



## JAHRESBERICHT 1997/98

### Inhalt

2	Das Institut, das Programm
3	<b>Orientierung und Rotation der Erde</b>
3	Verfeinerung der Theorie der Erdrotation
7	Verbesserung von Beobachtungs- und Analyseverfahren
15	<b>Grundlagen globaler terrestrischer Referenzsysteme</b>
15	Zusammenhänge der Bezugssysteme für Stationen und Schwerefeld
16	Methoden zur Kombination verschiedener Raumverfahren
20	<b>Grundlagen regionaler Referenzsysteme</b>
20	GPS Modellbildung
24	Analyse regionaler Netze
30	<b>Darstellungsformen von Meerestopographie und Schwerefeld</b>
30	Mehrdimensionale Wavelets
33	Modellierung von Meerestopographie und Schwerefeld
39	<b>Wissenschaftlicher Transfer</b>
39	Daten- und Informationssysteme
42	Beobachtungsstationen und Meßeinrichtungen
43	<b>Verschiedenes</b>
43	Veröffentlichungen
45	Vorträge, Poster
47	Tagungen, Konferenzen, Symposien
49	Gäste
49	Personelles
50	Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien

## Das Institut

Das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) ist eine selbständige und unabhängige Forschungseinrichtung. Es wird von der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München betrieben. Die Arbeiten des DGFI dienen der Forschung im Vermessungswesen mit dem Schwerpunkt im Bereich der Physikalischen Geodäsie. Das Institut erfüllt damit auch Verpflichtungen, die die Bundesrepublik Deutschland gegenüber der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) in der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) übernommen hat.

## Das Programm

Das derzeit gültige Arbeitsprogramm 1997/98 mit dem generellen Thema "Grundlagen geodätischer Referenzsysteme" wurde vom wissenschaftlichen Beirat der DGK beraten und von der DGK-Vollversammlung am 28.11.96 genehmigt. Es gliedert sich in vier langfristig zu bearbeitende Programmpunkte mit insgesamt acht Einzelprojekten sowie dem wissenschaftlichen Transfer durch Daten-, Informations- und Beobachtungseinrichtungen:

### **1. Theorie und Methodik der Bestimmung von Orientierung und Rotation der Erde**

- 1.1 Verfeinerung der Theorie der Erdrotation
- 1.2 Verbesserung von Beobachtungs- und Analyseverfahren

### **2. Grundlagen globaler terrestrischer Referenzsysteme**

- 2.1 Zusammenhänge der Bezugssysteme für Stationskoordinaten und Schwerefeld
- 2.2 Methoden zur Kombination verschiedener Raumverfahren

### **3. Grundlagen regionaler Referenzsysteme**

- 3.1 GPS Modellbildung
- 3.2 Analyse regionaler Netze

### **4. Darstellungsformen von Meerestopographie und Schwerefeld**

- 4.1 Mehrdimensionale Wavelets
- 4.2 Modellierung von Meerestopographie und Schwerefeld

### **5. Wissenschaftlicher Transfer**

- 5.1 Daten- und Informationssysteme
- 5.2 Beobachtungsstationen und Meßeinrichtungen

Die Projekte mit Bezug zur Satellitengeodäsie werden im Rahmen der "Forschungsgruppe Satellitengeodäsie" durchgeführt, mehrere Projekte sind in nationale und internationale Programme eingebunden.

# 1. Theorie und Methodik der Bestimmung von Orientierung und Rotation der Erde

*Das Ziel der Arbeiten ist, die Orientierung der Erde als Funktion der Zeit möglichst präzise zu beschreiben. Dazu dienen einerseits theoretische Untersuchungen, auf welche Weise andere Himmelskörper, der wechselnde Zustand der Atmosphäre und der Ozeane sowie verschiedene geophysikalische Effekte die Rotation der Erde beeinflussen. Andererseits geben räumliche Beobachtungen mit modernen geodätischen Weltraumverfahren und die numerische Auswertung der daraus gewonnenen Zeitreihen der Orientierungsparameter empirische Informationen über das Rotationsverhalten. Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Verbesserung des VLBI-Verfahrens und in der Analyse der mit VLBI beobachteten Nutationsreihen.*

## Projekt 1.1 Verfeinerung der Theorie der Erdrotation

Die Bestimmung der Erdrotationsparameter durch geodätische Raumverfahren hat heute eine Genauigkeit von besser als  $0'',0002$  erreicht. Eine genaue Kenntnis kleiner Sekundäreffekte ist notwendig, um die Modelle der Erdrotation weiter zu verfeinern. Selbst kleinste Erdrotationsschwankungen müssen bei der Auswertung von Meßdaten und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

### Sekundäreffekte bei der Modellierung der Erdrotation

Die zu untersuchenden Sekundäreffekte können in direkte und indirekte Effekte unterteilt werden. Die Verlagerungen von Luft- oder Wassermassen wirken sich direkt auf den Trägheitstensor der Erde aus. Jede Massenverlagerung kann aufgrund der resultierenden Deformation der Erde auch indirekt den Trägheitstensor verändern. Grundlage für die Beschreibung von Rotationsschwankungen aufgrund von Änderungen des Trägheitstensors sind die Euler-Liouville'schen Bewegungsgleichungen (ELG). Bei den Sekundäreffekten handelt es sich um relativ geringe Massenverlagerungen, wie sie zum Beispiel durch Schnee- und Eisbedeckungen oder Schwankungen des Grundwasserspiegels verursacht werden. Es stellt sich daher die Frage, ob die übliche linearisierte Form der ELG für die Beschreibung von kleinen Effekten ausreichend ist. Eine Untersuchung der einzelnen Terme der Differentialgleichungen ergibt, daß die Terme höherer Ordnung, auch wenn Sekundäreffekte untersucht werden, nicht berücksichtigt werden müssen und die Lösung der linearisierten Form der ELG ausreichend genau ist. Diese Lösung beschreibt die Erde als einen physikalischen Filter mit einer charakteristischen Übertragungsfunktion, die sich gegebenenfalls einfach erweitern läßt, um die Dämpfung oder Resonanz mit einzubringen. Zweiter wesentlicher Bestandteil der Lösung ist die Anregungsfunktion, die die physikalische Wirkung einer bestimmten Massenverlagerung beschreibt.

### Simulationen der Auswirkung von Massenverlagerungen auf die Erdrotation

Um den direkten Effekt zu bestimmen, genügt eine Betrachtung des veränderten Trägheitstensors der Erde. Aus der geometrischen Verteilung der verlagerten Massen läßt sich die Änderung der Trägheitstensoranteile über ein Volumenintegral berechnen. Besonderes Augenmerk muß dabei auf die in den Integralen enthaltenen trigonometrischen Funktionen gelegt werden.

Zum Beispiel wirken gleichzeitige zusätzliche Auflasten in Asien und Nordamerika bezüglich der Polbewegung fast entgegengesetzt, heben sich also größtenteils auf. Bezüglich des Betrages der Rotationsgeschwindigkeit addiert sich ihre Wirkung jedoch. Berücksichtigt man im Falle von Schneeauflasten die Massenerhaltung innerhalb des hydrologischen Kreislaufs und nimmt an, daß der im Winter auf der nördlichen Hemisphäre gefallene Schnee entsprechend viel Wasser aus den Weltmeeren bindet, so ergibt sich wegen der damit einhergehenden Senkung des Meeresspiegels ein weiterer direkter Effekt. Dieser vergrößert die Wirkung des Schnees, da sich durch die unregelmäßige Verteilung von Land- und Wassermassendie Meeresspiegelsenkung verstärkt auf der Südhalbkugel auswirkt.

### Deformation der Erde

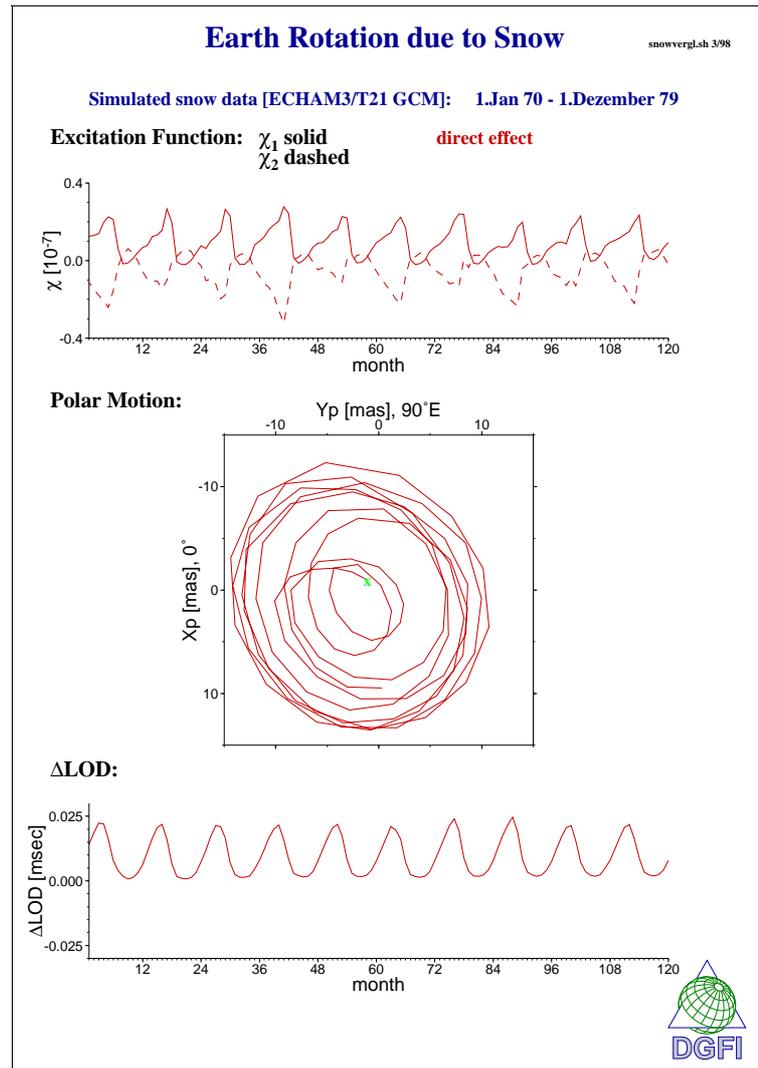
Ein weiterer Schwerpunkt liegt nun bei der Beschreibung und Berechnung des indirekten Effektes, der durch Deformationen der Erde aufgrund von Massenauflasten zustandekommt. Er wird bisher mit der global definierten Loveschen Auflastzahl zweiten Grades beschrieben. Diesem Ansatz liegt ein einfaches rotationssymmetrisches und elastisches Erdmodell zugrunde. Gerade bei kleinen, auf einen bestimmten Raum beschränkten Massenverlagerungen können aber regionale Eigenschaften der Erdkruste und des Erdmantels großen Einfluß auf die Deformationen haben. Der genannte globale Ansatz erscheint daher unzureichend. Um den indirekten Effekt genauer zu erfassen, bietet sich zunächst die Verwendung Greenscher Funktionen zur lokalen Berechnung von Deformationsfeldern an. Da die Greenschen Funktionen aber meist nur für globale Erdmodelle tabellarisch vorliegen, ist es nötig, das Verfahren der Greenschen Funktionen zu erweitern, um die elastischen Parameter detaillierter Lithosphärenmodelle aufzunehmen. In einem ersten Schritt wird zunächst nur die Plattenstruktur mit ihren Plattenrändern in die Berechnung einbezogen.

Ein neu entwickeltes Softwareprogramm dient sowohl zur Simulation als auch zur Bearbeitung realer Daten von Massenverlagerungen. Als Eingangsdaten werden für eine bestimmte Massenverlagerung die Geometrie und die Dichteänderung benötigt.

### Auswirkung der Schneebedeckung auf die Erdrotation

Als erstes soll der globale Einfluß der jahreszeitlich variablen Schneebedeckung betrachtet werden. Hierfür werden ausgehend vom klimatologischen Modell ECHAM3/T21 GCM realistische Schneehöhen berechnet. Aus den täglichen Werten von 1970 bis 1979 werden sodann monatliche Mittel der globalen Schneehöhen gebildet und in Deformationen aufgrund der Massenauflast umgerechnet. Über den Trägheitstensor ergeben sich daraus die Anregungsfunktionen  $(\chi_1, \chi_2, \chi_3)$  für den direkten und den indirekten Effekt (siehe Abb.1.1.1, oben). Der Einfluß auf die Rotation der Erde zeigt sich in der Polbewegung mit Amplituden bis zu  $0",015$  und in einer Verlangsamung der Erdrotation um bis zu  $0,021 \cdot 10^{-12} \text{ rad s}^{-1}$ , was einer Vergrößerung der Tageslänge um bis zu  $25 \mu\text{s}$  entspricht (Abb. 1.1.1).

Abb. 1.1.1: Direkter Effekt einer realistischen Schneebedeckung auf die Erdrotation

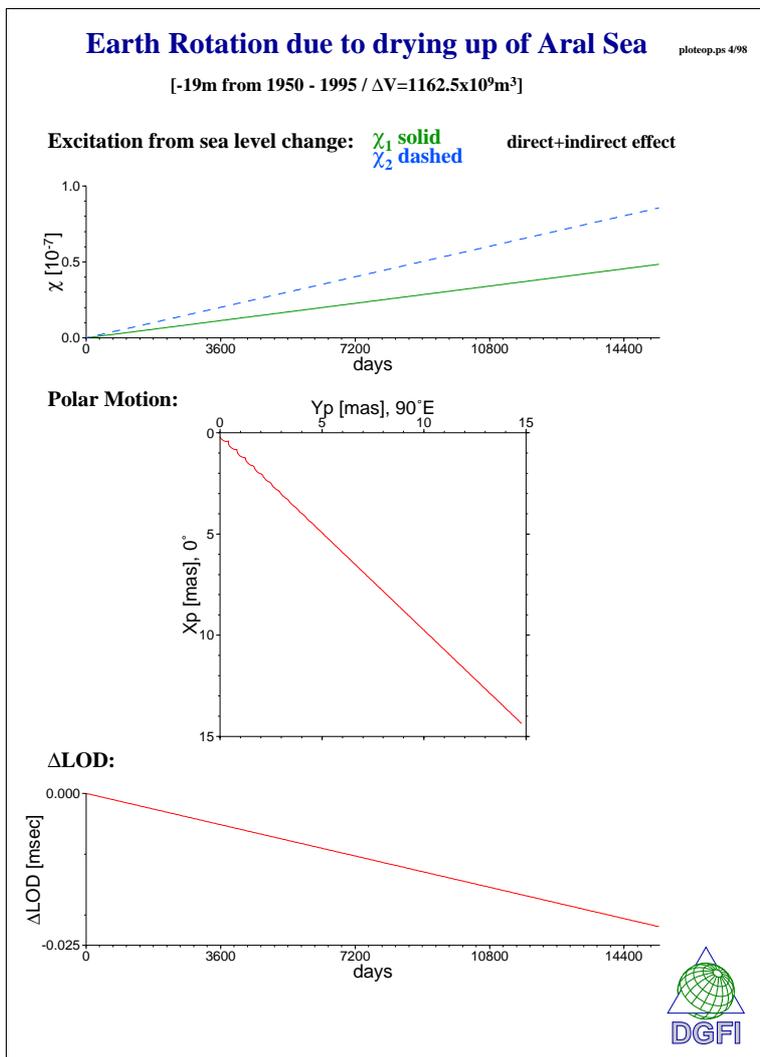


Diese Abschätzung berücksichtigt noch keine Massenbilanz innerhalb des hydrologischen Kreislaufs. Eine globale Meeresspiegelsenkung entsprechend der für den Schnee benötigten Wassermassen würde die Polbewegung um 20% vergrößern, die Änderung des Betrages der Rotationsgeschwindigkeit jedoch fast aufheben. Zusätzlich müßte man dann noch die Auswirkungen der Meeresspiegelsenkung auf die Deformation berücksichtigen. Grundwasserschwankungen und zeitliche Verschiebungen der Effekte zueinander wären auch noch in das Modell aufzunehmen. Dieses Beispiel zeigt, wie mit einer Massenverlagerung mehrere verschiedene direkte und indirekte Effekte verknüpft sein können und wie aufwendig es selbst bei stark vereinfachten Annahmen werden kann, alle diese Sekundäreffekte genau zu modellieren. Das schrittweise Vorgehen, bzw. die Aufteilung in Einzeleffekte ist sinnvoll und notwendig, um sie analytisch korrekt zu beschreiben und einen Eindruck von ihren Größenordnungen zu erhalten.

**Wasserspiegelschwankungen von Seen**

Einfacher zu modellieren sind dagegen kleine, regional begrenzte Massenveränderungen, wie sie bei Wasserspiegelschwankungen von Seen auftreten. Hier kann die Massenbilanz meist vernachlässigt werden. Erste Abschätzungen werden nun für den Aralsee in Zentralasien vorgestellt. Der stetig verminderte Zufluß des Aralsees führte in den letzten 45 Jahren zu einer Pegelsenkung von 19 m und einer Verringerung des Wasservolumens um mehr als 1100 km<sup>3</sup> auf nur noch 25%. Aus der regionalen Entlastung ergibt sich theoretisch eine Hebung bis zu 5 cm. Auf die Rotation der Erde wirken sich der direkte und der indirekte Effekt mit einer linearen Polbewegung von insgesamt 0",015 in Richtung des Meridians 45° östlicher Länge aus (Abb. 1.1.2).

Abb. 1.1.2: Direkter Effekt des Austrocknens des Aralsees auf die Erdrotation



Die Arbeiten zur Abschätzung des Einflusses der Sekundäreffekte auf die Erdrotation werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

## Projekt 1.2

### Verbesserung von Beobachtungs- und Analyseverfahren

#### 1.2.1 Untersuchung und Anwendung der Wavelet-Analyse

##### Untersuchung von Einzeleffekten

Die Wavelet-Analyse ist ein geeignetes Verfahren zur Feststellung zeitlokaler Eigenschaften von Beobachtungsreihen. Wählt man als Wavelet-Funktion die erweiterte Morlet-Funktion, auf die schon in den letzten Jahresberichten eingegangen wurde, bedeutet die Wavelet-Transformation  $X(b,a)$  die Analyse des beobachteten Signals in dem Zeitfrequenzfenster

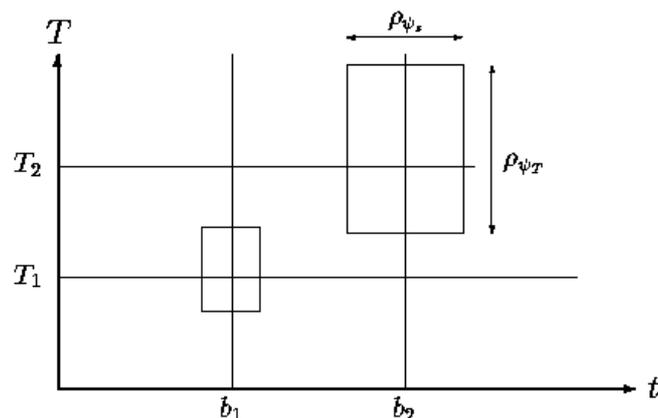
$$\left[ b - \frac{a\sigma}{\sqrt{2}}, b + \frac{a\sigma}{\sqrt{2}} \right] \times \left[ \frac{2\pi}{a} - \frac{1}{\sqrt{2}a\sigma}, \frac{2\pi}{a} + \frac{1}{\sqrt{2}a\sigma} \right]$$

mit den Mittelpunktskordinaten  $(b, 2\pi/a)$ . Die Fensterweite  $\rho_{\psi_s} = \sqrt{2}a\sigma$  längs der Zeitachse ist proportional zu dem variablen Skalierungsparameter  $a$  und zu dem konstanten Formparameter  $\sigma$ , während die Fensterhöhe

$$\rho_{\psi_\omega} = \frac{\sqrt{2}}{a\sigma}$$

parallel der Kreisfrequenzachse umgekehrt proportional zu den genannten Größen ist. Die Fensterfläche ist daher unabhängig von  $a$  und  $\sigma$  sowie dem variablen Verschiebungsparameter  $b$ . Vielfach wird die Kreisfrequenz  $\omega$  bei der Darstellung des Phasenraums durch die Periode  $T = 2\pi/\omega$  ersetzt. In diesem Fall liegt also anstelle eines Zeitfrequenzfensters ein Zeitperiodenfenster vor, das in Abbildung 1.2.1 dargestellt ist. Ebenso wie die Fensterweite  $\rho_{\psi_s}$  ist die Periodenfensterhöhe  $\rho_{\psi_T}$  proportional zum Skalierungsfaktor  $a$  und zum Formparameter  $\sigma$ .

