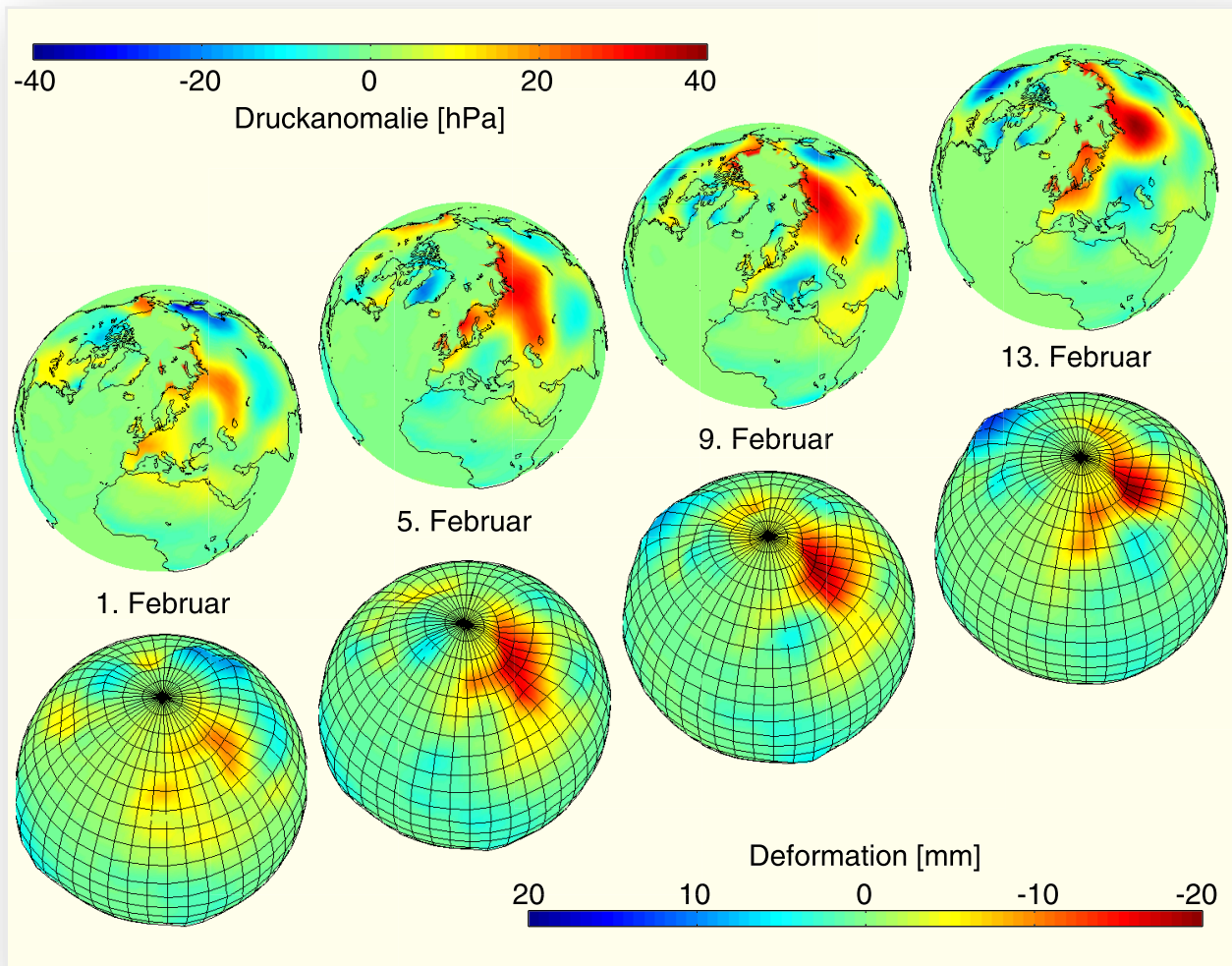


JAHRESBERICHT 2001/2002



Variation der Oberflächengestalt der Erde infolge von Druckauflasten über einen Zeitraum von zwei Wochen. Die Deformationen spiegeln Anomalien des Oberflächenluftdrucks (über Land) und des Ozeanbodendrucks gegenüber den Jahresmittelwerten wider. Massenverlagerungen durch Auflastdeformationen werden als Antriebe in das Kreisellmodell zur Untersuchung von Erdrotationschwankungen eingeführt (Projekt C1).

JAHRESBERICHT 2001/2002

Inhalt

	Das Institut, das Programm	1
A	GEOMETRISCHE REFERENZSYSTEME	
	A1 Modellbildung für GPS	3
	A2 Modellbildung für SLR	6
	A3 Modellbildung für VLBI	8
	A4 Kombination geodätischer Raumbeobachtungsverfahren	11
	A5 Referenzsysteme für Südamerika	14
	A6 Geodynamik-Netz CASA	16
B	PHYSIKALISCHE BEZUGSFLÄCHEN	
	B1 Nutzung der Altimetrie zur globalen Schwerefeldbestimmung	18
	B2 Wavelet-Reihenentwicklung des Schwerefeldes	21
	B3 Meeresspiegelüberwachung durch Altimetrie und Pegel	25
	B4 Modellierung und Analyse der Meerestopographie	31
	B5 Altimetrie im Küstenbereich	32
C	DYNAMISCHE PROZESSE	
	C1 Einfluss von Massenverlagerungen auf Rotation und Schwerefeld der Erde	35
	C2 Entwicklung neuer Analysemethoden für Beobachtungsreihen dynamischer Prozesse	38
	C3 Analyse von Zeitreihen von Rotation und Massenverlagerung	41
D	INTERNATIONALE DIENSTE	
	D1 IERS/ITRS Combination Center / Combination Research Center	43
	D2 IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS	49
	D3 ILRS Associate Analysis Center	52
	D4 ILRS/Global Data Center / EUROLAS Data Center (EDC)	55
	D5 IVS Special Analysis Center	57
	D6 Beiträge zum IERS "Global Geophysical Fluids Center"	59
	D7 Konzept für einen "International Altimeter Service"	60
	D8 GPS Permanentstationen	62
E	INFORMATIONSDIENSTE UND WISSENSCHAFTLICHER TRANSFER	
	E1 Geodätisches Informationssystem GeodIS	63
	E2 DGFI Home Page	63
	E3 Intranet	64
	E4 Veröffentlichungen	66
	E5 Vorträge und Poster	70
	E6 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien	73
	E7 Teilnahme an Tagungen, Symposien, Konferenzen	74
	E8 Gäste	75
F	PERSONELLES	
	F1 Personalbestand	76
	F2 Lehraufträge	76
	F3 Habilitationen und Promotionen	76

Das Institut

Das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) ist eine selbstständige und unabhängige Forschungseinrichtung. Es wird von der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München betrieben. Seine Aufgabe ist die wissenschaftliche Forschung auf allen Gebieten der Geodäsie und die Beteiligung an nationalen und internationalen Forschungsprojekten.

Das Programm

Die Arbeiten des DGFI sind langfristig unter dem generellen Thema „Grundlagen geodätischer Referenzsysteme“ konzipiert. Es sollen Methoden und Verfahren zur Definition und Realisierung geodätischer Referenzsysteme unter Anwendung moderner geodätischer Beobachtungsverfahren entwickelt, für die Nutzung in der Praxis aufbereitet und beispielhaft angewendet werden.

Referenzsysteme

Referenzsysteme bilden die Grundlage für die Darstellung geometrischer und physikalischer Größen, z.B. für Punktkoordinaten auf der Erdoberfläche oder für Parameter des Erdschwerefeldes. Sie werden bei sämtlichen geodätischen Arbeiten zur präzisen Positionierung auf der Erdoberfläche in der Landes- und Ingenieurvermessung, im Kataster, im Landmanagement u.a. benötigt. Aber auch bei der Navigation zu Wasser, Land und Luft, in der Raumfahrt und für den räumlichen Bezug von Geoinformationssystemen sind sie unerlässlich. Nachbardisziplinen wie Astronomie und Geophysik nutzen geodätische Referenzsysteme zur Orientierung ihrer räumlichen Parameter auf, über oder in der Erde.

Motivation

Der Grund für die in den letzten Jahrzehnten ständig steigende Bedeutung der Referenzsysteme ist die heute allgemein übliche Anwendung der Weltraumbeobachtungsverfahren (astronomisch oder mit künstlichen Satelliten) in allen Bereichen der Geodäsie und in vielen Nachbardisziplinen. Klassische Referenzsysteme konnten lokal definiert und realisiert werden (z.B. durch Festlegung eines zentralen Bezugspunktes und einer Richtung), da die Beobachtungsverfahren ebenfalls lokal arbeiteten und sich auf die konventionell definierten Größen beziehen konnten.

Moderne Referenzsysteme

Weltraumverfahren laufen jedoch in einem globalen Rahmen ab (Satelliten kreisen um das Geozentrum) und benötigen deshalb **terrestrische Referenzsysteme**, die ebenfalls global gelagert und orientiert sind. Die Bestimmung **physikalischer Bezugsflächen**, wie Meeresspiegel und Äquipotentialflächen des Erdschwerefeldes (Geoid), spielt dabei eine wesentliche Rolle. Um die Definition und Realisierung globaler Referenzsysteme mit ihren physikalischen Parametern sachgerecht durchführen zu können, müssen **dynamische Prozesse**, die das System Erde prägen und geodätische Größen zeitabhängig beeinflussen (z.B. Variation der Erdrotation), eingehend studiert und modelliert werden.

Nachbar- disziplinen	Rückwirkend werden aus den geodätisch erstellten Modellen wichtige Informationen für die Nachbarwissenschaften, z.B. Astronomie und Geophysik, bereit gestellt. Aber auch praktische Anwendungen in der Meteorologie und der Hydrologie profitieren von den geodätischen Forschungsergebnissen.
Internationale Zusammenarbeit	In der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft der Geodäsie ist in den letzten Jahrzehnten eine hervorragende Zusammenarbeit entstanden. Die generell benötigten Grundlagen, z.B. globale Referenzsysteme, werden gemeinsam erarbeitet und laufend gehalten. Die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) hat infolgedessen neue wissenschaftliche Dienste installiert oder bestehende umstrukturiert, welche die benötigten Produkte der Gemeinschaft kostenlos bereit stellen. Das DGFI beteiligt sich an dieser Kooperation durch Mitarbeit in mehreren Diensten der IAG.
Praktische Anwendungen	Mit seinen Arbeiten trägt das DGFI direkt zur Schaffung der Grundlagen für viele Bereiche des praktischen Vermessungswesens bei. Die Forschung auf dem Gebiet geometrischer Referenzsysteme und die verantwortliche Mitarbeit bei der Realisierung globaler Bezugsrahmen in internationalen Diensten, z.B. des ITRF, erlaubt die direkte Einbindung der nationalen Systeme, z.B. SAPOS, als Verdichtungsstufen. Die theoretischen Untersuchungen physikalischer Bezugsflächen und die Beobachtung des Meeresspiegels gehen in die Definition und Realisierung der Höhenbezugssysteme ein, die in Zukunft eine immer größer werdende Bedeutung haben werden, da auch Höhen nicht mehr terrestrisch, sondern mit Satellitenverfahren (z.B. GPS) bestimmt werden.
Gliederung des Programms	Aufgrund dieser Argumentation wurde das derzeit gültige Forschungsprogramm 2001/2002 erstellt. Es wurde vom wissenschaftlichen Beirat der DGK begutachtet und von der DGK-Vollversammlung am 23.11.2000 verabschiedet. Es gliedert sich in vier langfristig zu bearbeitende Programmpunkte mit insgesamt 24 Einzelprojekten sowie den wissenschaftlichen Transfer. Im einzelnen sind dies: A Geometrische Referenzsysteme B Physikalische Bezugsflächen C Dynamische Prozesse D Internationale Dienste E Informationsdienste und wissenschaftlicher Transfer
Forschungsgruppe Satellitengeodäsie	Die Projekte mit Bezug zur Satellitengeodäsie werden im Rahmen der „Forschungsgruppe Satellitengeodäsie“ (FGS) durchgeführt, an der die Technische Universität München mit dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie sowie der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie, das Geodätische Institut der Universität Bonn, das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt am Main und das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut beteiligt sind.

Geometrische Referenzsysteme

Hauptaufgabe der Geodäsie ist die Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche. Dies geschieht durch die Bestimmung der Positionen von Oberflächenpunkten. Dazu werden heute hauptsächlich geodätische Raumbenutzungsverfahren wie das Globale Positionierungssystem (GPS), Laser-Entfernungsmessungen zu Satelliten (SLR) und astronomische Radiointerferometrie auf sehr langen Basislinien (VLBI) benutzt. Eine wesentliche Aufgabe ist dabei die Definition und Realisierung eines einheitlichen Referenzsystems durch Kombination der Verfahren. Das DGFI erstellt und untersucht mathematische und physikalische Modelle zur Schätzung geodätischer Parameter (Stationskoordinaten und deren zeitliche Veränderungen, Erdrotation usw.) und zur Realisierung eines einheitlichen Bezugssystems. Diese Arbeiten schaffen auch Grundlagen für die deutschen Landesvermessungen. Im globalen Rahmen werden das Referenzsystem für Amerika (SIRGAS) bearbeitet und zeitliche Änderungen durch Krustendeformationen exemplarisch in Zentral- und Südamerika (CASA) untersucht.

A1 Modellbildung für GPS

Die Arbeiten in diesem Projekt befassten sich wiederum hauptsächlich mit der Verbesserung der Genauigkeit der GPS-Höhenbestimmung. Diese ist besonders relevant für die Vereinheitlichung der Höhensysteme in Südamerika (Projekt A5), die Analyse von Zeitreihen der Höhen von GPS-Permanentstationen (Projekte A4 und D1) sowie das neue IGS-Pilotprojekt TIGA (siehe Forschungsprogramm 2003/2004). Fehlerquellen bei der Modellierung von GPS-Messungen bezüglich der Höhenkomponente sind die troposphärische Refraktion, die Phasenzentrumsvariationen, Antennen- und Radomwechsel sowie die variierenden Auflasteffekte durch Ozeangezeiten und Luftdruck. Im Berichtszeitraum wurden Untersuchungen zu den Luftdruckauflasten weitergeführt und die Einflüsse von Antennen-Radomen im EUREF-Permanentnetz analysiert. Außerdem wurde ein Vergleich der Software-Systeme BERNESE und GIPSY vorgenommen.

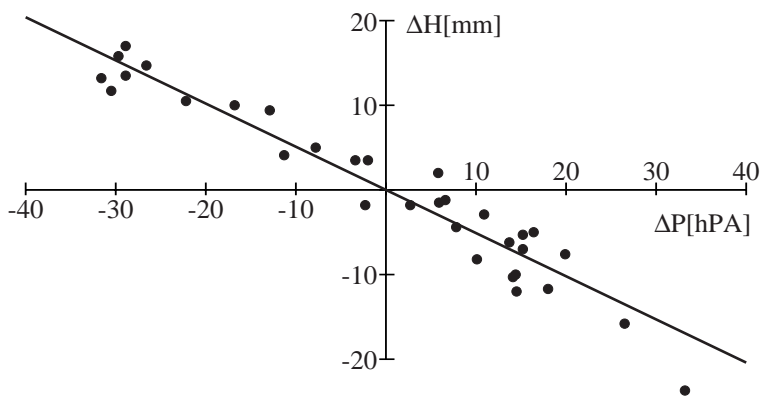
Atmosphärische Druckauflasten

Die im Vorjahr begonnenen Untersuchungen, die aus eigenen Auswertungen mit der Berner Software resultierenden täglichen Höhenschätzungen mit Luftdruckvariationen zu korrelieren, sind durch Hinzunahme weiterer Datensätze fortgesetzt worden. Da große Luftdruckanomalien vornehmlich in hohen geographischen Breiten auftreten, sind hauptsächlich Beobachtungen von GPS-Stationen in Nordeuropa ausgewertet worden. Um die erforderliche Höhengenaugigkeit von wenigen mm zu erreichen, war häufig wieder eine Analyse der Ausgleichsresiduen erforderlich. Als Luftdruckdaten standen tägliche Mittelwerte für ein globales $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ Gitter vom National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA, zur Verfügung. In Abbildung A1.1 sind die während einer einmonatigen Periode großer Luftdruckvariationen geschätzten täglichen Höhen einer finnischen GPS-Station den Luftdruckanomalien gegenübergestellt. Das Beispiel belegt deutlich die Druckauflast von über 0,5 mm/hPa.

Radom-Effekte im EUREF

Im EUREF-Permanentnetz ist im Laufe der vergangenen Jahre auf einer Reihe von Stationen die Antennen-/Radomkonfiguration verändert worden, teils sogar mehrfach. Während in früheren Untersuchungen die gewünschten Konstellationen für eine Abschätzung der Radom-Effekte durch eigene Experimente realisiert worden waren, wurden diesmal drei- bis vierwöchige Datensätze

Abb. A1.1 Höhenänderungen aufgrund von Luftdruckänderungen.



der zu analysierenden Stationen ausgewertet, in deren Mitte der Konfigurationswechsel stattfand. Unter der Annahme, dass sich während weniger Wochen weder die tatsächliche Stationshöhe noch die Umgebungseffekte der Antenne ändern, kann ein Sprung in den Höhenergebnissen nur dem Radom zugeschrieben werden. Die geschätzten Höhen hängen auch nicht von der Realisierung des Bezugssystems ab. Die Abbildungen A1.2 und A1.3 zeigen Ergebnisse für die Stationen Onsala (ONSA) und Karlsruhe (KARL). Im ersten Fall wurde das Radom ausgetauscht, im zweiten Fall eine Antenne mit Radom durch eine Antenne ohne Radom ersetzt.

Abb. A1.2 Geschätzte Höhen für ONSA mit DUTD- bzw. OSOD-Radom in Abhängigkeit von der Elevationsmaske.

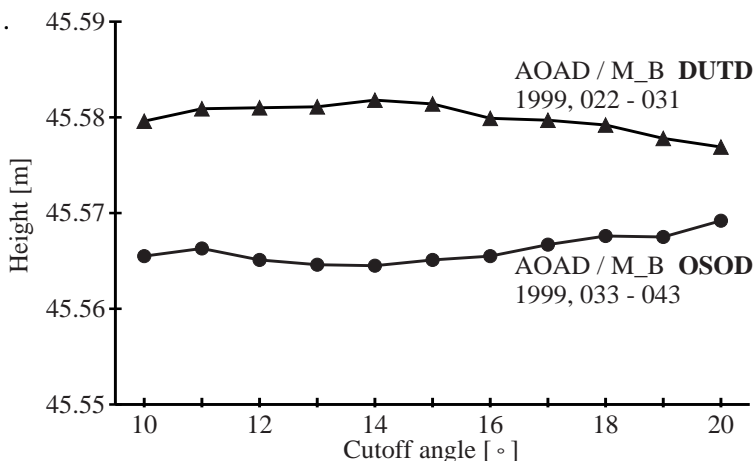
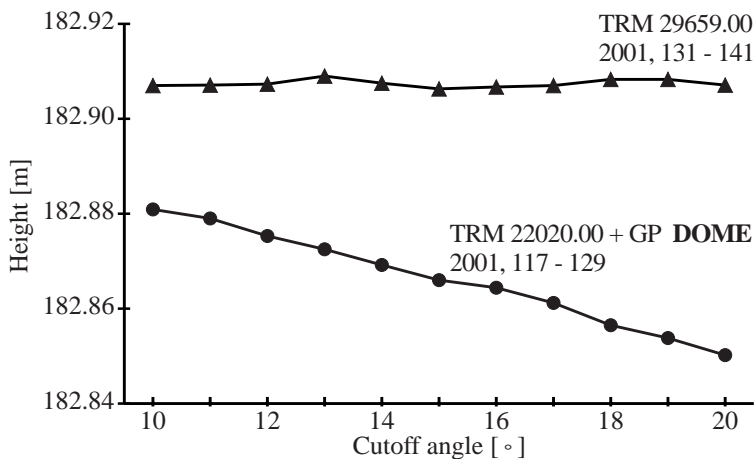


Abb. A1.3 Geschätzte Höhen für KARL mit Trimble-Antenne mit Radom (DOME) und Chokering-Antenne ohne Radom in Abhängigkeit von der Elevationsmaske.

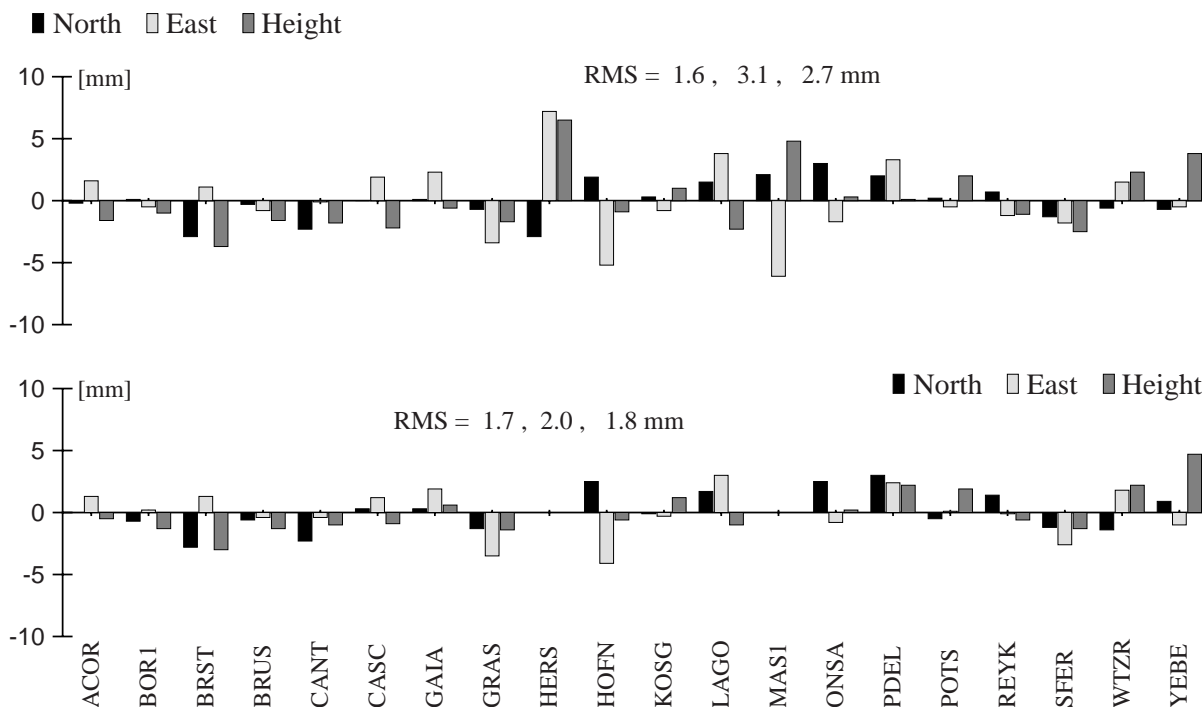


Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass ein Radom unabhängig von Station und Radomtyp immer zu niedrigeren Höhenschätzungen führt. Der genaue Betrag hängt vom Radomtyp, der Elevationsmaske und auch von der Antennenumgebung ab.

**Software Vergleich
BERNESE-GIPSY**

Angesichts der Tatsache, dass die überwiegende Mehrzahl der EUREF-Analysezentren die Berner Software benutzen und die Ergebnisse deshalb evtl. einseitig beeinflusst sein könnten, wurde in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Erdmessungskommission (BEK) ein repräsentatives Teilnetz des EUREF sowohl mit der Berner Software als auch mit GIPSY/OASIS ausgewertet. Der Vergleich beinhaltet einzelne Basislinien und auch ein Netz von 20 Stationen, jeweils über etwa 30 bis 40 Tage. Die Auswertungen wurden mit möglichst identischen Strategien und Modellen durchgeführt. Unterschiede bestehen in den verwendeten Satellitenbahnen und -uhrkorrekturen (IGS bzw. JPL) sowie in der Ausreißeranalyse (keine bzw. manuell gegenüber automatisch). Die Abbildung A1.4 zeigt den Vergleich der beiden Lösungen des gesamten Netzes. Es sind die Differenzen in Nord-, Ost- und Höhenrichtung pro Station nach Ähnlichkeitstransformation dargestellt, oben für alle Stationen, unten ohne HERS und MAS1, die beide in dem analysierten Zeitraum nur zeitweilig in Betrieb waren. Abgesehen von größeren Abweichungen beim Vergleich von Tageslösungen kann festgehalten werden, dass die mittleren Abweichungen bei längerer Beobachtungsdauer 2 mm nicht überschreiten. Allerdings ergeben alle Auswertungen einen systematischen Maßstabsunterschied von $2 \cdot 10^{-9}$ zwischen den Auswertungen mit der Berner Software und mit GIPSY/OASIS.

Abb. A1.4 Differenzen zwischen Auswertungen eines EUREF-Teilnetzes über 40 Tage mit der Berner Software und mit GIPSY/OASIS



A2 Modellbildung für SLR

Das Programm DOGS-OC (**D**GFI **O**rbit and **G**eodetic Parameter Estimation Software - **O**rbit **C**omputation) benötigt für seine Bahnstörungsrechnung physikalische Modelle der Bahnbeschleunigungen, geodynamische Modelle der periodischen Stationsbewegung, Korrekturmodelle des Messvorgangs verschiedener geodätischer Satellitenbeobachtungsverfahren sowie mathematische Modelle zur Parameterschätzung. Diese müssen laufend dem aktuellen wissenschaftlichen Stand angepasst werden. Folgende Modelle erfuhren wesentliche Änderungen:

Troposphärische Korrektur

Im Gegensatz zu den Mikrowellenverfahren gab es für optische Beobachtungen 25 Jahre lang keinen Fortschritt in der Modellierung der troposphärischen Refraktion des Signalweges. Diese Lücke hat jetzt die Mapping-Funktion von Mendes geschlossen. Sie wurde in Kombination mit dem Zenit-Delay nach Saastamoinen als neues Verfahren zur troposphärischen Korrektur in DOGS-OC eingeführt. Somit stehen zur troposphärischen Laufzeitkorrektur von SLR-Beobachtungen in DOGS-OC drei Modelle zur Auswahl:

- das Modell von Marini (1972, gültig ab 10 Grad Elevation),
- das erweiterte Marini-Modell von Herring (1980) und
- das Modell von Mendes (2001).

Vorteile des neuen Modells von Mendes sind die formelmäßige Trennung von Zenit-Delay und Mapping-Funktion sowie die Gültigkeit für Elevationen unter 10 Grad (siehe Abbildungen A2.1 und A2.2). Beobachtungen dieses Elevationsbereiches existieren bei günstig gelegenen Stationen und müssen nun nicht mehr heruntergewichtet oder eliminiert werden.

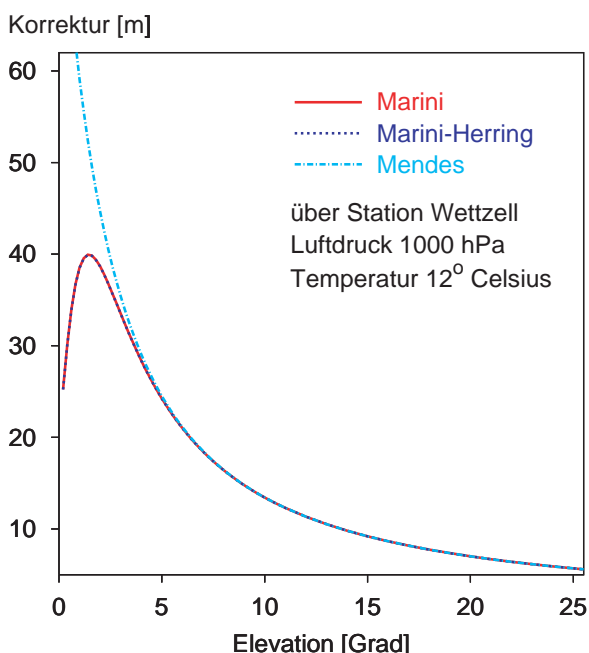


Abb. A2.1 Modelle für die troposphärische Refraktionskorrektur optischer Beobachtungen

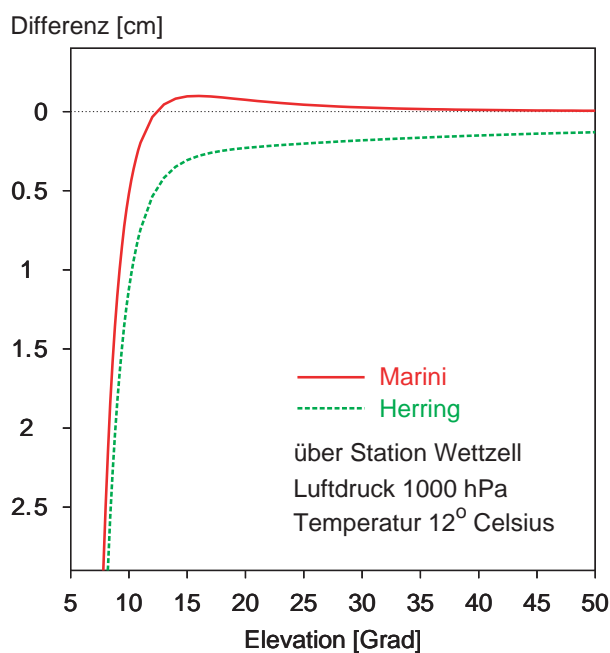


Abb. A2.2 Differenzen zum Modell von Mendes

Subtägliche Polbewegung

Zur Realisierung einer hochauflösenden Funktion der Erdorientierungsparameter (EOP = Polkoordinaten und UT1-Korrektur) gibt es verschiedene Ansätze, die nicht miteinander vereinbar sind.

1. In der VLBI-Software werden Erdorientierungsparameter zwischen zwei aufeinander folgenden Stützstellen t_i und t_{i+1} durch ein kubisches Polynom dargestellt, das durch Interpolation über $\{t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, t_{i+2}\}$ erzeugt wird. Die periodischen subtäglichen Variationen, die hauptsächlich von Ozeangezeiten verursacht werden, berücksichtigt ein additives Korrekturmodell von Ray (siehe IERS Conventions), das aus einem aktuellen Ozeangezeitenmodell abgeleitet wurde. Diese EOP-Funktion ist in den Stützpunkten nicht differenzierbar.
2. Zur Kombination von EOP-Zeitreihen, die von den Beobachtungstechniken VLBI, SLR und GPS bereit stehen, werden in den Stützpunkten Funktionswert und Ableitung angesetzt. Dem entspräche eine kubische Hermite-Interpolation mit den Stützstellen t_i und t_{i+1} . Dazu müssten die IERS-Polreihen um die Ableitung ergänzt werden. Diese Polfunktion ist in den Stützpunkten einmal stetig differenzierbar.
3. Unabhängig von der internen Darstellung der EOP-Funktionen liefert die gängige GPS-Software als Ergebnis Wert und Ableitung von Pol- und UT1-Funktionen, auch wenn diese in den Stützpunkten nicht differenzierbar sind.
4. DOGS-OC hat bisher global stetige, stückweise lineare EOP-Funktionen angesetzt, die durch lineare Interpolation gewonnen werden. Für diese Darstellung ist eine Ableitung in den Stützpunkten nicht definiert.

Während die mathematische Formulierung der EOP-Funktionen in DOGS-OC noch nicht entschieden ist ! favorisiert wird eine Hermite-Interpolation ! , wurden bereits für die subtägliche Ozeangezeitenkorrektur die Modelle von Ray und Eanes implementiert.

**Visualisierungssoftware
DOGS-OV**

Das Programmpaket DOGS-OV leistet die Aufbereitung und Visualisierung der Daten in den Ausgabedateien von DOGS-OC und DOGS-CS, u.a. eine Zeitreihenanalyse mit externer Plotausgabe von Daten und angepasster Modellfunktion. Die Plotroutinen in DOGS-OV haben, soweit möglich, eine gemeinsame Kommandosprache zur Gestaltung der Plots. Diese Kommandosprache wurde so erweitert, dass sie sowohl zu Gnuplot als auch zu Matlab kompatibel ist. Die Plotroutinen erzeugen nun wahlweise Gnuplot- oder Matlab-Skriptfiles und ihre zugehörigen Datenfiles, mit denen entweder in Gnuplot oder Matlab die gewünschten Graphiken automatisch erzeugt werden.

A3 Modellbildung für VLBI

Die Arbeiten in diesem Projekt umfassen wissenschaftliche Untersuchungen zu Fragen der Modellbildung sowie Entwicklungsarbeiten an der VLBI-Auswertesoftware OCCAM (Version 5.0), die zusammen mit anderen VLBI-Gruppen in Wien (Österreich), St. Petersburg (Russland) und Belconnen (Australien) durchgeführt werden. Die in OCCAM implementierten Modelle entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft.

Atmosphärenauflasten und thermale Deformation

Im Berichtszeitraum wurden zwei sekundäre, stationsbezogene Effekte untersucht: die Deformation der Oberfläche der Erde infolge von variierenden Luftdruckauflasten (Maximaleffekt auf die Höhenkomponente ca. 2,5 cm) sowie die Deformation von VLBI-Teleskopen in Abhängigkeit von der Materialtemperatur (ca. 1,5 cm). Neben jährlichen und täglichen Schwankungen werden vor allem Variationen erwartet, die nicht mit einfachen Modellen quantifizierbar sind. Beide Effekte können in der aktuellen Version von OCCAM optional korrigiert werden, im Fall der Atmosphärenauflast mit direkten Korrekturwerten (H.G. Scherneck, siehe <http://www.oso.chalmers.se/~hgs>), im Fall der thermalen Teleskopdeformation entsprechend dem 'Explanatory Supplement to the Section "Antenna Deformation" of the IERS Conventions (1996)' (<http://www.dgfi.badw.de/dgfi/DOC/report71.pdf>).

Die Auswirkungen beider Korrekturen auf die Stationskoordinaten wurden für 600 Sessions mit einer Beobachtungsdauer von je 24 Stunden zwischen 1996 und Ende 2000 untersucht. Es zeigte sich, dass weder die ursprünglichen Amplituden der jährlichen Variationen der Stationspositionen noch ihre aus den Korrekturen resultierenden Änderungen statistisch signifikant sind. Auch die Wiederholgenauigkeit der Stationspositionen ließ sich nicht verbessern: Die maximale Verbesserung in den Lagekomponenten ist 0,2 mm, und die radialen Komponenten zeigen keine klare Tendenz zur Verbesserung oder Verschlechterung.

Einfluss der Schätzung von troposphärischen Gradienten auf Stationskoordinaten

Innerhalb einer VLBI-Lösung sind Korrelationen zwischen Lagekoordinaten und azimuthalen troposphärischen Gradienten zu erwarten, deren Größe von der Beobachtungsgeometrie und der Anzahl der Beobachtungen der VLBI-Session abhängt. Um die Zielparameter hinreichend stabil schätzen zu können, werden Gradienten fast immer auch als Pseudobeobachtungen eingeführt, in der Regel mit dem Wert Null und einer geeignet gewählten Standardabweichung. Dieses Vorgehen beeinflusst die Lösung eines starken Gleichungssystems weniger als die eines schwachen. Da die VLBI-Sessions inhomogen sind im Hinblick auf Beobachtungsgeometrie und -dichte, wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Gradientenansätze auf Zeitreihen von Stationskoordinaten aus 23 CONT96-Sessions des Jahres 1996 und 33 IRIS-A-Sessions von 1984 untersucht. Diese beiden Reihen unterscheiden sich stark voneinander, sind in sich aber homogen: Bei den Sessions von CONT96 hatten jeweils dieselben 5 Stationen etwa 1800 Beobachtungen zu 40 Quellen, bei IRIS-A jeweils dieselben 4 Stationen 370 Beobachtungen zu 14 Quellen. Deshalb sind die IRIS-A-Gleichungssysteme deutlich schwächer. Es wurden Lösungen mit

verschiedenen Ansätzen für die Gradienten berechnet, wobei vor allem die Standardabweichungen der Pseudobeobachtungen variiert wurden. Für die CONT96-Sessions wurde die beste Wiederholbarkeit der Stationskoordinaten durch einen deutlich anderen Ansatz erreicht als für die IRIS-A-Sessions. Als einheitliche Vorgabe empfiehlt sich ein konstanter Versatz mit dem Pseudobeobachtungswert Null und einer Standardabweichung von 0,3 mm; denn dann kommen die Wiederholbarkeiten für beide Beobachtungsreihen denen sehr nahe, die mit den jeweils besten Ansätzen erzielt werden. Das völlig freie Schätzen von troposphärischen Gradienten ist nach den bisherigen Ergebnissen nicht zu empfehlen. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema werden sich vor allem mit Korrelationen zwischen den Gradienten und anderen mitbestimmten Parametern beschäftigen.

