

# Astronomisches Institut 2011: Aktivitäten und Projekte

**T. Schildknecht, A. Jäggi, M. Ploner**  
**R. Dach und die GNSS-Forschungsgruppe**  
**G. Beutler**  
*Astronomisches Institut, Universität Bern*

**186. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission**  
**Montag, 31. Oktober 2011**  
**Skyguide, Dübendorf**

# AIUB: Aktivitäten und Projekte

## Inhalt:

- 1. Zimmerwald SLR**  
A. Jäggi, M. Ploner, J. Utzinger, ...
- 2. Zimmerwald CCD**  
T. Schildknecht, A. Vananti, C. Früh, ...
- 3. GNSS-Gruppe**  
R. Dach, S. Schaer, S. Lutz, ...
- 4. GOCE-HPF und LEO-Bahnbestimmung**  
H. Bock, A. Jäggi, U. Meyer
- 5. Globale Schwerefeldbestimmung**  
A. Jäggi, G. Beutler, U. Meyer

# Zimmerwald SLR

**A. Jäggi**

**M. Ploner, M. Prohaska, P. Ruzek, J. Utzinger**

# Laser Anpassungen

**Austausch der Pockelszelle.** Vor- und Nachpulse zum eigentlichen Laser Hauptpuls wurden sichtbar und haben insbesondere die Messungen zu tieffliegenden Satelliten kontaminiert (Mehrfachspuren). Seit dem Austausch am 27.1. werden diese meist wieder sehr gut unterdrückt.

**Service-Vertrag mit der Hersteller-Firma Thales.** Probleme mit dem Laser konnten im vergangenen Jahr immer frühzeitig erkannt und rasch behoben werden. Es kam zu keinem einzigen Ausfall des Systems!!

- Regelmässige Wartungen durch Thales (3x pro Jahr)
- On-site Einsatz bei plötzlich auftretenden Problemen innerhalb vertraglich festgelegten Fristen (war 2011 nicht notwendig)

# Software Entwicklungen

**Überarbeitung der Datenerfassungssoftware.** Im Zuge einer vollständigen Überarbeitung wurden

- Fortran Netzwerkrountinen auf C/C++ umgestellt, um eine stabilere Interaktion/Kommunikation zwischen den diversen Komponenten zu gewährleisten
- Alle Routinen auf einen neuen Server mit aktuell gehaltener Software (Betriebssystem, Compiler, Applikationen) portiert, um notwendige Revisionen für die neue, operationelle Umgebung durchzuführen

**Überarbeitung Lasersteuerungssoftware.** Im Zuge einer rigorosen Optimierung der zentralen Messsteuerung konnte die mögliche Anzahl Messungen nochmals weiter gesteigert werden.

**Rotierender Verschluss.** Die Ansteuerung des rotierenden Verschlusses konnte weiter verbessert werden, so dass der Empfangspfad für die von den Satelliten reflektierten Laserpulse nur für wenige Nanosekunden geöffnet ist.

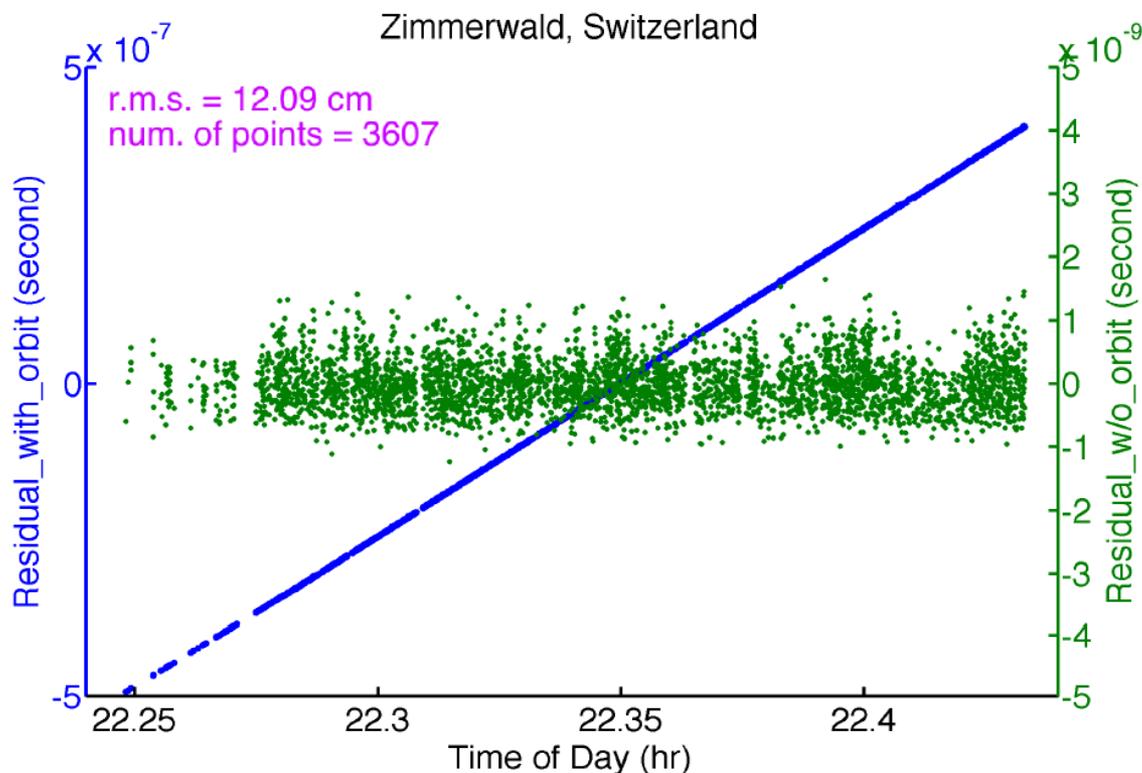
# Highlights

**Hochfliegende Satelliten.** Die Echo-Raten zu hochfliegenden Navigationssatelliten sind vielversprechend, so dass Zimmerwald zusammen mit den Stationen in Graz und in Herstmonceux seit Sommer 2011 die gesamte GLONASS Konstellation beobachtet.

→ Vorbereitung für das SLR-Tracking grosser Konstellationen von Navigationssatelliten (GPS, GLONASS, GALILEO, ...)

**Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO).** Seit 2009 werden regelmässig Einweg-Distanzmessungen durchgeführt. Zimmerwald ist beinahe jeden Tag von der NASA für mindestens einen Durchgang pro Tag eingeteilt (Dauer jeweils ca. 30 bis 45 Minuten).

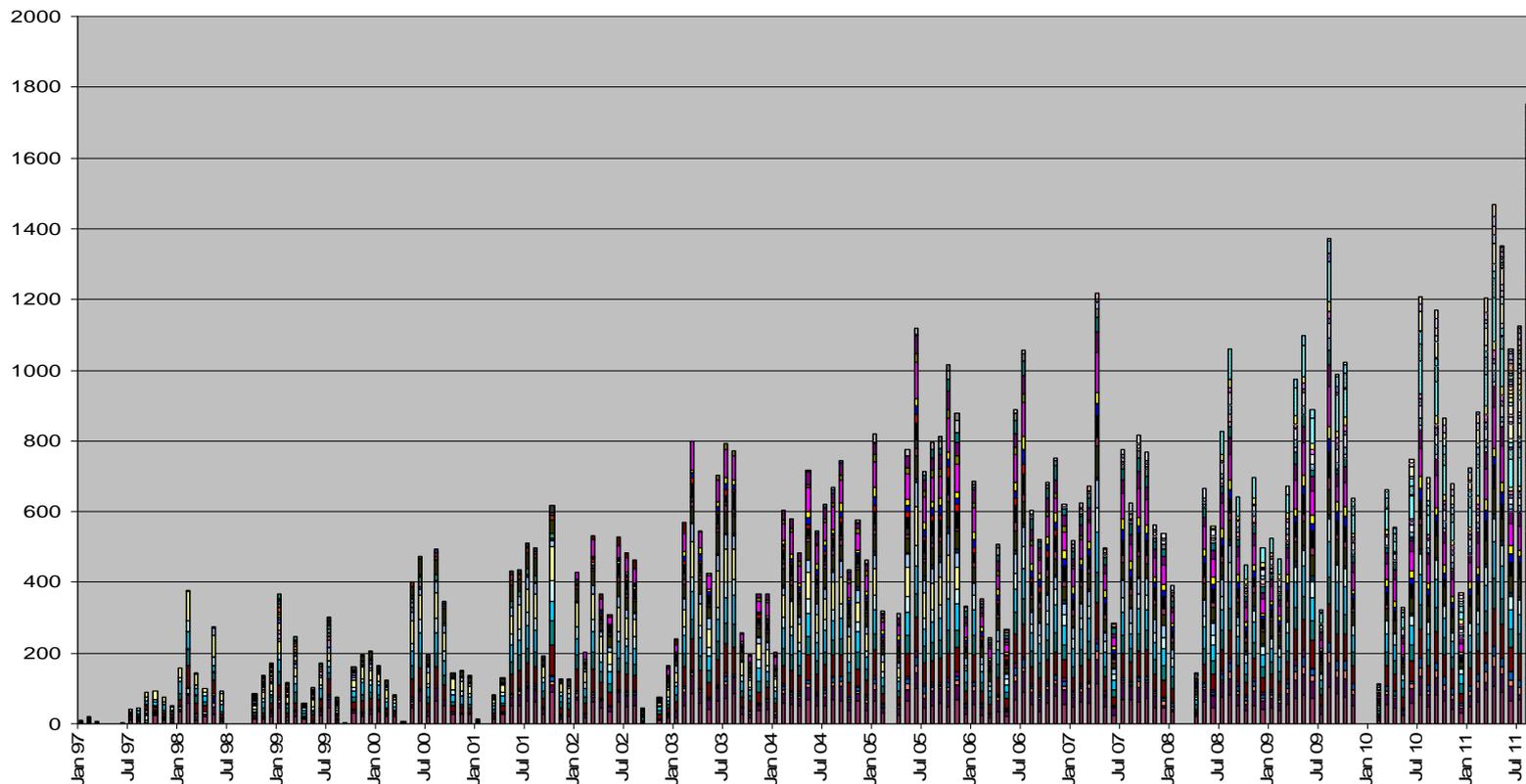
# LRO Tracking



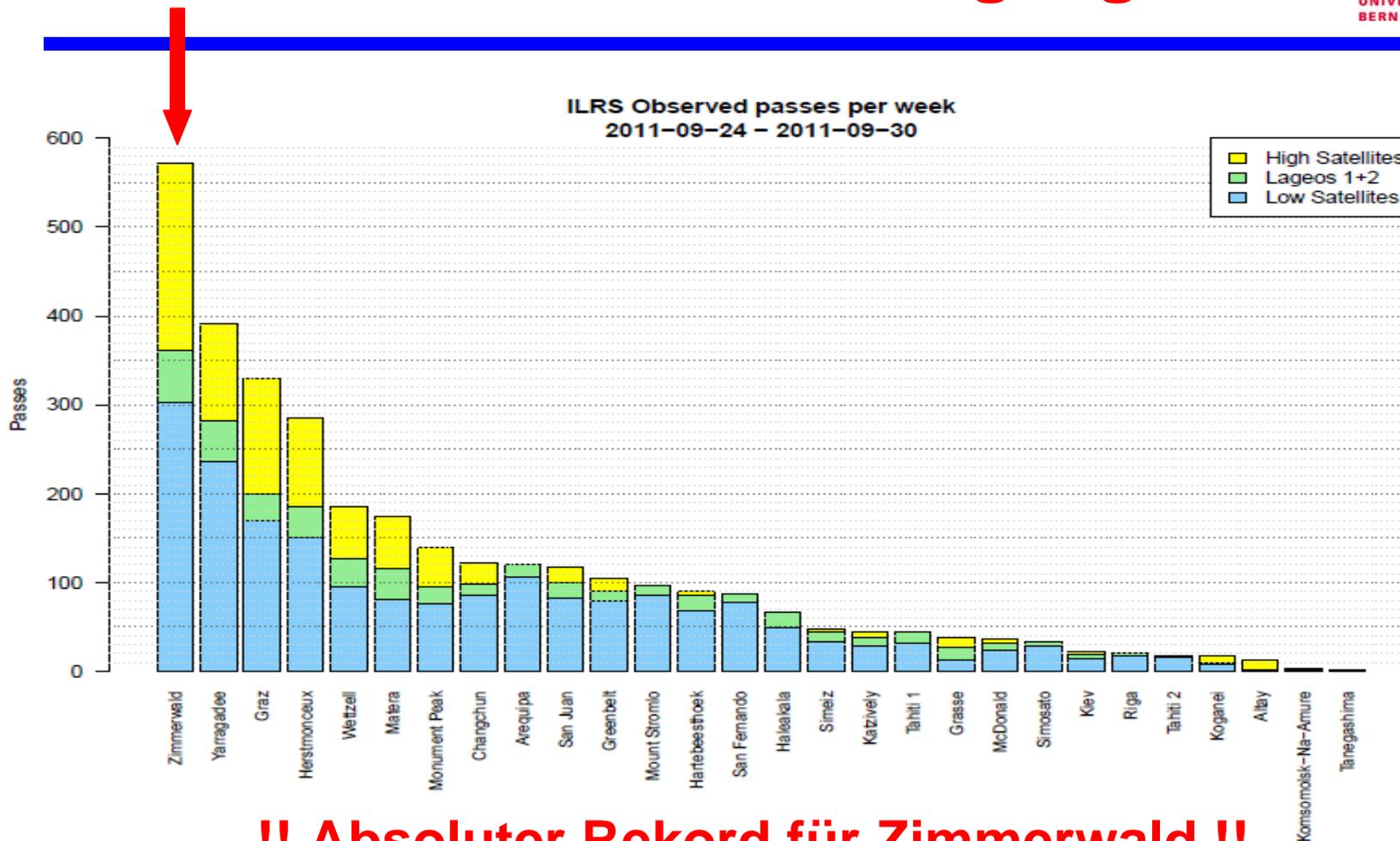
**Messungen von Zimmerwald haben eine sehr niedrige Streuung. Seit dem Missionsbeginn sind mehr als 800 Minuten Beobachtungen gesammelt worden.**