Abb. 1.2.1: Zeitperiodenfenster der Morlet-Funktion



Die Fläche des Zeitperiodenfensters nimmt demnach quadratisch mit  $a$  und  $\sigma$  zu. Dieser Effekt ist bei der Interpretation des Wavelet-Spektrums  $W_x(b, a) = |X(b, a)|^2$  zu beachten.

Wird als zu analysierende Funktion eine harmonische Schwingung mit der Amplitude  $C$  angenommen, läßt sich der Zusammenhang

$$C \approx \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \sqrt{\frac{W_x(b, a_0)}{|a_0|}}$$

herleiten. Diese Näherungsformel ermöglicht die Umrechnung der Werte des Wavelet-Spektrums in leichter interpretierbare Amplitudenwerte. Verbindet man im Wavelet-Spektrum die Punkte maximaler Energiedichte, also  $\max W_x(b, a) = W_x(b, \hat{a})$  in Abhängigkeit vom Verschiebungsparameter  $b$ , entsteht die sogenannte Ridge-Funktion  $\hat{a}(b)$ . Berechnet man diese Kurve für eine komplexe Schwingung mit vorgegebener Periode  $T_0$ , resultiert eine Abweichung

$$\Delta a = \frac{1}{4\pi\sigma} (\sqrt{4\pi^2\sigma^2+2} - \sqrt{4\pi^2\sigma^2}) T_0,$$

also z.B.  $\Delta a = 0.0125T_0$  für  $\sigma = 1$ , zwischen dem Sollwert und dem Istwert für den Skalierungsparameter  $a$ . Wählt man hingegen die Morlet-Funktion selbst als zu analysierendes Signal, tritt eine Verschiebung nicht auf. Dieser Effekt bedarf daher weiterer Untersuchungen.

### Nutation der Erde

Die Erdachse bewegt sich relativ zum raumfesten System auf Grund der Einflüsse von Sonne, Mond und Planeten entsprechend der langperiodischen Präzession mit einer Umlaufperiode von ungefähr 25800 Jahren und der kurzperiodischen Nutation mit Perioden zwischen wenigen Tagen und 18,6 Jahren. Die lunisolare Nutation läßt sich durch harmonische Reihenentwicklungen in Abhängigkeit von der Zeit darstellen, wobei sich die Argumente der einzelnen harmonischen Terme als Kombinationen von fünf astronomischen Grundargumenten berechnen lassen. Das nach wie vor von der Internationalen Astronomischen Union (IAU) empfohlene Nutationsmodell von *Wahr* enthält 106 Terme, jeweils für die *Nutation in Schiefe*  $\Delta\epsilon(t)$  und die *Nutation in Länge*  $\Delta\psi(t)$ . Neue theoretische Nutationsmodelle berücksichtigen dagegen mehrere Tausend Terme. In diese Modelle wurden neben den "in-phase"-Termen auch sogenannte "out-of-phase"-Terme aufgenommen, d.h. die jeweiligen Sinus-Glieder der harmonischen Reihenentwicklungen wurden um Kosinus-Glieder ergänzt und umgekehrt. Inzwischen ist die Genauigkeit der Modelle soweit vorangetrieben, daß sogar die Einflüsse einiger Planeten berücksichtigt werden (Planetare Nutation).

### Beobachtung der Nutation und VLBI

Die *Radiointerferometrie auf langen Basislinien (Very Long Baseline Interferometry, VLBI)* ist auf Grund der Anbindung an das quasi-inertiale Referenzsystem der extragalaktischen Radioquellen das einzige der modernen geodätischen Weltraumverfahren, mit dem sich die Nutationsgrößen  $\Delta\epsilon(t)$  und  $\Delta\psi(t)$  direkt und weitgehend hypothesenfrei messen lassen. Die vorliegenden hochgenauen VLBI-Ergebnisse haben gezeigt, daß das von der IAU 1980 empfohlene Nutationsmodell verbesserungsbedürftig ist; aber auch zu den oben genannten neuen, verfeinerten Nutationsmodellen bestehen noch signifikante Differenzen. Parallel zu den neuen

Nutationsmodellen gibt es deswegen ein sogenanntes empirisches Modell (IERS Conventions 1996), das ausschließlich auf VLBI-Ergebnissen aufbaut und die Realität am besten wiedergibt. Außerdem gestatten die VLBI-Ergebnisse interessante Rückschlüsse auf die nicht durch die Wirkung von Sonne und Mond verursachte *Freie Nutation auf Grund des Erdkerns (Free Core Nutation, FCN)*. Aus deren Parametern (Periode, Amplitude und ggf. deren Variationen) lassen sich Erkenntnisse über den Aufbau der Erde und über Anregungs- und Resonanzmechanismen gewinnen. Nach Wahr beträgt die Periode der FCN ungefähr 460 Tage. Empirisch wurde aus gravimetrischen Beobachtungen jedoch eine Periode zwischen 430 und 433 Tagen ermittelt. Außerdem zeigen neue Untersuchungen eine deutliche Abschwächung der der FCN zugeordneten Energie ungefähr seit 1990. Die Nutation in Schiefe  $\Delta \epsilon(t)$  und die Nutation in Länge  $\Delta \psi(t)$  werden seit 1984 mit VLBI im Abstand von fünf bzw. sieben Tagen beobachtet. In der VLBI-Auswertung können aus den gemessenen Laufzeitdifferenzen neben anderen geodätisch relevanten Parametern auch die Nutationsgrößen geschätzt werden.

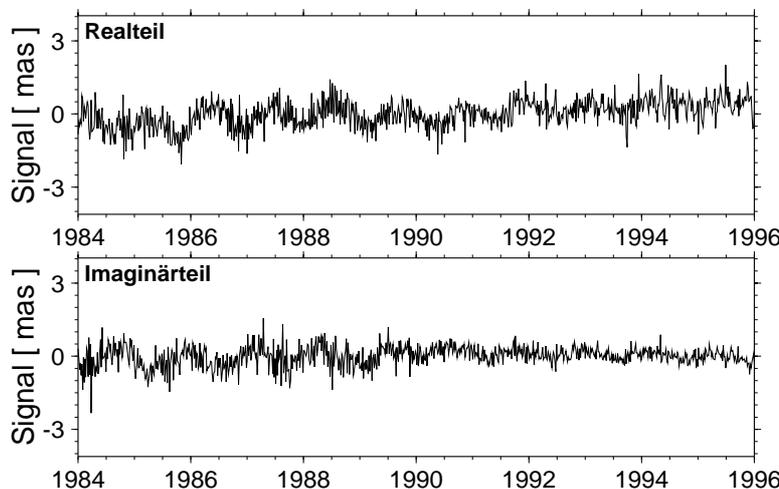
**Wavelet-Analyse der Nutationsreihen**

Angewendet wird die Wavelet-Analyse auf die komplexe Zeitreihe

$$x(t) = d\epsilon(t) - j d\psi(t) \sin \epsilon_0,$$

die aus den um die bekannten astronomischen Terme reduzierten VLBI-Ergebnissen gebildet wird. In Abbildung 1.2.2 werden Real- und Imaginärteil von  $x(t)$  für die Jahre 1984 bis 1996 gezeigt.

Abb. 1.2.2: Realteil  $d\epsilon(t)$  und Imaginärteil  $d\psi(t) \sin \epsilon_0$  von  $x(t)$



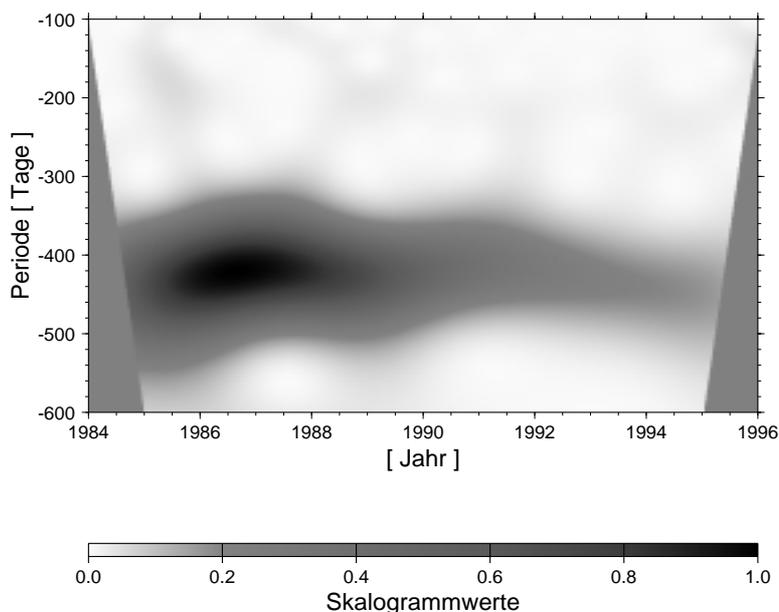
Es bietet sich an, die oben angesprochene und auch beim Betrachten der Meßreihen augenfällige Abschwächung der Amplituden seit 1990 mit der Wavelet-Analyse zu untersuchen. Dabei wird die inverse Wavelet-Transformation benutzt

$$x(t) = C_\psi \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty X(b, a) \psi_{a,b}(t) db \frac{da}{a^2} + C_\psi \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty X(b, -a) \psi_{-a,b}(t) db \frac{da}{a^2},$$

worin das erste Doppelintegral den prograden und das zweite den retrograden Signalanteil repräsentiert.  $C_\psi$  bedeutet eine Konstante.

Abbildung 1.2.3 veranschaulicht das normierte Wavelet-Spektrum mit der Morlet-Funktion als Wavelet-Funktion für den retrograden Bereich mit Perioden  $|T|$  zwischen 100 und 600 Tagen, wobei  $\sigma = 1$  gewählt wurde. Links und rechts wurde jeweils ein Randbereich ausgeblendet, da dort das Zeitperiodenfenster aus dem Beobachtungszeitraum hinausragt. Deutlich erkennt man die Freie Nutation auf Grund des Erdkerns mit einer Periode um 430 Tage. Die Energiedichte nimmt dabei seit 1990 merklich ab.

Abb.1.2.3: Retrogrades Wavelet-Spektrum von  $x(t)$



Im Periodenbereich zwischen 100 und 300 Tagen zeigen sich geringfügig höhere Energiedichten im Halbjahresbereich, und zwar insbesondere in den Zeiträumen 1985-1986 und 1988-1990. Dies läßt auf unregelmäßig auftretende atmosphärische und/oder ozeanische Ursachen schließen.

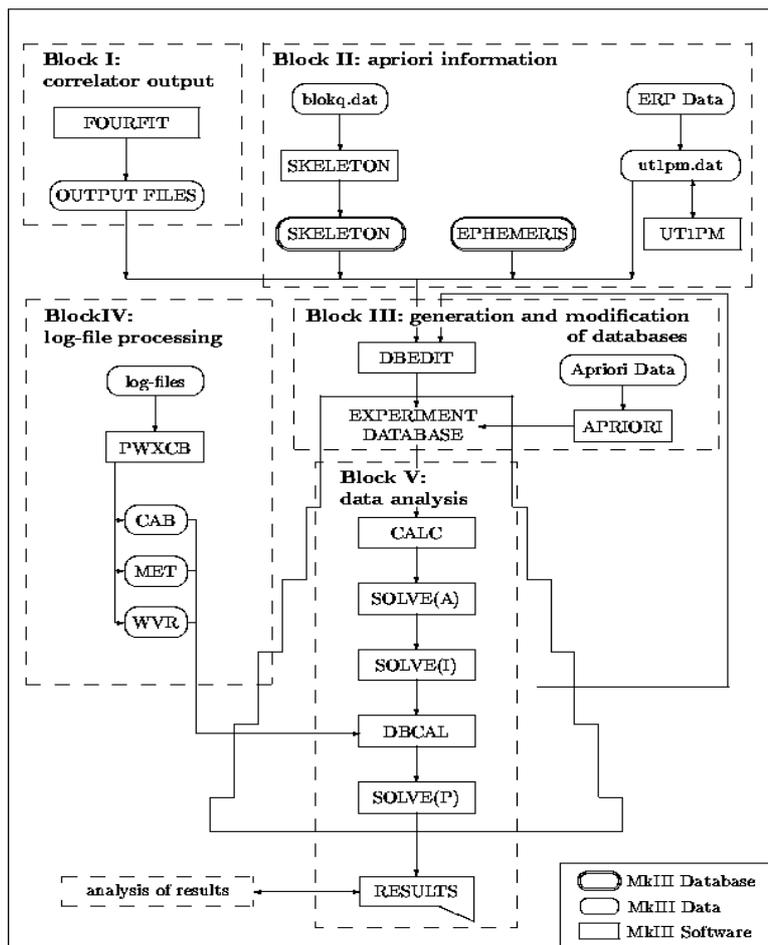
### 1.2.2 Verbesserung des VLBI-Verfahrens

In den letzten 20 Jahren hat sich die Genauigkeit der VLBI-Ergebnisse aufgrund von Verbesserungen der VLBI-Technologie und der für die Auswertung verwendeten Modelle erheblich gesteigert. Allerdings verursacht die Auswertung der VLBI-Beobachtungen nach wie vor einen beträchtlichen Aufwand an Zeit und Kosten, da die Auswerteprogramme einen sehr niedrigen Automatisierungsgrad aufweisen und somit weitgehend eine manuelle Bearbeitung der Daten erforderlich ist. Weiterhin macht die in den kommenden Jahren zu erwartende starke Zunahme von VLBI-Experimenten die Notwendigkeit eines schnelleren und (halb-)automatischen Auswertvorganges deutlich. Durch den Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere von wissensbasierten Methoden, kann die Auswertung so weit automatisiert werden, daß sie den Anforderungen an eine VLBI in genäherter Echtzeit gerecht wird.

**Analyse der VLBI-Auswertung**

Zu Beginn der Arbeiten erfolgte eine eingehende Analyse der verschiedenen Schritte der VLBI-Auswertung. Diese wurde anhand des weltweit verbreitetsten VLBI-Softwarepakets, des *Mark III Data Analysis System*, durchgeführt, da die neue Software Bestandteil dieses Systems werden soll. Allerdings gibt es kaum aktuelle Literatur zum *Mark III Data Analysis System*; gleichzeitig ist aber sehr viel Fachwissen für einen korrekten Umgang mit der Software erforderlich. Daher erfolgte zunächst eine Einführung in die am Geodätischen Institut der Universität Bonn installierte VLBI-Software. Das hierbei erlangte Wissen konnte durch wiederholte selbständige Auswertungen von VLBI-Experimenten gefestigt und erweitert werden. Hierzu kann sich der Auswerter von München aus in Bonn auf dem Rechner, auf dem die Auswertesoftware installiert ist, anmelden und Auswertungen durchführen. Alle Softwarearbeiten können somit direkt auf dem Rechner in Bonn erfolgen, so daß keine Portierung der zu erstellenden Software erforderlich ist. In der Anfangsphase wurde die Notwendigkeit eines Lehrsystems oder zumindest einer umfassenden Beschreibung des Softwarepakets und des zur Auswertung notwendigen Wissens sehr deutlich.

Abb. 1.2.4: Das Mark III Data Analysis System für die geodätische VLBI



Daher wurde das erworbene Wissen in einem internen Bericht zusammengestellt, der unerfahrenen Auswertern den Einstieg in

den Umgang mit der Auswertesoftware weitgehend unabhängig vom Experten erlaubt. Diese Vorgehensweise liegt nicht zuletzt auch darin begründet, daß das für die Auswertung notwendige Wissen beim späteren Aufbau des Wissensbasierten Systems (WBS) ohnehin formalisiert werden muß, damit es mit geeigneten Methoden im wissensbasierten Programm dargegestellt werden kann.

Einen Überblick zum Ablauf der Auswertung mit dem *Mark III Data Analysis System* gibt Abb. 1.2.4. Es ist zu beachten, daß das aus einer Vielzahl von Programmen bestehende Softwarepaket laufend von verschiedenen VLBI-Gruppen in internationaler Kooperation unter Federführung des Goddard Space Flight Center der NASA weiterentwickelt wird, so daß der jeweils aktuelle Stand nur schwer wiedergegeben werden kann. Der Ablauf der Auswertung wurde zur Vereinfachung der nachfolgenden Untersuchungen in fünf Blöcke aufgeteilt, wobei die den einzelnen Blöcken zugeordneten Programme jeweils eine übergeordnete Aufgabe erfüllen.

**Wissensbasiertes System (WBS)**

Anhand der in Abb. 1.2.4 dargestellten Blöcke bei der VLBI-Auswertung wurde untersucht, inwieweit sich die einzelnen Aufgaben bei der Auswertung mit Hilfe eines WBS automatisieren lassen. Andere Verfahren der KI wie z.B. Neuronale Netze oder Fuzzy-Logik wurden bisher nicht berücksichtigt, da sich ein WBS aufgrund der Möglichkeit, die verschiedensten Aufgaben wie z.B. Diagnose, Analyse, Lehre oder Klassifikation zu übernehmen, hervorragend für die Automatisierung weiter Teile der Auswertung eignet. Zudem hat ein WBS im Vergleich zur manuellen Auswertung eine geringere Fehleranfälligkeit, der Experte kann durch die Verwendung des WBS als Lehrsystem zusätzlich entlastet werden, und mit Hilfe der Erklärungskomponente kann der Auswerter alle Entscheidungen des Systems nachvollziehen. Die Anforderungen an ein WBS unterscheiden sich in den einzelnen Blöcken stark, so daß die Einsatzmöglichkeiten getrennt nach Blöcken und Aufgabenklassen untersucht wurden. Die Ergebnisse sind in vereinfachter Form in der Abb. 1.2.5 dargestellt.

Abb.1.2.5: Möglichkeiten für die Anwendung eines WBS in der VLBI-Auswertung

WBS für	Datenkontrolle und -verifikation	Lehre	Diagnose	Entscheidungsunterstützung	Analyse von Ergebnissen
Block I	■	■	■	■	■
Block II	■	■	■	■	■
Block III	■	■	■	■	■
Block IV	■	■	■	■	■
Block V	■	■	■	■	■

Ein WBS kann in allen Bereichen der Auswertung als Lehrsystem und für die bisher manuell erfolgte Bearbeitung der Daten (Datenkontrolle und -verifikation) verwendet werden, wodurch vor allem Routineaufgaben übernommen werden können. Der wesentliche Vorteil liegt allerdings in der Unterstützung von Entscheidungsfindung, Diagnose und Analyse der (Zwischen-)Ergebnisse in Block V.

**Automatische  
Bearbeitung der log-Files**

Obwohl sich ein WBS somit prinzipiell für die gesamte VLBI-Auswertung anwenden läßt, ist es nicht immer notwendig, auf die typischen wissensbasierten Methoden zurückzugreifen; Expertensysteme müssen sich nicht zwangsläufig wissensbasierter Techniken bedienen. Weniger komplexe Aufgaben lassen sich auch durch konventionell programmierte zusätzliche Algorithmen oder durch Querkontrollen innerhalb der bestehenden Software automatisieren. Ein Beispiel hierfür ist die Beschleunigung der in Block IV des Auswerteablaufes zusammengefaßten Aufgaben durch die Modifikation der bestehenden Programme. Dazu wurde das Programm PWXCB, das meteorologische Daten und Kabelkalibrierungsdaten aus den log-Files der Stationen herausliest, durch ein neues Programm (XPWXCB) ersetzt. Während der Auswerter in PWXCB die Daten in zeitaufwendiger Arbeit auf ihre Plausibilität überprüfen und eventuelle Fehler manuell korrigieren muß, führt das neue Programm diese Aufgaben (halb-)automatisch durch. Da es in diesem Teil der Auswertung lediglich um die Verarbeitung von Daten aus den log-Files geht und das Wissen zur Bewältigung dieser Aufgabe relativ einfach ist, konnte allein mit konventionellen Methoden eine weitgehende Automatisierung erfolgen. Zudem steht diese Aufgabe abseits des sonstigen Auswerteablaufes, so daß die Bearbeitung der log-Files theoretisch zu jedem Zeitpunkt der Auswertung und somit unabhängig vom eigentlichen Auswerteablauf erfolgen kann. Schließlich konnten durch diese Vorgehensweise Erfahrungen zur Struktur der bestehenden Programme, insbesondere zum Datenaustausch und zur Speicherung der Daten, gesammelt werden. Dies war gerade im Hinblick auf die zu entwickelnde Schnittstelle, die den Datenaustausch zwischen den bestehenden Programmen und dem WBS koordinieren soll, ein wesentliches Argument für den eingeschlagenen Weg.

