

Die Satellitenmission GOCE

der Ferrari unter den Satelliten

Wolf-Dieter Schuh, Jan Martin Brockmann und IGG-TG Team

Institut für Geodäsie und Geoinformation

Professur für Theoretische Geodäsie

Universität Bonn

Geodätisches Kolloquium Bonn

Bonn, 12. Dezember 2019

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur



Gavity field and steady-state

Ocean

Circulation

Explorer

Nachlese:

Von einer Idee bis zu den Resultaten

Motivation/Ziele

Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

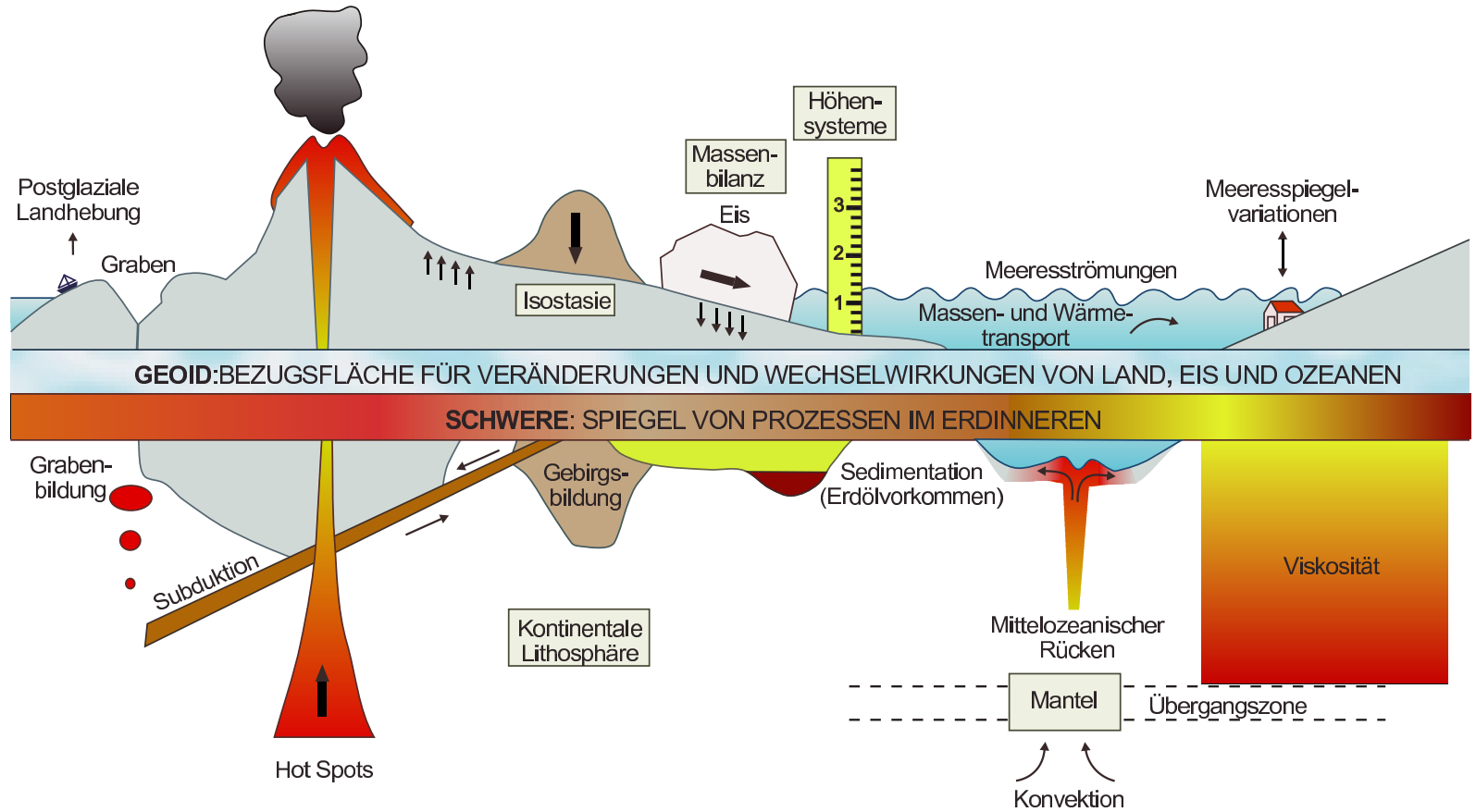
nomielle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE - Nachbereitung

Literatur



Quelle: GOCE-Projektbüro Deutschland

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: 1 mGal ($10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$)

Genauigkeit der Geoidhöhen: 1 – 2 cm

Räumliche Auflösung: 100 km

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: 1 mGal ($10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$)

Genauigkeit der Geoidhöhen: 1 – 2 cm

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: 1 mGal ($10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$)

Genauigkeit der Geoidhöhen: 1 – 2 cm

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

● **Geodäsie:**

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

- **Geodäsie:**
 - Vereinheitlichung der Höhensysteme
 - Elimination von Störkräften in Inertialsystemen
 - Prädiktion von Satellitenbahnen
 - GGOS ... Global Geodetic Observing System

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

- **Geodäsie:**
- **Geophysik:** Dichteveränderungen der Erdkruste und der oberen Mantelschicht

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

- **Geodäsie:**
- **Geophysik:** Dichteveränderungen der Erdkruste und der oberen Mantelschicht
- **Eismassenbilanz und Meeresspiegel**

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wo wird das benötigt?

- **Geodäsie:**
- **Geophysik:** Dichteveränderungen der Erdkruste und der oberen Mantelschicht
- **Eismassenbilanz und Meeresspiegel**
- **Ozeanographie:** Ozeanzirkulationen

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: 1 mGal ($10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$)

Genauigkeit der Geoidhöhen: 1 – 2 cm

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?

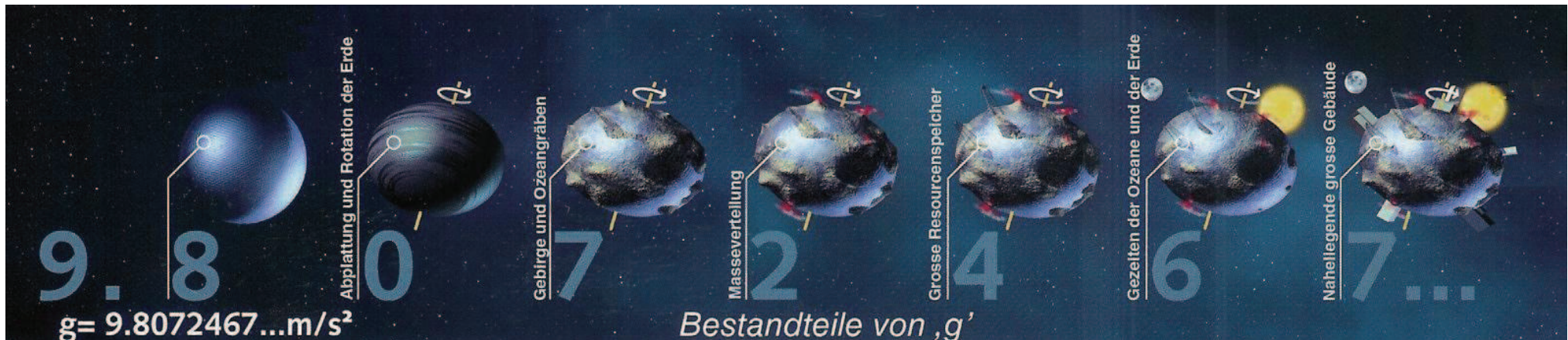
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

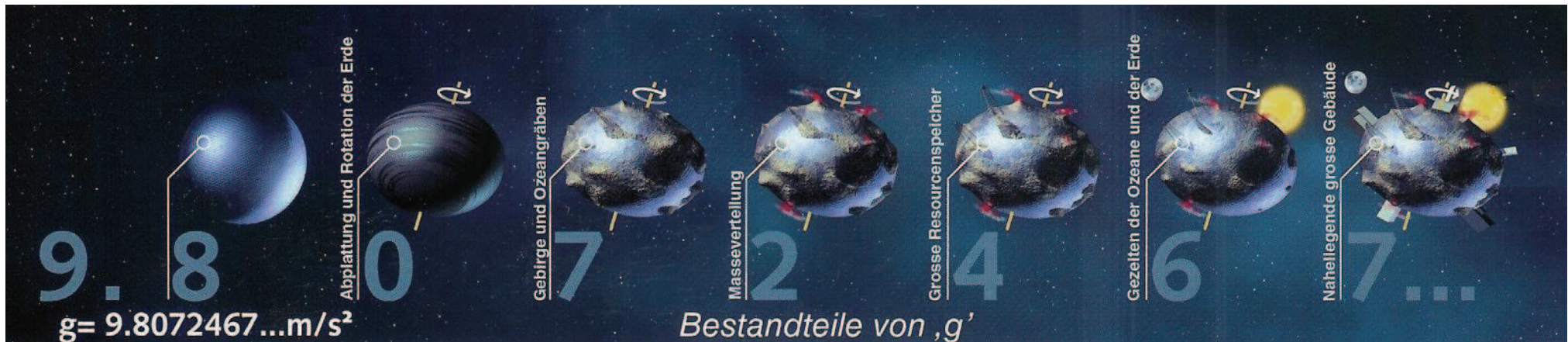
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal } (10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2})$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

↑ Erdabplattung und Rotation

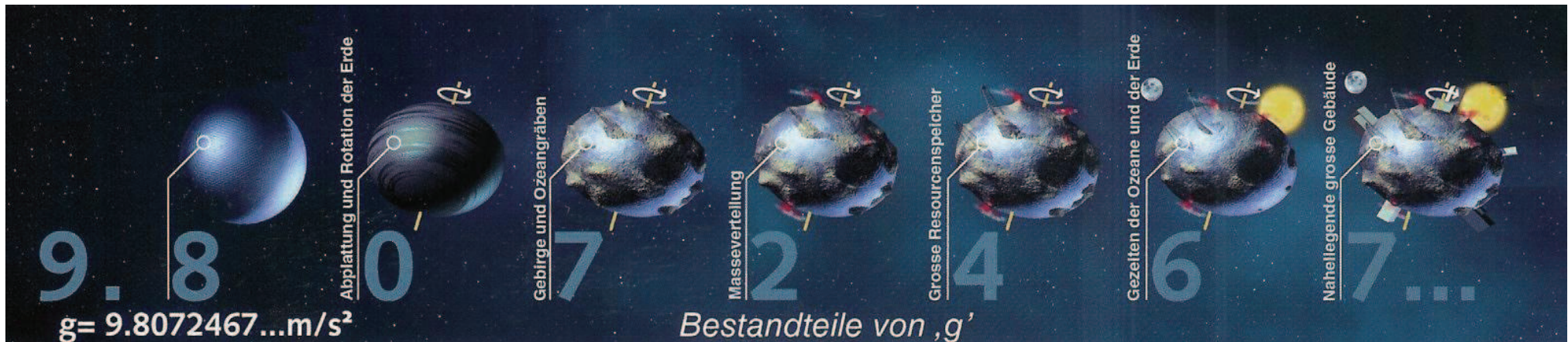
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

↑ Gebirge und Ozeangraben

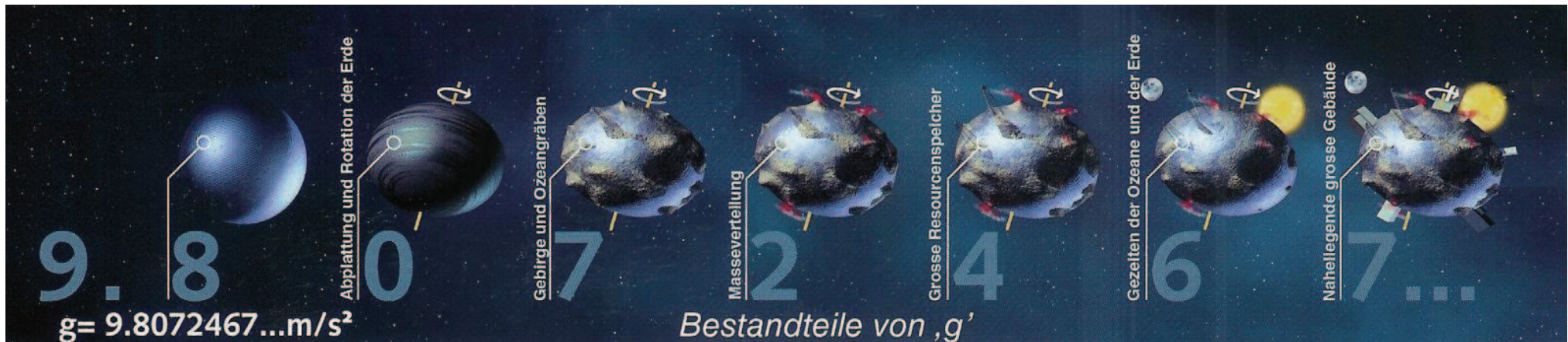
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

↑ Massenverteilung

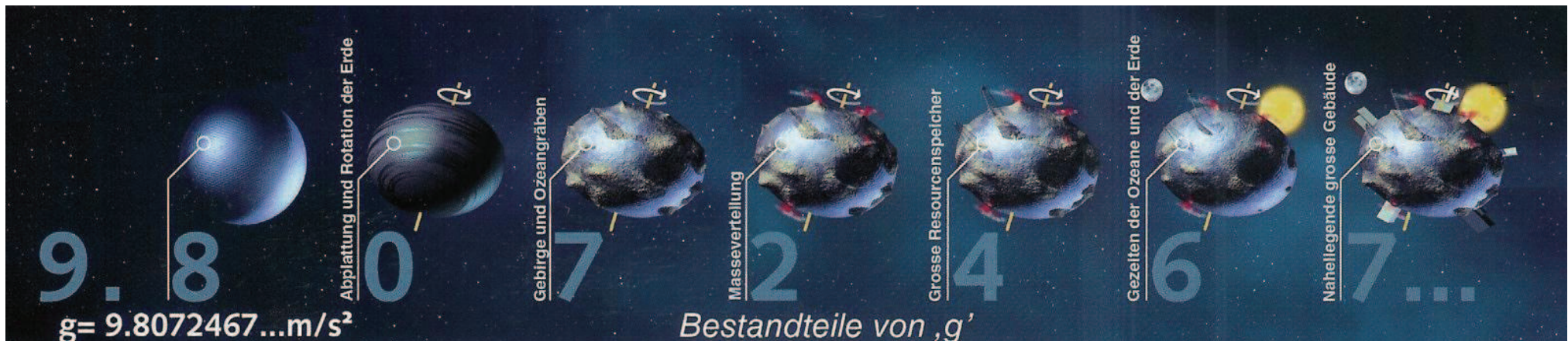
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

↑ große Ressourcenspeicher

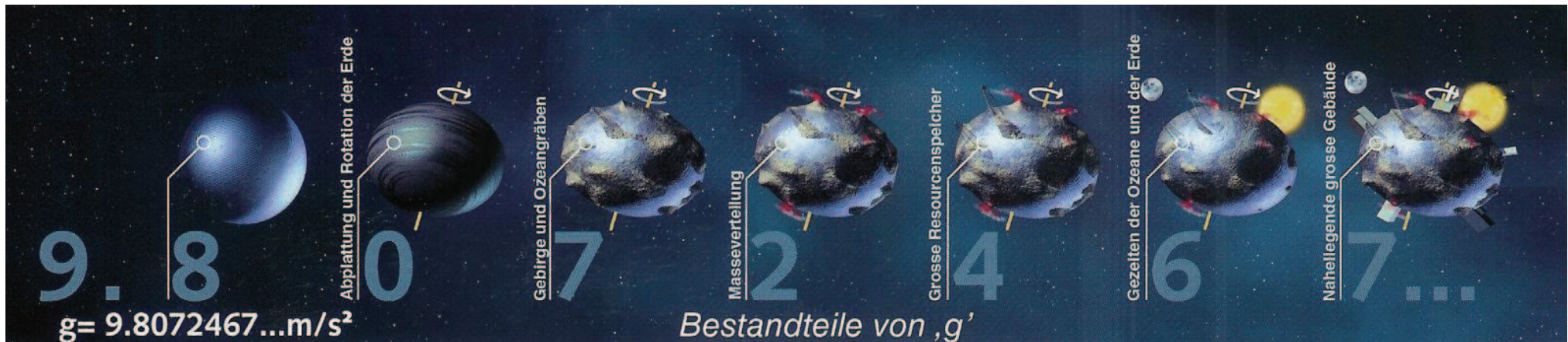
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



Quelle: ESA

Gezeiten der Ozeane und der Erde



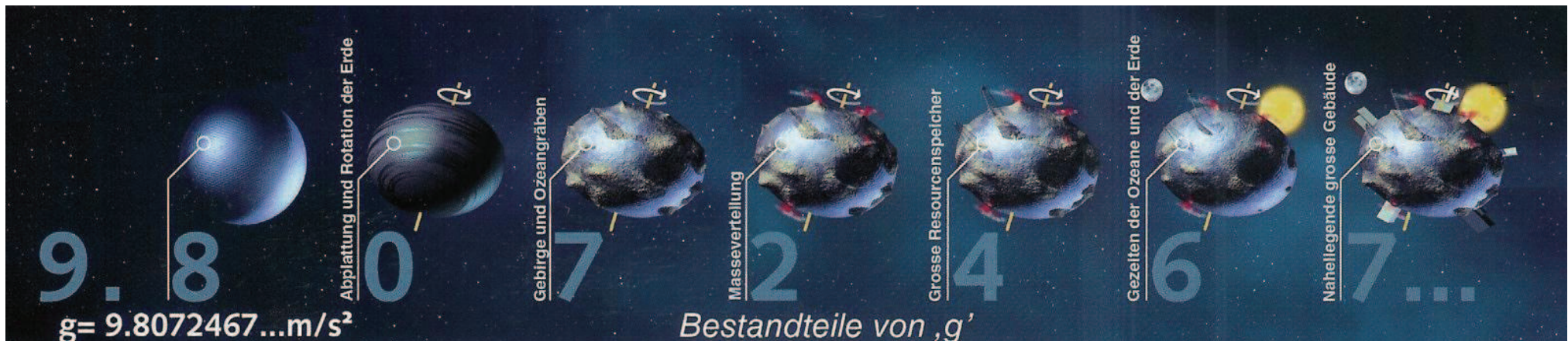
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal } (10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2})$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Was bedeutet die Genauigkeit $0.00001 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$?



große Gebäude in der Nähe des Messpunktes



Quelle: ESA

Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: 1 mGal ($10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$)

Genauigkeit der Geoidhöhen: 1 – 2 cm

Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?

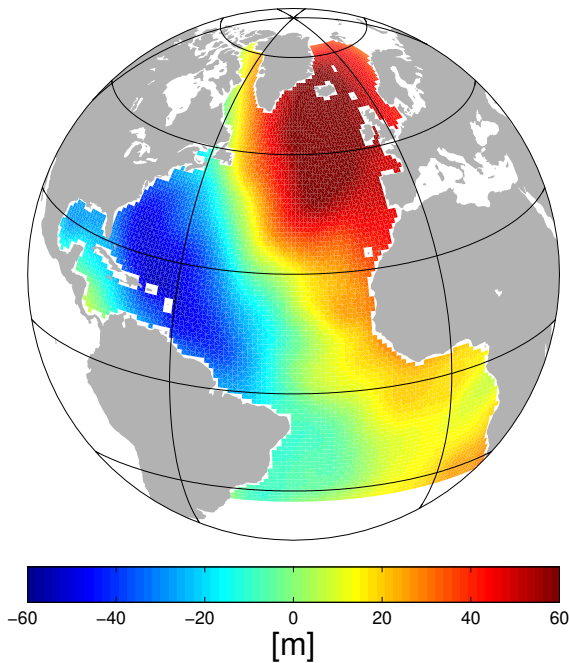
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?



Geoidhöhen

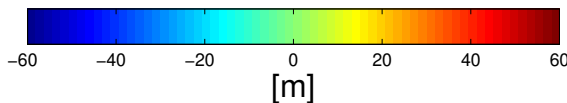
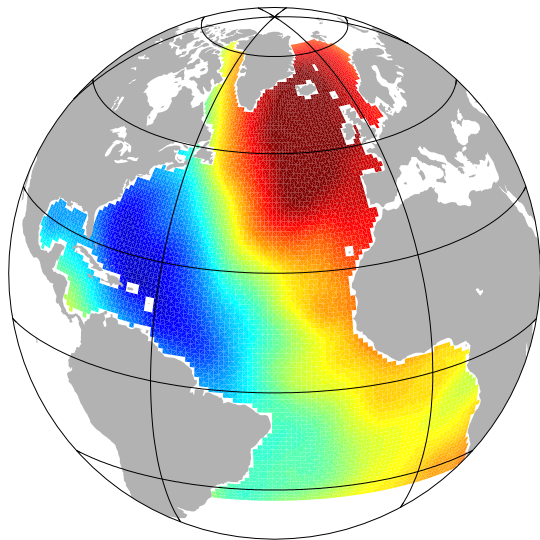
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \right)$

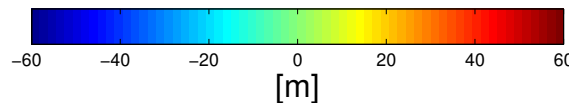
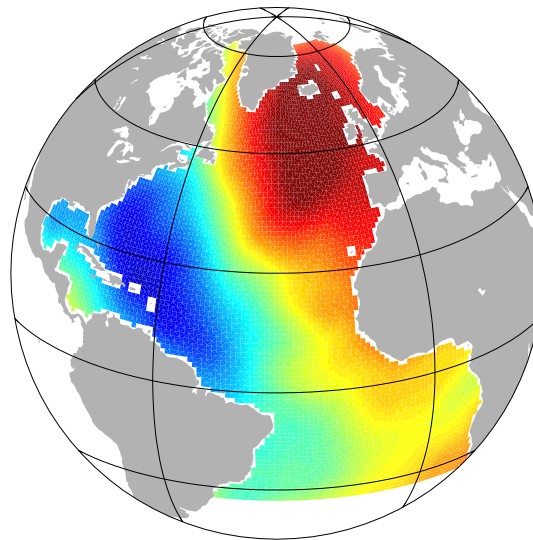
Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?



Geoidhöhen



mittlerer Meeresspiegel

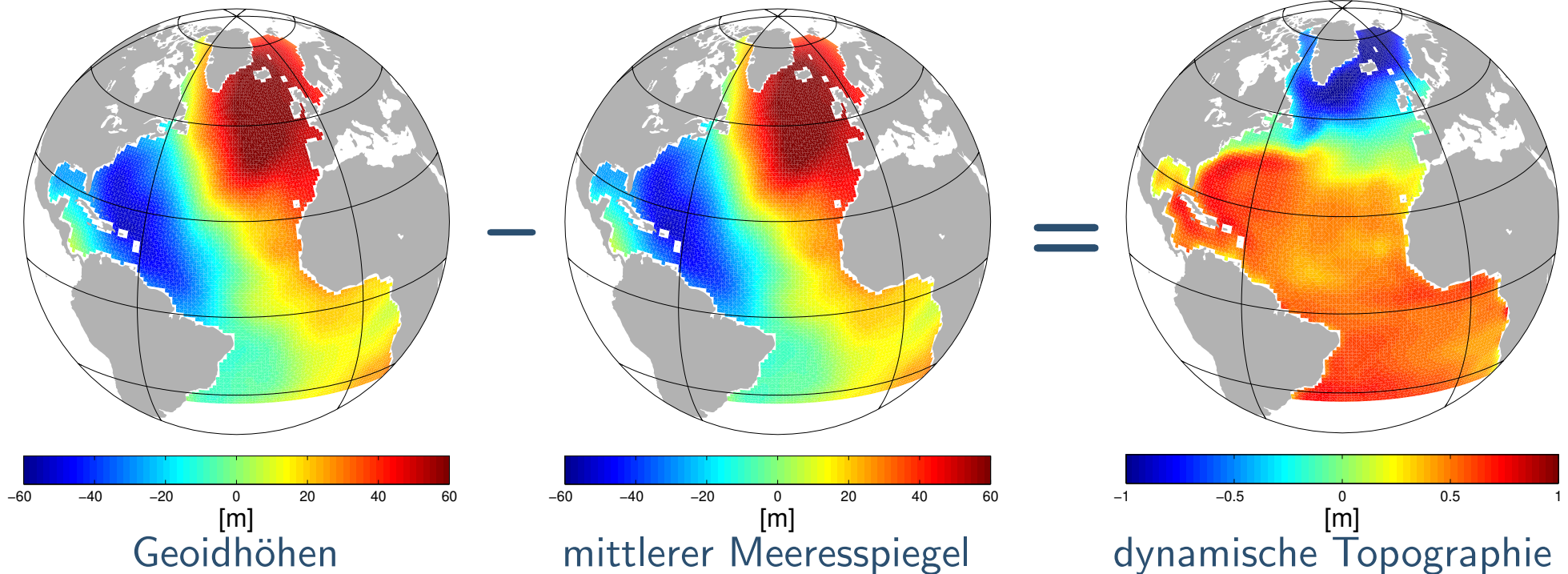
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?



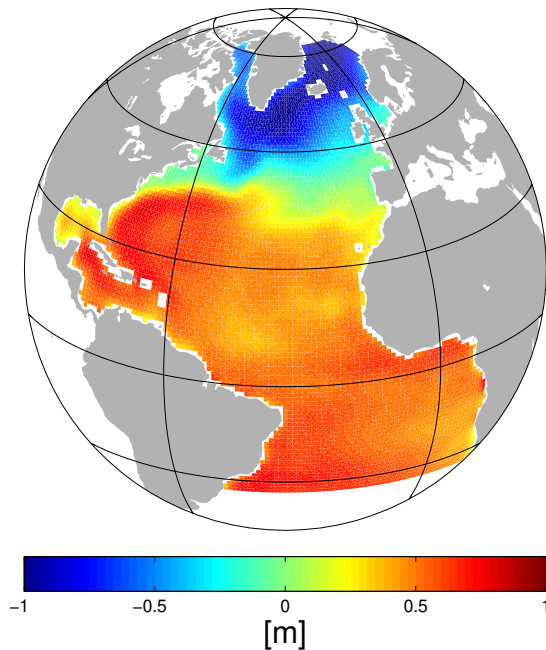
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right)$

Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$

Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?

