildet die Grundlage für die Schwerenetze der Länder (Niveau, Maßstab), Vermessungsgesetze

Wiederholungsmessungen des BKG bis 2004 auf 20 Stationen (= 2/3 des Netzes)

- Auf 15 Stationen Abweichungen  $< 5 \mu\text{Gal}$  (im Fehlerbereich der Bestimmung)
- Größere Abweichungen:
  - Wettzell:  $\pm 10 \mu\text{Gal}$   
Ursache Grundwasserschwankungen;  
nach Reduktion  $\pm 2 \mu\text{Gal}$
  - Potsdam, Erfurt: 10 - 15  $\mu\text{Gal}$  Änderungen  
Ursache Baumaßnahme
- 4 Punktverlegungen

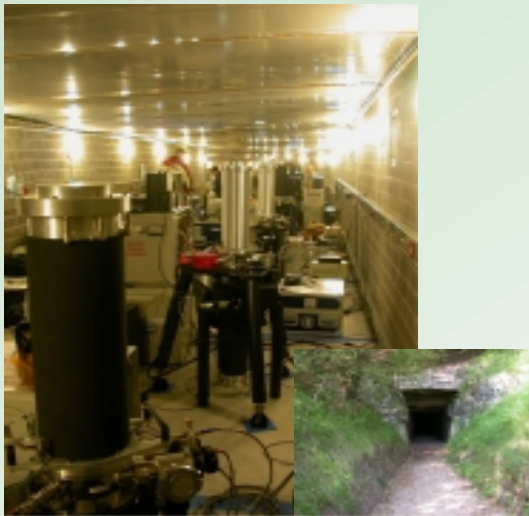
[  $1 \mu\text{Gal} = 10 \text{ nm/s}^2$  ]

# Vergleiche der Absolutgravimeter

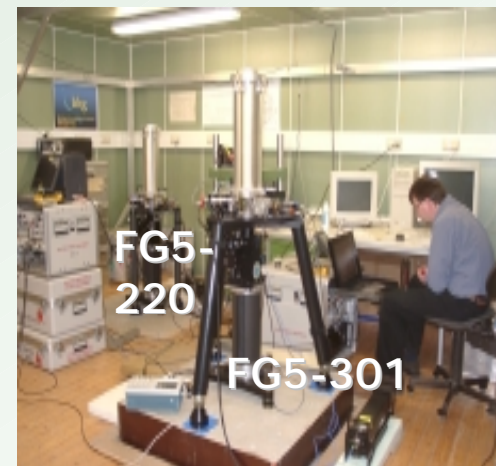
- Internationale Vergleiche durch IAG und BIPM alle 4 Jahre, nächster Termin 2005; Anbindung des Schwerestands an das internationale System der Einheiten (SI)
- Sicherung des Schwerestands durch
  - ◆ Kontrollen der Längen- und Zeitnormale
  - ◆ Regionale und gegenseitige Instrumentenvergleiche



Internationale Vergleichskampagne beim BIPM 2001



Regionaler Vergleich, Luxemburg, 2003



Vergleich zweier Absolutgravimeter, Bad Homburg, 2003

# Effects on heights and gravity

- Heights:
- Deformation due to loading modelled e.g. Greens function
  - Thermal expansion
  - Postglacial uplift

Gravity:  $\tilde{g}$  proportional to  $\frac{m_{\text{test mass}} * m_2}{r^2}$

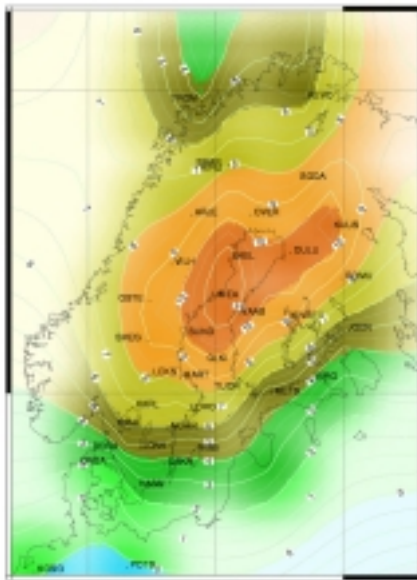
- height effect (s. above)
- attraction effect (change in mass)

# Einbindung der Gravimetrie in Permanentnetze



**Ausbau des GRAF-Netzes mit  
Absolutschwerstationen**

# Absolute Schweremessungen 1991 - 2003 in der Skandinavischen Landhebungszone



(Aus BIFROST-Project-  
beschreibung 2001)



Beteiligte Partner:

- NGS / NOAA (USA)
- BKG (Germany)
- NMA / Statens Kartverk (Norway)
- FGI (Finland)
- Lantmäteriet (Sweden)

● JILAG-5 (FGI) 1991-93

● Fg5-102 (NGS / NOAA) 1993

● Fg5-111 (NGS / NOAA) 1995

● Fg5-101 (BKG) 1993

● Fg5-101 (BKG) 1994

● Fg5-101 (BKG) 1995

● Fg5-101 (BKG) 1996

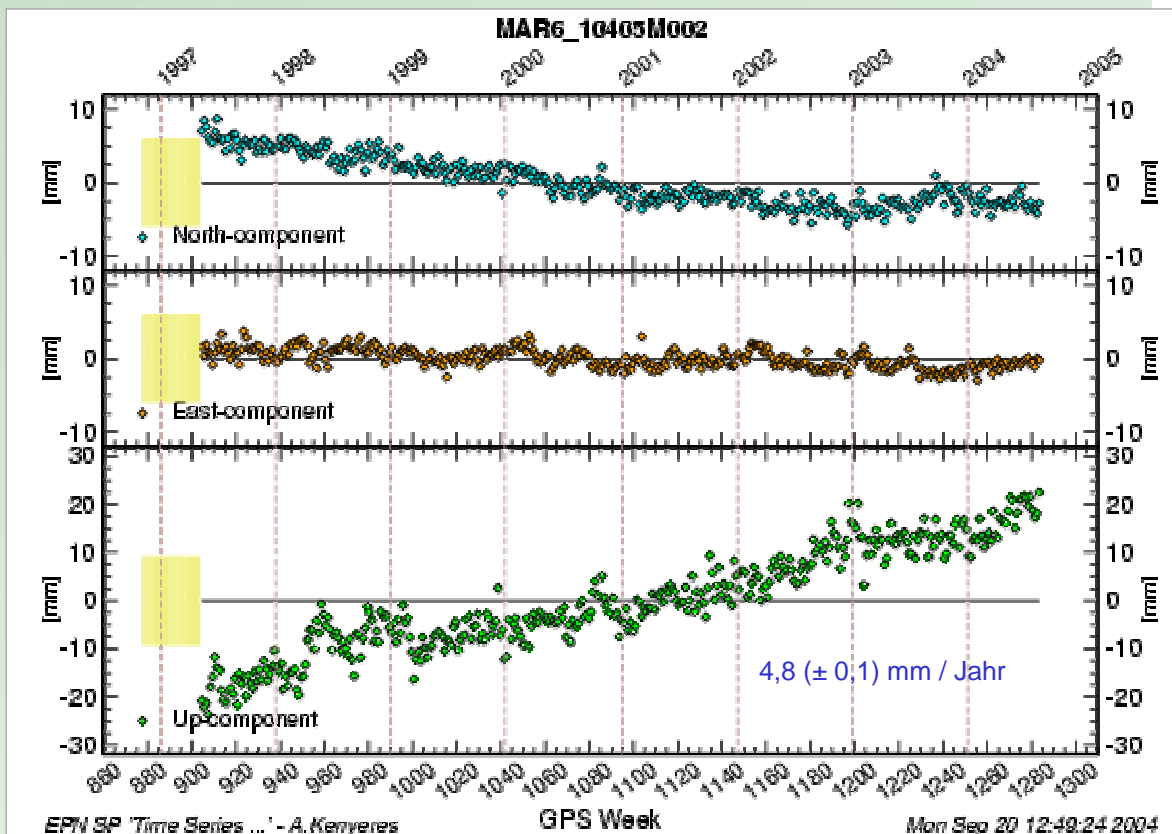
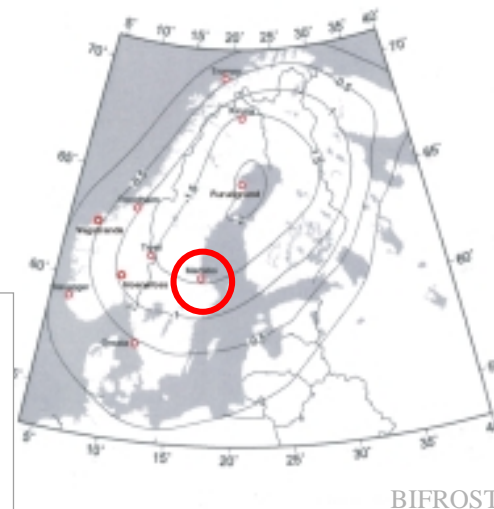
● Fg5-101 (BKG) 1998