**Vergleiche der automatischen und  
der manuellen Bearbeitung**

Die aktuelle Version von XPWXCB gewährleistet einen (halb-)automatischen Ablauf, da der Auswerter nur noch in besonders komplexen Fällen in die Verarbeitung der Daten eingreifen muß. Das Programm wurde auf seine Zuverlässigkeit anhand von über zweihundert log-Files getestet. Dazu wurden die Ergebnisse mit denen einer manuellen Bearbeitung durch PWXCB verglichen. Die Ergebnisse, die mit XPWXCB erreicht werden, stimmen in gut 95% aller Fälle mit denen von PWXCB überein. Auch fehlerhafte Daten wurden korrekt bearbeitet. Beispiele hierfür zeigt Abb. 1.2.6. Lediglich in weniger als fünf Prozent aller Fälle ergaben sich Situationen, die so komplex waren, daß der Auswerter doch noch eingreifen mußte. Es muß jedoch festgehalten werden, daß sich die Umsetzung des für diese Aufgabe notwendigen, relativ einfach strukturierten Wissens mit konventionellen prozeduralen Programmiermethoden als sehr schwierig herausgestellt hat. Dies zeigte nochmals die Notwendigkeit des inzwischen begonnenen Einsatzes wissensbasierter Methoden, die ja explizit auf die Verarbeitung von Wissen ausgerichtet sind.

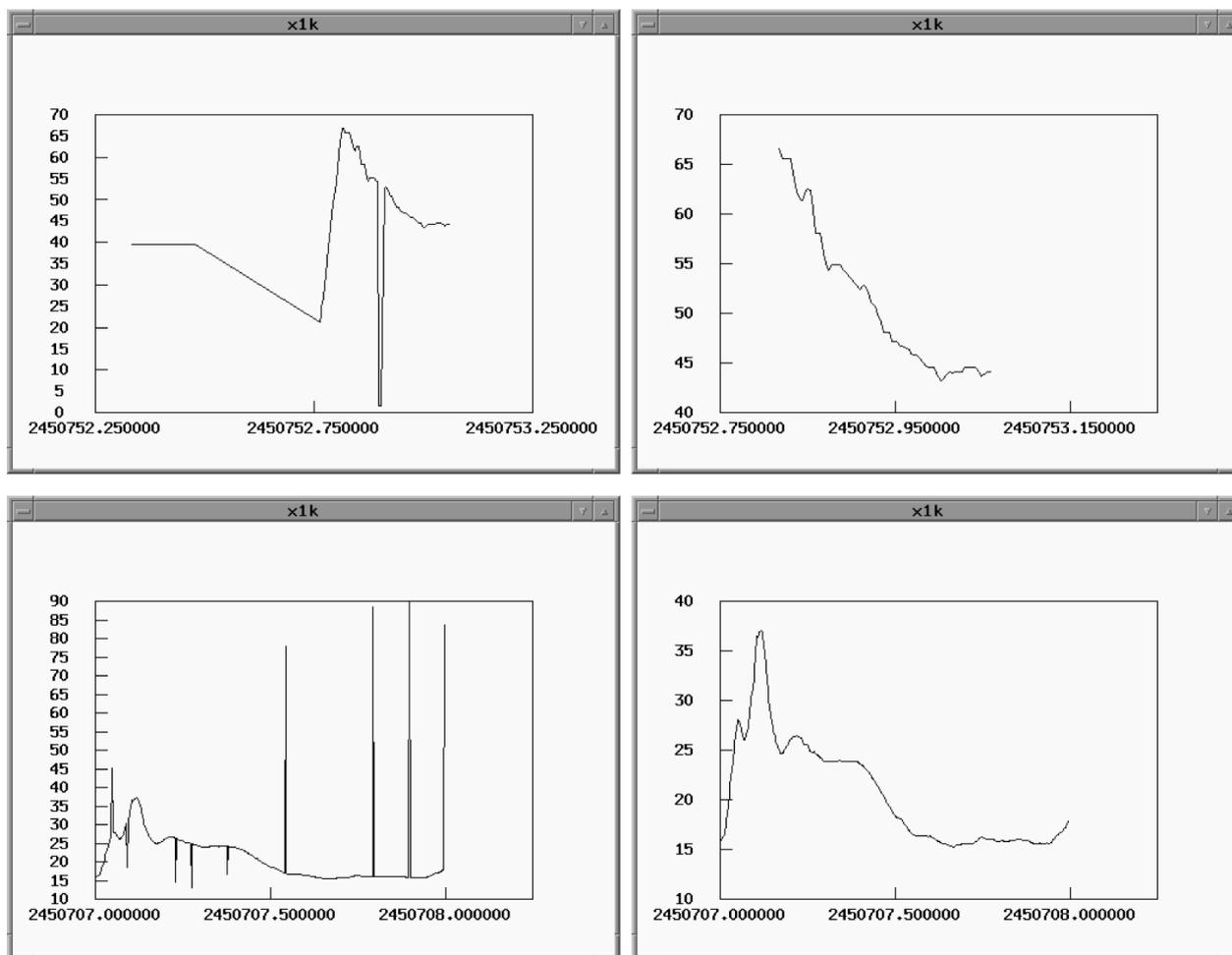


Abb. 1.2.6: Vergleich von Originaldaten (oben: rel. Luftfeuchte in %, unten: Temperatur in Grad Celsius) aus dem log-File einer VLBI-Station (links) und der entsprechenden Daten nach der automatischen Bearbeitung mit XPWXC (rechts)

### Aufbau des wissensbasierten Systems

Der Aufbau des WBS hat inzwischen mit der systematischen Akquisition des notwendigen Wissens begonnen, also der Sammlung, Strukturierung und Organisierung des Wissens, so daß es in der Wissensbasis gespeichert werden kann. Diese Aufgabe ist das Hauptproblem bei der Entwicklung eines WBS, da die Methoden der Wissensakquisition sehr schwach sind und da es noch keine brauchbaren Werkzeuge gibt, um diesen Vorgang zu automatisieren. *Feigenbaum* hat hierfür den Begriff des Flaschenhalses (knowledge acquisition bottleneck) geprägt. Gleichzeitig hängt die Leistungsfähigkeit eines WBS wesentlich von der Wissensbasis des Systems ab, so daß die Wissensakquisition und -repräsentation sehr sorgfältig durchgeführt werden sollte. Als Grundlage der Wissensakquisition konnte das in der ersten Phase der Arbeiten in einem internen Bericht zusammengestellte Wissen herangezogen werden.

Die Arbeiten zur Anwendung der KI-Verfahren in der VLBI werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

## 2. Grundlagen globaler terrestrischer Referenzsysteme

*Die geodätischen Beobachtungen und Parameterschätzungen werden im allgemeinen in terrestrischen (erdfesten) Referenzsystemen durchgeführt, die durch Konventionen festgelegt sind. Dabei entsteht ein wesentliches Problem dadurch, daß für unterschiedliche Parametertypen (z.B. geometrische und dynamische Größen) verschiedene und teilweise nicht kompatible Referenzsysteme benutzt werden. Bei der Kombination von heterogenen Daten sind dann geeignete Modelle zur Verknüpfung der Referenzsysteme zu erstellen. Für zeitabhängige Parameter (z.B. Punktkoordinaten auf der deformierbaren Erdkruste) dienen kinematische Referenzsysteme, die den geodätischen Bedürfnissen anzupassen sind (z.B. Kompatibilität zwischen Erdrotationsparametern, Stationsgeschwindigkeiten und den mitbewegten Koordinatensystemen).*

### Projekt 2.1 Zusammenhänge der Bezugssysteme für Stationen und Schwerfeld

Die Arbeiten konzentrierten sich auf Untersuchungen zur Bestimmung eines geeigneten Referenzsystems des Erdschwerfeldes. Analog zum vereinbarten terrestrischen Bezugssystem (CTS) ist auch das vereinbarte Referenzsystem des terrestrischen Gravitationspotentials (CGS) ein mittleres Bezugssystem in dem Sinn, daß zeitabhängige Korrekturen angebracht werden müssen, um vom mittleren zum wahren Bezugssystem zu gelangen. Die Transformation der Koordinaten wird mit ausreichender Genauigkeit durch Korrekturen zu den niederen harmonischen Koeffizienten  $C_{10}$ ,  $C_{11}$ ,  $S_{11}$ ,  $C_{21}$ ,  $S_{21}$  und  $S_{22}$  ausgedrückt. Damit wird die kurzperiodische Zeitabhängigkeit dieser Koeffizienten weitestgehend beseitigt.

Die Korrekturen werden in diejenigen physikalischen Modelle aufgespalten, die dafür einen Näherungswert liefern. Das sind Deformationen der Erde aufgrund von

- Erdzeiten,
- Ozeangezeiten,
- Atmosphärengzeiten und
- Rotationsschwankungen (Pol- und UT1-Tide).

Die letztgenannte Korrektur war am DGFI bisher nicht aus dem mittleren CGS herausreduziert worden.

Das CGS liegt nahe dem "mittleren terrestrischen Bezugssystem" oder "Tisserandsystem", in dem geophysikalische Theorien aufgestellt werden. Vom CTS gelangt man dorthin durch Anbringen von

- mean polar motion (säkulare Polbewegung des CTS),
- Korrekturen für Ozean und Atmosphäre,
- Korrektur für den Kern.

Mit Ausnahme der säkularen Polbewegung sind die Korrekturen so klein, daß sie bisher vernachlässigt werden konnten. Um diese vernachlässigten Korrekturen zu schätzen – sie können nur zusammen verbessert werden – werden sie als Transformation vom CGS zum Ephemeridenpolssystem angesetzt.

Außerdem wurden im Berichtszeitraum Programmierarbeiten durchgeführt, die gewährleisten, daß die DOGS-Programme (DOGS-OC, DOGS-CS, DOGS-OV) jetzt auch für Intel-PCs unter dem Betriebssystem i486-Linux verfügbar sind.

## Projekt 2.2

### Methoden zur Kombination verschiedener Raumverfahren

#### 2.2.1 SLR-Lösungen mit DOGS-OC

Die theoretischen Arbeiten im Berichtszeitraum erstreckten sich auf die systematische Analyse des Programms DOGS-OC. Die Analyse beginnt mit der Berechnung von Monats- und Jahreslösungen mit Hilfe von Beobachtungswerten, die vom Programm selbst aus den Initialwerten der zu berechnenden Parameter simuliert sind. Damit ist eine interne Kontrolle der Lösungen von der Aufstellung der Verbesserungsgleichungen bis zum Ausgleichsergebnis gewährleistet. Außerdem läßt sich damit das Systemverhalten in Bezug auf Datumsfragen und Auflösungsfähigkeit studieren. Neben der Aufdeckung von Unstimmigkeiten im Programm sind wichtige Ergebnisse der bisherigen Analyse:

- Das Festlegen des Datums einer SLR-Lösung geschieht in DOGS durch Einführen einer Pseudobeobachtung hohen Gewichts, z.B. für eine Koordinaten- oder Geschwindigkeitskomponente. Die Wirkung des angesetzten Gewichts hängt nicht nur vom aktuellen Datensatz der Ausgleichung, sondern auch von der Computer-Hardware ab. Die Gewichtung muß deshalb individuell angepaßt werden.
- Schon geringfügige Modifikationen der Initialwerte der zu schätzenden Parameter können zu Änderungen der Zahl der erforderlichen Iterationen führen, deren maximale Anzahl derzeit in DOGS-OC mit neun festgelegt ist. Das liegt an der hohen Nicht-linearität der dynamischen Gleichungen. Für die Weiterverarbeitung der DOGS-OC-Resultate ist dieser Umstand entsprechend zu berücksichtigen. Untersuchungen dazu sind in Bearbeitung.
- Um die Dateneingabe und -analyse, die bisher in der Regel manuell auszuführen ist, zu beschleunigen, sind entsprechende Scripts in Bearbeitung. Hierbei werden in steigendem Maß Regeln der objektorientierten Analyse und des Designs berücksichtigt.

Die CSTG hat zur Verbesserung der weltweiten Koordinaten und Analyse von Laserbeobachtungen den "International Laser Ranging Service" (ILRS) gegründet. Das DGFI nimmt an diesem Dienst als Datenzentrum und als Associate Analysis Center (AAC) teil. Dieser Dienst erwartet regelmäßige Produkte von den einzelnen Zentren, die einen vorgegebenen Qualitätsstandard erfüllen müssen. Um vor allem die Aufgabe als AAC durchführen zu können, waren einige Änderungen und Verifizierungen in der DOGS-Programmkette vorzunehmen.

Um die Arbeiten als Daten- und Analysezentrum zu vereinheitlichen, wurde eine Linux-Version der DOGS-Programmkette erstellt und getestet. Weiterhin werden alle Hilfsdaten zur Bahnberechnung, wie Schwerefeld, Pol- und Stationskoordinaten oder Ephemeriden, jetzt auf einem Linux-PC verwaltet und die Bedienung des Programms vereinfacht. Die gesamte Datenstruktur kann jetzt als HTML-Dokumente im Intranet eingesehen werden. Dazu wurden noch einige neue Zusatzprogramme zum Plotten von überlappenden Bahnbögen und Parametern geschrieben.

Weiterhin wurden im Rahmen der Verifikationsarbeiten am DOGS-Programm folgende Berechnungen durchgeführt:

- Vergleich des Inversionsalgorithmus (Choleski) mit einer Lösung des Systems durch Orthogonaltransformation (Fast Givens);
- Vergleiche verschiedener Gewichtungen, Polkoordinatensätze und Schwerefeldparameter;
- Bahnrechnungen mit verschiedenen Stationskoordinatensätzen sowie Vergleich der Bahnen.

### 2.2.2 Kombination GPS-SLR-VLBI

Um Jahres- oder Mehrjahreslösungen mit SLR-Daten zu erstellen, werden die monatlichen Normalgleichungen von DOGS-OC mit Hilfe des Programmsystems DOGS-CS akkumuliert und aufgelöst. Da dieses Programmsystem neu konzipiert und entwickelt ist, wurde auch hierfür eine systematische Analyse begonnen. Sie baut auf den Ergebnissen der Analyse von DOGS-OC auf.

Die konzeptionellen Untersuchungen zur frühzeitigen Kombination von Daten verschiedenartiger Raumverfahren, die im Jahre 1996 begonnen worden waren, wurden fortgeführt. Aufgrund der Erfahrungen aus den Projekten 2.2.1 und 2.2.2 sind die Analysemethoden, insbesondere bezüglich der Meß- und Referenzsysteme, im Sinne der Vorwärtsstrategie verfeinert worden.

Hinsichtlich mehr praktischer Aspekte von Kombinationslösungen wurde die Konsistenz und Stabilität der geschätzten geodätischen Parameter untersucht. Üblicherweise werden aus den einzelnen geodätischen Raubeobachtungsverfahren jährliche Lösungen gerechnet. In den IAG-Diensten für GPS (IGS), SLR (ILRS) und VLBI (IVS) wird nun auch die Frage diskutiert, Ergebnisse mit höherer Frequenz zur Verfügung zu stellen (monatlich, wöchentlich oder sogar noch kürzer). Dafür ist es wichtig zu wissen, wie sehr akkumulierte Lösungen variieren.

Tab. 2.2.1: Mittlere quadratische Abweichung der Geschwindigkeiten aus je zwei VLBI- (GLB) und GPS-(CODE)-Lösungen

Verglichene Lösungen	Anzahl der Stationen	$\Delta v_{\varphi}$ [mm/a]	$\Delta v_{\lambda}$ [mma]	$\Delta v_h$ [mm/a]
GLB1014 vs. GLB1083	78	±0.5	±0.4	±1.3
CODE 96 vs. CODE 97	89	±4.4	±6.4	±5.5
GLB1014 vs. CODE 96	32	±1.6	±1.1	±2.5
GLB1083 vs. CODE 97	38	±2.8	±2.1	±7.0

In der Tabelle 2.2.1 werden je zwei VLBI- und GPS-Lösungen aus den Jahren 1996 und 1997 miteinander verglichen. Man sieht, daß die interne Konsistenz der VLBI-Lösungen (GLB1014 und GLB1083) sehr gut ist, daß aber die GPS-Lösungen sehr stark variieren. Dies ist leicht zu erklären, da die VLBI-Lösungen eine sehr lange Beobachtungszeit (seit 1979) umfassen, während in die GPS-Lösungen nur Beobachtungen seit 1993 eingehen. Zusätzliche Daten haben also bei GLB kaum, bei CODE jedoch viel Einfluß. Daß der externe Vergleich (VLBI gegen GPS) besser ist als der

interne Vergleich der C ODE-Lösungen liegt daran, daß extern nur globale, i.a. gut bestimmte Kollokation-Stationen eingehen (32 bzw. 38), während intern auch weniger gut bestimmbare Stationen enthalten sind.

Bei den Vergleichen ist auch deutlich zu erkennen, daß die Höhenkomponente i.a. um den Faktor zwei bis drei ungenauer ist als die Horizontalkomponenten. Dieser Frage wird auch im Projekt 3.1 nachgegangen.

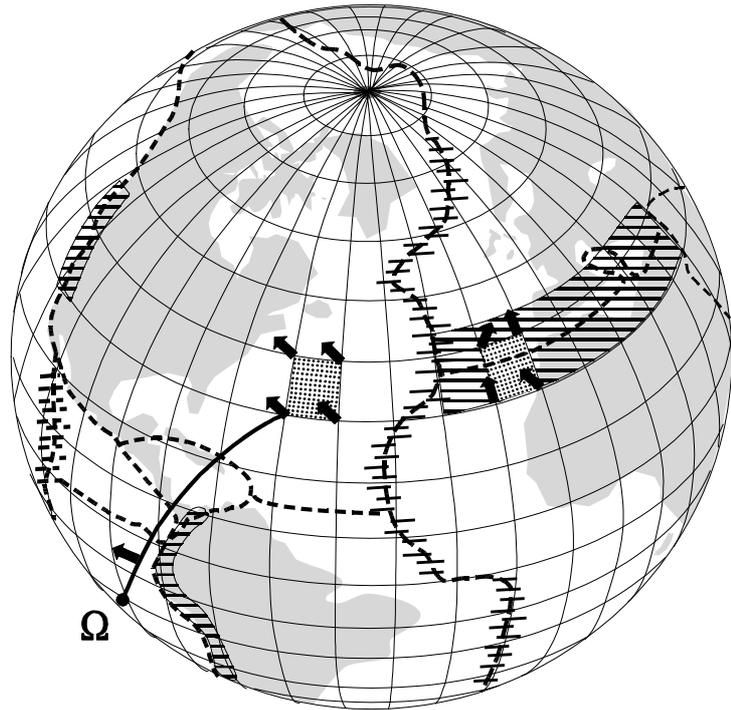
### **2.2.3 Aktuelles plattenkinematisches Modell (APKIM)**

Im Berichtszeitraum wurde insbesondere die Frage des globalen kinematischen Datums für geodätische Plattenmodelle und damit implizit auch für sämtliche globalen kinematischen Parameter (z.B. Erdrotationsparameter sowie Stationsgeschwindigkeiten aus geodätischen Raumverfahren) untersucht. Im allgemeinen wird den kinematischen Parameterschätzungen das geophysikalische Plattenmodell NNR NUVEL-1A als Datum zugrunde gelegt, welches global, d.h. als Integral über die ganze Erde, keine Rotation aufweisen soll ("no net rotation"). Diese Annahme ist aber vor allem aus drei Gründen nicht unbedingt gewährleistet:

- NNR NUVEL-1A enthält nur zwölf Lithosphärenplatten, deren Bewegungen als Rotationen von starren Kugelkappen modelliert werden. Wir wissen heute aber, daß es noch mehr Platten gibt.
- Die "starren" Platten werden durch linienhafte Grenzen voneinander getrennt. Wir wissen aber, daß es (teilweise bis zu 1000 km) breite Deformationsgürtel zwischen den Platten gibt. Diese Randdeformationen sind in NNR NUVEL-1A nicht erfaßt.
- Das Modell wurde aus geophysikalischen Beobachtungen über Zeiträume von mehreren Millionen Jahren abgeleitet, in denen die Geschwindigkeiten als gleichförmig angenommen sind. Es muß deshalb nicht unbedingt für den kurzen Zeitraum der geodätischen Beobachtungen (bisher 20 Jahre) gelten.