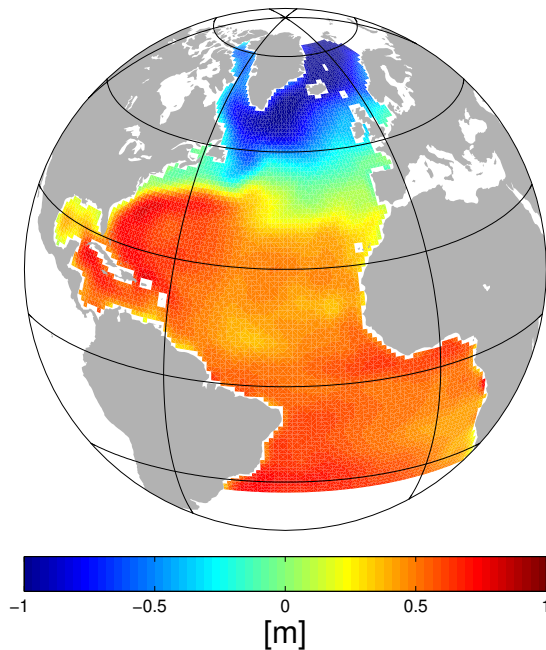


dynamische Topographie

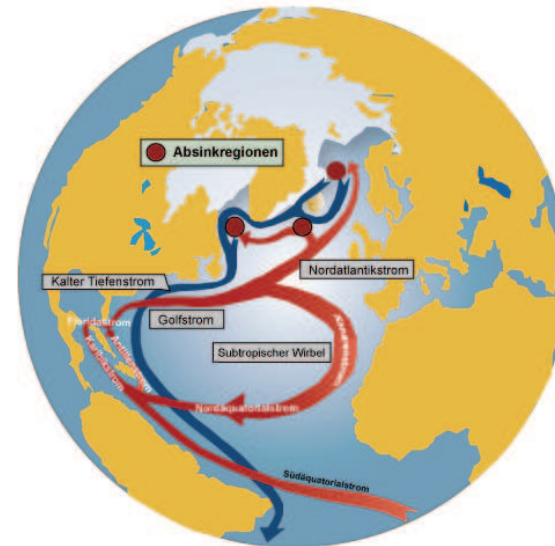
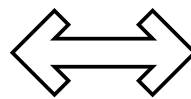
Bestimmung des globalen statischen Schwerfeldes

Genauigkeit der Schwereanomalien: $1 \text{ mGal} \left(10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \right)$
 Genauigkeit der Geoidhöhen: $1 - 2 \text{ cm}$
 Räumliche Auflösung: 100 km

Wozu 1-2 cm in räumlicher Auflösung von 100 km?



dynamische Topographie



Quelle: bildungserver.de

Ozeanzirkulation

Motivation/Ziele

Die Idee

Geoid
Meissl-Rummel
Schema
Funktionale
Gradiometrie
Messgrößen

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

GOCE - Idee

Motivation/Ziele

Die Idee

Geoid

Meissl-Rummel

Schema

Funktionale

Gradiometrie

Messgrößen

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

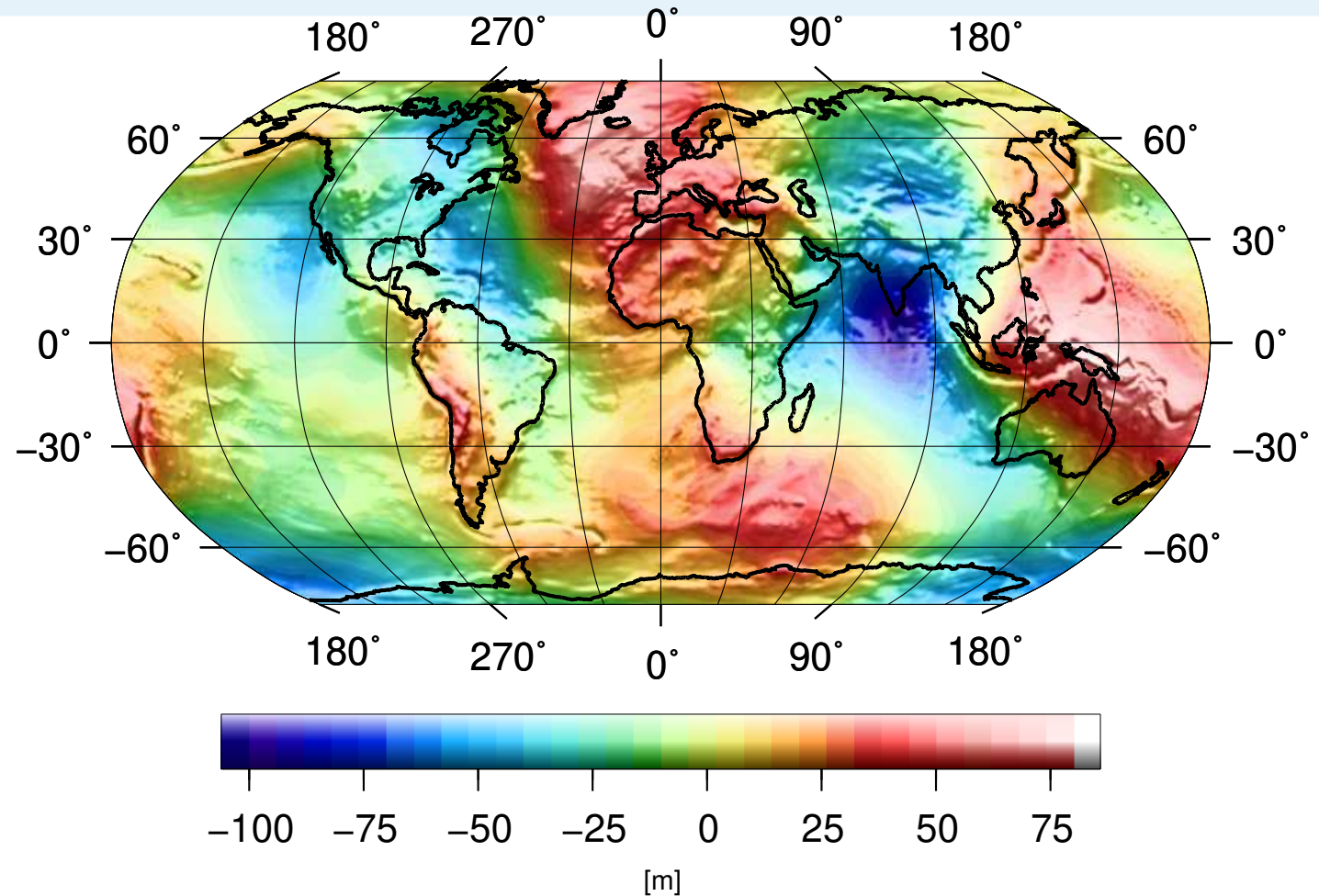
nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

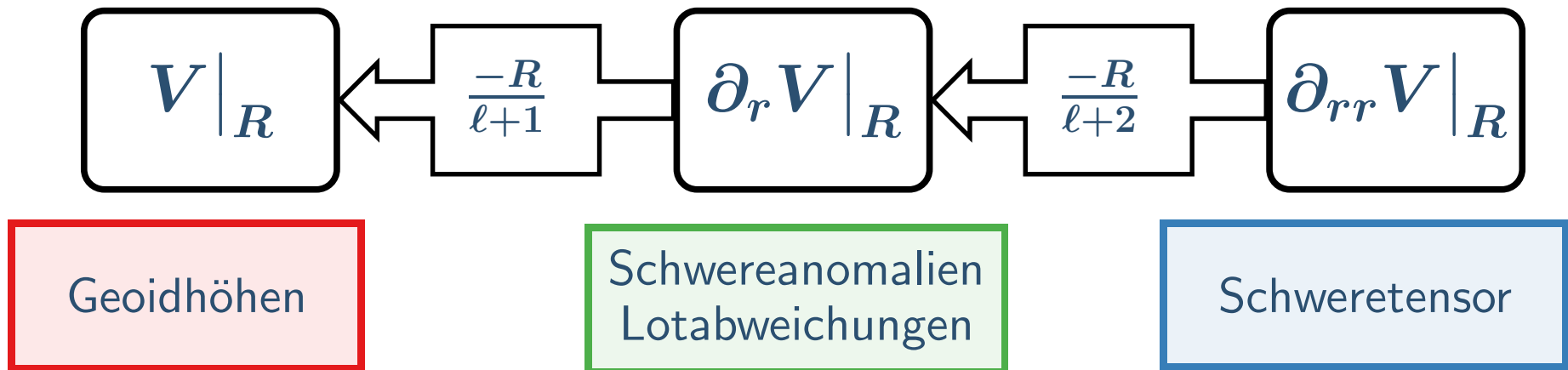
Literatur



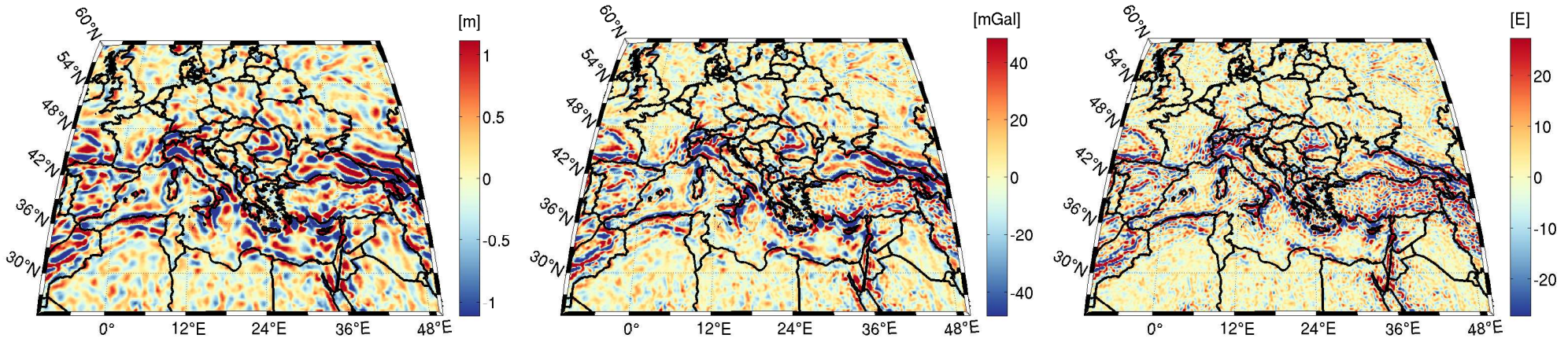
Parameterisierung:

$$V(r, \vartheta, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\ell} \left(\frac{R}{r} \right)^{\ell+1} \bar{P}_{\ell m}(\cos \vartheta) (\bar{C}_{\ell m} \cos m\lambda + \bar{S}_{\ell m} \sin m\lambda)$$

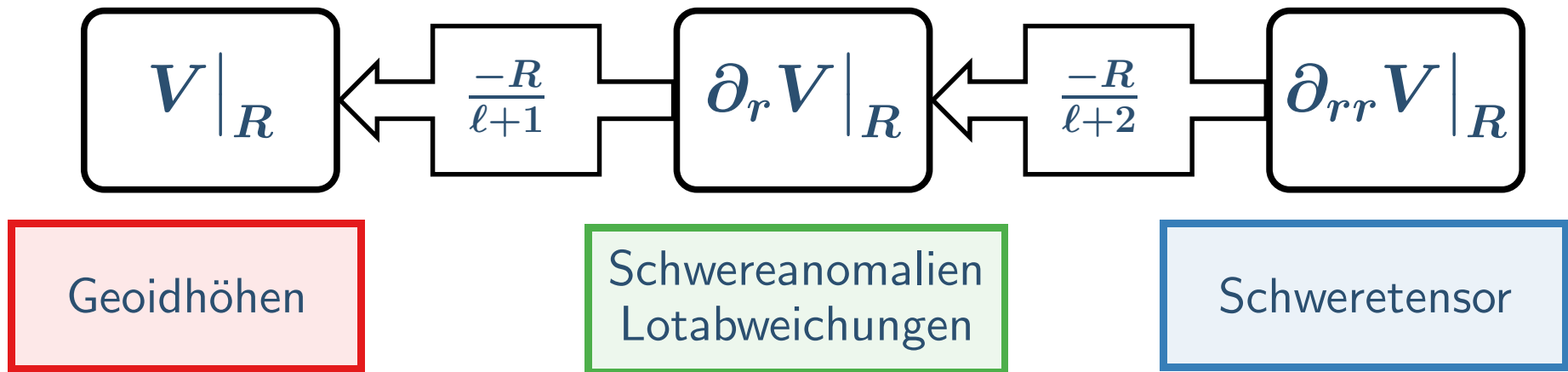
Schwerefeldfunktionale auf der Erdoberfläche



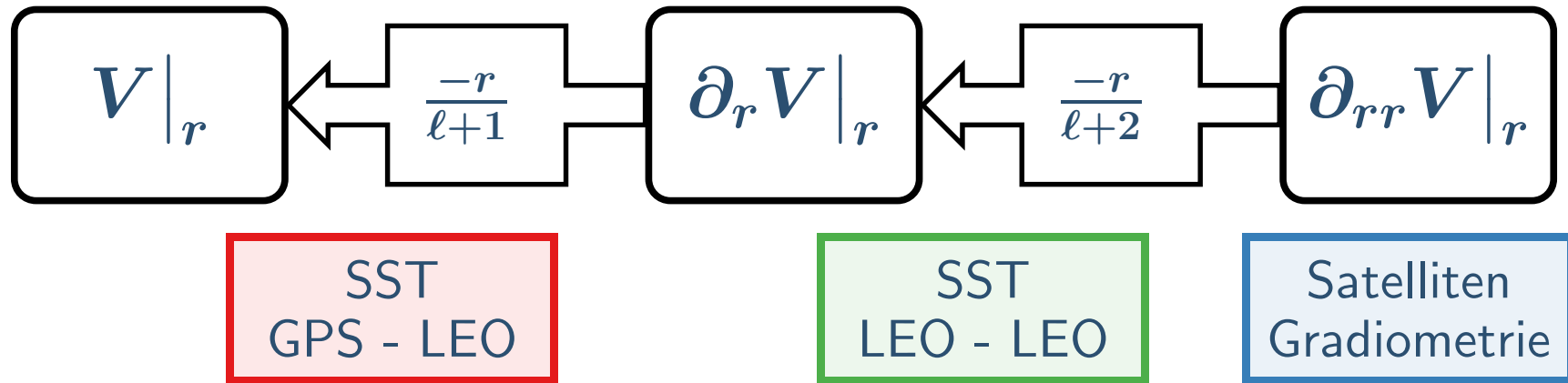
Schwerefeldfunktionale auf der Erdoberfläche



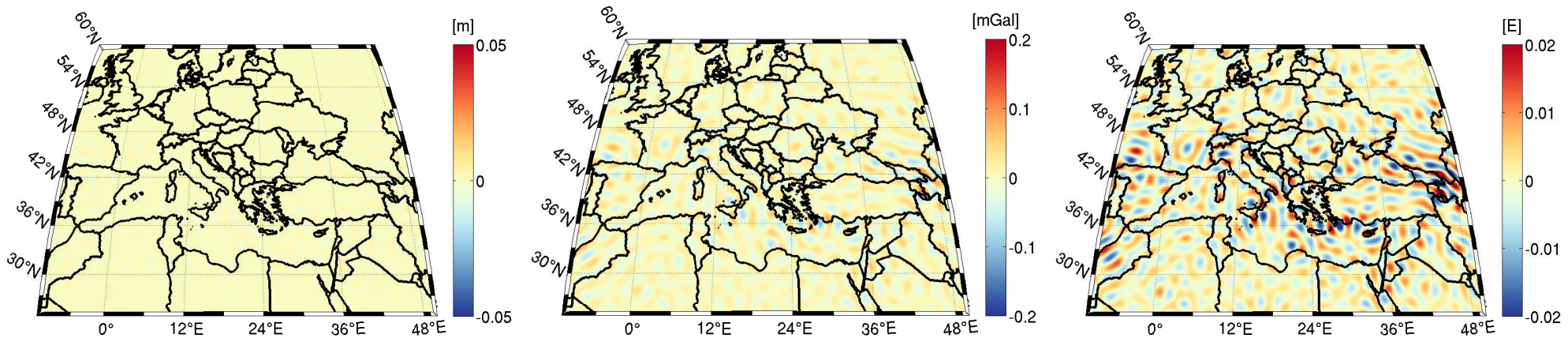
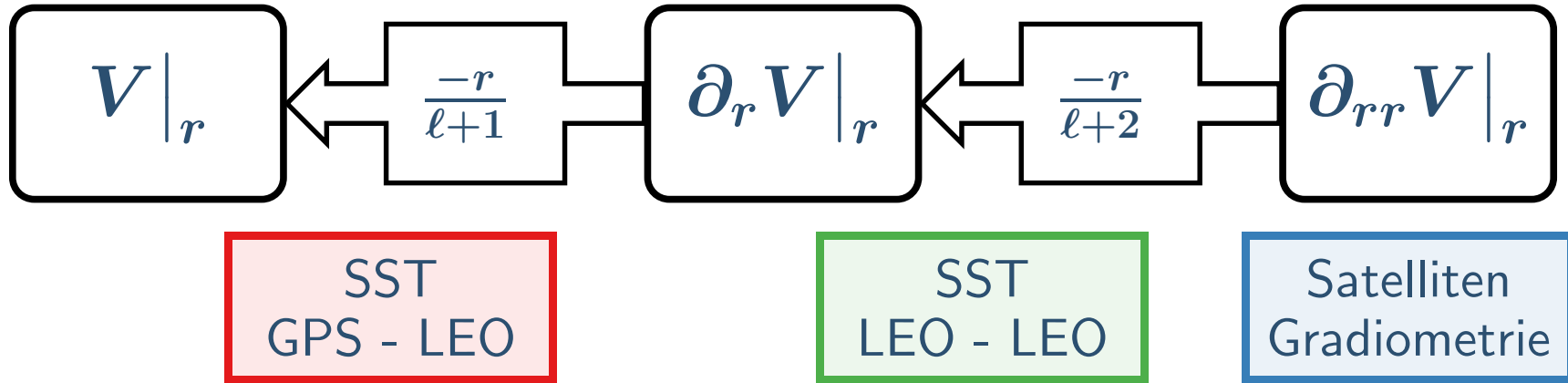
hochfrequente Signale auf der Erdoberfläche (nur Anteile: $\text{Grad} \geq 150$)



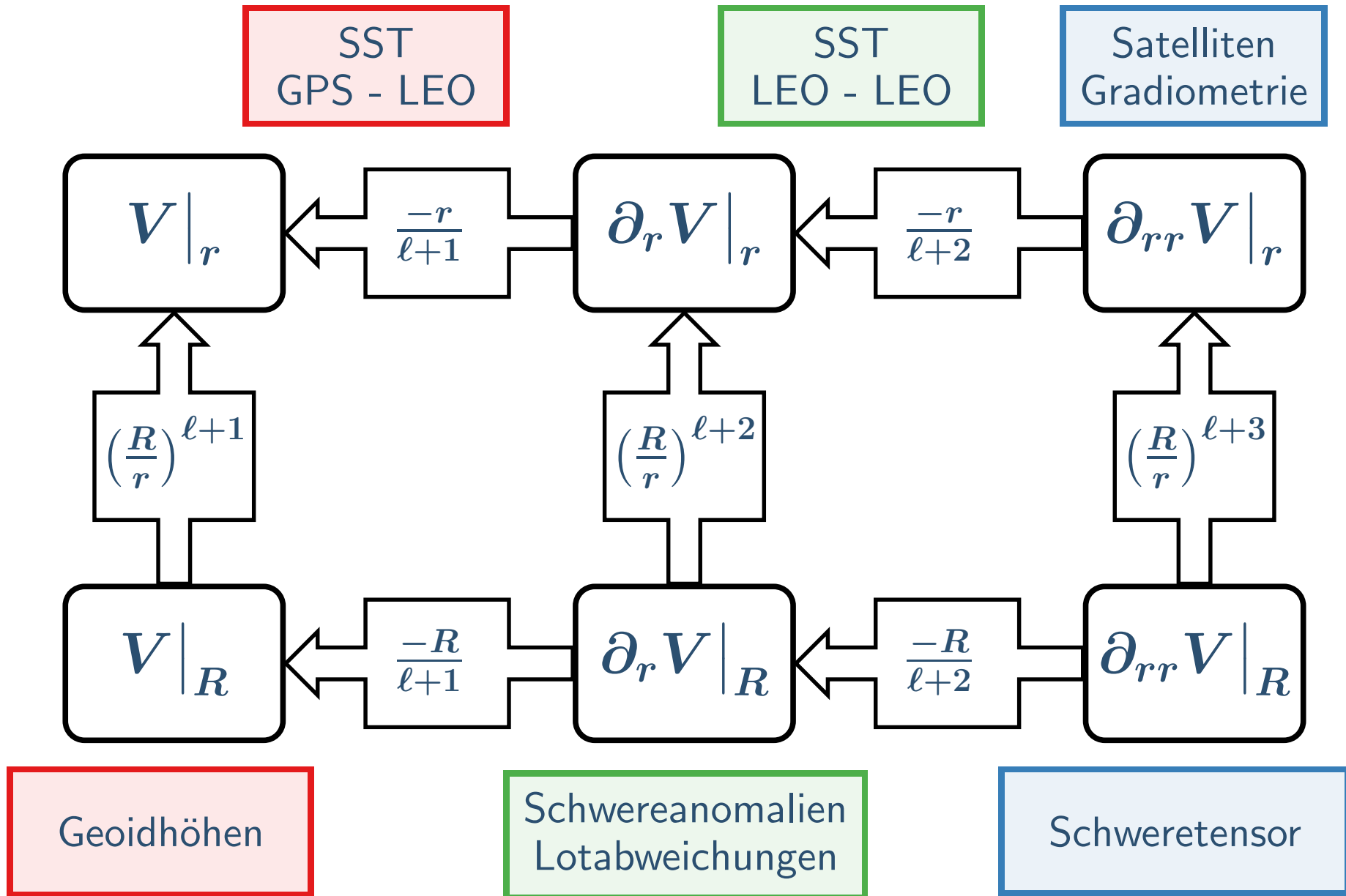
Schwerefeldfunktionale auf Satellitenniveau



Schwerefeldfunktionale auf Satellitenniveau



geglättete Signale auf Satellitenhöhe - 250 km (nur Anteile: $\text{Grad} \geq 150$)



Motivation/Ziele

Die Idee

Geoid
Meissl-Rummel
Schema

Funktionale

Gradiometrie
Messgrößen

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

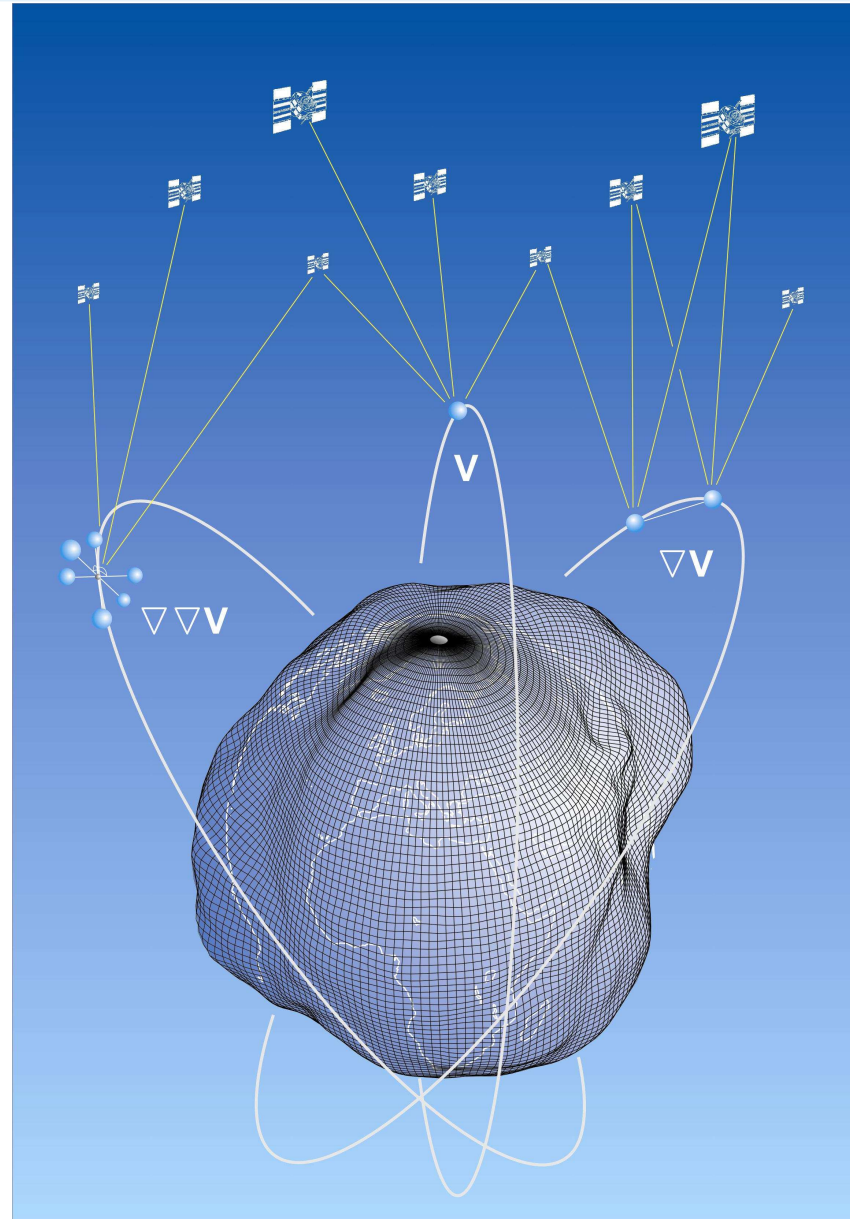
nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur



Quelle: Ilk

Messidee: 'Williamstown-Report' (Kaula, 1970)

direkte Messung des Schweretensors

$$\partial_{xx} V = \begin{bmatrix} V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ V_{xy} & V_{yy} & V_{yz} \\ V_{xz} & V_{yz} & V_{zz} \end{bmatrix}$$

Quelle: ESA

durch Messung der Beschleunigungsunterschiede zwischen Testmassenpaaren

erforderliche Genauigkeit: 1-10 [mE] ([mE] $\hat{=}$ 10^{-12} [m/sec²])

Messidee: 'Williamstown-Report' (Kaula, 1970)

direkte Messung des Schweretensors

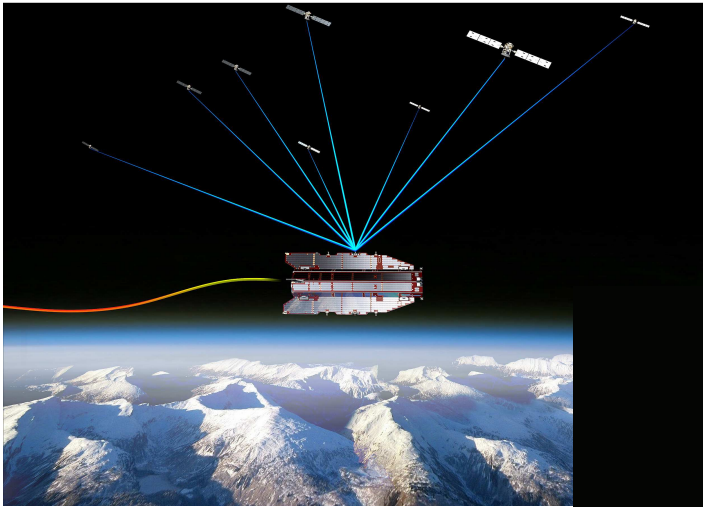
$$\partial_{xx} V = \begin{bmatrix} V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ V_{xy} & V_{yy} & V_{yz} \\ V_{xz} & V_{yz} & V_{zz} \end{bmatrix}$$

Quelle: ESA

durch Messung der Beschleunigungsunterschiede zwischen Testmassenpaaren

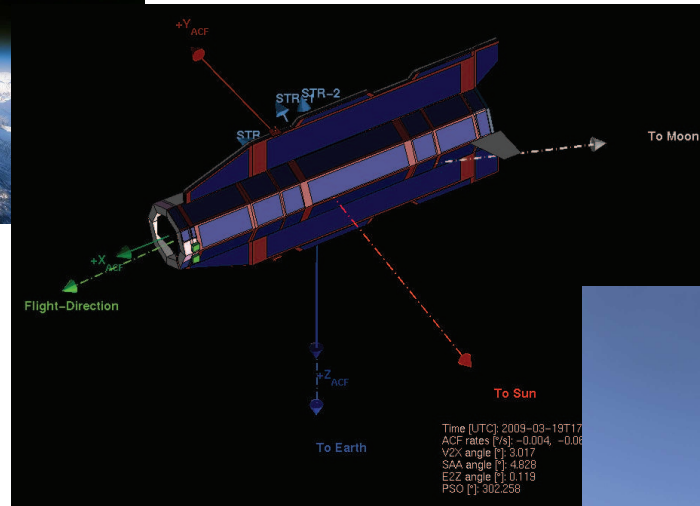
erforderliche Genauigkeit: 1-10 [mE] ([mE] $\hat{=}$ 10^{-12} [m/sec²])