# Beobachtete Durchgänge

Zimmerwald: Number of Observed Passes Per Month

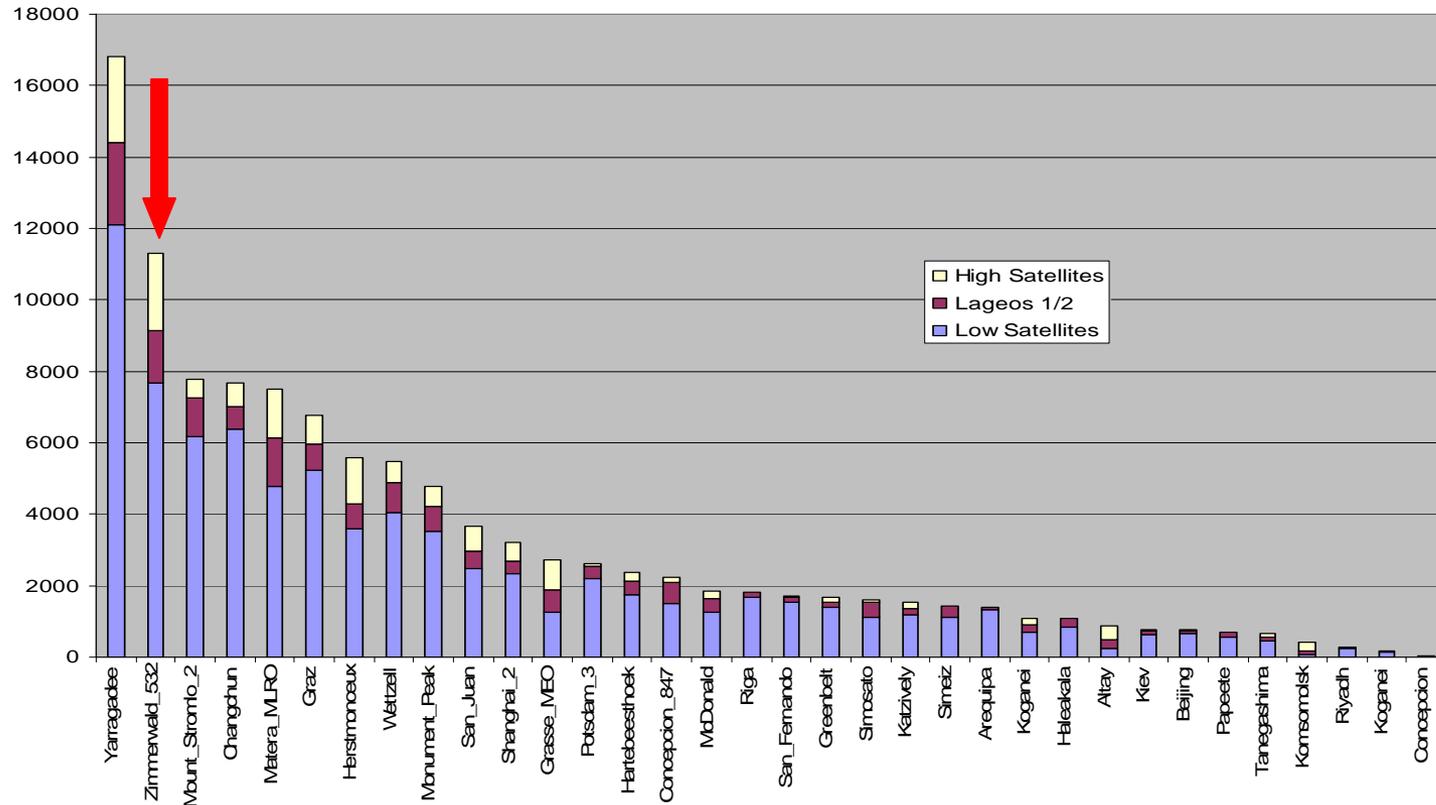


# Beobachtete Durchgänge



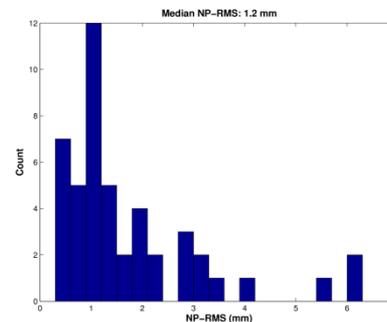
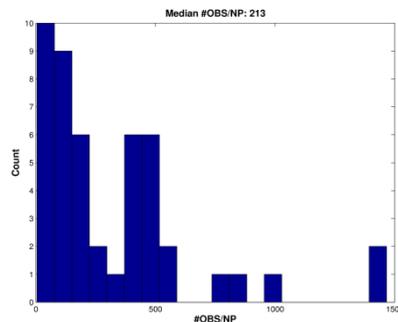
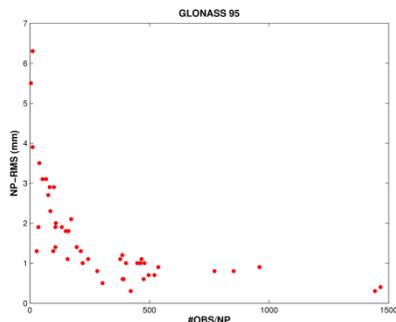
# Beobachtete Durchgänge

ILRS Station Performance: Number of Observed Passes  
July 2010 - June 2011



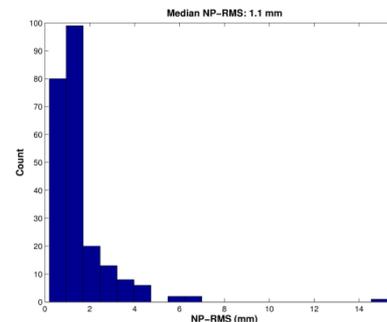
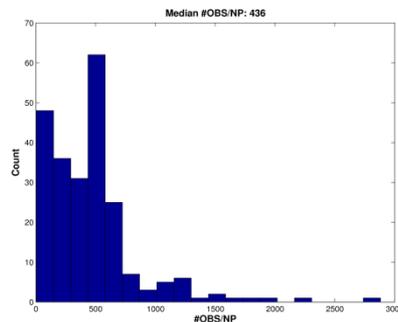
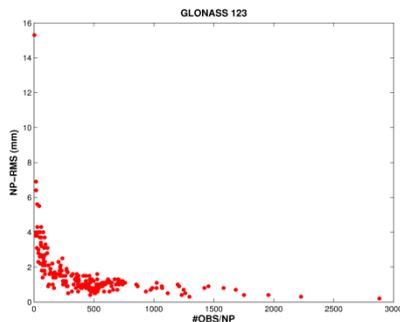
# GLONASS Tracking

## Juni-August: Schlechtestes Beispiel:



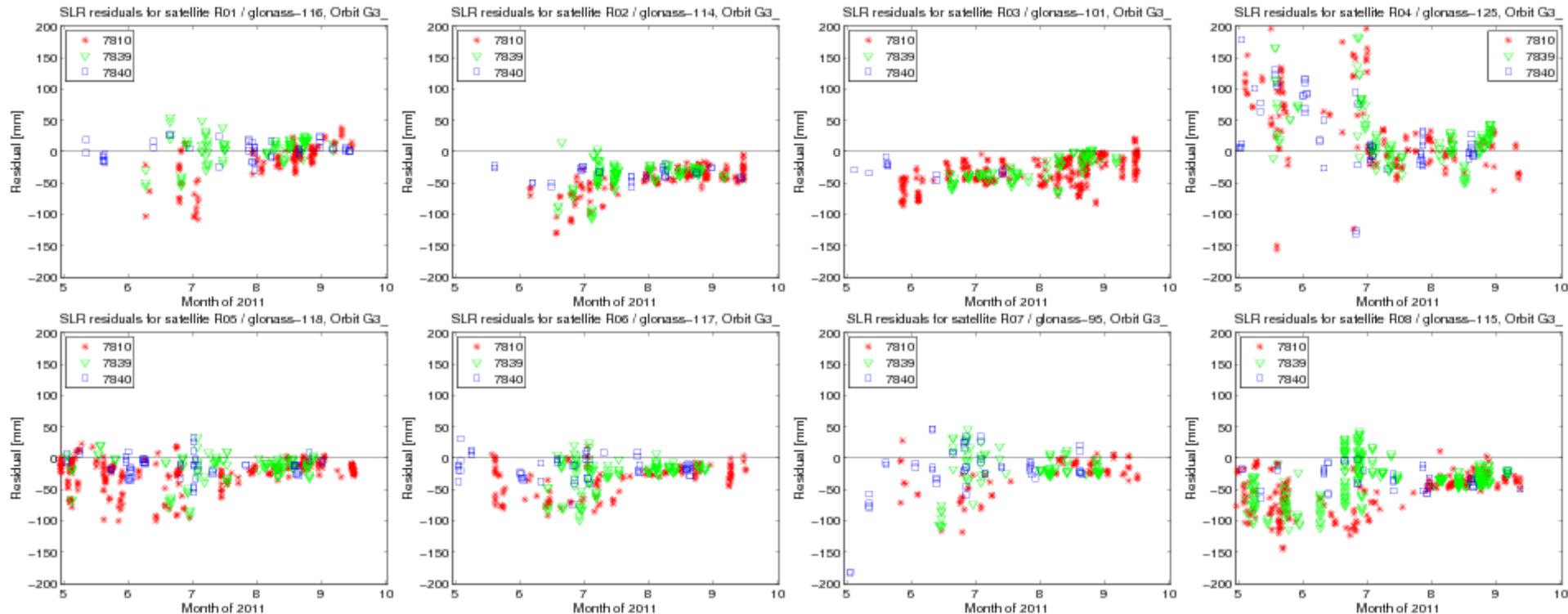
- GLONASS 95
- 21 Durchgänge
  - Median #NP/pass: 2
  - Median #OBS/NP: 213
  - Median NP RMS: 1.2 mm

## Juni-August: Bestes Beispiel:



- GLONASS 123
- 55 Durchgänge
  - Median #NP/pass: 3
  - Median #OBS/NP: 436
  - Median NP RMS: 1.1 mm

# GLONASS Tracking



ZIML, GRZL, HERL sehen alle im wesentlichen ähnliche Systematiken in den SLR Residuen (jeweils basierend auf GNSS Bahnlösungen von CODE)

Astronomisches Institut

**AIUB**

# Zimmerwald CCD

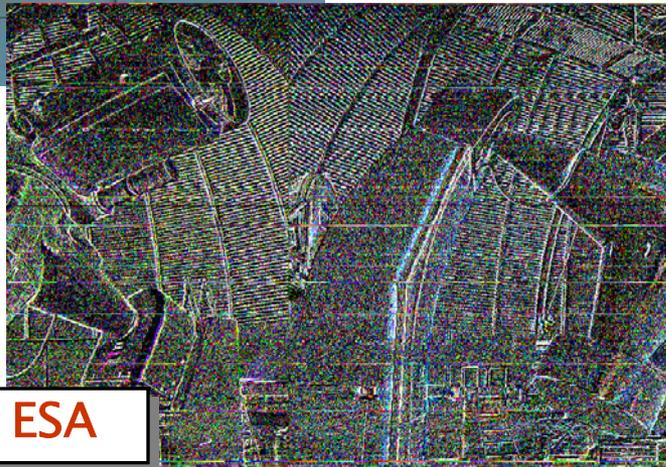
**T. Schildkencht**

**C. Früh, J. Herzog, A. Hinze, M. Ploner, A. Vananti**

# Teleskope

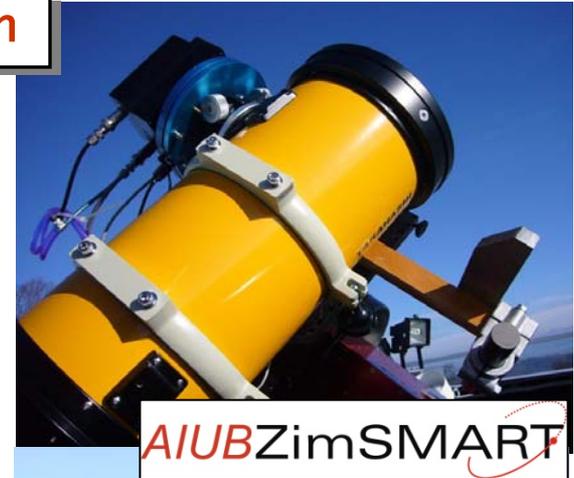


1-m ZIMLAT



1-m ESA

0.2-m



AIUB ZimSMART



0.3-m

Astronomisches Institut

**AIUB**

# Beobachtungen mit ZIMLAT

Zeitraum	Anzahl Nächte mit CCD-Beobachtungen	Anzahl erfolgreicher Beobachtungen	Anzahl beobachteter Objekte
1.10.2002 – 30.09.2003	80	2'200	30
1.10.2003 – 30.09.2004	110	5'900	80
1.10.2004 – 30.09.2005	150	16'400	190
1.10.2005 – 30.09.2006	170	12'800	270
1.10.2006 – 30.09.2007	170	16'000	257
1.10.2007 – 30.09.2008	154	17'400	282
1.10.2008 – 30.09.2009	173	18'722	329
1.10.2009 – 30.09.2010	145	30'378	266
1.10.2010 – 30.09.2011	157	21'544	330

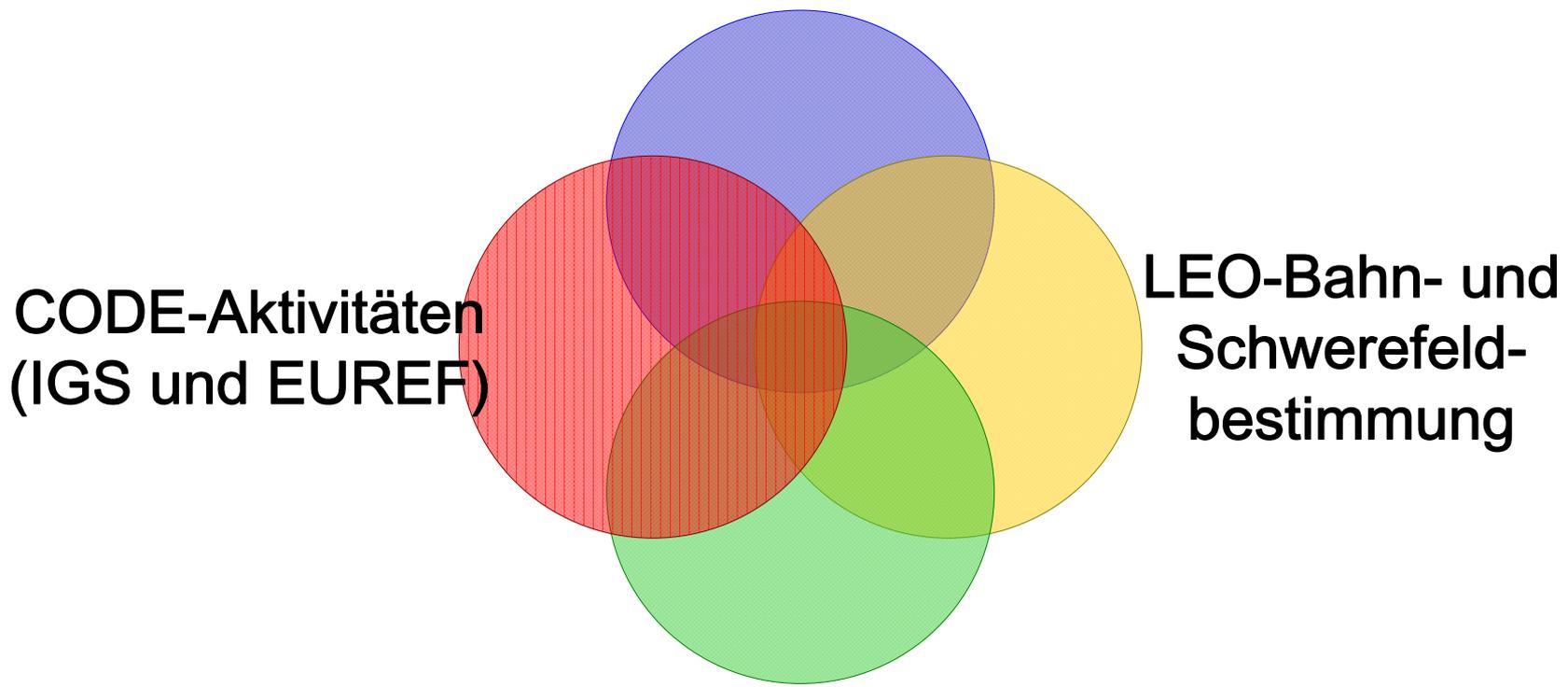
# Aktivitäten in der GNSS- Forschungsgruppe