Robuste Schätzer für VLBI-Auswertungen

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden verschiedene robuste Schätzverfahren untersucht und teilweise in OCCAM implementiert, um grobe Fehler in den Daten besser aufdecken zu können. Beim bislang verwendeten Verfahren werden alle Beobachtungen eliminiert, deren Residuen das Dreifache ihrer Standardabweichung übersteigen. Numerische Untersuchungen auf Basis gezielt verfälschter Beobachtungen zeigen, dass bei dieser Vorgehensweise auch eine Reihe zuverlässiger Beobachtungen gestrichen wird. Die betrachteten robusten Schätzverfahren, insbesondere der BIBER-Schätzer nach Wicki sowie der modifizierte Huber-Schätzer, reagieren hingegen deutlich günstiger. Sie sind in der Routineauswertung konservativer in dem Sinne, dass sie die meisten Beobachtungen im Datenmaterial belassen, indem sie sie (oft nur) geringfügig herabgewichten. Unter den untersuchten robusten Schätzern zeichnet sich der BIBER-Schätzer durch seine rechen-technische Effizienz aus.

Schätzung subtäglicher Erdrotationsparameter

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten zur Qualität zeitlich hochaufgelöster Erdrotationsparameter (ERP) fortgesetzt. Eine Reihe von Untersuchungen zielte auf die Beurteilung der Schätzwerte im Hinblick auf ihre Standardabweichungen und Korrelationen bei bis zu substündlicher Auflösung. Daneben wurde die statistische Signifikanz der höheren Auflösung betrachtet. Zu diesem Zweck wurden elf simultane Sessions der Programme CORE-A und NEOS-A vergleichend analysiert. Abbildung A3.1 zeigt die durchschnittlichen mittleren Fehler der Schätzwerte für $\Delta UT1$ für die CORE-A-Sessions, aufgetragen für unterschiedliche zeitliche Auflösungen. In Abbildung A3.2 sind zwei extremale Ergebnisse für Korrelationsmatrizen der geschätzten ERP dargestellt. Die Ergebnisse für die CORE-A-Session vom 21.03.00 legen nahe, dass bei günstiger Sessionplanung eine einstündige Auflösung der ERP möglich ist. Eine Reihe von Signifikanztests ergab, dass die Hauptinformation in den ERP bei den betrachteten Sessions bereits bei 24-stündiger Auflösung in Form eines einzelnen Zuschlags bestimmt werden kann. Bei höherer Auflösung sind die Schätzwerte in der Regel nicht signifikant.

Die genannten Untersuchungen der VLBI-Modellbildung trugen auch zu Arbeiten des IVS Special Analysis Centers am DGFI (D5) bei. Die mit der Kombination von geodätischen Beobachtungsverfahren beschäftigten Projekte A4 und D1 wurden ebenfalls unterstützt. Ein Teil der Arbeiten wird durch Sachbeihilfen der DFG (DR 143/9-1 bzw. ab Juni 2002 DR 143/11-1) gefördert.

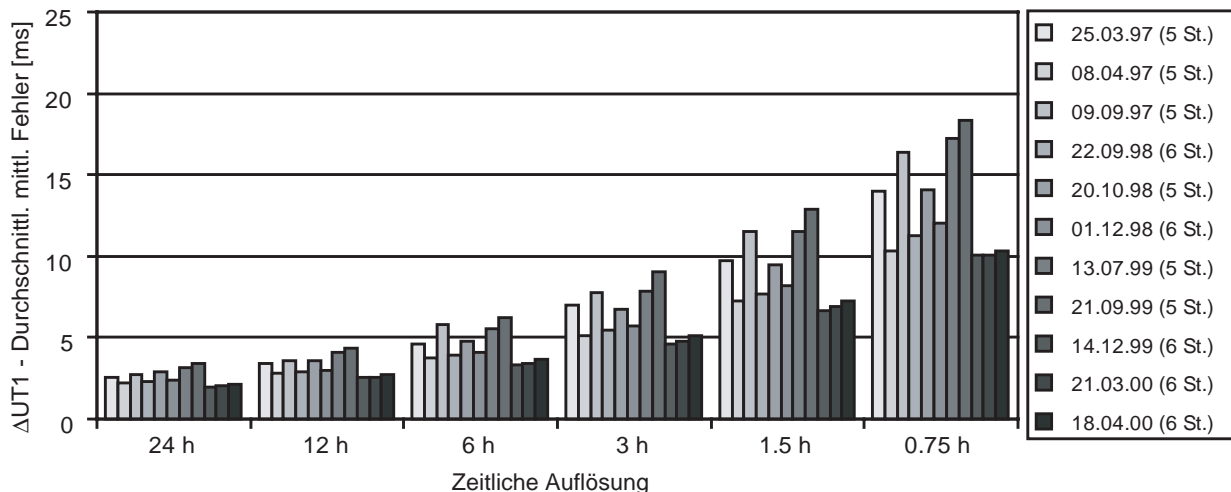


Abb. A3.1 Durchschnittliche mittlere Fehler von $\Delta UT1$ für die betrachteten elf CORE-A-Sessions und verschiedene zeitliche Auflösungen. Die Legende gibt den Beobachtungstag und die Anzahl der beteiligten Stationen an. Die günstigen Werte für die drei letzten Sessions erklären sich durch die beteiligten sechs Beobachtungsstationen, deren gute geographische Verteilung sowie den Beobachtungsplan (nicht gezeigt). Bei stündlicher Auflösung sind mittlere Fehler unter $10 \mu s$ erreichbar.

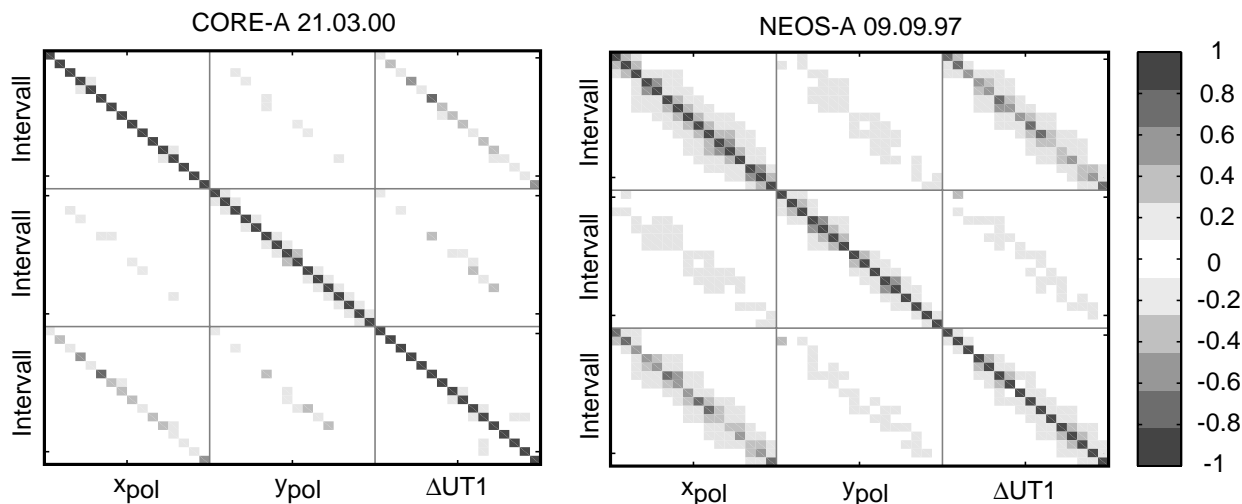


Abb. A3.2 Korrelationsmatrizen der geschätzten ERP bei 90-minütiger Auflösung. Die Matrizenblöcke sind den jeweils angegebenen ERP zuzuordnen. Innerhalb eines Blocks sind die Schätzwerte in ihrer zeitlichen Abfolge angegeben. Im Falle von CORE-A vom 21.03.00 liegen keine signifikanten Korrelationen vor, im Falle von NEOS-A vom 09.09.97 sind sowohl zeitliche Korrelationen der jeweiligen ERP zu erkennen als auch typübergreifend Korrelationen zwischen der x-Koordinate des Pols x_{pol} und $\Delta UT1$.

A4 Kombination geodätischer Raubeobachtungsverfahren

Die Kombination geodätischer Raubeobachtungsverfahren trägt dazu bei, den terrestrischen Bezugsrahmen (Terrestrial Reference Frame -TRF-), den zälestischen Bezugsrahmen (Celestial Reference Frame -CRF-) und die Verbindung beider Rahmen über Erdorientierungsparameter (EOP) optimal zu bestimmen. Dabei sind die Stärken einer einzelnen Technik (z.B. die Festlegung des Koordinatenursprungs durch SLR) zu nutzen und ihre Schwächen (z.B. keine Orientierungsinformationen in SLR) durch andere Techniken auszugleichen. Bedingungsfreie Normalgleichungssysteme, die alle Parameter enthalten, welche die Festlegung von TRF, CRF und EOP's beeinflussen, erlauben eine unverzerrte Datumsfestlegung. Deshalb basiert die Kombination auf der Akkumulation einzelner bedingungsfreier Normalgleichungen.

SINEX-Format

Bislang wurden von den internationalen Analysezentren Lösungen im SINEX-Format bereitgestellt. Sofern eine Lösung nur schwache Zusatzinformation enthält, lässt sich ein bedingungsfreies Normalgleichungssystem rekonstruieren. Die neue SINEX-Version 2.0 gestattet es auch, Normalgleichungssysteme abzuspeichern. Somit erfüllt das SINEX-Format alle Voraussetzungen für eine Kombination nach den oben genannten Gesichtspunkten.

Analyse

Für jedes Beobachtungsverfahren hat das freie Normalgleichungssystem einen theoretisch vorhersagbaren Rangdefekt, der durch Bedingungen behoben werden muss, um eine Lösung rechnen zu können. Wenn aus der Lösung die Normalgleichung rekonstruiert und davon die im SINEX-Format spezifizierten Bedingungen abgezogen werden, sollte sich der theoretisch erwartete Rangdefekt einstellen. Zahlreiche Untersuchungen an Normalgleichungen aller Techniken haben gezeigt, dass dies nicht immer zutrifft. Die Ursache könnten fehlende Bedingungen, Konfigurationsdefekte oder numerische Instabilitäten sein. Das Werkzeug zur Bestimmung des Rangdefekts ist die Eigenwertberechnung.

Manche Rangdefekte können eindeutig einem Typ zugeordnet werden: Translationsdefekt, Rotationsdefekt oder Massstabsdefekt. Die Klassifizierung beruht darauf, dass das Produkt von Normalgleichungsmatrix und Jacobimatrix der Helmertransformation in der vorliegenden Lösung für den entsprechenden Parametertyp singular sein muss.

Zahlreiche Programme zur Zeitreihen-, Frequenz- und Waveletanalyse sind fertiggestellt oder in der Entwicklungsphase. Sie dienen der Analyse von Zeitreihen von Stationspositionen und -geschwindigkeiten, von EOP, von Geozentrumsvariationen und von Variationen niedriger Geopotentialkoeffizienten. Ergebnisse hierzu werden in D1 beschrieben.

Kombinationsmethodik

Häufig beziehen sich geschätzte zeitabhängige Parameter einzelner Lösungen auf verschiedene Epochen. Zwei Methoden bieten sich an, um dies bei der Kombination zu berücksichtigen. Einerseits werden die Parameter und ihre Kovarianzmatrizen auf dieselbe Epoche transformiert. Diese Vorgehensweise ist auch auf Normal-

gleichungsebene möglich. Anschließend erfolgt die Addition der transformierten Normalgleichungssysteme. Diese Methode fand bisher im DGFI Anwendung. Andererseits ist es auch möglich, die einzelnen Lösungen zu verschiedenen Epochen unverändert als Pseudobeobachtungen zu betrachten, während die Epochentransformation in das Kombinationsausgleichungsmodell einbezogen wird. Dies hat den Vorteil, dass auch Datumparameter, falls nötig, in das Ausgleichungsmodell aufgenommen werden können. Die Programmierung der zweiten Methode hat begonnen.

Intratechnische Analyse und Kombination

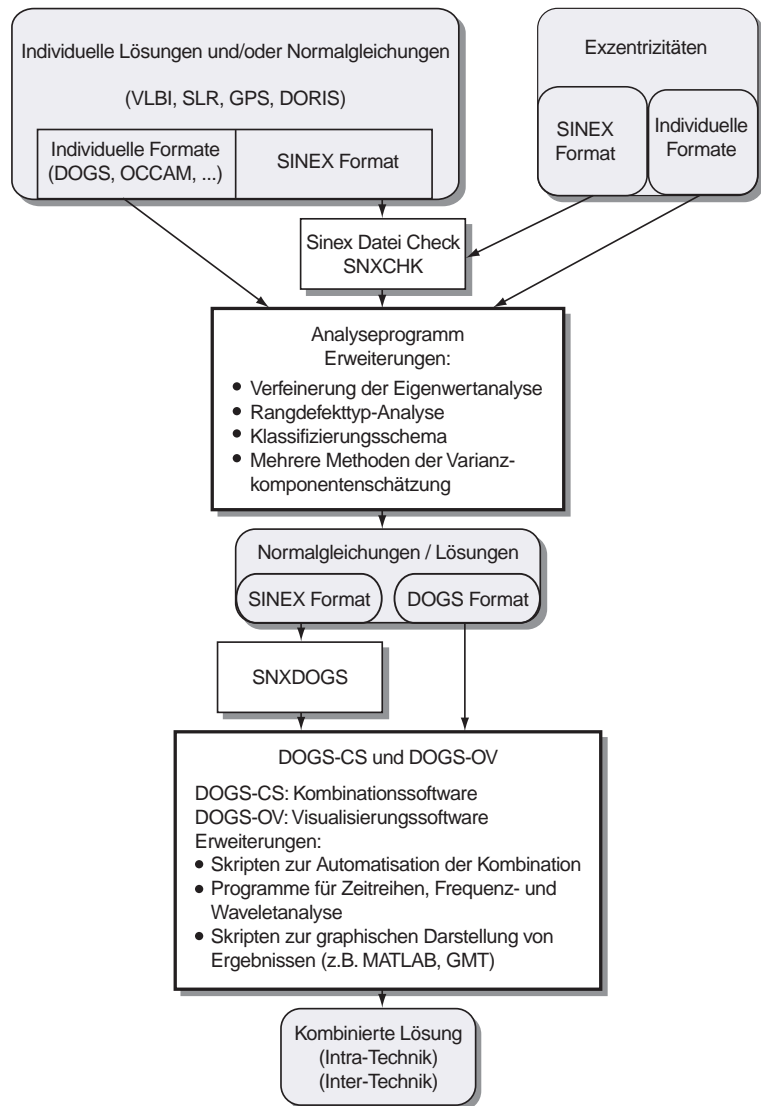
Die intratechnische Analyse versucht, aus den individuellen Lösungen einer Technik diejenigen zu identifizieren, die zur endgültigen Kombination geeignet sind, und ihre relativen Gewichte festzulegen. Das statistische Verfahren zur Gewichtung wurde verfeinert und mit anderen Gewichtungsmethoden verglichen. Nach der Kombination ist eine realistische Abschätzung der Kovarianzmatrix vorzunehmen. In Entwicklung ist ein Klassifizierungsschema, das nach der Analyse die Merkmale zur Eignung oder Nichteignung der Lösungen für die Kombination ausweisen soll. Die intratechnische Kombination ist nur gerechtfertigt, wenn die Datensätze weitgehend identisch sind und ein pseudostochastisches Verhalten der Lösungen vorliegt. Diese beiden Voraussetzungen waren bei ILRS-Pilotprojekten (siehe Projekt D3) erfüllt, in denen das Verfahren zuerst angewandt wurde. Es ist damit begonnen worden, individuelle Lösungen weiterer Techniken zu analysieren. Die im DGFI berechneten Normalgleichungssysteme für VLBI (siehe D5) sind bezüglich des Typs und der Anzahl der Rangdefekte einwandfrei: Es liegen drei Translations- und drei Rotations-Rangdefekte vor, wie es die Theorie bei Fixierung der Radioquellen vorschreibt. GPS-Lösungen zeigen unterschiedliche Behandlungsweisen der Datumparameter. DORIS-Lösungen scheinen fixiert zu sein, aber auch hier sind die Analysen fortzusetzen.

Intertechnische Kombination

Bei der intertechnischen Kombination wird zunächst die Lösung oder das bedingungsfreie Normalgleichungssystem der intratechnischen Kombination je Technik analysiert und adäquat gewichtet. Daraufhin erfolgt die Gesamtausgleichung unter Berücksichtigung optimaler minimaler Bedingungen. Danach ist zu überprüfen, ob aus Kontinuitätsgründen eine Anpassung an ein früheres terrestrisches Bezugssystem über eine 14-Parameter-Helmerttransformation notwendig ist. Als Gewichtungsverfahren bietet sich die Varianzkomponentenschätzung an. Die MINQUE-Methode sowie Näherungen dazu wurden programmiert.

Die Struktur und der derzeitige Stand der Analyse- und Kombinationssoftware sind in Abbildung A4.1 dargestellt. Das Analyseprogramm formatiert und überprüft die eingegangenen Daten (Lösungen im SINEX-Format, Normalgleichungen) und implementiert und erprobt neue Methoden. Deshalb wird vieles in Form von Perl-Skripten und -modulen programmiert; Module von DOGS-CS, DOGS-OV und Octave sind eingebunden.

Abb. A4.1 Momentaner Stand der Analyse- und Kombinationssoftware



A5 Referenzsystem für die Amerikas

SIRGAS 2000

Im Vorjahr waren Detailanalysen zur Festlegung einer optimalen Prozessierungsstrategie und anschließend die vollständige Auswertung der SIRGAS2000 GPS-Kampagne durchgeführt worden. SIRGAS 2000 enthält insgesamt 184 Stationen und schließt außer Südamerika auch alle Länder Mittel- und Nordamerikas ein. Da zu Beginn des jetzigen Berichtszeitraums auch die Ergebnisse des zweiten Analysezentrams, des Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), vorlagen, ist zunächst ein Vergleich der beiden Lösungen vorgenommen worden. Dies beinhaltete:

- ! Nochmalige Überprüfung der Vollständigkeit der Datensätze aller Stationen, der Empfänger- und Antennentypen sowie der verwendeten Antennenhöhen;
- ! Identifizierung der Diskrepanzen zwischen beiden Lösungen und ihrer vermutlichen Ursachen sowie Festlegung der Schritte zur Beseitigung.

Vergleich IBGE - DGFI

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Auswertungen besteht darin, daß IBGE die automatisierte Version der Berner Software benutzt hat, während das DGFI versucht hat, die Auswertung individuell der Datensituation anzupassen und auch durch Analyse der Ausgleichsresiduen zu verbessern. Erwartungsgemäß traten die größten Diskrepanzen, z.T. auch systematischer Natur, in den Regionen hoher Ionosphären-Aktivität und bei einigen Empfängern mit schlechter Messqualität auf.

Vergleich GIPSY - Bernese

In Zusammenarbeit mit der Bayerischen Erdmessungs-Kommission (BEK) ist das SIRGAS 2000-Netz auch mit GIPSY/OASIS ausgewertet worden. Die Einzelpunktbestimmung aus undifferenzierten Phasennmessungen mit GIPSY ist wesentlich weniger zeitaufwendig, ist aber auch z.B. bei der Modellierung der Phasenzentrumsvariationen weniger flexibel. Zudem können Probleme vor allem bei Datenlücken auftreten. Die vergleichende Analyse ist noch nicht abgeschlossen, ein Beispiel ist in Tabelle A5.1 gegeben. Sie zeigt für das kanadische Teilnetz die Residuen nach Transformation der beiden Lösungen aufeinander.

Station ID	Residuen [mm]		
	Nord	Ost	Höhe
ALBH	3,0	-0,7	-6,4
ALGO	3,6	2,8	-4,3
CHUR	0,5	3,8	2,9
DRAO	1,3	-3,0	4,9
DUBO	2,4	1,3	-5,2
FLIN	0,1	0,7	-0,4
HOLB	0,2	1,4	5,9
SCH2	-2,0	2,8	0,9
STJO	-2,2	-2,5	5,5
WHIT	-2,3	-4,4	1,4
WILL	-0,7	-2,5	4,8
YELL	-3,8	0,4	-10,0
R.M.S.	±2,3	±2,6	±5,3

Ein solcher Vergleich ergibt schlechtere Ergebnisse für Netze in der Äquatorregion oder für Netze mit unterschiedlichen Antennentypen. Insgesamt kann man jedoch feststellen, daß die Differenzen zwischen Lösungen mit unterschiedlichen Software-Systemen nicht wesentlich größer sind als die zwischen individuellen Auswertungen mit identischer Software.

Tab. A5.1 Vergleich GIPSY-Bernese für ein SIRGAS-Teilnetz

Realisierung des Referenzsystems

Die Untersuchungen zur optimalen Kombination der Ergebnisse von DGFI und IBGE für die Berechnung einer offiziellen SIRGAS 2000-Lösung sowie zur Realisierung der Datumsfestlegung in ITRF2000 sind noch nicht abgeschlossen. Für die Auswahl der zur Realisierung des Referenzsystems genutzten Stationen sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- ! Möglichst vollständige Datenbelegung und gute Datenqualität

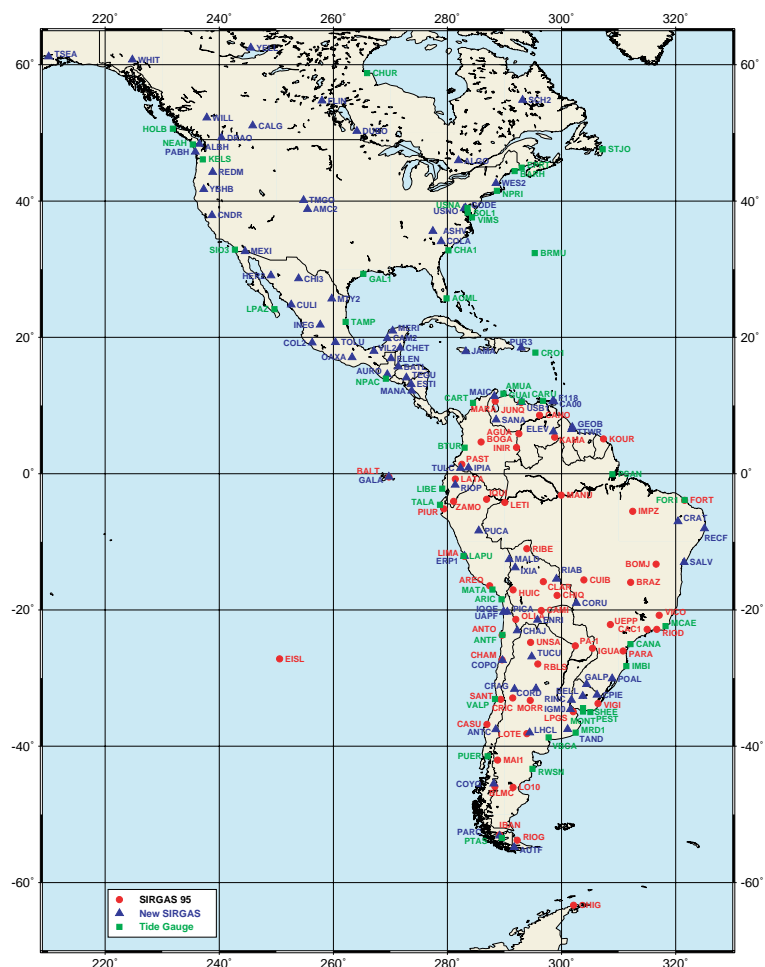
während der SIRGAS-Kampagne, um die Genauigkeit im übergeordneten Referenzsystem voll auf SIRGAS übertragen zu können;

- ! Möglichst Kollokation von GPS mit VLBI und/oder GPS, um die Beiträge der anderen Verfahren zur Genauigkeit der Referenzstation voll zu nutzen;
- ! Hohe, auf ausreichend langen Beobachtungsreihen basierende Genauigkeit im ITRF2000 und zuverlässige lokale Zentrierungen zwischen GPS, SLR und VLBI.

Die Realisierung kann entweder durch einfache Fixierung ausgewählter Stationen, durch gewichteten Bezug auf diese oder durch Anwendung einer "No-Net-Rotation"-Bedingung erfolgen. Die bisherigen Untersuchungen hierzu haben gezeigt:

- ! Das SIRGAS-Netz wird regional in Abhängigkeit von der Auswahl der Referenzstationen und des Verfahrens systematisch um bis zu etwa 5 mm beeinflusst.
- ! Die Widersprüche zwischen den Realisierungsverfahren bei den Referenzstationen selbst betragen in Nordamerika einige mm, während sie in Südamerika bis zu 2 cm erreichen; dies deutet auf eine schlechtere Konsistenz des ITRF2000 in Südamerika hin.

Abb A5.1 Punkteverteilung des SIRGAS-2000 Netzes



A6 Geodynamik-Netz CASA

Die GPS-Messungen im "Central and South America" (CASA)-Projekt in Venezuela sind im Februar 2002 mit der Beobachtung von 24 Punkten abgeschlossen worden. Damit liegen mit 1993, 1996 und 1999 jetzt vier das gesamte Netz einschließende Kampagnen vor. Diese werden ergänzt durch zusätzliche Messungen auf einzelnen Punkten oder Teilnetzen wie anlässlich der beiden SIRGAS-Kampagnen 1995 bzw. 2000 und nach dem schweren Cariaco-Erdbeben vom 9. Juli 1997. Die Tabelle A6.1 gibt einen Überblick über alle zur Verfügung stehenden GPS-Beobachtungen. Sie zeigt auch, dass ganztägige erheblichen Personalaufwand erfordernde Messungen fast ausschließlich bei den SIRGAS-Kampagnen realisiert werden konnten.

Tab. A6.1 Beobachtungen im GPS-Netz CASA; Stat. = Anzahl der besetzten Punkte, Std. = durchschnittliche tägliche Beobachtungsdauer.

Epoche	Stat.	Anlass	Tage	Std.
1993.2	21	Gesamtnetz	4	7
1994.1	12	Prä-SIRGAS	5	8/24
1995.4	7	SIRGAS 1995	10	24
1996.2	25	Gesamtnetz	5	8
1997.4	7	Zentrierungen	3	8
1997.8	8	Cariaco-Erdbeben	4	8
1998.2	9	Verbindung Kolumbien	4	8
1999.2	29	Gesamtnetz	5	8/24
2000.4	6	Sirgas 2000	10	24
2002.2	24	Gesamtnetz	5	10/24

Da alle Messungen bis 1999 mit älteren Versionen der Berner Software ausgewertet worden waren, da die Normalgleichungs-Formate nicht direkt kompatibel zu dem heutigen Format waren und da die Akkumulation und Geschwindigkeitslösung seinerzeit mit dem Programm ACCSOL des DGFI durchgeführt worden war, ist bereits im Vorjahr mit einer Reprozessierung aller Datensätze seit 1993 mit der neuesten Software-Version begonnen worden. Diese Neuauswertung trägt auch den folgenden Gesichtspunkten Rechnung:

- Verbesserungen in der Modellierung der Beobachtungen wie z.B. der troposphärischen Refraktion, den Phasenzentrumsvariationen und den Auflasteffekten durch Ozeangezeiten;
- Nutzung weiterer Software-Verbesserungen und stark verbesserter Rechenkapazitäten;
- Einheitlicher Bezug aller Epochenlösungen sowie der Gesamtausgleichung aller Datensätze auf das aktuelle internationale terrestrische Referenzsystem (ITRF2000), das hier durch die neueste Lösung des südamerikanischen GPS-Permanentnetzes (siehe Projekt D2) realisiert wurde.

Als Referenzstationen für das CASA-Netz wurden Bermuda, Bogotá, Brasilia, Cartagena, Kourou, Richmond und St. Croix einbezogen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen A6.1 und A6.2 dargestellt. Abbildung A6.1 zeigt die durchschnittlichen kontinuierlichen Horizontalbewegungen im Referenzsystem ITRF2000. Man sieht, dass es an der Boconó-El Pilar Verwerfung, der Plattengrenze Karibik-Südamerika, keine abrupten Diskontinuitäten, sondern eine schwache kinematische Übergangszone gibt. In

Abbildung A6.2 sind die Punktverschiebungen zwischen den einzelnen Beobachtungs-Zeitpunkten für die vom Cariaco-Erdbeben betroffenen Punkte im Ostteil des Netzes dargestellt. Die Auswirkungen des Erdbebens sind deutlich, eine Trennung in koseismische und postseismische Effekte ist jedoch nicht möglich.

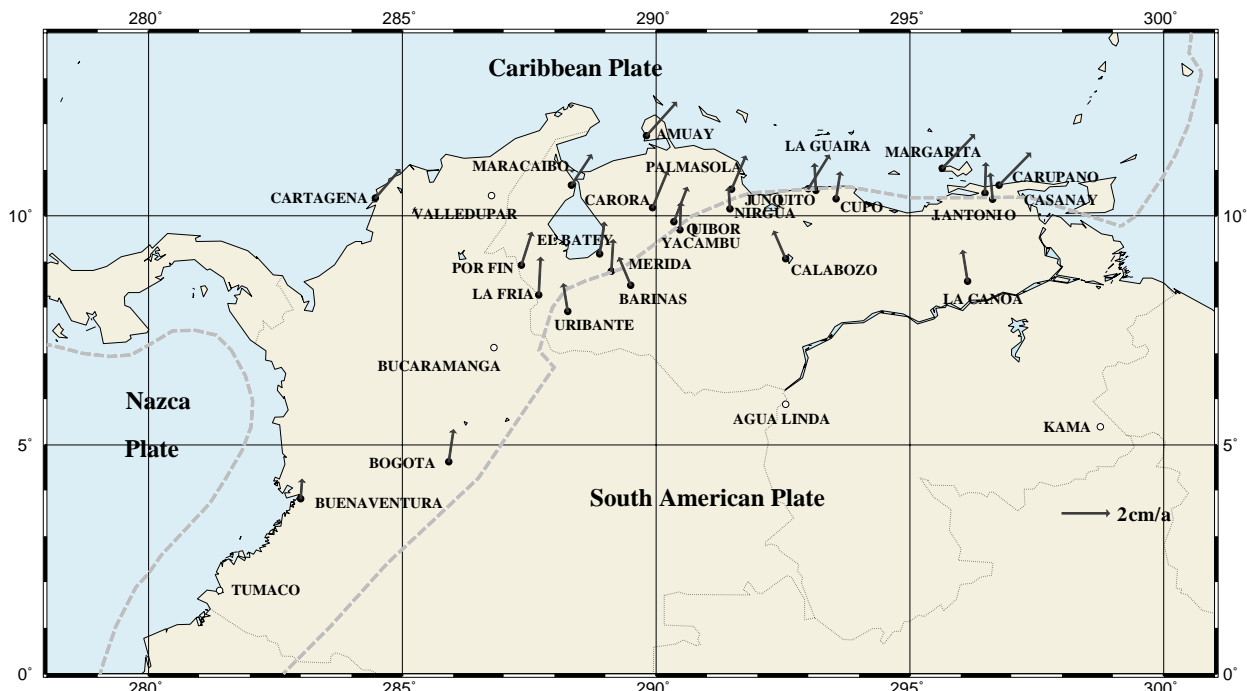


Abb. A6.1 Durchschnittliche horizontale Bewegungen-Geschwindigkeiten 1993-2002.

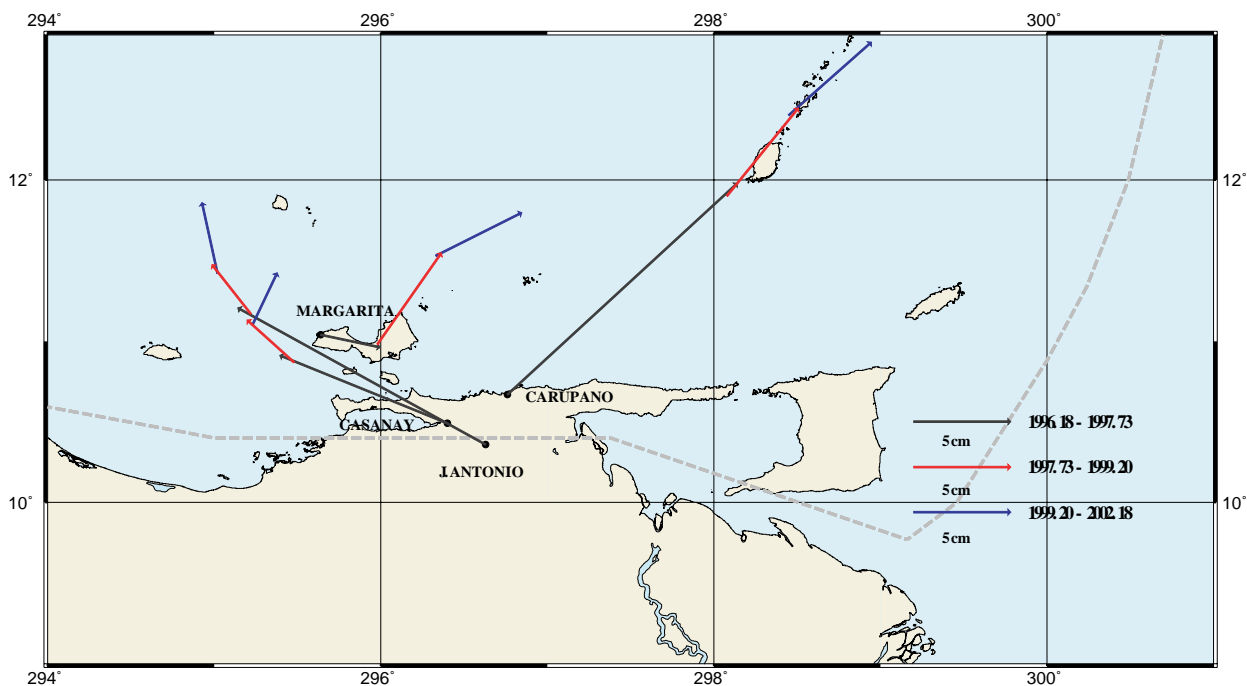


Abb. A6.2 Punktverschiebungen im Erdbebengebiet zwischen den einzelnen Beobachtungs-Zeitpunkten.

B: Physikalische Bezugsflächen

Geodätische Höhen werden im Allgemeinen in Relation zu geometrischen oder physikalischen Bezugsflächen angegeben. Moderne Raumverfahren (z.B. GPS) liefern ellipsoidische Höhen. Gebrauchshöhen beziehen sich jedoch auf Flächen, die durch das Erdschwerefeld bestimmt sind, z.B. das Geoid oder das Quasigeoid. Der Nullpunkt dieser Höhen wird mit langfristig gemittelten Pegelregistrierungen am mittleren Meeresspiegel orientiert. Der Meeresspiegel richtet sich aber nicht nur nach dem Schwerefeld aus, sondern wird zusätzlich durch Temperatur, Luftdruck und Strömungen verändert. Die Abweichungen des Meeresspiegels vom Geoid (die Meerestopographie) muss bekannt sein, um Höhensysteme zu vereinheitlichen. Die Meerestopographie liefert zugleich Erkenntnisse über wichtige dynamische Prozesse (Massenverlagerungen) des Systems Erde. Geoid und Meeresspiegel sind damit grundlegende physikalische Bezugsflächen, die in engem Zusammenhang stehen. Neue Schwerefeldmissionen wie CHAMP, GRACE und GOCE, etablierte Raumbesichtsungsverfahren wie die Satellitenaltimetrie, die präzise Punktpositionierung durch GPS sowie traditionelle Registrierungen von Pegeln müssen kombiniert werden, um die Beziehungen zwischen Geoid und Meeresspiegel zu präzisieren. Die Projekte B1 bis B5 untersuchen wichtige Aspekte dieser Aufgabe.