Positionsbestimmung



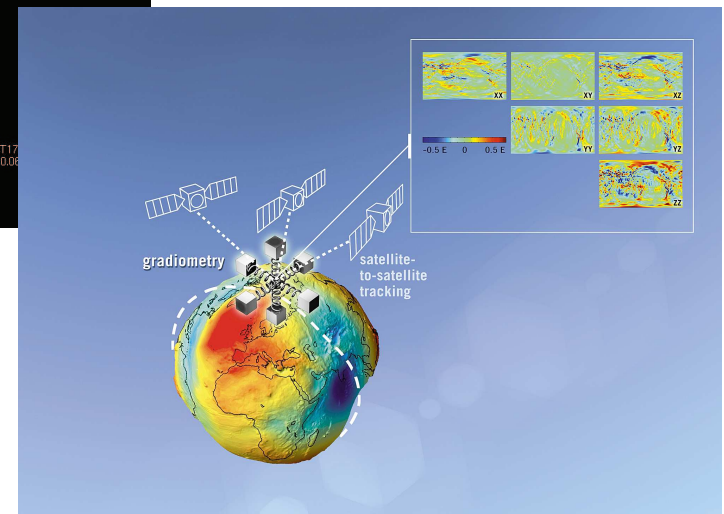
Quelle: ESA

Orientierungskontrolle



Quelle: ESA

Schweretensor



Quelle: ESA

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Historisches

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

GOCE - Vorstudien

Vorstudien: GRADIO, ARISTOTELES, STEP,

Jahr	Studien	Teilnehmer	
1989	CIGAR I	CNES, DEOS, GFZ, IAPG	
1990	CIGAR II	CNES, DEOS, IAPG, POLIMI, TUG, UCPH	
1993/95	CIGAR III	CNES, DEOS, GFZ, IAPG, POLIMI, TUG, UCPH	
1996	CIGAR IV	DEOS, IAPG, IGG, TUG, UCPH	
1996	Granada	— ESA Ausscheidung: 'Earth Explorer Missions'	4 aus 9
1999	Eötvös to mGal	DEOS, IAPG, IGG, TUG, UCPH	
1999	Granada	— ESA Ausscheidung: 'Earth Explorer Missions'	1 aus 4
2002	Eötvös to mGal+	IAPG, IGG, TUG	
2002	GOCE Level 1 to 2	AIUB, CNES, DEOS, GFZ, IAPG, IGG, POLIMI, SRON, TUG, UCPH	
2003	Announcement of Opportunity	←←	EGG-C

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

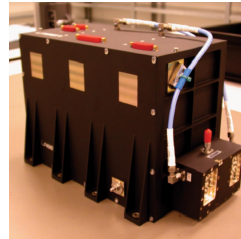
GOCE - Missionsvorbereitung

„Stell dir vor — der fliegt wirklich“

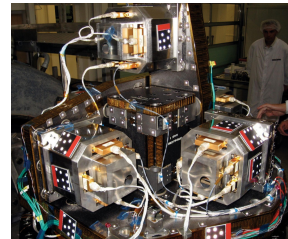
Nico Sneeuw

GOCE Ebene 1b Daten

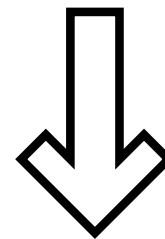
SST



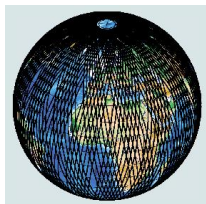
SGG



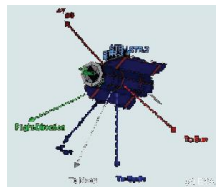
STR



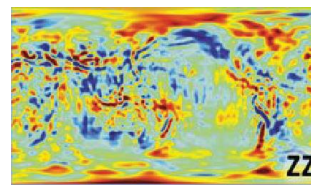
High Level Processing Facility
HPF
(EGG-C Consortium)



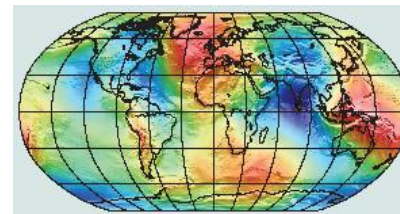
Orbits



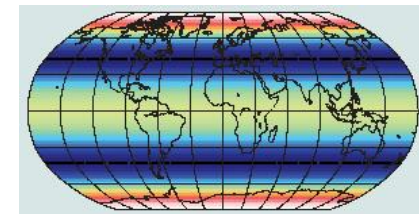
Orientierung



Schweretensor



Schwerefeld



Genauigkeiten

GOCE Ebene 2 Daten



Aufbau einer Berechnungskette:

Level 1B data

Validierung/Datenreduktion

SRON/Delft/Kopenhagen

Quick-look Werkzeug

Graz/München

Bahnbestimmung

Delft/Bern

SST Berechnung

CNES/GFZ, Graz/München

SGG Berechnung

CNES/GFZ, Graz/Bonn, Mailand

Kombinationslösung

CNES/GFZ, Graz/Bonn, Mailand

Modell Evaluierung

München

Level 2 data

ESA-HPF: High Level Processing Facility

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nomielle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

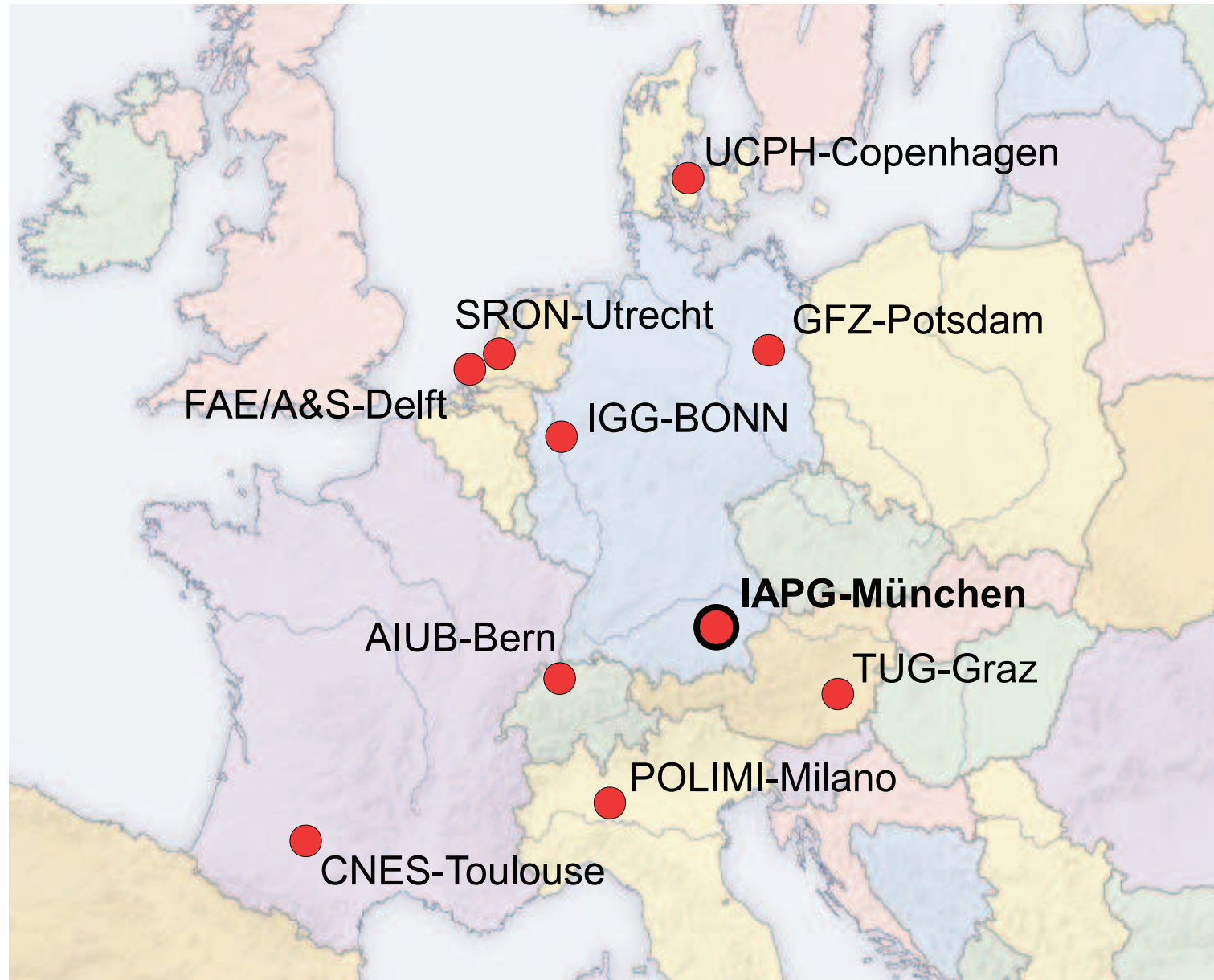
nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur



Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

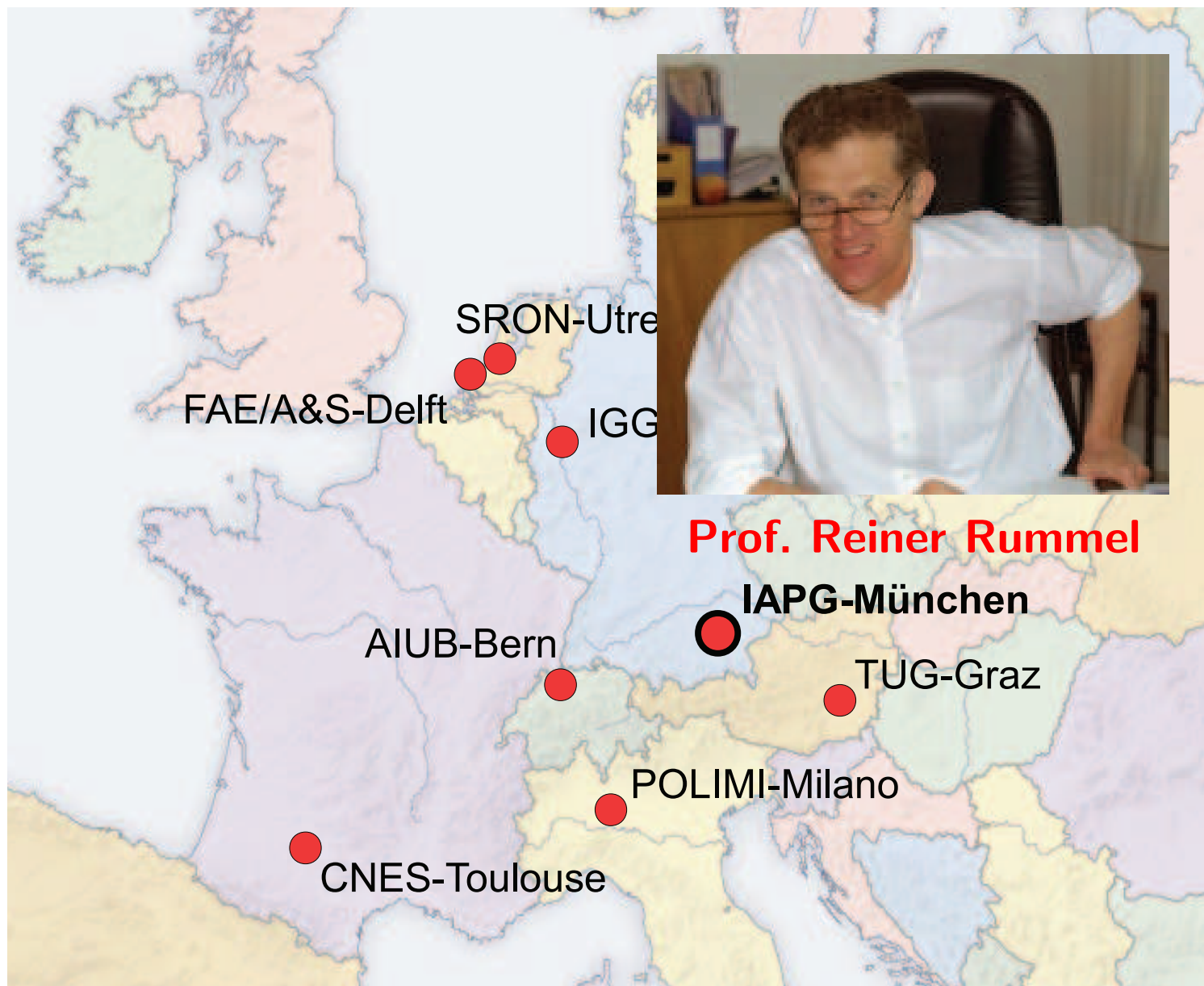
nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur



BMBF/DFG Geotechnologien-Programm



GEOTECHNOLOGIEN

Thema 2: „Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltall“

2002-2004	GOCE-GR avitationsfeld AN alyse D eutschland GOCE-GRAND IAPG, IGG, GIS, GFZ, IFE
2005-2008	GOCE-GR avitationsfeld AN alyse D eutschland II GOCE-GRAND II + BKG, IFM

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -

Nachbereitung

Literatur

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

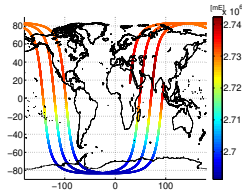
GOCE -

Nachbereitung

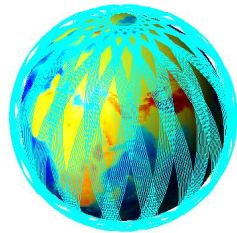
Literatur

<p>Bahncharakteristik:</p>	<p>Flughöhe: Inklination: zirkular: Datenrate: Messungen/Umlauf: Missionsdauer: Umläufe:</p>	<p>250 - 260 km 96°5 (e<0.01) 1 sec / ~ 8 km ~ 5.600 6+6 Monate ~ 5.800</p>
<p>SST Messungen</p>	<p>Grad/Ordnung: #Koeffizienten:</p>	<p>100 ~ 10.000</p>
<p>SGG Messungen:</p> $\Delta V = \begin{bmatrix} \Delta V_{xx} & \Delta V_{xy} & \Delta V_{xz} \\ \Delta V_{xy} & \Delta V_{yy} & \Delta V_{yz} \\ \Delta V_{xz} & \Delta V_{yz} & \Delta V_{zz} \end{bmatrix}$ <p>Genauigkeiten:</p>	<p>Grad/Ordnung: #Koeffizienten: #Messungen:</p> <p>< 0.005 Hz 0.005 - 0.1 Hz > 0.1 Hz</p>	<p>240 58.077 100.000.000</p> <p><i>f(1/freq)</i> <i>const. (± 3 mE)</i> <i>f(freq)</i></p>

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Datenebenen
- EGG-C
- HPF Karte
- National
- Herausforderungen(P)**
- Parameterschätzung
- Zeitreihen
- Spektrum
- Der Satellit
- Start
- nomielle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE - Nachbereitung
- Literatur

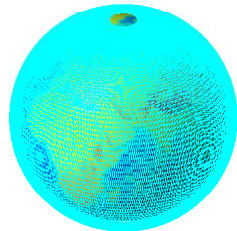
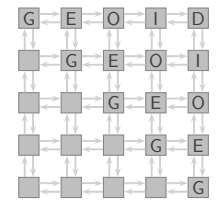
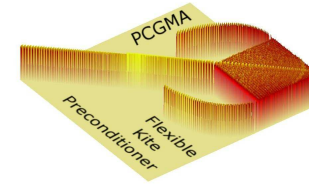


unregelmäßige Datenverteilung
(Messung im Orbit)

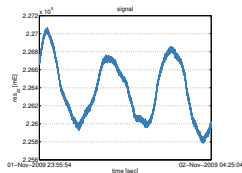


große Datenmengen und viele Parameter
(100 Mio. Messungen, 60.000 Parameter)

- effiziente iterative Löser
- massiv parallele Löser



sonnensynchroner Orbit \implies **polares Loch**
(schlecht gestelltes Problem)



hochkorrelierte Messungen
(Dekorrelation mit riesigen Kovarianzmatrizen)

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Aufgabe: schlecht gestelltes, inverses Problem
(L2-Norm Minimierung, Regularisierung)

Lösung : Gauß-Markov Modell $\ell = Ax, \Sigma_{\ell\ell}$

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -

Nachbereitung

Literatur

Aufgabe: schlecht gestelltes, inverses Problem
(L2-Norm Minimierung, Regularisierung)

Lösung : Gauß-Markov Modell $\ell = Ax, \Sigma_{\ell\ell}$

Ausdehnung Designmatrix: 100.000.000 × 60.000 Elemente

Vergleich: Fläche pro Ziffer $1\text{cm}^2 \rightarrow 600\text{km}^2$
15m breite Autobahn rund um die Erde
Stadtgebiet Bonn 144km^2

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -

Nachbereitung

Literatur

Aufgabe: schlecht gestelltes, inverses Problem
(L2-Norm Minimierung, Regularisierung)

Lösung : Gauß-Markov Modell $\ell = Ax, \Sigma_{\ell\ell}$

Ausdehnung Designmatrix: 100.000.000 \times 60.000 Elemente

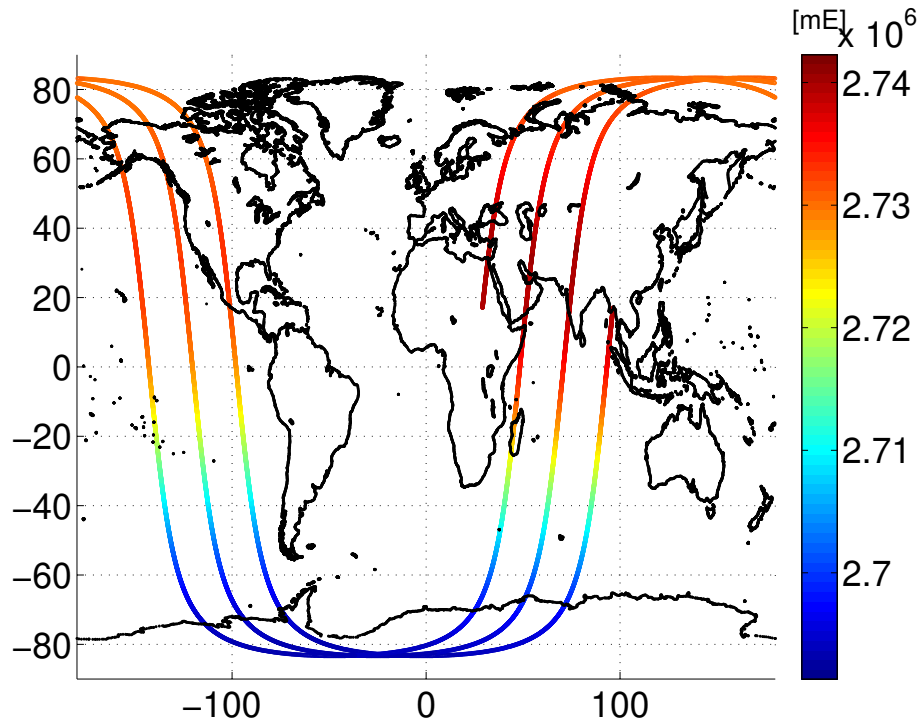
Vergleich: Fläche pro Ziffer $1cm^2 \rightarrow 600km^2$
15m breite Autobahn rund um die Erde
Stadtgebiet Bonn $144 km^2$

Aufstellen der Normalgleichungen: 1.8×10^{17} Anzahl der Operationen

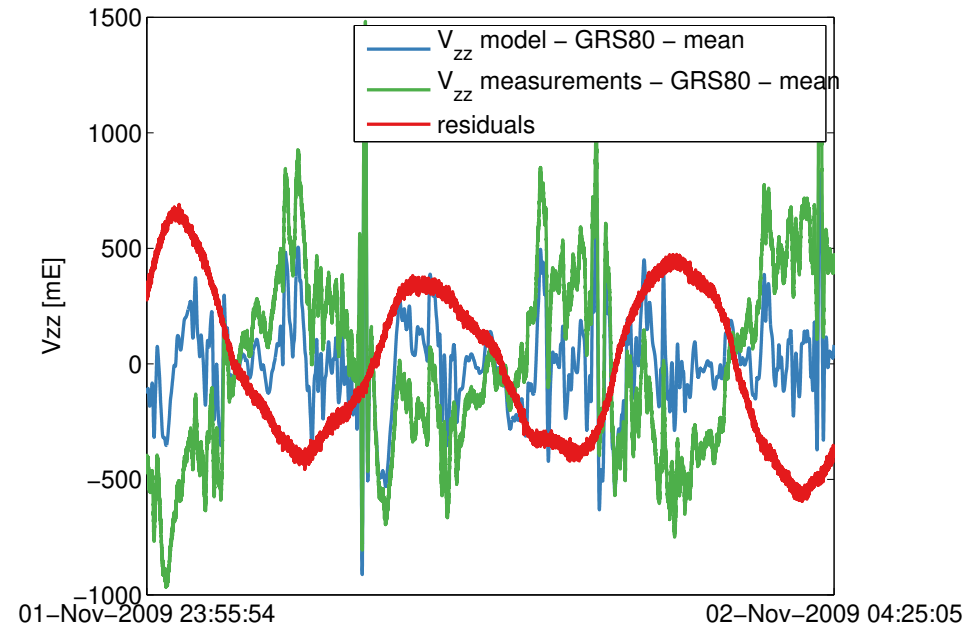
Vergleich: $1cm^2 \rightarrow 7\%$ der Erde überdeckt

720 DIN A4 Stapel rund um die Erde

Rechenzeiten: ~ 2000 Tage (bei 1 Gflops)



Bodenspur



V_{zz} -Messungen

Residuen = EGM08 - Messungen

extrem starke Korrelationen in der Gradiometerzeitreihe

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nomielle Mission

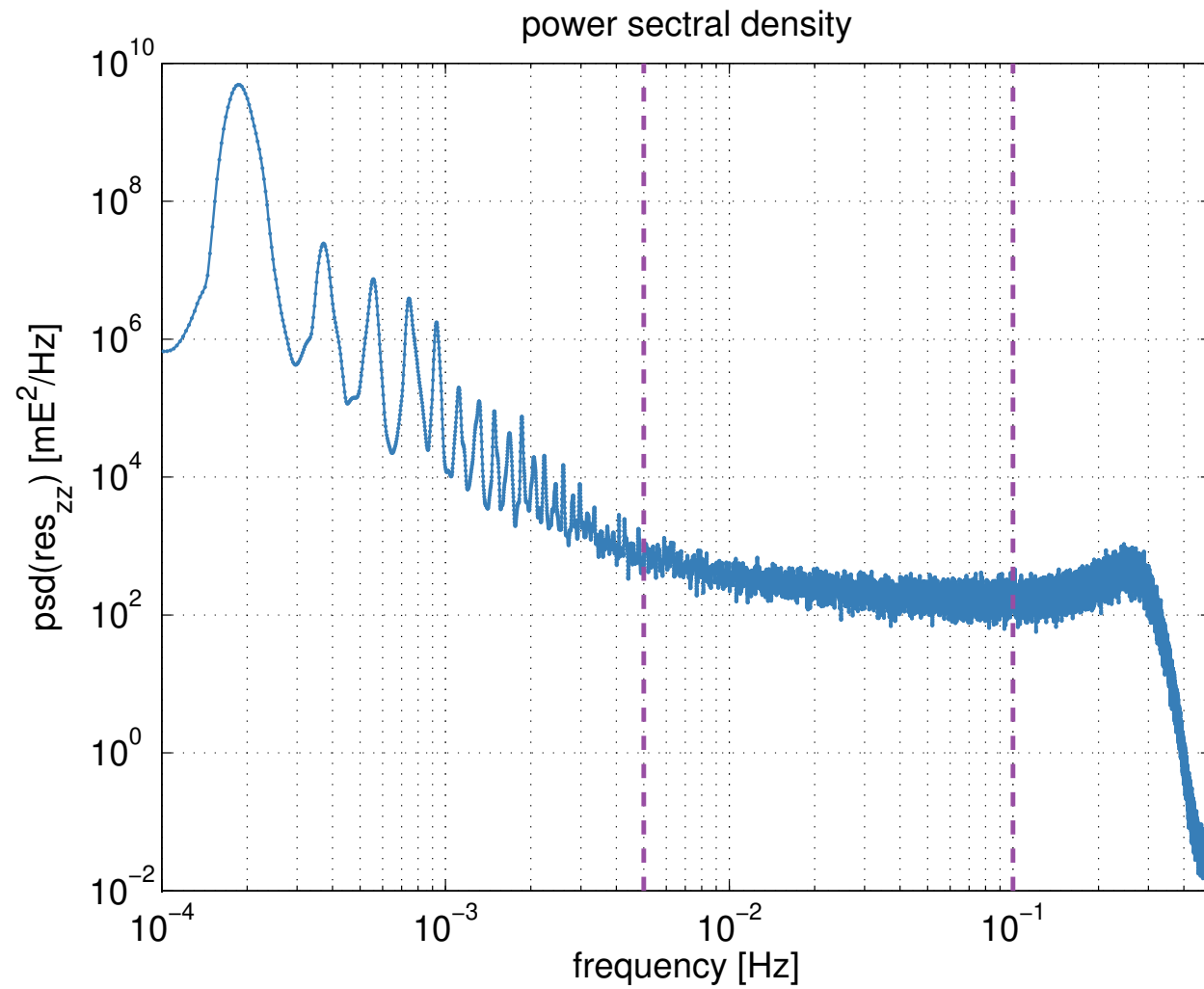
erweiterte Mission


niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

farbiges Rauschen



[Motivation/Ziele](#)[Die Idee](#)[Vorstudien](#)[Missionsvorbereitung](#)[Datenebenen](#)[EGG-C](#)[HPF Karte](#)[National](#)[Herausforderungen\(P\)](#)[Parameterschätzung](#)[Zeitreihen](#)[Spektrum](#)[Der Satellit](#)[Start](#)[nominelle Mission](#)[erweiterte Mission](#)[niederer Orbit](#)[GOCE -
Nachbereitung](#)[Literatur](#)

Was ist farbiges Rauschen und wie kann es uns beim Einschlafen helfen? - Mozilla Firefox (a ...)

Was ist farbiges Rauschen u x +

https://www.mobilegeeks.de/artikel/was-ist-farbiges-rauschen-und-wie-kann-es-uns-beim-einschlafen-helfen? - mobilegeeks.de

1 Kommentar


Health


Was ist farbiges Rauschen und wie kann es uns beim Einschlafen helfen?