**R. Dach**

**H. Bock, A. Jäggi, S. Lutz, M. Meindl, U. Meyer,  
E. Orliac, L. Ostini, L. Prange, U. Meyer,  
S. Schaer, K. Sosnica, D. Thaller, P. Walser**

# Vier Pfeiler der Aktivitäten

Bernese Software

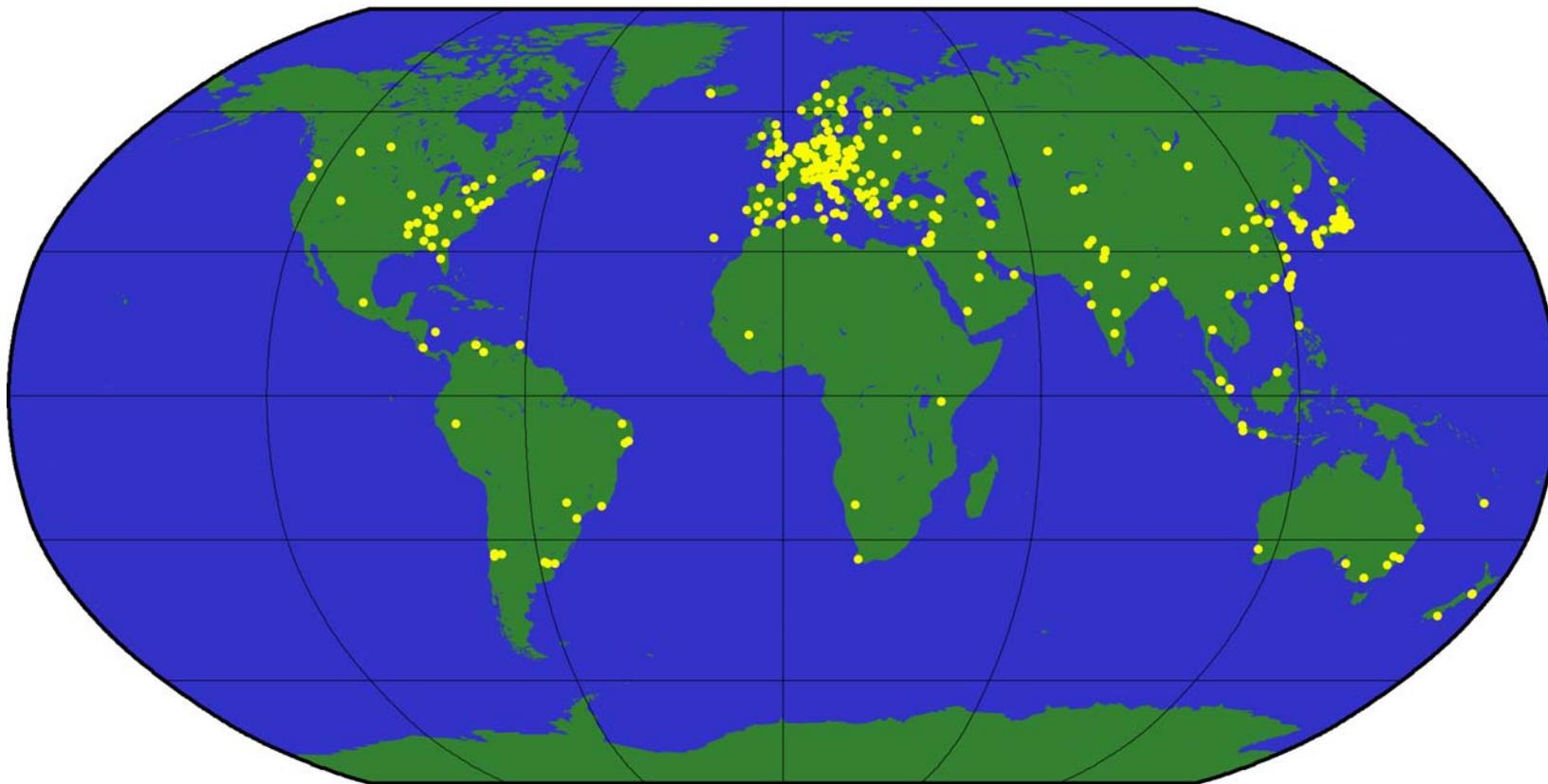


SLR-Auswertung

Astronomisches Institut



# Bernese Software



GMD 2010 Nov 02 13:47:10 Geographical Distribution of Institutions using the Bernese GPS Software

Astronomisches Institut

**AIUB**

- **November 2010: Ankündigung einer Version 5.2**
- **Auslieferung auf Ende 2011 geplant**
- **Entwicklungen im Jahre 2011:**
  - **Galileo mit zwei Frequenzen**
  - **GLONASS-Mehrdeutigkeitslösung**
  - **Umsetzung der IERS 2010 Konventionen**
  - **sehr viele „Kleinigkeiten“ ...**

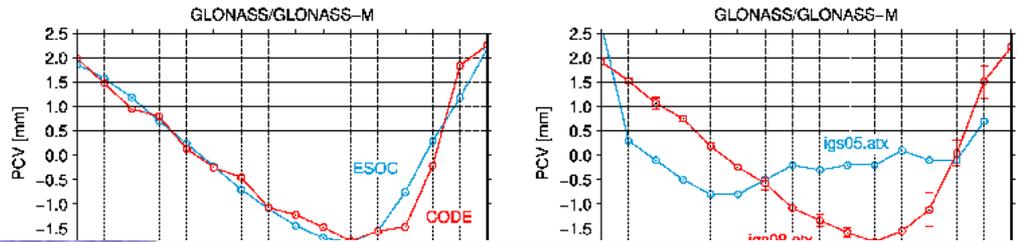
# CODE: neueste Entwicklungen

- **GLONASS-Satellitenkorrekturen für IGS08.ATX**  
reprocessing der Daten von Mai 2003 bis Jan.2011  
Vergleich und Kombination mit ESA-Lösung
- **GPS/GLONASS-Bias**  
für Koordinaten und Troposphäre, nur final
- **GLONASS Mehrdeutigkeitslösung**  
alle Strategien, die kein Kode brauchen
- **Umstellung von IGS05 auf IGS08 Referenz**  
final, rapid und ultra-rapid

# IGS08.ATX: Satellitenantennen

## Phase center variations

- excellent agreement between both AC solutions; differences below 1 mm (Fig. 4)
- exceptional PCVs for R714 due to anomaly in L2 signal (Dilssner et al. 2010)
- significant deviations from igs05.atx values; up to 4 mm for R714 (Fig. 5)



## Updating the IGS processing standard: new GLONASS satellite antenna phase center offsets

Florian Dilssner<sup>1</sup>, Rolf D. European Space Operations Centre,

**Introduction**  
In view of the forthcoming introduction of a new terrestrial reference and a new consistent antenna phase center model (igs08.atx) standards of the International GNSS Service (IGS), the IGS and the European Space Agency's Operations Centre (ESA/ESOC) have agreed to update the IGS antenna phase center offsets (PCOs) and antenna phase center variations (PCVs) for the GLONASS system. Both AC solutions were generated rigorously combined, multi-IGS processing scheme using the IGS and the GLONASS system. Therefore, the PC receiving antennas as well as for the transmitting antennas of all satellites were fixed to their igs08.atx values. The reference is ITRF2008/IGS08. Further processing details are given below (see also Dilssner et al. 2010).

**Background: Why updating the GLONASS satellite antenna phase center offsets?**  
• individual z-PCOs for the majority of GLONASS-M satellite "igs08.atx" due to modernization of the GLONASS space segment  
• ~1 ppb scale difference between ITRF2005 and ITRF2008 ans  
• the fact that two (rather than only one) ACs are involved in video enhanced redundancy  
• increased global availability  
• of tracking sites (Fig. 1) and  
• GLONASS-specific receiver antenna corrections ensure better modeling accuracy  
Fig. 1: Evolution of the GLONASS track

**Phase center z-offsets**  
• adequate agreement between the two AC solutions (Fig. 2) cm, most likely due to different tropospheric models used  
• significant deviations from igs05.atx values, mainly scale of terrestrial scale change (Fig. 3)  
Fig. 2: PCVs from CODE and ESOC  
Fig. 3: Average z-PCOs for ESOC

**References**  
Dilssner F., Schwab R., Schwab M., Thaler D., Scharn G., Lutz G., S. Bana G., Beutler G. (2011): Improved antenna phase center model for GPS Solid 15 (1): 49-55  
Dilssner F., Springer T., Fehrer C., Dow J. (2010): Estimation of PCVs for GLONASS-M satellite antennas. J Geod 84 (3): 487-498

Table 1 Processing strategies of CODE and ESOC	
AC	CODE
GLONASS stations	30 to 40 in 2003, monthly in 1
GLONASS satellites	R710, R711-738, R763-782
Time interval	08 June 2003 - 30 January 2004
Software	Bernese GPS Software
Data	double-difference GPS/EGNOS
Sampling rate	30 seconds
Elevation cut-off angle	2°
Orbiting	iteration-dependent rough
Ambiguity fixing	GPS-only (85-90% per day)
Inter-frequency biases	implicitly, assumption of cor
Station coordinates	fixed to IGS08 solution, con
Orbits	72-hour arcs, 6 initial epochs
Earth rotation	piece-wise linear modeling
Tropospheric refraction	first order effect eliminated by removing
Topographic refraction	a priori PCOs computed with formula of Swartz
Satellite antenna PCOs	satellite-specific z-offset estimation for GLONASS
Satellite antenna PCVs	block-specific estimation (common parameters)
Receiver antenna PCOs/PCVs	fixed to igs08.atx values, frequency-specific cor

- adequate agreement between the two AC solutions (Fig. 2) cm, most likely due to different tropospheric models used
- significant deviations from igs05.atx values, mainly scale of terrestrial scale change (Fig. 3)

## Validation

- Inherent scale inconsistency in igs05.atx between GPS and GLONASS z-PCOs; results in "terrestrial inter-system scale bias" of 1 ppb (Dilssner et al. 2010); bias smaller than 0.2 ppb when applying igs08.atx (Fig. 6)
- improvement of internal orbit consistency when using IGS08 + igs08.atx (Fig. 7)

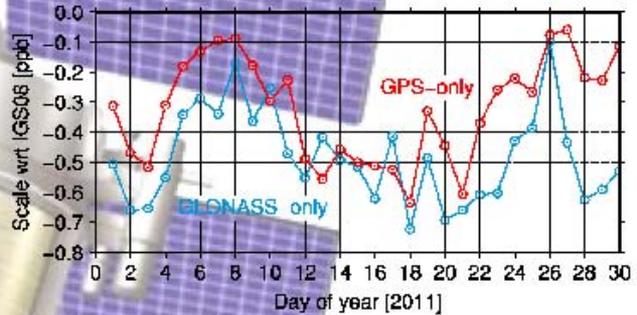


Fig. 6 Daily terrestrial scale bias wrt IGS08

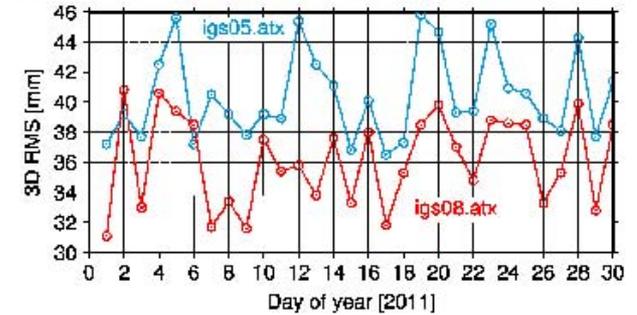


Fig. 7 RMS from GPS/GLONASS orbit overlaps

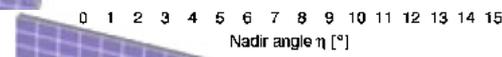


Fig. 4 Estimated PCVs from CODE and ESOC

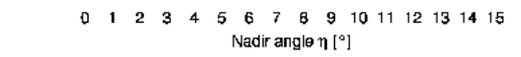
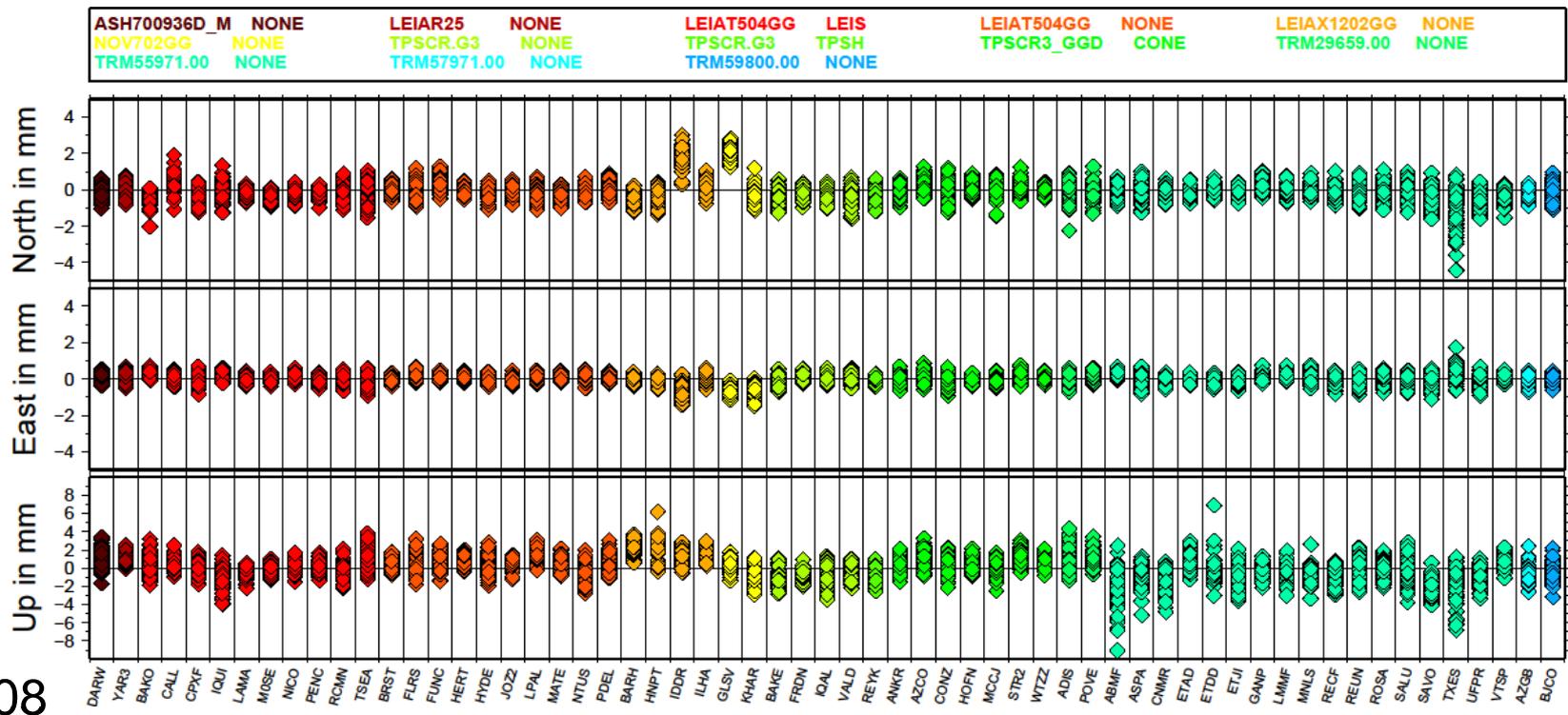