Als Konsequenz wird vorgeschlagen, das Datum mit der Bedingung globaler Rotationsfreiheit ("no net rotation") aus den geodätischen Beobachtungen selbst zu schätzen. Dazu werden im Bereich der festen Platten deren Rotationsparameter aus den Stationsgeschwindigkeiten durch Ausgleichung abgeleitet und in den Plattenrandzonen Modelle der Kontinuumsdeformation (siehe auch Projekt 3.2.3) erstellt. Das Datum wird dann so festgelegt, daß die Summe aller auf diese Weise modellierten Oberflächenbewegungen zu Null wird (siehe Abb. 2.2.1).

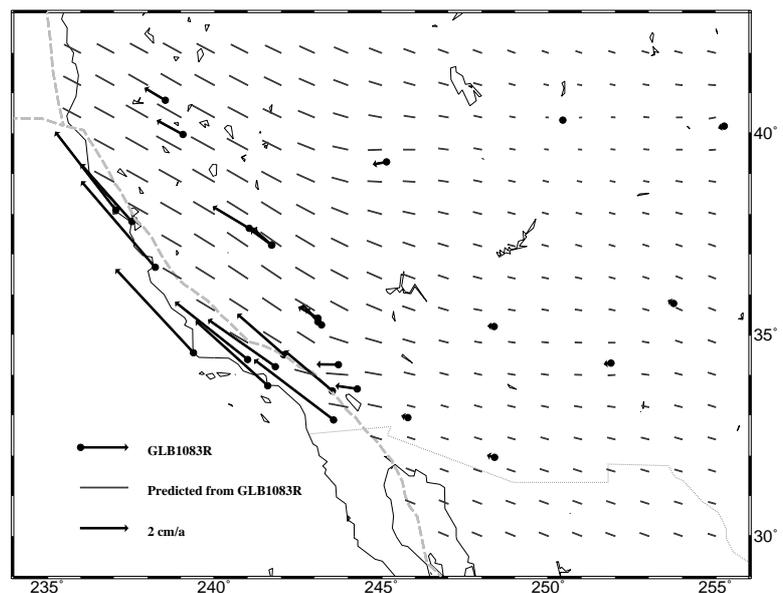
Abb. 2.2.1: Schema der Summenbildung der Oberflächenbewegungen aus Plattenrotation ( $\Omega$ ) und Plattenranddeformation (schraffiert)



### Modellierung von Plattenrandzonen

Es wurden bisher vier Plattenrandzonen in den APKIM-Lösungen modelliert: der mediterrane Gürtel (worüber bereits mehrfach berichtet wurde), der ostasiatische Raum (vor allem Japan), die südamerikanische Anden-Region und der Bereich der San-Andreas-Verwerfung im Westen der USA. Das Deformationsbild des letzteren Gebietes ist in der Abbildung 2.2.2 dargestellt. Man erkennt deutlich die breite Deformationszone, die zum Pazifik hin mehr und mehr von der Bewegung der pazifischen Platte beeinflusst wird.

Abb. 2.2.2: Deformationsbild (Bewegungen relativ zur nordamerikanischen Platte) im Westen der USA durch Vektorprädiktion von beobachteten Geschwindigkeiten aus der VLBI-Lösung GLB1083 (1997)



## 3. Grundlagen regionaler Referenzsysteme

*Durch Anwendung des Global Positioning System (GPS) entsteht weltweit eine Vielzahl regionaler geodätischer Kontrollnetze, in denen Orts- und Geschwindigkeitsvektoren der Beobachtungsstationen bestimmt werden. Die zugehörigen Referenzsysteme werden meist ohne gegenseitigen Bezug und häufig ohne eindeutige Datumsfestlegungen realisiert. Es sind deshalb Untersuchungen zur Sensitivität regionaler Netze gegenüber den Datumsfestlegungen und zur optimalen Verknüpfung erforderlich. Um das Genauigkeitspotential des GPS voll zu nutzen, müssen Modellverfeinerungen entwickelt werden. Diese umfassen vor allem den instrumentellen Bereich (GPS-Antennen) und die troposphärische Refraktion, die vor allem die Genauigkeit der Höhenbestimmung stark beeinflusst.*

### Projekt 3.1 GPS Modellbildung

Die Schwerpunkte der Arbeiten in diesem Projekt im Berichtszeitraum waren einerseits die Fortführung der Untersuchungen zur Berechnung von Modellen der Variabilität der Antennen-Phasenzentren und andererseits die Analyse der Sensitivität zwischen Höhen- und Troposphärenschätzungen. Zusätzlich wurde eine Studie zur alternativen Beschreibung der zeitlichen Variation der troposphärischen Refraktion durchgeführt. Zu allen drei Thematiken wurde ein Abschluß der bis jetzt vorgesehenen Untersuchungen erreicht, es sind jedoch in den kommenden Jahren weiterführende Arbeiten geplant. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Analysen waren Modell- und Softwareentwicklungen erforderlich, außerdem bedingte der Übergang des Leibniz-Rechenzentrums auf eine neue Workstation-Generation einige Softwareanpassungen.

#### 3.1.1 Variabilität von Antennen-Phasenzentren

Die in den Vorjahren begonnenen Untersuchungen zur Modellierung der elevationsabhängigen Variationen der elektromagnetischen Phasenzentren von GPS-Antennen wurden fortgeführt. Ende 1997 wurden über mehrere Tage weitere Kalibrierungsmessungen auf der Fundamentalstation Wettzell vorgenommen, die erstmals auch die Leica Choke-Ring-Antenne AT303 einschlossen. Damit standen für eine geschlossene Auswertung zur Berechnung der Modelle aller bisher einbezogenen Antennen folgende Datensätze zur Verfügung:

- Drei Kalibrierungsexperimente unterschiedlichen Umfangs der Jahre 1995 und 1997 in Wettzell (Tabelle 3.1.1);
- Kollokationen der SIRGAS-Kampagne von bis zu 10 Tagen Dauer auf sieben verschiedenen Stationen (Tabelle 3.1.2).

Der gewählte Modellierungsansatz besteht in

- der Bestimmung eines mittleren vertikalen Offsets, der alle einbezogenen Messungen bis herunter zum festgelegten minimalen Höhenwinkel bestmöglich approximiert, und
- der anschließenden Ausgleichung der elevationsabhängigen Terme in beliebig wählbaren Schrittweiten, die einer Summenbedingung unterworfen werden.

Tab. 3.1.1: Bei den Kalibrierungsexperimenten in Wettzell eingesetzte GPS-Systeme;  $N$  = Anzahl der Antennen,  $M$  = Anzahl der Meßtage

Empfänger		Antenne	1995 A		1995 B		1997	
			N	M	N	M	N	M
Ashtech	Z- XII	Geodetic L1/L2	2	1	2	4		
		Dorne Margolin Ash					2	4
Leica	SR 299	Internal	2	1	2	4		
	SR 9500	AT 303					3	3
Trimble	SSE	4000ST L1/L2 GEOD	1	1	2	4		
	SSE/SSI	TR GEOD L1/L2 GP	1	1	2	4	3	4
Rogue	SNR- 800	Dorne Margolin B	1	1	1	4		
	SNR- 8000	Dorne Margolin T	2	1	3	4	1	4

Tab. 3.1.2: Für die Berechnung der Modelle der Phasenzentrumsvariationen genutzte Kollokationen der SIRGAS Kampagne 1995

Ort (Land)	Empfänger 1	Antenne 1	Empfänger 2	Antenne 2	Tage
Bogotá (Kolumbien)	Rogue SNR-800	Dorne Margolin T	Leica SR 299	Internal	6
Curitiba (Brasilien)	Trimble SSE	4000ST L1/L2 GEOD	Ashtech Z-XII	Geodetic L1/L2	10
El Maiten (Argentinien)	Trimble SSE	TR GEOD L1/L2 GP	Leica SR 299	Internal	8
Maracaibo (Venezuela)	Trimble SSE	TR GEOD L1/L2 GP	Leica SR 299	Internal	9
Montevideo (Uruguay)	Leica SR 299	Internal	Ashtech Z-XII	Geodetic III	3½
Puerto Iguazu (Argentinien)	Ashtech Z-XII	Geodetic L1/L2	Leica SR 299	Internal	9
Rio Grande (Argentinien)	Rogue SNR-8000	Dorne Margolin T	Leica SR 299	Internal	10

Da eine Ausgleichung der je  $2,6 \cdot 10^6$  Phasenmessungen in L1 und L2 in einem Guß die Rechnerkapazitäten bei weitem überschreiten würde, wurde der Weg über die Erzeugung von Teilnormalgleichungssätzen und deren Akkumulation und Lösung mit unserem Programm ACCSOL gewählt. Alle Zusatzinformationen wie Koordinaten der örtlichen Netze sowie Bedingungsgleichungen werden erst in diesem letzten Schritt der Ausgleichung eingeführt. Die Genauigkeit der elevationsabhängigen Terme ergab sich aus der Ausgleichung mit etwa ein Millimeter Genauigkeit. Die Abbildung 3.1.1 zeigt als Beispiel die Ergebnisse für zwei Leica-Antennen relativ zur Dorne Margolin T-Antenne. Anwendungsbeispiele des kompletten Modells aus mittlerem vertikalen Offset (MPC) und elevationsabhängigen Korrekturen (EDC) und ein Vergleich mit den Modellen des IGS sind in Tabelle 3.1.3 zusammengefaßt.

Tab. 3.1.3: Höhenunterschiede [mm] auf lokalen Basislinien aus IGS- bzw. DGFI-Modellen;  $\Delta H_s$  = Soll-Höhenunterschied [mm] (in Matera + 5,550 m); MPC = nur mittlerer vertikaler Offset berücksichtigt, EDC = volles Modell

	$\Delta H_s$	Freq.	Beob.	IGS		DGFI	
				MPC	EDC	MPC	EDC
Lima I	1.5	L1	62119	-3.1	0.9	0.9	1.2
Lima II	9.2	L1	71567	4.5	8.5	8.5	8.8
Matera	3	L1	26103	1.1	1.1	2.0	1.2
	3	L2	26062	0.6	-1.7	0.4	1.9

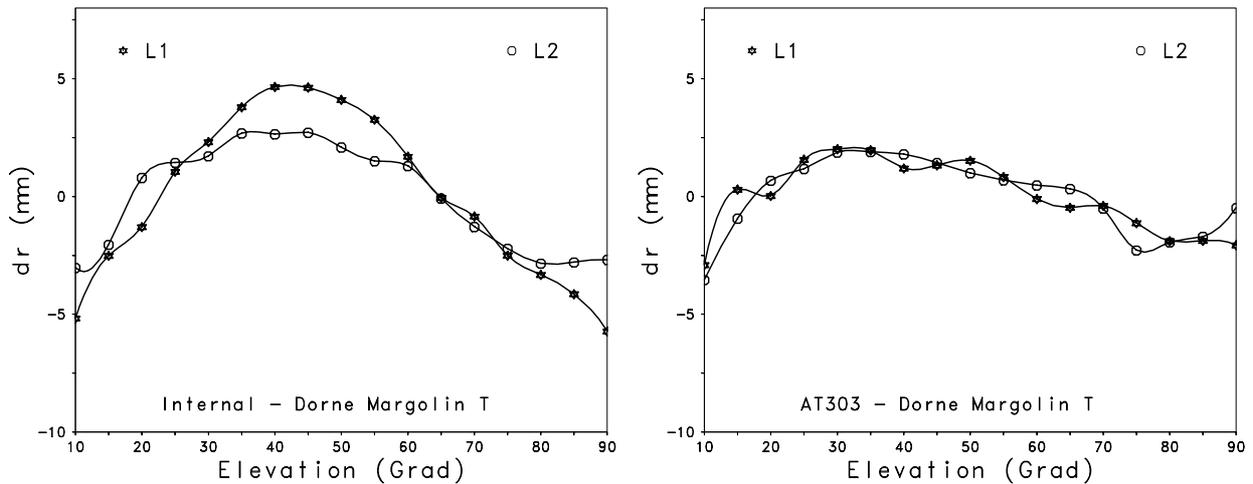


Abb. 3.1.1: Elevationsabhängige Phasenzentrumkorrekturen relativ zur Dorne Margolin T

### 3.1.2 Sensitivität Höhen - Troposphäre

Im Berichtszeitraum wurde eine Studie abgeschlossen, die zum Ziel hatte, die Sensitivität der aus GPS bestimmten ellipsoidischen Höhen gegenüber der zur Modellierung der troposphärischen Refraktion angewandten Strategie zu analysieren. Um wirklich aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sind alle Ausgleichsvarianten für zwei GPS-Netze, nämlich ein europäisches und ein südamerikanisches, durchgerechnet worden. Die Variationen der Ausgleichungen betrafen vor allem

- die Auswahl des zur Prädiktion der troposphärischen Laufzeitverzögerung benutzten Modells; in der DGFI-Version des Berner Ausgleichsprogramms sind derzeit sechs Modelle realisiert;
- die Definition des minimalen Höhenwinkels der einbezogenen Daten; bei niedrigen Elevationen erhöhen sich das Rauschen und die systematischen Fehler, andererseits wird die Dekorrelation der auszugleichenden Parameter merklich verbessert.

Weitere Variationsmöglichkeiten wie die Datenrate oder die Anzahl der zu schätzenden Troposphärenparameter sind weniger wichtig. In dieser Studie wurden insgesamt etwa 800 Netzausgleichungen gerechnet. Ein Teil der Ergebnisse ist in den Tabellen 3.1.4 und 3.1.5 dokumentiert, die einerseits den Einfluß des minimalen Höhenwinkels und andererseits den des Prädiktionsmodells zeigen.

Es lassen sich zusammenfassend folgende Aussagen machen:

- Eine Änderung des minimalen Höhenwinkels erzeugt eine Maßstabsänderung des GPS-Netzes, die  $1 \cdot 10^{-8}$  pro 10 Grad erreichen kann und sich in Südamerika größer ergab als in Europa; der Einfluß auf die Schätzwerte der Höhen kann bis zu 1 cm betragen.
- Die Auswahl des Prädiktionsmodells für die Troposphäre ist etwas weniger kritisch, dennoch betragen die rms-Differenzen zwischen den geschätzten Höhen 3-4 mm; die Schätzungen für die troposphärische Zenitverzögerung können sich systematisch um bis zu 15 mm unterscheiden.

Tab. 3.1.4: Einfluß des minimalen Höhenwinkels auf Positionsbestimmungen, Vergleich von  $10^\circ$  und  $19^\circ$  Lösungen: Rms-Differenzen [mm] in Nord (N), Ost (E) und Höhe (H) sowie in Nord ( $N^*$ ) und Ost ( $E^*$ ) nach Lösung für Maßstabsfaktor  $S [10^{-9}]$

Trop. Modell	Europäisches Netz						Südamerikanisches Netz					
	N	E	H	S	$N^*$	$E^*$	N	E	H	S	$N^*$	$E^*$
BABY	8.2	5.4	11.1	8	2.2	2.4	8.1	8.5	9.3	10	1.8	2.5
DAVIS	4.3	3.6	7.7	4	2	2.4	6.8	7.5	7.8	9	1.3	2
LANYI	5.9	4.5	8.3	6	1.8	2.4	7.7	8.4	8.2	10	1.5	2.1
MODHOP	7.8	5	8.2	8	1.7	2.2	8.6	9.3	8.8	12	1.6	2.2
NIELL	3.9	3.6	7.9	4	1.8	2.4	6.5	7.1	7.4	9	1.3	2
SAASTA	2.3	2.5	9.4	1	2.2	2.4	4.7	5.1	6.5	6	1.4	2.3

Tab. 3.1.5: Einfluß des Prädiktionsmodells auf Positionsbestimmungen, Vergleich von fünf Modellen mit Saastamoinen: Rms-Differenzen [mm] in Nord (N), Ost (E) und Höhe (H) sowie in Nord ( $N^*$ ) und Ost ( $E^*$ ) nach Lösung für Maßstabsfaktor  $S [10^{-9}]$

Modell -SAASTA	Europäisches Netz						Südamerikanisches Netz					
	N	E	H	S	$N^*$	$E^*$	N	E	H	S	$N^*$	$E^*$
BABY	4.8	2.5	3.8	-5	0.4	0.3	2.4	2.6	6.7	-3	0.6	1
DAVIS	1.9	0.9	3.5	-1	0.7	0.6	1.2	1.6	3.7	-2	0.4	0.6
LANYI	2.2	1.3	2.8	-2	0.5	0.3	1.5	1.9	3.9	-2	0.3	0.6
MODHOP	3.7	2.1	2.6	-4	0.5	0.3	2.5	3.7	4.4	-4	0.3	0.7
NIELL	0.5	0.3	3	0	0.5	0.3	0.5	2.7	3.5	-1	0.4	0.6

### 3.1.3 Modellierung der zeitlichen Variation der Troposphäre

Die Berner Software modelliert die zeitliche Variation der troposphärischen Zenitrefraktion durch eine Treppenfunktion, indem konstante Parameter für jedes vom Auswerter definierte Zeitintervall geschätzt werden. Da dieser Ansatz zwangsläufig Sprünge an den Intervallgrenzen erzeugt und deshalb sicher nicht optimal erscheint, sind zwei alternative Darstellungsformen erprobt worden:

- Polygone, die innerhalb jedes Schätzungsintervalls Linearität annehmen und an den Intervallgrenzen zwar keine Sprünge der Funktionswerte, jedoch beliebige Sprünge der ersten Ableitung zulassen; solche Polygone haben sich z.B. zur Darstellung von Phasenzentrumsvariationen bewährt;
- Kubische Splines, die die zeitliche Variation innerhalb jedes Intervalls durch ein Polygon dritter Ordnung beschreiben und Stetigkeit der ersten Ableitung sowie der zweiten an den Knoten gewährleisten.

Beide Modellierungsansätze sind versuchsweise in die Berner Software implementiert worden und dann auf zwei GPS-Netze in Europa (EU) bzw. Südamerika (SA) angewendet worden. Die Bedingungsgleichungen, die im Fall der Splines eingeführt werden müssen, sind derzeit allerdings nicht in dem Berner Ausgleichsprogramm, sondern in unserem externen Programm ACCSOL realisiert. Die Wiederholgenauigkeiten täglicher Lösungen sind in Tabelle 3.1.6 für beide Netze und alle Strategien zusammengestellt. Die Ergebnisse lassen bisher nicht den Schluß zu, daß kubische Splines der einfachen Treppenfunktion überlegen sind.

Tab. 3.1.6: Wiederholgenauigkeit täglicher Positionsbestimmungen in Nord (N), Ost (E) und Höhe (H) in Abhängigkeit vom zur Modellierung der zeitlichen Variationen der Troposphäre gewählten Ansatz [mm]; M = Anzahl der Schätzintervalle/Tag

Netz	M	Treppenfunktion			Polygon			Kubische Splines		
		N	E	H	N	E	H	N	E	H
SA	6	1.6	3.3	5.4	1.6	3.7	5.4	1.6	3.6	5.3
	12	1.5	3.8	5.3	1.5	3.8	4.9	1.5	3.6	4.8
	24	1.7	3.4	4.4	1.4	3.3	4.4			
EU	6	2.8	4.3	7	2.8	4.6	6.8	2.8	4.6	6.6
	12	2.8	4.5	6.7	2.8	4.4	6.7	2.7	4.4	6.5
	24	2.7	4.4	6.4	2.6	4.4	6.3			

## Projekt 3.2

### Analyse regionaler Netze

Das DGFI berechnet und analysiert seit Jahren im internationalen Rahmen regionale GPS-Netze, um einerseits zur Verdichtung und Verbesserung des globalen terrestrischen Referenzsystems beizutragen, andererseits aber auch eigene Auswertestrategien und Modellverbesserungen insbesondere in Geodynamik-Projekten zu testen.