Immer mehr Menschen in Deutschland haben nachts Probleme beim Einschlafen. Rauschen kann uns in verschiedenen Farben bei diesem Prozess unterstützen.

von **Felix Baumann** am 16. Juli 2019

✉ Email



 Bild: Kate Stone Matheson

Filterdesign zur Approximation der Korrelation

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

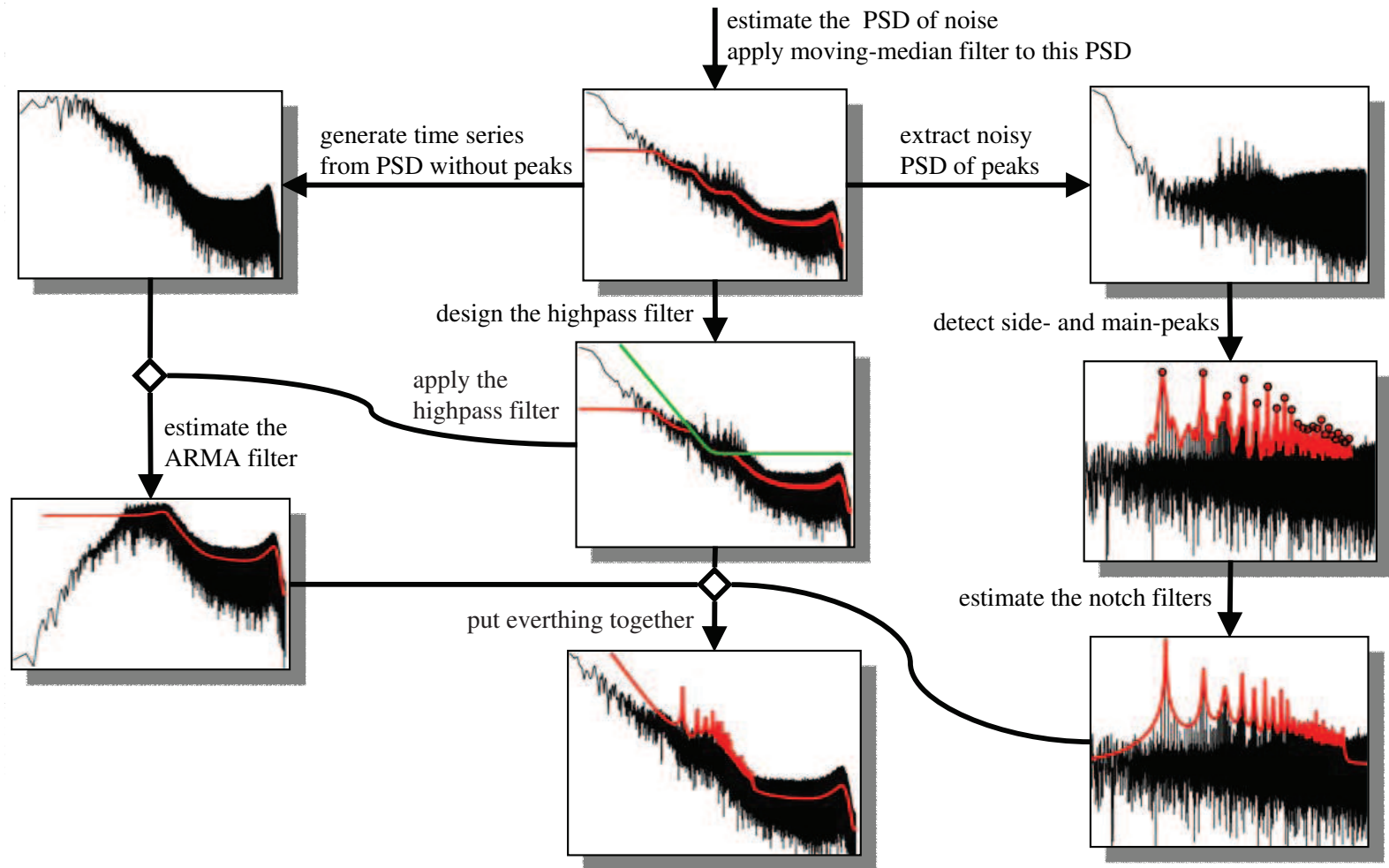
nomielle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur



Schuh et al. (2006)

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Datenebenen

EGG-C

HPF Karte

National

Herausforderungen(P)

Parameterschätzung

Zeitreihen

Spektrum

Der Satellit

Start

nominelle Mission

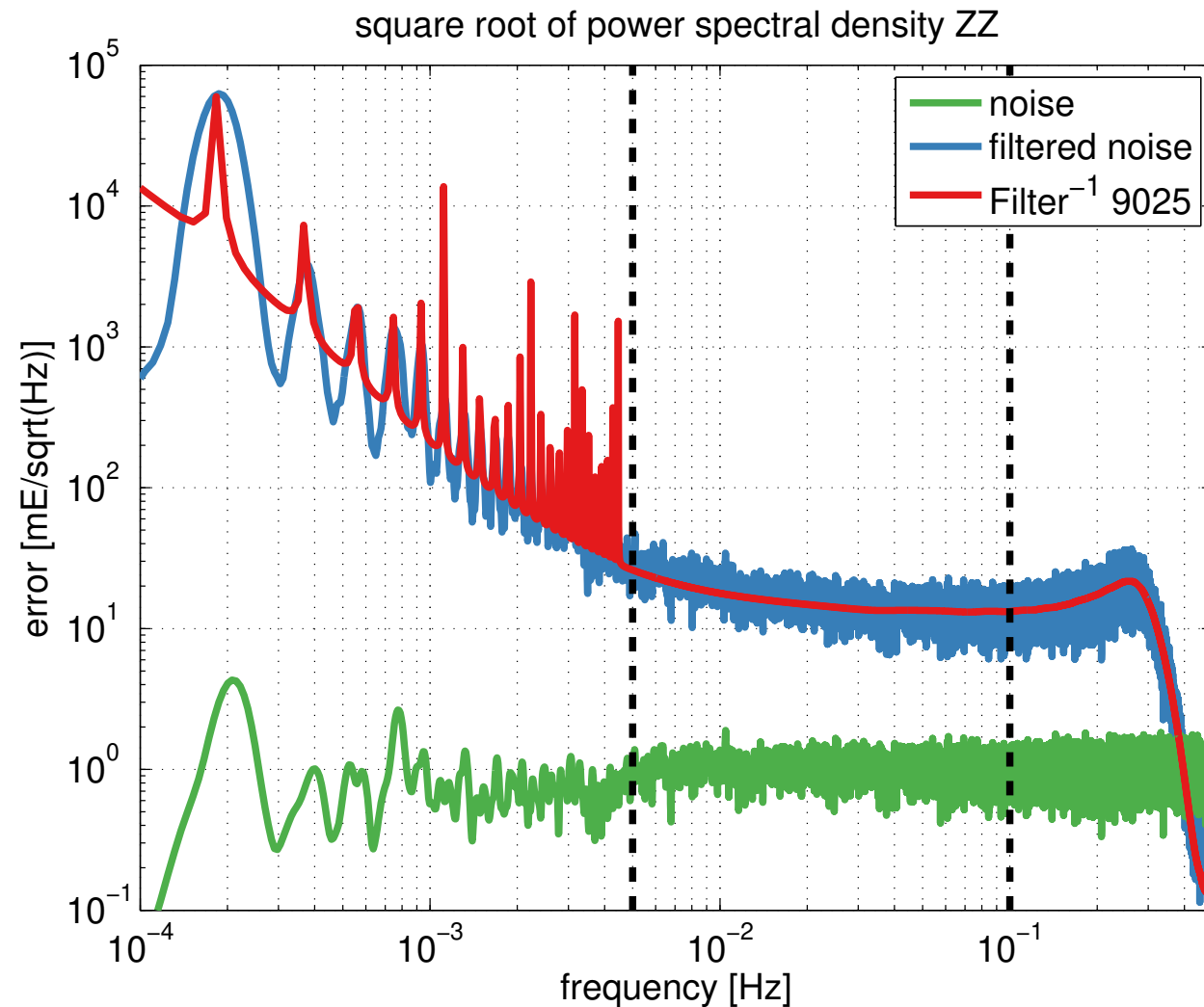
erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Filteranwendung zur Datendekorrelation



Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

GOCE - der Satellit

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

- Erstes Gravitations-Gradiometer im Weltraum
(sechs Minisatelliten im freien Fall)
- Erster Europäischer GPS-Empfänger im Weltraum
- Erstmals „drag-free and attitude-control“ System
(vollständige Kompensation des Restluftwiderstands)
- Lagekontrolle über das Magnetfeld
- Keine Störeinflüsse durch bewegliche Teil
- Extrem niedrige Umlaufbahn (250 km)
- Sonnensynchroner Orbit
- Extrem präzise und komplexe Messgeräte
- Schwierige und aufwendige Datenauswertung

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Quelle: ESA



Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

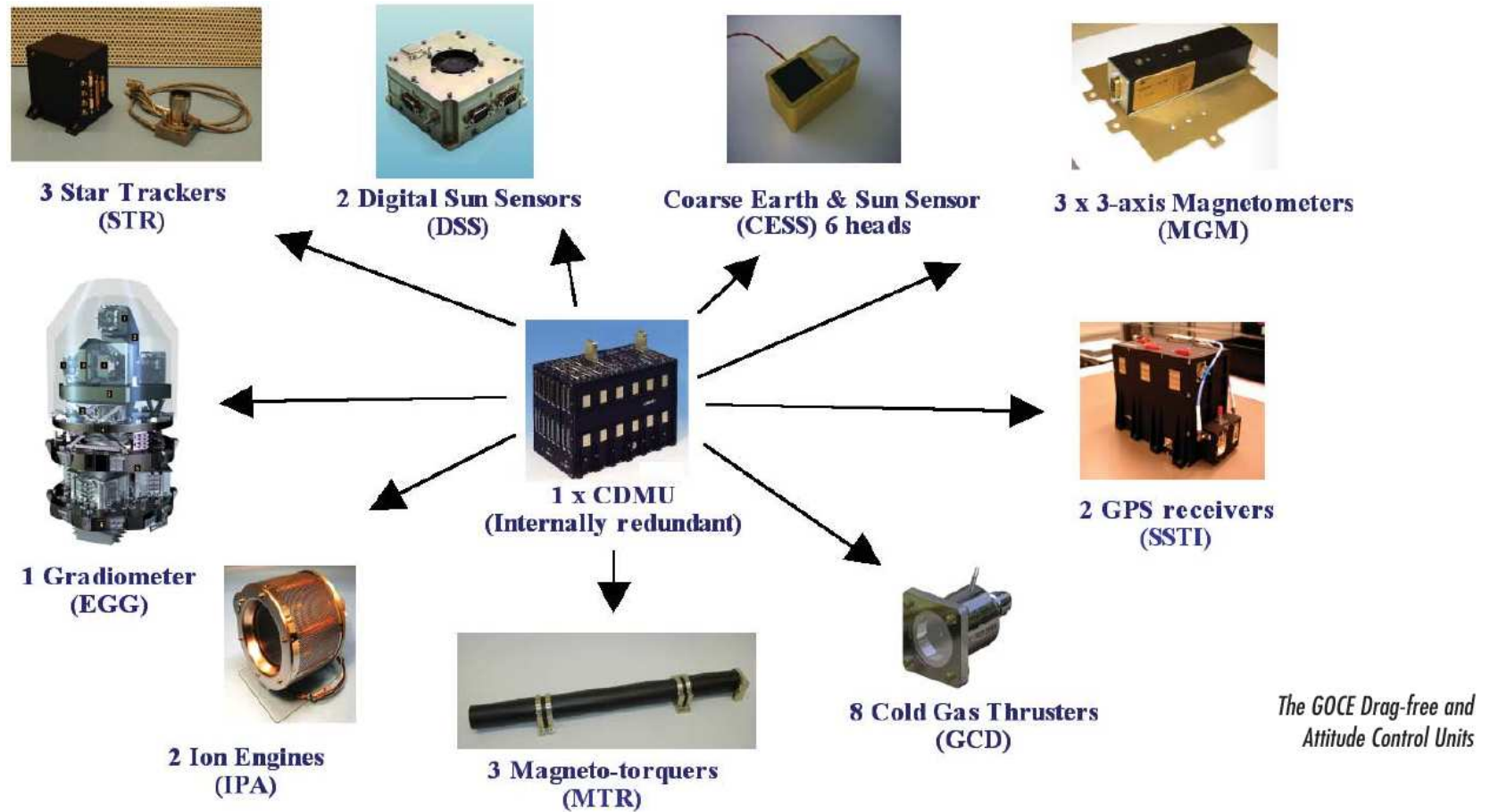
niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

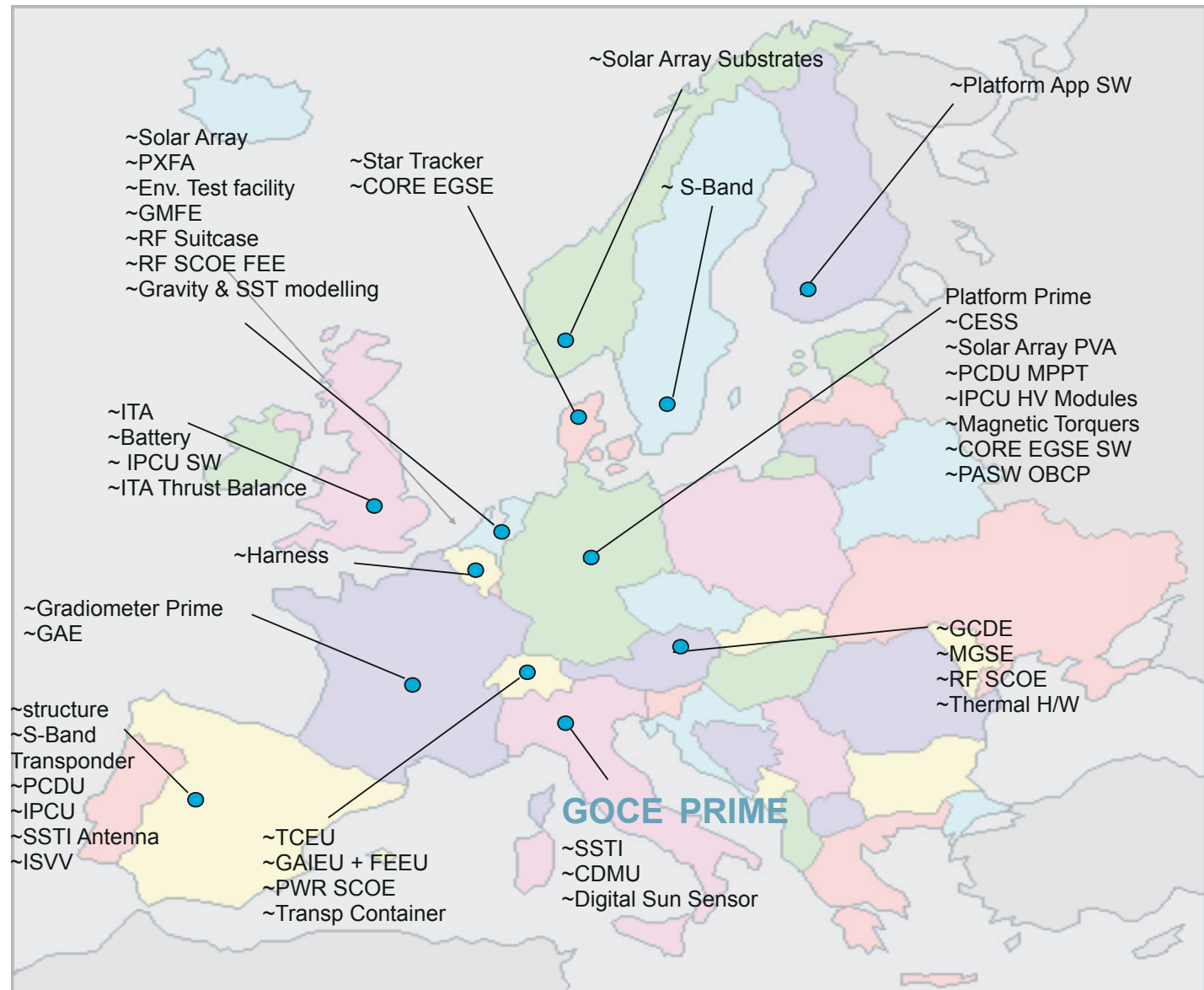
Quelle: ESA

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Herausforderungen(S)
- Gradiometer
- Drag-Free System**
- Industriekonsortium
- Satellitenaufbau
- Satellitenaufbau
- Start
- nominelle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE - Nachbereitung
- Literatur



Quelle: Fehringer et al. (2008)

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Herausforderungen(S)
- Gradiometer
- Drag-Free System
- Industriekonsortium**
- Satellitenaufbau
- Satellitenaufbau
- Start
- nominelle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE - Nachbereitung
- Literatur



Quelle: Fehring et al. (2008)

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Quelle: ESA

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Herausforderungen(S)

Gradiometer

Drag-Free System

Industriekonsortium

Satellitenaufbau

Satellitenaufbau

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

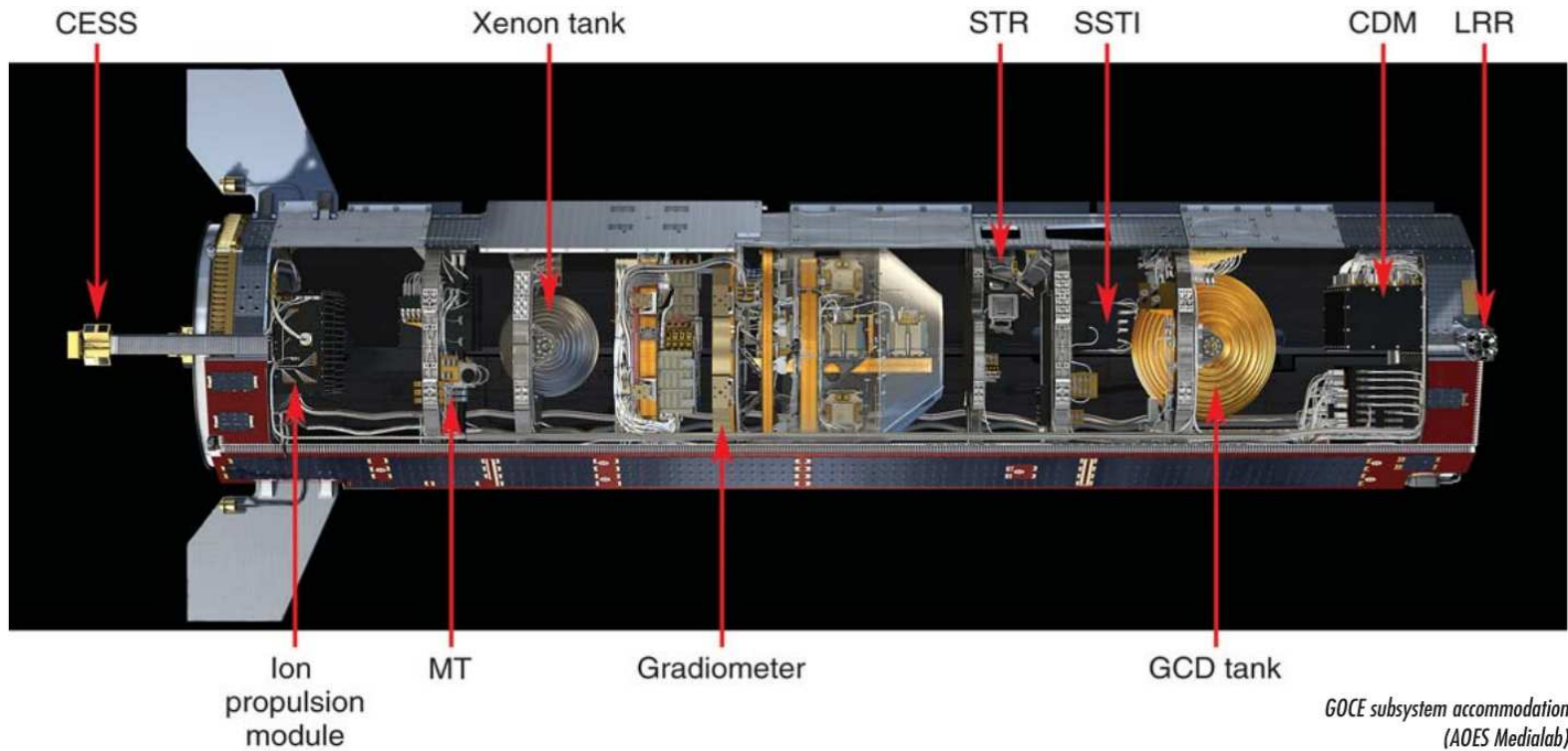
niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Quelle: ESA

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Herausforderungen(S)
- Gradiometer
- Drag-Free System
- Industriekonsortium
- Satellitenaufbau
- Satellitenaufbau**
- Start
- nominelle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE - Nachbereitung
- Literatur



Quelle: Fehringer et al. (2008)

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

Start

GOCE-LEOP

GOCE-COP

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

GOCE - Start

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

Start

GOCE-LEOP

GOCE-COP

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Quelle: ESA

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

Start

GOCE-LEOP

GOCE-COP

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

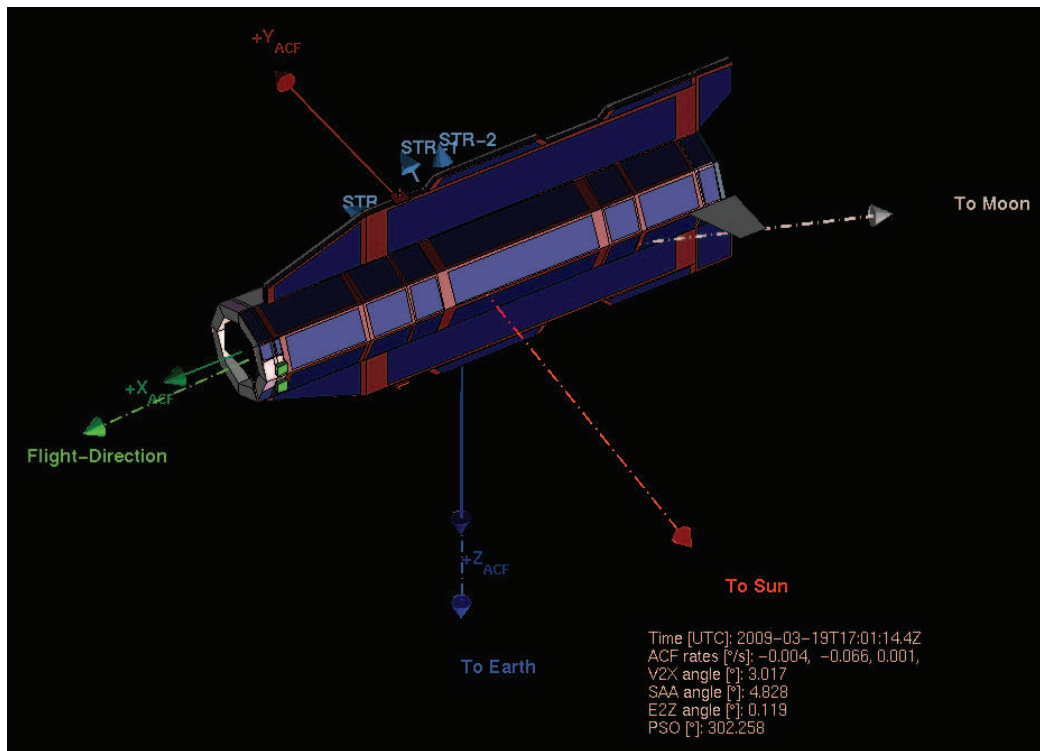
Quelle: ESA

GOCE_LEOP: **GOCE** lernt fliegen!

Leitung: ESOC Darmstadt

Beginn: 17. März 2009, 16:53 MEZ

Ende: 20. März 2009, 1:00 MEZ



Quelle: ESA

Aktivierung der Steuerung:

- grober Erd- und Sonnen-Sensor
- Magnetometer
- digitaler Sonnen-Sensor
- Sternsensoren
- Magnet-Drehmomentspulen
- Satellite-to-satellite tracking

GOCE-Modus: Fine Pointing Mode
alle Kontrollsysteme arbeiten wie geplant!



Quelle: ESA

GOCE_COP: Commissioning Operation Phase

GOCE lernt messen!

Beginn: 1. April 2009

Ende: Mitte/Ende Mai 2009

Aktivierung der Messinstrumente:

- | | | |
|---------|---|---|
| 19.3. | ersten GPS Empfänger | ● |
| 21.3. | zweiter GPS Empfänger | ● |
| 30.3. | Ionentriebwerk | ● |
| 31.3. | erste SLR Messungen
(Yarragadee, San Juan) | ● |
| 6.4. | Gradiometer eingeschalten | ● |
| 8.4. | erster Flug im <i>freien Fall</i> | ● |
| 7-12.5. | erste Gradiometermessungen
im <i>frei-Fall-Modus</i> | ● |

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

HPF Karte

National

REAL-GOCE Karte

Datenauswertung

Status RL03

Ergebnisse

EVRF 2007

erweiterte Mission

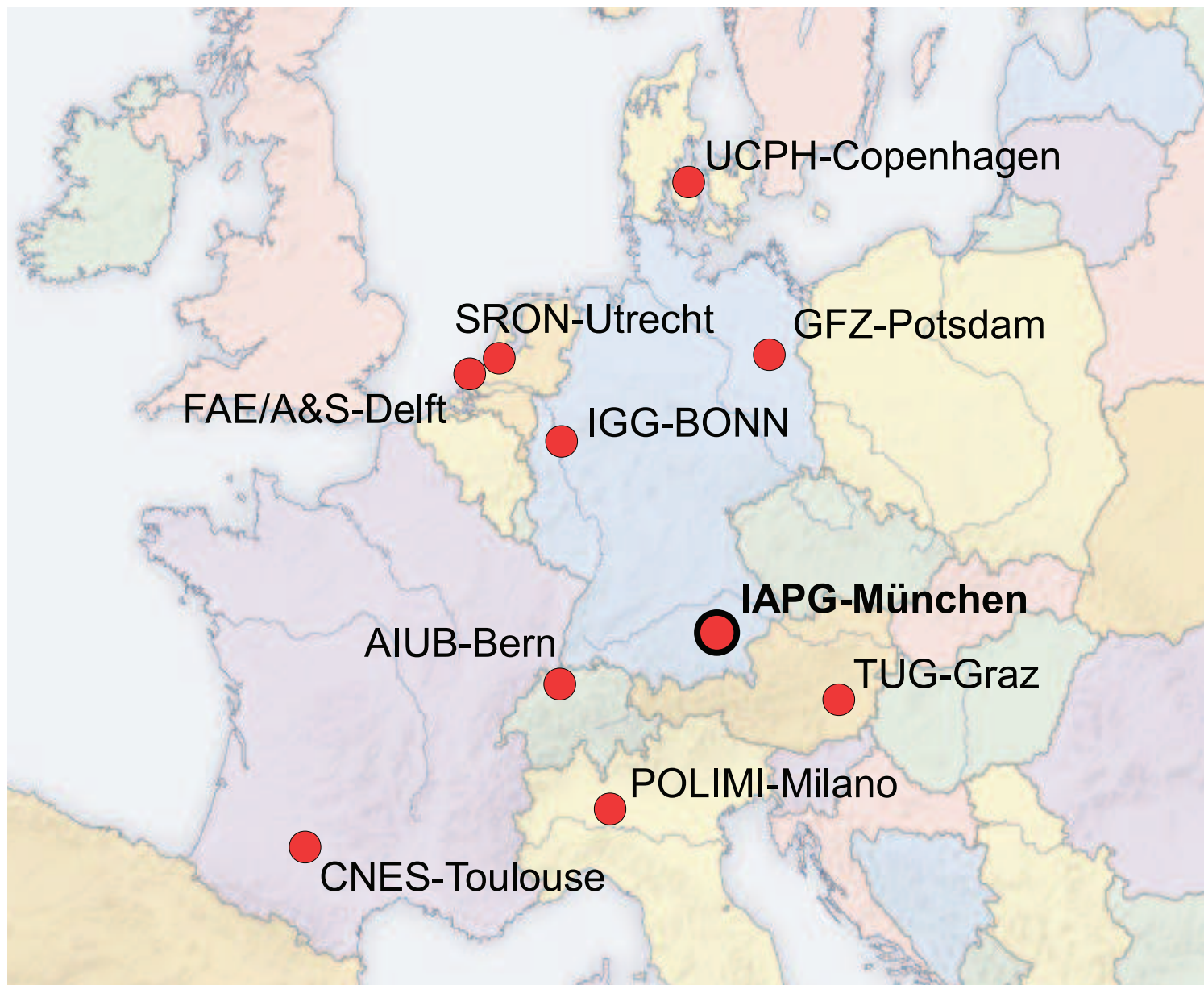
niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

GOCE - nominelle Mission

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Start
- nominelle Mission
- HPF Karte**
- National
- REAL-GOCE Karte
- Datenauswertung
- Status RL03
- Ergebnisse
- EVRF 2007
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE -
Nachbereitung
- Literatur



BMBF/DFG Geotechnologien-Programm



GEOTECHNOLOGIEN

Thema 2: „Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltall“

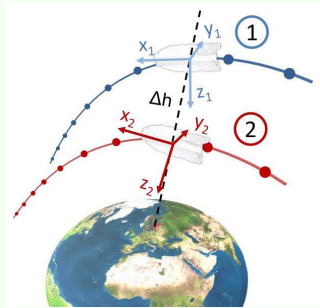
2002-2004	GOCE-GR avitationsfeld AN alyse D eutschland GOCE-GRAND IAPG, IGG, GIS, GFZ, IFE
2005-2008	GOCE-GR avitationsfeld AN alyse D eutschland II GOCE-GRAND II + BKG, IFM
2009-2012	RE aldaten Ana lyse GOCE REAL-GOCE + DGFI, GIK