Fig. 5 Averaged PCVs for igs08.atx with error bars indicating the difference between CODE and ESOC compared to igs05.atx values

# GPS/GLONASS-Bias

GPS/GLONASS-Bias in den Wochenlösungen der Koordinaten  
(Differenz zwischen zwei Lösungen mit und ohne Biasschätzung)

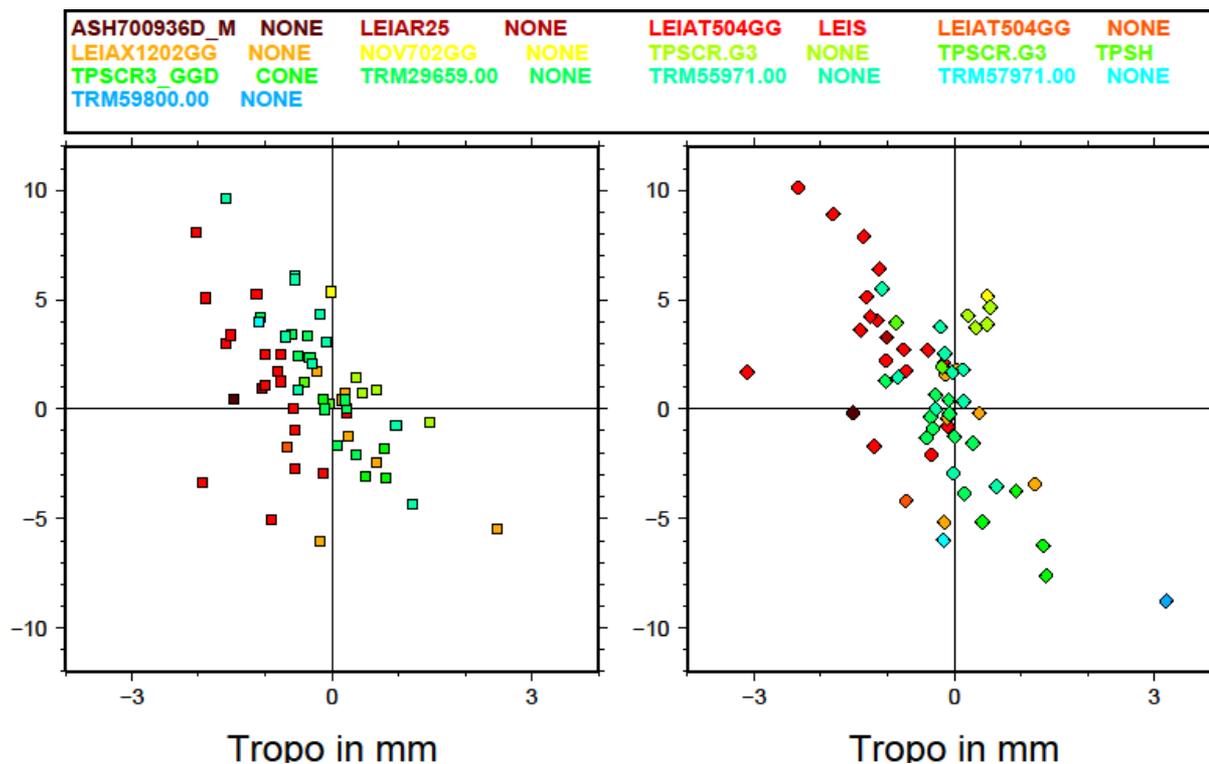
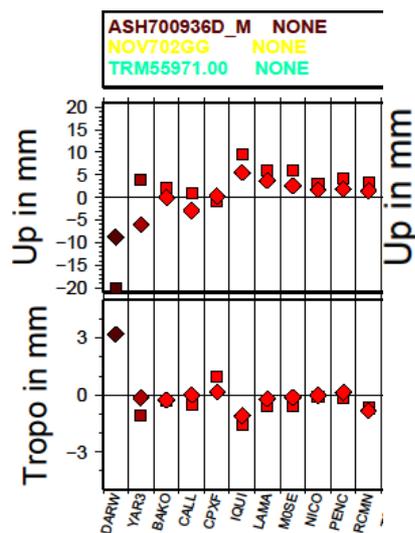


# GPS/GLONASS-Bias

Vergleich der mittlere GPS/GLONASS-Bias (2003-2010)  
für Stationshöhe und Troposphäre

IGS05: 

IGS08: 



Astronomisches Institut

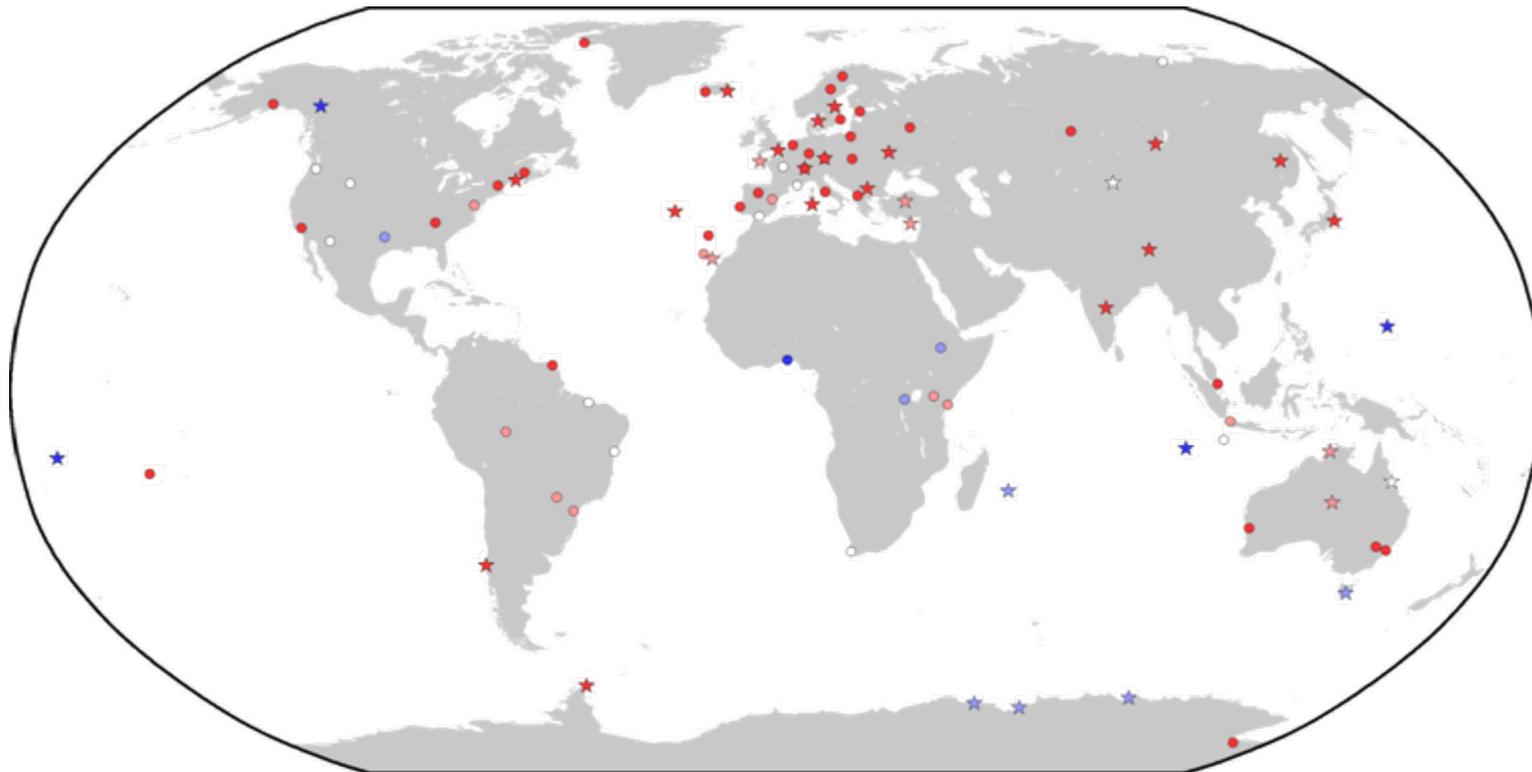
**AIUB**

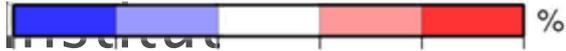
## Combined Analysis of Observations from Different Global Navigation Satellite Systems

- Ausführliche Darstellung der Beobachtungsgleichung im Falle mehrerer Systeme
- Was muss eine echte multi-GNSS-Software können?
- Experiment Mehrsystemauswertung
  - Untersuchung des Einflusses der Sessionslänge auf die Ergebnisse
  - Vergleich der Qualität der GPS, GLONASS und der kombinierten GPS/GLONASS Lösungen

# Meindl: GPS/GLONASS-Kombination

92 global verteilte GPS/GLONASS Stationen (2008–2010)



Astronomisches  %

50 60 70 80 90 100

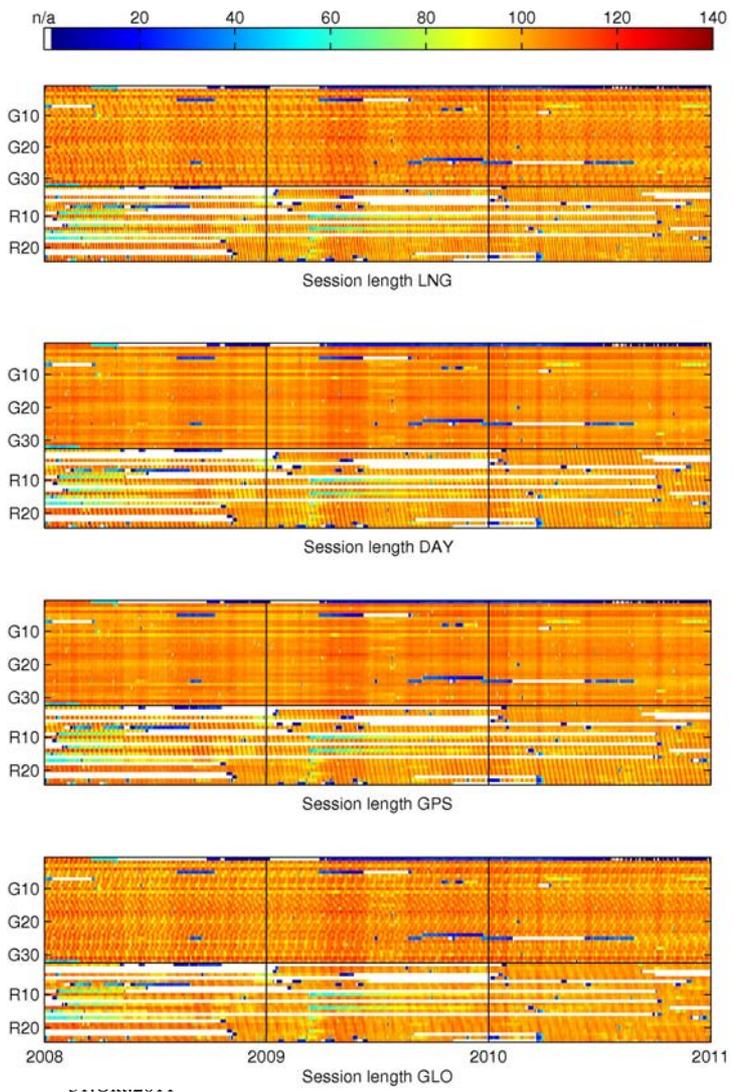
25

**AIUB**

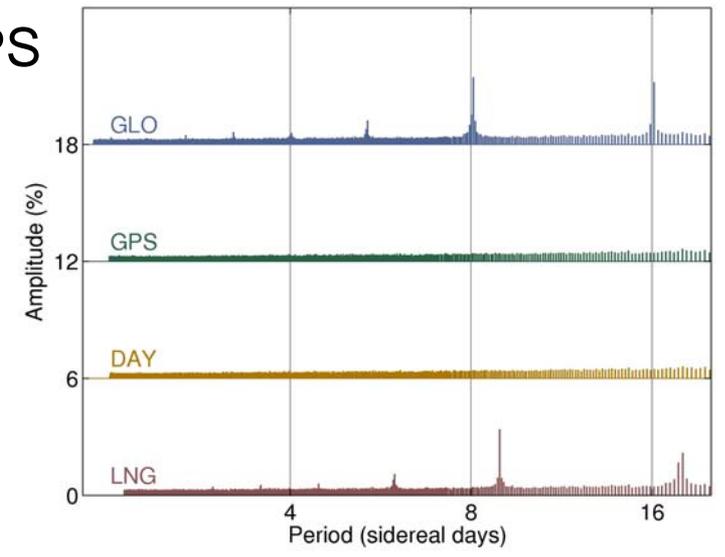
# Meindl: Lösungstypen

ID	entspricht	Sessionslänge in		# Sessions
		Sterntagen	h, min, s	
LNG				
DAY	ID	Charakteristik		
GPS	GPS	nur GPS		
GLO	GLO	nur GLONASS		
	CMB	GPS/GLONASS, ein konstanter ISB pro Session		
	NEQ	GPS/GLONASS, ein ISB jede Epoche, Einzellösungen unkorreliert		

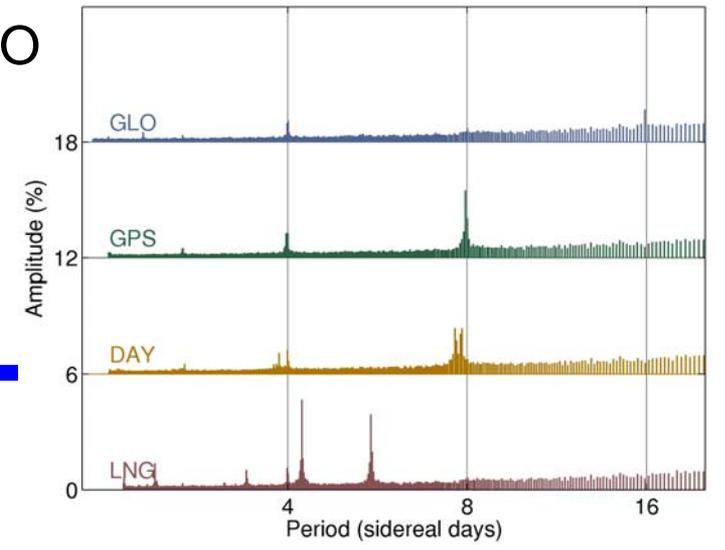
# Meindl: Verfügbare Beobachtungen



## GPS



## GLO



cut

# Meindl: Stationskoordinaten

- Wiederholbarkeit: Median (in mm)

Lösung	Session LNG				Session DAY			
	N	E	U	Total	N	E	U	Total
CMB	2.2	2.1	5.4	3.6	2.1	2.1	5.6	3.6
NEQ	2.1	2.1	5.5	3.7	2.1	2.1	5.6	3.6
GPS	2.2	2.1	5.7	3.9	2.2	2.2	5.8	4.0
GLO	4.5	5.4	9.9	7.1	4.6	5.7	9.7	7.3

Lösung	Session GPS				Session GLO			
	N	E	U	Total	N	E	U	Total
CMB	2.1	2.1	5.6	3.7	2.2	2.1	5.6	3.7
NEQ	2.1	2.1	5.6	3.7	2.2	2.1	5.6	3.8
GPS	2.2	2.2	5.8	3.9	2.3	2.1	6.0	4.0
GLO	4.7	5.5	10.2	7.5	4.8	5.7	10.6	7.7

## Combined Analysis of Observations from Different Global Navigation Satellite Systems

- Ausführliche Darstellung der Beobachtungsgleichung im Falle mehrerer Systeme
- Was muss eine echte multi-GNSS-Software können?
- Experiment Mehrsystemauswertung

Die Arbeit wird in der Reihe „geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz“ erscheinen.