#### 3.2.1 IGS RNAAC Südamerika

Die im Juni 1996 als IGS „Regional Network Associate Analysis Center“ (RNAAC) für Südamerika begonnene Berechnung wöchentlicher Koordinatenlösungen zur Verdichtung des globalen IGS-Netzes wurde fortgeführt. Das prozessierte südamerikanische Netz enthält derzeit 24 Stationen (Abb. 3.2.1), von denen alle brasilianischen Stationen außer Brasilia und Fortaleza nur in der Lösung des DGFI enthalten sind. Seit der Installation im März 1998 durch das DGFI werden auch die Daten der neuen Permanentstation Maracaibo ausgewertet, und seit Juli 1998 werden auch die vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) betriebenen Stationen Gough und Sanae/Vesleskarvet einbezogen. Die Messungen der beiden IGS-Stationen Richmond und Bermuda werden nicht mehr prozessiert, weil sie bereits in mehreren globalen Lösungen enthalten sind; statt dessen wurde Barbados neu aufgenommen.

Für die Auswertung wird die automatisierte Version der Berner GPS-Software 4.0 eingesetzt, die sog. "Bernese Processing Engine" (BPE). Die wöchentlichen Lösungen werden von den "Global Network Associate Analysis Centers" (GNAAC) in die Berechnung der globalen Polyhedron-Lösungen eingebracht.

Abb. 3.2.1: Zusammensetzung des vom DGFI ausgewerteten IGS-Verdichtungsnetzes Südamerika



Die Abbildungen 3.2.2 und 3.2.3 zeigen für eine Station des globalen "Core"-Netzes (Santiago) und für eine brasilianische Station (Presidente Prudente) die internen Variationen der RNAAC-Lösungen (RNAAC SIRGAS R – 1. Solution) sowie die Übereinstimmung der RNAAC-Ergebnisse mit den globalen GNAAC-Ausgleichungen nach Ähnlichkeitstransformation (GNAAC MIT P – RNAAC SIRGAS R). Diese Transformation ist erforderlich, weil das regionale Netz, abgesehen vom Bezug auf die IGS-Bahnen, als freies Netz gerechnet wird und deshalb kleine Translationen, Rotationen und Maßstabsunterschiede zum globalen Referenzsystem aufweisen kann.

Die Abbildungen machen deutlich, daß beträchtliche Translationen vor allem in der Höhenkomponente auftreten, die auf das Prozessieren doppelter Differenzen zurückzuführen sind und sich auch bei Änderungen der Netzkonfiguration ändern können.

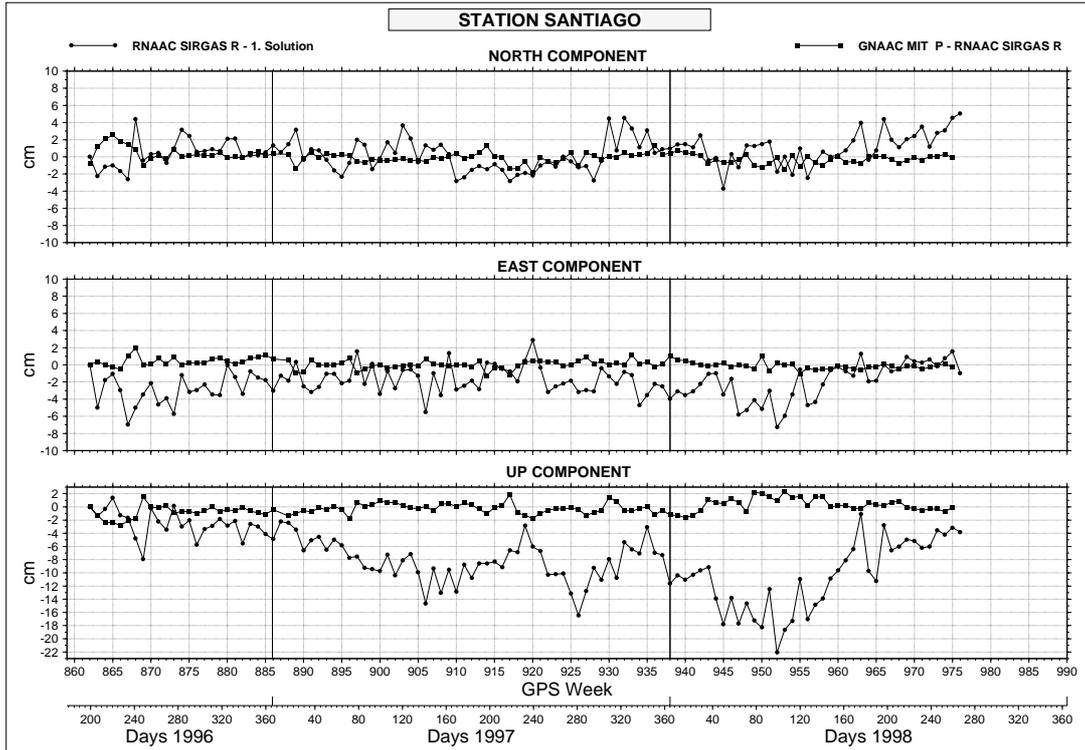


Abb. 3.2.2: Zeitreihe der RNAAC Ausgleichungen für Santiago und Vergleich mit GNAAC-Lösungen

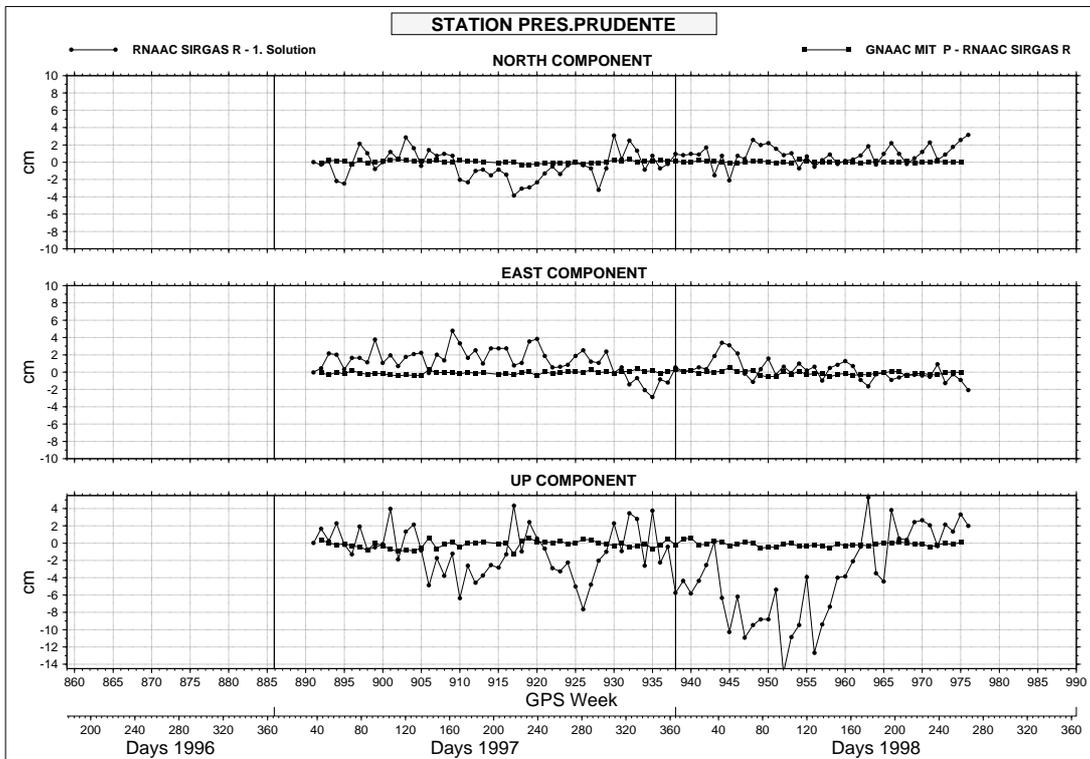
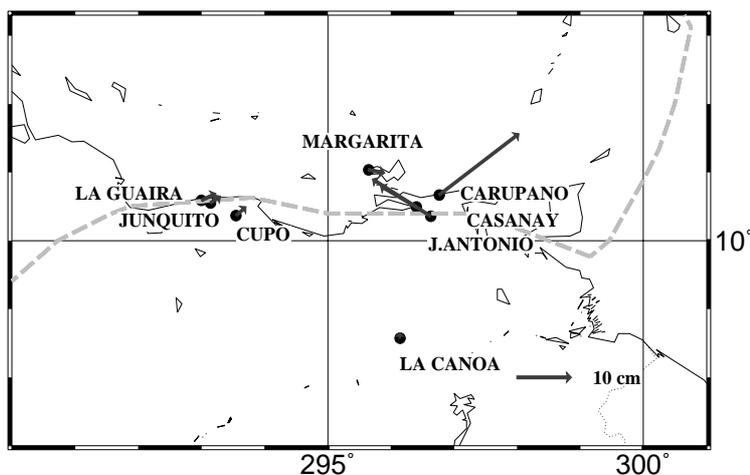


Abb. 3.2.3: Zeitreihe der RNAAC-Ausgleichungen für Presidente Prudente und Vergleich mit GNAAC-Lösungen

### 3.2.2 Central and South America Project (CASA)

Im Berichtszeitraum sind weitere GPS-Messungen im venezolanischen Teil des CASA-Netzes durchgeführt und die Datenanalyse fortgesetzt worden. Am 9. Juli 1997 hat sich im Osten Venezuelas nahe der Karibikküste ein Erdbeben der Magnitude 6.9 ereignet, dessen Epizentrum in der Nähe mehrerer CASA-Punkte lag. Da die nächste Messung des vollständigen Netzes einem 3-Jahre-Turnus folgend erst für Frühjahr 1999 geplant ist, wurden Ende September 1997 in dem vom Erdbeben betroffenen Teil sowie auf einigen Anschlußpunkten GPS-Messungen vorgenommen, um die verursachten Punktbewegungen zu erfassen. Die Daten sind wieder mit der DGFI-Version der Berner Software ausgewertet worden, in der die Parameter für Stationsgeschwindigkeiten bereits auf der Ebene der Verbesserungsgleichungen angesetzt werden. Die Normalgleichungen sind einerseits in die alle bisherigen Beobachtungen enthaltende Geschwindigkeitslösung eingeführt worden, andererseits ist auch eine Epochenlösung gerechnet worden, um einen direkten Koordinatenvergleich der vom Erdbeben betroffenen Stationen mit früheren Kampagnen zu ermöglichen. In Abbildung 3.2.4 sind für die nach dem Erdbeben besetzten Punkte die Verschiebungsvektoren relativ zu den Messungen vom Februar 1996 dargestellt.

Abb. 3.2.4: Durch das Erdbeben vom Juli 1997 ausgelöste Punktbewegungen



Da im Frühjahr 1998 unter Federführung der Universität von South Carolina (USA) eine GPS-Kampagne im kolumbianischen Teil des CASA-Projekts initiiert wurde, hat das DGFI Anfang März Messungen im Westteil des venezolanischen Netzes durchgeführt und eine Permanentstation in Maracaibo installiert. Diese Beobachtungen sollen der Verbesserung der bisher schwachen Verknüpfung der CASA-Teilnetze Kolumbien und Venezuela dienen. Die Daten des DGFI sowie übergeordneter ITRF-Stationen sind prozessiert und in die Geschwindigkeitslösung einbezogen worden.

### 3.2.3 Geodynamische Modellierung im Mittelmeerraum

Unter Berücksichtigung der Variation von Topographie, Moho-Diskontinuität und Lithosphärenmächtigkeit wurde ein Modell mit 12.000 "Solid"-Elementen des Mittelmeerraumes erstellt. Dabei wurden die Strukturen der Subduktions- und Kollisionszonen der Afrikanischen und Arabischen Platte mit der Eurasischen Platte im Mittelmeerraum als dreidimensionale Kontaktflächen mit Coulombscher Reibung eingearbeitet. Ziel dieser Untersuchung war es, ein Modell mit rein geophysikalischen Parametern und Randbedingungen zu erstellen und diese mit GPS-, SLR- und VLBI-Ergebnissen zu vergleichen.

#### Randbedingungen

Als kinematische Randbedingung wurden am Südrand die Bewegungsrichtungen und Beträge aus NUVEL-1A relativ zu Eurasien eingeführt. Der nördliche, westliche und östliche Rand des Modells wurde mit Federn stark gedämpft. Die Oberfläche ist frei, und die Unterseite wurde mit lithostatischem Druck unterstützt. Scherkräfte an der Grenze zur Asthenosphäre werden in dem Modell als vernachlässigbar angenommen. Dynamische Randbedingungen sind das radiale Schwerfeld und die "slab pull"-Kräfte in den Subduktionszonen mit einer Magnitude von 250 MPa. Sie weisen parallel zur Subduktionsrichtung, das heißt ein "roll-back"-Effekt wird zunächst nicht berücksichtigt. Das rheologische Modell entspricht in der Kruste einem ideal elasto-plastischen Körper. Die Festigkeitskurve wird durch das lineare Mohr-Coulomb-Bruchkriterium beschrieben. In der Lithosphäre wird ein elasto-viskoser Maxwell-Körper angenommen.

#### Variation der Modelle

In den ersten Modellen wurde nur die Viskosität der Lithosphäre verändert, um deren Einfluß abzuschätzen. Es zeigte sich, daß eine Variation zwischen  $10^{20}$  und  $10^{24}$  Pa s keinen signifikanten Einfluß auf das Deformationsfeld an der Oberfläche hat. Einen wesentlichen Einfluß hat dagegen eine Änderung des Reibungskoeffizienten in den Subduktionszonen. Bei niedrigem Reibungskoeffizienten (0,3) zeigt sich am Hellenischen Bogen in der Ägäis eine Bewegung von bis zu 3 cm pro Jahr in süd-westlicher Richtung senkrecht zur Subduktionszone. Dies stimmt mit dem Azimut aus geodätischen Messungen gut überein, aber die Magnitude erreicht an den Stationen Werte von über 4 cm pro Jahr. Bei größerer Reibung (0,7) bleibt das Deformationsbild gleich, aber die Beträge verringern sich um 30-60%. Das laterale Entweichen des Türkisch-Ägäischen Blocks als Folge des Indentierens der Arabischen Platte entlang der Nord- und Süd-Anatolischen Blattverwerfung läßt sich in dem Modell nachvollziehen. Lokal weichen die Beträge auch noch um einen Faktor zwei relativ zu den geodätischen Messungen ab. Im zentralen Teil des Mittelmeerraums im Bereich der Subduktion am kalabrischen Bogen sind qualitative Aussagen nur schwer möglich. Dort sind sowohl die Modellergebnisse als auch die Messungen aus der Geodäsie nicht eindeutig und in den Beträgen zu gering, um ein großräumig eindeutiges Deformationsbild zu erkennen.

**Weitere Arbeiten**

Derzeit werden die Randbedingungen verfeinert und Parameterstudien für die dynamischen Krastrandbedingungen durchgeführt. Dies ist aber für derart große Modelle nur begrenzt möglich, da das Modell aufgrund seiner Nicht-Linearität mit kleinen Zeitschritten gerechnet werden muß. Um eine Modellzeit von 200.000 Jahren zu rechnen, werden bis zu 48 Stunden reine CPU-Zeit benötigt. Hinzu kommt noch die Wartezeit, bis der Rechner die entsprechenden Kapazitäten, unter anderem ca. 300 Mbyte Arbeitsspeicher und bis zu 1 Gbyte für die Scratchfiles, bereitstellen kann.

Die Arbeit zur geodynamischen Modellierung im Mittelmeerraum wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

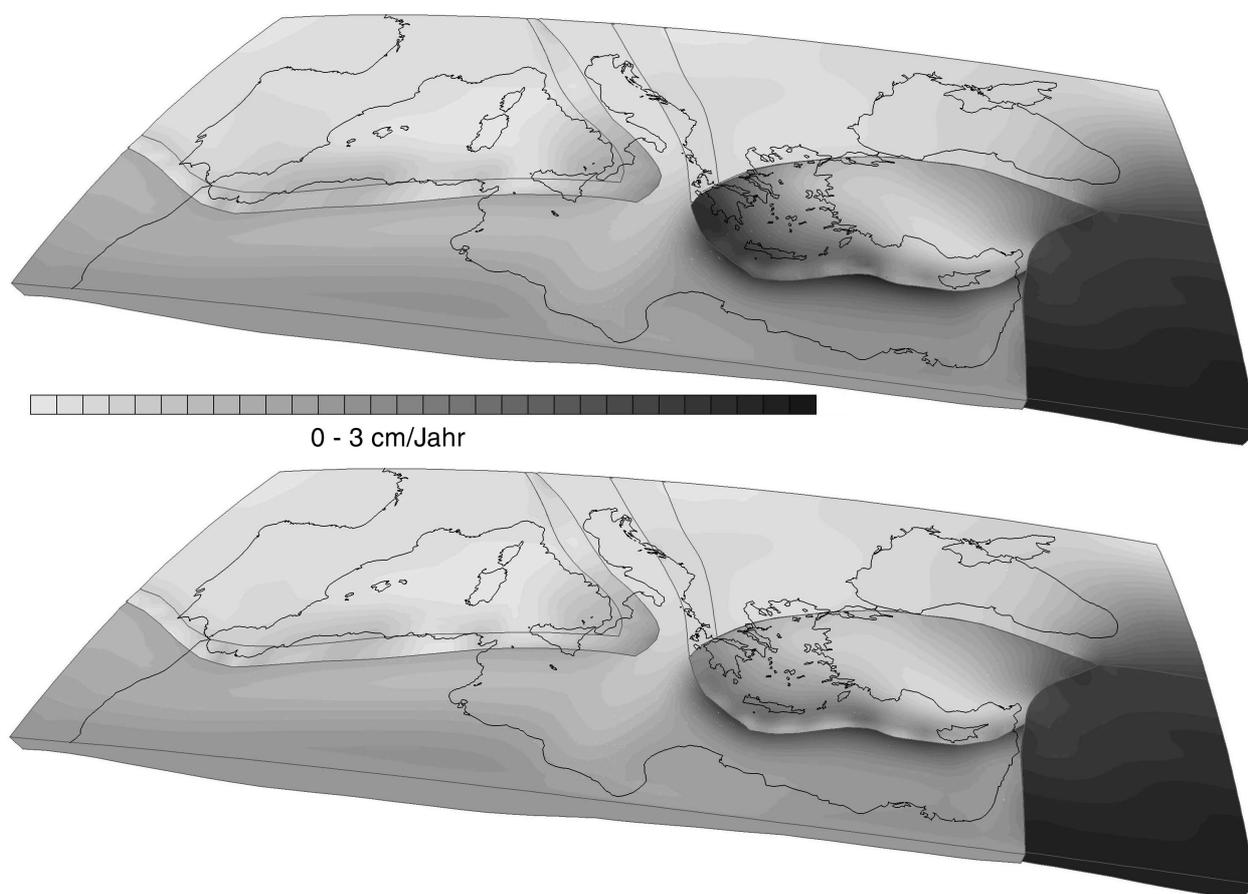


Abb. 3.2.5: Deformations- und Strainfeld aus einer dreidimensionalen dynamischen Modellierung mit Finiten Elementen nach 200.000 Jahren Modellzeit mit visko-elastisch-plastischer Rheologie. Das obere Bild hat auf den dreidimensionalen Reibungsflächen der Subduktion einen Reibungskoeffizienten von 0,3. Im unteren Bild hat dieser einen Wert von 0,7 (siehe auch farbige Darstellung auf dem Titelblatt).