B1 Nutzung der Altimetrie zur globalen Schwerefeldbestimmung

Mit dem erfolgreichen Start von CHAMP (07/2000) und GRACE (03/2002) wurden die Voraussetzungen für erhebliche Verbesserungen des Schwerefeldes geschaffen. Mit EIGEN-1S und TEG4 liegen bereits erste Lösungen vom GFZ, Potsdam, und dem CSR, Austin/Texas, vor, die ausschließlich auf CHAMP-Daten beruhen (EIGEN-1S) oder existierende Lösungen durch CHAMP-Daten verbessern (TEG4). Die beiden CHAMP-Modelle wurden beschafft und für Vergleichsrechnungen benutzt. Eine Übersicht einiger aktueller Schwerefeldmodelle ist in Tabelle B1.1 zusammengestellt.

Tab. B1.1 Kennzeichen aktueller Schwerefeldmodelle. EIGEN-1S und TEG4 sind erste „satellite-only“ Modelle, die Daten der CHAMP-Mission nutzen. GRIM5C1 und EGM96 kombinieren dagegen Bahnverfolgungsdaten und Schweredaten aus Altimetrie und terrestrischen Messungen. Man beachte die unterschiedliche Handhabung von Skalierungs-Konstanten und zeitabhängigen Koeffizienten (z.T. geschätzt und mit mittleren Fehlern versehen).

	EIGEN-1S	TEG4	GRIM5C1	EGM96
Herausgabe durch	GFZ	CSR	GFZ	NASA/NIMA
Jahr	12/2001	12/2001	11/1999	07/1998
Modell-Typ	CHAMP-only	sat-only (+CHAMP)	sat + terr	sat + alt + terr
Beschreibung	GRL, 2002		JG, 2001	NASA/TP-1998-206961
max Grad/Ordnung	119 *)	200	120 *)	360
GM [$10^9 \text{m}^3/\text{s}^2$]	398600,4415	398600,4415	398600,4415	398600,4415
A [m]	6378136.46	6378136.3	6378136,46	6378136.3
Gezeiten System	tide-free	zero-tide	tide-free	tide-free
Epoche	1997.0	1986.0	1997.0	1986.0
dC_{20}/dt [$10^{-11}/\text{a}$]	+0.729405 ±0.665	+1.162755	+1,363759 ±0.143	+1.16275534
dC_{30}/dt [$10^{-11}/\text{a}$]	-0,214618 ±0.625		+0,281757 ±0.496	
dC_{40}/dt [$10^{-11}/\text{a}$]	+0,71720 8±0.914		+1,224915 ±0.130	
dC_{21}/dt [$10^{-11}/\text{a}$]		-0.337		-0,32
dS_{21}/dt [$10^{-11}/\text{a}$]		+1.606		1,62

*) maximaler Grad nur für einige Ordnungen (Resonanzterme)

Die bessere Auflösung durch die neuen Schwerefeldmissionen wird durch empfindlichere Beobachtungs-Systeme und eine niedrige Flughöhe erreicht. Die Messungen von CHAMP, GRACE und GOCE erfolgen in Satellitenhöhe, die Satellitenaltimetrie tastet dagegen die Meeresoberfläche ab. Trotz geringer Abweichungen von Geoid und Meeresoberfläche ($\pm 1-2$ m) enthält die Geometrie der Meeresoberfläche hochauflösende Neigungs- und Krümmungsinformationen des Schwerefeldes. Es fragt sich deshalb, wie sich die Auflösung der neuen Schwerefeldmodelle durch die Nutzung der Satellitenaltimetrie verbessern läßt.

Es ist üblich, aus den Neigungen entlang der Bahnspur des Altimeter-Satelliten die Nord-Süd und Ost-West Lotabweichungskomponenten zu schätzen, diese durch die inverse Vening-Meinesz-Gleichung in Schwereanomalien zu transformieren, die schließlich in Form von Blockmittelwerten als Beobachtungen für die Schätzung von Schwerefeldkoeffizienten genutzt werden. Das Konzept, Neigungen und Krümmungen entlang der Bahnspurprofile direkt als Beobachtungen zu nutzen, erscheint dagegen viel direkter und wurde deshalb weiter untersucht.

Allerdings konnte die Bildung mittlerer Meereshöhenprofile noch nicht abgeschlossen werden. Um dennoch den potentiellen Gewinn aktueller Schwerefeldmodelle durch die Altimetrie zu untersuchen, wurden Vergleichsrechnungen mit mittleren Meereshöhenmodellen durchgeführt.

Modelle der *mittleren* Meeresoberfläche mitteln und interpolieren die Messungen möglichst vieler Altimetermissionen, um eine räumlich hochauflösende und weitgehend zeitunabhängige Geometrie des Meeresspiegels darzustellen. Die jüngsten Modelle (siehe Tabelle B1.2) bieten eine Gitterauflösung von $2' \times 2'$, die nur durch die geringen Bahnspurabstände der geodätischen Missionsphasen von Geosat und ERS-1 zu erreichen ist.

Tab. B1.2 Aktuelle Modelle der mittleren Meeresoberfläche. Nicht alle Modelle haben einen Namen und wurden dokumentiert. Durch die ERS-1-Mission beträgt die Breitenüberdeckung bei allen Modellen etwa $\pm 81,5^\circ$.

Modell	Jahr	Auflösung	Missionen	Autor(en)	Quelle
MSS93A	1995	6' x 6'	Geosat ERS-1	Anzenhofer & Gruber	Bull.Geod.
OSU-MSS	1995	3.75'x3.75'	T/P ERS-1 Geosat	Yi	OSU Geod.Dep. Report 434
-	1996	3.75'x3.75'	T/P ERS-1	Cazenave et al.	Geophys.J.Int.
CSR98	1998	3.75'x3.75'	T/P ERS-1/2 Geosat	Tapley & Kim	
CLS-SHOM98.2	1998	3.75'x3.75'	T/P ERS-1/2 Geosat	Le Traon et al.	J. Atm.Oc.Sc.
KMS01	2001	3.75'x3.75'	T/P ERS-1/2 Geosat	Knudsen & Anderson	
GSFC00.1	2001	2'x2'	T/P ERS-1/2 Geosat	Wang	OSU
CLS-01-MSS	2002	2'x2'	T/P ERS-1/2 Geosat	Hernandez & Schaeffer	CLS

Um den möglichen Gewinn durch die mittleren Meereshöhenmodelle zu untersuchen, wurden exemplarisch Neigungs- und Krümmungsinformation von TEG4 und dem CLS01-Modell berechnet und miteinander verglichen. Abbildungen B1.1 und B1.2 zeigen die Lotabweichungen der beiden Modelle.

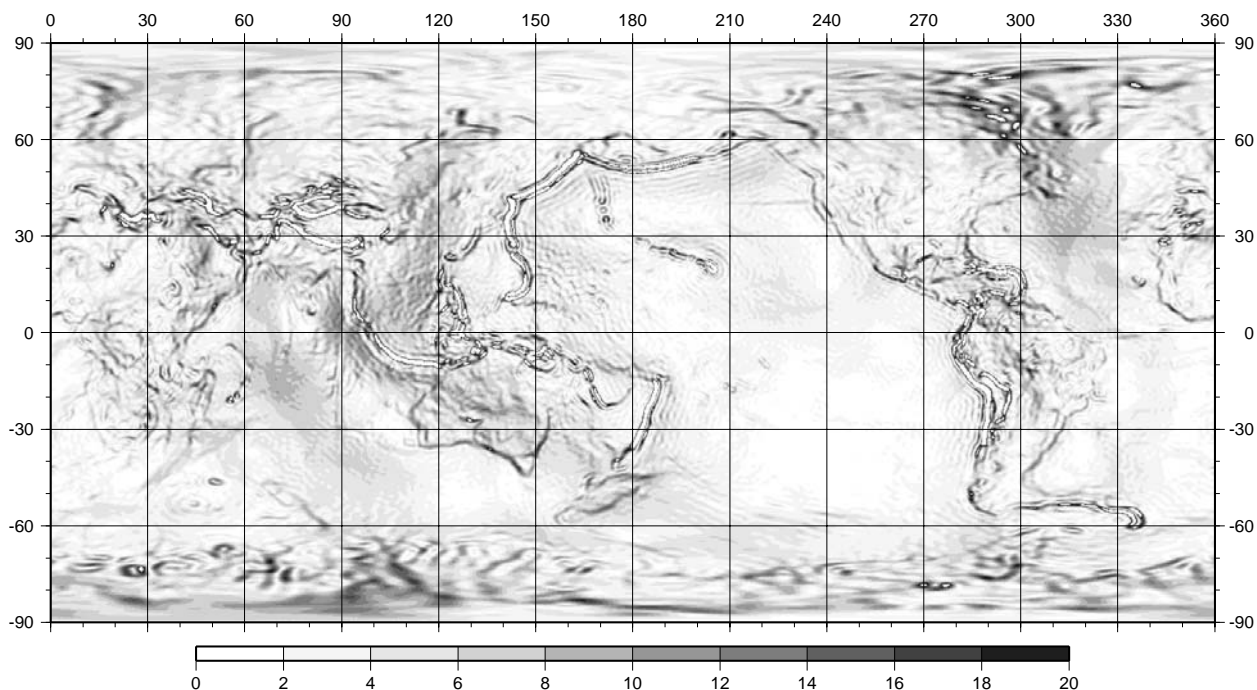


Abb. B1.1 Lotabweichungen des TEG4 Schwerefeldmodells ($''$), berechnet auf einem $15' \times 15'$ -Raster. Dort, wo sich Tiefseegräben im Geoid abbilden, treten Gibb's Phänomene auf, weil die begrenzte Auflösung mit maximalem Grad und Ordnung von 200 das hochfrequente Signal nicht ausreichend darstellen kann.

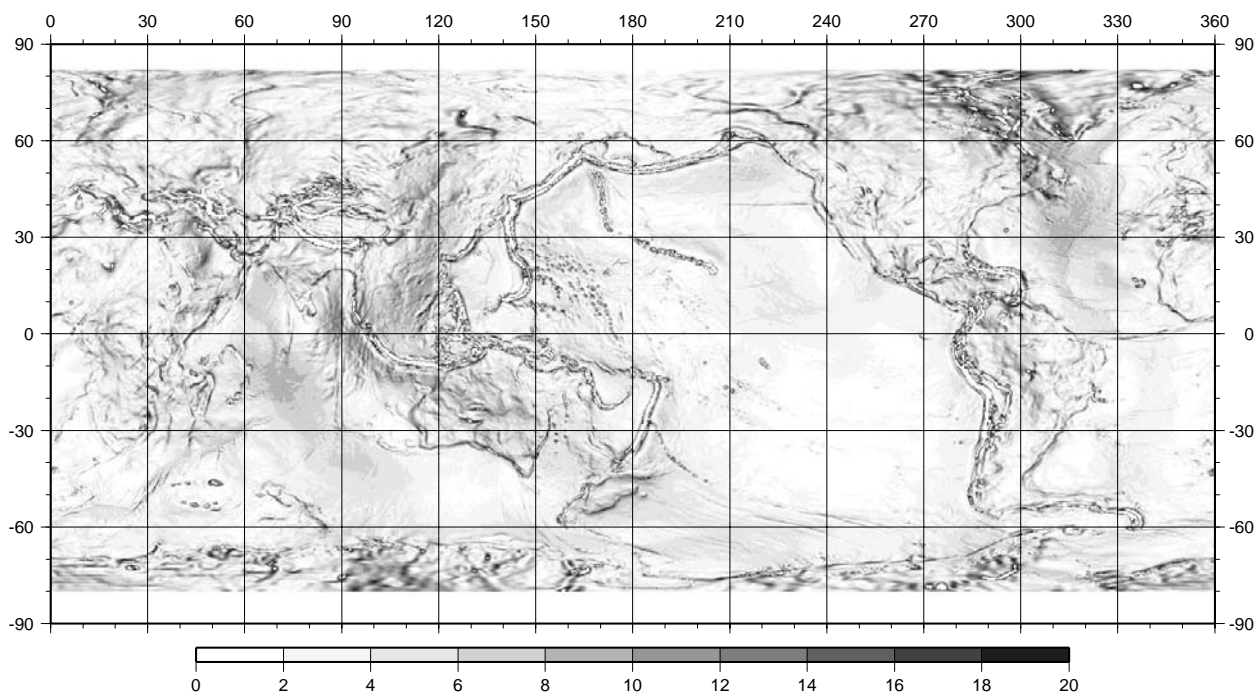


Abb. B1.2 Neigungsinformation des Meereshöhenmodelles CLS01 ($''$). Um es mit TEG4 (Abbildung B1.1) zu vergleichen, wurde die Höhen auf ein $15' \times 15'$ -Raster gemittelt. Die daraus abgeleiteten Lotabweichungen zeigen über dem Meer wesentlich feinere Strukturen als TEG4 (über Land enthält CLS01 das EGM96-Geoid).

B2 Wavelet-Reihenentwicklung des Schwerfeldes

Filterbank der Signalzerlegung

Im letzten Jahresbericht wurde am Beispiel der Schwereanomalien des EGM96 die Zerlegung eines Datensatzes in einzelne Detailsignale demonstriert. Dieses Verfahren wurde im Berichtszeitraum in verschiedener Hinsicht modifiziert.

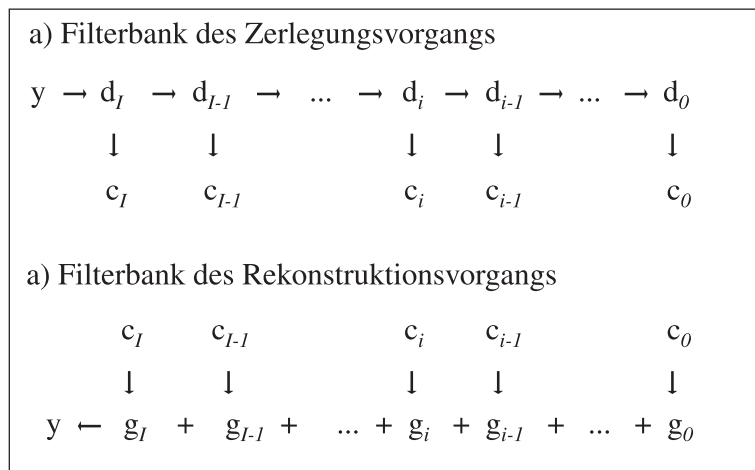
Im eindimensionalen Fall kann die Fourier-Transformation eines kontinuierlichen Signals exakt aus diskreten Signalwerten berechnet werden, falls das Signal bandbegrenzt ist und die Nyquist-Frequenz eingehalten worden ist. Entsprechend kann die sphärische Wavelet-Transformation exakt durch eine endliche Reihe berechnet werden, falls das Signal und die verwendete Wavelet-Funktion bezüglich des Frequenzbereichs bandbegrenzt sind und die verwendeten Datenpunkte bestimmten Auswahlkriterien genügen. Das üblicherweise gewählte Längen- und Breitengitter stellt ein solches zulässiges Punktsystem dar. Die für die Auswertung der einzelnen Reihenglieder benötigten Integrationsgewichte wurden der Veröffentlichung "Computing Fourier Transforms and Convolutions on the 2-Sphere" von Driscoll und Healy aus dem Jahr 1994 entnommen. Die Anzahl der benötigten Gitterpunkte richtet sich nach dem maximalen Grad, für den der Fourier-Koeffizient des Datensatzes einen von Null verschiedenen Wert aufweist. Bezeichnet man die Anzahl der Gitterpunkte in der höchsten Auflösungsstufe (Level) mit N_I und sammelt die Daten in dem $N_I \times 1$ Beobachtungsvektor $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_{N_I}]^T$, lassen sich unter den obigen Annahmen die im $N_i \times 1$ Vektor \mathbf{c}_i zusammengefassten sphärischen Wavelet-Koeffizienten der i -ten Stufe aus dem Gleichungssystem

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{d}_{i+1} = \mathbf{H}_i \dots \mathbf{H}_k \dots \mathbf{H}_{I-1} \mathbf{H}_I \mathbf{y} \quad (1)$$

$$\mathbf{c}_i = \mathbf{B}_i \mathbf{d}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{y} \quad (2)$$

berechnen, wobei $i \in \{0, 1, \dots, I\}$ und $N_i \leq N_I$ gilt. N_i bezeichnet die Anzahl der verwendeten Gitterpunkte der i -ten Auflösungsstufe. Üblicherweise wählt man $N_i < N_{i+1}$, so dass mit absteigender Stufe immer weniger Datenpunkte zur Berechnung der Wavelet-Koeffizienten herangezogen werden. Zudem zeigt die rekursive Berechnung des $N_i \times 1$ Vektors \mathbf{d}_i aus dem $N_{i+1} \times 1$ Vektor \mathbf{d}_{i+1} die pyramidale Struktur. Die $N_k \times N_{k+1}$ Matrizen \mathbf{H}_k mit $k=i, \dots, I$, die als Tiefpassfilter wirken, beinhalten auch die oben genannten Integrationsgewichte. Allgemein ist die sukzessive Tiefpassfilterung eines Signals das Kennzeichen einer Multi-Skalenanalyse. Die Elemente der $N_i \times N_i$ Matrix \mathbf{B}_i , die als Bandpassfilter wirkt, berechnen sich aus der verwendeten sphärischen Wavelet-Funktion. Die beiden Gleichungen (1) und (2) bilden die Grundlage für die in Abbildung B2.1a) dargestellte Filterbank des Zerlegungsvorgangs. Auf ähnliche Weise lässt sich die in Abbildung B2.1b) veranschaulichte Filterbank für den Rekonstruktionsvorgang gewinnen, die eine Multi-Skalenrepräsentation des Signals liefert.

Abb. B2.1: Filterbänke



Multi-Skalenentwicklung

Aus der Summe der Detailsignale

$$\mathbf{g}_i = \tilde{\mathbf{B}}_i \mathbf{c}_i \tag{3}$$

und des Restsignals $\mathbf{y}_0 = \mu \mathbf{1}$ lässt sich das Signal \mathbf{y} rekonstruieren

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_0 + \sum_{i=0}^I \mathbf{g}_i = \mu \mathbf{1} + \sum_{i=0}^I \tilde{\mathbf{B}}_i \mathbf{c}_i \tag{4}$$

Diese Gleichung bezeichnet man auch als Multi-Skalenentwicklung des Signals. Darin berechnen sich die Elemente der $N_I \times N_I$ Matrix $\tilde{\mathbf{B}}_i$, die als Bandpassfilter wirkt, aus der dualen sphärischen Wavelet-Funktion. Ferner enthält diese Matrix wieder die Integrationsgewichte. μ bezeichnet den Mittelwert des Signals und $\mathbf{1}$ bedeutet der $N_I \times 1$ Summationsvektor. Im Falle des Störpotentials gilt beispielsweise wegen $\mu = 0$ auch $\mathbf{y}_0 = \mathbf{0}$. Da die Berechnung der Vektoren \mathbf{c}_k unabhängig vom Mittelwert μ ist, kann in Gleichung (1) auch der Differenzvektor $\mathbf{y} - \mathbf{y}_0$ anstelle des Beobachtungsvektors \mathbf{y} eingesetzt werden. Im Fall $\mathbf{y}_0 = \mathbf{0}$ berechnet sich die Gesamtenergie E_y des Vektors \mathbf{y} zu

$$E_y = \mathbf{y}'\mathbf{y} = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^I \mathbf{g}'_i \mathbf{g}_j \tag{5}$$

Aus dieser Darstellung kann man die Energieverteilung in Bezug auf die Auflösungsstufen ablesen. Dominante Signalanteile lassen sich so von den übrigen Anteilen trennen. Bezeichnet man ferner die Kovarianzmatrix des Beobachtungsvektors \mathbf{y} mit $D(\mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{I}$, erhält man aus Gleichung (2) unter Verwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes die $N_i \times N_j$ Kovarianzmatrix

$$C(\mathbf{c}_i, \mathbf{c}_j) = \sigma^2 \mathbf{A}_i \mathbf{A}'_j \tag{6}$$

der Vektoren \mathbf{c}_i und \mathbf{c}_j der Wavelet-Koeffizienten der Auflösungsstufen i und j mit $i, j \in \{0, 1, \dots, I\}$; σ^2 bedeutet die Varianz und \mathbf{I} die $N_I \times N_I$ Einheitsmatrix. Die Korrelation zwischen den beiden Vektoren wird bereits aus Gleichung (1) deutlich. Die Berechnung der Kovarianzmatrizen aus Gleichung (6) ist auch für

die Anwendung von Datenkompressionsmethoden von großer Bedeutung. Auf Grund der Lokalisierungseigenschaften der Wavelet-Funktion ist nämlich davon auszugehen, dass viele Wavelet-Koeffizienten Zahlenwerte um Null aufweist.

CHAMP Störpotential

Das zuvor beschriebene Verfahren soll nun am Beispiel realer Daten demonstriert werden. Die zugrunde liegenden Störpotentialwerte wurden am „Laboratory for Space Geodesy and Remote Sensing Research“ der „Ohio State University“ in Columbus/Ohio aus CHAMP-Daten berechnet. Die Methode, die auf dem Prinzip der Energieerhaltung basiert, ist in dem Artikel „The determination of gravitational potential differences from satellite-to-satellite tracking“ von Jekeli aus dem Jahr 1999 erläutert. Im folgenden wurde angenommen, dass sich der Satellit annähernd auf einer Sphäre mit einem Radius von ungefähr 6830 km bewegt. Das in Abbildung B.2.a) dargestellte Störpotential in Satellitenhöhe wurde nach Gleichung (4) in die acht Detailsignale g_0 bis g_7 zerlegt, die in Abbildung B.2.3 veranschaulicht sind. Die Detailsignale höherer Stufen weisen in der Nähe der Polkappen geringe Randeffekte auf, da CHAMP eine polnahe Bahn mit einer Inklination von 87° besitzt. Während die dargestellten Detailsignale mit dem kubischen Polynom Wavelet berechnet wurden, zeigt Abbildung B.2.b) die mit der „de la Vallée“-Poussin Wavelet-Funktion berechnete Approximation des Störpotentials durch Summation der entsprechenden Detailsignale für $i = 0, \dots, 5$. Ferner ist in Abbildung B.2.c) die Fortsetzung des Störpotentials nach unten auf die Sphäre mit einem Radius von 6378 km veranschaulicht. Zu Testzwecken wurde anschließend dieses Signal wieder nach oben fortgesetzt. Da das Signal aus Abbildung B.2.c) bandbegrenzt ist, ist die Berechnung exakt möglich. Demzufolge liegen die Abweichungen des nach oben fortgesetzten Signals (nicht dargestellt) in Bezug auf das Signal in Abbildung B.2.b) im Rahmen der Rechengenauigkeit. Die für diese Vorgänge benötigten Operatoren sind dann in die jeweils zu verwendende Matrix \mathbf{B}_i aus Gleichung (3) einzuführen.

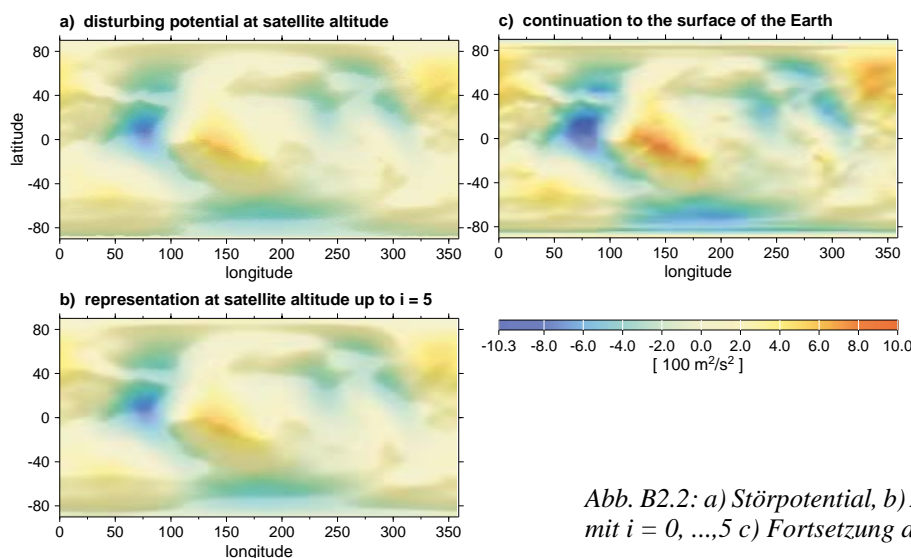


Abb. B.2.2: a) Störpotential, b) Approximation in Satellitenhöhe mit $i = 0, \dots, 5$ c) Fortsetzung auf eine sphärische Erde

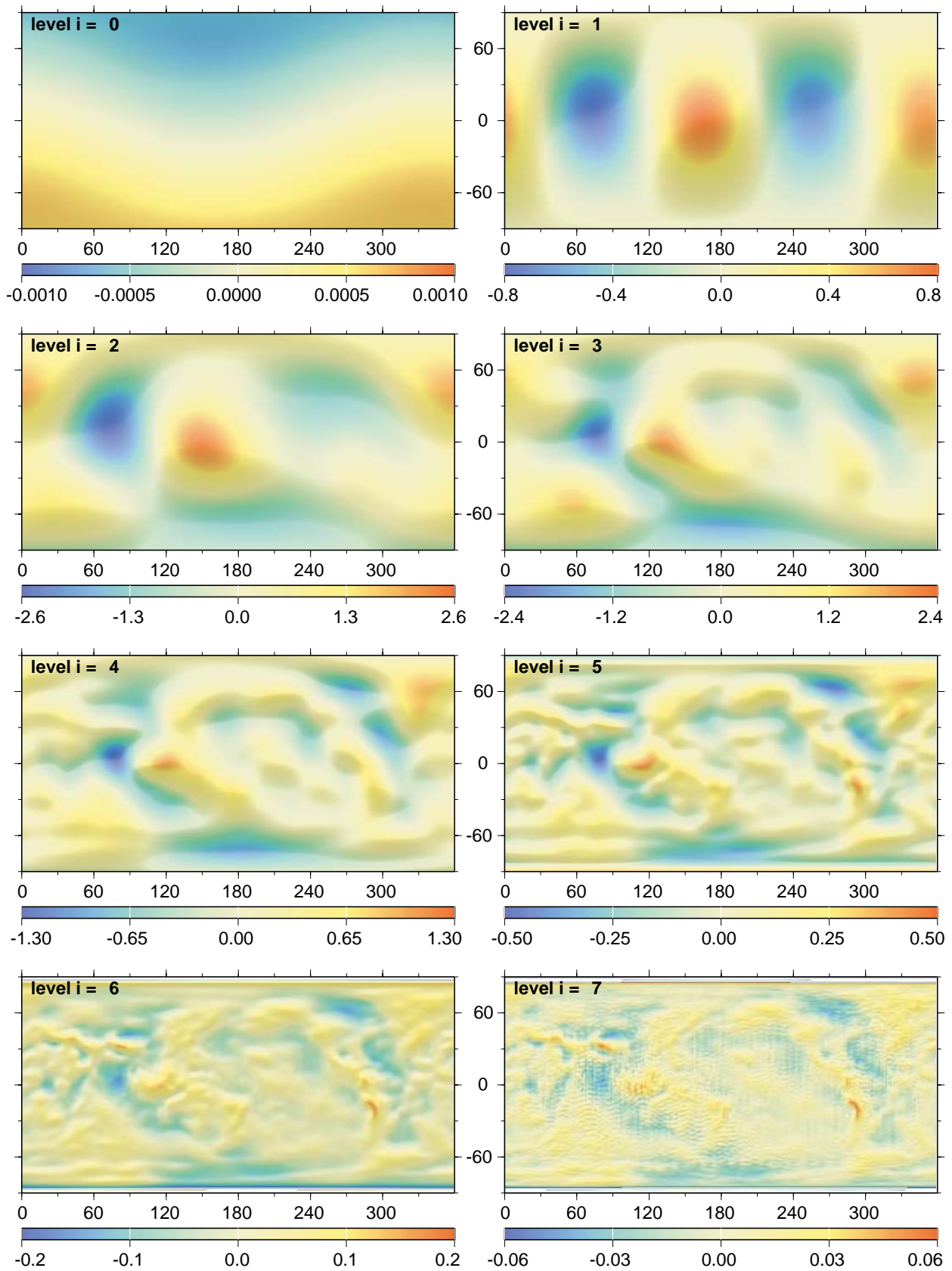
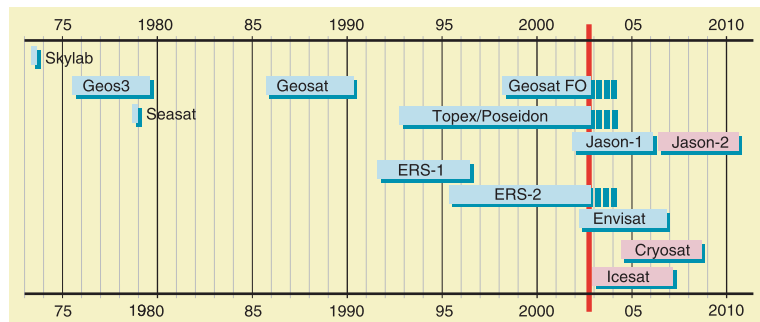


Abb. B2.3 Detailsignale der Auflösungsstufen (Level) $i = 0, 1, \dots, 7$ in $[100m^2/s^2]$

B3 Meeresspiegel-überwachung durch Altimetrie und Pegel

Seit den erfolgreichen Starts von Jason-1 und von ENVISAT messen z.Zt. fünf Altimeter-Satelliten gleichzeitig (siehe Abbildung B3.1). Während das vergangene Jahrzehnt vom gleichzeitigen Betrieb von TOPEX/Poseidon, ERS-1 und dessen Nachfolger ERS-2 geprägt war, ist die jetzige Situation durch den unerwartet langen Betrieb der „alten“ Missionen TOPEX/Poseidon und ERS-2 entstanden, die auch nach dem Start der Nachfolge-Missionen Jason-1 und ENVISAT noch messen. Außerdem ist auch GFO, die im Februar 1998 gestartete „Geosat Follow-On“-Mission, in Betrieb. Die allgemeinen Kennzeichen aller Missionen, die seit 1985 zu einer nahezu ununterbrochenen Messreihe beitragen, sind in Tabelle B3.1 zusammengefasst.

Abb.B3.1 Übersicht bisheriger und in naher Zukunft geplanter Altimetermissionen.



Tab. B3.1. Allgemeine Kennzeichen der Altimeter-Missionen seit 1985 (Stand September 2002)

	Geosat	ERS-1	T/P	ERS-2	GFO	Jason-1	ENVISAT
Betrieb durch ...	US-NAVY	ESA	CNES/NASA	ESA	US-NAVY	CNES/NASA	ESA
Start [Monat/Jahr]	03/1985	07/1991	09/1992	04/1995	02/1998	12/2001	03/2002
Messung bis l...	09/1989	03/1996 ²⁾	now	now	now	now	now
Mission Dauer [Monate]	54 ¹⁾	57	121 + ...	90 + ...	56 + ...	10 + ...	7 + ...
Inklination [°]	108.0	98.54	66.04	98.54	108.04	66.04	98.55
Exzentrizität	0.001	0.0012	0.0006	0.0012	0.0008	0.0006	0.0012
Große Halbachse [km]	7179.0	7159.5	7714.4	7159.5	7162.6	7714.4	7159.5
Mittlere Höhe [km]	800.6	781.1	1336.0	781.1	784.2	1336.0	781.1
Breitenüberdeckung [°]	± 72.0	± 81.46	± 66.04	± 81.46	± 71.96	± 66.04	± 81.45
Wiederhol-Zyklus [Tage]	17.05 ¹⁾	3/35/168 ³⁾	9.9156	35	17	9.9156	35
Umläufe pro Zyklus	242	43/501/2411	127	501	242	127	501
Spurabstand [km]	165	929/80/16	315	80	165	315	80
Altimeter noise [cm]	7	5	2	3	3.5	1.5	2
Frequenz(en) [GHz]	13.5	13.5	13.6 5.3	13.5	13.5	13.575 5.3	13.575 3.2
Bahnverfolgung durch	Doppler	Laser PRARE ⁴⁾	Laser DORIS GPS	Laser PRARE	Laser GPS ⁵⁾	Laser DORIS	Laser DORIS
Radiometer (onboard)	-	MWR / 2	TMR / 2	MWR / 3	GMR / 2	JMR / 3	MWR / 2

¹⁾ nur für die „Exact Repeat Mission (ERM)“. Kein Wiederhol-Zyklus während der „Geodetic Mission (GM)“

²⁾ Kurze Reaktivierung für Kalibrationszwecke

³⁾ Wiederhol-Zyklen wechselten mehrmals, um multi-disziplinäre Anforderungen zu erfüllen

⁴⁾ PRARE versagte kurz nach dem Start

⁵⁾ GPS Empfänger mit erheblichen Fehlfunktionen

**Kombination der
Abtasteigenschaften
verschiedener Missionen**

Die Bahndynamik eines einzelnen Satelliten erzwingt einen Kompromiss zwischen guter räumlicher oder guter zeitlicher Auflösung. Durch die unterschiedlichen Bahnkennzeichen und die damit verbundenen Abtasteigenschaften ergibt die Kombination mehrerer Missionen nicht nur eine optimale räumliche und zeitliche Auflösung für die Abbildung und Überwachung des Meeresspiegels; der gleichzeitige Betrieb bietet auch eine einmalige Chance, die seit 1992 ununterbrochene Zeitreihe der Altimeterbeobachtungen mit einem konsistenten vertikalen Bezugssystem über mehr als ein Jahrzehnt fortzusetzen.

**Absolute und relative
Kalibration**

Um die räumliche Auflösung der Missionen zu kombinieren und eine missionsübergreifende Altimeter-Zeitreihe zu erstellen, muss ein genauer und einheitlicher vertikaler Bezug durch sorgfältige absolute und relative Kalibration sichergestellt werden. Die relative Kalibration verschiedener, aber gleichzeitig messender Satelliten ist durch Kreuzungspunkt-Differenzen möglich. Tandemkonfigurationen, z.B. zwischen TOPEX/Poseidon und Jason-1 sowie zwischen ERS-2 und ENVISAT, bei denen der Nachfolgesatellit mit kurzem Zeitabstand die Bahnspur des Vorläufers vermisst, können Missionen mit denselben Bahnkennzeichen verbinden. Durch globale Gegenüberstellung der Meereshöhenprofile kann der relative Bias in solchen Konfigurationen mit mm-Genauigkeit bestimmt werden. Eine wiederholte absolute Kalibration ist jedoch ebenfalls erforderlich, um Altimetermessungen zu skalieren und instrumentelle Driften zu erkennen.

**Vorarbeiten zur
relativen Kalibrierung
von ENVISAT**

Das DGFI hat sich erfolgreich bei einer Ausschreibung der ESA beworben und beteiligt sich an der relativen Kalibrierung von ENVISAT. Sie soll vor allem den relativen „Range-Bias“ zwischen den Altimetersensoren von ERS-2 und ENVISAT ermitteln. In dem DGFI-Beitrag soll aber auch die derzeitige Situation mit fünf aktiven Altimetersatelliten genutzt und eine gemeinsame Kreuzkalibration zwischen ERS-2, ENVISAT, TOPEX/Poseidon, Jason-1 und GFO versucht werden. Dazu wurden im Berichtszeitraum die methodischen Grundlagen erarbeitet, die Quellen für die Missionsdaten erschlossen und zahlreiche Interface-Programme geschrieben, um die Missionsdaten in ein einheitliches Format zu übertragen. Die Kreuzkalibration erfordert eine weitgehende Harmonisierung der geophysikalischen Korrekturen (z.B. gleiche Gezeitenmodelle) aller Satelliten. Die Fähigkeit, Missionsparameter kurzfristig durch andere Versionen zu ersetzen, wird durch die OpenADB-Entwicklung sichergestellt. Die Untersuchungen zur Kalibration stehen deshalb in engem Zusammenhang mit den Entwicklungsarbeiten des Projektes D7.

**Ausdehnung der
EVAMARIA-Arbeiten
auf den Südatlantik**

Nach Abschluss des Projektes EVAMARIA bemühte sich das DGFI um eine Fortsetzung und Ausdehnung der Arbeiten zur Überwachung des Meeresspiegels durch Kombination und Vergleich von Altimetrie, Pegelregistrierungen und Schätzung der Vertikalbewegungen an Pegeln durch permanente GPS-Messungen. Die gute Zusammenarbeit mit den südamerikanischen Partnern, aber auch die hydrodynamischen Zusammenhänge zwischen Süd-

und Nordatlantik legen es nahe, das Untersuchungsgebiet auf den Südatlantik auszudehnen.