# Start von Galileo

---

**Das AIUB ist am TGVF-OVF beteiligt.**

# GGSP/TGVF-OVF

---

## GGSP (Galileo Geodetic Service Provider prototype)

- 2006 – 2009
- Focus on provision of the Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)
- Regular processing scheme

## TGVF-OVF (Time and Geodetic Validation Facility – Orbit Validation Facility)

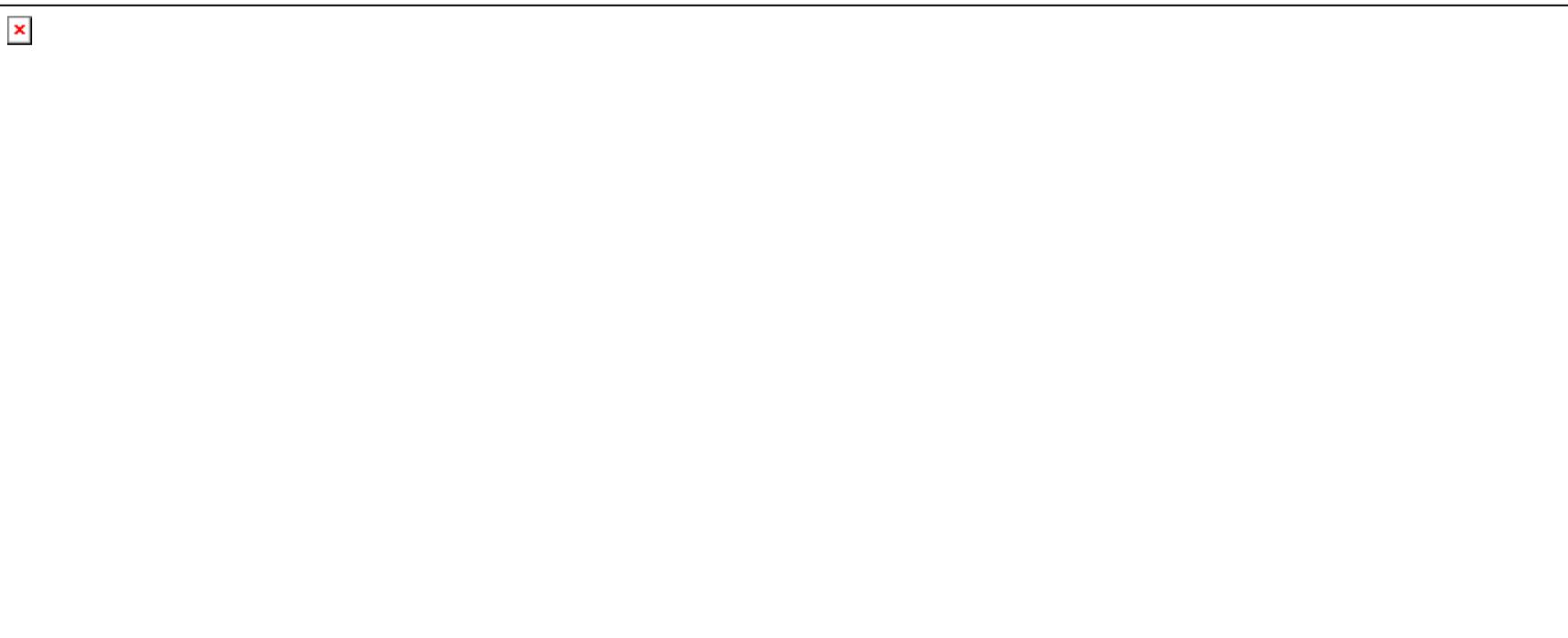
- 2010 – 2012; GGSP follow-on project
- Provision of reference frame, orbits, clock corrections, troposphere, ionosphere maps, SLR orbit validation, SRP coefficients, biases

# TGVF/OVF: consortium

- **GeoForschungsZentrum Potsdam**
  - Lead
  - Data/product database
  - Processing facility (EPOS)
  - Combination facility for orbits/clocks (IGS software)
- **European Space Operation Center, Darmstadt**
  - Processing Facility (NAPEOS)
- **Astronomical Institute, University of Bern**
  - Processing Facility (Bernese Software)
- **Institut Géographique National, Paris**
  - Combination facility for coordinates (CATREF)
  - Long-term combination to generate GTRF releases
- **Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main**
  - Combination facility for troposphere, ionosphere

# TGVF/OVF: Network design

- About 110 IGS tracking stations (GPS measurements)
- 18 G(E)SS (Galileo (Experimental) Sensor Stations) (GPS+GALILEO measurements)



# TGVF-OVF: Satellites used for OVF

GPS satellite fleet

+

**GALILEO** technology demonstration and validation satellites



**GIOVE-A**

launched  
in 2005



**GIOVE-B**

launched  
in 2008



**GALILEO IOV 1/2**

launched  
in October 2011

Astronomisches Institut

**AIUB**

# Uhrmodellierung

---

## Station and Satellite clock modelling for GNSS

Projekt für ESA zusammen mit ETH und TUM

Kann man die GNSS-Lösungen durch Reduktion der Anzahl von Uhrparametern verbessern?

# Can clocks be modelled?

AA: epoch-wise clock parameters

AB: offset + drift

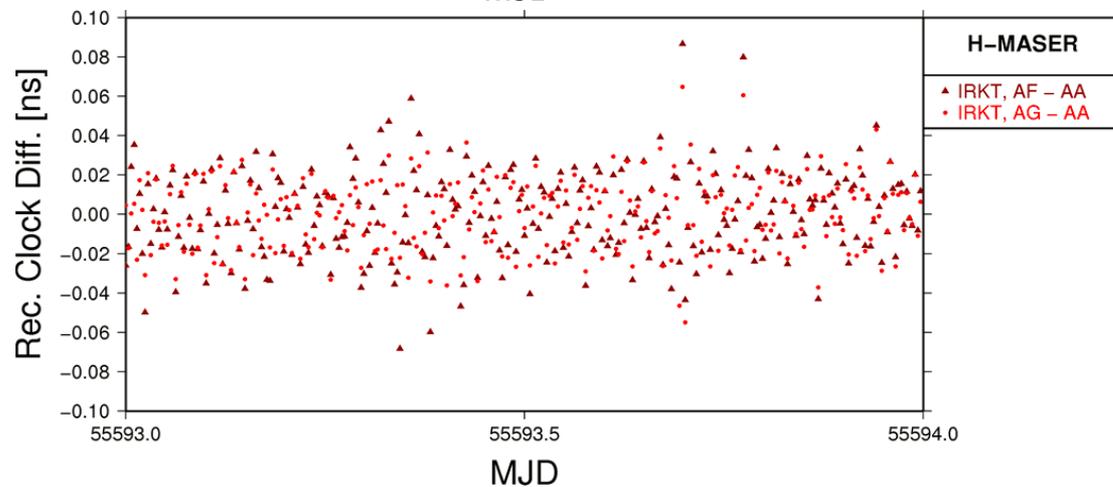
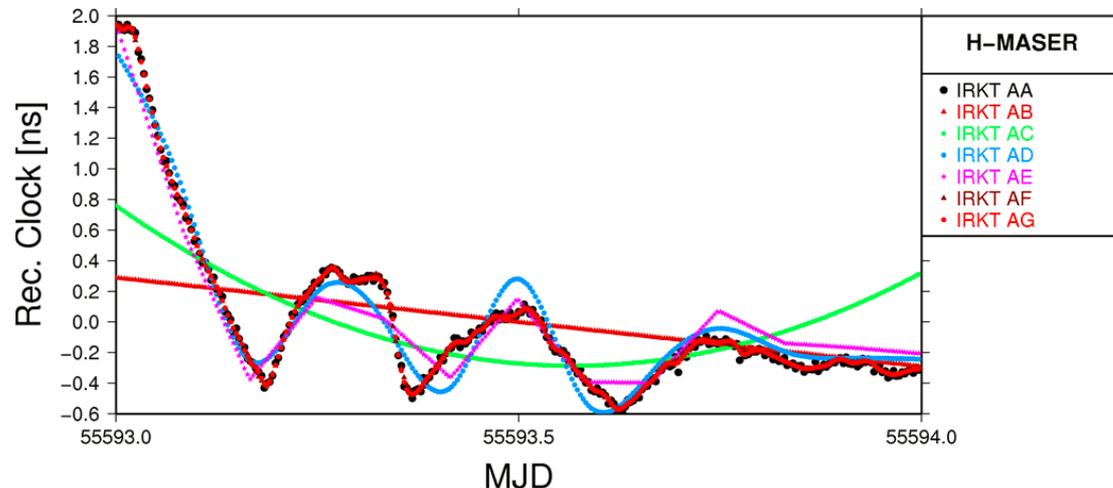
AC: offset + drift + quadratic term

AD: LSCS, 12 intervals

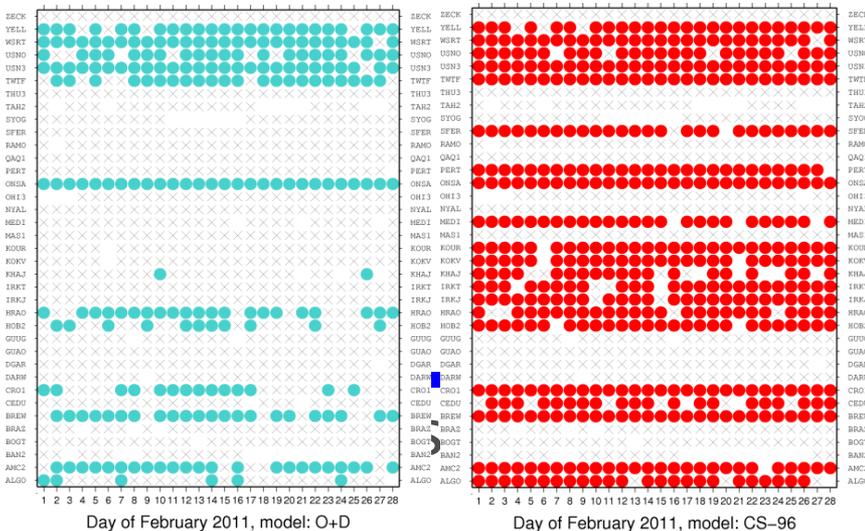
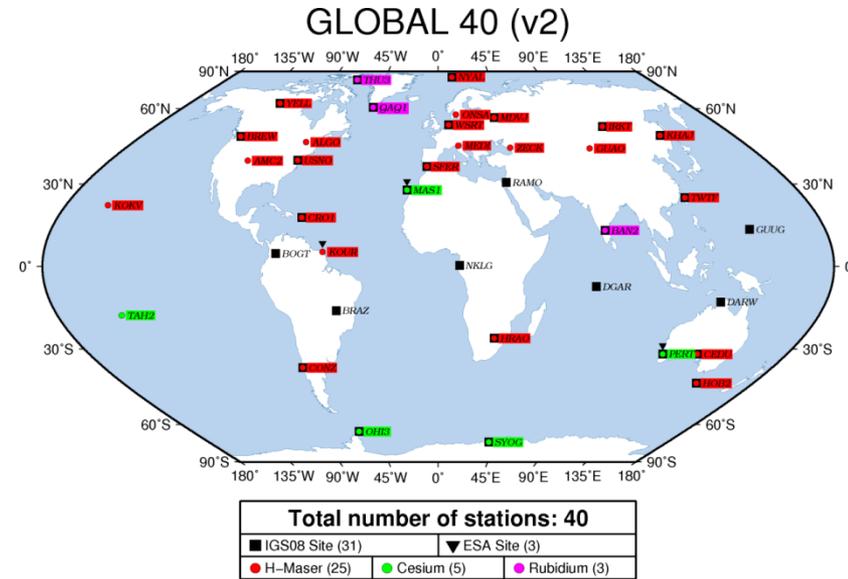
AE: piece-wise linear, 12 intervals

AF: piece-wise linear, 96 intervals

AG: LSCS, 96 intervals



# Can clocks be modelled?



40 stations network processed over Feb. 2011

The two plots indicate when, based on the PPP preliminary step, whether a station clock was transformed on a specific day

The RMS threshold was set to 50 ps

Left plot: model is offset + drift (2 parameters over 24 hours)