## 4. Darstellungsformen von Meerestopographie und Schwerfeld

*Einen säkularen Meeresspiegelanstieg durch Altimetrie nachzuweisen und alternative Darstellungsformen für das hochauflösende Schwerfeld zu entwickeln und anzuwenden, bleiben langfristige Ziele für die Arbeiten zu Programmpunkt 4. Für eine Parametrisierung der Feinstrukturen des Schwerfeldes bieten sich mehrdimensionale Wavelets an. Damit können Frequenzen nicht nur bestimmt, sondern auch "lokalisiert" werden. Die Grundlagen dafür wurden in Projekt 4.1 weiterentwickelt. Sie sollen eine lokale Schwerfelddarstellung aus den Meßdaten der Schwerfeldmission-CHAMP vorbereiten. Im Projekt 4.2 wurden die Langzeit-Festlegung des mittleren Meeresspiegels mit präzisiertem geozentrischem Bezug und Untersuchungen zur Beschreibung der Meeresvariabilität fortgesetzt. Grundlage ist dafür eine mittlerweile mehr als fünfjährige homogene Modellreihe aus den Daten der Topex/Poseidon-Mission, die es erstmals erlaubt, auch Driftraten für den Meeresspiegel zu schätzen. Sie wurden verglichen mit entsprechenden Zeitreihen für Luftdruck, Meeresoberflächentemperatur und Windfeld. Die Untersuchungen zur simultanen Schätzung von Bahnkorrekturen und Meeresvariabilität wurden fortgesetzt und mit Arbeiten zur Ableitung hochaufgelöster Schwereinformationen aus Altimetrie begonnen. Die Forschungsarbeiten des Projektes 4.2 werden zum Teil als nationales Vorhaben innerhalb der Phase IV des World Ocean Circulation Experiments (WOCE) durchgeführt und vom BMBF gefördert.*

### Projekt 4.1 Mehrdimensionale Wavelets

Nachdem im letzten Jahr der Schwerpunkt der theoretischen Betrachtungen über mehrdimensionale Wavelets auf dem Gebiet der sphärischen Wavelets lag, wurden in diesem Jahr die Überlegungen über die zweidimensionale Wavelet-Theorie in der Ebene vorangetrieben. Allgemein läßt sich die zweidimensionale Wavelet-Transformation durch die Gleichung

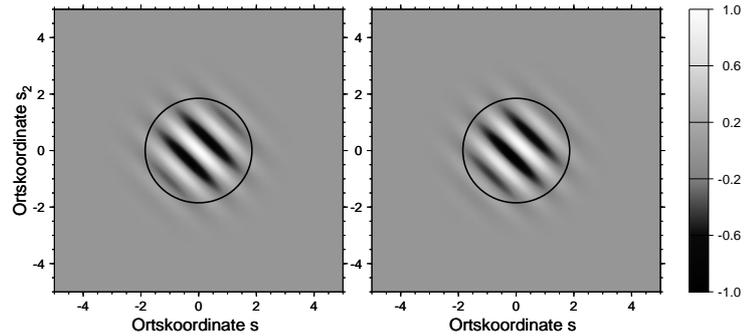
$$X(\mathbf{D}, \mathbf{b}) = |\det \mathbf{D}|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}^2} x(\mathbf{t}) \psi^*(\mathbf{D}^{-1}(\mathbf{t} - \mathbf{b})) dt$$

beschreiben, in der  $\mathbf{t} = [t_1, t_2]^T$  der  $2 \times 1$  Ortsvektor,  $\mathbf{D}$  die reguläre  $2 \times 2$  Dilatationsmatrix,  $\mathbf{b} = [b_1, b_2]^T$  der  $2 \times 1$  Verschiebungsvektor und  $\psi(\mathbf{t})$  die zweidimensionale Wavelet-Funktion bedeuten. Bei der Analyse eindimensionaler Signale hat sich die Morlet-Funktion als geeignet erwiesen, da sie eine optimale Zeit- und Frequenzlokalisierung im Phasenraum bewirkt. Die zweidimensionale Morlet-Funktion  $\psi_M^2(\mathbf{t})$  läßt sich näherungsweise als Produkt zweier eindimensionaler Morlet-Funktion  $\psi_M^1(t_1)$  und  $\psi_M^1(t_2)$  darstellen

$$\psi_M^2(\mathbf{t}) = e^{j\omega_0^T \mathbf{t}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} |\mathbf{t}|^2} = \psi_M^1(t_1) \psi_M^1(t_2) .$$

Darin bedeutet  $\omega_0 = \omega_0 [\cos \vartheta, \sin \vartheta]^T$  einen vorgegebenen  $2 \times 1$  Vektor und  $\sigma$  bestimmt analog zum eindimensionalen Fall die Größe des Ortsfensters. Man erkennt aus der Abbildung 1, in der Real- und Imaginärteil der Morlet-Funktion für  $\omega_0 = 2\pi$ ,  $\vartheta = 45^\circ$  und  $\sigma = 1$  gezeigt sind, daß diese Wavelet-Funktion richtungsselektiv wirkt.

Abbildung 4.1.1:  
Real- (links) und Imaginärteil (rechts) der  
zweidimensionalen Morlet-Funktion



Die Dilatationsmatrix

$$\mathbf{D} = a \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = a\mathbf{A}$$

enthält neben dem Skalierungsparameter  $a$  auch den Drehwinkel  $\theta$  als Variable. Die zweidimensionale Wavelet-Transformation auf der Basis der Morlet-Funktion überführt somit ein zweidimensionales Signal  $x(t_1, t_2)$  in die Funktion  $X(a, \theta, b_1, b_2)$

$$X(a, \theta, \mathbf{b}) = |a|^{-1} \int_{\mathbb{R}^2} x(\mathbf{t}) \psi_M^2\left(\frac{\mathbf{A}^{-1}(\mathbf{t}-\mathbf{b})}{a}\right) d\mathbf{t},$$

die von den vier Variablen  $a$ ,  $\theta$ ,  $b_1$  und  $b_2$  abhängt. Im Gegensatz hierzu ist die zweidimensionale Fourier-Transformation

$$X(j\boldsymbol{\omega}) = \int_{\mathbb{R}^2} x(\mathbf{t}) e^{-j\boldsymbol{\omega}^T \mathbf{t}} d\mathbf{t}$$

eine Funktion von nur zwei Variablen, nämlich den Kreisfrequenzen  $\omega_1$  und  $\omega_2$ , die im  $2 \times 1$  Vektor  $\boldsymbol{\omega}$  zusammengefasst sind. Die Gesamtenergie des Signals  $x(t_1, t_2)$  lässt sich durch

$$E_x = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{\mathbb{R}^2} |X(j\boldsymbol{\omega})|^2 d\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{C_\psi} \int_0^{2\pi} \int_{\mathbb{R}} \int_{\mathbb{R}^2} |X(a, \theta, \mathbf{b})|^2 d\mathbf{b} \frac{da}{|a|^3} d\theta$$

berechnen. Darin bezeichnet man

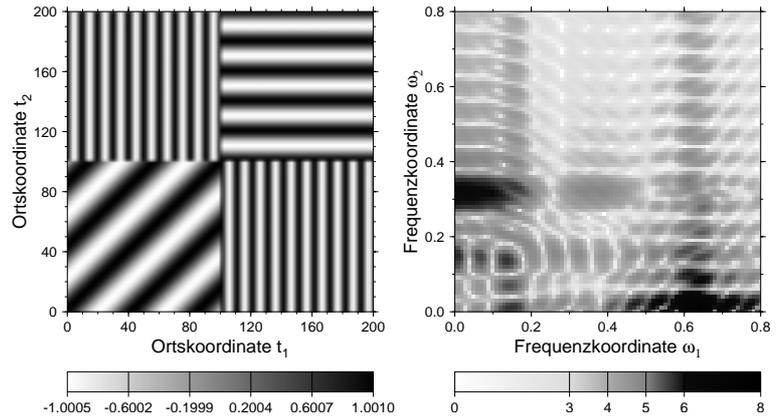
$$S_x(\boldsymbol{\omega}) = |X(j\boldsymbol{\omega})|^2$$

als Fourier-Spektrum und

$$W_x(a, \theta, \mathbf{b}) = |X(a, \theta, \mathbf{b})|^2$$

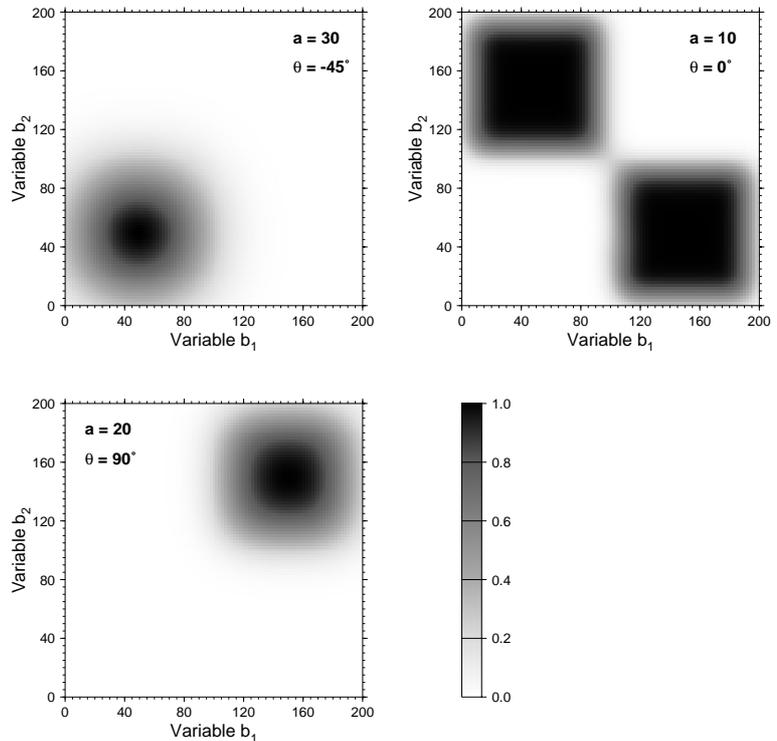
als Wavelet-Spektrum. In Abbildung 4.1.2 ist links eine simulierte Beispielfunktion veranschaulicht, deren Fourier-Spektrum im rechten Teil dargestellt ist. Weiter ist in der Abbildung 4.1.3 das Wavelet-Spektrum für drei verschiedene Wertpaare für  $a$  und  $\theta$  in Abhängigkeit von den Verschiebungsparametern  $b_1$  und  $b_2$  gezeigt.

Abbildung 4.1.2:  
Signal  $x(t)$  (links) und  
Frequenzspektrum  $\log_{10} S_x(\omega)$  (rechts)



Während das Fourier-Spektrum keine räumliche Lokalisierung der einzelnen Signalanteile ermöglicht, ist dies im Wavelet-Spektrum eindrucksvoll gegeben, d.h. die vier verschiedenen Signalanteile werden eindeutig lokalisiert. Getestet wurde die Methode weiter an einem realen Datensatz aus altimetrischen Höhen. So läßt sich z. B. erkennen, ob satellitenspurabhängige Störsignale in den Daten enthalten sind. Weiterhin wurde auch die zweidimensionale diskrete Wavelet-Transformation hergeleitet, die die Grundlage der Multi-Skalen-Analyse bildet. Diese ist nicht nur für die digitale Bildverarbeitung von großer Bedeutung, sondern kann z. B. auch für die Analyse der auf einem Gitter vorliegenden altimetrischen Höhen eingesetzt werden. Grob- und Feinstrukturen lassen sich dann auf einfache Weise trennen.

Abbildung 4.1.3:  
Wavelet-Spektrum  $W_x(a, \theta, \mathbf{b})$



## Projekt 4.2 Modellierung von Meerestopographie und Schwerefeld

### Erweiterung und Pflege der Datenbestände

Die Datenbasis für Topex/Poseidon wurde auf eine Meßperiode von über fünf Jahren erweitert und besteht nun aus den Daten der Zyklen 1 - 195, die den Zeitraum Oktober 1992 - Dezember 1997 abdecken.

Um Untersuchungen zur Langzeitmodellierung des mittleren Meeresspiegels und der Meeresvariabilität interpretieren zu können, wurden außerdem umfangreiche globale Datensätze mit Temperatur-, Luftdruck- und Winddaten an der Meeresoberfläche für den gleichen Zeitraum beschafft und aufbereitet. Nach wie vor stehen die Wasserstände des "Parallel Ocean Climate Modell" (POCM) von Semtner und Chervin zu vergleichenden Untersuchungen zur Verfügung. Sie decken die Periode 1987 - 1996 ab und sollen helfen, die Altimeter-Datenlücke zwischen Geosat und ERS1 zu schließen. Außerdem wurden klimatologische Daten von LEVITUS (1994) bezogen und aufbereitet. Sie dienen einer ersten Abschätzung des sterischen Effekts (Volumenänderung durch Temperaturwechsel), der von der altimetrisch beobachteten Meeresvariabilität abgezogen werden soll, um Volumen- und Massenänderungen trennen zu können.

Die Aufnahme weiterer Topex-Zyklen muß automatisiert werden, um die Datenbestände auch in Zukunft zu aktualisieren und regelmäßig neue Ergebnisse für den Internationalen Service „Monitoring Geophysical Fluids“ bereitstellen zu können. Hierzu wurden bereits Scripts entwickelt, die den gesamten Ablauf steuern.

### 4.2.1 Langzeitmodellierung der Meerestopographie in der Karibik

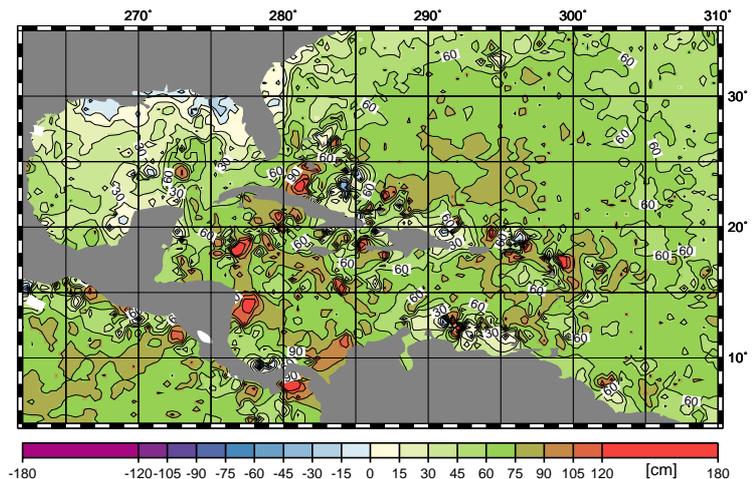
#### Modifiziertes Interpolationsverfahren

Die jetzigen Datenbestände erlauben bereits eine sehr zuverlässige Modellierung des mittleren Meeresspiegels. Neue Berechnungen konzentrierten sich auf den Bereich der Karibik und den Golf von Mexiko, um dort für zukünftige Projekte die Meerestopographie, deren Variabilität und die Langzeitstabilität im Detail zu untersuchen. Um die hohe Auflösung entlang der Bahnspur nicht durch eine grobe Gitterdarstellung zu verlieren, wurde eine mittlere Meerestopographie aus allen 195 Topex/Poseidon 10-Tage-Zyklen nach einem neuen Verfahren geschätzt. In jedem 1-Sekunden Meßpunkt wurden ellipsoidische Meereshöhen berechnet und EGM96-Geoidundulationen direkt, d.h. ohne Interpolation, bestimmt und abgezogen. Die so geschätzten dynamischen Höhen entlang der Bahnspur wurden dann auf ein 20'-Gitter interpoliert, durch einen klein gewählten Einflußkreis jedoch nur für Gitterknoten in unmittelbarer Nachbarschaft der Bahnspur. Die rhombischen Lücken zwischen den Bahnsuren konnten dann mit einem Laplaceschen Interpolationsverfahren, das neben den vorgegebenen Stützwerten keine zusätzlichen Extremwerte erzeugt, gefüllt werden.

Abbildung 4.2.1 zeigt für die Karibik die Ergebnisse dieser Berechnungen. Detailstrukturen, deutlich kleiner als der Abstand der Bahnsuren (er beträgt  $2,8^\circ$  bzw. 300 km am Äquator), sind erkennbar. Die Bahnsuren selbst bilden sich aber nicht ab. Das Interpolationsverfahren hat sich damit grundsätzlich bewährt.

Das Maximum der Meerestopographie nordöstlich von Hispaniola mit Amplituden von 75-90 cm ist das Zentrum des bekannten Subtropen-Wirbels im Nord-Atlantik. Kleinräumige Strukturen bei Kuba, entlang des Puerto-Rico Grabens und nördlich von Venezuela können wegen der Mittelung über fünf Jahre nicht als Altimeterfehler interpretiert werden. Diese Strukturen sind Geoidfehler, die anzeigen, daß selbst das hochauflösende Schwerefeldmodell EGM96 die starken Gradienten, die sich über Tiefseegräben ausbilden, nicht auflösen vermag.

Abb. 4.2.1 Mittlere Meerestopographie in der Karibik, geschätzt aus fünf Jahren Topex/Poseidon Altimetrie und Geoidundulationen des hochauflösenden Schwerefeldmodells EGM96



#### 4.2.2 Untersuchungen und Parametrisierung der Meeresvariabilität

##### Meereshöhenanomalie des Nord-Atlantik Subpolarwirbels

Die bereits im Vorjahr entdeckte Anomalie der Meereshöhen im Nord-Atlantik wurde intensiver untersucht. Der erweiterte Topex/Poseidon-Datensatz zeigt, daß sich auch noch 1997 im Subpolarwirbel ein anomal hoher Meeresspiegel ausgebildet hat. Um die Ursachen für dieses Phänomen näher untersuchen zu können, wurden umfangreiche Datensätze für Meeresoberflächentemperatur, Luftdruck sowie das Windfeld für den Zeitraum 1992-1997 beschafft. Temperatur und Windfeld lagen mit täglicher Auflösung, der Luftdruck sogar mit sechsstündigen Werten vor. Passend zu den Topex/Poseidon-Wiederholzyklen wurden daraus jeweils 10-Tage Mittelwerte gebildet und die Zeitreihen - wie die Altimeterdaten selbst - auf jährliche und halbjährliche Schwingungen untersucht. Die Amplitudenverteilung für den Jahresgang von Meereshöhe und Temperatur sind sehr ähnlich, während die Phasenlage der Temperatur etwa ein bis zwei Monate Vorlauf besitzt. Die Meereshöhenanomalie könnte demnach zum Teil durch Temperatureinflüsse verursacht sein.

Neben den jährlichen und halbjährlichen Schwingungen wurden durchschnittliche Driftraten für Meereshöhen, Temperatur und Luftdruck bestimmt. Sie sind in Abbildung 4.2.2 a-c dargestellt. Es wäre wünschenswert, die Driftraten der Meereshöhen auch mit Pegelregistrierungen zu vergleichen. Allerdings erweisen sich die verfügbaren Datenbestände des PSMSL als nicht aktuell genug:

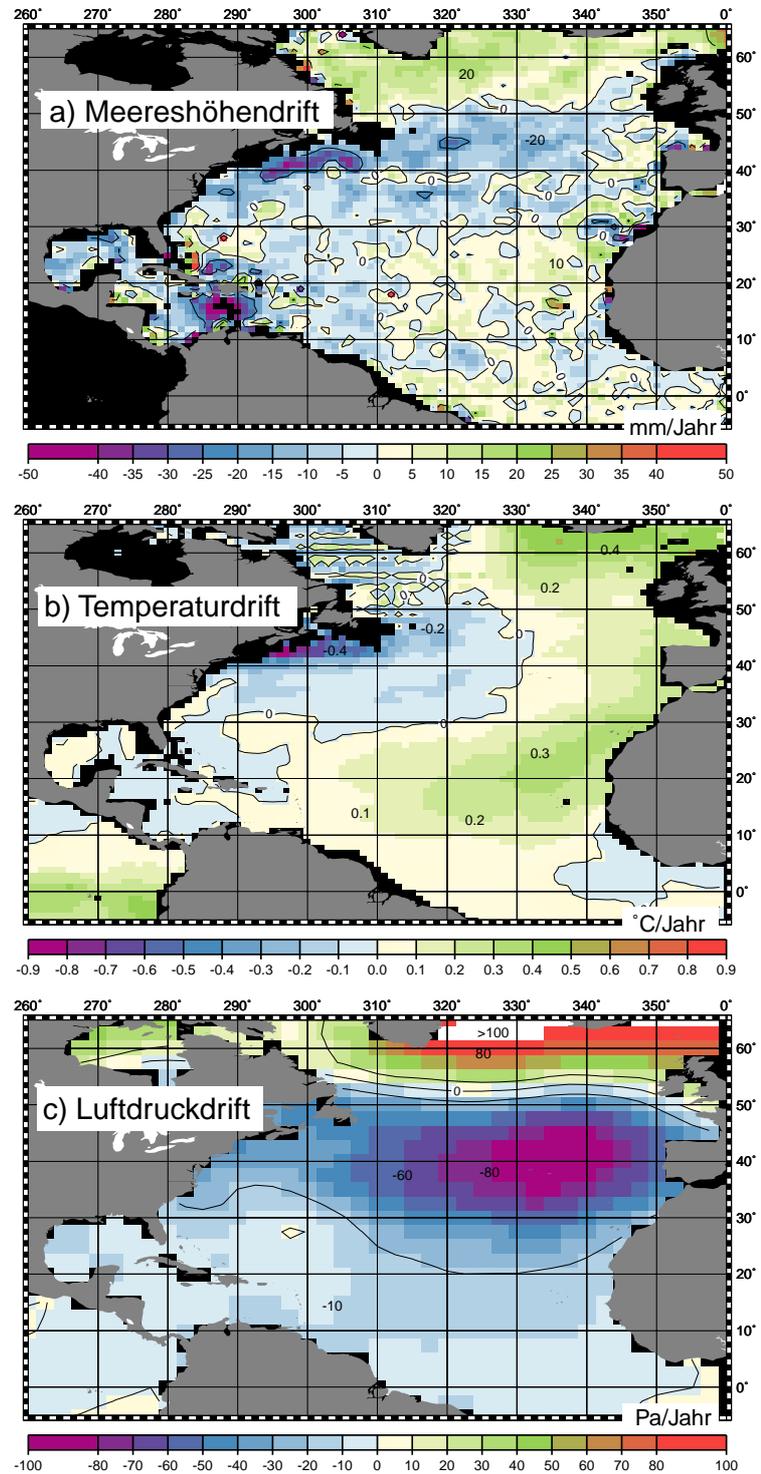
viele Registrierungen sind nur bis 1992 aufgenommen, das Jahr, in dem Topex/Poseidon begonnen hat, zuverlässig zu messen.