● Fg5-101 (BKG) 2000

● Fg5-301 (BKG) 2003



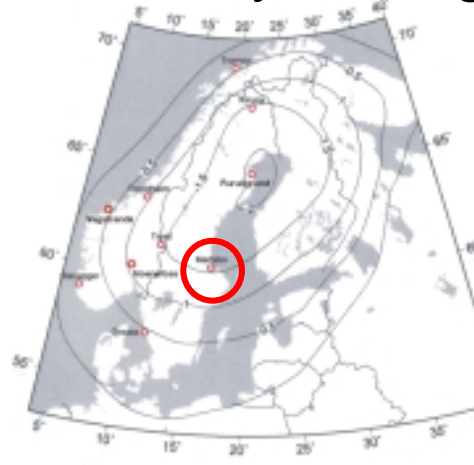
# GPS-Beobachtungsreihe Martsbo (Schweden)



GPS-Beobachtungsreihe  
EPN (EUREF Permanent  
Network)



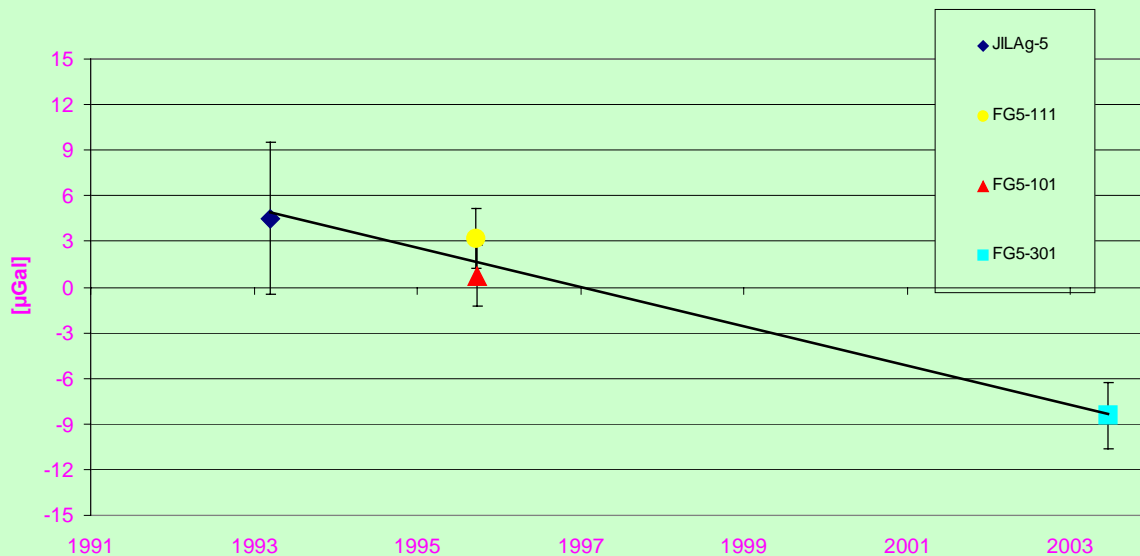
# Observed Gravity Changes



Mårtsbo  
(Sweden)

-1,29  $\mu\text{Gal}$  / year  
 $\pm 0,3 \mu\text{Gal}$  / year

Mårtsbo (S),  
observed gravity changes  
 $g_{\text{mean}}@125 \text{ cm} = 981\,923\,082,4 \mu\text{Gal}$  (gradient $_{\text{mean}} = 287,5 \mu\text{Gal/m}$ )





# Umweltbedingte Variationen der Höhenkomponente

## Wirkungen auf

### den GPS-Sensor

- Auflasten
  - Atmosphäre (Luftdruck, Feuchte)
  - Meer
- Thermische Ausdehnungen
- Bodenkonsolidierung durch Feuchtigkeitsentzug
- etc.