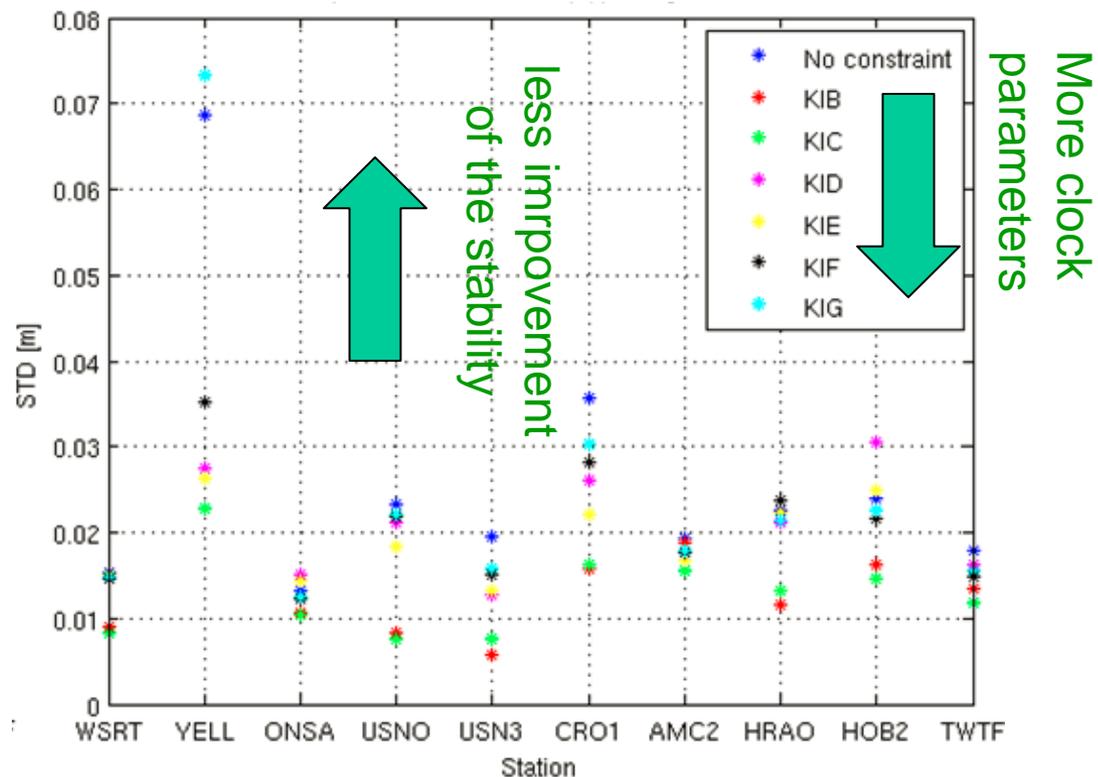
Right plot: LSCS with 15 min knot spacing (97 parameters over 24 hours)

Percentage of transformed station/day is 25.2% versus 55.2% over the entire period

For the simpler model, only HM were transformed whereas for the LSCS-96, 5% of the transformed stations were Rb

# Kinematic PPP

Stability of the estimated Up component  
 in a kinematic PPP  
 for stations driven  
 by a stable H-Maser



# Uhrmodellierung

## Station and Satellite clock modelling for GNSS

Projekt für ESA zusammen mit ETH und TUM

Kann man die GNSS-Lösungen durch Reduktion der Anzahl von Uhrparametern verbessern?

- Grösster Einfluss bei kinematischer Lösung (Höhe), wenn wenige Parameter zur Darstellung der Uhr ausreichen
- Geringer Einfluss bei anderen Parametern (CRD, ORB, ...)

**Ändert sich das Bild, wenn wir gute (modellierbare) Uhren in den GNSS-Satelliten haben?**

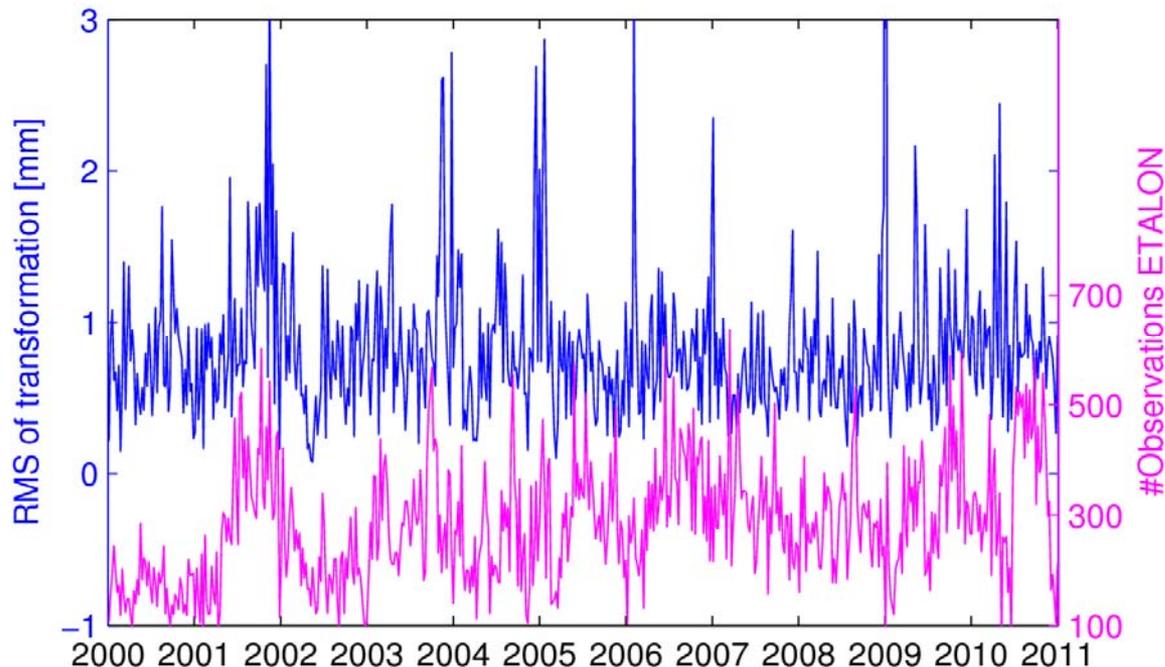
# SLR-Auswertung am AIUB

## Schwerpunkt der Arbeiten am AIUB:

- **Gemeinsame, konsistente Auswertung von SLR- und GNSS-Messungen zu kombinierten Lösungen**
  - Referenzrahmen
  - (zusätzliche) Verbindung der Techniken im Weltraum
  - Bestimmung von speziellen Parametern (z.B. GNSS-Satellitenantennenoffsets)
- **Lösungen, die am AIUB berechnet wurden**
  - GNSS(MW)
  - GNSS(MW) + GNSS(SLR)
  - GNSS(MW) + GNSS(SLR) + LAGEOS(SLR)
  - GNSS(MW) + GNSS(SLR) + LAGEOS(SLR) + ETALON(SLR)

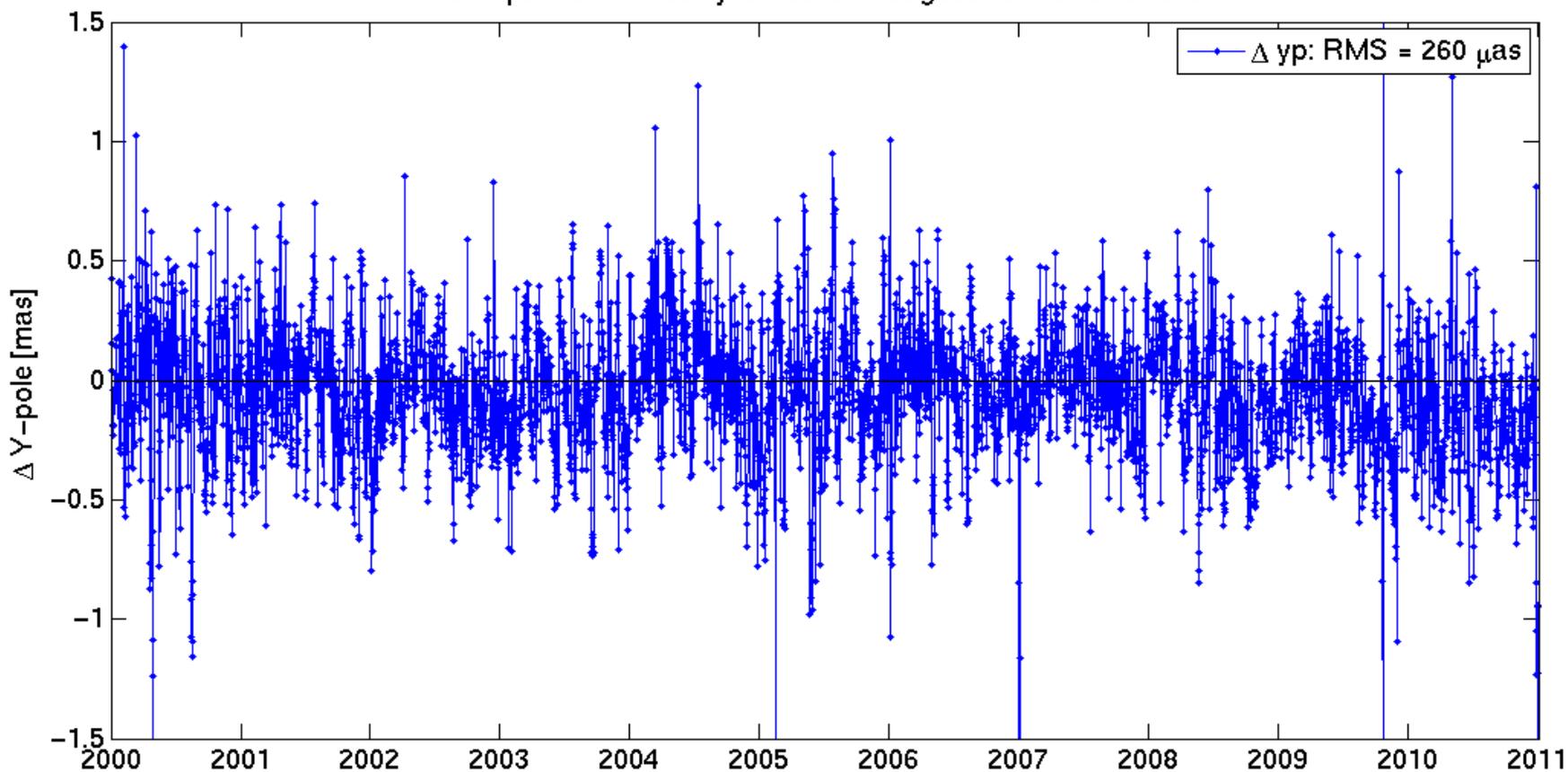
# SLR-Auswertung am AIUB

Orbitdifferenzen zwischen LAGEOS-only Wochenlösungen und kombinierten LAGEOS-ETALON Wochenlösungen  
(#Beobachtungen: LAGEOS / ETALON  $\approx$  3000 / 300)



# SLR-Auswertung am AIUB

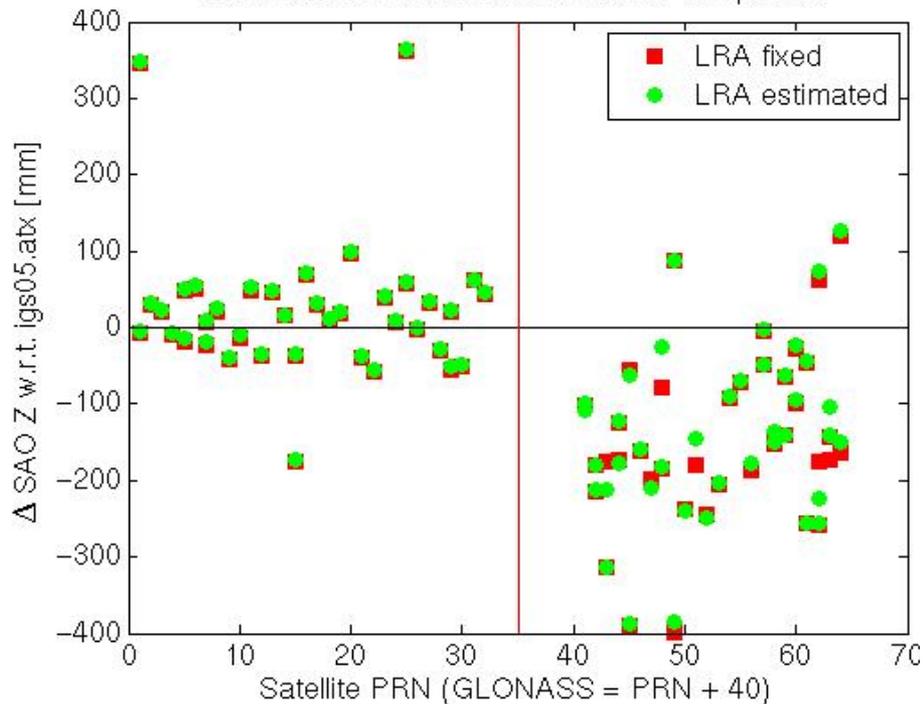
Comparison of weekly GNSS and Lageos-Etalon solutions



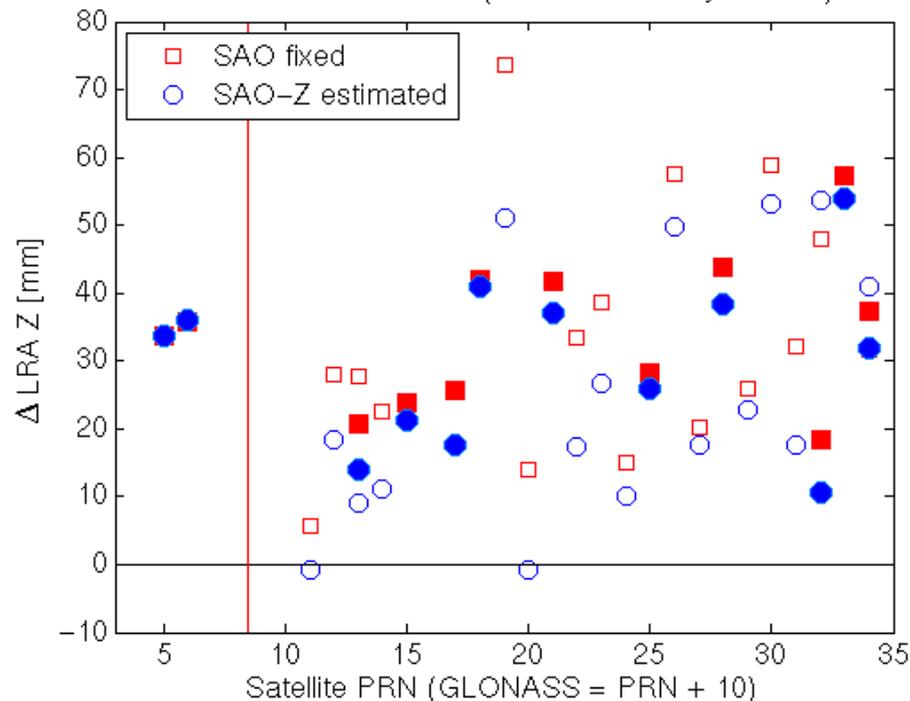
# SLR-Auswertung am AIUB

Kombinierte Auswertung GNSS und SLR (Ko-Lokation auf GNSS-Satelliten)