Abb. 4.2.2 Mittlere Driftraten für a) Meereshöhen in [mm/Jahr], b) Temperatur an der Meeresoberfläche [°C/Jahr] und c) den auf Meeresniveau bezogenen Luftdruck [Pa/Jahr].

a) Das anomale Verhalten des Subtropenwirbels ist durch den Anstieg der Meereshöhen von mehr als 15mm/Jahr nördlich von 50° Breite und ein Absinken von über 20mm/Jahr südlich von Neufundland gekennzeichnet.

b) Das Muster der Driftraten für die Temperatur ist (a) sehr ähnlich. Das indiziert eine Korrelation zwischen Temperatur und Meereshöhe.

c) Die Driftraten des Luftdrucks weisen zwar ebenfalls einen starken Gradienten entlang von 50° Breite auf, können aber die Meereshöhenanomalie nicht erklären. Die kontroverse „Inverse Barometer-Korrektur“ wurde angebracht. Sie kompensiert die Driftrate der Meereshöhen, d.h. ohne diese Korrektur wäre die Meereshöhenanomalie noch höher ausgefallen.



Die in Abb 4.2.2 dargestellten Driftraten indizieren nicht-periodische, anomale Entwicklungen für den Analysezeitraum 1992-1997 und sollten auf keinen Fall extrapoliert werden.

### **Auswirkungen der Meeresvariabilität auf die Erdrotation**

Die nunmehr über fünfjährige Zeitreihe der aus Topex/Poseidon abgeleiteten Meereshöhenmodelle bietet auch eine Basis, um die Auswirkungen der Meeresvariabilität auf die Erdrotationsschwankungen zu untersuchen. Im Vorjahr wurden bereits Kugelfunktionskoeffizienten niedrigen Grades aus der globalen Variation des Meeresspiegels berechnet. Diese Berechnungen wurden jetzt auf den erweiterten Analysezeitraum 1992- 1997 ausgedehnt. Der zeitliche Verlauf der Koeffizienten  $C_{00}$ ,  $C_{10}$  und  $C_{20}$  weist signifikante Jahresperioden mit Amplituden von 1 - 3 cm auf. Diese sind jedoch zu hoch, um als Massenänderungen erklärt werden zu können.

### **Genäherte Trennung von Volumen- und Massenänderungen**

Um nachzuweisen, daß es sich hier primär um Volumenänderungen durch Erwärmung bzw. Abkühlung der obersten Deckschicht der Ozeane handelt, wurde zunächst die von LEVITUS 1994 veröffentlichte Klimatologie beschafft. Sie enthält auf einem globalen  $1^\circ \times 1^\circ$ -Raster für alle zwölf Monate eines Jahres dynamische Höhen, die aus langjährig gemittelten Profilen für Temperatur und Salzgehalt berechnet wurden. Eine harmonische Analyse der Daten zeigt dominante jährliche Schwankungen, deren räumliche Amplituden- und Phasenverteilung sehr gut mit den Ergebnissen aus der Altimetrie übereinstimmt. Obwohl dabei langfristige Mittelwerte aus der Klimatologie mit nur fünfjährigen Messungen der Altimetrie verglichen wurden, indiziert diese hohe Übereinstimmung, daß die Meeresvariabilität primär durch sterische Effekte verursacht ist. Um in erster Näherung Volumen- und Massenänderungen voneinander zu trennen, können die dynamischen Höhen der LEVITUS-Klimatologie von der altimetrisch bestimmten Meeresvariabilität abgezogen werden. Die mit den Differenzen berechneten Massenänderungen lassen sich dann in Änderungen des Drehimpulses, die sogenannten „Ocean Angular Momentum“ (OAM)-Funktionen, umrechnen und mit Zeitreihen der Erdrotationsparameter vergleichen.

### **Vorbereitung für IERS-Dienst „Monitoring Global Geophysical Fluids“**

Die so aus der Altimetrie abzuschätzenden OAM-Zeitreihen sollen in operationeller Form dem im Aufbau befindlichen Dienst „Monitoring Global Geophysical Fluids“ des International Earth Rotation Service, (IERS) zur Verfügung gestellt werden. Es wurden bereits Kommando-Prozeduren entwickelt, um die notwendige Datenhaltung und die Berechnungen so weit wie möglich zu automatisieren.

### **4.2.3 Simultane Schätzung von Bahnkorrekturen und Meerestopographie**

Die Schätzung von verbesserten harmonischen Koeffizienten des Schwerefeldes aus Kreuzungspunktdifferenzen verschiedener Altimetersatelliten wurde fortgeführt und die Optionen des Analyseprogramms erweitert. Die Fähigkeit, neben Schwerefeldkorrekturen auch Zusatzparameter bestimmen zu können, welche Datumsdifferenzen zwischen einem Referenz-Satelliten (Topex/Poseidon) und anderen beteiligten Satelliten (z.B. Geosat und ERS-1) auf-

### Korrelationen zwischen Datumsparametern und Schwerefeldkoeffizienten

fangen, wurde durch zahlreiche Testrechnungen überprüft. Dabei ergaben sich deutliche Korrelationen zwischen dem relativen Altimeter-Bias  $dr$  und einer Translation  $dz$  des Bezugssystems sowie zwischen den Translationen  $dx$  bzw.  $dy$  und den ersten ungeraden harmonischen Koeffizienten der Ordnung 1, also  $C_{31}$ ,  $C_{51}$ ,  $C_{71}$  bzw.  $S_{31}$ ,  $S_{51}$ ,  $S_{71}$ . Die geschätzten Translationen variieren zudem sehr stark in Abhängigkeit vom höchsten Grad (und Ordnung), die für die Schwerefeldkorrekturen angesetzt wurden. Es ist deshalb sehr schwierig, Translationen des Bezugssystems und niedrige Harmonische voneinander zu trennen.

Um diese Instabilitäten zu beseitigen, wurde das Analyseprogramm um die Fähigkeit erweitert, die volle Varianz-Kovarianz-Matrix des Schwerefeldes als a-priori Information einzuführen. Da die Kreuzungspunktdifferenzen auf Satellitenbahnen beruhen, die mit dem Schwerefeld-JGM3 berechnet wurden, mußte die volle Q-Matrix von JGM3 invertiert werden. Die Inversion wurde erfolgreich durchgeführt. Es erweist sich außerdem, daß für die Datumsparameter selbst ebenfalls a-priori Informationen eingeführt werden müssen. Diese letzte Option ist in Arbeit.

### EOF-Darstellung der Meeresvariabilität

Auch die Untersuchungen zur gleichzeitigen Schätzung von Bahnkorrekturen und Meeresvariabilität wurden fortgesetzt. Die derzeitige Strategie sieht vor, zunächst Empirische Orthogonal-Funktionen (EOF) für die Meeresvariabilität aus der Topex/Poseidon-Mission abzuleiten. Die räumliche Verteilung der dominanten Funktionen soll dann fixiert werden und der zeitliche Verlauf der sogenannten Hauptkomponenten aus gemischten Kreuzungspunktdifferenzen zwischen verschiedenen Altimetermissionen geschätzt werden. Das Verfahren wurde zunächst durch Simulationen erprobt und wird dann auf die simultane Schätzung von Meeresvariabilität und Bahnkorrekturen übertragen.

Die Berechnung der EOF für die globale Darstellung der Meeresvariabilität ist sehr rechen- und speicherintensiv und setzt eine Zeitreihe von Meereshöhen voraus, die a) von Ausreißern bereinigt ist und b) für alle Gitterknoten gleichmäßig vorliegt. Verschiedene Ansätze zur Filterung und Vervollständigung wurden erprobt. Eine vollständige Neuberechnung der EOF ist in Vorbereitung.

### 4.2.4 Kombination Schwerefeldmodelle und hochauflösende Daten

Hochaufgelöste terrestrische Daten werden trotz neuer Satellitenmissionen, wie CHAMP, ihre Bedeutung behalten, z.B. um die sogenannte „Fortsetzung nach unten“ zu stabilisieren. Aus den geodätischen Phasen der Altimetersatelliten ERS-1 und Geosat können solche hochaufgelöste Schweredaten gewonnen werden. Bahnfehler und Meerestopographie sind langwelliger Natur. Neigungen, insbesondere aber die Krümmungen von Meeresoberfläche und Geoid stimmen deshalb hinreichend genau überein. Aus der mittleren Krümmung  $J$  des Geoids läßt sich die zweite radiale Ableitung des Gravitationspotentials  $T_{rr}$  gewinnen - eine unmittel-

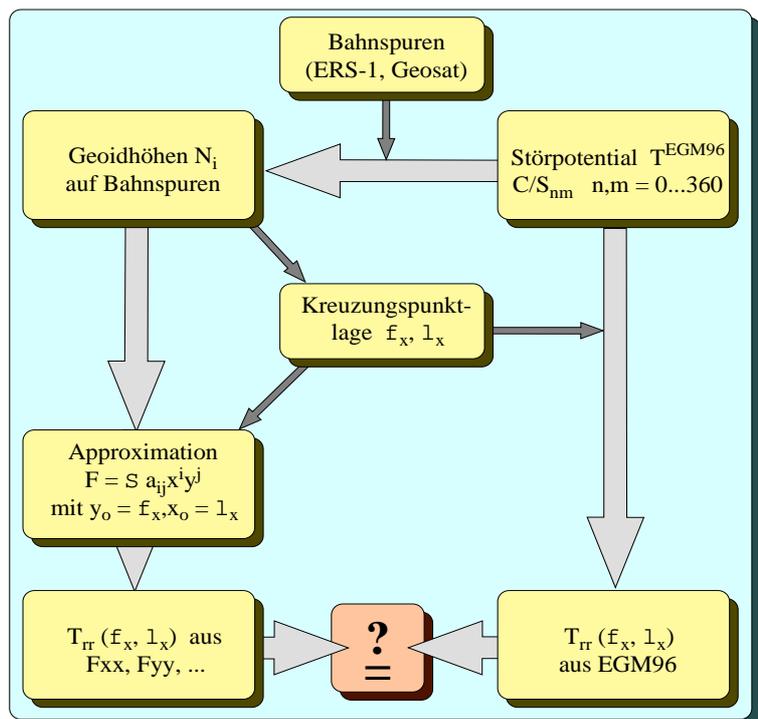
bare Folge der Laplaceschen Differentialgleichung (vergl. HEISKANEN UND MORITZ 1967, S. 52):

$$T_{rr} \approx T_{zz} = - (T_{xx} + T_{yy}) = 2gJ$$

Dieser Zusammenhang zwischen geometrischen und dynamischen Größen ist bereits erfolgreich benutzt worden. Dabei wurden zweite Ableitungen zunächst getrennt entlang von auf- und absteigenden Bahns Spuren gebildet. Nichtorthogonale Schnittwinkel erfordern bei der Kombination jedoch Zusatzinformationen durch hochauflösende Schwerfeldmodelle oder die Kenntnis von Ableitungen rechtwinklig zur Bahns pur. An Kreuzungspunkten läßt sich durch die Approximation lokaler Flächen die Krümmung direkt bilden, wobei für die beiden Bahns puren unterschiedliche Absolutglieder anzusetzen sind, um individuelle Niveaufehler einzelner Bahns puren abzufangen. Durch Kreuzung von Bahns puren verschiedener Satelliten können günstigere Schnittwinkel erreicht und die Zahl der Kreuzungspunkte wesentlich erhöht werden. Das Verfahren erlaubt eine durchgehende strenge Fehlerrechnung für die Krümmungsparameter, bei der auch ungünstige Schnittwinkel berücksichtigt werden.

Die neue Methode wurde überprüft, indem Altimeterhöhen für ERS-1 und Topex-Bahnen durch Geoidundulationen des hochauflösenden Schwerfeldes EGM96 simuliert wurden. Damit können die aus der Flächenapproximation an den Kreuzungspunkten gewonnenen zweiten Ableitungen mit den aus EGM96 direkt abgeleiteten Werten für  $T_{rr}$  verglichen werden. Das Simulationsschema ist in Abb. 4.2.3 dargestellt.

Abb. 4.2.3 Simulationsschema, um die Ableitung von Schweregradienten aus der mittleren Krümmung zu überprüfen



## 5. Wissenschaftlicher Transfer

*Ein wesentliches Ziel dieses Arbeitsprogrammepunktes ist es, die Forschungsergebnisse so aufzubereiten, daß sie der wissenschaftlichen Gemeinschaft und der allgemeinen Öffentlichkeit leicht zugänglich zur Verfügung gestellt werden können. Dazu gehört die Laufendhaltung von Daten- und Informationssystemen sowie die Unterhaltung von Beobachtungseinrichtungen für nationale und internationale Projekte.*

### 5.1 Daten- und Informationssysteme

Auch im Berichtszeitraum wurde vom Geodätischen Informationssystem (GeodIS), das unter der Internet-Adresse

<http://www.dgfi.badw-muenchen.de>

zugänglich ist, reger Gebrauch gemacht. Viele Anfragen kommen aus dem nicht-geodätischen Bereich. Die Informationen werden ständig aktualisiert und ergänzt.

#### Struktur und Inhalte der WWW-Seiten erneuert

Die Grundsätze zur Darstellung des DGFI im Internet wurden im Berichtszeitraum modifiziert. Es entstand das Bedürfnis, das Fachinformationssystem GeodIS, eine Darstellung der Arbeiten des Instituts und den Bereich des Eurolas Data Center (EDC) deutlicher voneinander zu trennen. Außerdem wurde im Internet das Internationale Symposium der IAG, Sektion II, „Towards an Integrated Global Geodetic Observing System“ (IGGOS), das im Oktober 1998 bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften stattfand, angekündigt. Dazu wurden zahlreiche Internet-Seiten umgestaltet, ergänzt und mit einem neuen, ansprechenderen Design versehen. Der Einstieg erfolgt nun über eine DGFI-Homepage, die u.a. Verweise auf das GeodIS, das Eurolas Data Center (EDC) und das IGGOS-Symposium enthält. Als wesentliche Veränderungen sind zu nennen:

- Führen eines Kalenders der die wichtigsten nationalen und internationalen Tagungen enthält und - soweit verfügbar - unmittelbar auf die entsprechenden WWW-Seiten der Veranstalter mit Detail-Informationen verweist.
- Neben einer Liste der Veröffentlichungen werden auch Poster und Vorträge der Mitarbeiter des DGFI aufgeführt. Es wurde damit begonnen, einige Dokumente on-line zur Verfügung zu stellen.
- Eine Liste der bisher erschienenen CSTG-Bulletins wurde aufgenommen. Bulletin No. 13 kann als Postscript-Datei kopiert werden.
- Die DGK-Seiten wurden erheblich überarbeitet und der vollständige Katalog der bisherigen DGK-Veröffentlichungen ins Internet gestellt.
- Die Darstellung der plattenkinematischen Modelle wurde erneuert und durch zusätzliche Modelle ergänzt.
- Die Liste der geodätischen Universitäts- und Forschungsinstitute in Deutschland wurde vervollständigt und mit Verweisen auf die Startseiten der jeweiligen Institute versehen.

Auch für das IGGOS-Symposium wurden ein erstes und zweites Zirkular auf den WWW-Server des DGFI gestellt. Dabei wurde über Ort, Zeit, Zielsetzung, Anmeldung und Zeitplan informiert. Interessierte Teilnehmer konnten sich on-line anmelden und kurz vor dem Symposium das detaillierte Programm sowie alle Kurzfassungen der angemeldeten Beiträge einsehen.

**GeodIS** Der "anonyme ftp"-Server fand ebenfalls viel Interesse: insgesamt (pub- und incoming-Verzeichnis) griffen 559 (237) Nutzer aus 51 (39) Ländern zu, wobei in den Klammern die Zahlen vom Berichtszeitraum 1996/97 wiedergegeben sind. Es wurden 63406 Files (56137) mit 2219.9 MByte (3423.8) transferiert. Der durchschnittliche Datentransfer betrug 6.1 MByte pro Tag mit 174 versendeten Dateien.

Die meisten Zugriffe stammen von den SLR-Nutzern in dem Verzeichnis pub/laser. Hier griffen 303 Nutzer aus 39 Ländern zu. Dabei wurden 57439 Files mit 1291.6 MByte übertragen.

#### **EUROLAS Data Center (EDC)**

Im Berichtszeitraum wurde der "International Laser Ranging Service (ILRS)" eingeführt (siehe Projekt 2.2.1). Das EDC ist im ILRS als globales Datenzentrum bestätigt worden. Die "Terms of Reference" für das ILRS legen die Aufgaben für ein globales Datenzentrum fest. Diese Anforderungen enthalten die folgenden Aktivitäten:

- Archivierung und Verteilung der globalen "normal point"-Datensätze für alle beobachteten Satelliten,
- Halten von Stations- und meteorologischen Daten,
- Archivierung und Verteilung von wissenschaftlichen Datenprodukten aller ILRS "Analysis" und "Associate Analysis Centers".

Neben der Aufgabe des globalen ILRS-Datenzentrums hat sich das DGFI auch als "Associate Analysis Center" beworben und wurde als solches akzeptiert. Alle geforderten Produkte für das ILRS werden am EDC zur Verfügung gestellt und sind über den "anonymen ftp"-Server bzw. auf dem World Wide Web (WWW) erhältlich (Adresse: <http://www.dgfi.badw-muenchen.de>). Das Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) der NASA hat für das ILRS Web-Seiten eingerichtet, die am EDC gespiegelt werden. Änderungen von ILRS-Web-Seiten beim CDDIS werden täglich geprüft und am EDC aufdatiert.

Zusätzliche Arbeiten entstanden wiederum durch die vom SLR/LLR Steering Committee angenommenen und unterstützten Projekte.