Die Aktivitäten umfassen:

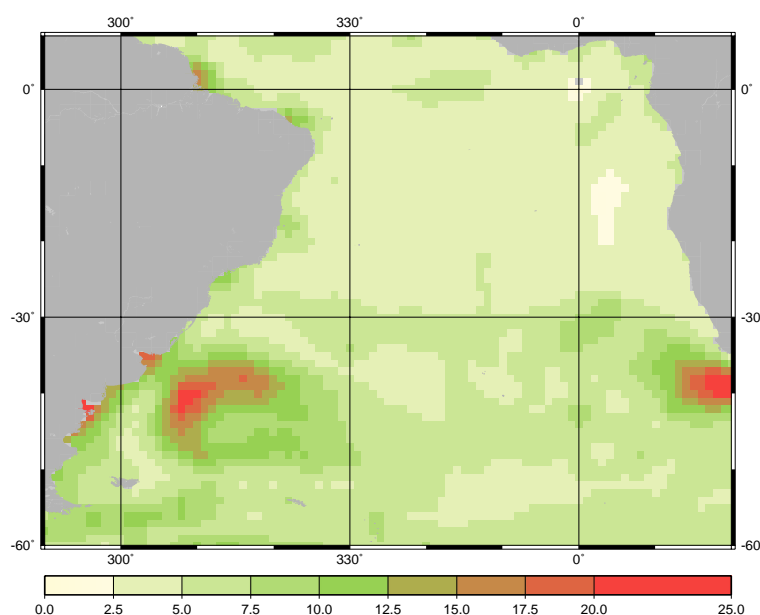
- Betrieb existierender und Einrichtung neuer GPS-Permanent-Stationen an bzw. nahe bei Pegelstationen;
- Besonders sorgfältige Auswertung der GPS-Daten, um die Stationen in das ITRF einzubinden und möglichst verlässliche Vertikalbewegungen schätzen zu können;
- Überwachung des Meeresspiegels und seiner Veränderungen durch Altimetrie und Pegelregistrierungen.

Die beiden ersten Aktivitäten wurden in das IGS-Pilotprojekt TIGA eingebracht. Dieses Projekt befindet sich noch in einer frühen Phase; erste Ergebnisse werden deshalb im kommenden Jahresbericht dargestellt. Untersuchungen zur Überwachung des Meeresspiegels im Südatlantik wurden bereits durchgeführt und sollen im folgenden dargestellt werden.

Entwicklung des Meeresspiegels im Südatlantik

Die Analysemethoden des Projektes EVAMARIA haben sich bewährt und wurden auch auf die Daten des Südatlantiks angewendet: Für die TOPEX/Poseidon-Zyklen 002-306 wurde eine Reihe von Meereshöhenmodellen abgeleitet, die jeweils den Zustand des Meeresspiegels für eine Periode von 10 Tagen darstellen. Aus allen Modellen wurde ein Gesamtmittel gebildet, und dieses wurde von den individuellen Modellen abgezogen. Die so gebildeten Höhenanomalien wurden dann einer vorläufigen „Principal Component Analyse“ (PCA) unterzogen. Diese statistische Analyse gibt Auskunft über die Gesamtvariabilität (siehe Abbildung B3.2), zeigt aber vor allem die dominantesten räumlichen Strukturen mit ihrer zeitlichen Entwicklung auf (Abbildung B3.3).

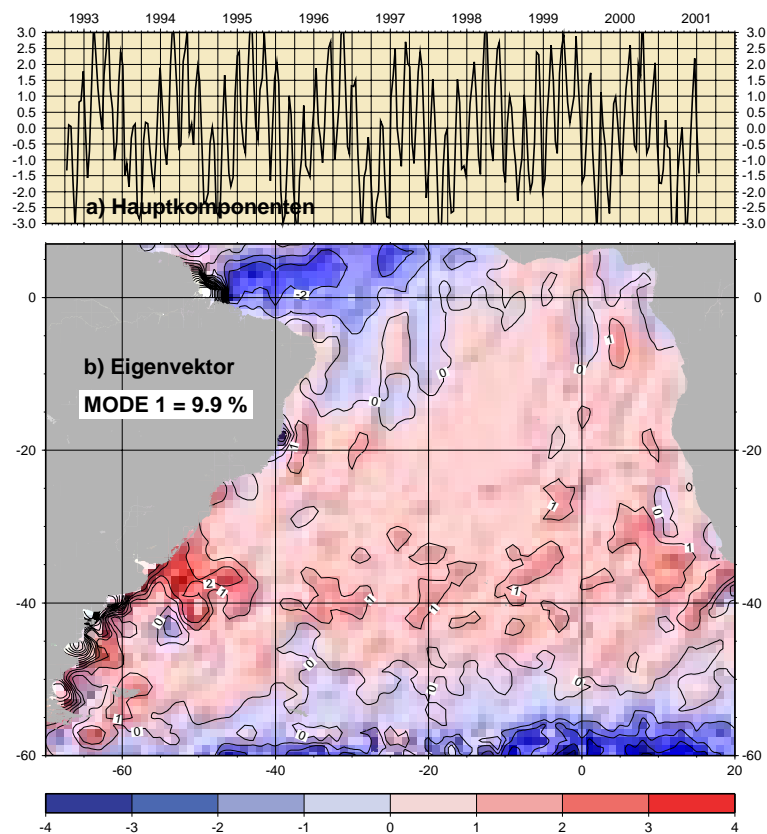
Abb.B3.2 Geographische Verteilung der rms-Werte (Streuung) der TOPEX/Poseidon Meereshöhenmodelle. Die Streuung kann als Maßzahl für die Variabilität des Meeresspiegels dienen, weil die Meereshöhen selbst nur mit Fehlern von wenigen Zentimetern behaftet sind.



Identifizierung periodischer Meeresspiegel-Variationen

Die Hauptkomponenten von Mode 1 der PCA-Analyse (Abbildung B3.3) zeigen eine deutliche Jahresschwingung, die mit einem hochfrequenten Signal moduliert ist. Das hochfrequente Signal hat eine Periode von 62 Tagen und kann damit eindeutig als Aliasperiode der M_2 -Partialtide identifiziert werden: Die Abtastung von TOPEX/Poseidon erfolgt alle 9,9156 Tage – die streng 12-stündige Partialtide von M_2 bildet sich damit in eine Aliasperiode von 62.1 Tagen ab. Die jährliche und die Aliasperiode bilden sich auch in höhere, weniger dominante Modes ab. Für streng periodische Vorgänge ist deshalb die PCA-Analyse weniger geeignet. Es empfiehlt sich deshalb, Vorgänge mit bekannten Perioden durch eine harmonische Analyse zu beschreiben und die PCA-Analyse nur noch auf die Residuen (Meereshöhen-Anomalien minus periodische Vorgänge) anzuwenden. Die Ergebnisse der vorläufigen PCA-Analyse sind dennoch wichtig – sie lassen die Perioden erkennen und entscheiden damit über die weiteren Analysen.

Abb. B3.3 Mode 1 einer PCA Analyse der Meereshöhen-Anomalien. Die Hauptkomponenten (oben) zeigen die zeitliche Entwicklung der räumlichen Strukturen (unten), die den größten Anteil der Gesamtstreuung (hier 9,9%) erklären.



Harmonische Analyse

Die harmonische Analyse der Meereshöhen wurde nicht auf die in Abbildung B3.3 identifizierten Perioden beschränkt. Die Jahresperiode tritt zwar in der Regel mit den höchsten Amplituden auf (siehe Abbildung B3.4), der jahreszeitliche Verlauf des Meeresspiegels wird jedoch auch durch halbjährliche und vierteljährliche Perioden moduliert. Deshalb wurden auch halb- und vierteljährliche Perioden analysiert.

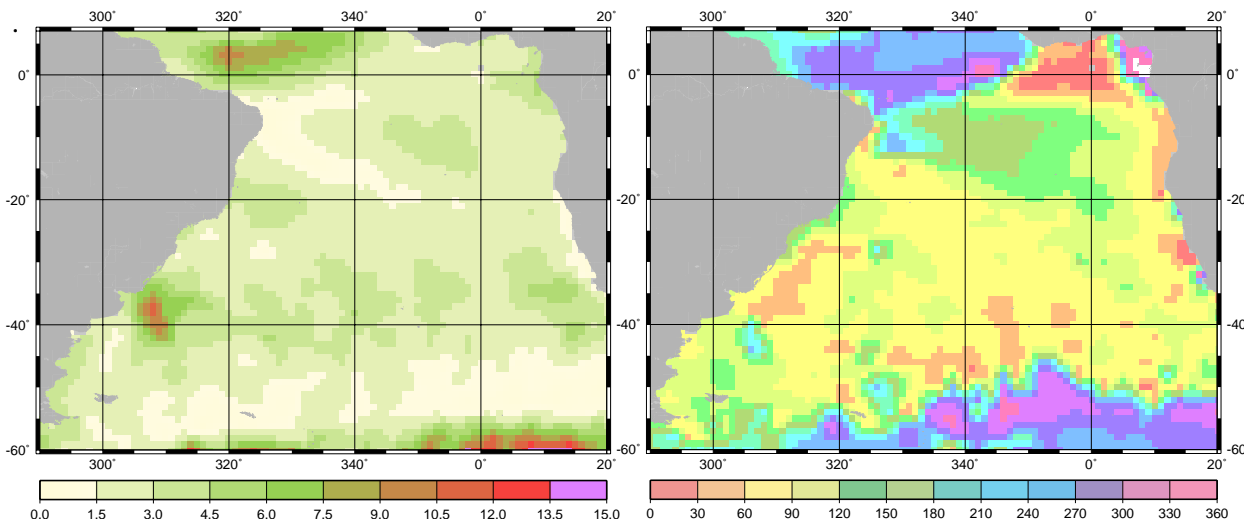
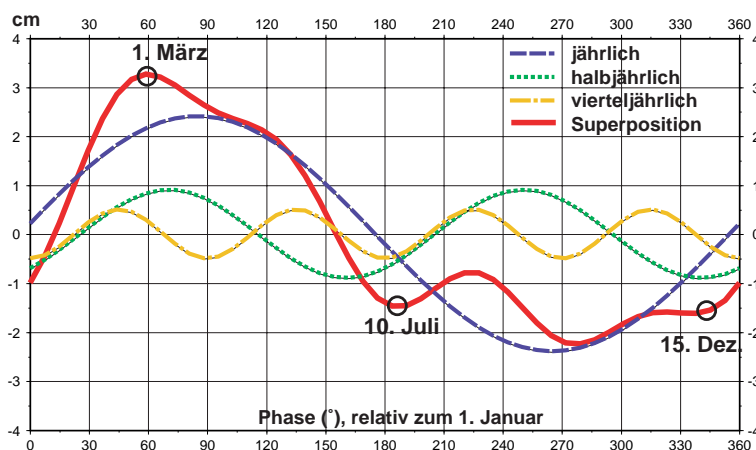


Abb. B3.4 Amplituden (links, cm) und Phasen (rechts, Grad – relativ zum Jahresbeginn) der Schwingung des Meeresspiegels im Südatlantik mit jährlicher Periode.

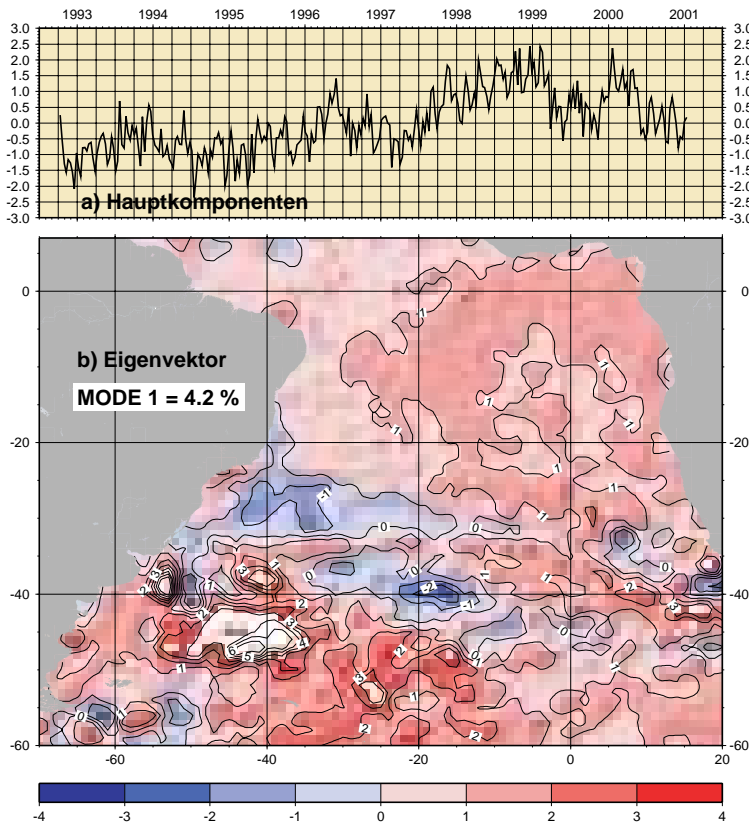
Abbildung B3.5 zeigt den durchschnittlichen jahreszeitlichen Verlauf des Meeresspiegels im Südatlantik – bestimmt durch Medianwerte von Amplituden und Phasen der jährlichen, halbjährlichen und vierteljährlichen Perioden. Die Jahresperiode wird durch halbjährliche und vierteljährliche Perioden moduliert und führt im Winter (der Nordhalbkugel) – von Mitte Dezember bis Ende Februar – zu einem sehr schnellen Meeresspiegelanstieg von durchschnittlich 4-5 cm. Danach erfolgt in viereinhalb Monaten eine Absenkung auf ein niedriges Niveau, das ungefähr bis Mitte Dezember erhalten bleibt.

Abb. B3.5 Durchschnittliches saisonales Verhalten des Meeresspiegels im Südatlantik.



Eine erneute PCA-Analyse der (nach Abzug der Jahresperiode und der Aliasperiode von 62.1 Tagen) residualen Meereshöhen-Anomalien vermag ungewöhnliche Entwicklungen des Meeresspiegels aufzudecken. Abbildung B3.6 zeigt den Mode 1 der residualen Meereshöhen. Die räumlichen Strukturen haben Maxima im westlichen Südatlantik, etwa bei -45° Breite. Die Hauptkomponenten weisen bis 1999 einen allmählichen Anstieg aus. Der Mode besitzt allerdings nur noch einen Anteil von 4,2% an der Gesamtstreuung.

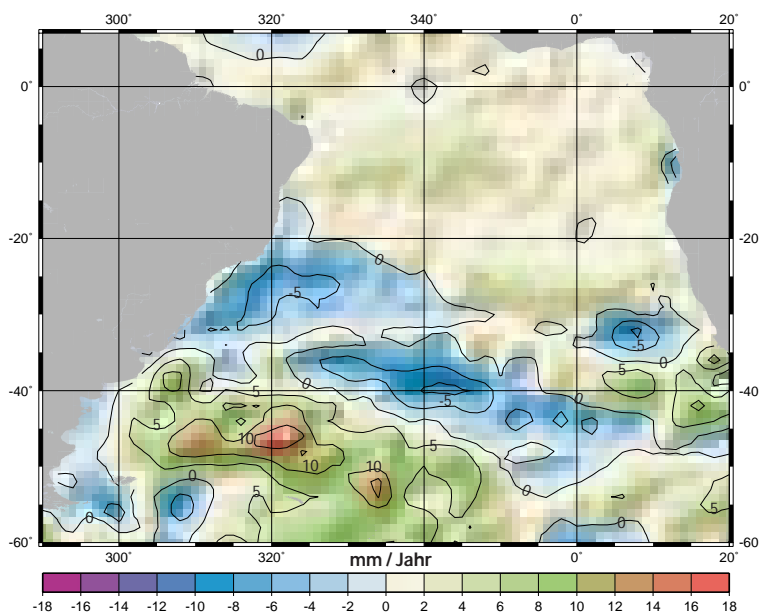
Abb. B3.6 Dominanter Mode der residualen Meereshöhen-Anomalien (nach Abzug periodischer Variationen). Die Hauptkomponenten enthalten immer noch hochfrequente Anteile – eine Schwingung mit fester Periode ist dafür jedoch nicht mehr identifizierbar.



Mittlere Änderungsrate

Die räumliche Verteilung der mittleren Änderungsrate zeigt Abbildung B3.7. Wie im Nordatlantik zeigen sich auch hier großräumige Bereiche mit erheblichen Änderungsraten, die – umgerechnet auf den betrachteten Zeitraum – deutliche Absenkungen und Anstiege des Meeresspiegels bewirken.

Abb. B3.7 Verteilung der mittleren Änderungsrate (mm/Jahr) im Südatlantik für den Zeitraum Okt. 1992 bis Jan. 2002. Im westlichen Südatlantik stieg der Meeresspiegel um mehr als 12 cm, während vor der brasilianischen Küste eine Absenkung um 4-8 cm erfolgte. Diese Änderungen haben auch Auswirkungen auf das Strömungssystem im Südatlantik.



B4 Modellierung und Analyse der Meerestopographie

Seit kurzem liegen zwei neue Lösungen für das Erdschwerefeld vor, die bereits CHAMP-Messdaten für eine Periode von wenigen Monaten einbeziehen (EIGEN-1S und TEG4, vgl. Projekt B1). Damit kann eine erneute Schätzung der Meerestopographie durch Subtraktion von mittleren Meereshöhen und Geoidundulationen durchgeführt werden. Abbildung B4.1 zeigt die Differenz des mittleren Meereshöhenmodells CLS01 und dem TEG4-Geoid. Das TEG4 Schwerefeldmodell erscheint besonders geeignet, weil es einerseits durch die Bahndaten vieler Satelliten die langwelligen Strukturen gut modelliert, andererseits aber keinerlei terrestrische Daten einbezieht und damit auch unabhängig ist von Schwerefeldanomalien, die aus Altimetrie abgeleitet wurden. Es besteht also keine Gefahr, dass sich eine unzureichend oder fehlerhaft modellierte Meerestopographie im Geoid abbildet.

Differenzen von CLS01 und TEG4

Das Geoid wurde zunächst auf einem 15'x15'-Raster für das selbe Ellipsoid berechnet, auf das sich die CLS01 Meereshöhen beziehen. Damit Geoid und Meereshöhen vergleichbar sind, wurde der Koeffizient C_{20} so korrigiert, dass sich das Geoid um den permanenten Gezeiteneffekt deformiert. Das mit 2'x2' hochaufgelöste Meereshöhenmodelle CLS01 wurde zunächst auf ein 15'x15'-Raster gemittelt. Dieses Raster vermag noch Strukturen darzustellen, die zwar durch CLS01, nicht aber durch das bandbegrenzte TEG4 aufgelöst werden. Deshalb wurden die Differenzen zwischen CLS01 und TEG4 nochmals einem Filter unterworfen, der die räumliche Auflösung auf ein 2.5°-Raster begrenzt.

Abbildung B4.1 zeigt, dass die großräumigen subtropischen Wirbel und der antarktische Zirkumpolarstrom der neuen Meerestopographie sehr gut mit den Ergebnissen der klassischen Ozeanographie übereinstimmen.

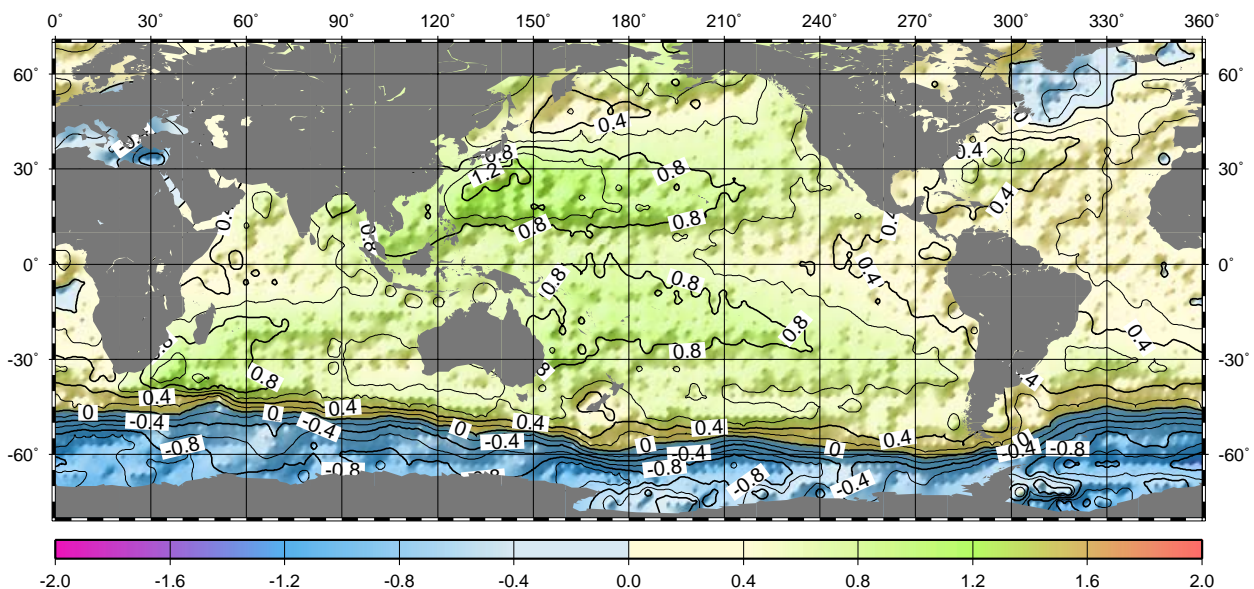
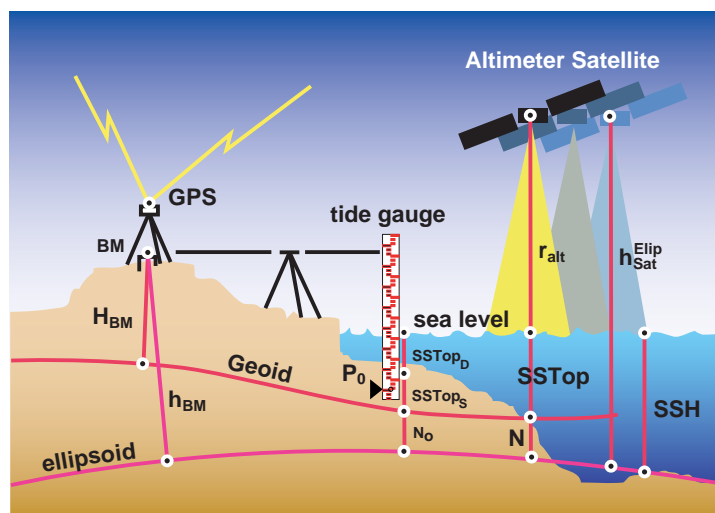


Abb B4.1 Meerestopographie (m), geschätzt durch Differenzbildung und Filterung der Meereshöhen des CLS01-Modells und der Geoidundulationen von TEG4.

B5 Altimetrie im Küstenbereich

Das Langzeitverhalten des Meeresspiegels ist nicht nur als Indikator des globalen Wandels von Interesse, sondern auch für die Festlegung und Vereinheitlichung von Höhensystemen. An der Küste können Schwankungen des Meeresspiegels sowohl durch Satellitenaltimetrie als auch durch Pegelregistrierungen beobachtet werden. Der *relative* Vergleich der beiden unabhängigen Zeitreihen ist erfolgreich eingesetzt worden, um die Langzeit-Stabilität von TOPEX/Poseidon zu überprüfen. Im Vorjahr wurde ein Extrapolationsverfahren erprobt, das die gleichzeitige Nutzung von Spurprofilen verschiedener Altimetersatelliten erlaubt. Dadurch kann der mittlere Meeresspiegel in der Nachbarschaft des Pegels geschätzt werden. Außerdem verdichtet sich die Zeitreihe der altimetrischen Meereshöhen. Im Berichtszeitraum wurde das Extrapolationsverfahren modifiziert und erstmals ein *absoluter* Vergleich zwischen GPS, Altimetrie und Pegelregistrierungen an dem venezolanischen Pegel La Guaira versucht. La Guaira ist der Referenzpunkt des venezolanischen Höhensystems. Der absolute Vergleich ist deshalb auch eine Beitrag zur Vereinheitlichung nationaler Höhensysteme in Südamerika (vgl. Projekt A5).

Abb B5.1 Prinzipskizze zum absoluten Vergleich von GPS, Nivellement, Pegelregistrierungen und Altimetrie.



Methode

Der hier durchgeführte absolute Vergleich erfordert zahlreiche arbeitsintensive Schritte:

- Analyse und Korrektur der Pegelregistrierungen;
- Berechnung eines lokalen hochauflösenden Geoids;
- Schätzung der Meerestopographie durch die Differenzen „Meereshöhen minus Geoid“;
- Berechnung und Abzug der stationären Meerestopographie;
- Prädiktion der Residuen durch „Least Squares Collocation“ für den Pegelstandort (Extrapolation);
- Wiederherstellen ellipsoidischer Höhen im Pegel durch Addition von Geoid und stationärer Meerestopographie.

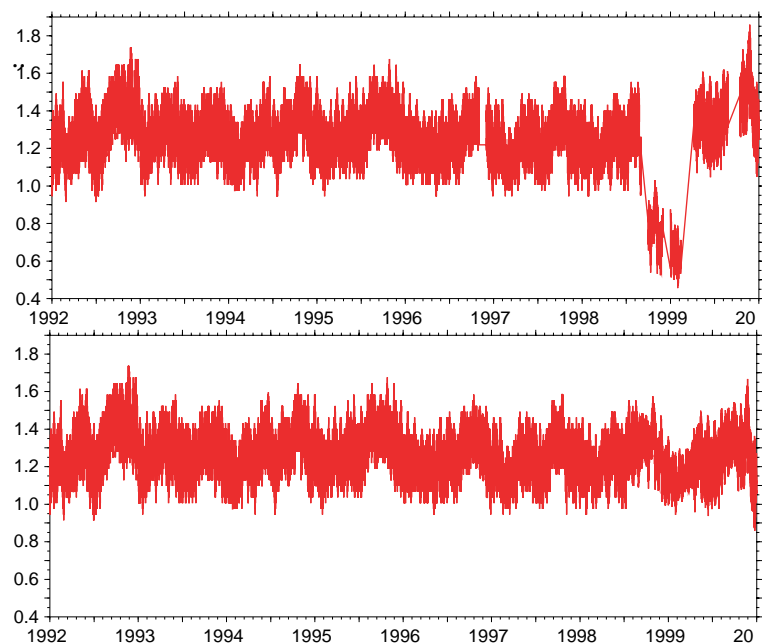
Einige Schritte sollen im folgenden kurz erläutert werden.

Analyse und Korrektur von Pegelregistrierungen

Pegelregistrierungen besitzen häufig Lücken und Niveausprünge, die durch instrumentellen Wechsel oder unzureichende Kalibrierung entstehen. Das „University of Hawaii Sea Level Center“, (UHSLC) stellt ein Programm für die Gezeitenanalyse bereit. Das

Programm berechnet aus einem einjährigen Datensatz mit stündlicher Registrierung bis zu 145 Partialtiden. Die ursprüngliche Registrierung kann mit den geschätzten Partialtiden mit einem Fehler von etwa ± 3 cm rekonstruiert werden. Die Analyse und der Vergleich des rekonstruierten Signals mit Registrierperioden, die fragwürdig oder lückenhaft erscheinen, wurden genutzt, um Niveausprünge zu identifizieren und die Originaldaten zu vervollständigen und zu verbessern (siehe Abbildung B5.2). Die konsolidierte Pegelregistrierung wurde dann auf Eintages-Mittelwerte gefiltert und durch GPS-Positionsbestimmung und Verbindungsnivellements auf ein geozentrisches System bezogen. Die Zeitreihe mit stündlicher Auflösung wies im quadratischen Mittel eine Variation von ± 8 cm und einen deutlichen Trend von -9.1 mm/Jahr auf.

Abb. B5.2 Stündliche Pegelregistrierungen in La Guaira (oben). Die Zeitreihe weist insbesondere in den letzten Jahren ungeklärte Sprünge und Datenausfälle auf. Mit einer Gezeitenanalyse und der Rekonstruktion des Signals konnten offensichtliche Sprünge erkannt und korrigiert sowie Lücken gefüllt werden. Die verbesserte Pegelregistrierung ist unten dargestellt.

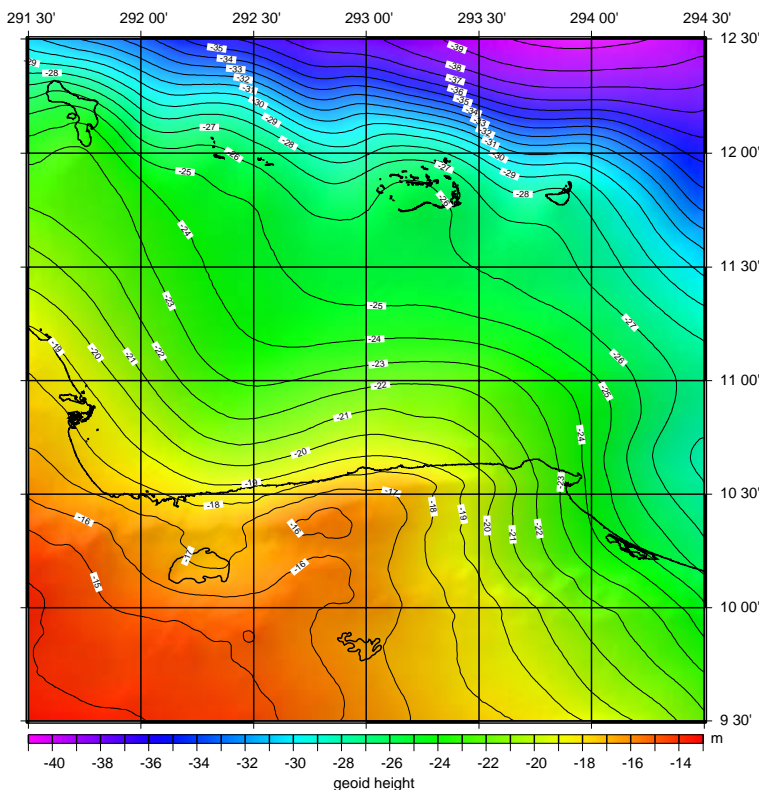


Hochauflösende lokale Geoidberechnung

Das Stokes-Integral wurde mit dem „Remove-Restore“-Verfahren des Programmpakets GRAVSOF (Tscherning) ausgewertet. Langwellige Geoidstrukturen wurden vorab mit dem Schwerfeldmodell EGM96 reduziert. Schweremessungen an Land und auf See sowie altimetrisch bestimmte Schwereanomalien über dem Meer mit Auflösung von $1' \times 1'$ wurden durch Kollokation kombiniert und auf ein regelmäßiges Gitter übertragen. Dabei wurde der Einfluß von Topographie und Bathymetrie ebenfalls auf der Grundlage hochauflösender Höhendaten berücksichtigt. Die numerische Auswertung des Stokes-Integrals erfolgte dann durch eine schnelle Fourier Transformation (FFT). Das Ergebnis ist in Abbildung B5.3 dargestellt.

Von allen Referenzflächen passte sich das lokale Geoid den altimetrischen Höhen am besten an. Es wurde deshalb von den altimetrischen Höhen abgezogen, und die Residuen wurden durch Kollokation auf den Pegel übertragen. Dadurch entstand eine altimetrische Zeitreihe, die mit den Pegelregistrierungen verglichen werden konnte.

Abb. B5.3 Hochauflösendes gravimetrisches Geoid in einer Umgebung von 2°x2° (plus 0.5° Randzone) des Pegels in La Guaira, Venezuela.



Ergebnisse

Die mit verschiedenen Techniken bestimmten Höhenbezugsflächen weichen nur wenige Zentimeter voneinander ab (siehe Abbildung B5.4). Dies deutet darauf hin, dass die Eingangsdaten, die Korrekturen und die angewendeten Methoden eine recht gute Konsistenz aufweisen. Der hier durchgeführte absolute Vergleich scheint zu bestätigen, dass in La Guaira der Ausgangspunkt für das Höhennetz in Venezuela richtig gewählt wurde. Unklar bleiben die unterschiedlichen linearen Änderungsraten der altimetrischen Zeitreihe und der Pegelregistrierung (vgl. Abbildung B5.5). Während die Altimetrie einen Anstieg des Meeresspiegels von 4.1 mm/Jahr ausweist und eine Langzeit-Stabilität von besser als 2 mm/Jahr besitzt, ergibt die Pegelregistrierung eine scheinbare Senkung um 9.1 mm/Jahr. Es muss untersucht werden, ob dies durch vertikale tektonische Bewegungen der Pegelstation oder durch eine instrumentelle Drift erklärt werden kann.

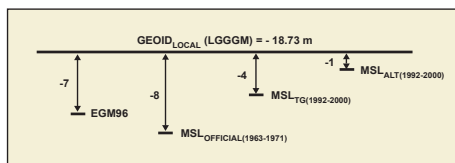
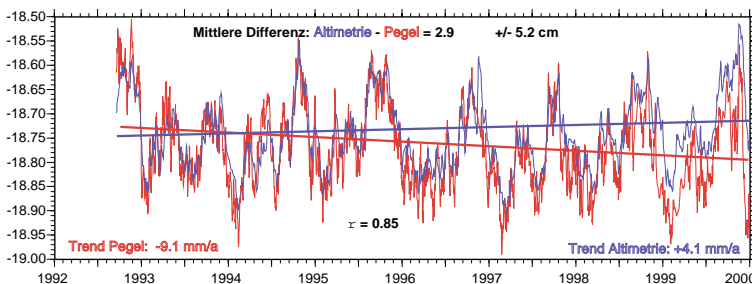


Abb. B5.4 Abweichungen (cm) verschiedener Höhenbezugsflächen am Pegel in La Guaira

Abb. B5.5 Gegenüberstellung von altimetrischer Zeitreihe und geozentrischer Pegelregistrierung. Die beiden Zeitreihen sind mit $\rho = 0.85$ korreliert. Ihre Differenzen betragen im Mittel nur 2.9 ± 5.2 cm. Die Änderungsraten der Zeitreihen sind allerdings gegenläufig und summieren sich auf $+13.2$ mm/a für die Differenz.



C: Dynamische Prozesse

Die konsistente dynamische Modellierung der physikalischen Prozesse im Inneren der Erde und in ihrem Außenraum ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erklärung der Variationen der geometrischen Gestalt der Erde, ihres Schwerefeldes und ihrer Rotation auf Zeitskalen von wenigen Tagen bis zu mehreren Dekaden. Diese Variationen können mit den geodätischen Raumverfahren mit hoher Genauigkeit und in großer Bandbreite erfasst werden. Das Verständnis der dynamischen Prozesse und ihre numerische Beschreibung sind von grundlegender Bedeutung für die geodätischen Bezugssysteme und die Kombination der verschiedenen Raumverfahren. Die derzeitigen Arbeiten am DGFI umfassen die Modellierung der Einflüsse von Massenverlagerungen auf die Rotation und das Schwerefeld der Erde sowie die Untersuchung und Weiterentwicklung von Analyseverfahren für dynamische Prozesse und ihre Anwendung auf Zeitreihen geodätischer und geophysikalischer Parameter.

C1 Einfluß von Massenverlagerungen auf Rotation und Schwerefeld der Erde

Die Rotation der Erde wird durch die zeitlichen Variationen der Massenverteilungen in festen, flüssigen und gasförmigen Teilen der Erde auf Skalen von Tagen bis Dekaden beeinflusst. Zur Untersuchung der Rotationsdynamik der Erde wird ein nichtlineares Kreiselmodell auf der Grundlage der Liouvilleschen Differentialgleichung (Kreiselgleichung) entwickelt. Diese beschreibt die Drehimpulsbilanz der Erde in einem rotierenden Bezugssystem. In die Gleichung werden Trägheitstensorvariationen und Drehimpulse im bezug auf ein terrestrisches System eingeführt, die sich aus den Massenverlagerungen in der Atmosphäre, den Ozeanen und der festen Erde als Folge von Deformationen durch Gezeiten und Auflasten ergeben. Die benötigten Eingangsdaten werden aus atmosphärischen und ozeanischen Modellsimulationen und Reanalysen abgeleitet.

Daneben werden gravitative Drehmomente von Sonne und Mond auf die Erde berücksichtigt. Aus der Lösung der Liouvilleschen Differentialgleichung folgt die zeitliche Änderung des Rotationsvektors der Erde.