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Start
- nominelle Mission
- HPF Karte
- National**
- REAL-GOCE Karte
- Datenauswertung
- Status RL03
- Ergebnisse
- EVRF 2007
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE -
Nachbereitung
- Literatur

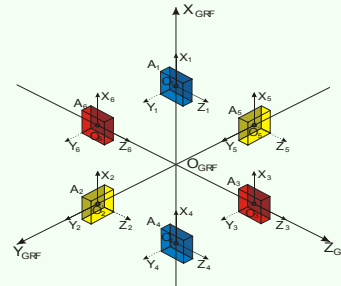
- [Motivation/Ziele](#)
- [Die Idee](#)
- [Vorstudien](#)
- [Missionsvorbereitung](#)
- [Der Satellit](#)
- [Start](#)
- [nominelle Mission](#)
- [HPF Karte](#)
- [National](#)
- [REAL-GOCE Karte](#)**
- [Datenauswertung](#)
- [Status RL03](#)
- [Ergebnisse](#)
- [EVRF 2007](#)
- [erweiterte Mission](#)
- [niederer Orbit](#)
- [GOCE - Nachbereitung](#)
- [Literatur](#)



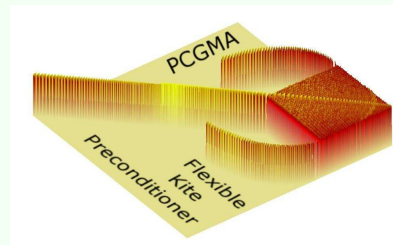
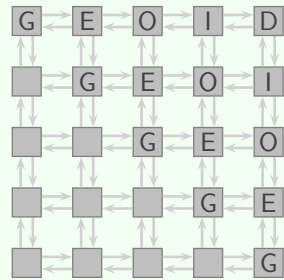
Analyse der Sensoren und des Messprozesses



Validierung der Messungen



maßgeschneiderte Algorithmen



massiv parallele Implementierung



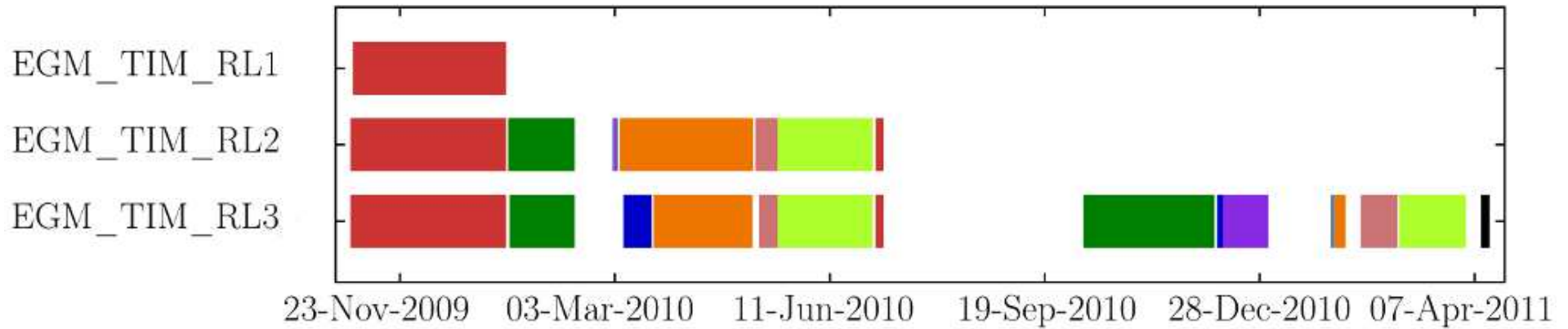
©NIC Jülich

JUROPA

Supercomputer NIC Jülich

data: 17.664 cores
52 TB memory
207 TFlops

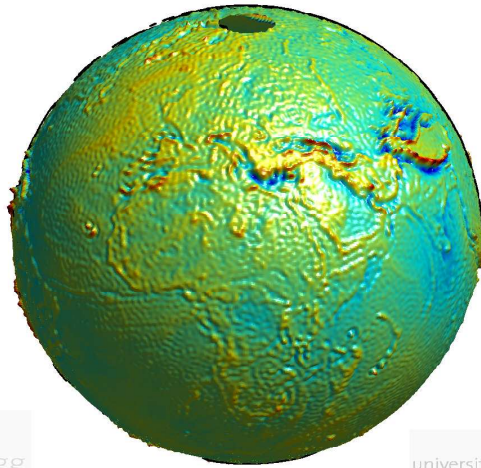
- Erstmals:
- Interaktive Zusammenarbeit zwischen Industrie und Universität
 - alternative Lösungskonzepte: Forschungszentren & Universitäten



models	period	date of publication	#obs.	RMS $_{\Delta g}$ Atlantic/Germany	RMS $_N$ Atlantic/Germany
RL01	01/11/2009 - 11/01/2010	06/2010	6 161 834	3.0 / 4.1 mGal*	10.8 / 14.6 cm*
RL02	- 05/07/2010	11/2010	19 477 946	1.9 / 1.7 mGal*	6.8 / 6.1 cm*
RL03	- 13/04/2011	11/2011	31 289 605	1.3 / 1.4 mGal*	4.8 / 5.1 cm*

* durch externe Validierung mit EGM08

GOCE Ziel: 1 mGal, 1-2 cm 100 km (d/o 200)

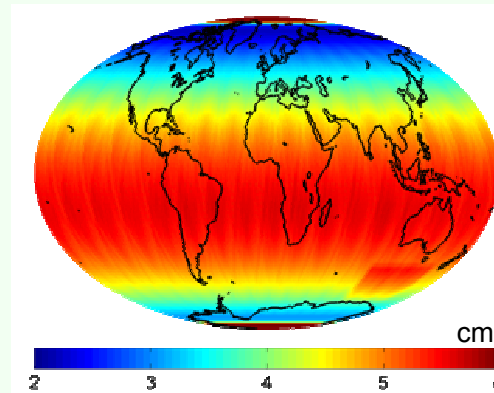


GOCE Schwerefeld

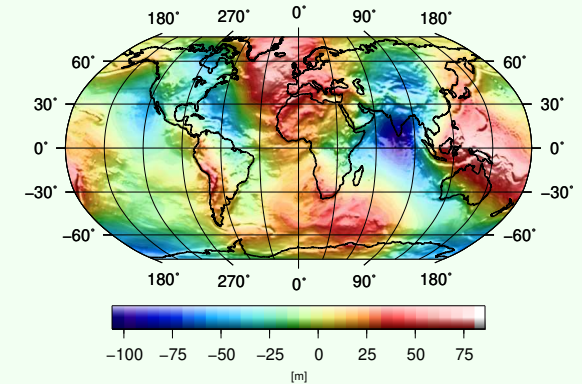
Geoidhöhen: ± 100 m
Genauigkeit: $\pm 5.9-6.6$ cm
 $\pm 1.5-1.8$ mgal
Auflösung: 100 km
 d/o 200

**homogene
 globale Genauigkeit**

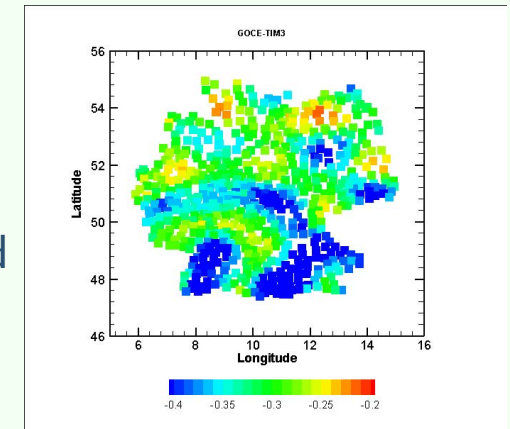
Schwerefeldmodell (62.000 Parameter)



externe Validierung:
 TIM03-GPS/Niv: Deutschland
 (RMS: ± 6.1 cm)



formale Genauigkeit

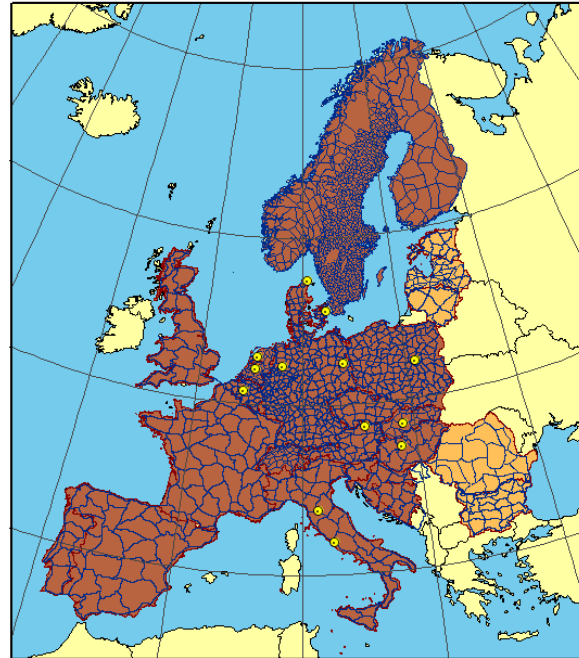


- erstmalig: ● konsistente Modellierung der Unsicherheiten
- volle Varianz/Kovarianz Information verfügbar



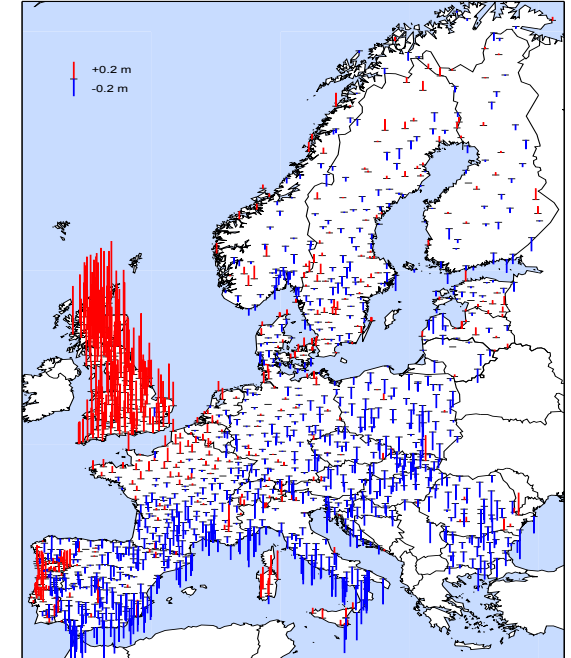
Quelle: BGK

Referenzpegel des UELN
Differenzen in cm



Quelle: BGK

Netzdesign EVRF2007
terrestrische Messungen

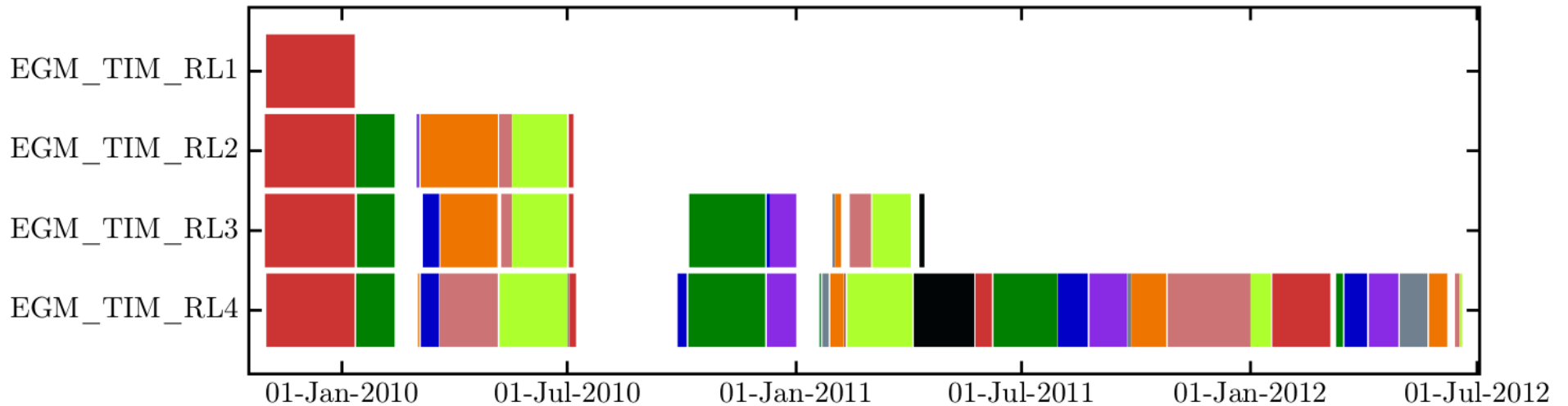


Quelle: BGK

Satellit - Terrestrisch
Residuen: 18.7 cm (10.3 cm)*
() * ohne Spanien, Portugal, U.K

Zur Erinnerung: Genauigkeit des Satellitenmodells ± 4 cm
Prognostizierte Genauigkeit für GOCE in 2013 $> \pm 2$ cm

Résumé (2012): das momentan verfügbar GOCE Satellitenmodell (RL03) kann bereits das Höhenreferenzsystem verbessern (sogar in Europa)



models	period	date of publication	#obs.	RMS Δg Atlantic/Germany	RMS N Atlantic/Germany
RL01	01/11/2009 - 11/01/2010	06/2010	6 M	3.0/ 4.1 mGal*	10.8/ 14.6 cm*
RL02	- 05/07/2010	11/2010	19 M	1.9/ 1.7 mGal*	6.8/ 6.1 cm*
RL03	- 13/04/2011	11/2011	31 M	1.3/ 1.4 mGal*	4.8/ 5.1 cm*
RL04	-19/06/2012	04/2013	278 M	0.92/0.98 mGal*	3.3/ 3.4 cm*

* durch externe Validierung mit EGM08

GOCE Ziel: 1 mGal, 1-2 cm 100 km (d/o 200)

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

Orbit

Wiedereintritt

GOCE LOOC

Modelle

TIM05 Ergebnisse

GOCE -

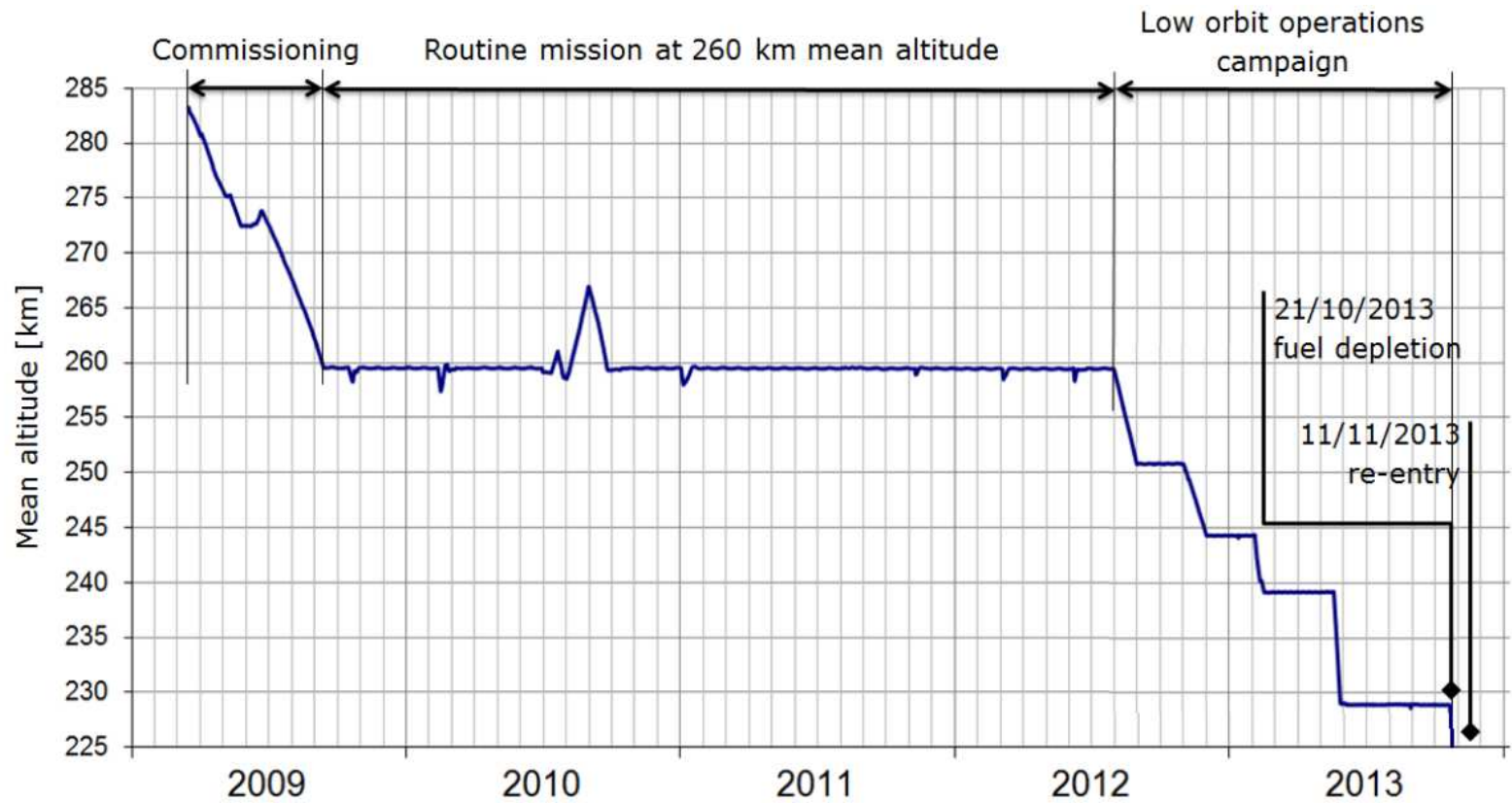
Nachbereitung

Literatur

GOCE - Von der Pflicht zur Kür

- [Motivation/Ziele](#)
- [Die Idee](#)
- [Vorstudien](#)
- [Missionsvorbereitung](#)
- [Der Satellit](#)
- [Start](#)
- [nominelle Mission](#)
- [erweiterte Mission](#)
- [niederer Orbit](#)
- [Orbit](#)**
- [Wiedereintritt](#)
- [GOCE LOOC](#)
- [Modelle](#)
- [TIM05 Ergebnisse](#)
- [GOCE - Nachbereitung](#)
- [Literatur](#)

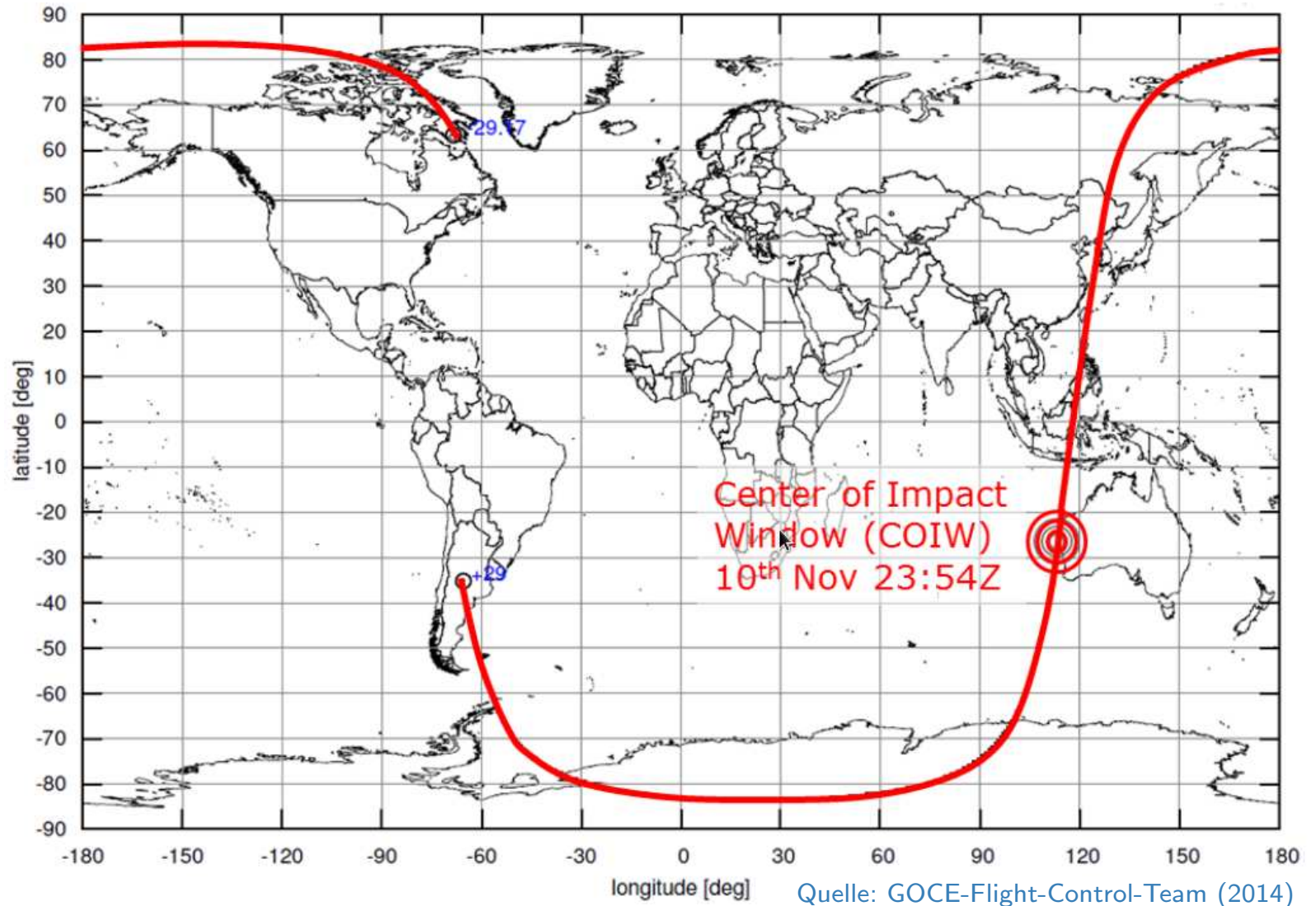
Low orbit operation campaign (LOOC)



Quelle: GOCE-Flight-Control-Team (2014)

Prognose: 10. Nov. 2013 23:54 UTC

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Start
- nominelle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- Orbit
- Wiedereintritt**
- GOCE LOOC
- Modelle
- TIM05 Ergebnisse
- GOCE - Nachbereitung
- Literatur



Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

Orbit

Wiedereintritt

GOCE LOOC

Modelle

TIM05 Ergebnisse

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

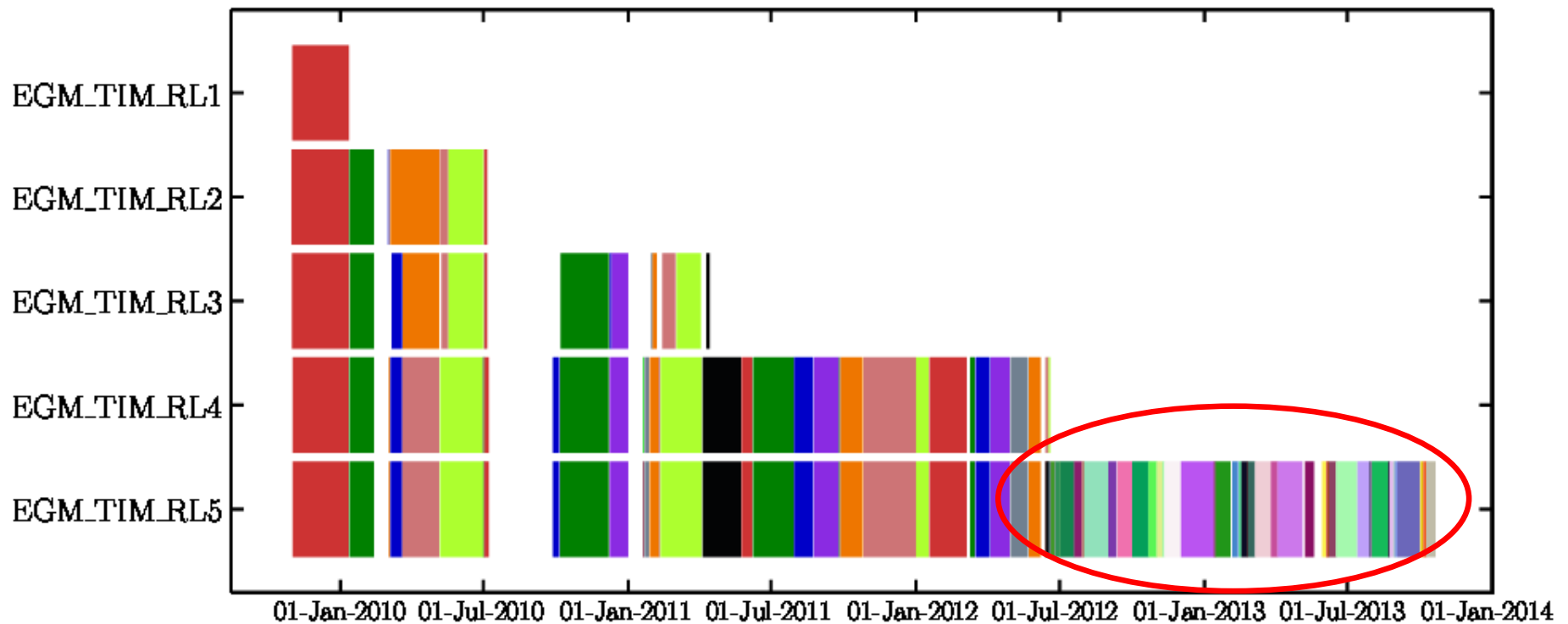
11. Nov. 2013 00:16 UTC, Falklands



© BILL CHATER

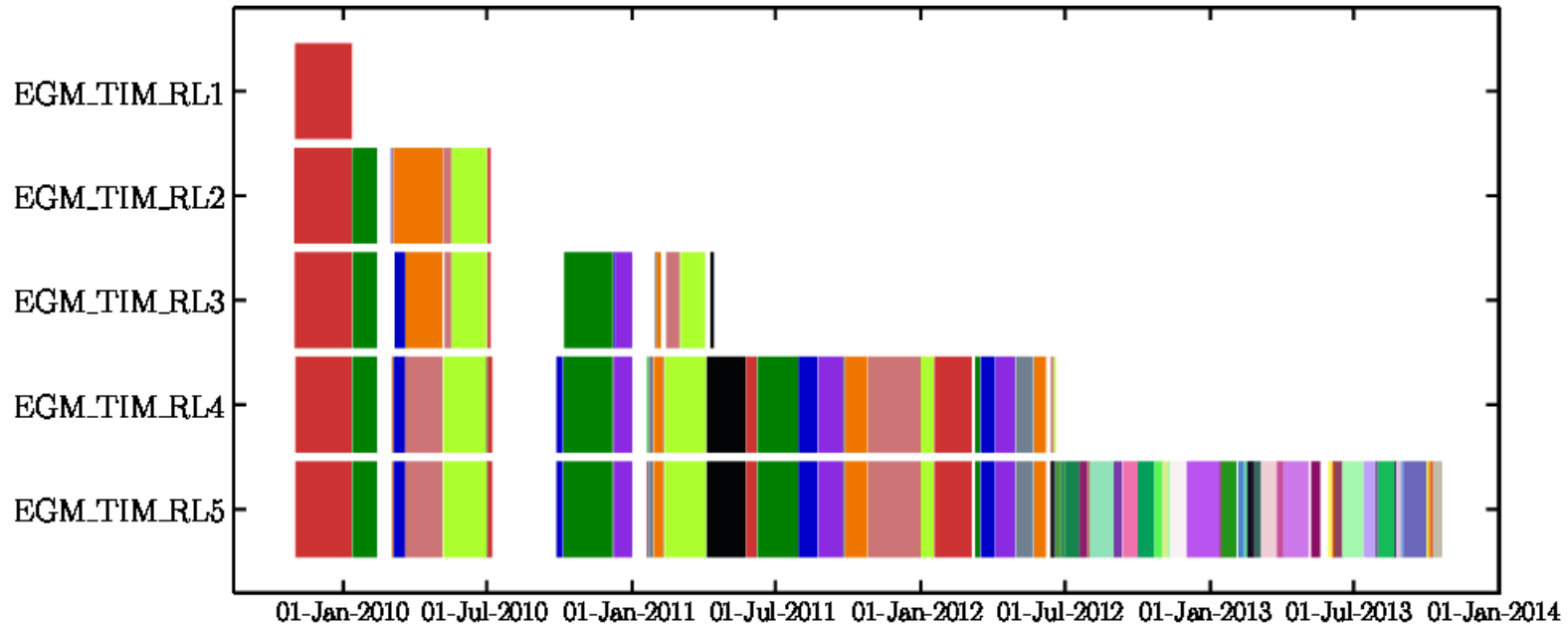
©Bill Chater, Falklands

Spezielles Augenmerk on LOOC (13-Jun-2012 — 21-Oct-2013)