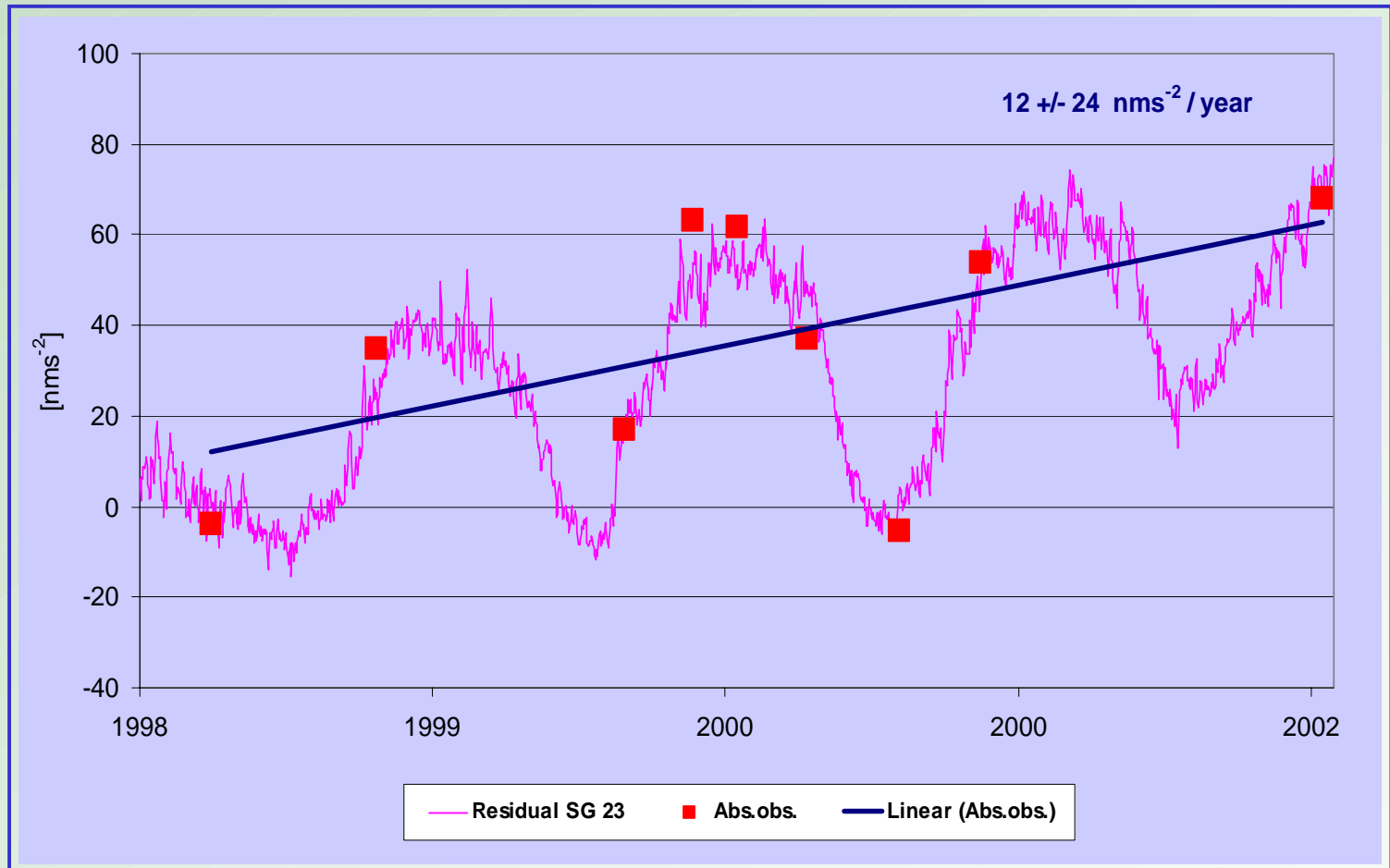
### das Gravimeter

- Auflasten
  - Atmosphäre (Luftdruck, Feuchte)
  - Meer
- Massenanziehungen
  - Grundwasser
  - Atmosphäre (Luftdruck, Feuchte, vertikale Verteilung)
  - Meer
- Thermische Ausdehnungen
- Bodenkonsolidierung durch Feuchtigkeitsentzug
- etc.

**Durch Kombination von Beobachtungen des Supraleitenden Gravimeters und des Absolutgravimeters lassen sich die Einflüsse untersuchen und modellieren.**