Kreiselmodell

Bei herkömmlichen Ansätzen wird die Kreiselgleichung linearisiert, wodurch sich die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit (Tageslängenvariation) und die Richtungsänderung des Rotationsvektors (Polbewegung) unabhängig voneinander auf analytischem Weg berechnen lassen. Da im Kreiselmodell die Gestalt der Erde im Gegensatz zu den üblichen Ansätzen mit drei unterschiedlichen Hauptträgheitsmomenten A, B und C eingeführt wird, ist die getrennte Berechnung nicht möglich. Polbewegung und Tageslängenvariation werden simultan durch numerische Lösung des Differentialgleichungssystems bestimmt.

Freie Kreiselbewegung

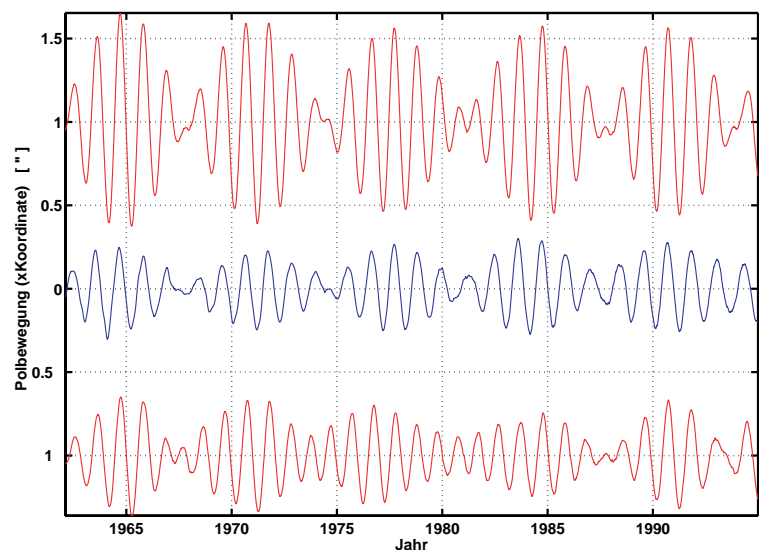
Zeitreihen der Polbewegung der Erde können mit Hilfe geodätischer Weltraumverfahren mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Die Beobachtungen repräsentieren das integrale Signal aus freier Kreiselbewegung der Erde (Chandler-Bewegung) und den überlagerten Rotationsvariationen, die durch die Massenverlagerungen der Erde sowie planetare Einflüsse hervorgerufen werden. Beim analytischen Ansatz zur Berechnung von Rotationsvariationen durch Massenverlagerungen wird die freie Kreiselbewegung der Erde als gedämpfte Schwingung mit konstanter Periode (Chand-

ler-Periode) vorgegeben. Die Dämpfung der freien Rotation durch Reibungseffekte würde nach wenigen Jahrzehnten zum Verschwinden der Chandler-Amplitude führen, wenn die freie Rotation nicht durch eine resonante Anregung aufrechterhalten würde, deren Ursache bislang nicht geklärt ist.

Polbewegung

Eine wesentliche Fragestellung des Projektes ist, ob und in welcher Weise atmosphärische und ozeanische Antriebe die zeitliche Entwicklung der freien Kreiselbewegung der Erde beeinflussen. Das Kreiselmodell produziert die freie Rotation durch die Einführung geometrischer und rheologischer Parameter der Erde selbst. Grundlegend hierfür ist die Rotationsdeformation der Erde, d.h. die Deformation der festen Erde unter dem Einfluß von Rotationsvariationen. Dieser Effekt ist für die Verlängerung der Eulerschen Periode (304 Tage), mit der eine starre Erde rotieren würde, auf die Chandlersche Periode verantwortlich. Nach der Anpassung rheologischer Parameter (insbesondere der Lovezahl k_{21}) an das Modell stimmt die Rotationsperiode der freien Kreiselbewegung mit 434 Tagen mit den geodätischen Beobachtungen überein. Die Überlagerung der freien und der durch atmosphärische und ozeanische Antriebe erzwungenen Rotation führt über Rotationsvariationen zu Rückkopplungen sowohl auf die Amplitude als auch auf die Periode der freien Rotation des Kreisels. Diese können bei herkömmlichen Ansätzen aufgrund der festen Vorgabe der Chandlerschen Periode nicht aufgedeckt werden.

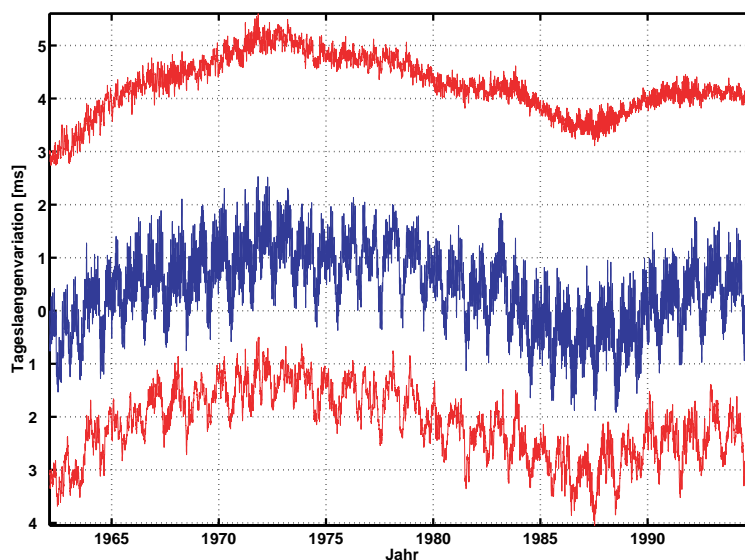
Abb. C1.1 Modellergebnisse für die Polbewegung (x-Koordinate) im Vergleich mit den geodätischen Beobachtungen der Reihe C04 des IERS (Mitte). Aus Gründen der Anschaulichkeit sind die Ergebniskurven in der Darstellung mit einem konstanten Versatz dargestellt. Unten ($-1''$): Ergebnis der Modellkombination ECHAM-OMCT (NIB); Oben ($+1''$): Modellkombination NCEP-OMCT (IB).



Als Antrieb für den Kreisel wird der Drehimpuls für die Atmosphäre aus dem Globalen Zirkulationsmodell ECHAM3-T21 oder alternativ aus dem Reanalysedatensatz des National Center of Environmental Prediction (NCEP) und für die Ozeane aus dem kombinierten Ozeanzirkulations- und Gezeitenmodell OMCT abgeleitet. Im Kreiselmodell führen diese Antriebe nahezu zum Verschwinden der Dämpfung (Abb. C1.1). Die Modellkombination ECHAM-OMCT ist hinsichtlich der Behandlung der atmosphärisch-ozeanischen Wechselwirkungen konsistent, da die Antriebs-

daten für die Berechnung der Ozeanzirkulation in OMCT aus dem ECHAM-Modell abgeleitet werden. Neben der windgetriebenen und thermohalinen Zirkulation werden auch Strömungen berücksichtigt, die durch atmosphärischen Druckantrieb auf die Ozeanoberfläche hervorgerufen werden (non-inverted barometer response, NIB). Dagegen kann die Kombination NCEP-OMCT nur mit Einschränkungen verwendet werden, da die Antriebsdaten beider Modelle nicht konsistent sind (inverted barometer response, IB). Dies führt zu einer deutlichen Überschätzung der Amplitude der Polbewegung.

Abb. C1.2 Residuen der Modellergebnisse für die Tageslängenvariation beider Modellkombinationen gegenüber der geodätisch beobachteten Zeitreihe C04 des IERS. Aus Gründen der Anschaulichkeit sind die Ergebniskurven in der Darstellung mit einem konstanten Versatz dargestellt. Unten (-3 ms): ECHAM-OMCT (NIB); Oben (+3ms): NCEP-OMCT (IB). Die C04-Reihe (Mitte) wurde um ihren Mittelwert reduziert.



Tageslängenvariation

Die Tageslängenvariation, die auf Zeitskalen von wenigen Jahren zu über 95% allein durch Gezeiteneinflüsse und atmosphärische Antriebe erklärt werden kann, ist nur zu einem sehr geringen Grad abhängig von ozeanischen Massenverlagerungen. Daher ist die atmosphärische Zirkulation der dominante Einflussfaktor auf das Ergebnis des Modelldurchlaufs. Die Drehimpulsvariationen, die aus dem Modell ECHAM3-T21 berechnet werden, zeigen eine deutliche Schwäche im Jahressignal der entsprechenden Elemente des Trägheitstensors. Daher erreicht die Korrelation zwischen dem Modellergebnis aus der Antriebskombination ECHAM-OMCT (NIB) und der Reihe C04 auf Skalen bis zu wenigen Jahren nicht mehr als 70%. Der Jahressgang ist bei NCEP besser erfasst, und die Korrelation zwischen geodätischer Beobachtung und dem Modellergebnis für NCEP-OMCT (IB) erreicht mit mehr als 90% signifikant höhere Werte. Über den gesamten Zeitraum von 1962 bis 1994 ist ein ausgeprägtes, nicht periodisches Restsignal zu erkennen, das bislang nicht durch das Modell erklärt werden kann. Untersuchungen an anderer Stelle weisen darauf hin, dass diese säkulare Variation der Tageslänge durch die Relativbewegung von Erdkern und Erdmantel verursacht wird.

C2 Entwicklung neuer Analysemethoden für Beobachtungsreihen dynamischer Prozesse

Wie bereits im letzten Jahresbericht erwähnt, wurde am DGFI für die Inversion der Morlet-Wavelet-Transformation ein Programmpaket erstellt, mit dem eine hochauflösende Wavelet-Filterung effizient realisiert werden kann. Da die Arbeiten an diesem Verfahren im Berichtszeitraum abgeschlossen werden konnten, werden im Folgenden die theoretischen Zusammenhänge dieses Verfahrens ausführlich erläutert. Eine praktische Anwendung zur Extraktion der Chandler- und der Jahresschwingung aus dem Datensatz der IERS-Polbewegung folgt im Programmpunkt C3.

Motivation

In der geodätischen und geophysikalischen Forschung steht man häufig vor dem Problem, dass man eine gemessene Zeitreihe filtern muss. Dies bedeutet, dass gewisse Zeit-Frequenz-Komponenten aus einem Signal entfernt werden sollen. Dazu stellt bekanntlich die Wavelet-Transformation einen geeigneten Ansatz dar.

Generell besteht ein Filterungsverfahren aus drei Schritten: der Berechnung der Zeit-Frequenz-Anteile (*Analyse*) des Signals, der Manipulation ausgewählter Anteile (*Extraktion*) und der Berechnung des gefilterten Signals aus den veränderten Komponenten (*Synthese*). Nun kann es vorkommen, dass zwei Signalanteile voneinander getrennt werden sollen, die eng benachbarten Frequenzbändern zuzuordnen sind. Die oft verwendeten Filterbänke der Multi-Skalen-Analyse (z.B. Daubechies-Filterbank) besitzen hierbei einen entscheidenden Nachteil: Trotz ihrer guten numerischen Eigenschaften bieten sie eine vergleichsweise ungenaue Zeit-Frequenz-Analyse. Dies bedingen die auffällig großen Zeit-Frequenz-Fenster ihrer zugehörigen Wavelet-Funktion. Die Morlet-Funktion hingegen weist ein Zeit-Frequenz-Fenster mit minimaler Größe auf. Durch Einführung eines Gestaltparameters kann man zudem, die Form des Fensters den Gegebenheiten anpassen. Während das Morlet-Wavelet also eine optimale Zeit-Frequenz-Analyse ermöglicht, gehen die numerischen Vorzüge der Multi-Skalen-Analyse verloren. Dies motivierte zu der Suche nach einem Wavelet-Verfahren, welches einerseits mit dem Morlet-Wavelet arbeitet, aber andererseits eine Filterbankstruktur ähnlich der Multi-Skalen-Analyse aufweist.

Der besondere Vorteil des hier vorgestellten Verfahrens besteht dann darin, dass die verschiedenen Signalkomponenten durch ausreichende Frequenzlokalisierung getrennt werden, wobei ihr zeitliches Verhalten so gut wie möglich erhalten bleibt, dies aber mit allen Vorzügen der Multi-Skalen-Analyse verbunden ist.

Filterbank der hochauflösenden Zeit-Frequenz-Analyse

Das Hauptgerüst bilden die Arbeiten von M. J. Shensa, die sich mit der Anwendung des \hat{A} trous-Prinzips auf die nichtorthogonale Wavelet-Transformation beschäftigen. Hauptsächlich werden dabei Interpolationsfilter zur Berechnung der Wavelet-Funktion bei verschiedenen Skalierungen benutzt.

Interessanterweise führt dieser Interpolationsansatz direkt auf eine der Multi-Skalen-Analyse ähnliche Filterbankstruktur. Sie bildete den Ausgangspunkt zur Konstruktion eines optimalen Signal-

analyseverfahrens. Eine genaue Betrachtung der Filterungsanforderungen sowie Recheneffizienz führten letztlich auf die folgende *Analyse-Filterbank*:

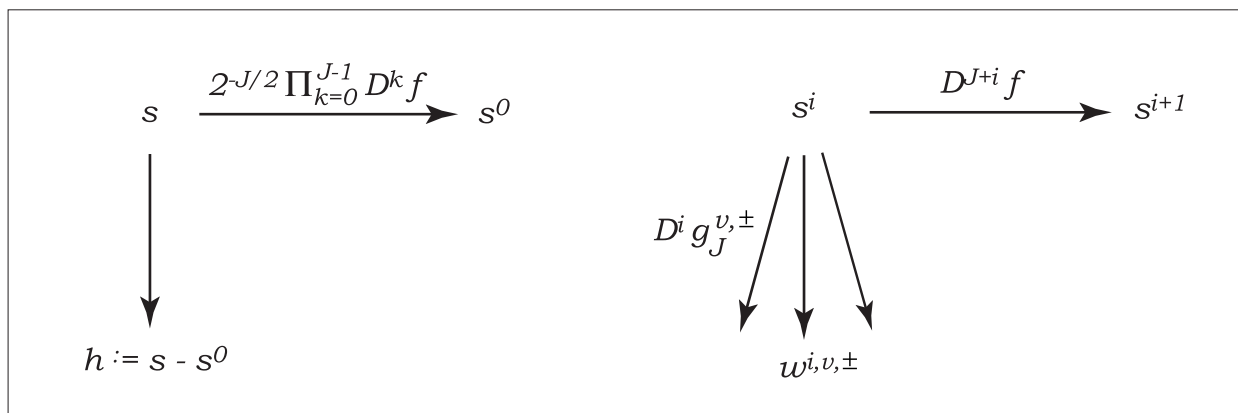


Abb. C2.1 Filterbank der Analyse - Startschritt (links) und Iterationsschritt (rechts)

Hier und im Folgenden gilt:

- i : $i = 0, \dots, M$! 1: Oktave,
- v : $v = 0, \dots, L$! 1: Stimme,
- J : Startoktave,
- M : Anzahl der Oktaven,
- L : Anzahl der Stimmen,
- s : diskretisiertes Signal,
- s^i : Restsignal bei der i -ten Oktave,
- h : Hochpass-Restsignal,
- $W(a, b)$: Wavelet-Transformation,
- a : Skalierungsparameter,
- b : Translationsparameter
- $w^{i,v,\pm} : = W(\pm 2^{J+i+v/L}, n)$,
- f : Lagrange'scher Interpolationsfilter,
- $g_J^{v,\pm}$: skaliertes Morlet-Wavelet,
- $D_{m,n} : = \delta(2m - n)$ = Element der Matrix D ,
- δ : diskrete Deltafunktion.

Der fundamentale Gedanke, der zur Konstruktion der obigen Filterbank führte, besteht darin, dass das Diskretisierungsintervall des Signals ausreichend klein gegen die Perioden der zu trennenden Signalanteile ist. Im Gegensatz zur Filterbank von Shensa werden nun die nicht-filterungsrelevanten hohen Frequenzen des Signals zu einem Hochfrequenz-Restsignal zusammengefasst und das Morlet-Wavelet mit einer adäquat verfeinerten Diskretisierung ausgewertet. Dies bringt neben einer wesentlich verbesserten Zeit-Frequenz-Auflösung auch eine Reduktion der nötigen Filterbankschritte mit sich. Man hat also eine Filterbank vorliegen, die nicht nur genauer, sondern auch schneller arbeitet, als dies die Shensasche Filterbank bei Filterungsproblemen leistet.

Geometrische Reihe für Synthese und integrierte Filterbank

Ein weiterer Schwerpunkt lag im Berichtszeitraum darin, eine geeignete inverse Abbildung für die Synthese zu finden. Da bei der Filterung die Zeit-Frequenz-Komponenten des Signals manipuliert werden, existiert auf Grund der Beschaffenheit der Analyse im Allgemeinen kein Signal mit dem veränderten Koeffizientensatz. Dies führte auf die Diskussion der Anforderungen an das gesuchte gefilterte Signal im Zeitbereich. Die Verwendung funktional-analytischer Hilfsmittel ergibt die gesuchte Synthese S:

$$S = \sum_{k=0}^{\infty} \mu^k (Id + \mu A^*)^k A^*$$

Dabei und im Folgenden gilt:

- μ : Konvergenzparameter,
- Id : Identität,
- A^* : adjungierte Abbildung zu A ,
- \tilde{s}^i : rekonstruiertes Restsignal der i -ten Oktave,
- $\tilde{s}^M = s^M$,
- $f^i, (g_j^{v,\pm})^i$: adjungierte Vektoren zu $f, g_j^{v,\pm}$,
- $c = \ln 2 / (C_\psi L)$,
- C_ψ : Wavelet-Konstante,

Die adjungierte Abbildung A^* zur Analyse A wurde dabei bestimmt zu

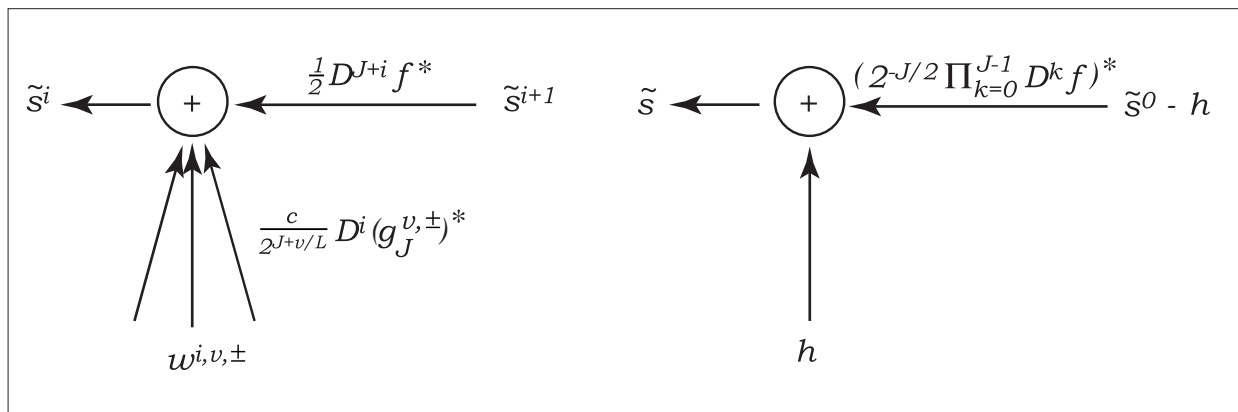


Abb. C2.2 Filterbank der adjungierten Analyse - Iterationsschritt (links) und Endschritt (rechts)

Es offenbart sich abermals eine Filterbankstruktur, die wiederum für die numerischen Eigenschaften des gegebenen Ansatzes spricht.

Praktische Realisierung im Hinblick auf C3

Bereits während der theoretischen Arbeiten wurde im Berichtszeitraum damit begonnen, das gegebene Verfahren praktisch umzusetzen. Hierfür wurde ein Programm mit dem Namen 'FAMOS' (FABert-MORlet-Signal filtering) verfasst. Besonderes Gewicht wurde hierbei auf Benutzerfreundlichkeit und Übersichtlichkeit gelegt, um Programmveränderungen zu erleichtern.

C3 Analyse von Zeitreihen von Rotation und Massenverlagerung

Im Berichtszeitraum wurden die Analysen von Zeitreihen mit Wavelets fortgesetzt. Auch Zeitreihen von langjährigen stündlichen Pegelregistrierungen in Venezuela wurden mit Wavelets auf unterschiedlichen Zeitskalen untersucht. Dies steht im Zusammenhang mit dem Projekt B5. Am Pegel La Guaira (Venezuela) z.B. zeigt das tagesperiodische Signal eine streng halbjährige Amplituden-Modulation.

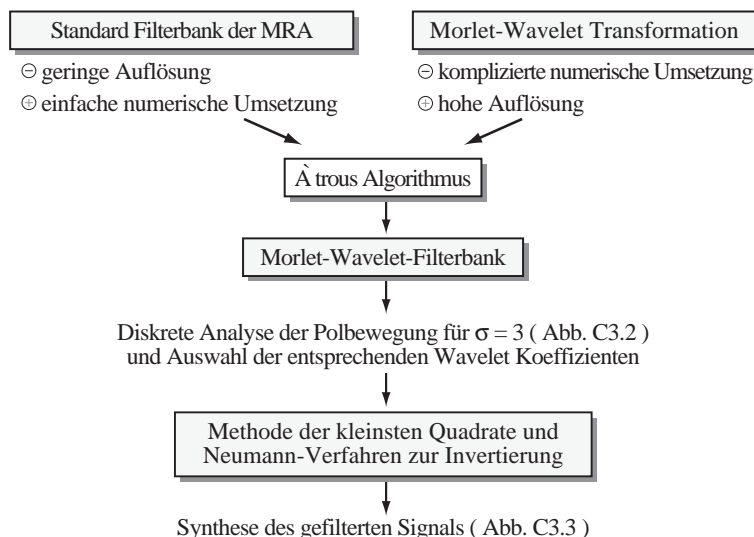
Wavelet-Filterung der Polbewegung

Ein Hauptaugenmerk lag im Berichtszeitraum auf der Untersuchung zur Wavelet-Filterung der IERS-Polbewegung. Eine solche Filterung erlaubt es, die beiden Hauptschwingungen Chandler- und jahresperiodische Polbewegung so zu trennen, dass ihre Amplituden und Perioden auch nach der Filterung noch variabel bleiben. Im letzten Jahr wurde eine solche Filterung noch mit einer inversen Wavelet-Filterung ausgeführt, wobei aber ein numerisch aufwendiges Doppelintegral zu berechnen war. Im Berichtszeitraum wurde dagegen ein neues, im Projekt C2 vorgestelltes Wavelet-Filterungsverfahren (FAMOS) genutzt, das, wie in Abbildung C3.1 dargestellt, die Vorteile der Morlet-Wavelet-Transformation mit den Vorteilen einer orthogonalen Standard-Filterbank verbindet und so zu einer optimalen Morlet-Wavelet-Filterbank führt.

Trennung von Chandler und jahresperiodischer Polbewegung

Mit dieser neuen Morlet-Wavelet-Filterbank wurde dann, wie in Abbildung C3.2 dargestellt, die diskrete Analyse der Polbewegung ausgeführt. Dabei war ein geeigneter Gestaltparameter σ zu wählen war, um die beiden Hauptschwingungen im Wavelet-Bereich von einander trennen zu können. Mit $\sigma = 3.0$ ließ sich eine sichtbare Trennung erreichen (Abbildung C3.2). Aus dieser Analyse wurden dann die entsprechenden Wavelet-Koeffizienten beider Hauptschwingungen entnommen und über die in Abbildung C3.1 angedeutete Synthese in den Zeitbereich transformiert. Das Ergebnis ist in Abbildung C3.3 in einer perspektivischen Darstellung der Polbewegung mit ihren beiden wavelet-gefilterten Hauptschwingungen im Zeitbereich dargestellt. Auffallend ist dabei das Wechselspiel in der Variation ihrer Amplituden: In dem Maße, wie sich von 1962 bis 2000 die Chandler-Amplitude vergrößert, verkleinert sich die Amplitude der jahresperiodischen Polbewegung.

Abb. C3.1 Prinzip des am DGFI entwickelten Wavelet-Filterverfahrens, angewendet auf die IERS-Polbewegung zur Trennung ihrer beiden Hauptschwingungen Chandler- und jahresperiodische Bewegung (MRA: Multi Resolution Analysis).



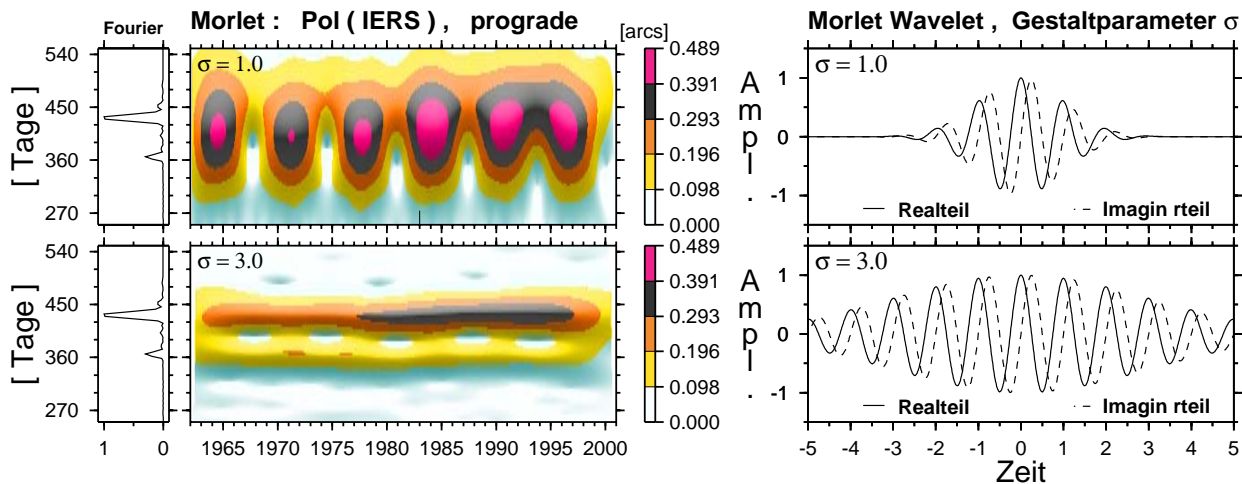


Abb. C3.2 Die Polbewegung von 1962 bis 2000 im Fourier- und prograden Morlet-Wavelet-Bereich für die Gestaltparameter $\sigma = 1.0$ und $\sigma = 3.0$.

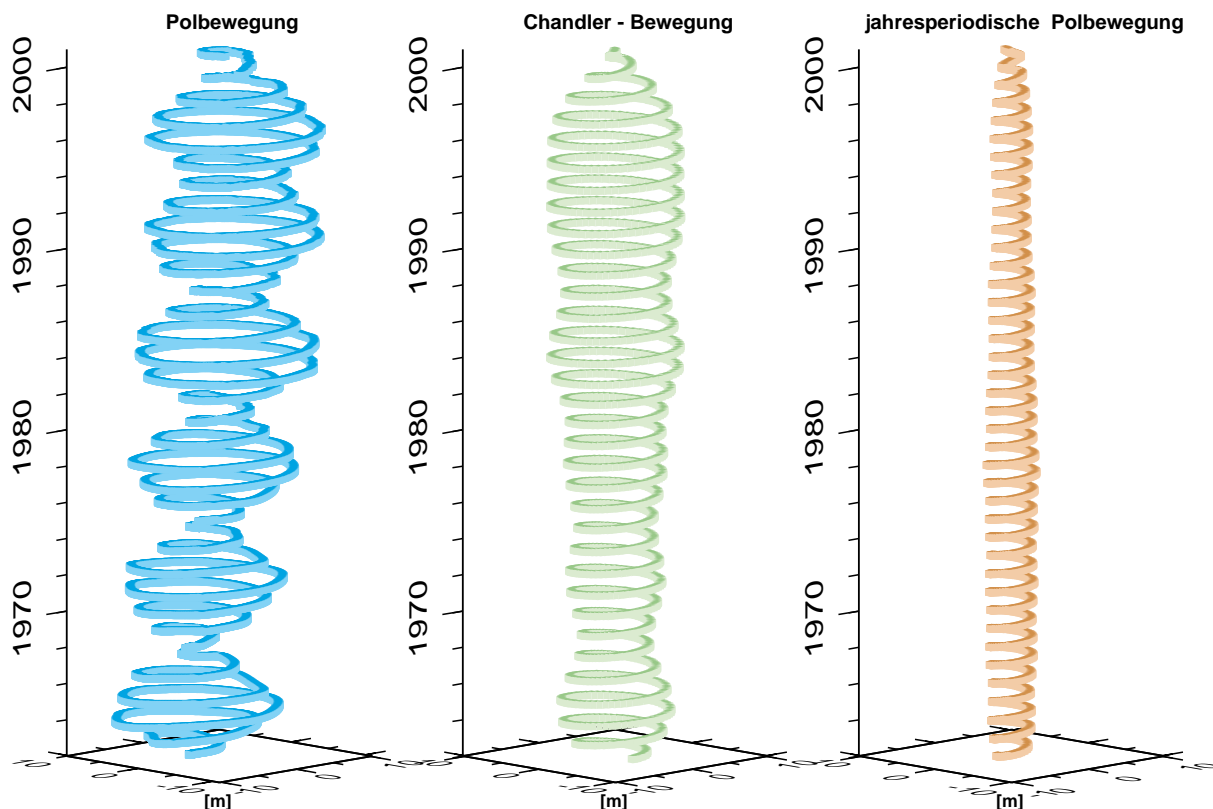


Abb. C3.3 Perspektivische Darstellung der Polbewegung mit ihren wavelet-gefilterten Hauptschwingungen von Chandler- und jahresperiodischer Bewegung im Zeitbereich von 1962 bis 2000. In dem Maße, wie sich von 1962 bis 2000 die Chandler-Amplitude vergrößert, verkleinert sich die Amplitude der jahresperiodischen Polbewegung.

D: Internationale Dienste

Das DGFI beteiligt sich intensiv an den Arbeiten der wissenschaftlichen Dienste der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG). Es leistet damit seinen Beitrag zur internationalen Forschung und stellt durch diesen wissenschaftlichen Transfer seine Ergebnisse der internationalen Gemeinschaft zur Verfügung. Andererseits wird durch diese Mitarbeit der Zugang zu primären Daten und direkter Information gewährleistet. Das DGFI arbeitet im Internationalen Erdrotationsdienst (IERS) als Forschungszentrum zur Kombination von Daten und Ergebnissen sowie als Kombinationszentrum für den Internationalen Terrestrischen Referenzrahmen (ITRF). Im Internationalen GPS Service (IGS) hat das DGFI die Funktion als Regionales Assoziiertes Analysezentrum für Südamerika (RNAAC-SIR). Für den Internationalen Laser Ranging Service (ILRS) unterhält das DGFI das EUROLAS-Datenzentrum (EDC) und arbeitet als assoziiertes Analysezentrum. Im Internationalen VLBI Service für Geodäsie und Astrometrie (IVS) ist das DGFI ein spezielles Analysezentrum.

D1 ITRS Combination Center / IERS Combination Research Center

Das DGFI hat mit Inkrafttreten der neuen Struktur des „International Earth Rotation Service (IERS)“ zum 1.1.2001 die Aufgaben eines „ITRS Combination Centers (ITRS-CC)“ und eines „Combination Research Center (CRC)“ übernommen. Das ITRS-CC ist verantwortlich für die Kombination von Daten (Lösungen) der unterschiedlichen Raumbesichtsungsverfahren (VLBI, SLR/LLR, GPS und DORIS), die von den jeweiligen Diensten (IVS, ILRS, IGS und IDS) zur Verfügung gestellt werden, um hochgenaue und zuverlässige ITRS-Produkte zu berechnen und bereitzustellen. Ziel der CRCs ist es, die Kombinationsmethoden weiter zu verbessern und entsprechende Software für die IERS-Produktzentren zur Verfügung zu stellen, um eine höchstmögliche Genauigkeit, Konsistenz und Langzeitstabilität der Ergebnisse zu erreichen. Innerhalb der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie haben das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI), das Geodätische Institut der Universität Bonn (GIUB) und das Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der TU München gemeinsam die Aufgabe eines CRC übernommen.

ITRS Combination Center

Die Hauptkomponenten des ITRS-CC wurden im Berichtszeitraum weiterentwickelt:

1. Datenverwaltungs- und Nutzerinformationssystem: Es ist vorgesehen, alle wichtigen Stationsinformationen (u.a. Stationsbezeichnungen, Instrumentenwechsel, Exzentrizitäten, Besetzungszeiten) in geeigneter Weise zu verwalten und laufend zu halten. Diese sog. Stationsdatenbank bildet dann eine wichtige Grundlage, um alle eingehenden Lösungen zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Neben diesen Stationsinformationen beinhaltet dieses System alle relevanten ITRF-Daten (eingehende Lösungen, Ergebnisse und Produkte) sowie Informationen für die Nutzer.
2. Programme zur Datenanalyse und Kombination: Die Programme zur Validierung und Analyse der von den Rechenzentren bereitgestellten Lösungen, die Kombinationssoftware DOGS-CS sowie Interfaces und Skripten für den gesamten Kombinationsablauf sind in erheblichem Umfang weiterentwickelt worden. Die hierzu durchgeführten Arbeiten sind in Projekt A4 beschrieben.

3. ITRF Qualitätskontrolle: Es wurden verschiedene Programme und Skripten zur Überprüfung und graphischen Darstellung der Kombinationsergebnisse auf unterschiedlichen Ebenen (individuelle Lösungen, Intra-technik, Inter-Technik) entwickelt (siehe auch Projekt A4).

ITRS-Realisierungen

Das DGFI hat im letzten Jahr eine erste kombinierte Lösung (ITRF2000_DGFI.P) berechnet, wobei individuelle Lösungen verwendet wurden, mit denen das offizielle ITRF2000 beim IGN (Paris) gerechnet wurden. Die Lösungsstrategie und die erzielten Ergebnisse sind im vorigen Jahresbericht ausführlich dokumentiert. Im Berichtszeitraum wurde die damals angewendete Kombinationsstrategie sowie die Validierung und Analyse der Ergebnisse weitergeführt. Die wesentlichen Ergebnisse, aktuelle Probleme sowie Empfehlungen für zukünftige ITRS-Realisierungen wurden beim AGU Fall Meeting in San Francisco im Dezember 2001 vorgestellt. Für eine weitere Validierung der Kombinationsergebnisse wurden die neuesten Ergebnisse verschiedener individueller Analysezentren sowie der Dienste (IGS, ILRS, IVS) verwendet. Für diese Zwecke wurden u.a. die aktuellsten SLR- und VLBI-Lösungen des DGFI verwendet (siehe Projekte D3 und D5). Dabei wurden einige noch bestehende Defizite und Probleme bezüglich der ITRS-Realisierung aufgedeckt, die gezielt im Rahmen des CRC am DGFI untersucht und im folgenden diskutiert werden.

Aktuelle Probleme

- Rekonstruktion bedingungsfreier Normalgleichungen: Die Erfahrungen bei der Berechnung der ersten kombinierten Lösung haben gezeigt, dass einige der individuellen Lösungen offensichtlich Datumsbedingungen enthalten, die nicht problemlos entfernt werden können, so dass eine Rekonstruktion bedingungsfreier Normalgleichungen nicht möglich ist. Es wurde Kontakt mit verschiedenen Analysezentren aufgenommen, um diese Problematik zu untersuchen. Wenn die eingeführten Zwänge nicht aus den individuellen Lösungen eliminiert werden können, ist eine systematische Verfälschung der Kombinationslösung zu befürchten.
- Diskrepanzen zwischen individuellen Lösungen: Es sind teilweise erhebliche systematische Differenzen sowohl zwischen individuellen Lösungen derselben Beobachtungstechnik als auch zwischen unterschiedlichen Beobachtungsverfahren aufgedeckt worden. Unterschiede in der Festlegung des Koordinatenursprungs und des Maßstabs der individuellen Lösungen bezüglich des ITRF2000 sind auf der Webseite des IGN dargestellt (<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/T.gif> und [D.gif](http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/D.gif)). Mit einer gezielten Analyse bezüglich verschiedener Aspekte (u.a. Software, Modell- und Parameterdefinition, Datumsfestlegung) wurde begonnen, um die Ursachen für die vorhandenen Diskrepanzen aufdecken und beseitigen zu können. Die dazu notwendigen Arbeiten werden primär im Rahmen des CRC am DGFI durchgeführt.