Satellite antenna offset correction: Z component

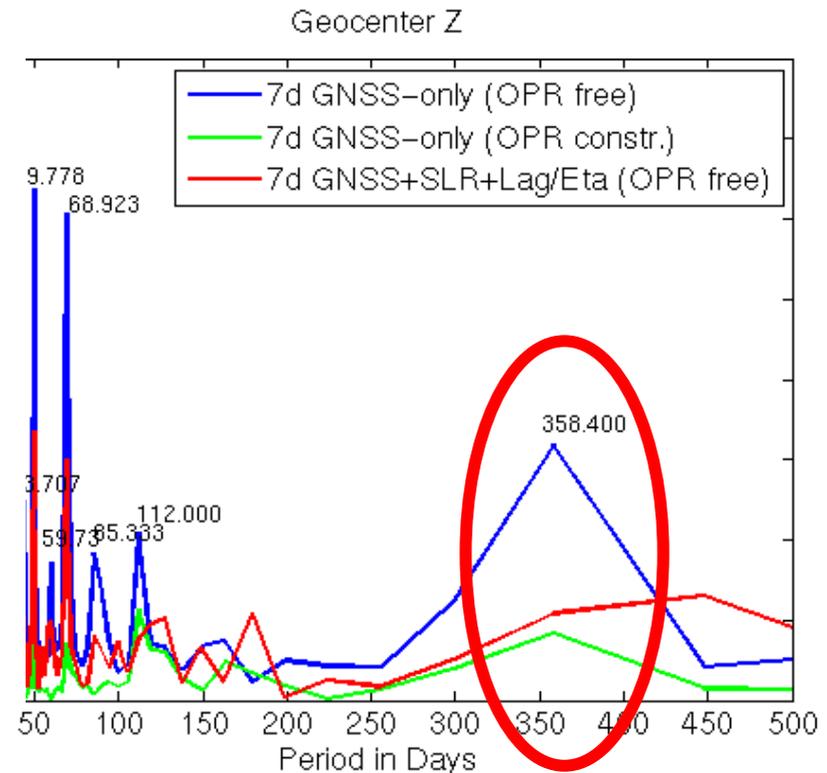
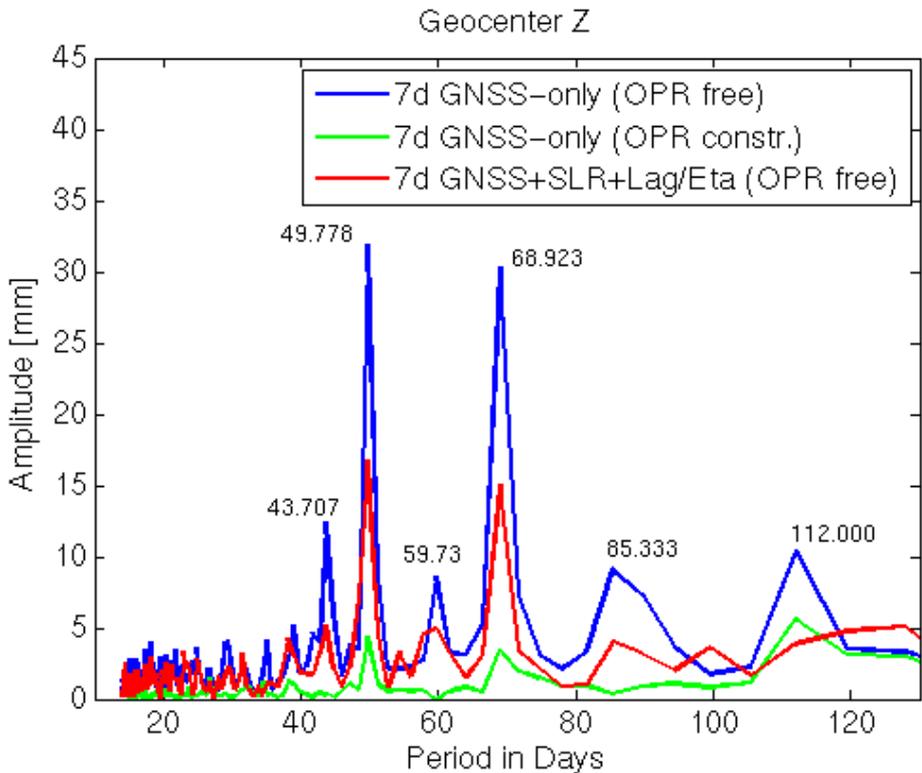


LRA z-offset correction (filled = tracked by all sites)



# SLR-Auswertung am AIUB

Kombinierte Auswertung GNSS und SLR (Ko-Lokation auf GNSS-Satelliten)



Astronomisches Institut

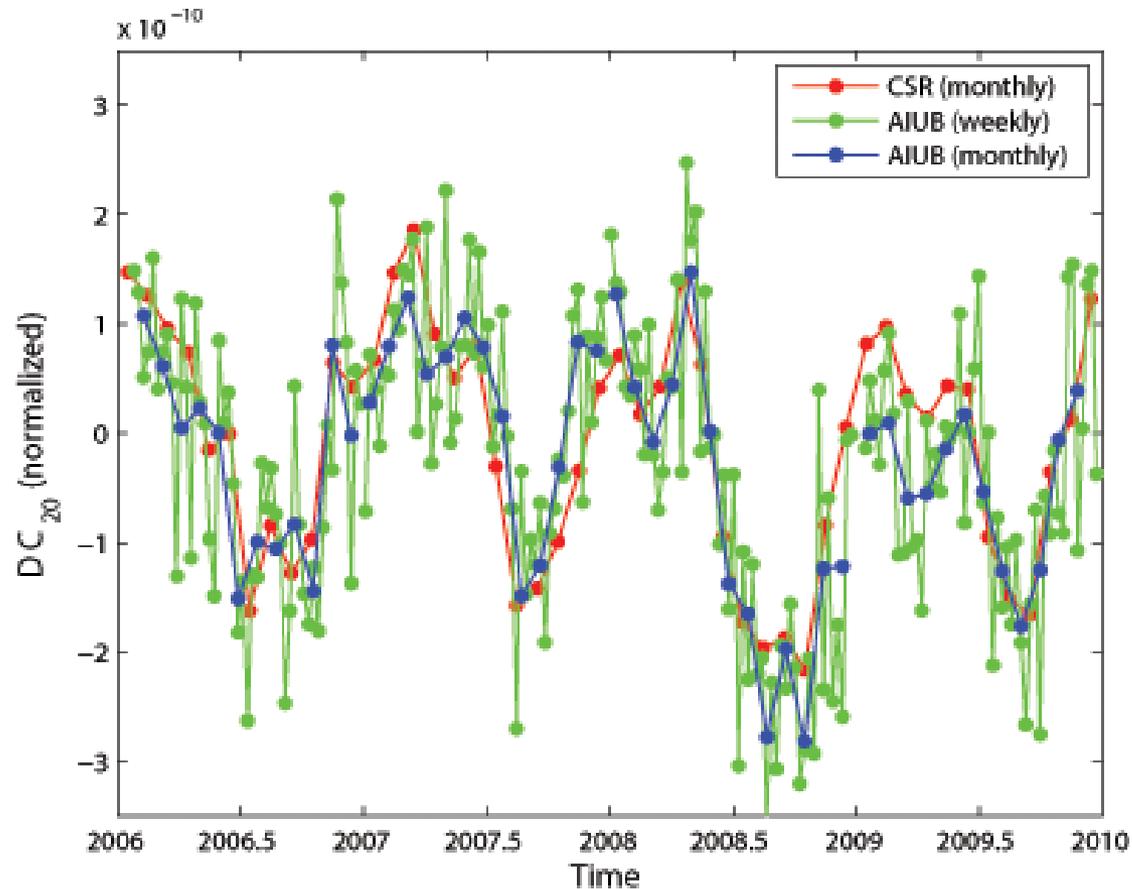
**AIUB**

# SLR-Auswertung am AIUB

## Weitere Pläne:

- **Erweiterung auf andere Kugelsatelliten**  
(Ajisai, Stella, Starlette)  
-> erste Tests sind bereits gelaufen (~1 Jahr Daten)
- **Schwerefeldbestimmung aus SLR-Messungen**  
(und deren Kombination mit Schwerefeldern, die aus anderen Daten bestimmt wurden)  
-> erste Tests mit  $C_{20}$  sind bereits gelaufen

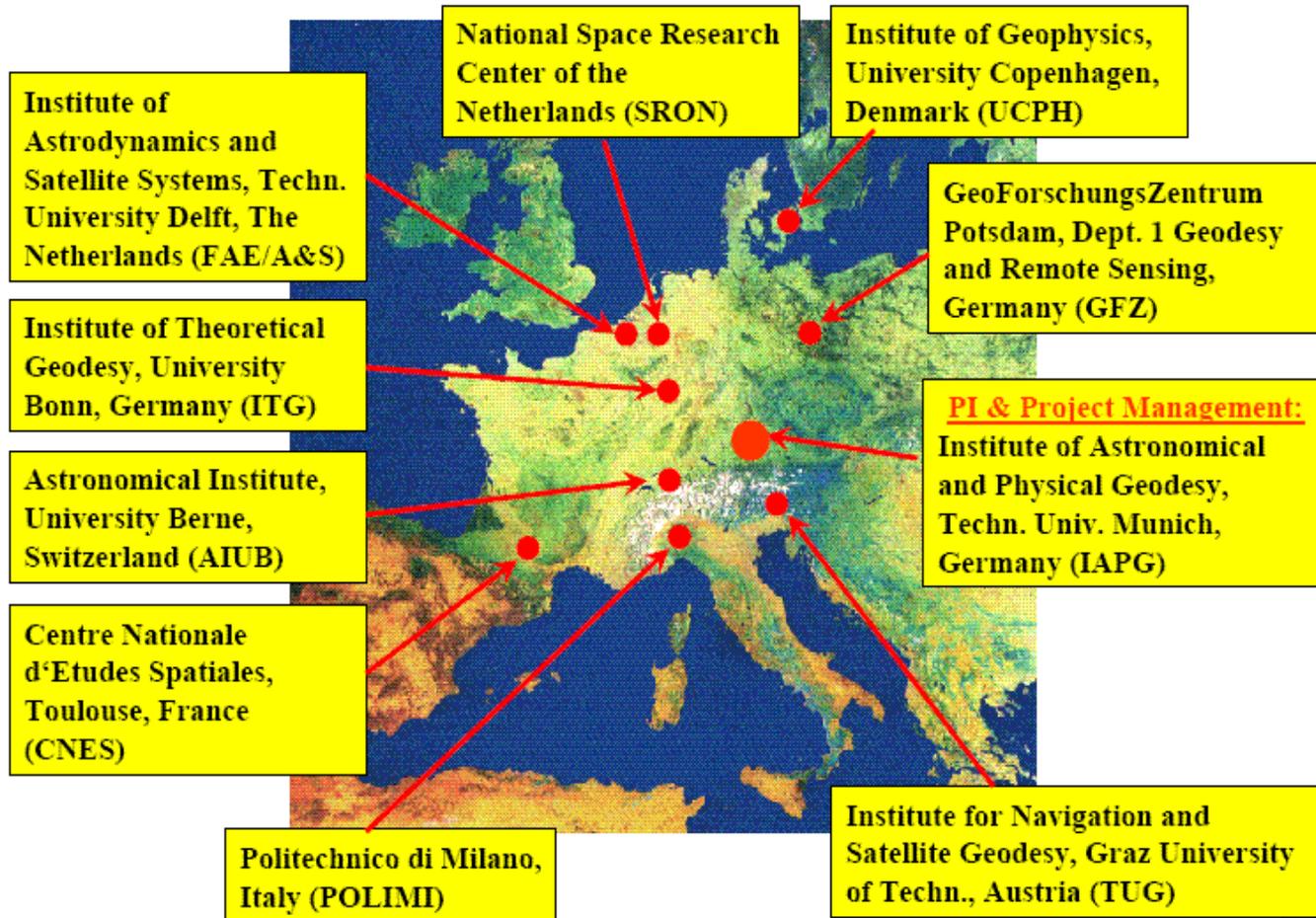
# SLR-Auswertung am AIUB



# GOCE-HPF und LEO-Bahnbestimmung

**H. Bock, A. Jäggi, U. Meyer**

# High-level Processing Facility (HPF)



Astronomisches Institut



# GOCE Precise Science Orbit (PSO)

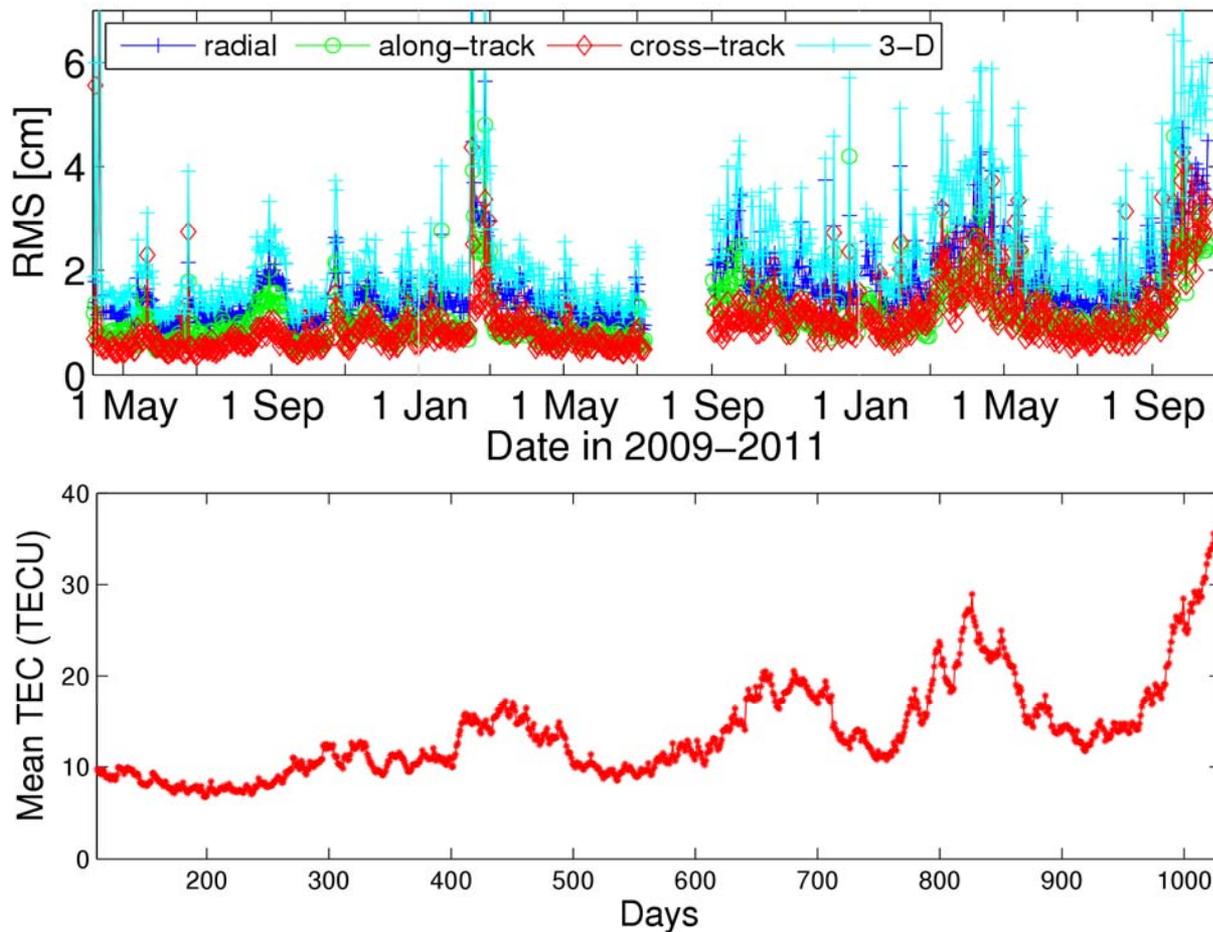
**Kinematische Positionen.** Positionen werden ohne Kenntnis der GOCE Bahndynamik zu den 1-sec GPS-Messepochen berechnet und dienen als Input für die Bestimmung des langwelligen Anteils des Erdgravitationsfeldes.