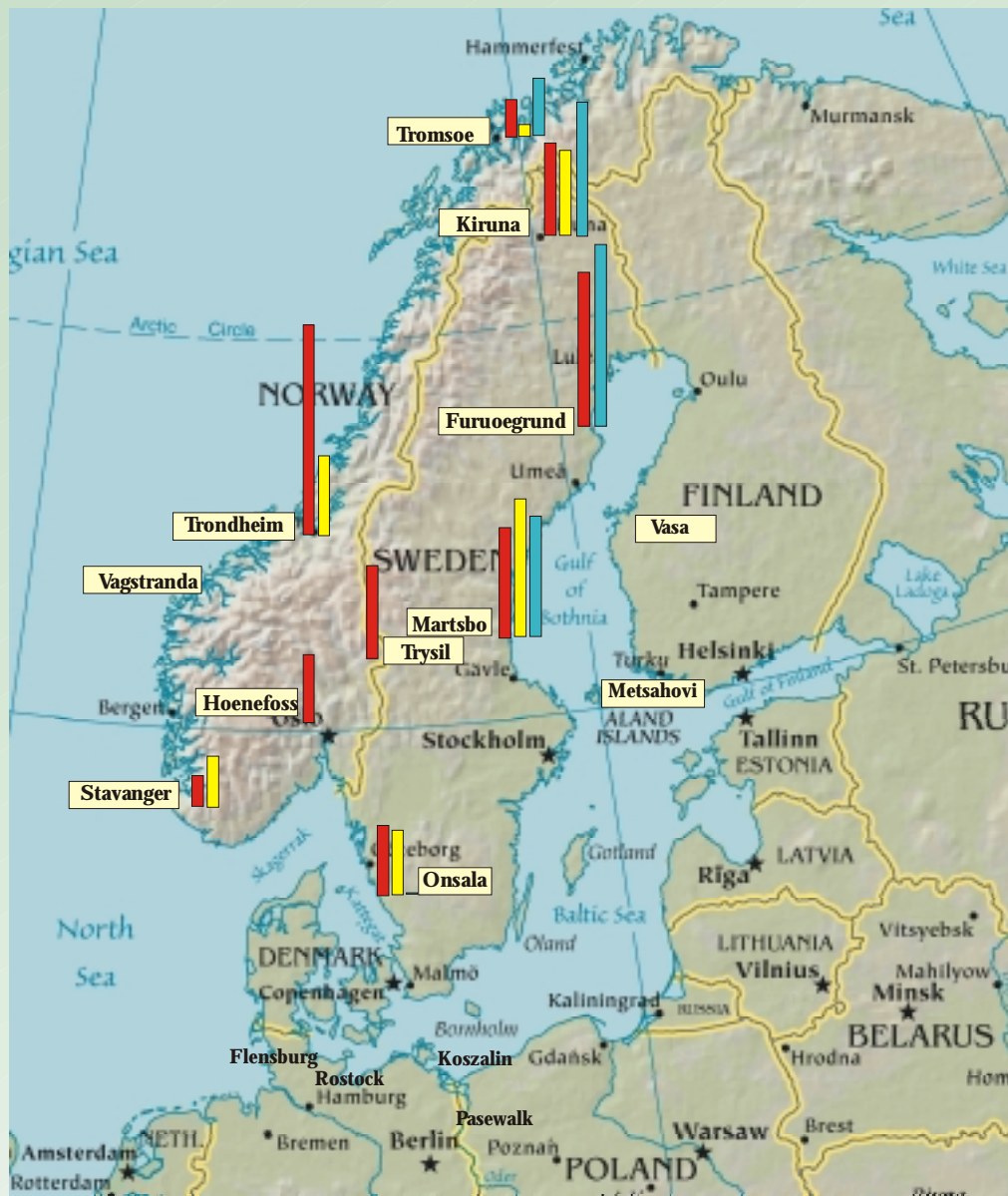
# Limiting factors for the determination of long-term gravity changes



Example of seasonal gravity variations observed with absolute and superconducting gravimeters station Medicina, Italy)



# Vergleich von Schwere- und Höhenänderungen



*Compilation of gravity changes and GPS uplift rates*

**GPS uplift rates  
10 mm / year  
(BIFROST 2001)**

**GPS uplift rates  
10 mm / year  
(Kaniuth/Vetter 2004)**

**Gravity changes  
-2  $\mu\text{Gal}$  / year**

[ 1  $\mu\text{Gal}$  = 10 nm/s<sup>2</sup> ]



# Zusammenfassung

- Die Messungen der Absolutgravimeter auf den Referenzstationen und den Stationen des DSGN realisieren das Schwerereferenzsystem für die Bundesrepublik Deutschland
- Durch die Teilnahme an den Internationalen Vergleichen für Absolutgravimeter beim BIPM wird die Einbindung in das Internationale System der Einheiten sichergestellt
- Die Beobachtungen der Supraleitenden Gravimeter dienen der Überwachung der Absolutgravimeter und ermöglichen die Untersuchung und verbesserte Modellierung von Umwelteinflüssen
- Vergleiche von Höhen- und Schwereänderungen ermöglichen die Überwachung des Referenzsystems und geophysikalische Interpretationen
- Erweiterte Möglichkeiten durch Kombination von GPS / EUVN / Meerespegel / Absolute und Supraleitende Gravimetrie finden ihre Anwendung im GREF und ECGN