- ITRS-Produkte: Gegenwärtig werden die ITRS-Produkte unabhängig von den anderen IERS-Produkten (ICRS, EOPs) von verschiedenen Kombinationszentren berechnet. Demzufolge ist nicht gewährleistet, dass die IERS-Produkte konsistent sind. Das ITRS wird realisiert durch Positionen (bezogen auf eine Referenzepoche) und konstante Geschwindigkeiten der IERS-Stationen. Die Zeitreihen von Stationspositionen zeigen für viele Stationen nichtlineare Stationsbewegungen (siehe Abbildungen D1.3 und D1.4), die zu systematischen Verfälschungen der ITRS-Produkte führen können.
- Kombinationsstrategie: Problembereiche sind u.a. die Behandlung von Exzentrizitäten (teilweise liegen erhebliche Diskrepanzen von bis zu 10 cm zwischen den gemessenen Exzentrizitäten und den Ergebnissen der unterschiedlichen Raumverfahren vor), die Gewichtung bei der Intra- und Inter-Technik-Kombination, die Datumsfestlegung bei einzelnen Raumbeobachtungsverfahren und bei der Kombination der Lösung.

Empfehlungen

Aufgrund der zuvor beschriebenen aktuellen Probleme bzw. bestehenden Defizite ergeben sich einige Empfehlungen für zukünftige ITRS-Realisierungen:

- (1) Die Probleme bezüglich der eingeführten Zwänge könnten beseitigt werden, wenn die Analysezentren zusätzlich/oder anstelle von Varianz-Kovarianz-Matrizen auch bedingungs-freie Normalgleichungen für die Kombination bereitstellten.
- (2) Bezüglich der ITRS-Produkte sollte untersucht werden, ob die derzeitige Realisierung durch Positionen und konstante Geschwindigkeiten der IERS-Stationen beibehalten werden soll, oder ob es Alternativen gibt, um die vorhandenen nicht-linearen Stationsbewegungen modellieren zu können.
- (3) Das IERS-Stationsnetz enthält derzeit einige aufgrund zu kurzer Beobachtungszeiten sehr ungenau bestimmte Stationen (u.a. mobile VLBI- und SLR-Stationen, GPS-Stationen mit kurzer Beobachtungsdauer). Im Hinblick auf die Konsistenz und Langzeitstabilität der IERS-Produkte schlagen wir eine Neudefinition des IERS-Stationsnetzes auf Grundlage wohldefinierter Kriterien vor.

IERS Combination Research Center

Die Aufgaben als CRC sind eng mit den meisten Projekten des Forschungsschwerpunktes A verknüpft. Die Arbeiten und Ergebnisse bezüglich der Modellbildung für GPS, SLR und VLBI (siehe Projekte A1, A2 und A3) tragen erheblich zur Entwicklung geeigneter Kombinationsverfahren bei. Bezüglich der Festlegung des kinematischen Datums der ITRS-Realisierungen liefern die Ergebnisse des Projektes A7 eine wichtige Grundlage. Des weiteren besteht ein besonders enger Zusammenhang zu den Arbeiten des Projektes A4, in dem die Entwicklung von Analyse- und Kombinationsmethoden für die geodätischen Raumbeobachtungsverfahren sowie die dazu notwendige Softwareentwicklung im Vordergrund steht. Hier werden primär die im Rahmen des CRC durchgeführten Auswertungen und die dabei erzielten Ergebnisse dargestellt. Im Berichtszeitraum wurden im

wesentlichen folgende Arbeiten vorgenommen:

Zeitreihen von Stationskoordinaten, Koordinatenursprung und Maßstab

Für die im Berichtszeitraum durchgeführten Zeitreihenanalysen für Stationskoordinaten, Koordinatenursprung und Maßstab wurden individuelle VLBI-, SLR-, GPS- und DORIS-Lösungen verwendet. Die SLR- und VLBI-Lösungen wurden am DGFI mit den Software-Systemen DOGS und OCCAM berechnet (siehe Projekte D3 und D5). Die GPS- und DORIS-Zeitreihen wurden abgeleitet aus wöchentlichen Stationskoordinatenlösungen von drei IGS-Analysezentren (CODE, JPL and SIO) sowie dem DORIS-Analysezentrum (IGN/JPL). Die Zeitreihen wurden hinsichtlich nichtlinearer Effekte, periodischer Signale und systematischer Differenzen analysiert und auf Kollokationsstationen verglichen. In den Abbildungen D1.1 und D1.2 sind die Zeitreihen für den Koordinatenursprung und den Maßstab, abgeleitet aus den zuvor genannten Lösungen, dargestellt. Die Ergebnisse zeigen deutlich die Stärken und Schwächen der Raumberechnungsverfahren zur Bestimmung der genannten Datumparameter. Es ist anzumerken, dass bei VLBI die Ergebnisse aus 24-Stunden-Sessions berechnet wurden, während bei GPS, SLR und DORIS Wochenlösungen zugrunde liegen. In Abbildung D1.3 sind exemplarisch die Zeitreihen von Stationspositionen für zwei Kollokationsstationen (GPS und VLBI) dargestellt. In den GPS-Zeitreihen erkennt man deutlich die Sprünge, die durch instrumentelle Wechsel hervorgerufen wurden. Auch durch starke Erdbeben können erhebliche Sprünge in den Zeitreihen hervorgerufen werden. Beispiele sind in Projekt D2 für die Stationen El Salvador und Arequipa dargestellt (siehe Abbildungen D2.4 und D2.5). Postseismische Effekte können Stationsbewegungen hervorrufen, die deutlich vom langjährigen Trend abweichen. Diese zeitlich variablen Stationsbewegungen werden derzeit bei der Berechnung der ITRS-Produkte noch nicht berücksichtigt und können demzufolge eine systematische Verfälschung der Ergebnisse bewirken.

IERS-Projekte der CRCs

Weiterhin beteiligt sich das DGFI an den gemeinsamen IERS-Projekten und Aktivitäten der CRCs. Bisher sind die beiden folgenden Projekte vom IERS-Analysekoordinator unter Mitwirkung des DGFI initiiert worden.

"IERS EOP Alignment Campaign to align EOPs to ITRF2000/ICRF": Zielsetzung ist, EOP-Reihen mit höchstmöglicher Konsistenz zu erzeugen. Das DGFI hat für dieses IERS-Projekt zwei VLBI-Lösungen geliefert (siehe Projekt D5).

"IERS SINEX Combination Campaign": Ziel ist, wöchentliche Lösungen für Stationspositionen, EOPs und evtl. ICRF verschiedener Techniken zu kombinieren und neue Kombinationsverfahren zu entwickeln, um die Genauigkeit und Konsistenz der IERS-Produkte weiter zu verbessern. Im Rahmen dieses Projektes hat das DGFI Lösungen (bzw. freie Normalgleichungen) der Techniken VLBI, SLR und GPS zur Verfügung gestellt und wird sich zukünftig an den Kombinationsaufgaben beteiligen.

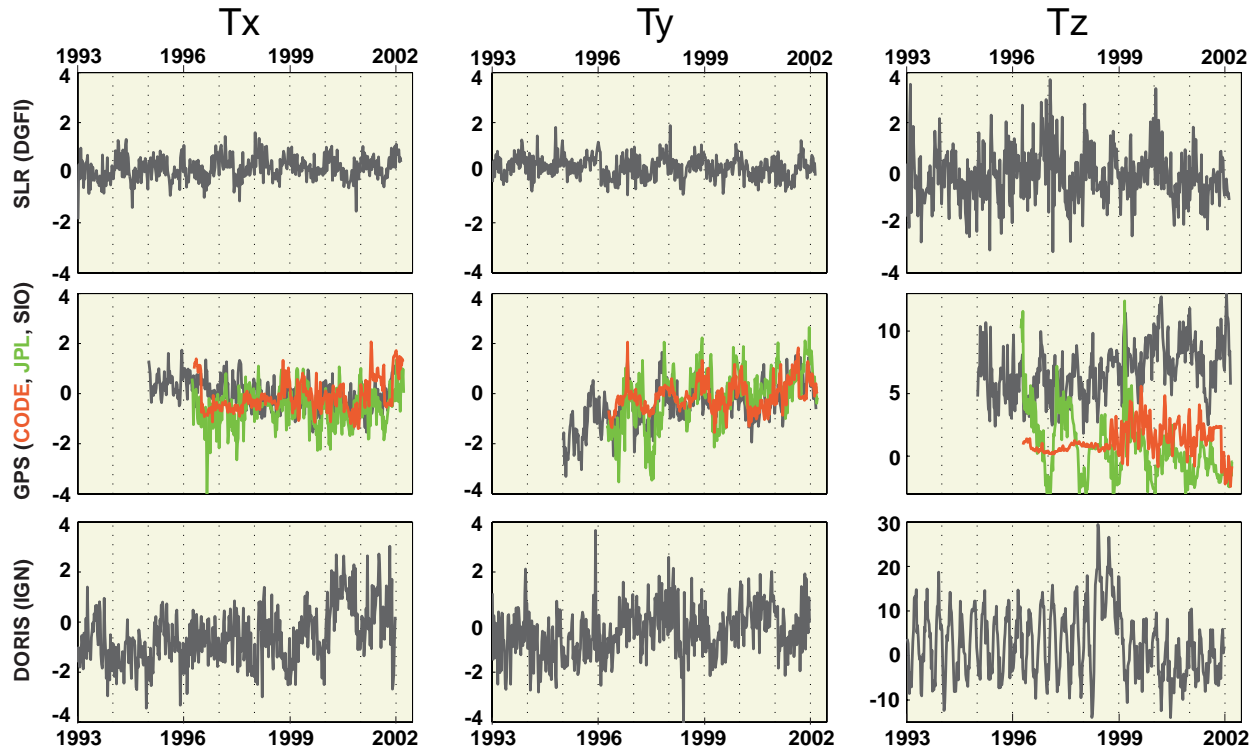
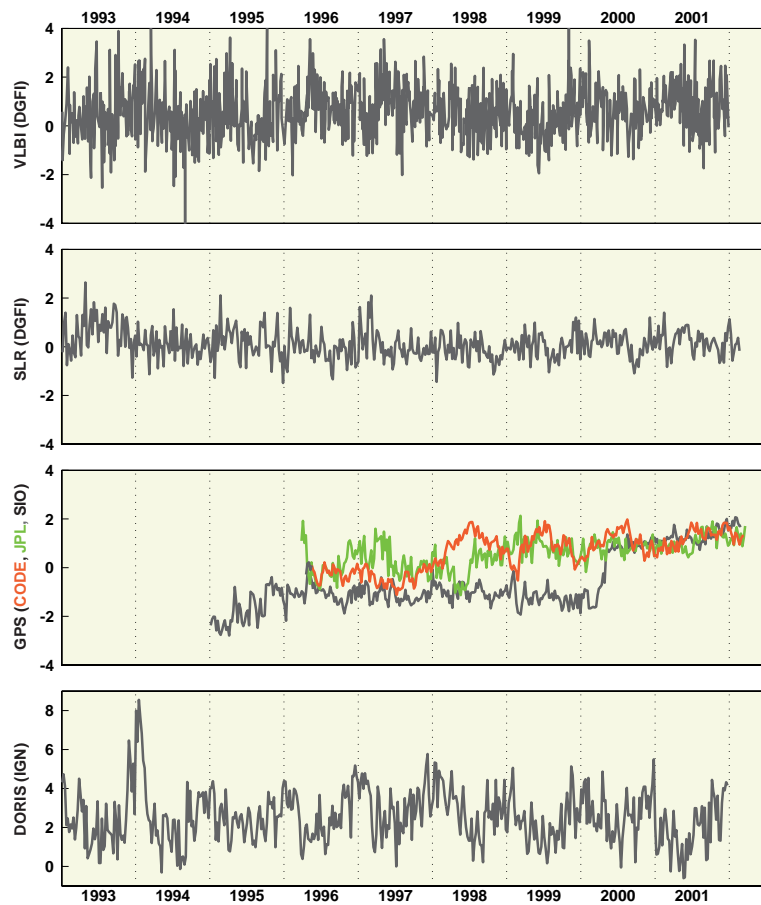


Abb. D1.1: Zeitliche Variationen des Koordinatenursprungs [cm], abgeleitet aus Helmert-Transformationen mit sieben Parameter zwischen den individuellen Lösungen und ITRF2000.

Abb. D1.2: Zeitliche Variationen des Maßstabs [ppb], abgeleitet aus Helmert-Transformationen mit sieben Parameter zwischen den individuellen Lösungen und ITRF2000.



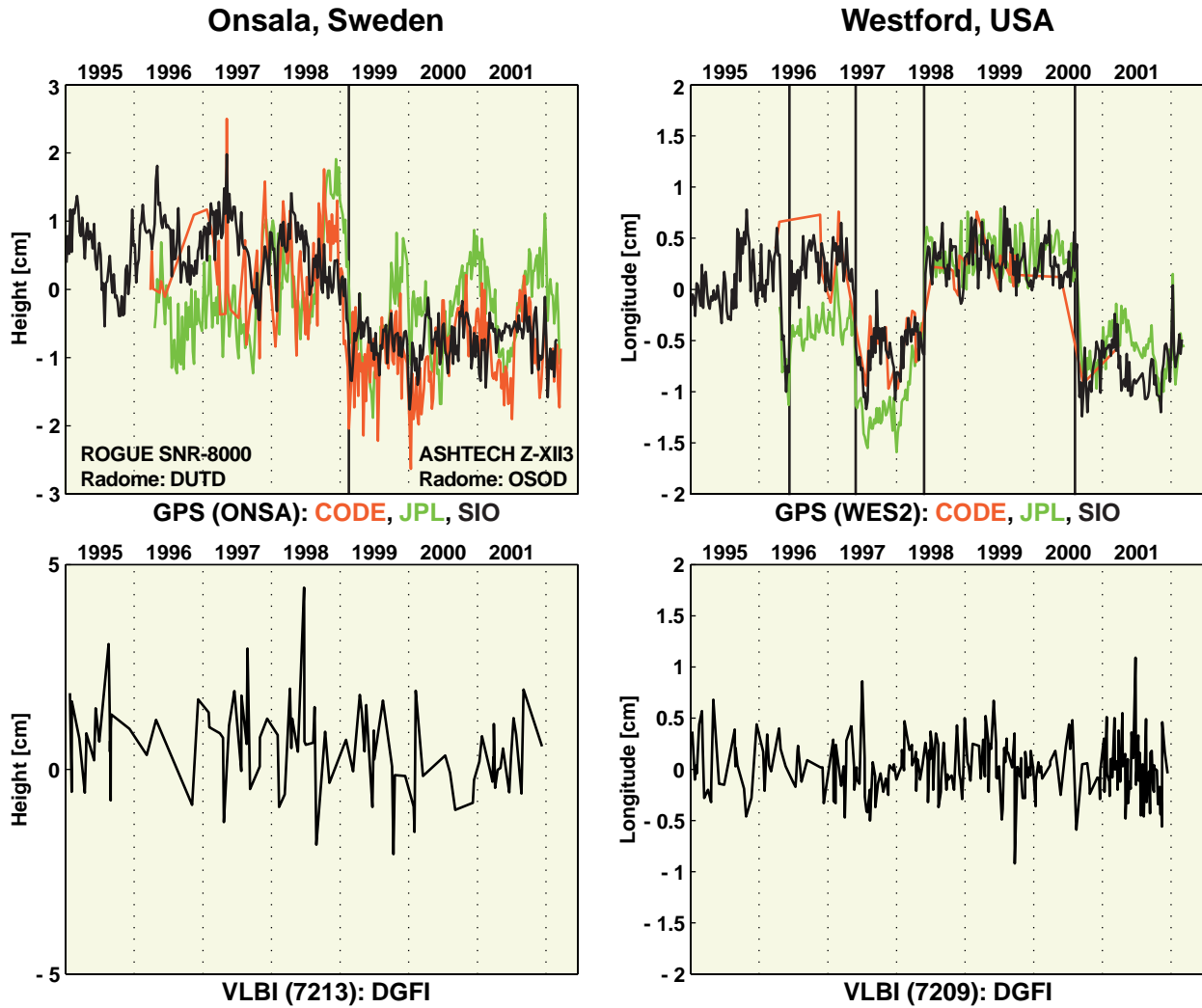


Abb. D1.3: Zeitliche Variationen der Stationspositionen [cm] für zwei Kollokationsstationen (GPS und VLBI) in Onsala und Westford. In den GPS-Zeitreihen sind die Sprünge, bedingt durch instrumentelle Wechsel, deutlich zu erkennen.

D2 IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS

Seit über sechs Jahren prozessiert das DGFI die Daten der kontinuierlich beobachtenden GPS-Stationen des regionalen südamerikanischen Netzes (RNAAC SIR) als assoziiertes Analysezentrum für den Internationalen GPS Service (IGS). Die wöchentlichen Koordinatenlösungen der derzeit 62 Stationen (Abbildung D 2.1) – davon sind 20 regionale Stationen – werden regelmäßig drei bis vier Wochen nach Beobachtungsende an die globalen IGS-Datenzentren geschickt und danach von den globalen IGS-Analysezentren in ihre Prozessierung mit einbezogen.

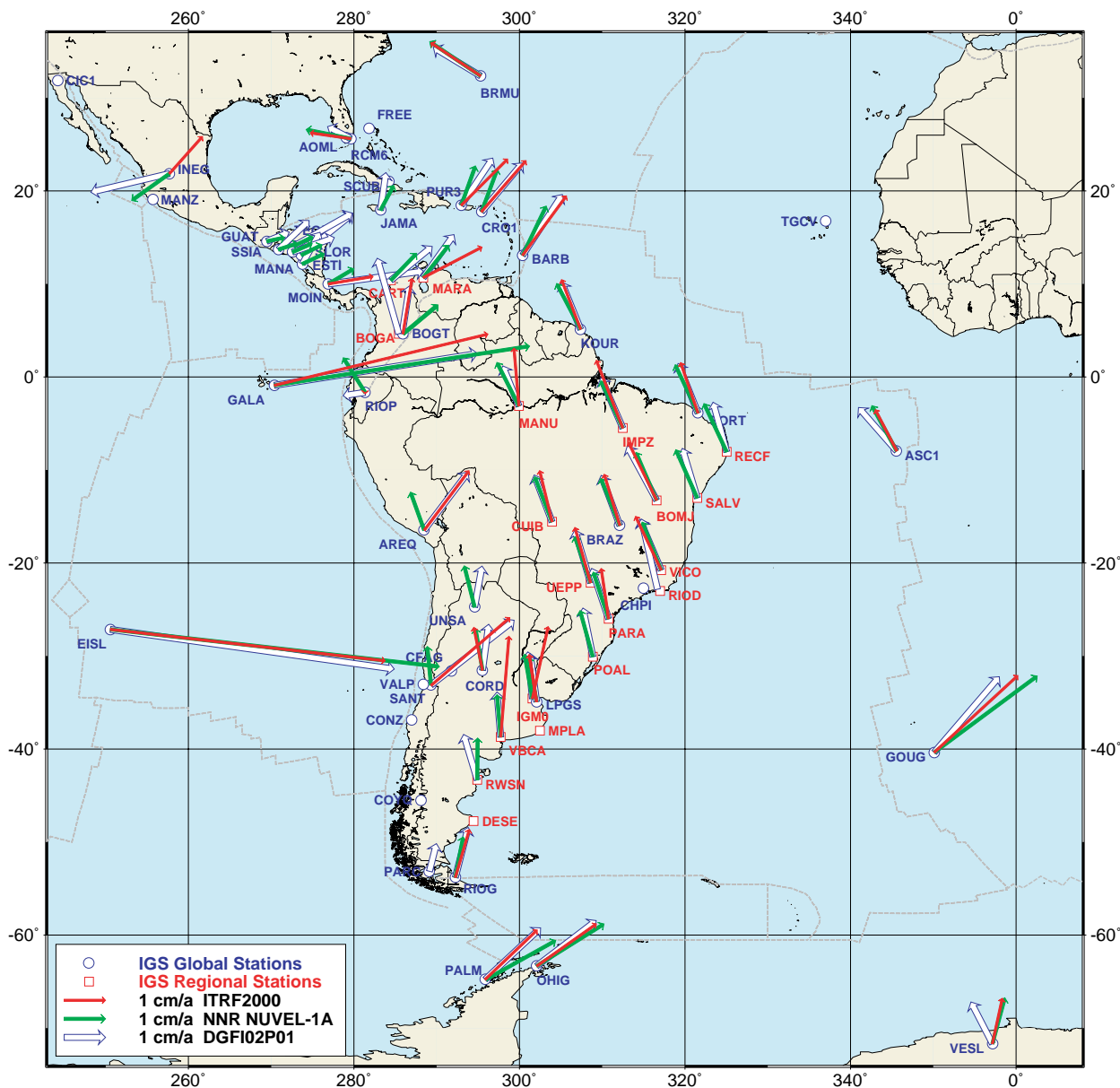


Abb. D2.1: Vergleich der Geschwindigkeiten aus der Lösung DGFI02P01 mit ITRF2000 und dem geologisch-geophysikalischen Modell NNR NUVEL-1A

Wie in jedem Jahr wurde auch in diesem Berichtszeitraum eine neue Lösung für Positionen und Geschwindigkeiten der IGS-RNAAC SIR-Stationen berechnet, welche die aufakkumulierten Lösungen bis einschließlich August 2002 enthält. Die Abbildung

D 2.2 zeigt die wöchentlichen Beiträge der einzelnen Stationen zu dieser Lösung. Der Vergleich der DGFI-Lösung DGFI02P01 mit dem geologisch-geophysikalischen Modell NNR NUVEL-1A und der ITRF2000-Lösung wird in der Abbildung D 2.1 veranschaulicht. Seit Dezember 2001 wird die Version 4.2 der Bernese Processing Engine (BPE) bei der Prozessierung benutzt. Zusätzlich werden seit Februar 2002 die Einflüsse durch Ocean Loading berücksichtigt.

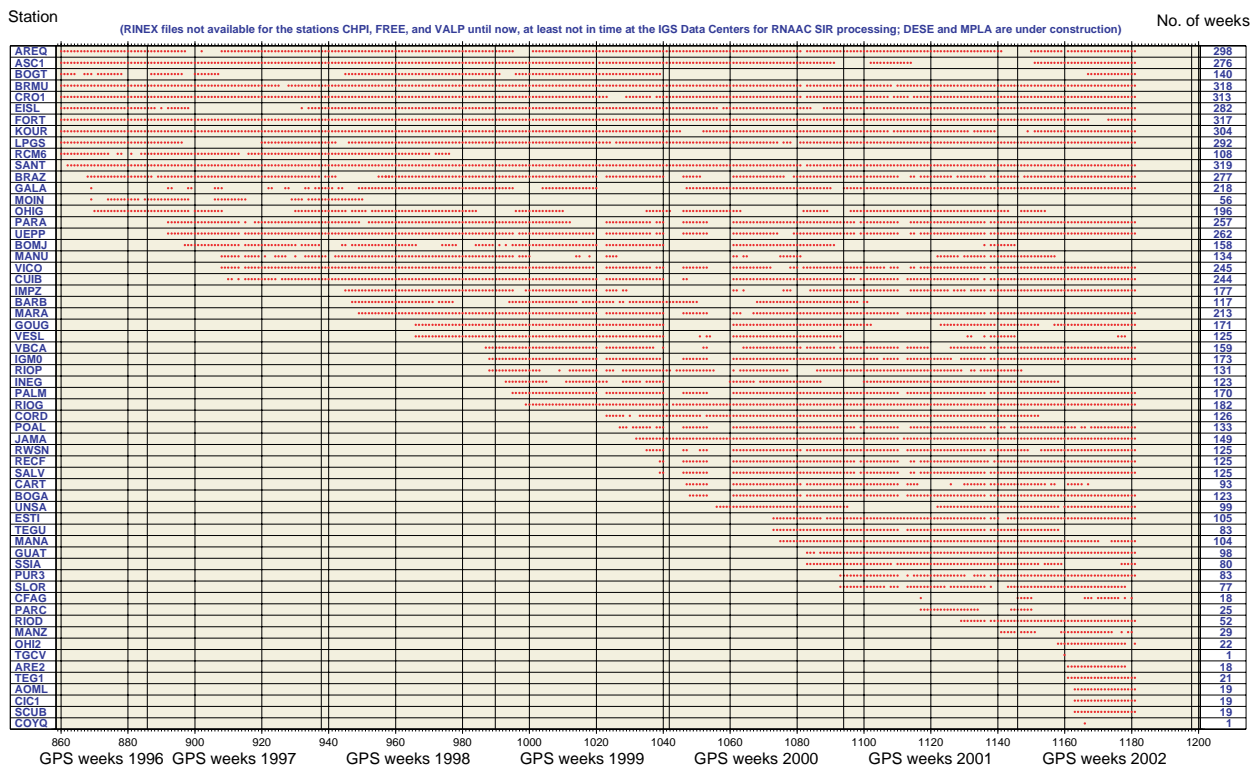


Abb. D2.2: Beitrag der einzelnen Stationen zu den wöchentlichen Lösungen

Diese Arbeiten dienen der Realisierung und Überwachung eines südamerikanischen Referenzsystems. Um die Realisierung korrekt durchzuführen, müssen neben den linearen Bewegungen auch episodische Punktversetzungen erfasst werden, die durch Erdbeben verursacht wurden. Bisher wurden zwei Punktversetzungen in El Salvador (SSIA) und Arequipa (AREQ) bestimmt (siehe Jahresbericht 2000/2001). Um sicher zu gehen, dass keine weiteren durch Erdbeben verursachten Punktversetzungen stattgefunden haben, die die Geschwindigkeitslösungen verfälschen könnten, werden alle Erdbeben von Juni 1996 bis August 2002 erfasst und auf etwaige Auswirkungen in Versetzungen untersucht. Seit Beginn der IGS-RNAAC SIR-Prozessierung im Juni 1996 ereigneten sich 1268 Erdbeben mit einer Magnitude von $5.0 < m < 6.0$, 164 mit $6.0 < m < 7.0$, und 20 größer als $m=7.0$ (Abbildung D 2.3). Auffallende Sprünge in den Zeitreihen für die Koordinatenlösungen wurden aber nur nach den Erdbeben in El Salvador und Arequipa festgestellt (Abbildung D 2.4 und D 2.5).

Abb. D2.3: Erdbeben im Bereich des süd-amerikanischen Referenznetzes seit Juni 1996 (Quelle: USGS National Earthquake Information Center)

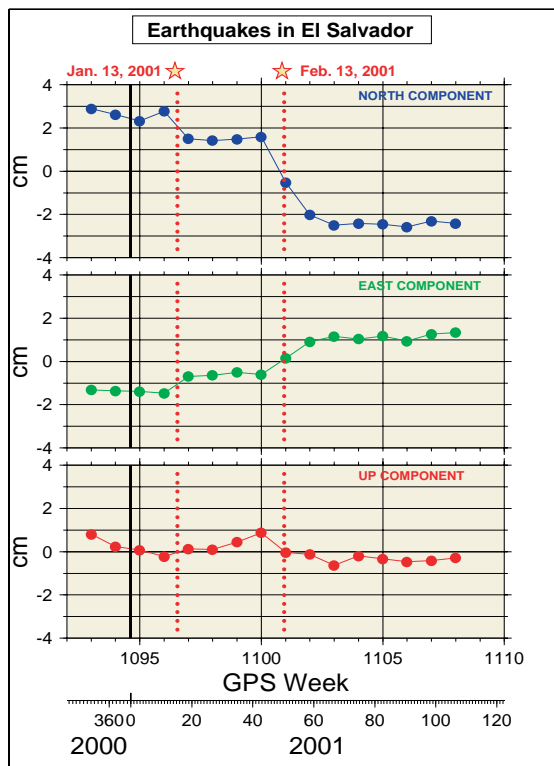
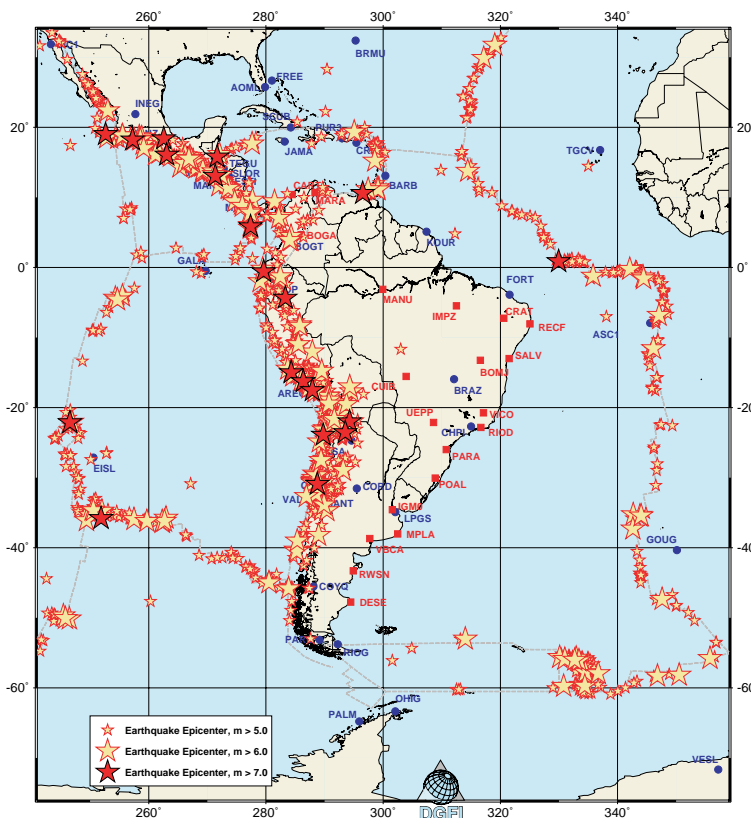


Abb. D2.4: Durch Zeitreihen der Wochenlösungen aufgedeckte Punktversetzungen nach Erdbeben in El Salvador.

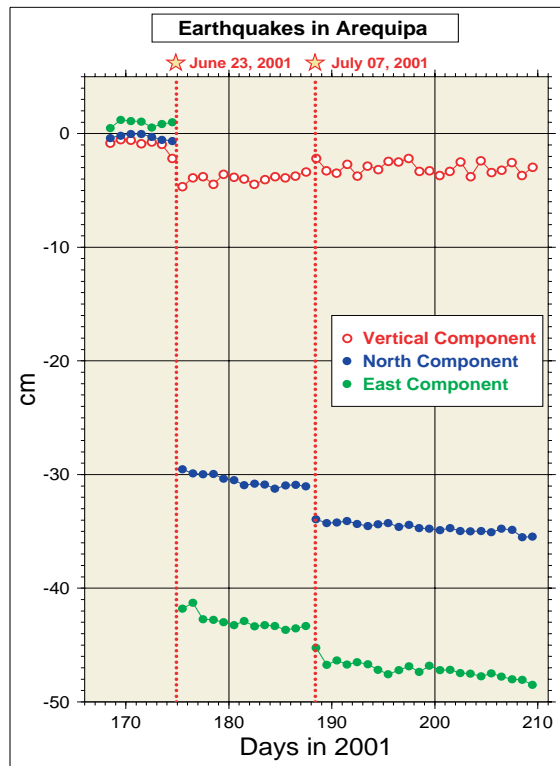


Abb. D2.5: Durch Zeitreihen der Tageslösungen aufgedeckte Punktversetzungen nach Erdbeben in Arequipa.

D3 ILRS Associate Analysis Center

Das DGFI hat sich weiterhin aktiv als „Associate Analysis Center (AAC)“ an den Arbeiten des „International Laser Ranging Service (ILRS)“ sowie an den von der „Analysis Working Group (AWG)“ initiierten Pilotprojekten beteiligt. Die Auswertung der Lasermessungen zu geodätisch nutzbaren Satelliten mit Hilfe des institutseigenen Softwarepaketes DOGS wurde weiter fortgesetzt. Ergebnisse dieser Auswertung sind Stationspositionen und -geschwindigkeiten, Änderungen der Pollage und der Tageslänge sowie Korrekturen der niederen harmonischen Koeffizienten des Schwerefelds der Erde.

Aktuelle Auswertungen

Die Lasermessungen zu Lageos-1 & 2 werden mit geringer zeitlicher Verzögerung kontinuierlich in Form von Wochenlösungen ausgewertet. Eine Übersicht über die Anzahl der wöchentlichen Beobachtungen und Passagen sowie die Genauigkeit der Bahnanpassung in Form von mittleren Residuen ist in Tabelle D3.1 dargestellt. Die Qualität der wöchentlichen Lösungen hat sich kontinuierlich verbessert und liegt seit 2000 bei einer Bahnanpassung von besser als einem Zentimeter.

Tab. D3.1: Anzahl und Qualität von SLR-Beobachtungen. Im Jahr 2002 sind Beobachtungen bis einschließlich Juli enthalten.

Jahr	Lageos-1			Lageos-2		
	Beob.	Passagen	Fit [cm]	Beob.	Passagen	Fit [cm]
1981	30406	2170	9.7	-	-	-
1985	68736	4365	2.7	-	-	-
1990	81088	5776	2.8	-	-	-
1993	68779	5842	1.2	68449	4905	1.1
1995	65324	5337	1.6	62678	4538	1.5
1998	69128	6195	1.1	63545	5194	0.9
1999	76356	7216	1.2	70454	6024	1.1
2000	65786	6454	0.9	65299	5646	0.9
2001	75132	7137	0.9	73283	6126	0.9
2002	45721	4495	0.9	41824	3756	0.9

SLR Ergebnisse

Die Ergebnisse der Wochenlösungen werden in Form von Zeitreihen analysiert, wobei speziell nach anormalem Verhalten, wie Sprüngen in den Stationskoordinaten, gesucht wird. Dabei zeigte sich z.B. der erhebliche Versatz der Laserstation Arequipa nach den Erdbeben im Juni und Juli 2001 (siehe Abbildung D2.5).

In den Zeitreihen für Stationspositionen sind auch periodische (jährliche) Effekte insbesondere für die Höhenkomponente zu erkennen, die im wesentlichen auf noch vorhandene Defizite in den verwendeten Modellen (u.a. Auflasteffekte durch Ozeangezeiten und Atmosphäre) zurückzuführen sind. Eine Analyse dieser Zeitreihen liefert somit auch wichtige Ergebnisse, um die SLR-Modellbildung weiter zu verbessern (siehe A2). In Abbildung D3.1 sind die Höhenvariationen exemplarisch für zwei Kollokationsstationen (Graz und Yarragadee) dargestellt. Die aus

SLR- und GPS-Wochenlösungen abgeleiteten Zeitreihen zeigen für beide Stationen ein ähnliches periodisches Verhalten, wobei die Amplituden der jährlichen Signale bei GPS etwas größer sind. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass GPS sensitiver gegenüber atmosphärischen Effekten ist. Die jährlichen Signale für Graz und Yarragadee weisen eine Phasenverschiebung von ungefähr 180° auf – im Einklang mit den unterschiedlichen Jahreszeiten auf der Nord- und Südhalbkugel.