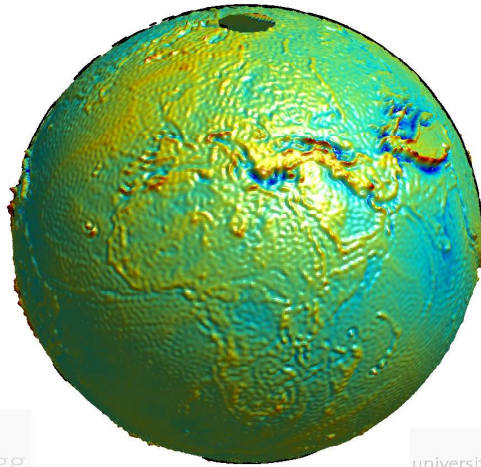
4 × 40,578,861 Beobachtungen, eff. 463 Tage, 48 Segmente

LOOC Modelle haben die gleiche Genauigkeit wie das TIM_RL4 Modell



models	period	date of publication	#obs.	RMS $_{\Delta g}$ Atlantic/Germany	RMS $_N$ Atlantic/Germany
RL01	01/11/2009 - 11/01/2010	06/2010	6 M	3.0/ 4.1 mGal*	10.8/ 14.6 cm*
RL02	- 05/07/2010	11/2010	19 M	1.9/ 1.7 mGal*	6.8/ 6.1 cm*
RL03	- 13/04/2011	11/2011	31 M	1.3/ 1.4 mGal*	4.8/ 5.1 cm*
RL04	-19/06/2012	04/2013	278 M	0.92/0.98 mGal*	3.3/ 3.4 cm *
RL05	-20/10/2013	11/2014	440 M	0.67/0.73 mGal*	2.5/ 2.7 cm *

* durch exeterne Validierung mit EGM08

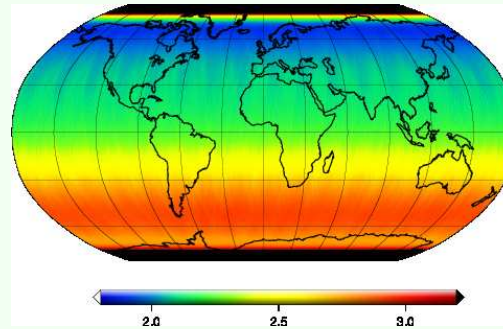


GOCE Schwerefeld

Geoidhöhen: ± 100 m
Genauigkeit: $\pm 2.2-2.7$ cm
 $\pm 0.6-0.8$ mgal
Auflösung: 100 km
 d/o 200

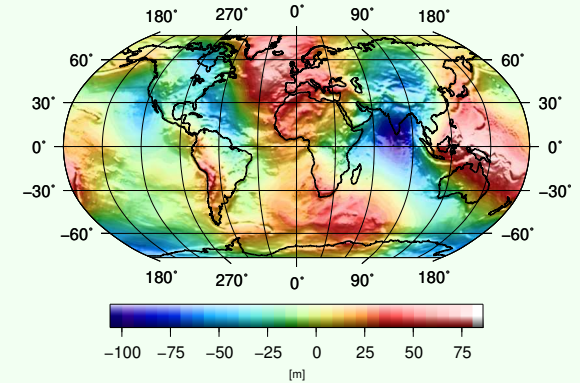
**homogene
 globale Genauigkeit**

Schwerefeldmodell (78.400 Parameter)

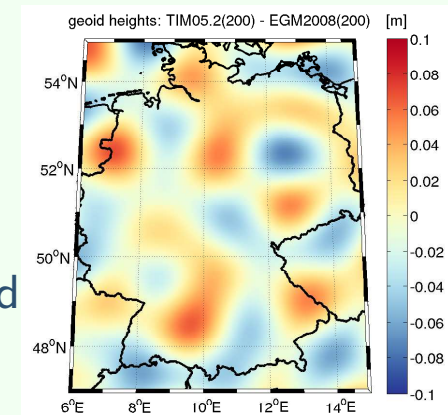


externe Validierung

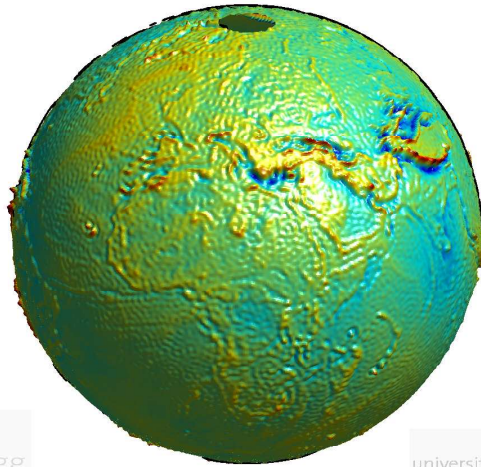
TIM05-EGM2008: Deutschland
 (rms: ± 2.7 cm)



formale Genauigkeit
 ($\pm 2.0-3.0$ cm)



GOCE Ziel: 1 mGal, 1-2 cm 100 km (d/o 200)

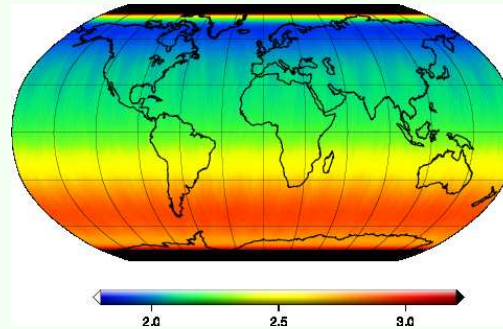


GOCE Schwerefeld

Geoidhöhen: ± 100 m
Genauigkeit: $\pm 2.2-2.7$ cm
 $\pm 0.6-0.8$ mgal
Auflösung: 100 km
 d/o 200

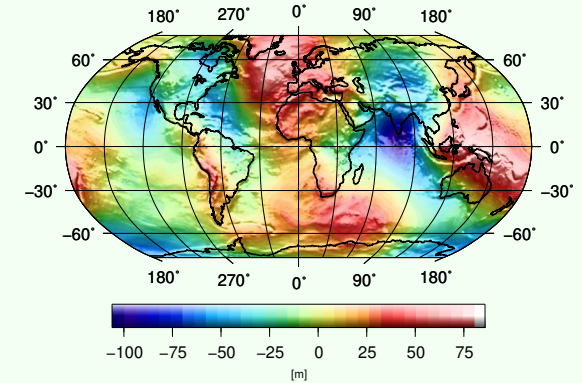
**homogene
globale Genauigkeit**

Schwerefeldmodell (78.400 Parameter)

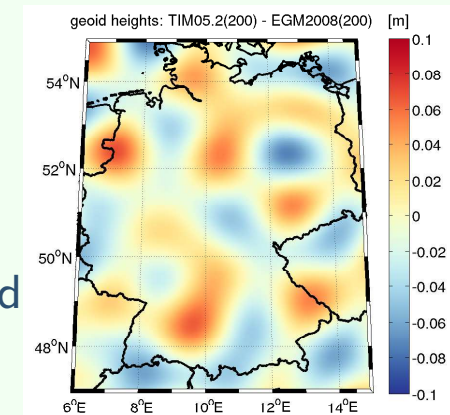


externe Validierung

TIM05-EGM2008: Deutschland
 (rms: ± 2.7 cm)



formale Genauigkeit
 ($\pm 2.0-3.0$ cm)



GOCE Ziel: 1 mGal, 1-2 cm 100 km (d/o 200)
Ziel (fast) erreicht! — DAS wars?

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

**GOCE -
Nachbereitung**

Residuenanalyse

alternative Verfahren

Robuster Filter

Daten TÜV

Reprozessierung

Modelle

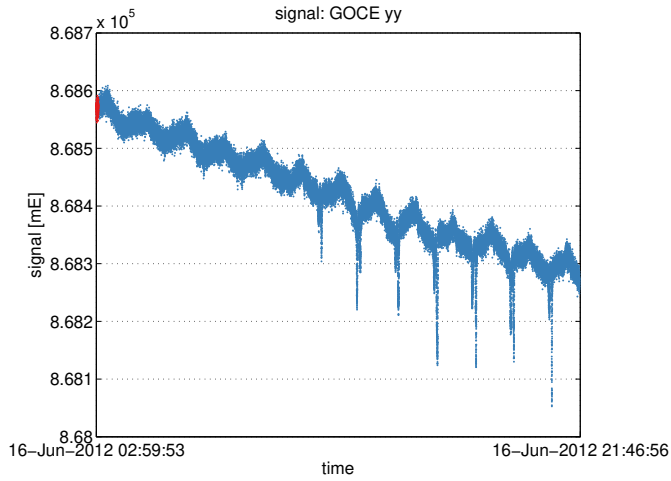
TIM06 vs GPS/Niv

TIM06 Ergebnisse

Literatur

GOCE - Nachbereitung

Residuen:

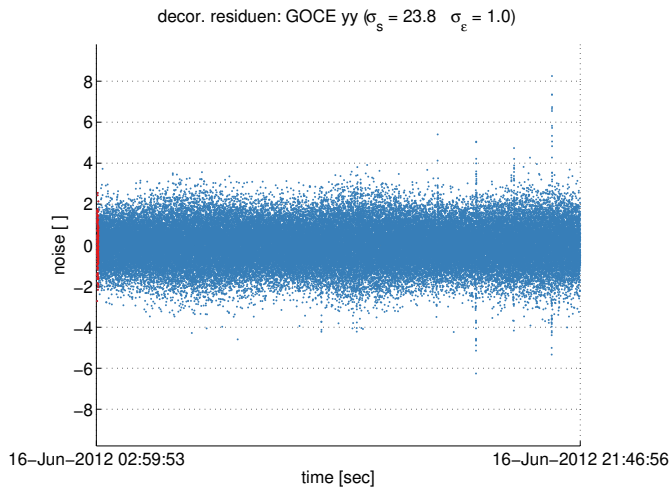


Vereinzelt auffällige Daten und Datensequenzen:
 (V_{xx} , V_{xz} und V_{zz} einige wenige, V_{yy} etwas mehr)

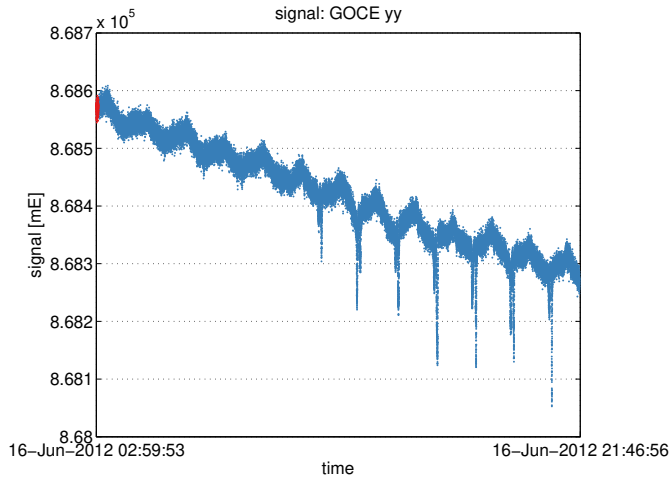
- grobe Ausreißer
- Varianzänderungen
- Trendänderungen (Mittelwert, Steigung)
- nichtstationäre Effekte

Wie kann/soll damit umgegangen werden?

Dekorrelierte Residuen:



Residuen:

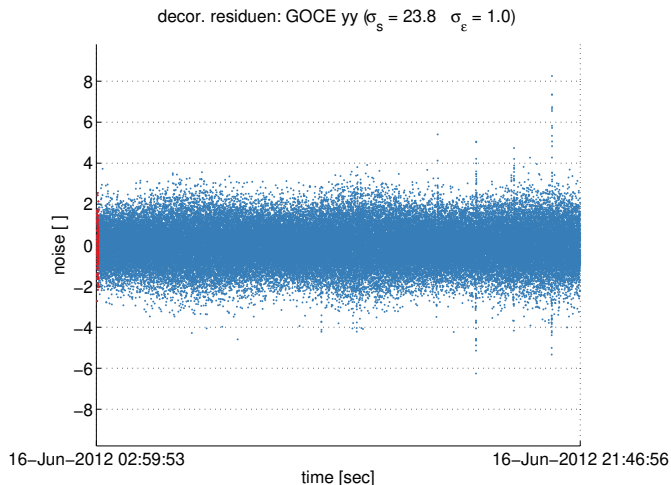


Vereinzelt auffällige Daten und Datensequenzen:
 (V_{xx} , V_{xz} und V_{zz} einige wenige, V_{yy} etwas mehr)

- grobe Ausreißer
- Varianzänderungen
- Trendänderungen (Mittelwert, Steigung)
- nichtstationäre Effekte

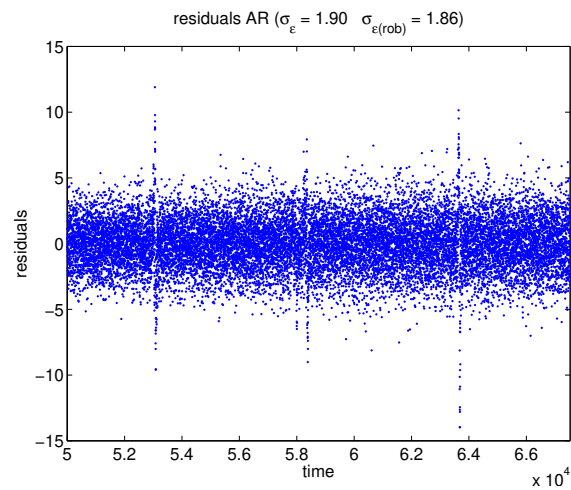
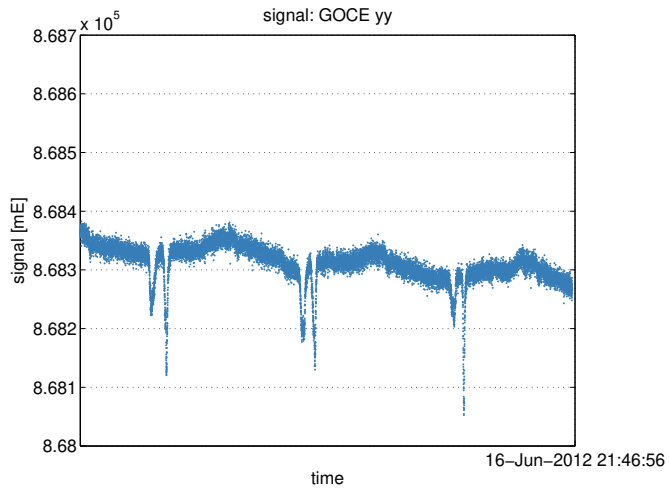
Wie kann/soll damit umgegangen werden?

Dekorrelierte Residuen:



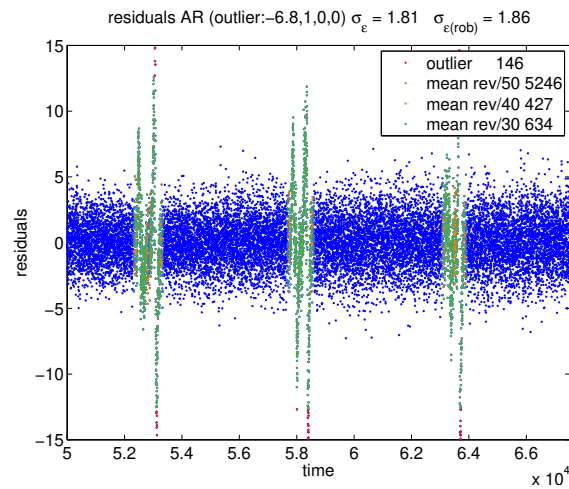
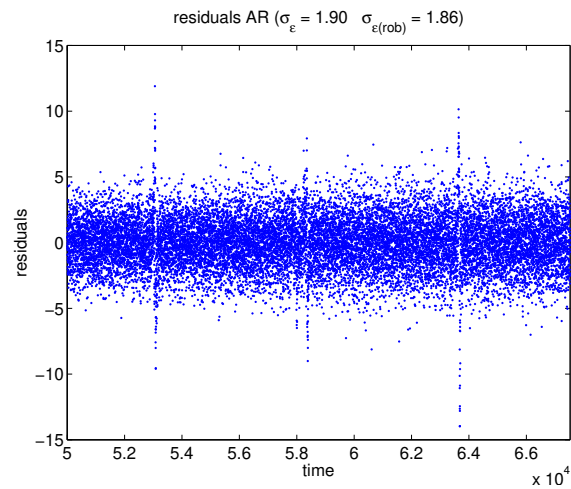
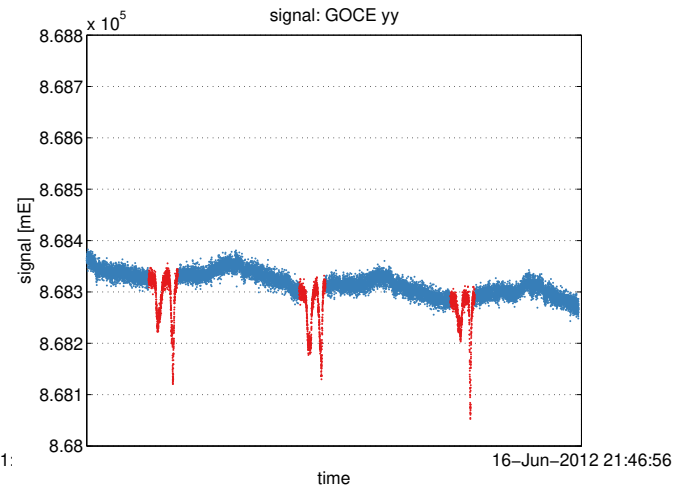
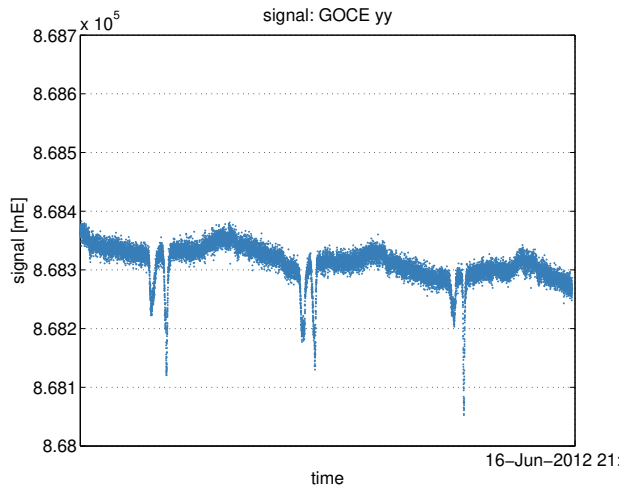
- Identifikation von auffälligen Daten und robuste Filterschätzung
 → weniger Daten aber qualitativ hochwertigere Daten
- Design für zeitvariable Filter um nichtstationäre Effekte zu modellieren.

Standardfilter

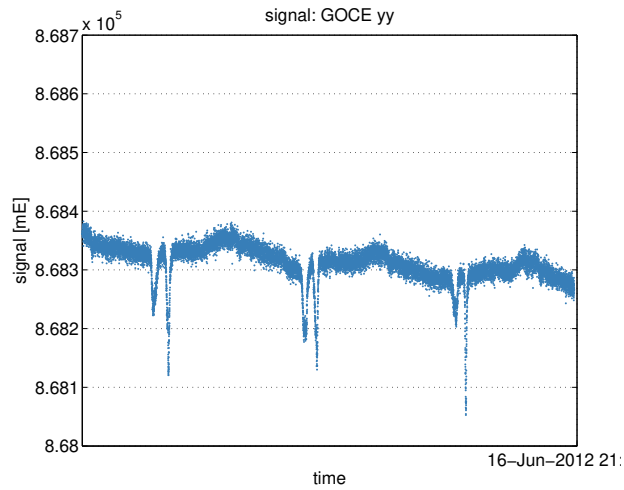


Standardfilter

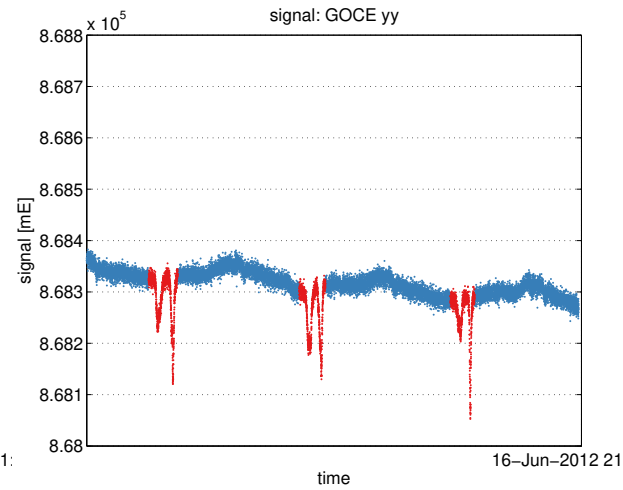
robuste Filter



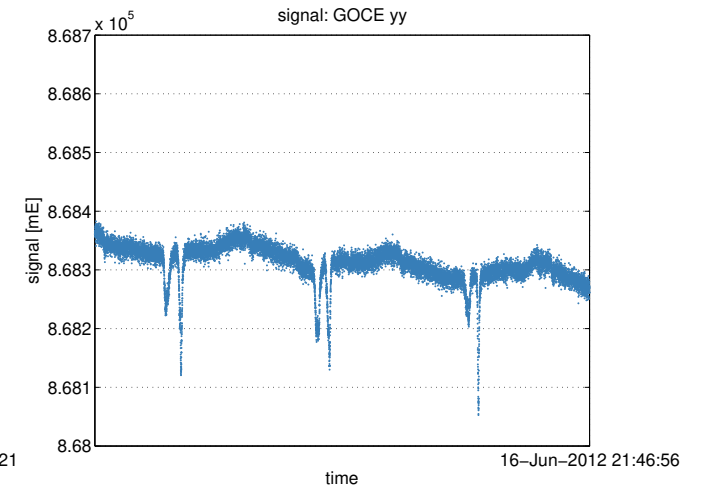
Standardfilter



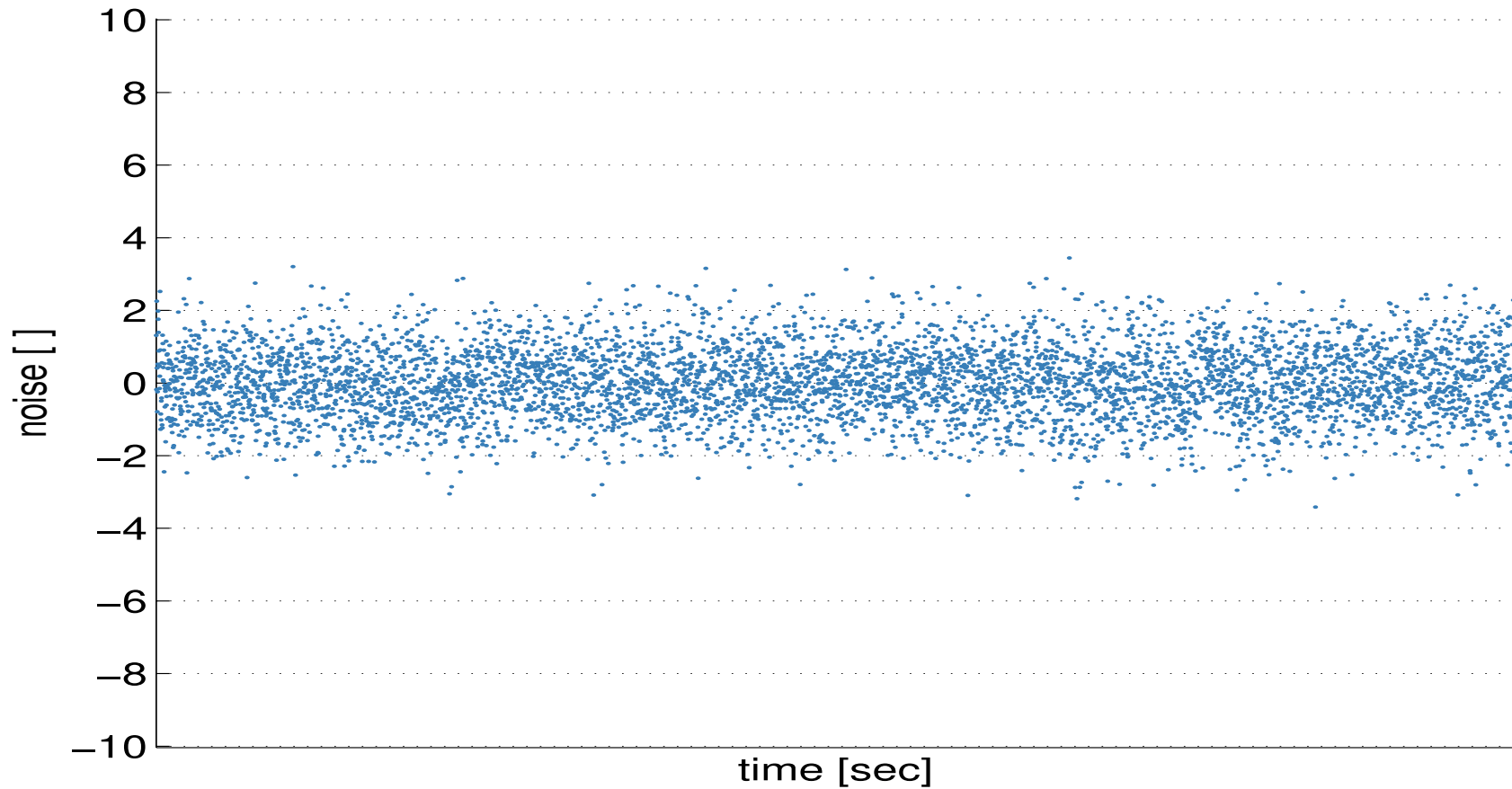
robuste Filter



zeitvariable Filter

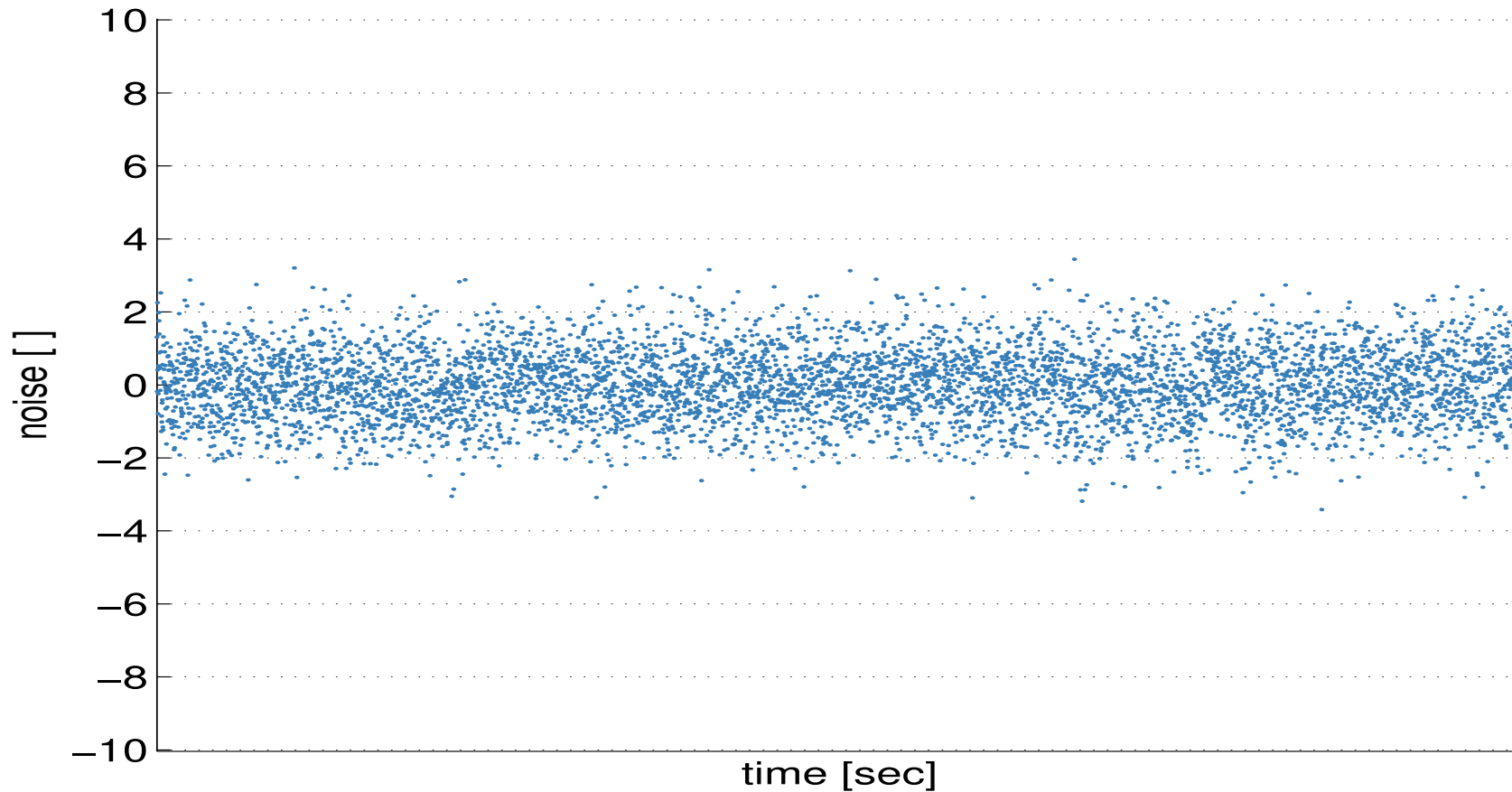


decor. residuen: GOCE xx ($\sigma_s = 23.5$ $\sigma_\varepsilon = 1.0$)