**Reduziert-dynamische Positionen.** Positionen werden mit Hilfe der GOCE Bahndynamik alle 10-sec berechnet und dienen der genauest möglichen Lokalisierung des Hauptmessgerätes (Gradiometer).

**Transformationsparameter erfest < -- > inertial.**

**Kovarianz-Matrix der kinematischen Positionen.**

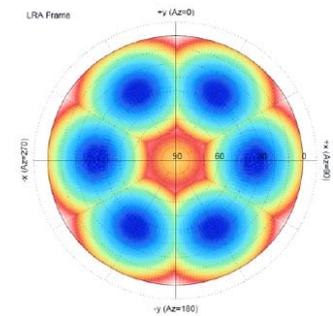
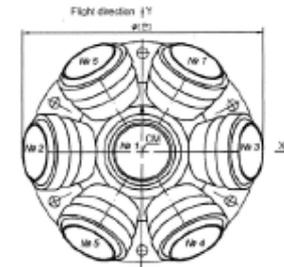
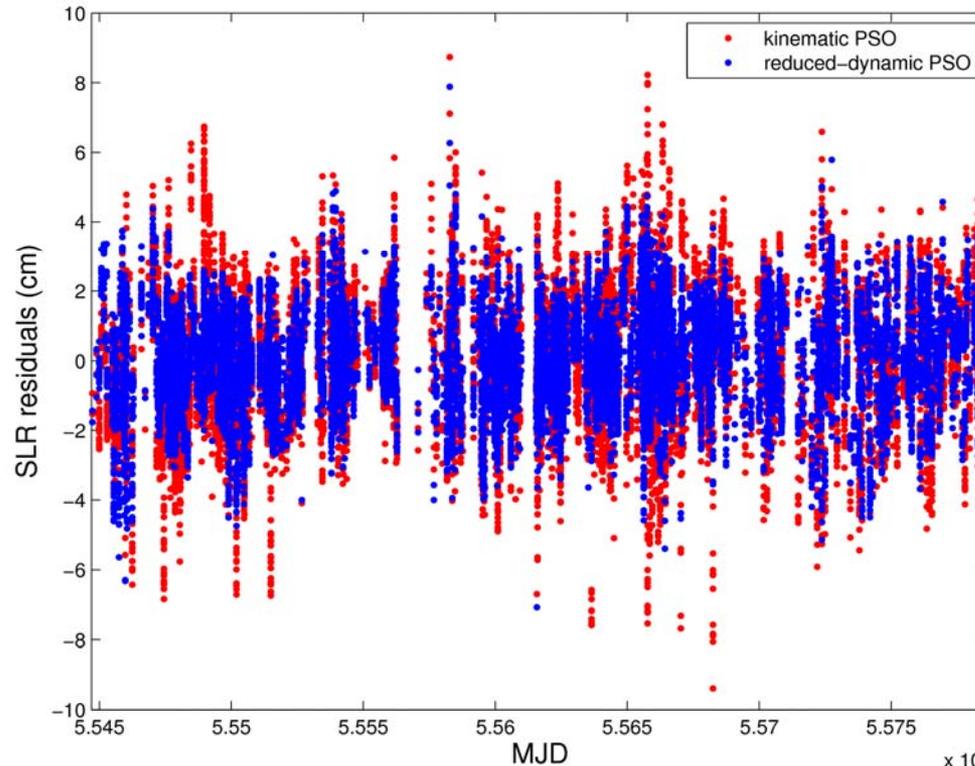
# GOCE PSO Validierung (intern)



# GOCE PSO Validierung (extern)

$u^b$

b  
UNIVERSITÄT  
BERN



Azimet-, Nadir-abhängige Korrekturen verbessern die SLR Validierung:  
0.1mm Offset und 14.4mm STD für den reduziert-dynamischen GOCE PSO  
0.4mm Offset und 19.0mm STD für den kinematischen GOCE PSO

Astronomisches Institut

**AIUB**

# Globale Schwerefeldbestimmung

**A. Jäggi**

**G. Beutler, U. Meyer**

# GOCE Gradiometrie

**Empirische Parametrisierung.** Statt einer Bandpassfilterung der Gradiometer-Observablen werden rein empirische Parameter mit einem Sampling von 1 Minute zusätzlich zu den zu bestimmenden Gravitationsfeldkoeffizienten aufgesetzt. Indem der Unterschied aufeinanderfolgender Parameter begrenzt wird, lässt sich

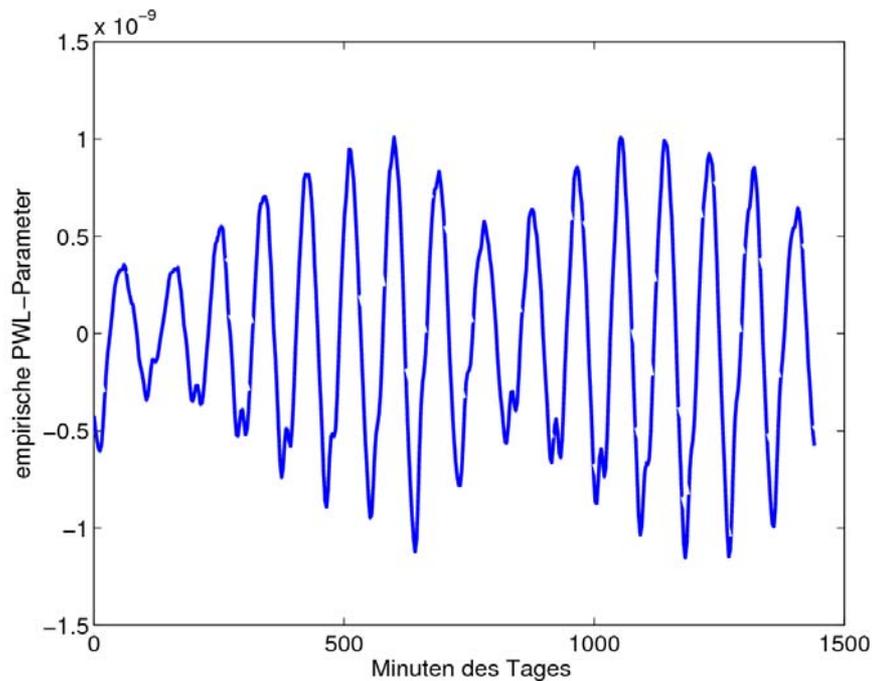
- ihr Sampling flexibel verringern (starke Begrenzung von jeweils wenigen aufeinanderfolgenden Differenzen)
- eine allgemeine Glättung erzielen (schwache Begrenzung aller Differenzen)

$$(p_{N_0+i} - p_{N_0+i+1}) - (p_{N_0+i+1} - p_{N_0+i+2}) = 0$$
$$i = 0, 1, \dots, m - 2$$

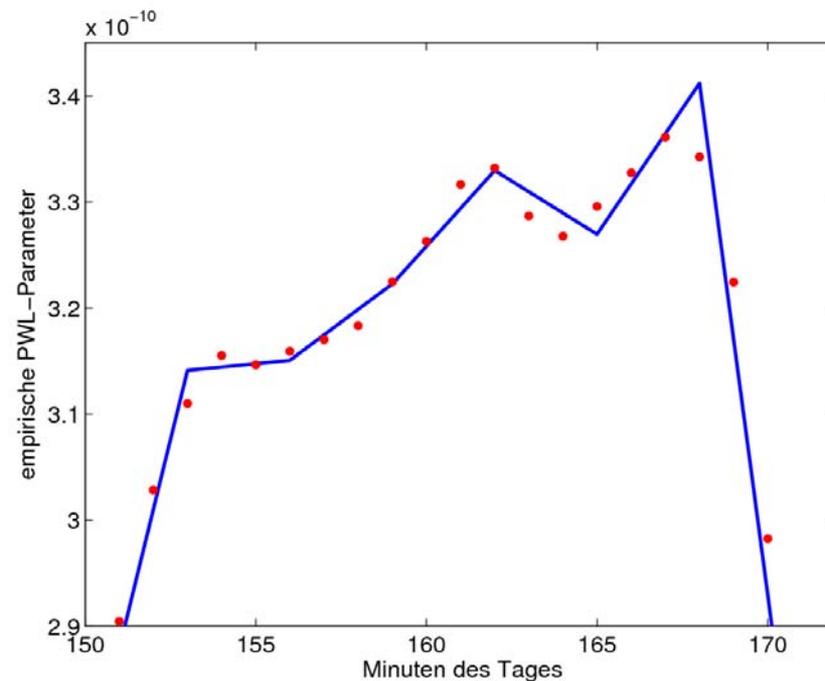
$$p_{N_0+i} - 2p_{N_0+i+1} + p_{N_0+i+2} = 0, \quad i = 0, 1, \dots, m - 2$$

→ Attraktive Alternative zur bisherigen Verwendung empirischer Kovarianz-Information

# GOCE Gradiometrie



Absorbiertes once-per-rev Signal,

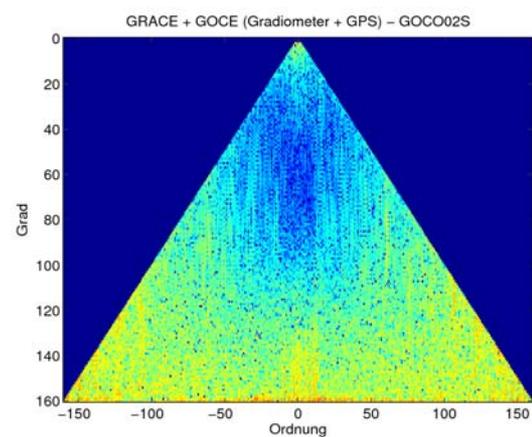
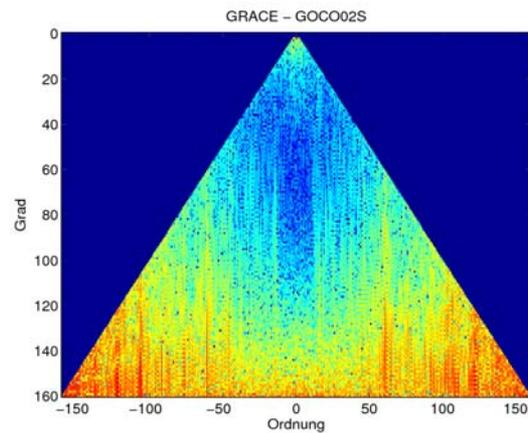
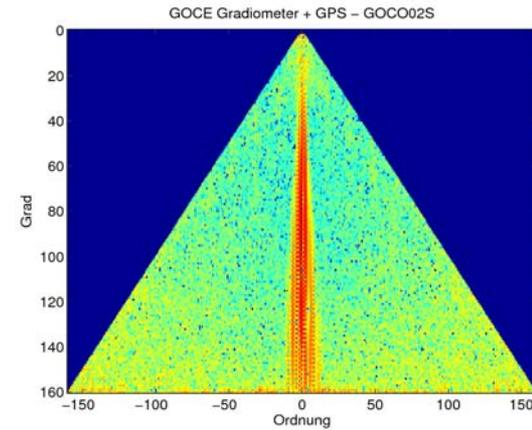
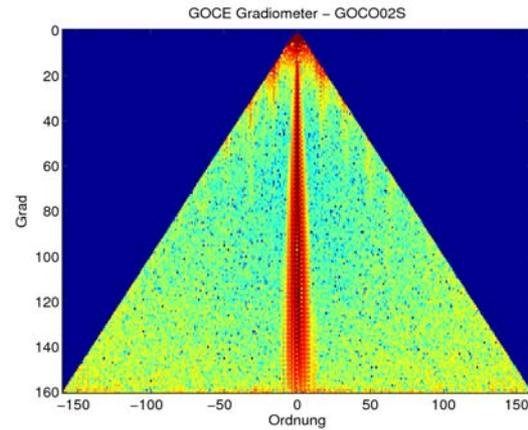


Sampling-Reduktion von 1 auf 3 Min.

Astronomisches Institut

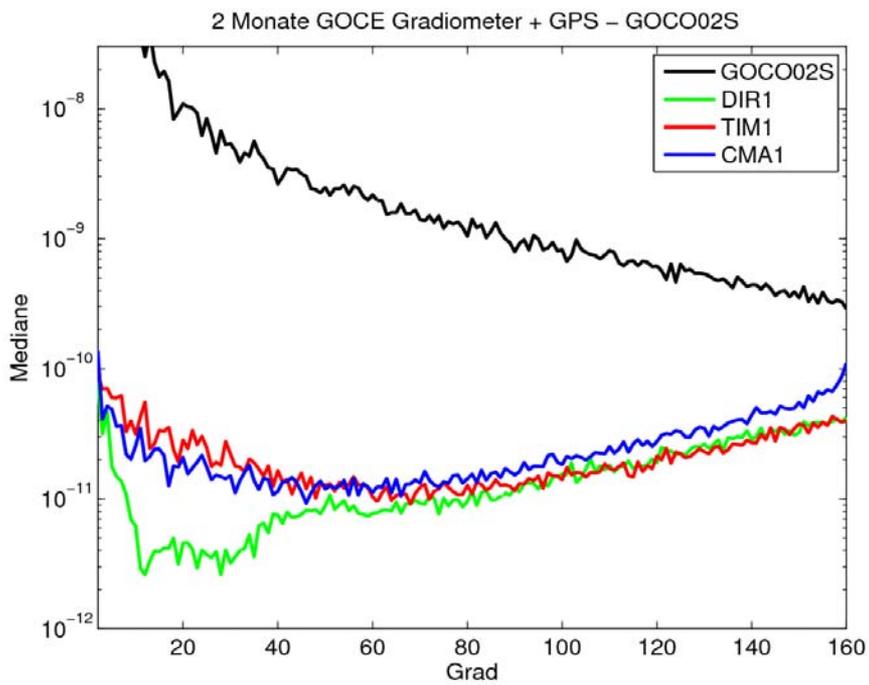
**AIUB**

# GOCE Gradiometrie



# GOCE Gradiometrie

## 2 Monate GOCE Daten



## 8 Monate GOCE Daten