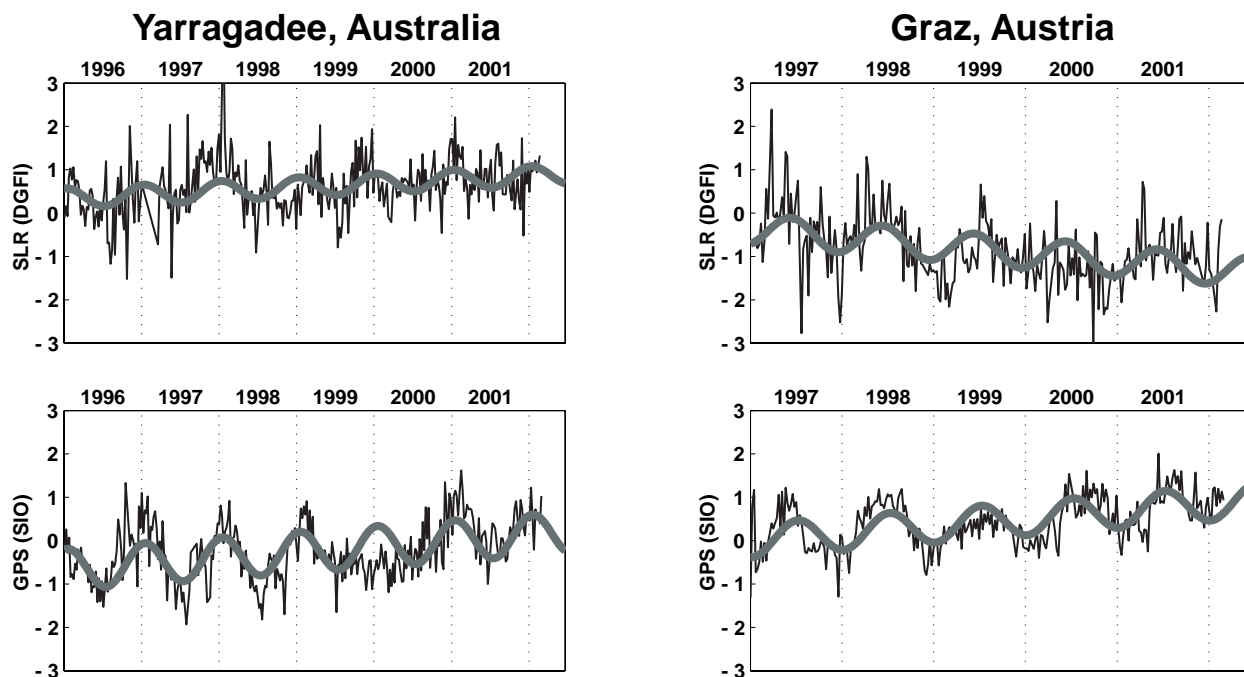


Abb. D3.1 Periodische Signale in der Höhenkomponente [cm] für zwei Kollokationsstationen (SLR und GPS) in Yarragadee und Graz.

Die Ergebnisse der Wochenlösungen genutzt, um die zeitlichen Variationen weiterer Parameter zu untersuchen, wie z.B. Koordinatenursprung (siehe Abbildung D1.1), Maßstab (Abbildung D1.2) sowie niedere harmonische Koeffizienten des Schwerefeldes der Erde. Die aktuell berechneten Wochenlösungen werden auch verwendet, um die kombinierte Mehrjahreslösung für Stationspositionen und konstante Geschwindigkeiten kontinuierlich zu verbessern. Eine aufakkumulierte Lösung für den Zeitraum von 1981 bis 2002 wird zur Zeit bearbeitet. Sie soll in die Berechnung einer neuen kombinierten Lösung für die ITRF-Realisierung einbezogen werden (siehe Projekt D1).

ILRS AWG Pilotprojekte

Das DGFI hat sich an den Pilotprojekten der AWG zur Bestimmung kombinierter SLR-Produkte beteiligt. Im Vordergrund standen bisher Stationspositionen und Erdorientierungsparameter (POS+EOP). Ziel der Pilotprojekte sind möglichst genaue und konsistente SLR-Produkte aus einer Kombination der von verschiedenen Analysezentren bereitgestellten Lösungen. Das DGFI hat die notwendigen Vergleiche und Analysen der individuellen SLR-Lösungen fortgesetzt und die Kombinationsmethoden

weiterentwickelt (siehe Projekt A4). Derzeit sind teilweise noch erhebliche Diskrepanzen zwischen einzelnen Lösungen vorhanden. Um eine höhere Konsistenz zu erreichen, wurden von der AWG Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Daten und der Auswertestrategie erarbeitet, und die beteiligten Analysezentren wurden aufgefordert, eine entsprechende Reprozessierung vorzunehmen.

**Pilotprojekt
„Benchmarking and Orbits“**

Weiterhin beteiligt sich das DGFI am Pilotprojekt "Benchmarking and Orbits". Ziel dieses Projektes ist, die von den ILRS-Analysezentren eingesetzten Softwarepakete im Detail zu vergleichen, um Inkonsistenzen aufzudecken und die Qualität der SLR-Produkte weiter zu steigern. Hierzu wurden das geometrische und dynamische Modell, die zu verwendenden Lasermessungen vorgegeben und die Auswertestrategie sowie die auszugleichenden Parameter festgelegt, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Jedes Analysezentrum, das zukünftig SLR-Ergebnisse für den ILRS bereitstellen möchte, ist aufgefordert, an diesem Projekt teilzunehmen und die Lösung, die Residuen sowie die integrierte Satellitenbahn vorzulegen. Die Ergebnisse der Vergleiche werden dann auf dem AWG Workshop im Oktober 2002 in Washington vorgestellt. Ein Problem bei diesem Pilotprojekt ist, dass sich die einzelnen Programmpakete in ihrem Aufbau und bezüglich der verwendeten Modelle sehr stark unterscheiden. Die Festlegung geeigneter Modelle, die von allen Instituten eingesetzt werden können, erweist sich bei diesem Pilotprojekt als schwierig und bedarf noch weiterer Diskussionen.

D4 ILRS Global Data Center / EUROLAS Data Center (EDC)

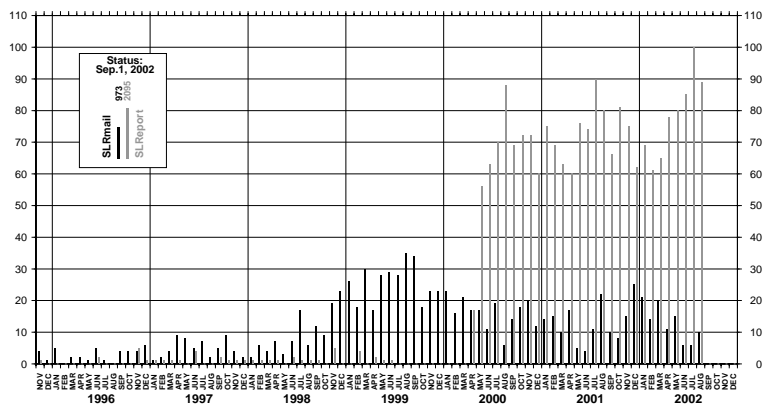
Das EUROLAS Data Center (EDC) am DGFI als eines der beiden globalen Datenzentren des International Laser Ranging Service (ILRS) war auch in diesem Berichtszeitraum mit Verbesserungen, Ergänzungen und der Absicherung des Datenflusses für die „On-Site Normalpoints“ und Bahnvorhersagen beschäftigt. Neue ILRS-Projekte und Beschlüsse der „ILRS Formats and Procedures Working Group“ erforderten zusätzliche Arbeiten für das EDC.

ILRS Seit Juli 2002 werden auch Passagen unterschiedlicher Wellenlängen von Zwei-Farben-Laser-Systemen gesammelt und archiviert. Bisher wurden mehrere Passagen einer Station mit nahezu gleichem Beobachtungszeitpunkt zum selben Satelliten als doppelt erkannt und nicht weiterverarbeitet. Das gleiche gilt jetzt auch für korrigierte Daten, die nach einem Beschluss der ILRS Data Formats and Procedures Working Group neben den älteren Versionen gehalten werden sollen. Alle eingehenden Beobachtungen werden inzwischen einem Qualitätscheck unterzogen und die in den Beobachtungen enthaltenen meteorologischen Daten auf Plausibilität untersucht. Der Qualitätscheck beinhaltet auch die Überprüfung der Zeilenlänge, die Zeitangabe der Beobachtung, die Checksumme und das Setzen des Release Flag. Treten unrealistischer Werte auf, wird die zuständige SLR-Station informiert und zur Korrektur der Beobachtungsdaten aufgefordert.

Nach einer Anfrage der Analysezentren für die erneute Archivierung von Full-Rate-Daten wurde dieses Datenprodukt wieder eingeführt und bei den Globalen Datenzentren gesammelt und archiviert. Die Handhabung und der Datenaustausch dieses Datenproduktes sind noch nicht fixiert und werden zur Zeit diskutiert.

Das EDC betreibt im Rahmen des ILRS drei Mail-Exploder, die dem Daten- und Informationsaustausch dienen. Dabei handelt es sich um den Standard Time Bias Functions Exploder, der einmal pro Tag die Time Bias Functions der zu beobachtenden Satelliten von RGO verteilt. Der SLR-Mail-Exploder informiert über den Status der SLR-Stationen, über Probleme der Daten und sonstige relevante Informationen. Immer häufiger wird der SLReport-Exploder genutzt, der über Datenfluss, Kampagnen, SLR-Stationen-Status etc informiert. Abbildung D4.1 zeigt die Zunahme der versendeten SLReports seit der Einführung im November 1995.

Abb. D4.1 SLRmails und SLReports pro Monat seit November 1995



SLR-Beobachtungskampagnen

Wiederum wurde im ILRS Governing Board unter Mitwirkung des EDC über neue SLR-Kampagnen bzw. die Fortsetzung oder Streichung alter Kampagnen entschieden. Die ETALON-Kampagne wurde verlängert. Die Kampagnen für REFLECTOR, JASON-TOPEX Tandem und ENVISAT wurden unterstützt. Vor kurzem wurde der Kampagne für den neuen Satelliten NPOESS zugestimmt.

Neu zu beobachtende Satelliten mit hoher Priorität sind GRACE-A, GRACE-B und METEOR-3M. Neue Satelliten, die mit SLR zu beobachten sind und für die Bahnvorhersagen bereit gestellt wurden, sind LRE-H2A, STARSHINE-3 und die GLONASS-Satelliten 86, 87 und 88.

Im Berichtszeitraum Oktober 2001 - August 2002 haben 40 ILRS-Stationen 32 Satelliten beobachtet. Die Tabelle D4.1 gibt den Datenbestand am 01.09.2002 wieder. Dieser Datenbestand wird regelmäßig mit den archivierten Daten am Crustal Dynamics Data Information Center (CDDIS) verglichen und gegebenenfalls aufdatiert.

Tab. D 4.1 Bestand der EDC/ILRS-Datenbank am 01.09.2002 für das Produkt „On-Site Normalpoints“-Daten (einschließlich der „Lunar Laser Ranging (LLR)“-Beobachtungen zu den vier Mondreflektoren).

Satellit	Passagen (seit 10/95 global)		Satellit	Passagen (seit 10/95 global)		Satellit	Passagen (seit 10/95 global)	
	Zuwachs 2002	gesamt		Zuwachs 2002	gesamt		Zuwachs 2002	gesamt
STARLETTE	7893	4e+89	CHAMP	1564	3084	GLONASS-69	!	9,5e+67
AJISAI	10044		WESTPAC-1	292	5620	GLONASS-70	!	
LAGEOS-1	7229		BEACON-C	5973	18770	GLONASS-71	!	
LAGEOS-2	6211		GPS-35	548	3916	GLONASS-72	!	
ETALON-1	1260		GPS-36	451	3265	GLONASS-74	!	
ETALON-2	1346		SUNSAT	!	1864	GLONASS-75	!	
ERS-1	!		ENVISAT	2211	2211	GLONASS-76	!	
ERS-2	4391		LRE-H2A	75	75	GLONASS-77	!	
TOPEX/POS.	8148		STARSHINE-3	40	40	GLONASS-78	422	
STELLA	4820		GRACE-A	678	678	GLONASS-79	!	
METEOR-3	!		GRACE-B	540	540	GLONASS-80	958	
GFZ-1	!		JASON-1	3993	3993	GLONASS-81	!	
FIZEAU	!		METEOR-3M	275	275	GLONASS-82	!	
RESURS-01-3	!		REFLECTOR	2160	2160	GLONASS-84	1482	
TIPS	!		GLONASS-62	!	963	GLONASS-86	512	
ADEOS	!		GLONASS-63	!	1952	GLONASS-87	779	
ZEIA	!		GLONASS-64	!	81	GLONASS-88	9	
DIADEME-1C	!		GLONASS-65	!	397	MOND-1	48	
DIADEME-1D	!		GLONASS-66	!	1544	MOND-2	!	
GFO-1	4101		GLONASS-67	!	4299	MOND-3	11	
GEOS-3	!		GLONASS-68	!	875	MOND-4	286	
						Gesamtsumme	78750	446612

D5 IVS Special Analysis Center

Das DGFI beteiligt sich am International VLBI Service (IVS) der IAG als Special Analysis Center mit dem Ziel, das Verfahren der geodätischen Very Long Baseline Interferometry (VLBI) durch Beteiligung an Pilotprojekten zu unterstützen und durch Untersuchungen zur Modellbildung zu verbessern.

Zweites IVS Pilotprojekt

Das IVS Special Analysis Center am DGFI nahm am zweiten IVS Pilotprojekt teil. Es waren Erdrotationsparameter (ERP) und Troposphärenparameter einzureichen, die aus allen 104 NEOS-A-Sessions der Jahre 1999 und 2000 berechnet wurden. Die ERP von elf Analysezentren wurden zusammen mit neun GPS-ERP-Zeitreihen mit der Zeitreihe C04 des Internationalen Erdrotationsdienstes (IERS) verglichen. Die vom Goddard Space Flight Center (GSFC) und die vom DGFI eingereichten Zeitreihen hatten die kleinsten gewichteten empirischen mittleren Abweichungen der Polkoordinaten gegenüber C04. Fast alle Reihen wiesen ähnliche konstante Versätze zu C04 auf. Im Rahmen dieses Pilotprojekts wurden auch Troposphärenparameter verglichen, die von neun Analysezentren und dem IGS bereitgestellt wurden. Die geschätzten Werte der durch die Troposphäre hervorgerufenen Laufzeitverzögerungen im Zenit sowie ihr zeitlicher Verlauf während der VLBI-Sessions gleichen sich bei fast allen VLBI-Lösungen. Zwischen den mit VLBI und GPS bestimmten täglichen Mittelwerten sind konstante Versätze zu erkennen. Als Ursachen dafür werden z.B. unterschiedliche Elevationsmasken oder Mapping-Funktionen bei der VLBI- und GPS-Auswertung, Variationen der Phasenzentren von GPS-Antennen oder nicht konsistente geophysikalische Modelle angenommen.

VLBI Beobachtungsdatenbank am DGFI

Am DGFI ist eine Datenbank eingerichtet, in der alle verfügbaren VLBI-Sessions abgelegt werden. Sie umfasst Beobachtungsdaten von 1979 bis einschließlich 2000 und wurde im Berichtszeitraum um die Sessions des Jahres 2001 erweitert. Außerdem wurden dreißig bis Anfang des Jahres 2002 nicht öffentlich zugängliche VLBI-Sessions mit der Bezeichnung RDV ('Research and Development with the VLBA') in die Datenbank aufgenommen. Sie werden von USNO (United States Naval Observatory), NASA (National Aeronautics and Space Administration) und NRAO (National Radio Astronomy Observatory) gemeinsam organisiert. Im Gegensatz zu den üblicherweise durchgeführten VLBI-Sessions, bei denen heutzutage zwischen vier und sieben Stationen in 24 Stunden ca. 2000 Beobachtungen durchführen, nehmen an den RDV-Sessions bis zu 20 Stationen mit bis zu 30000 Beobachtungen teil. Diese Sessions sind von besonderem Interesse, da sie eine große Anzahl von Beobachtungen technisch höchster Qualität liefern. Die meisten der zehn Teleskope des hauptsächlich astrometrisch genutzten VLBA (Very Large Baseline Array) nehmen regelmäßig daran teil. Diese ansonsten selten in geodätischen VLBI-Sessions genutzten Teleskope stehen auf dem US-amerikanischen Festland, auf Hawaii und auf St. Croix in der Karibik. Die Datensammlung umfaßt jetzt etwa 3500 Sessions, an denen insgesamt 146 Stationen beteiligt sind.

**VLBI Lösung
DGFI02R02**

Für die Berechnung der Positionen und Geschwindigkeiten von 47 Teleskopen wurden aus der Beobachtungsdatenbank 2030 hochwertige Sessions ausgewählt, die seit 1984 durchgeführt wurden. Erste Ergebnisse, wie z.B. die Lösung DGFI01R01, zeigten Abweichungen des Maßstabs gegenüber dem ITRF2000 und anderen VLBI-Lösungen und einige unrealistische Höhen-geschwindigkeiten, vor allem der Teleskope des VLBA. Auch wiesen die mitgeschätzten Erdrotationsparameter leichte Systematiken gegenüber der Reihe IERS C04 auf. Diese Probleme konnten durch das Hinzunahme der Sessions des Jahres 2001 und der RDV-Sessions beseitigt werden (Lösung DGFI02R02, Abbildung D5.1). Anzeichen auf grobe Unzulänglichkeiten im Datenmaterial, der Datenverarbeitung oder der VLBI-Modellierung im Programm OCCAM, das in internationaler Zusammenarbeit entwickelt wird, sind nicht mehr zu erkennen.

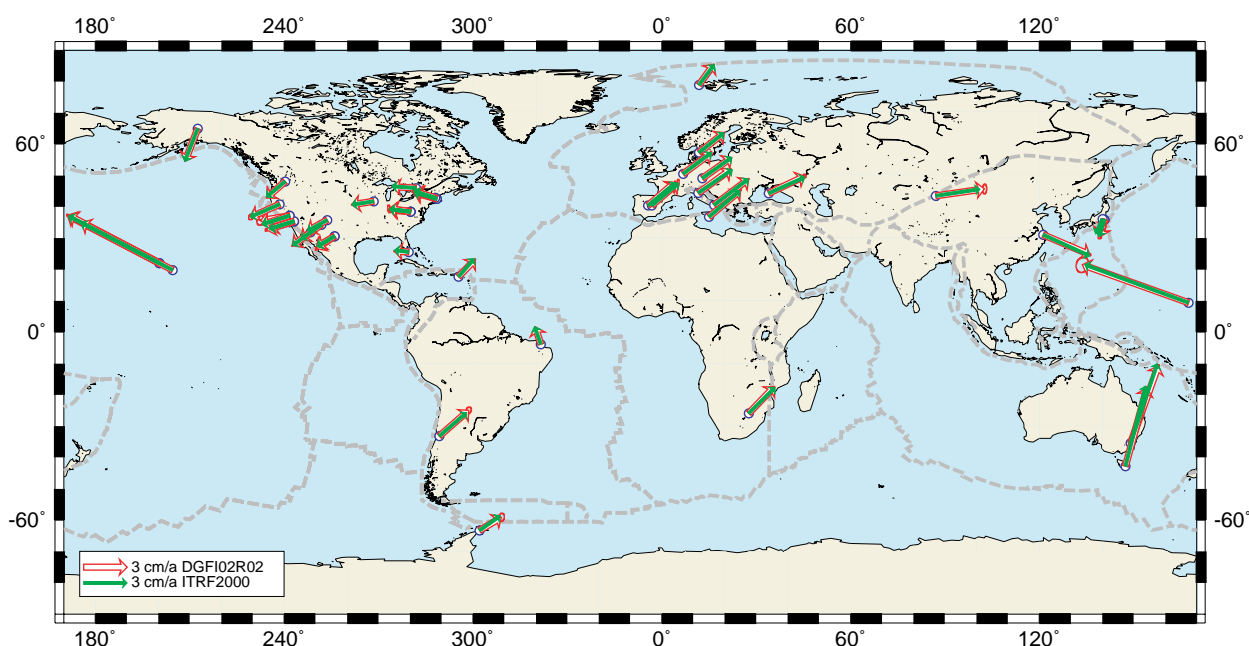


Abb. D5.1 Vergleich der Lagegeschwindigkeiten von DGFI02R02 und ITRF2000

**Veröffentlichung der
VLBI-Ergebnisse**

Die VLBI-Ergebnisse werden der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich zum einen um die bislang einzige VLBI-Lösung nach Positions- und Geschwindigkeitsvektoren von VLBI-Teleskopen, die nicht mit der VLBI-Software CALC/SOLVE berechnet wurde. Sie wird zusammen mit Zeitreihen von Stationskoordinaten und Erdrotationsparametern, die von 1984 bis Ende 2001 reichen, sowohl über den IVS als auch über die DGFI-Homepage bereitgestellt. Die vollständige ERP-Zeitreihe trägt außerdem zur IERS EOP Alignment Campaign bei, für die endgültige Ergebnisse noch nicht vorliegen. Zum anderen wurden für die IERS SINEX Combination Campaign im August 2002 zusätzlich datumsfreie Normalgleichungen der 120 24-stündigen VLBI-Sessions des Jahres 1999 abgegeben.

Durch Arbeiten des IVS Special Analysis Centers am DGFI wurden sehr gute Grundlagen für wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen des Projektes A3 (Modellbildung für VLBI) geschaffen. Mit qualitativ hochwertigen Ergebnissen und Erkenntnissen wurden außerdem die Projekte A4 und D1 unterstützt, die sich mit der Kombination von geodätischen Beobachtungsverfahren beschäftigten. Die Arbeiten wurden durch Sachbeihilfen der DFG gefördert.

D6 Beiträge zum IERS „Global Geophysical Fluids Center“

Die im Vorjahr durchgeführte Berechnung von ozeanischen Anregungsfunktionen der Erdrotation wurde nicht aktualisiert. Die numerische Integration für diese Anregungsfunktionen beruhte auf Meereshöhenanomalien, die aus der TOPEX/Poseidon Altimetermission – unter Abzug des sterischen Effektes – berechnet wurden. Zwar steht mittlerweile ein wesentlich längere Zeitreihe von Altimeterbeobachtungen zur Verfügung. Die saisonalen Änderungen des sterischen Effektes wurden aber – mangels Alternativen – der Levitus Klimatologie von 1994 entnommen. Diese Daten beruhen auf langjährigen Mittelwerten und können nur ein durchschnittliches Verhalten repräsentieren – sie sind damit wenig geeignet, um den in-situ Effekt der sterischen Anomalien zu berücksichtigen.

Eine erneute Berechnung der Anregungsfunktionen erscheint nur dann sinnvoll, wenn eine geeignetere Methode zur Reduktion des sterischen Effektes zur Verfügung steht.

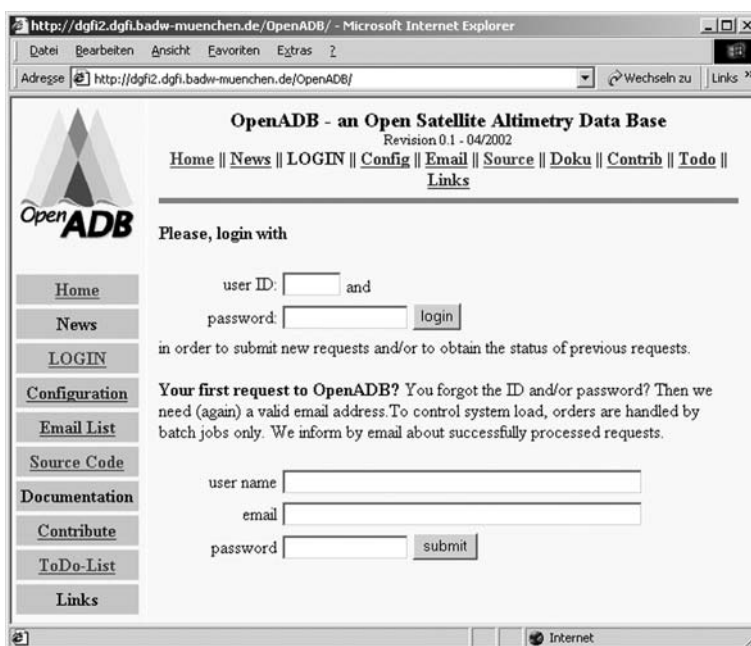
D7 Konzept für einen „International Altimeter Service“

Eine der wesentlichen Zielsetzungen der CSTG-Subkommission „Multi-Mission Satellite Altimetry“ besteht darin, die Voraussetzungen für die Bildung einer möglichst langen, aus verschiedenen Missionen kombinierten, aber konsistenten Zeitreihe von Altimetermessungen zu untersuchen. Eine solche Zeitreihe ist z.B. erforderlich, um die Frage des Meeresspiegelanstiegs mit der erforderlichen Sicherheit zu untersuchen. Durch die bisherigen Analysen wurden zwei entscheidende Defizite erkannt: a) die vielen unterschiedlichen Formate für Missions- und Nutzerdaten und b) die Heterogenität von Bahndaten und geophysikalischen Korrekturen.

OpenADB – eine offene Altimeter Datenbasis

Um die Defizite zu beseitigen, wurde ein neues Konzept für eine offene Altimeter Datenbasis (OpenADB) mit einem generischen Format entwickelt. Es erlaubt eine schnelle Aktualisierung von Parametern, die verbesserten Schwerefeldmodellen, physikalischen Korrekturmodellen und neue Algorithmen angepasst werden sollen. Durch das generische Datenformat können aber auch Datenauszüge mit einem durch den Nutzer definierten Format erstellt werden. OpenADB ist weiterhin als offenes und modulares System angelegt, bei dem externe Gruppen Ergebnisse eigener Berechnungen in die Datenstrukturen einfügen können, ohne bestehende Datenbestände ändern zu müssen. Der Zugang zu OpenADB erfolgt über ein Web-Interface, das in Abbildung D7.1 dargestellt ist.

Abb.D7.1: Web-Interface von OpenADB.



Realisierung von OpenADB

Es wird intensiv an der Realisierung von OpenADB gearbeitet: Die Formate sind festgelegt, und die Programme für die Erstellung von Datenausügen wurden erfolgreich erprobt. Die gesamten Datenbestände der TOPEX/Poseidon Mission wurden in das generische Format von OpenADB umgesetzt. Neue Gezeitenkorrekturen mit dem Modell GOT99.2 wurden berechnet, um die

update-Fähigkeit des Systems zu demonstrieren. Der Aufbau des Systems und die Programme sind noch nicht ausreichend dokumentiert. Vor der Freigabe des Systems sollen noch eine rudimentäre Nutzerverwaltung und eine Versionskontrolle von Programmen und Dokumenten realisiert werden.

Speicheranforderungen

Die Speicheranforderungen für die in OpenADB bisher geführten Altimeterdaten sind sehr hoch - selbst bei Beschränkung auf die wichtigsten Datensatz-Parameter. Deshalb werden in OpenADB – wie bei allen bisherigen Missionen auch – alle Parameter in ganzzahlige Werte skaliert und – in Abhängigkeit der erforderlichen Stellen – mit ein, zwei oder vier Byte langen Worten binär kodiert. Ein 10-Tage Zyklus von TOPEX/Poseidon – umgesetzt in das OpenADB-Format – benötigt so immer noch ca. 60 MB – die gesamte 10-jährige Mission belegt 22 GByte. Werden mehrere Versionen eines Parameter (z.B. die Satellitenbahn, die mit verschiedenen Schwerefeldmodellen bestimmt wurden) gleichzeitig gehalten, kann sich das Datenvolumen nochmals auf das anderthalb bis zweifache erhöhen.

Binread - Dekodierung binär kodierter Daten

Die binäre Speicherung ist zwar kompakt und bietet Sicherheit gegen zufälliges Überschreiben. Das Lesen der binären Daten erfordert jedoch eine Dekodierung. Jede neue Mission führte neue Datenformate ein und bot dafür Muster-Leseprogramme an, die den jeweiligen Nutzerbedürfnissen angepasst werden mussten. Um zu vermeiden, dass immer neue Interface-Programme geschrieben werden müssen, wurde im Zuge der OpenADB Entwicklung ein allgemeines Dekodier-Programm „binread“ entwickelt, das alle binär kodierten Daten lesen kann, wobei Zahl und Reihenfolge der auszugebenden Parameter gewählt und Datensätze nach sehr allgemeinen Kriterien selektiert oder verworfen werden können. Binread führt bei Bedarf auch „byte swapping“ durch, das notwendig ist, wenn die binären Daten auf einer anderen Rechnerarchitektur geschrieben wurden („big endian“-Rechner mit VAX und Motorola CPU's legen die Bytes in umgekehrter Reihenfolge ab als „little endian“-Rechner mit Intel CPU).

„record maps“

Um Datensätze mit wechselnder Länge der Parameter dekodieren zu können, muss dem C-Programm binread das Datensatzformat durch sogenannte „record maps“ mitgeteilt werden. „record maps“ sind elektronisch lesbare Formatbeschreibungen die aus der OpenADB Datenbank erzeugt werden. Abbildung D7.2 zeigt exemplarisch die „record map“ einer Datei, die in OpenADB die Bahnposition des Satelliten aufnimmt.

Abb. D7.2: Datensatzformat („record map“) für die Orbit-Parameter-Datei von OpenADB

000	4	13	orbit.mpr
001	+4	-6.deg	glon Longitude of satellite footprint
002	4	-6.deg	glat geodetic latitude of satellite footprint
003	+4	-3.m	hsat satellite height above ellipsoid
004	+1	-	oflags orbit status and quality flags

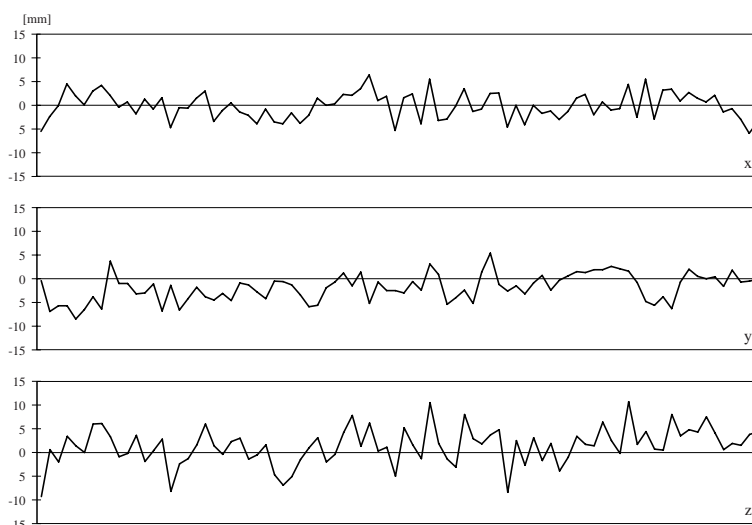
D8 GPS Permanentstationen

Das DGFI hat seit 1998 in Südamerika fünf GPS-Permanentstationen (Maracaibo/Venezuela, Bahia Blanca und Rawson/Argentinien sowie Bogotá und Cartagena/Kolumbien) installiert. Diese Stationen werden vom DGFI in Zusammenarbeit mit südamerikanischen Institutionen betrieben (Universidad del Zulia, Maracaibo, Universidad Natinal, La Plata, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá). Die Messdaten werden über Internet direkt vom DGFI abgerufen und im Rahmen des regionalen IGS Analysezentrum (RNAAC-SIR, siehe Projekt D2) verarbeitet. Daneben dienen die Stationen zur Überwachung der Höhen nahegelegener Pegel in den Projekten EVAMARIA (Maracaibo und Cartagena, siehe Projekt B3) und SIRVEMAS (Bahia Blanca und Rawson, siehe Projekt A5).

Anfang 2001 wurde eine Permanentstation in Tórshavn auf den Färöer-Inseln eingerichtet. Seit ihrer Inbetriebnahme arbeiten die Stationen Maracaibo (Feb.1998), Bogotá (Febr.2000), Rawson (Nov.1999), Bahia Blanca (Dez.1998) ohne große Ausfälle. Die Station Tórshavn (Febr.2001) lief bis Nov. 2001 ohne Ausfälle. Ab Nov. 2001 hatten die Datensätze einen um ein Drittel geringeren Datenumfang. Die Antenne wurde daraufhin ausgetauscht, und seit März 2002 wird wieder der volle Datenumfang empfangen.

Wegen eines Glasfaserbruchs zwischen Permanentstation und Server konnten zwischen Juni 2001 und September 2001 von der Station Cartagena (Jan.2000) keine Daten abgezogen werden. Von Oktober 2001 bis Januar 2002 lief die Station ohne Ausfälle. Ab Februar 2002 wurden Daten nur noch sporadisch übertragen (Febr. 6 Tage, März 8 Tage, April 21 Tage und Mai 10 Tage). Seit 24. Mai können keine Daten mehr übertragen werden. Ob es sich um ein Serverproblem oder um ein Problem des GPS - Empfängers handelt, konnte noch nicht ermittelt werden.

Abb.D8.1 Tägliche Variationen der yxz - Koordinaten der Station Tórshavn über einen Zeitraum von 85 Tagen.



E: Informationsdienste und wissenschaftlicher Transfer

Um Forschungsarbeiten und -ergebnisse innerhalb des wissenschaftlichen Umfelds sowie in der Öffentlichkeit bekannt und zugänglich zu machen, sind diese in geeigneter Weise aufzubereiten. Neben den Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Reihen unterhält das DGFI ein Informationssystem im Internet. Mit verschiedenen wissenschaftlichen Gremien hat das DGFI einen intensiven Datenaustausch, für dessen geregelten Ablauf innerhalb des Instituts wie nach außen geeignete Strukturen aufgebaut werden. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Beiträge zu großen internationalen Projekten und Diensten, die ohne die Zusammenarbeit einzelner Institute nicht durchführbar wären.

Die Mitarbeiter des DGFI besuchten zahlreiche Kongresse und andere Veranstaltungen, hielten Vorträge und legten Publikationen vor. Ebenso ist das DGFI über die Mitarbeiter in nationalen und internationalen Gremien vertreten. Der Informationsaustausch wird durch Arbeitsaufenthalte bei anderen Institutionen und durch Gastwissenschaftler, die im DGFI mitarbeiten, intensiviert.

E1 Geodätisches Informationssystem GeodIS

GeodIS ist ein Fachinformationssystem, das seit einigen Jahren vom DGFI laufendgehalten wird. Es stellt Informationen für die wichtigsten Bereiche der Physikalischen Geodäsie (Geometrie und Referenzsysteme, Erdrotation und Orientierung, Schwerefeld) zusammen und bietet Übersichten von relevanten wissenschaftlichen Organisationen und den für die Geodäsie bedeutenden internationalen Diensten. Soweit verfügbar, wurden Verweise auf die Startseiten der Organisationen und Dienste gesetzt, um Interessenten einen schnellen Zugang zu Informationen und Daten zu bieten.

Die Einstiegsseite des GeodIS ist

<http://www.dgfi.badw.de/~geodis> .

E2 DGFI Home Page

Die HTML-Seiten der DGFI Home Page und des Geodätischen Informationssystems GeodIS werden getrennt verwaltet. Die Home Page des Instituts soll die Forschungsarbeiten und -ergebnisse des DGFI bekannt und zugänglich machen. Das derzeitige Forschungsprogramm des Instituts wird dargestellt, nationale und internationale Projekte, an denen das DGFI beteiligt ist, sind aufgeführt und die Beiträge des Instituts an den wissenschaftlichen Diensten werden skizziert.

Die Liste der Veröffentlichungen (seit 1994) sowie der Vorträge und Poster (seit 1997) wird ständig aktualisiert. In zunehmendem Umfang werden Veröffentlichungen und Poster in elektronischer Form, vorzugsweise im Portable Document Format (PDF), auf den Internet-Servern des DGFI bereitgestellt.

Die Adresse der DGFI home page ist <http://www.dgfi.badw.de>

Die Laufendhaltung von GeodIS und der DGFI Home Page wird durch die zunehmende Seitenzahl immer aufwendiger. Das einheitliche Layout der Seiten erfordert intensive Kenntnisse von HTML, CSS (Cascading Style Sheets) und anderen Script-Sprachen wie z.B. PHP. Diese Koordinierungs-Aufgabe wird am besten

sichergestellt, wenn die Verantwortung und Expertise dafür in einer Hand liegt. Die Seiteninhalte müssen jedoch von den wissenschaftlichen Mitarbeitern der einzelnen Arbeitsgruppen vorgegeben und ständig auf ihre Aktualität hin überprüft werden. Die Autoren werden bisher von der direkten HTML-Kodierung freigestellt. Die HTML-Kodierung erfolgte durch den Koordinator – mit Unterstützung durch wissenschaftliche Hilfskräfte. Durch den gestiegenen Umfang der Internet-Darstellung ist diese Aufgabenteilung aber nicht mehr praktikabel.

Content Management Systeme

Seit einiger Zeit werden „Content Management Systeme (CMS)“ entwickelt, die Seiteninhalte durch Datenbanksysteme verwalten und den Autoren einer Internetseite Formular und Masken zur Eingabe anbieten – ohne dabei Kenntnisse von HTML zu fordern. Das allgemeine Seitenlayout und einige Musterelemente für die Seiteninhalte werden einmal vorgegeben und lassen sich durch den Administrator an zentraler Stelle verändern. CMS-System bieten sich an, um den Aufwand der Internet Darstellung zu reduzieren und auf die Mitarbeiter zu verteilen, die für die Inhalte verantwortlich sind.