dekorrelierte Residuenzeitreihe

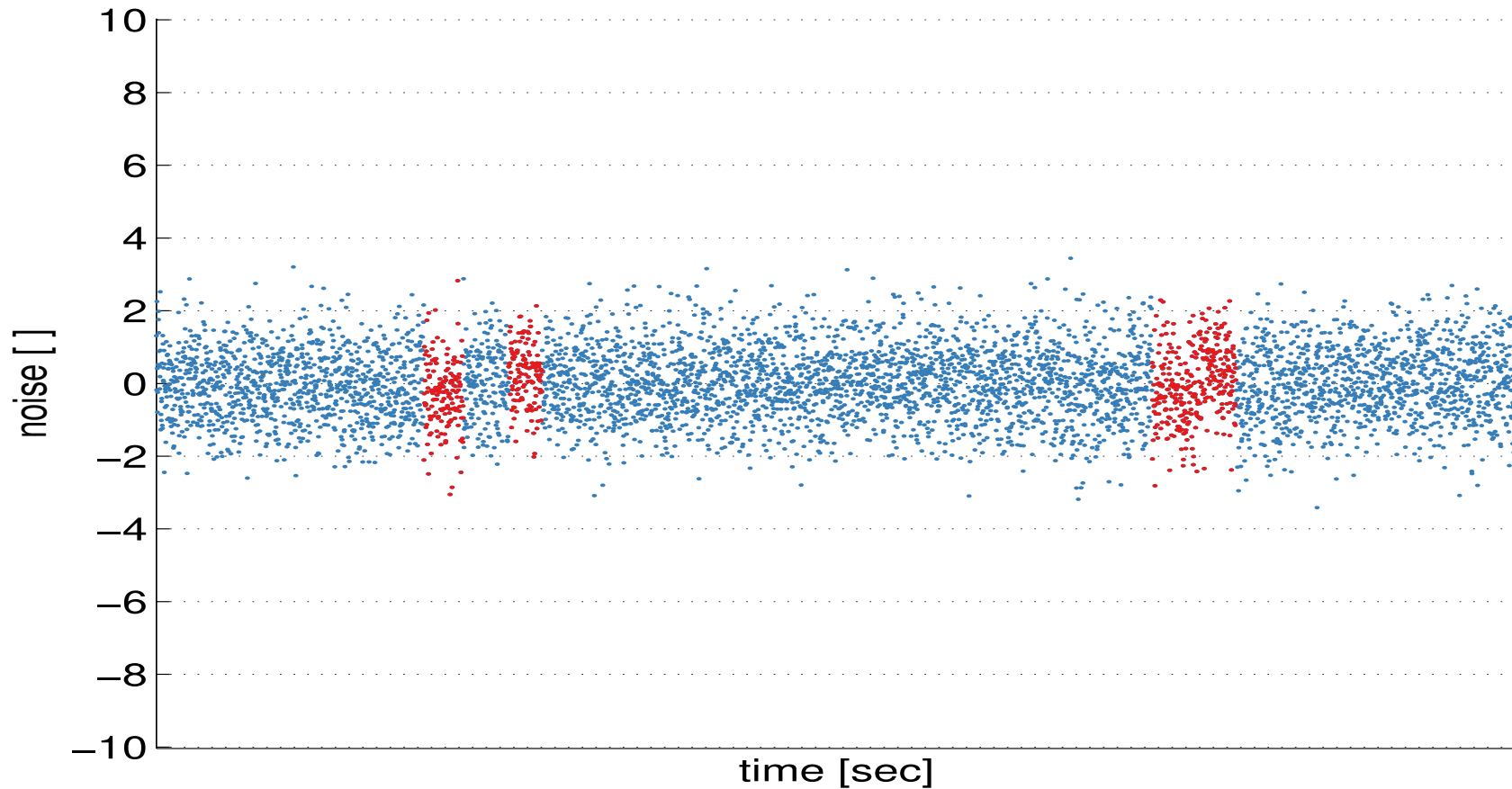
decor. residuen: GOCE xx ($\sigma_s = 23.5$ $\sigma_\varepsilon = 1.0$)



Ist diese Rauschen gleichmäßig und *weißes Rauschen*?

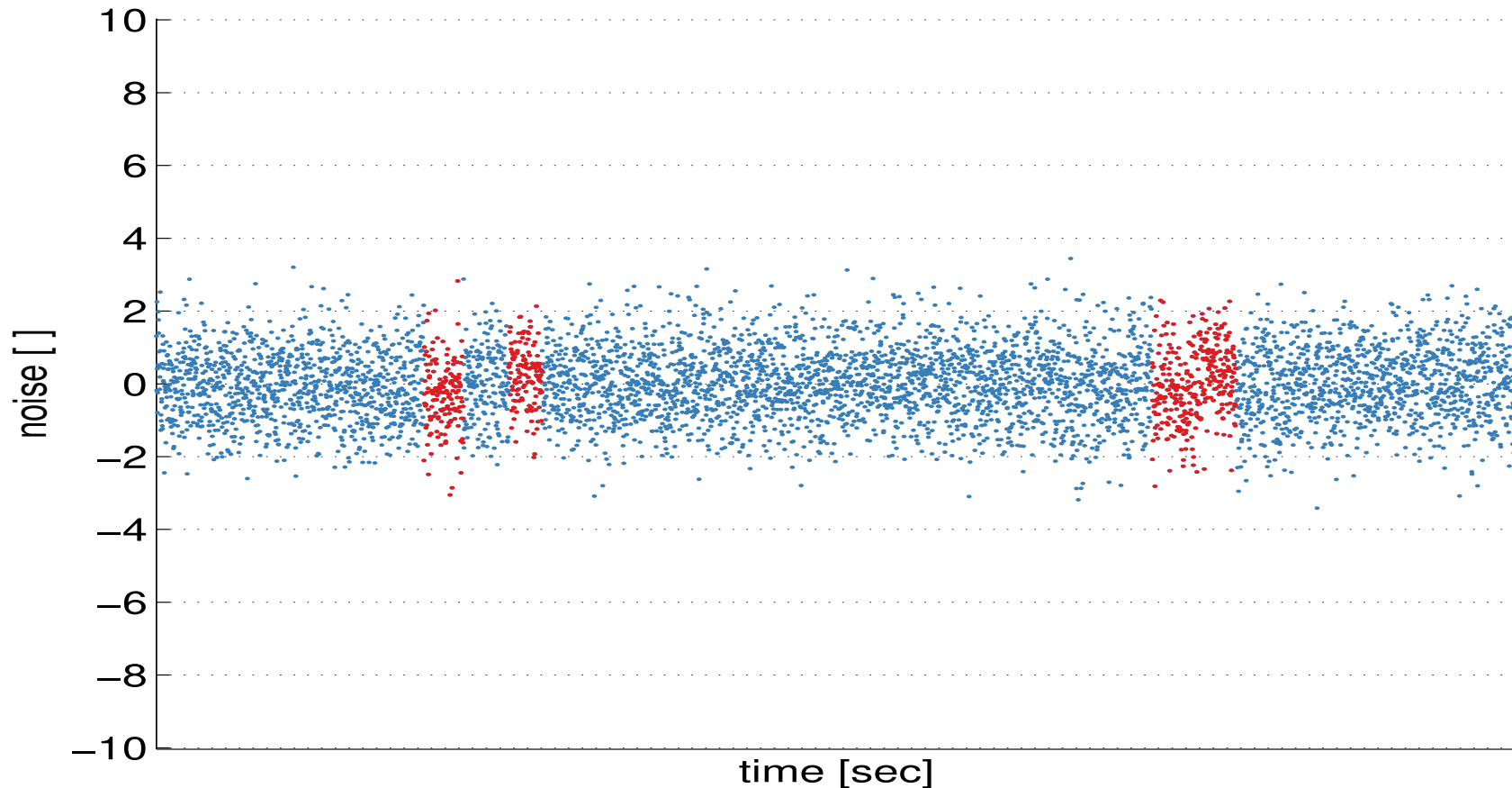
Können auffällige Daten oder Bereiche identifiziert werden?

decor. residuen: GOCE xx ($\sigma_s = 23.5$ $\sigma_\varepsilon = 1.0$)



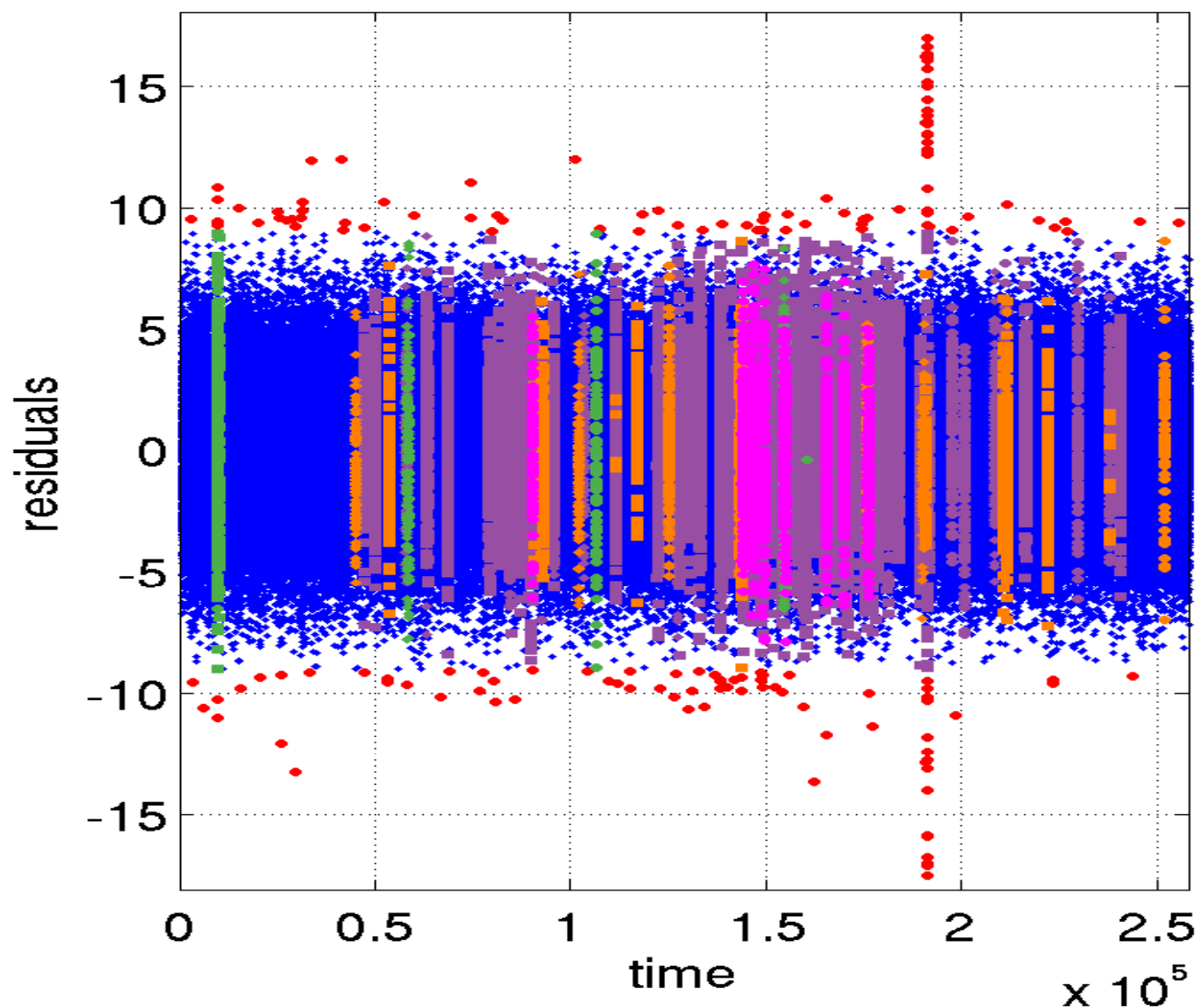
Fokussierung auf die roten Bereiche? Sind das auffällige Daten?

decor. residuen: GOCE xx ($\sigma_s = 23.5$ $\sigma_\varepsilon = 1.0$)



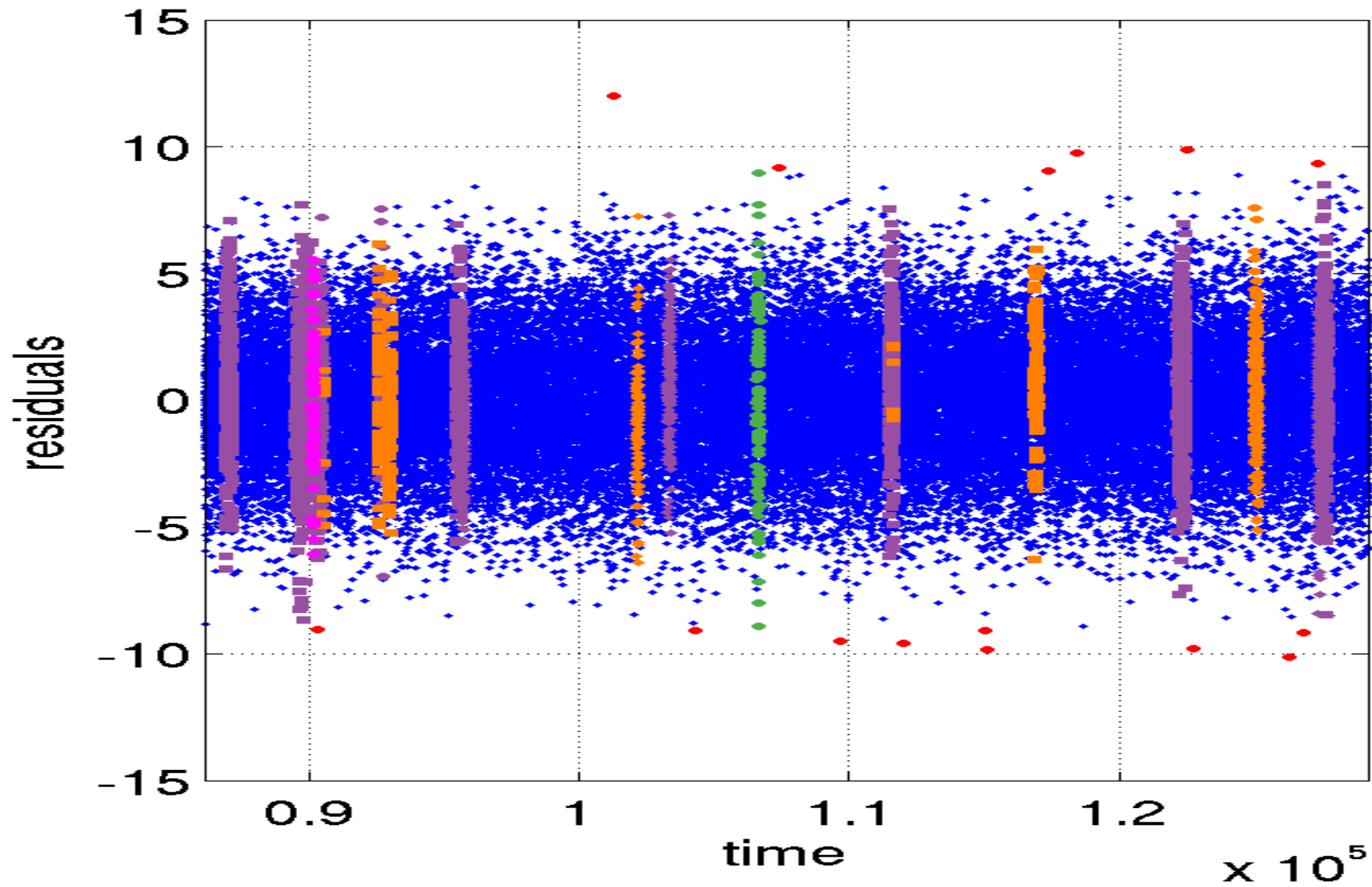
Fokussierung auf die roten Bereiche? Sind das auffällige Daten?

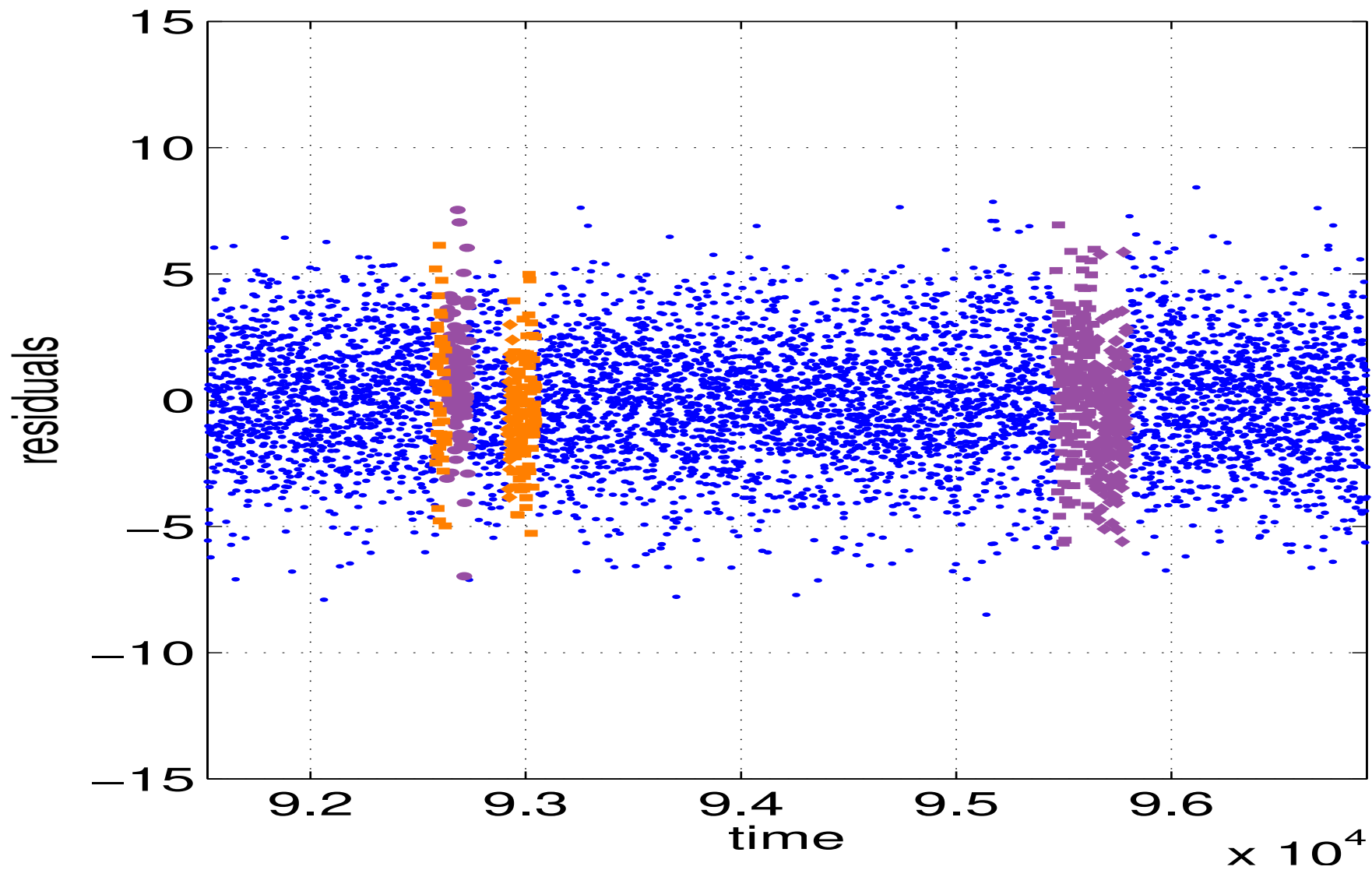
objektive statistische Prozeduren notwendig \implies Daten TÜV

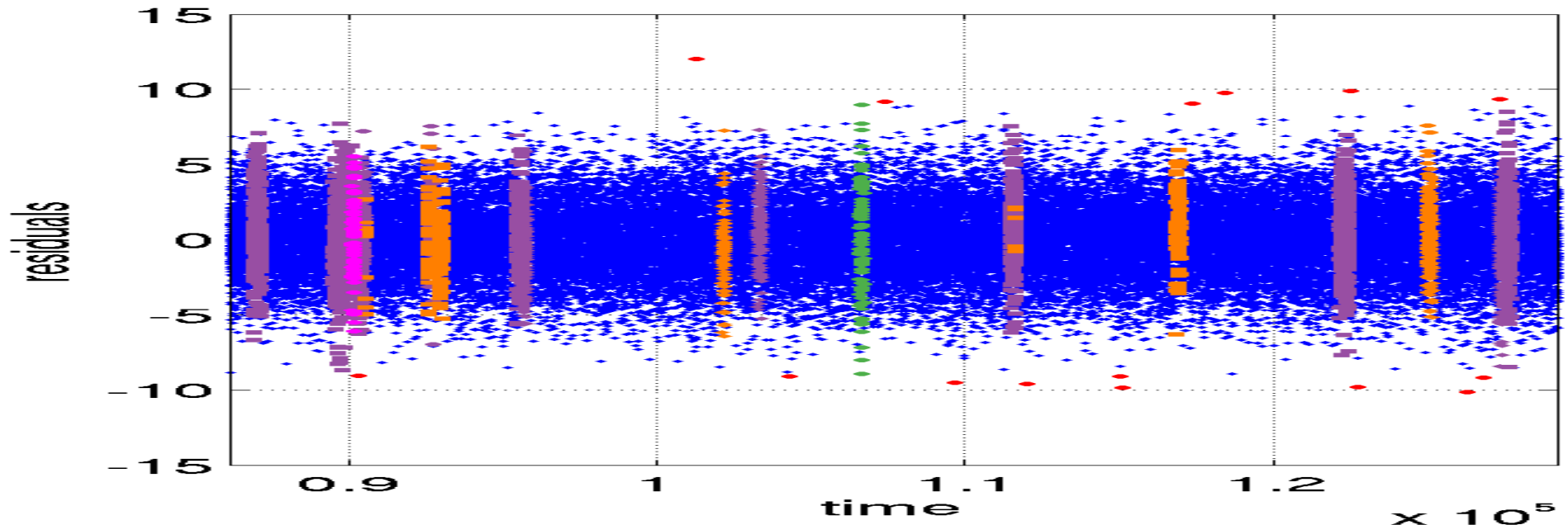


+	blunder	392
•	outlier	199
■	mean r/30	12977
◆	mean r/40	1221
●	mean r/50	1034
■	var r/30	226
◆	var r/50	226
●	var r/70	206
■	sign r/50	897
◆	sign r/60	495
●	sign r/70	155
◆	gaps	1226

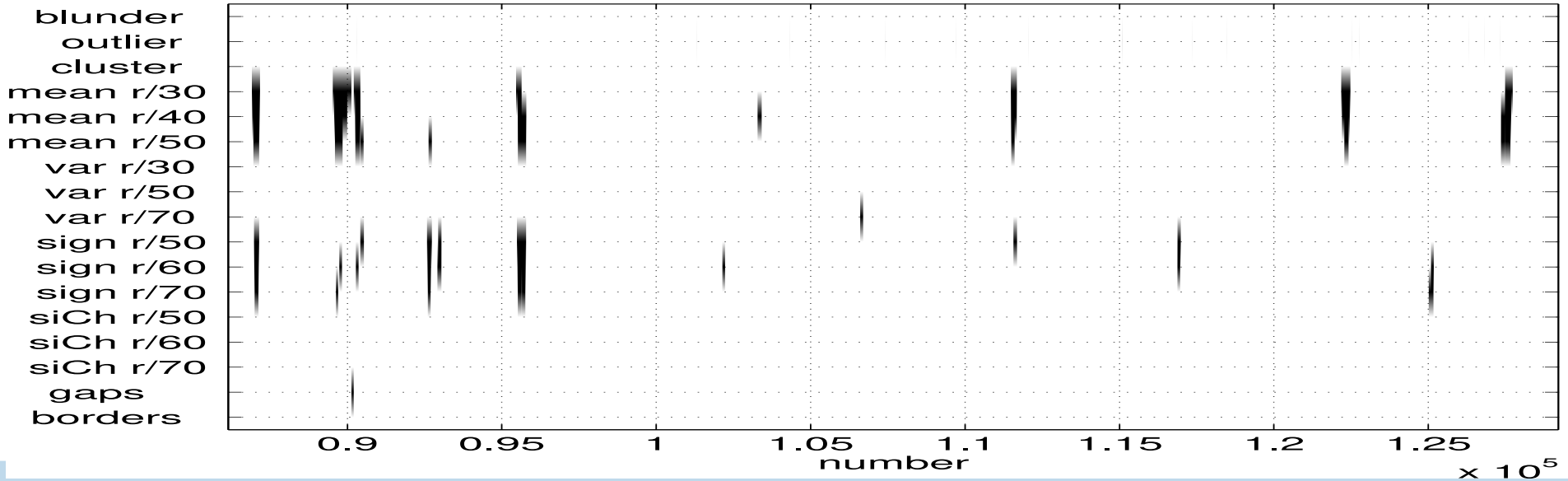
$\sigma_{\varepsilon} =$ 2.47
 # data: 257919
 # outlier: 19254
 7.5 %







residuals AR (alpha:0.0005,72.375,0,0) $\sigma_{\varepsilon} = 2.47$ $\sigma_{\varepsilon(\text{rob})} = 2.48$



Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Residuenanalyse
alternative Verfahren
Robuster Filter

Daten TÜV

Reprozessierung

Modelle

TIM06 vs GPS/Niv

TIM06 Ergebnisse

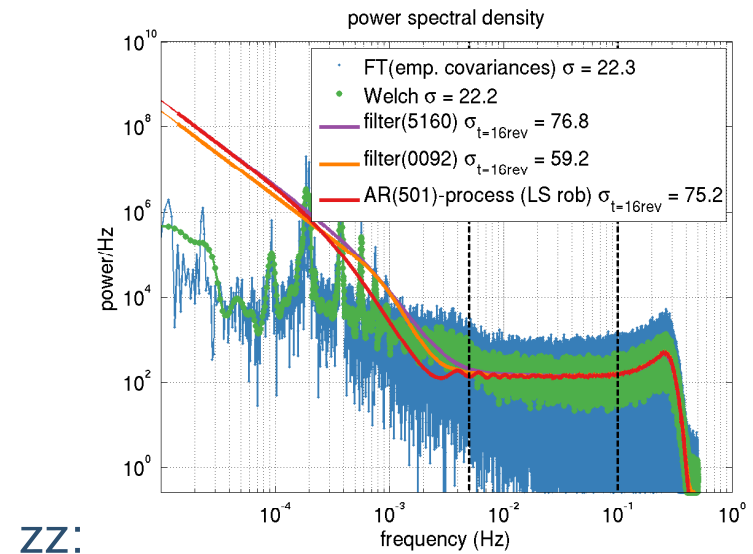
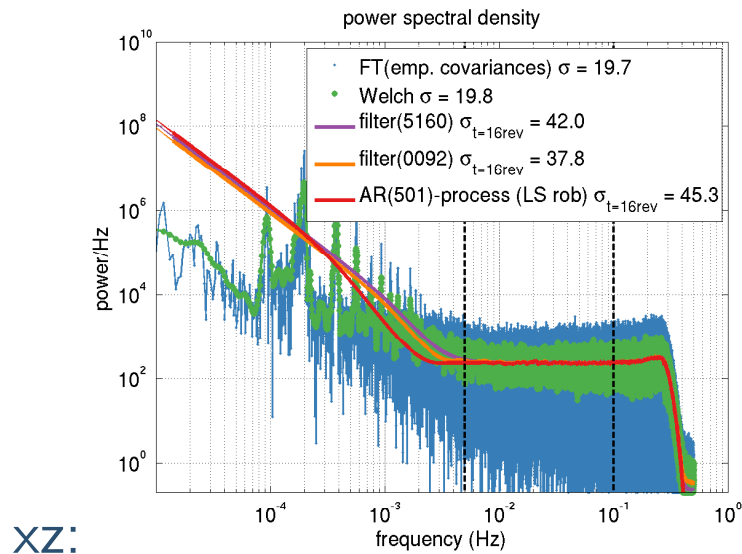
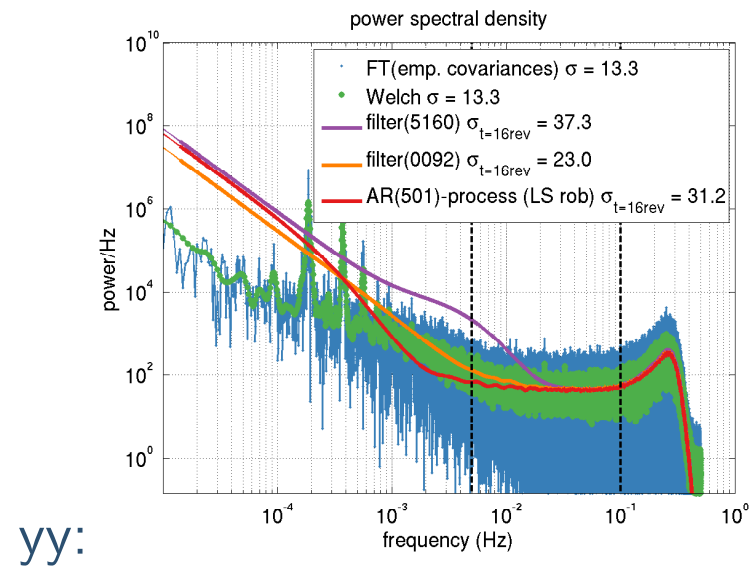
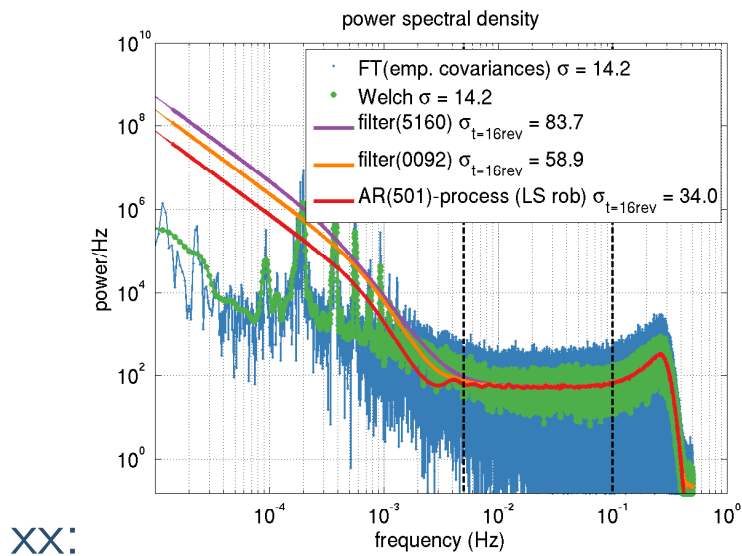
Literatur

Für und Wider dieser Untersuchungen

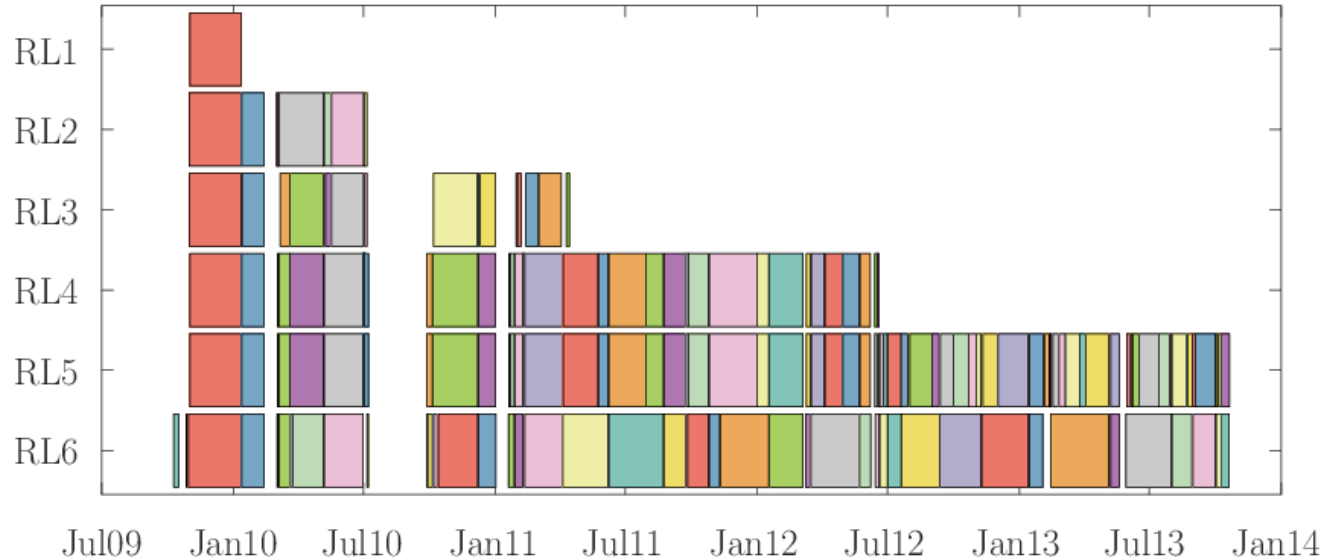
- Tests sind zu empfindlich!
- zuviele Daten werden ausgesondert!
- + objektive Identifikation von auffälligen Daten
- + Zuordnung zu besonderen Ereignissen möglich
- + positive Auswirkung auf Güte es Gesamtergebnisses

und auch weiterer Berichte ...

⇒ **Rekalibrierung/Reprozessierung der gesamten Missionsdaten wird von der ESA in Auftrag gegeben!**

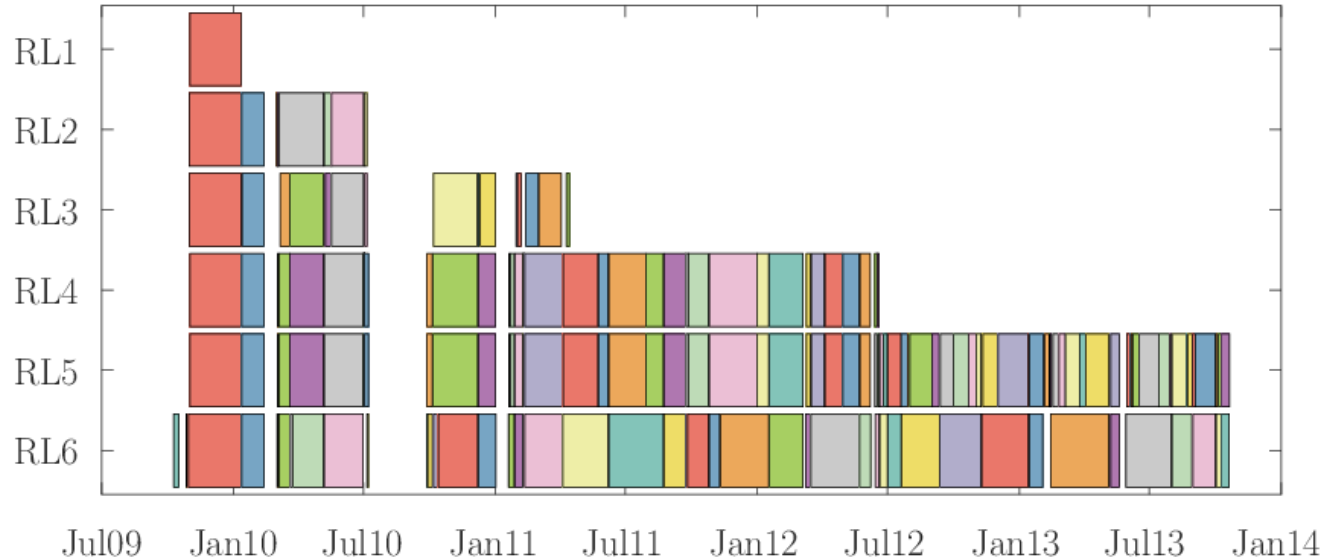


Vergleich: TIM05 - robuste ARI Filter - reprozessierte Daten



models	period	date of publication	#obs.	RMS $_{\Delta g}$ Atlantic/Germany	RMS $_N$ Atlantic/Germany
RL01	01/11/2009 - 11/01/2010	06/2010	6 M	3.0/ 4.1 mGal*	10.8/ 14.6 cm*
RL02	- 05/07/2010	11/2010	19 M	1.9/ 1.7 mGal*	6.8/ 6.1 cm*
RL03	- 13/04/2011	11/2011	31 M	1.3/ 1.4 mGal*	4.8/ 5.1 cm*
RL04	-19/06/2012	04/2013	278 M	0.92/0.98 mGal*	3.3/ 3.4 cm*
RL05	-20/10/2013	11/2014	440 M	0.67/0.73 mGal*	2.5/ 2.7 cm*
RL06	-20/10/2013	06/2019	440 M	0.55/0.70 mGal*	2.0/ 2.5 cm*

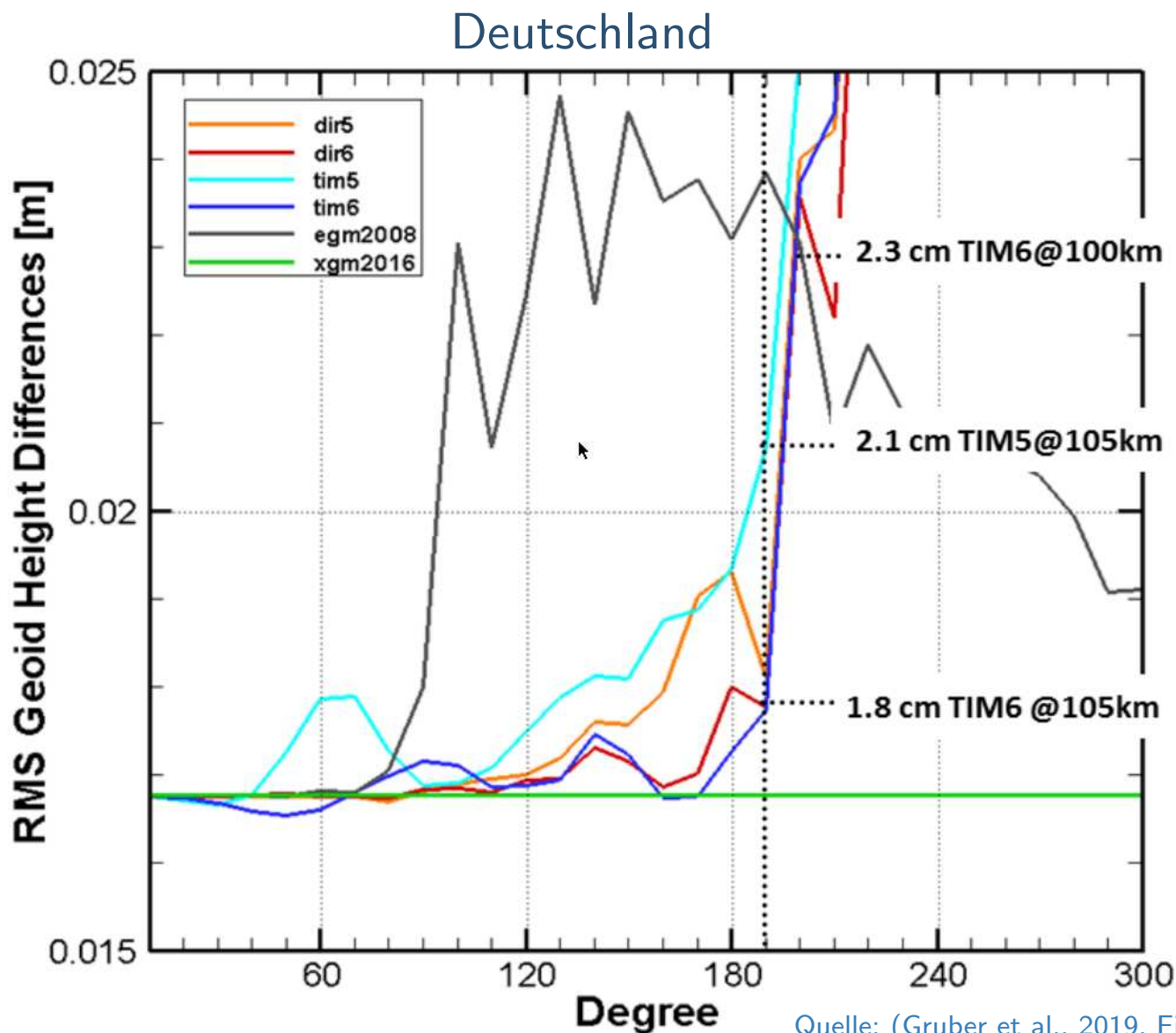
* durch externe Validierung mit EGM08



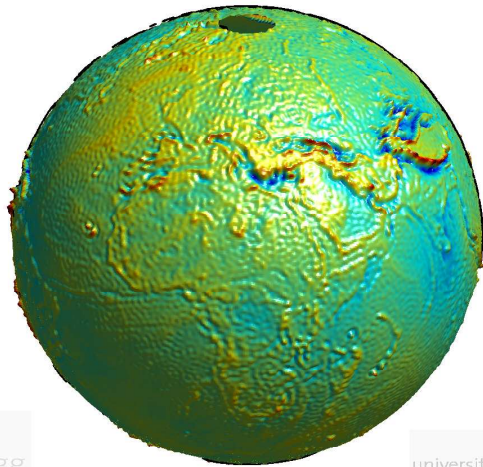
models	period	date of publication	#obs.	RMS $_{\Delta g}$ Atlantic/Germany	RMS $_N$ Atlantic/Germany
RL05	-20/10/2013	11/2014	440 M	0.67/0.73 mGal*	2.5/ 2.7 cm*
RL06	-20/10/2013	06/2019	440 M	0.55/0.70 mGal*	2.0/ 2.5 cm*

**Genauigkeitssteigerung von
RL05 auf RL06 zwischen 15-25%**

- Motivation/Ziele
- Die Idee
- Vorstudien
- Missionsvorbereitung
- Der Satellit
- Start
- nominelle Mission
- erweiterte Mission
- niederer Orbit
- GOCE - Nachbereitung
- Residuenanalyse
- alternative Verfahren
- Robuster Filter
- Daten TÜV
- Reprozessierung
- Modelle
- TIM06 vs GPS/Niv**
- TIM06 Ergebnisse
- Literatur



Quelle: (Gruber et al., 2019, Fig. 4-10)

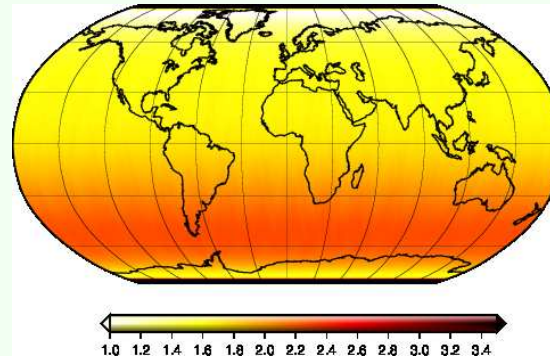


GOCE Schwerefeld

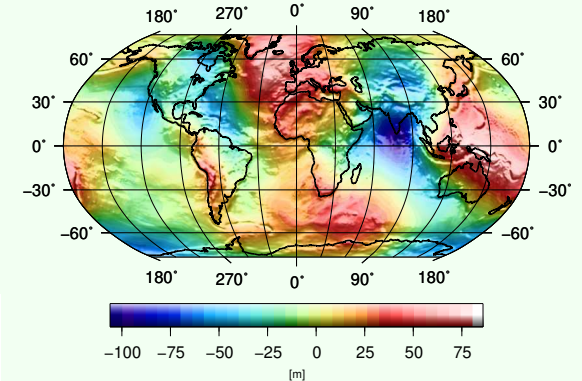
Geoidhöhen: ± 100 m
Genauigkeit: ± 1.5 - 2.2 cm
 ± 0.4 - 0.6 mgal
Auflösung: 100 km
 d/o 200

**homogene
globale Genauigkeit**

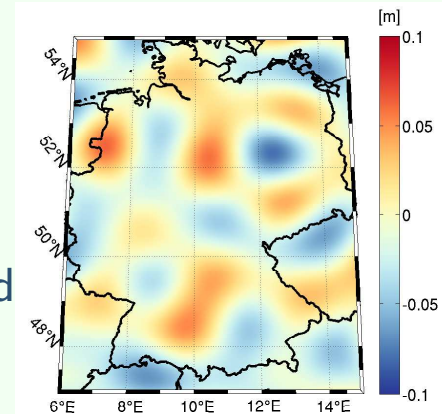
Schwerefeldmodell (90.000 Parameter)



externe Validierung
 TIM06-EGM2008: Deutschland
 (RMS: ± 2.5 cm)

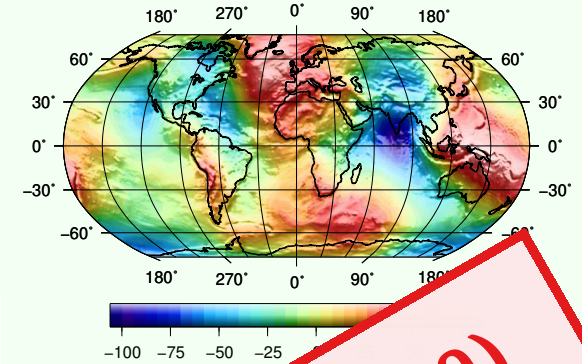
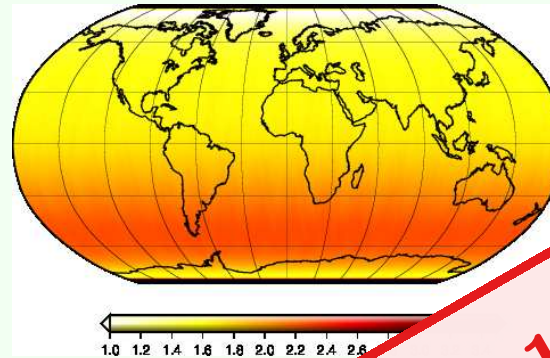


formale Genauigkeit
 (± 1.7 - 2.1 cm)



- konsistente Modellierung der Unsicherheiten
- volle Varianz/Kovarianz Information verfügbar

Schwerefeldmodell
(90.000 Parameter)



GOCE Schwerefeld

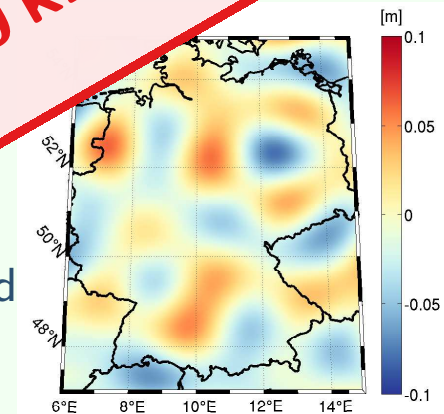
Geoidhöhen: ± 100 m
 Genauigkeit: $\pm 1.5-2.2$ cm
 $\pm 0.4-0.6$ mgal
 Auflösung: 100 km
 d/o 200

homogene
globale Genauigkeit

GOCE Ziel: 1 mGal, 1-2 cm 100 km (d/o 200)

Modellierung der Unsicherheiten

Manz/Kovarianz Information verfügbar





Messen schafft Wissen



Messen schafft Wissen

„Wer nichts weiß, muß alles glauben“

(Ebner-Eschenbach, 1893, Seite 21, § 6)



Prof. Reiner Rummel
wissenschaftlicher Leiter

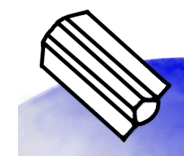


Thomas Gruber
HPF-Projektmanager



Rune Floberghagen
GOCE-Missionsmanager

Den Kollegen von:



REAL GOCE
GERMANY

Meinen Mitarbeitern
und Kollegen:



Thomas Auzinger
Johannes Mach
Walter Hausleitner
Günther Abwerzger
Gernot Plank



Christian Boxhammer
Jeff Ries
Boris Kargoll
Hamza Alkhatib
Christian Siemes

Jan Martin Brockmann
Silvia Becker/Müller
Ina Krasbutter/Loth
Lutz Roese-Koerner
Till Schubert
Johannes Korte

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Alkhatib, H. (2007): *On Monte Carlo methods with applications to the current satellite gravity missions*. Promotionsschrift, Promotion an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie und Geoinformation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Folge 7. URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5N-10783>.

Boxhammer, C. (2006): *Effiziente numerische Verfahren zur sphärischen harmonischen Analyse von Satellitendaten*. Dissertation, Promotion an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Mitteilungen aus den Geodätischen Instituten, Universität Bonn, Folge 94. URL http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2006/boxhammer_christian.

Brockmann, J. M. (2014): *On High Performance Computing in Geodesy – Applications in Global Gravity Field Determination*. Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Bonn, Germany. URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5n-38608>. BIBTEX.

Brockmann, J. M., N. Zehentner, E. Höck, R. Pail, I. Loth, T. Mayer-Gürr, W.-D. Schuh (2014): EGM_TIM_RL05: An Independent Geoid with Centimeter Accuracy Purely Based on the GOCE Mission. *Geophysical Research Letters*, 41(22):8089–8099. doi:10.1002/2014GL061904. BIBTEX.

Ebner-Eschenbach, M. v. (1893): *Aphorismen*. Paetel. URL [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aphorismen_Ebner-Eschenbach_\(1893\)_021.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aphorismen_Ebner-Eschenbach_(1893)_021.png).

Fehring, M., G. Andre, D. Lmarre, M. Damiel (2008): A Jewel in ESA's Crown. *esa bulletin*, 133:14–23.

GOCE-Flight-Control-Team (2014): GOCE End-of-Mission Operations Report. Technischer Bericht, ESA.

Gruber, T., X. Oikonomidou, S. Bruinsma, P. Visser, S. Mulet (2019): Release 6 GOCE Gravity Field Models Validation Report. Technischer Bericht GO-TN-HPF-GS-0337_1.0, The European GOCE Gravity Consortium (EGG.C).

Kaula, W. M. (1970): *The Terrestrial Environment Solid-Earth and Ocean Physics - Applications of Space and Astronomic Techniques*. Technischer Bericht, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Mass. Williamstownreport.

Motivation/Ziele

Die Idee

Vorstudien

Missionsvorbereitung

Der Satellit

Start

nominelle Mission

erweiterte Mission

niederer Orbit

GOCE -
Nachbereitung

Literatur

Krasbutter, I., J. M. Brockmann, B. Kargoll, W.-D. Schuh (2014): Adjustment of digital filters for decorrelation of GOCE SGG data. Flechtner, F., N. Sneeuw, W.-D. Schuh, (Hrsg.), *Observation of the System Earth from Space - CHAMP, GRACE, GOCE and future missions.*, Band 20 *Advanced Technologies in Earth Sciences, GEOTECHNOLOGIEN Science Report*, S. 109–114. Springer. doi:10.1007/978-3-642-32135-1_14. BIBTEX, PDF.

Pail, R., S. Bruinsma, F. Migliaccio, C. Förste, H. Goiginger, W.-D. Schuh, E. Höck, M. Reguzzoni, J. Brockmann, O. Abrikosov, M. Veicherts, T. Fecher, R. Mayrhofer, I. Krasbutter, F. Sansó, C. C. Tscherning (2011): First GOCE gravity field models derived by three different approaches. *J Geodesy*, 85(11):819 – 843. doi:10.1007/s00190-011-0467-x.

Schubert, T., J. M. Brockmann, W.-D. Schuh (2019): Identification of suspicious data for robuste estimation of stochastic processes. Sneeuw, N., P. Novák, M. Crespi, F. Sansò, (Hrsg.), *IX. Hotine-Marussi-Symposium, IAG Symposia*, Lecture Notes in Earth Science. Springer. doi:10.1007/1345_2019_80.

Schuh, W.-D. (1996): *Tailored numerical solution strategies for the global determination of the earth's gravity field*, Band 81 *Mitteilungen der Geodätischen Institute*. Technische Universität Graz (TUG), Graz. URL http://skylab.itg.uni-bonn.de/schuh/Separata/schuh_96.pdf. BIBTEX, PDF.

Schuh, W.-D. (2003): The processing of band-limited measurements; filtering techniques in the least squares context and in the presence of data gaps. *Space Science Reviews*, 108(1-2):67–78. doi:10.1023/A:1026121814042. BIBTEX, PDF.

Schuh, W.-D., J. Brockmann (2018): Numerical treatment of covariance stationary processes in least squares collocation. Freeden, W., (Hrsg.), *Handbuch der Geodäsie*, Band Mathematical Geodesy *Springer Reference Naturwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-46900-2_95-1. BIBTEX, PDF.

Schuh, W.-D., J. Korte (2017): Über die Genauigkeit von Schätzern für den Skalenparameter der Verteilungsfunktion. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN)*, 2017(6):186–196. BIBTEX, PDF.

Siemes, C. (2012): Digital Filtering Algorithms for Decorrelation within Large Least Squares Problems. *Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie und Geoinformation*, Band 32. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn. URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5N-13749>.