Um den Einsatz eines solchen CMS-Systems zu erleichtern, wurde eine Diplomarbeit vergeben, die frei verfügbare CMS Systeme miteinander vergleichen, und anhand der für das DGFI gestellten Anforderungen eine Empfehlung aussprechen soll. Das ausgewählte CMS-System soll installiert und einige Seiten der DGFI Home Page exemplarisch umgesetzt werden. Die Diplomarbeit soll mit einer Schulung der Mitarbeiter abgeschlossen werden.

E3 Intranet

Der wichtigste Bestandteil der Arbeitsumgebung im DGFI ist die ausreichende Versorgung mit Rechenleistung, genügend sicherer Speicherplatz und eine schnelle Anbindung an das Internet. Das Linux-Cluster im DGFI erfüllt zusammen mit der 100 Mbaud schnellen Internet-Anbindung über das Leibniz-Rechenzentrum in München diese Voraussetzungen. Zusätzliche Windows-PCs erlauben die Nutzung spezieller, nicht unter Linux verfügbarer, Softwarepakete.

Netzsicherheit

Ein besonderer Aspekt eines Intranets ist die Netzsicherheit, sowohl hinsichtlich der Hard- als auch der Software. Die Hardware kann durch Bereitstellung geeigneter Ersatzrechner bzw. Backupssysteme für die gespeicherten Daten erreicht werden.

Im DGFI stehen CD-, DVD-Brenner und Bandgeräte zur Sicherung der Daten bereit. Außerdem gibt es genügend Plattenplatz, um wichtige Datenbestände doppelt zu halten. Es hat sich gezeigt, dass es besser und billiger ist, die Daten auf ein zweites System, z.B mit dem Programm rsync, zu kopieren, als mit aufwendigen RAID-Systemen sichere Datenbestände zu halten.

Firewall

Die Sicherheit gegen unerlaubtes Eindringen ist, bei offenen Rechner Systemen, die im Internet bekannt sind, nur schwer zu

erreichen und erfordert eine permanente Überwachung dieser Rechner. Da mehrere Linux-PCs des Instituts solchen Angriffen ausgesetzt waren und teilweise in diese auch erfolgreich eingebrochen wurde, sahen wir uns gezwungen, das DGFI-Netz vom offenen Internet durch eine Schutzmauer (Firewall) abzukoppeln. Diese Abschottung findet auf Ebene der Router statt, da diese besonders gut gegen Angriffe geschützt sind. Es werden jetzt nur noch Verbindungen von "innen" nach "außen" zugelassen. Alle Verbindungsanforderungen aus dem Internet werden von entsprechenden Filterprogrammen im Router abgelehnt, so dass kein Institutsrechner mehr im Internet sichtbar ist.

Server Das DGFI hat allerdings noch zwei Rechner die außerhalb des "Firewalls" stehen, denn sie müssen aufgrund der internationalen Verpflichtungen im Internet sichtbar und erreichbar sein. Diese stellen jetzt die einzige "Schwachstelle" im DGFI-Netz dar, lassen sich aber besser und gezielter überwachen. Die Funktionalität der beiden Server ist in Tabelle E3.1 dargestellt.

Tab. E3.1 DGFI Internetserver

Rechnername	dgfi2	dgfi3
IP-Nummer	129.187.165.2	129.187.165.3
Internet Aliasnamen	www.dgfi.badw.de ftp.dgfi.badw.de	www.dgfi.badw-muenchen.de ftp.dgfi.badw-muenchen.de
Mail Adresse	dgfi.badw.de	dgfi.badw-muenchen.de
Funktion	DGFI Mail-Server DGFI Web-Server DGFI Ftp-Server Datenbankserver	EDC Mail-Server EDC Web-Server EDC Ftp-Server ---
Mirror	129.187.36.1	129.187.36.3

Die Trennung in zwei getrennte Server geschieht einmal aus Gründen der Lastverteilung und zum anderen wegen der besonderen Anforderungen des EUROLAS/ILRS Datenzentrum (EDC).

Die wichtigen Datenbestände der Server werden auf einen zweiten Rechner, den "Mirror", gespiegelt. Im Falle eines Rechnerausfalls oder eines Hackerangriffs, können diese dann die Funktionen des eigentlichen Servers übernehmen.

Ein dritter Rechner, mit dazugehörigem Mirror, dient als Intranet-Server, der die Verwaltung des internen DGFI-Netzes übernimmt.

E4 Veröffentlichungen

ACUÑA, G., W. BOSCH, B. MEISEL: Correlation between multi-mission altimeter time series and tide gauge registrations in the Caribbean sea. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 231-237, Springer 2002.

ADAM, J., W. AUGATH, C. BOUCHER, C. BRUYNINX, A. CAPORALI, E. GUBLER, W. GURTNER, H. HABRICH, B. G. HARSSON, H. HORNIK, J. IHDE, A. KENYERES, H. V. D. MAREL, H. SEEGER, J. SIMEK, G. STANGL, J. A. TORRES, G. WEBER: Status of the European Reference Frame - EUREF. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): Vistas for Geodesy in the New Millennium. IAG Symposia, Vol. 125, 42-46, Springer, 2002.

ANGERMANN, D., H. MÜLLER, M. GERSTL: Geocenter variations derived from SLR data to LAGEOS 1 and 2. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): Vistas for Geodesy in the New Millennium. IAG Symposia, Vol. 125, 30-35, Springer, 2002.

ANGERMANN, D., K. KANIUTH, H. MÜLLER, V. TESMER: Contribution of individual space techniques to the realization of vertical reference systems. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 91-96, Springer 2002.

ANGERMANN, D., M. GERSTL, R. KELM, H. MÜLLER, W. SEEMÜLLER, M. VEI: Time evolution of an SLR reference frame. *Advances in Space Research*, Vol. 30(2), 201-206, 2002.

ANGERMANN, D., H. MÜLLER, M. GERSTL, R. KELM, W. SEEMÜLLER, M. VEI: Lasorentfernungsmessungen zu LAGEOS-1 und 2 und ihr Beitrag zu globalen Referenzsystemen. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Jhrg. 126 (5), 250-256, 2001.

ANGERMANN, D.: Combination of space geodetic observations. IAG CSTG Bulletin No. 17, 42-50, Munich 2002.

ANGERMANN, D., H. MÜLLER: DGFI Associate Analysis Center. In: ILRS 2000 Annual Report, NASA/TP-2001-209987, 7-9, 2001.

BOSCH, W., G. ACUÑA, R. KANIUTH: Caribbean sea level variability from TOPEX/Poseidon altimetry. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 249-254, Springer 2002.

BOSCH, W.: Multi mission satellite altimetry continuing. IAG CSTG Bulletin No. 17, 60-63, Munich 2002.

BOSCH, W., M. KUHN, M. BAUMGARTNER, R. KANIUTH: Überwachung des Meeresspiegels durch Satellitenaltimetrie ! Ergebnisse und Folgerungen für die Geodäsie. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Jhrg. 126 (5), 262-269, 2001.

BOSCH, W.: The sea surface topography and its impact to global height system definition. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 225-230, Springer 2002.

BOSCH, W., H. DREWES, P. HÄFELE, K. KANIUTH, R. KANIUTH, M. KUHN, K. STUBER, H. TREMEL: The EVAMARIA project: Identification and verification of sea level anomalies in the North Atlantic. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 238-243, Springer 2002.

BRUNINI, C., J. MOIRANO, H. DREWES, K. KANIUTH: Improvements in the ellipsoidal heights of the Argentine reference frame. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 16-19, Springer 2002.

DREWES, H., A. DODSON, L.P. FORTES, L. SÁNCHEZ, P. SANDOVAL (EDS.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 352 pp, Springer 2002.

DREWES, H., W. BOSCH, H. HORNIK (EDS.): Commission VIII - International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Progress Report 2001. IAG CSTG Bulletin No. 17, Munich 2002.

DREWES, H., L. SÁNCHEZ, D. BLITZKOW, S. DE FREITAS: Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 297-301, Springer 2002.

DREWES, H.: The ILRS - An important service for geodetic research and the terrestrial reference frame. In: ILRS 2000 Annual Report, IX-X, NASA/TP-2021-209987, 2001.

DREWES, H.: Recent developments in geodesy with regard to CSTG. IAG CSTG Bulletin No. 17, 7-8, 2002.

DREWES, H.: 50 Jahre Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jhrg. 126 (5), 249-250, 2001.

DREWES, H., J. DOW (EDS.): New trends in space geodesy. Proceedings of the COSPAR Symposium, Warsaw 2000. Adv. Space Res. Vol. 30(2), Elsevier 2002.

DREWES, H., G. BEUTLER, R. RUMMEL: Challenges for VLBI within an Integrated Global Geodetic Observing System. In: IVS 2002 Gen. Meeting Proceedings, 24-32, NASA/CP-2002-210002, 2002.

HÄFELE, P., K. KANIUTH: Analysis of time series of GPS height estimates with regard to atmospheric pressure loading. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 97-100, Springer 2002.

HÄFELE, P., S. HUBER, K. KANIUTH: Vertical crustal movements of tide gauge sites around the North Atlantic Ocean. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 244-248, Springer 2002.

HERNÁNDEZ, J.N., D. BLITZKOW, R. LUZ, L. SÁNCHEZ, P. SANDOVAL, H. DREWES: Connection of the vertical control networks of Venezuela, Brazil and Colombia. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 324-327, Springer 2002.

HOYER, M., E. WILDERMANN, G. ACUÑA, M. LOPEZ, C. GIL, M. FORGIONE, J. HERNÁNDEZ: Geoidal undulations from GPS measurements in Venezuela. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 187-191, Springer 2002.

HOYER, M., E. WILDERMANN, G. ACUÑA, J. HERNÁNDEZ, A. NAHMENS, J. VELANDIA: Current status of geoid calculation in Venezuela. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 182-186, Springer 2002.

KANIUTH, K., H. DREWES, K. STUBER, H. TREMEL: Bestimmung rezenter Krustendeformationen im zentralen Mittelmeer mit GPS. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jhrg. 126 (5), 256-262, 2001.

KANIUTH, K., P. HÄFELE: Effects of atmospheric pressure loading on the EUREF network. In: Mitt. des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, EUREF Publ. No. 10, 100-104, 2002.

KANIUTH, K., H. TREMEL, H. DREWES, K. STUBER, R. MATORANA, H. PARRA: Processing of the SIRGAS 2000 GPS network at DGFI. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 312-317, Springer 2002.

KANIUTH, K., K. STUBER: The impact of antenna radomes on height estimates in regional GPS networks. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 101-106, Springer 2002.

KANIUTH, K., H. MÜLLER, W. SEEMÜLLER: Displacement of the space geodetic observatory Arequipa due to recent earthquakes. Zeitschrift f. Vermessungswesen Jhrg.127(4), 238-243, 2002.

KANIUTH, K., P. HÄFELE, L. SÁNCHEZ: Subsidence of the permanent GPS station Bogotá. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): Vertical Reference Systems. IAG Symposia, Vol. 124, 56-59, Springer 2002.

KELM, R.: Datumsoptimale Datenverarbeitung in der Netzausgleichung. In: Caspary, W., H. Heister, A. Schödlbauer, W. Welsch (Eds.): 25 Jahre Institut für Geodäsie, Teil 1: Wissenschaftliche Beiträge und Berichte, Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, 167-179, 2000.

- KLOTZ, J., G. KHAZARADZE, D. ANGERMANN, C. REIGBER, R. PERDOMO, O. CIFUENTES: Earthquake cycle dominates contemporary crustal deformation in Central and Southern Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 193, 437-446, 2001.
- KUHN, M., W. BOSCH, R. KANIUTH: Sea level variations in the North Atlantic. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*. IAG Symposia, Vol. 125, 487 - 492, Springer, 2002.
- KUHN, M.: Density modeling for geoid determination. In: Sideris, M. (Ed.): *Gravity, Geoid and Geodynamics 2000*. IAG Symposia, Vol. 123, 271-276, Springer 2001.
- KUTTERER, H.: Some considerations on Fuzzy Least-Squares. In: Sideris, M. (Ed.): *Gravity, Geoid and Geodynamics 2000*. IAG Symposia, Vol. 123, 73-78, Springer 2001.
- KUTTERER, H.: Zum Umgang mit Ungewissheit in der Geodäsie - Bausteine für eine neue Fehlertheorie. *Dt. Geod. Komm.*, München, Reihe C, Nr. 553, 2002.
- KUTTERER, H., V. TESMER: Subdiurnal Earth orientation parameters from VLBI networks! determinability and significance. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*. IAG Symposia, Vol. 125, 469-474, Springer, 2002.
- KUTTERER, H., V. TESMER: Statistical assessment of subdiurnal Earth orientation parameters from VLBI. In: Vandenberg, N., K. Baver (Eds.): *IVS 2002 General Meeting Proceedings*. NASA/CP-2002-210002, 272-276, 2002.
- LUZ, R.T., L. P. FORTES, M. HOYER, H. DREWES: The vertical reference frame for the Americas - The SIRGAS 2000 GPS campaign. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): *Vertical Reference Systems*. IAG Symposia, Vol. 124, 302-305, Springer 2002.
- MEYER, F., F. SEITZ, J. MÜLLER: An algorithm for reliable normal point calculation of noisy LLR measurements. In: Schreiber, U., Ch. Werner, G. Kamerman, U. Singh (Eds.): *Laser Radar: Ranging and Atmospheric Lidar Techniques III*. Proceedings of SPIE, Washington, Vol. 4546, 154-159, 2002.
- MÜLLER, J., V. TESMER: Investigation of tidal effects in lunar laser ranging. *Journal of Geodesy* (76), 232-237, 2002.
- NATALI, M., C. BRUNINI, K. KANIUTH, H. DREWES: Monitoring tide gauge benchmarks in Argentina by GPS. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): *Vertical Reference Systems*. IAG Symposia, Vol. 124, 255-258, Springer 2002.
- REIGBER, C., G. MICHEL, R. GALAS, D. ANGERMANN, J. KLOTZ, J.Y. CHEN, A. PAPSEHEV, R. AROLANOV, V.E. TZURKOV, M.C. ISHANOV: New space geodetic constraints on the distribution of deformation in Central Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 191, 157-165, 2001.
- RICHTER, B.: Besprechung des Buches von Albert Schödlbauer: *Geodätische Astronomie! Grundlagen und Konzepte*. *Mitteilungsblatt des DVW-Bayern*, 53, 495-496, 2001.
- RUMMEL, R., H. DREWES, G. BEUTLER: Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS): A candidate IAG project. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*. IAG Symposia, Vol. 125, 609-614, Springer, 2002.
- SÁNCHEZ, L., H. DREWES: International Symposium on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20-23 February 2001. *Journal of Geodesy* (75), 679-680, 2001.
- SCHMIDT, M.: Wavelet-Analyse von Zeitreihen. *Dt. Geod. Komm.*, München, Reihe A, Nr. 118, 46-56, 2002.
- SCHMIDT, M., W. MARTÍNEZ, J. FLÓREZ: General scheme for the computation of regional geoid undulations using spherical wavelets. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): *Vertical Reference Systems*. IAG Symposia, Vol. 124, 209-214, Springer 2002.
- SCHMIDT, M.: Ein Beitrag zur zweidimensionalen Wavelet-Analyse von Zufallsprozessoren, *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Jhrg. 126 (5), 270-275, 2001.
- SCHMITZ-HÜBSCH, H., R. DILL: Atmosphärische, ozeanische und hydrologische Einflüsse auf die Erdrotation. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Jhrg. 126 (5), 275-283, 2001.

- SCHMITZ-HÜBSCH, H.: Wavelet-Analysen der Erdrotationsparameter im hochfrequenten Bereich. Dt. Geod. Komm., München, Reihe A, Nr. 118, 57-62, 2002.
- SCHÖN, S., H. KUTTERER: Network optimization with respect to systematic errors. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*. IAG Symposia, Vol. 125, 329-334, Springer, 2002.
- SCHÖN, S., H. KUTTERER, M. MAYER, B. HECK: Some considerations on Fuzzy Least-Squares. In: Sideris, M. (Ed.): *Gravity, Geoid and Geodynamics 2000*. IAG Symposia, Vol. 123, 29-34, Springer 2001.
- SEEMÜLLER, W., K. KANIUTH, H. DREWES: Velocity estimates of IGS RNAAC SIRGAS stations. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.): *Vertical Reference Systems*. IAG Symposia, Vol. 124, 7-10, Springer 2002.
- SEEMÜLLER, W., H. DREWES: Annual Report 2000 of RNAAC SIR. In: *IGS 2000 Technical Reports*. JPL Publication 02-012, 141-144, IGS Central Bureau, JPL Pasadena, 2002.
- SEITZ, F., F. MEYER, U. SCHREIBER, N. BRANDL: A Biaxial Rayleigh- and Raman-LIDAR system for application in atmospheric sounding and SLR. In: Schreiber, U., Ch. Werner, G. Kamerman, U. Singh (Eds.): *Laser Radar: Ranging and Atmospheric Lidar Techniques III*, Proceedings of SPIE, Washington, Vol. 4546, 66-73, 2002.
- SEITZ, F., H. KUTTERER: Numerical solutions for of the non-linear Liouville equation. In: Adam, J., K.-P. Schwarz (Eds.): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*. IAG Symposia, Vol. 125, 463-468, Springer, 2002.
- SEITZ, F.: Atmosphärische und ozeanische Massenverlagerungen als Antrieb für ein Kreiselmodell der Erde. Dt. Geod. Komm., München, Reihe A, Nr. 118, 96-101, 2002.
- TESMER, V., H. KUTTERER, B. RICHTER, H. SCHUH: Reassessment of highly resolved EOP determined with VLBI. In: Behrend, D., A. Rius (Eds.): *Proceedings of the 15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry*, Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, Spain, 83-90, 2001.
- TESMER, V.: VLBI Solution DGFI01R01 based on Least-Squares Estimation Using OCCAM 5.0 and DOGS-CS. In: Vandenberg, N., K. Baver (Eds.): *IVS 2002 General Meeting Proceedings*, NASA/CP-2002-210002, 295-299, 2002.
- TESMER, V.: Untersuchung der mit VLBI gemessenen Erdrotationsparameter. Dt. Geod. Komm., München, Reihe A, Nr. 118, 25-27, 2002.
- TESMER, V., H. KUTTERER, H. DREWES: DGFI Special Analysis Center Annual Report 2001. In: Vandenberg, N., K. Baver (Eds.): *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2001 Annual Report*, NASA/TP-2002-210001, 204-205, 2002.
- TORRES, J., H. HORNIK (EDS.): *International Association of Geodesy / Section I – Positioning / Commission X – Global and Regional Geodetic Networks / Sub-Commission for Europe (EUREF)*, Publication No. 10: Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), held in Dubrovnik, 16 – 18 May 2001; Reports of the EUREF Technical Working Group. *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, Bd. 23, Frankfurt a.M. 2002, ISBN 3-89888-860-6, 332 S.
- TREMEL, H., L. SÁNCHEZ, H. DREWES: Procesamiento de la red GPS básica de Colombia: Marco Geocéntrico Nacional, MAGNA. *Revista Cartográfica IPGH*, No. 73, 7-23, 2001.

E5 Vorträge und Poster

ACUÑA, G., W. BOSCH: Absolute comparison of satellite altimetry and tide gauge registrations in Venezuela. Int. Workshop on Satellite Altimetry, Wuhan, China, 08.-13.09.2002 (Poster).

ANGERMANN, D.: ILRS pilot project 5A: DGFI solution for station coordinates and EOP. ILRS Analysis Working Group Meeting, San Francisco, USA, 13.12.2001.

ANGERMANN, D.: Status report of ILRS AAC at DGFI. ILRS Analysis Working Group Workshop, Nice, France, 29.04.2002.

ANGERMANN, D.: Status report of CRC at DGFI. IERS Combination Research Center Meeting, Nice, France, 25.04.2002.

ANGERMANN, D.: Realization of the International Terrestrial Reference Frame by DGFI Analysis Center. AGU 2001 Fall Meeting, San Francisco, USA, 12.12.2001.

ANGERMANN, D.: Analysis of VLBI, SLR and GPS site position time series. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 26.04.2002.

ANGERMANN, D.: Internationale Dienste. Festveranstaltung 50 Jahre DGFI, München, 10.01.2002.

BOSCH, W.: South Atlantic sea level variability from Topex/Poseidon altimetry. An ocean odyssey. Joint assembly of IAPSO and IABO, Mar del Plata, Argentina, 23.10.2001.

BOSCH, W.: OpenADB ! an Open Altimeter Data Base, EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 25.04.2002 (Poster).

BOSCH, W.: Estimating vertical tectonic motions at tide gauges by GPS. Hydrographic Service, Buenos Aires, Argentina, 17.10.2001.

BOSCH, W.: Geodetic application of satellite altimetry ! A review. Int. Workshop on Satellite Altimetry, Wuhan, China, 10.09.2002.

BOSCH, W.: Physikalische Bezugsflächen. Festveranstaltung 50 Jahre DGFI, München, 10.01.2002.

BOSCH, W.: Open ADB ! an Open Altimeter Data Base. Int. Workshop on Satellite Altimetry, Wuhan, China, 10.09.2002.

BOSCH, W.: Lectures on satellite altimetry. Univ. Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 15.-19.10.2001.

BOSCH, W.: Die Rolle des Meeresspiegels und der Meerestopographie für die Definition eines globalen Vertikaldatum. DGK Arbeitskreis "Theoretische Geodäsie", Inst. f. Theoret. Geodäsie, Universität Bonn, 09.07.2002.

DREWES, H., L. SÁNCHEZ: Curso "Sistemas de referencia en geodesia"; I. Sistemas horizontales. Quito, Ecuador, 25.-28.03.2002.

DREWES, H.: Por qué necesitamos un nuevo sistema de alturas? Congreso Internacional de Geodesia y Cartografía, Caracas, Venezuela, 19.03.2002.

DREWES, H.: Challenges for VLBI within an Integrated Global Geodetic Observing System. Second IVS General Meeting, Tsukuba, Japan, 04.02.2002.

DREWES, H.: 50 Jahre Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut. Festveranstaltung 50 Jahre DGFI, München, 10.01.2002.

DREWES, H.: El sistema de referencia internacional (ITRF) y sus densificaciones continentales (SIRGAS) y nacionales (REGVEN). Congreso Internacional de Geodesia y Cartografía, Caracas, Venezuela, 19.03.2002.

DREWES, H.: Deformations along the Caribbean - South American plate boundary from nine years of repeated GPS observations in the CASA project. AGU Spring Meeting, Washington, D.C., 29.05.2002.

DREWES, H., L. SÁNCHEZ: Curso "Sistemas de referencia en geodesia"; II. Sistemas verticales y gravimétricos. Quito, Ecuador, 01.-04.04.2002.

DREWES, H.: Definition und Realisierung des vertikalen Referenzsystems für Südamerika. DGK Arbeitskreis "Theoretische Geodäsie", Bonn, 09.07.2002.

DREWES, H.: Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltraum. Bayer. Akademie der Wissenschaften, 13.05.2002.

DREWES, H.: Die Arbeiten des DGFI in den Jahren 2000/2001. Jahresvollsitzung der DGK, München, 30.11.2001.

DREWES, H.: Geodätische Referenzsysteme und ihre Bedeutung für die Vermessungspraxis. Geodätisches Kolloquium der TU Wien, Österreich, 17.10.2001.

DREWES, H.: Aktuelle Arbeiten zur Realisierung des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems. Geod. Kolloquium, TU Dresden, 12.06.2002.

FABERT, O., H. SCHMITZ-HÜBSCH, M. SCHMIDT: Chandler and Annual Wobble determined by Wavelet Filtering. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 22.-26.04.2002 (Poster).

FABERT, O.: High resolution wavelet filtering. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 22.-26.04.2002 (Poster).

KANIUTH, K.: Geometrische Referenzsysteme. Festveranstaltung 50 Jahre DGFI, München, 10.01.2002.

KANIUTH, K.: GPS height determination ! performance and problems. Univ. Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 13.12.2001.

KANIUTH, K.: Comparison of the Bernese and GIPSY software systems using EUREF data, EUREF Symposium, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 07.06.2002.

KANIUTH, K.: An assessment of radome effects on height estimates in the EUREF network. EUREF Symposium, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 05.06.2002.

KANIUTH, K.: GPS reference frame for South America ! latest results. Univ. Nacional de La Plata, Argentina, 13.12.2001.

KELM, R.: SLR-Intra-Technique Processing applied to an ILRS pilot project. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 22.-26.04.2002 (Poster).

KELM, R.: POS+EOP pilot project A5: Comparison and combination. ILRS Working Group Meeting, Nice, France, 30.04.2002.

KUTTERER, H.: Statistical hypothesis tests in case of imprecise data. 5th Hotine-Marussi-Symposium, Matera, Italy, 17.06.2002.

KUTTERER, H.: Advanced aspects of parameter estimation in VLBI. IVS OCCAM User Workshop 2002, TU Vienna, Austria, 29.04.2002.

KUTTERER, H.: Geodätische Grundlagenforschung. Geodätisches Institut der Universität Karlsruhe, Vortragsreihe „Berufsbild des Geodäten“, 16.05.2002.

KUTTERER, H., R. HEINKELMANN, V. TESMER: Reweighting techniques for use in VLBI parameter estimation. Second IVS General Meeting, Tsukuba, Japan, 04.02.-05.02.2002 (Poster)

KUTTERER, H.: Statistical assessment of subdiurnal Earth orientation parameters from VLBI. Second IVS General Meeting, Tsukuba, Japan, 05.02.2002.

KUTTERER, H.: Dynamische Prozesse. Festveranstaltung 50 Jahre DGFI, München, 10.01.2002.

MEISEL, B.: Comparison of DORIS site position and reference frame time series with other space techniques. IDS Workshop, Biarritz, France, 13.06.2002.

SCHMIDT, M.: Grundlagen der Gravitationsfelddarstellung mittels sphärischer Wavelet-Funktionen. Geodätisches Oberseminar, Stuttgart, 06.12.2001.

SCHMITZ-HÜBSCH, H.: Variationen der Erdrotationsparameter auf verschiedenen Zeitskalen. Geodätisches Oberseminar, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, 13.03.2002.

SCHÖN, S.: Using Zonotopes for overestimation-free interval least-squares ! Some geodetic applications. SCAN2002: 10th GAMM - IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics, Paris, France, 27.09.2002.

SEITZ, F.: Zum Einfluß von atmosphärischen und ozeanischen Massenverlagerungen auf Rotation und Schwerefeld der Erde. Kolloquiumsvortrag am Institut für Planetare Geodäsie der Technischen Universität Dresden, Dresden, 12.04.2002.

TESMER, V.: VLBI-solution DGFI01R01 based on least-squares estimation using OCCAM 5.0 and DOGS-CS. Second IVS General Meeting, Tsukuba, Japan, 06.02.2002.

TESMER, V.: Influence of the gradient set up on station coordinate estimates using OCCAM 5.0. IVS OCCAM User Workshop, Vienna, Austria, 29.04.2002.

TESMER, V.: DGFI VLBI Solution DGFI02R01. IVS OCCAM User Workshop, Vienna, Austria, 29.04.2002.

E6 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien

International Council for Science (ICSU)

- International Lithosphere Program (ILP) (Bureau Member: Dr. H. Drewes)
- Council for Space Research (COSPAR): Subcommission B2 “International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (President: Dr. H. Drewes)

International Association of Geodesy (IAG)

- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG) (President: Dr. H. Drewes)
- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Subcommission on Multi-Mission Satellite Altimetry (Chairman: Dr. W. Bosch)
- Commission X: Global and Regional Geodetic Networks, Subcommission for Europe (EUREF) (Secretary: H. Hornik)
- Commission X: EUREF-Technical Working Group (H. Hornik)
- Special Commission 1, Subcommission 1: Statistics and Optimization (Dr. H. Kutterer)
- Special Commission 8: Sea Level and Ice Sheets (Dr. H. Drewes)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Governing Board (Dr. H. Drewes, W. Seemüller)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Analysis Working Group (Dr. D. Angermann, Dr. R. Kelm, H. Müller)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Data Formats and Procedures Working Group (Substitute chairman: W. Seemüller)
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS, IAG-Representative: Dr. H. Drewes)
- Special Study Group 4.187: Wavelets in Geodesy and Geodynamics (Dr. M. Schmidt)
- Special Study Group 4.190: Non-probabilistic assessment in geodetic data analysis (Chairman: Dr. H. Kutterer, Korrespondierendes Mitglied: S. Schön)
- Special Study Group 4.191: Theory of Fundamental Height Systems (Dr. H. Drewes)

European Space Agency (ESA)

- Radar Altimeter 2 Science Advisory Group, RA2SAG (Dr. W. Bosch)

Consortium of European Laser Stations EUROLAS

- Mitglied im EUROLAS Board of Representatives (W. Seemüller)
- EUROLAS Secretary (W. Seemüller)

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

- Deutscher Landesausschuß für das Internationale Lithosphärenprogramm (Dr. H. Drewes)

Deutsche Geodätische Kommission (DGK)

- Ständiger Gast (Dr. H. Drewes)
- Arbeitskreise “Rezente Krustenbewegungen”, “Theoretische Geodäsie” (mehrere Mitarbeiter)

Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS)

- Stellvertretender Sprecher (Dr. H. Drewes)
- Mitglied im Vorstand (Dr. W. Bosch)

E7 Teilnahme an Tagungen, Symposien, Konferenzen

- EUREF Technical Working Group Meeting, Padua, Italien, 01.-02.10.2001 (Hornik)
- An Ocean Odyssey - Joint assembly of IAPSO and IABO, Mar del Plata, Argentinien, 22.-26.10.2001 (Bosch)
- Journées Luxembourgeoises de Géodynamique, 89th session, Château de Munsbach, Grand Duchy of Luxembourg, 12.-14.11.2001 (Schmitz-Hübsch)
- Projekttreffen zum DFG-Projekt "Erdrotation", Institut für Meereskunde, Universität Hamburg, Hamburg, 15.-16.11.2001 (Kutterer, Seitz)
- DGK Jahressitzung, München, 28.-30.11.2001 (Drewes, Hornik)
- AGU 2001 Fall Meeting, San Francisco, USA, 10.-14.12.2001 (Angermann)
- ITRF Working Group Meeting, San Francisco, USA, 12.12.2001 (Angermann)
- ILRS Analysis Working Group Meeting, San Francisco, USA, 13.12.2001 (Angermann)
- IAG Project IGGOS, München, 09.01.2002 (Drewes)
- DFG CHAMP Bündelantrag, GeoForschungsZentrum, Potsdam, 21.01.2002 (Bosch)
- First CHAMP Science Meeting, GeoForschungsZentrum, Potsdam, 22.-25.01.2002 (Bosch)
- Second IVS General Meeting, Tsukuba, Japan, 04.-07.02.2002 (Drewes, Kutterer, Tesmer)
- Forschungsgruppe Satellitengeodäsie, Vorstandssitzung, Fundamentalstation Wettzell, 15.02.2002 (Bosch, Drewes)
- Congreso Internacional de Geodesia y Cartografía, Caracas, Venezuela, 18.-21.03.2002 (Acuña, Drewes)
- EUREF TWG Meeting, Bern, Schweiz, 14.-15.03.2002 (Hornik)
- GPS-Auswertungen mit der Berner Software, Kurs, Bern, Schweiz, 18.03.-22.03.2002 (Krügel)
- DFG CHAMP Bündelantrag, Begegnungszentrum der Wissenschaften, München, 27.03.2002 (Bosch)
- IGS-Real-Time-Workshop, Ottawa, Kanada, 08.04.-11.04.02 (Krügel)
- IERS Workshop on the implementation of the IAU 2000 Resolutions, Paris, France, 18.-19.04.2002 (Richter)
- EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 22.-26.04.2002 (Angermann, Bosch, Fabert, Kelm, Schmitz-Hübsch, Seemüller)
- ILRS Network and Engineering Working Group, Nice, France, 23.04.2002 (Seemüller)
- ILRS Prediction Format Study Group, Nice, France, 23.04.2002 (Seemüller)
- ILRS Data Formats and Procedures Working Group, Nice, France, 24.04.2002 (Seemüller)
- ILRS Governing Board Meeting, Nice, France, 24.04.2002 (Drewes, Seemüller)
- IERS Combination Research Center Meeting, Nice, France, 25.04.2002 (Angermann)
- ILRS General Assembly Meeting, Nice, France, 25.04.2002 (Angermann, Drewes, Kelm, Seemüller)
- CSTG Executive Committee Meeting, Nice, France, 25.04.2002 (Bosch, Drewes)
- IAG Executive Committee Meeting, Nice, France, 26.-27.04.2002 (Drewes)
- ILRS Analysis Working Group Workshop, Nice, France, 29.-30.04.2002 (Angermann, Kelm)
- IVS OCCAM User Workshop 2002, TU Vienna, Austria, 29.04.-30.04.2002 (Kutterer, Tesmer)
- IVS OCCAM User Workshop, Vienna, Austria, 29.-30.04.2002 (Tesmer)
- GPS-Antennenworkshop, Hannover, 21.05.2002 (Kaniuth)
- IGGOS Planning Group Meeting, Washington, D.C., USA, 27.05.2002 (Drewes)
- AGU Spring Meeting, Washington, D.C., USA, 28.-29.05.2002 (Drewes)

- EUREF TWG Meeting, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 04.06.2002 (Hornik)
EUREF Symposium, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 05.-08.06.2002 (Hornik, Kaniuth)
Jason-1 SWT meeting, Biarritz, France, 10.-12.06.2002 (Meisel)
IDS Workshop, Biarritz, France, 13.-14.06.2002 (Meisel)
5th Hotine-Marussi-Symposium, Matera, Italy, 17.06.02 (Kutterer)
50 Jahre BKG, Frankfurt, 04.07.2002 (Bosch, Drewes, Hornik)
DGK Arbeitskreis "Theoretische Geodäsie", Inst. für Theoretische Geodäsie, Universität Bonn, 09.07.2002 (Drewes, Bosch)
SCAN2002: 10th GAMM - IMACS International symposium on Scientific Computing, computer arithmetic, and validated numerics, Paris, France, 24.-27.09.2002 (Schön)
International Workshop on Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography, Wuhan, China, 08.-13.09.2002 (Bosch)

E8 Gäste

- 05.11.-17.12.2001: A. Daal und F. Balcazar, Instituto Geográfico de Venezuela Simon Bolivar (Auswertung des Venezolanischen Referenzrahmens REGVEN)
04.03.2002: J. Campbell, A. Nothnagel, D. Fischer, C. Steinforth, VLBI Gruppe, Univ. Bonn.
30.04.2002: D. Blitzkow, Univ. Sao Paulo, Brasilien
01.05.-31.10.2002: O. Akyilmaz, TU Istanbul, Türkei.
13.09.2002: D. Neubert, Quito, Ecuador
18.-19.09.2002: J.L. Hormaechea, Univ. La Plata, Argentinien

Seit August 2002 hält sich Ing. Laura Sánchez, Bogotá, Kolumbien, als Promotionsstipendiatin (DAAD) am DGFI auf.

F: Personelles

F1 Personalbestand

Im Berichtszeitraum 2001/2002 waren am DGFI (einschl. DGK-Geschäftsstelle) beschäftigt:

- aus der Grundausrüstung

- 13 wissenschaftliche Angestellte
- 11 technische und Verwaltungsangestellte
- 2 Arbeiter
- 12 studentische Hilfskräfte mit durchschnittlich 215 Std./Jahr
- 2 Praktikanten
- 1 geringfügig Beschäftigte

- aus Drittmitteln

- 4 wissenschaftliche Angestellte

Seit Februar 2000 hält sich Prof. Gustavo Acuña, Maracaibo, Venezuela, als Promotionsstipendiat (Venezuela) am DGFI auf.

F2 Lehraufträge

Folgende Lehraufträge wurden von Mitarbeitern des DGFI wahrgenommen:

Hon.-Prof. Dr. H. Drewes: "Geodätische Geodynamik", TU München

Dr. B. Richter: "Kinematik und Dynamik geodätischer Bezugssysteme", Univ. Stuttgart

F3 Habilitationen und Promotionen

21.11.2001: Dr.-Ing. H. Kutterer: Habilitation für das Fach "Geodäsie". Titel der Habilitationsschrift: "Zum Umgang mit Ungewißheit in der Geodäsie - Bausteine für eine neue Fehlertheorie". Habilitation an der Universität Karlsruhe (TH) mit Verleihung der Lehrbefugnis.

08.03.2002: Dipl.-Ing. R. Dill: Promotion zum Dr. rer. nat. an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, TU München.