Satellit	Passagen (seit Okt.95 global)		Satellit	Passagen (seit Okt.95 global)	
	Zuwachs 10/97 - 09/98	gesamt		Zuwachs 10/97 - 09/98	gesamt
STARLETTE	5 680	15 657	GPS-35	568	1 713
AJISAI	7 731	21 229	GPS-36	471	1 328
LAGEOS-1	6 249	16 611	GLONASS-62	21	21
LAGEOS-2	5 084	14 649	GLONASS-63	1	1 942
ETALON-1	604	2 129	GLONASS-64	8	8
ETALON-2	800	2 197	GLONASS-65	245	245
ERS-1	848	4 835	GLONASS-66	250	511
ERS-2	4 574	14 472	GLONASS-67	1590	4180
TOPEX/POSEIDON	7 322	21 481	GLONASS-68	6	6
STELLA	4 222	11 355	GLONASS-69	18	18
METEOR-3	-	409	GLONASS-70	8	8
GFZ-1	1 456	5 583	GLONASS-71	1 505	1 508
FIZEAU	1 662	4 211	GLONASS-72	14	14
RESURS-01-3	755	1 993	GLONASS-74	8	8
TiPS	12	1 849	GLONASS-75	1	1
ADEOS	-	671	GLONASS-76	3	3
ZEIA	-	146	GLONASS-77	6	6
DIADEME-1C	392	1 393	GLONASS-79	15	15
DIADEME-1D	488	1 585			
GFO-1	1 428	1 428			
GEOS-3	16	16			
WESTPAC-1	465	465	<b>Gesamtsumme</b>	<b>54 526</b>	<b>174 899</b>

Tab. 5.1.1: Bestand der EDC-Datenbank am 01.10.98 für das Produkt "Quick-Look"-Daten

Dazu gehören die wieder aufgenommene Beobachtung von GEOS-3, die Beobachtung der neuen Satelliten GFO-1 und WESTPAC-1 sowie die Vorbereitung des Internationalen GLONASS-Experiments (IGEX98, GLONASS Tracking Campaign). Für die Kampagne-IGEX98 wurde ein automatischer Prozeß für die GLONASS-Orbits (9 Satelliten) installiert, der die täglich vom Royal Greenwich Observatory (RGO) erzeugten Satellitenbahnvorhersagen auf dem "anonymen ftp"-Server ablegt und an interessierte Nutzer per E-mail verschickt. Ein weiterer ähnlicher Prozeß liefert dasselbe für die beiden Satelliten GPS-35 und GPS-36. Von den bisher 48 beobachteten Satelliten wird momentan zu 31 Satelliten gemessen.

Die Tabelle 5.1.1 gibt den Bestand der EDC-Datenbank am 01.10.1998 für die "quick-look"-Daten bzw. "on-site normal points" wieder.

#### Deutsches Schwerearchiv für Punktschwerewerte

Im Berichtszeitraum wurden 16 Anfragen zur Ermittlung interpolierter Schwerewerte für physikalische Labors (meist Druckwaagen-Kalibrierung) bearbeitet.

#### Intranet

Die Ausstattung der wissenschaftlichen Arbeitsplätze mit Linux-PCs wurde abgeschlossen und eine einheitliche Benutzer- und Hardwareverwaltung eingeführt. Auf allen Linux-Rechnern werden Datensicherungen mit ADSM (Addstar Data Storage Manager) auf den Sicherungsbändern des Leibniz-Rechenzentrums gemacht. Ein eigener Intranet-Server zur Verteilung interner Informationen und zur Verwaltung der Hard- und Software ist in Betrieb.

## 5.2 Beobachtungsstationen und Meßeinrichtungen

Das DGFI unterhält mehrere Beobachtungsstationen und Meßeinrichtungen im In- und Ausland für nationale und internationale Projekte bzw. Nutzer. Diese Arbeiten sind nicht direkt in das Forschungsprogramm des DGFI eingebunden, sondern stellen eine Dienstleistung für die wissenschaftliche Gemeinschaft dar.

### Normalstrecke Ebersberger Forst

Im Berichtszeitraum wurde die Normalstrecke für Längenmeßgeräte des DGFI von drei Institutionen zwanzigmal genutzt.

### Raumbeobachtungsstation Maracaibo/Venezuela

Die im Mai 1995 auf dem Gelände der Ingenieur-Fakultät der Zulia-Universität in Maracaibo, Venezuela, installierte PRARE-Beobachtungsstation führt die Messungen zum Satelliten-ERS-2 fort. Seit Juni 1998 kam es zu einigen Ausfällen bei der Datenerfassung, die vermutlich auf einen instrumentellen Fehler zurückzuführen sind. Von den PRARE-Betreibern (GFZ Potsdam) wird die Station Maracaibo zum "Kern-Netz" gezählt, so daß eine Auswechslung eventuell fehlerhafter Komponenten durchgeführt werden soll.

Im Februar 1998 wurde vom DGFI eine GPS-Station auf demselben Gelände, wenige Meter von der PRARE-Station entfernt, aufgebaut. Seit März 1998 werden die Beobachtungen regelmäßig im IGS-Regionalnetz für Südamerika (RNAAC-SIRGAS, siehe Projekt 3.2.1) verarbeitet und liefern damit einen Beitrag zum globalen Polyeder des IGS-Referenzsystems.

## 6. Verschiedenes

### 6.1 Veröffentlichungen

- Baumgartner, M.: Betrachtungen zu Kreuzungspunktdifferenzen. Geodätische Woche, Berlin 1997.  
[http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/mbaumgartner\\_gw97.ps](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/mbaumgartner_gw97.ps) (extended abstract)
- Dill, R.: Einfluß globaler Massenänderungen auf die Erdrotation. Geodätische Woche, Berlin 1997.  
[http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/rdill\\_gw97.ps](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/rdill_gw97.ps) (extended abstract)
- Drewes, H.: Scientific Assembly der Internationalen Assoziation für Geodäsie, Rio de Janeiro, September 1997; Symposium 3: Geodynamics. ZfV(122), 592-593, 1997.
- Drewes, H.: Realisierung des geozentrischen Referenzsystems für Südamerika (SIRGAS). DVW Schriftenreihe (28) 54-63, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1997.
- Drewes, H., L.P. Fortes, M.J. Hoyer, R. Barriga: Status report on the SIRGAS project. IGS 1996 Annual Report, 433-436, Pasadena, 1997.
- Drewes, H.: Time evolution of the SIRGAS reference frame. In: Brunner, F.K. (Ed.), Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118), 174-179, Springer, Berlin, 1998.
- Drewes, H.: Combination of VLBI, SLR and GPS determined station velocities for actual plate kinematic and crustal deformation models. In: R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (Eds.), Geodesy on the Move, IAG Symposia (119), 377-382, Springer, Berlin, 1998.
- Drewes, H., H. Tremel, J.N. Hernandez: Adjustment of the new Venezuelan national GPS network within the SIRGAS reference frame. In: Brunner, F.K. (Ed.), Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118), 193-198, Springer, Berlin, 1998.
- Grafarend, E., J. Engels, B. Richter: Zur Kinematik des Drehvektors im raumfesten und im körperfesten System. Geodätische Woche, Berlin 1997.  
[http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/brichter\\_gw97.ps](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/brichter_gw97.ps) (extended abstract)
- Haas, R., H.-G. Scherneck, H. Schuh: Atmospheric loading corrections in geodetic VLBI and determination of atmospheric loading coefficients. In: Pettersen, B.R. (Ed.) Proc. of the 12th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Hønefoss, Norwegen, September 1997, Statens Kartverk, 122-132, 1997.
- Haas, R., H. Schuh: Ocean loading observed by VLBI. In: B. Ducarme, P. Paquet (Eds.), Proc. of the 13th Int. Symposium on Earth tides, Brussels, 1997. Observatoire Royal de Belgique, Série Géophysique, 111-120, 1998.
- Heidbach, O., H. Drewes: Modellierung der Erdkrustendeformationen mit MARC K6.2. Tagungsbuch 1997 MARC Benutzertreffen, MARC Software Deutschland GmbH, Aschheim, Kapitel 32, 8 Seiten, 1997.
- Hoyer, M., S. Arciniegas, K. Pereira, H. Fagard, R. Maturana, R. Torchetti, H. Drewes, M. Kumar, G. Seeber: The definition and realization of the reference system in the SIRGAS project. In: Brunner, F.K. (Ed.), Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118), 167-173, Springer, Berlin, 1998.
- Kaniuth, K.: The impact of reference frame realization errors on relative positioning in regional GPS networks. Veröff. Bayer. Komm. Int. Erdm., Heft 58, 237-242, 1997.

- Kaniuth, K.: Exploiting the SIRGAS colocations for determining elevation dependent phase center variations of geodetic GPS antennas. In: Brunner, F.K. (Ed.), *Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118)*, 289-294, Springer, Berlin, 1998.
- Kaniuth, K., H. Drewes, K. Stuber, H. Tremel, J. Moirano: Results of the SIRGAS 95 GPS network processing at DGFI/I. In: Brunner, F.K. (Ed.), *Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118)* 180-186, Springer, Berlin, 1998.
- Kaniuth, K., H. Drewes, K. Stuber, H. Tremel, N. Hernandez, M. Hoyer, E. Wildermann, H.-G. Kahle, A. Geiger, C. Straub: Crustal deformation along the Caribbean-South American plate boundary derived from the CASA GPS project. In: R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (Eds.), *Geodesy on the Move, IAG Symposia (119)*, 417-422, Springer, Berlin, 1998.
- Kaniuth, K., D. Kleuren, H. Tremel: Sensitivity of GPS height estimates to tropospheric delay modelling. *AVN 6*, 200-207, 1998.
- Kaniuth, K., H. Müller, A. Nothnagel, H. Tremel: Adjustment of a European combined GPS-SLR-VLBI fundamental network. In: R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (Eds.), *Geodesy on the Move, IAG Symposia (119)*, 371-376, Springer, Berlin, 1998.
- Moirano, J., C. Brunini, H. Drewes, K. Kaniuth: Metodología para la integración de la red POSGAR al marco de referencia de SIRGAS. *Actas de la 19a reunión científica de Geofísica y Geodesia*, 386-390, San Juan/Argentina, 1997.
- Moirano, J., C. Brunini, H. Drewes, K. Kaniuth: Realization of a geocentric reference system in Argentina in connection with SIRGAS. In: Brunner, F.K (Ed.), *Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118)*, 199-204, Springer, Berlin, 1998.
- Petrov, L., H. Schuh: Long-period Love and Shida numbers determined from VLBI station displacements due to pole tide. In: B. Ducarme, P. Paquet (Eds.), *Proc. of the 13th Int. Symposium on Earth tides, Brussels, 1997. Observatoire Royal de Belgique, Série Géophysique*, 123, 1998.
- Schmitz-Hübsch, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Wavelettransformation bei der Analyse von Erdrotationsparametern. *Geodätische Woche, Berlin 1997*.  
[http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/Hschmihue\\_gw97.ps](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/Hschmihue_gw97.ps) (extended abstract)
- Schuh, H., R. Haas: Bestimmung von Gezeiten-Deformationsparametern mit VLBI. *Geodätische Woche, Berlin 1997*. [http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/hschuh\\_gw97.ps](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/hschuh_gw97.ps) (extended abstract)
- Schuh, H., R. Haas: Earth tides in VLBI observations. In: B. Ducarme, P. Paquet (Eds.), *Proc. of the 13th Int. Symposium on Earth tides, Brussels, 1997. Observatoire Royal de Belgique, Série Géophysique*, 101-110, 1998.
- Schuh, H., D. Salstein, P. Gegout, V. Dehant, J. Sündermann: Effects of the atmosphere, ocean and core on nutation, polar motion and length of day. *EGS Newsletter, No. 67*, 12-13, 1998.
- Seemüller, W., K. Kaniuth, H. Drewes: Report on the Regional Network Associate Analysis Center for South America. *IGS 1996 Annual Report*, 311-315, Pasadena 1997.
- Seemüller, W., H. Drewes: The IGS Regional Network Associate Analysis Center for South America at DGFI. *1998 Analysis Center Workshop, Proceedings*, 381-394, 1998.
- Seemüller, W., H. Drewes: The IGS regional network associate analysis center for South America at DGFI/I. In: Brunner, F.K. (Ed.), *Advances in Positioning and Reference Frames, IAG Symposia (118)*, 211-216, Springer, Berlin, 1998.
- Tremel, H., S. Pfeiler: Auswertung des Red Geodesica Venezolana, REGVEN. *Interner Bericht HT/SP/69/97/DGFI/Abt.I*, München, 1997.

## 6.2 Vorträge und Poster

- Baumgartner, M.: Betrachtungen zu Kreuzungspunktdifferenzen. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.
- Baumgartner, M., W. Bosch, J. Bock, M. Schmidt: North Atlantic sea surface variability - a comparison between altimetry and numerical modelling. Poster, Symposium G5, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 23.04.1998.
- Bock, J. : Abschätzung einer dynamischen Topographie für den Nordatlantik aus Altimeterdaten. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.
- Bock, J.: Bestimmung der Variabilität der mittleren Zirkulation im Nordatlantik. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.
- Bock, J., W. Bosch: The 1996 sea surface height anomaly of the North Atlantic subpolar gyre. Poster, WOCE Congress, Halifax, Kanada, 27. - 30.04.1998.
- Bosch, W.: Langperiodische Modellierung der absoluten Meerestopographie - Statusbericht, WOCE IV Statusseminar, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, 27.11.1997.
- Bosch, W.: Investigation on absolute dynamic sea surface topography in the Caribbean. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 23.02.1998.
- Bosch, W.: Caribbean sea surface variability - A four years time series. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 24.02.1998.
- Bosch, W.: Satellite Altimetry. Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 25.02.1998.
- Bosch, W.: The 1996 sea surface height anomaly of the North Atlantic subpolar gyre. Symposium G5, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 23.04.1998.
- Bosch, W., J. Bock: The 1996 sea surface height anomaly of the North Atlantic subpolar gyre. Poster, Symposium OA1, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 20.04.1998.
- Bosch, W., M.Schmidt: EOF- and wavelet analysis of the sea surface variability. Poster, Symposium G5, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 23.04.1998.
- Dill, R.: Einfluß globaler Massenänderungen auf die Erdrotation. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.
- Dill, R.: Einfluß globaler Massenverlagerungen auf die Erdrotation. Seminar Astrometrie und Weltraumgeodäsie, Astronomische Institute der Universität Bonn, Bonn, 15.12.1997.
- Dill, R.,H. Drewes, B. Richter, H. Schuh: Influence of global mass displacements on Earth rotation, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 23.04.1998.
- Dill, R., H. Drewes, B. Richter, H. Schuh: Einfluß globaler Massenverlagerungen auf die Erdrotation, DFG-Forschungsvorhaben "Rotation der Erde", Arbeitssitzung des Bereiches Modellierung, Höllenstein, 29.04.1998.
- Drewes, H.: Die Arbeiten des DGFI/Abt. I in den Jahren 1996/97. Jahresvollsitzung der DGK, BAdW, München, 27.11.1997.
- Drewes, H.: Deformaciones de la corteza terrestre a lo largo del límite de las placas del Caribe y de Sudamérica en Venezuela determinadas por el proyecto CASA. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 24.02.1998.
- Drewes, H.: Veinte años del control gravimétrico de alta precisión a lo largo de la falla de Boconó en los Andes Venezolanos. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 24.02.1998.

- Drewes, H., N. Hernandez, H. Tremel: REGVEN - La Red Geodésica Venezolana; Procesamiento de los datos y uso futuro de las coordenadas. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 25.02.1998.
- Drewes, H.: Proyectos de cooperación entre el DGFI e instituciones venezolanas. III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 25.02.1998.
- Drewes, H.: Aufgaben und Projekte des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts. 23. Sitzung des Deutschen Landesausschusses für das Internationale Lithosphärenprogramm (ILP), München, 12.03.1998.
- Drewes H.: Realisierung des kinematischen terrestrischen Referenzsystems ohne globale Rotation („no net rotation“). DFG-Rundgespräch „Bezugssysteme“, Höllenstein, 29.04.1998.
- Drewes, H.: Geodätische Referenzsysteme und Geodynamik. Geod. Kolloquium, TU Dresden, 17.06.1998.
- Drewes, H.: Definición y realización de un sistema de referencia vertical. Workshop SIRGAS Working Group III, Santiago, Chile, 10.08.1998.
- Drewes, H.: Realization of the No Net Rotation reference frame. IERS Workshop, Potsdam, 29.09.1998.
- Gerstl, M.: Bezugssysteme der Satellitengeodäsie. DFG-Rundgespräch „Bezugssysteme“, Höllenstein, 29.04.1998.
- Heidbach, O.: Modellierung der Erdkrusten-Deformationen mit MARC K6.2. MARC Benutzertreffen , München, 16.10.1997.
- Heidbach, O.: Deformation der Lithosphäre im Mittelmeerraum mit Finiten Elementen. Workshop Geodynamik, Neustadt a.d. Weinstraße, 24.09.1998.
- Heidbach, O., H.C. Soffel, H. Drewes: Modellierung von Lithosphärendeformationen im Mittelmeerraum mit Finiten Elementen. 58. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Göttingen, 03.04.1998.
- Heidbach, O., H. Drewes, H.C. Soffel: A model of Mediterranean lithospheric deformation with finite elements. EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 20.04.1998.
- Kaniuth, K.: Effects of reference frame biases and modeling errors on regional GPS networks, Universität La Plata/Argentinien, 12.12.1997.
- Kaniuth, K., D. Kleuren, H. Müller: Improving the GPS height and troposphere estimation capabilities in context with the Bernese Software. EUREF Symposium, Bad Neuenahr, 12.06.1998.
- Kaniuth, K., K. Stuber: On the accuracy and reliability of height estimates in regional GPS networks. Int. Symp. Geodynamics of the Alps-Adria area by means of terrestrial and satellite methods, Dubrovnik, Kroatien, 29.09.1998.
- Richter, B.: Zur Kinematik des Drehvektors im raumfesten und im körperfesten System. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.02.1997.
- Richter, B.: Relation between precession/nutation and polar motion derived by a synthetic approach. Journées 1998 Systèmes de référence spatio-temporels, Observatoire de Paris, Paris, Frankreich, 22.09.1998.
- Schmidt, M.: Konzept zur Schätzung regionaler Schwerefeldparameter aus CHAMP-Beobachtungen. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.
- Schmidt, M.: Grundlagen der Wavelet-Analyse und Anwendungen. Lehrstuhl für Geodynamik-Physik der Lithosphäre der Universität Bonn, Bonn, 03. und 04.06.1998.
- Schmitz-Hübsch, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Wavelettransformation bei der Analyse von Erdrotationsparametern. Geodätische Woche, TU Berlin, 06.10.1997.

- Schmitz-Hübsch, H.: Die Wavelet-Transformation zur Analyse von Erdrotationsparametern. Arbeitskreis Geodäsie/Geophysik, Physikzentrum, Bad Honnef, 24.11.1997.
- Schmitz-Hübsch, H.: Wavelet Analysis of Earth Rotation, III Congreso Venezolano de Geodesia, Venezuela, 22.02.1998.
- Schmitz-Hübsch, H., W. Bosch: Wavelet analysis of polar motion and angular momentum time series. Poster, Symposium G12, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 23.04.1998.
- Schmitz-Hübsch, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Wavelettransformation bei der Analyse von Erdorientierungsparametern. Oberseminar Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 19.06.1998.
- Schuh, H.: Bestimmung von Gezeiten-Deformationsparametern, Geodätische Woche, TU Berlin, 07.10.1997.
- Schuh, H.: Die Radiointerferometrie auf langen Basislinien als hochgenaues geodätisches Meßverfahren. Geodätisches Kolloquium der Univ. Stuttgart, Stuttgart, 09.01.1998.
- Schuh, H.: The rotation of the Earth observed by VLBI. 6th International Winter Seminar on Geodynamics, Sopron, Ungarn, 26.02.1998.
- Schuh, H., W. Schwegmann: First steps towards real-time VLBI. Symposium G15, EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 20.04.1998.
- Schuh, H.: Echtzeitnahe VLBI. DFG-Rundgespräch „Bezugssysteme“, Höllenstein, 30.04.1998.

### 6.3 Tagungen, Konferenzen, Symposien

- Geodätische Woche, TU Berlin, 06.-09.10.1997 (Baumgartner, Bock, Richter, Schmidt, Schmitz-Hübsch, Schuh).
- EUROLAS-Meeting zur Diskussion der Beteiligung von EUROLAS am „International Laser Ranging Service (ILRS)“, DGFI, München, 12./13.11.1997 (Drewes, Müller, Seemüller).
- Jahresvollsitzung der DGK, Bayer. Akademie der Wissenschaften, München, 26.-28.11.1997 (Drewes, Hornik).
- WOCE IV Statusseminar und WOCE Komiteesitzung, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, 27./28.11.1997 (Baumgartner, Bock, Bosch).
- EUREF Technical Working Group, TU Delft, 04./05.12.1997 (Hornik).
- DVW-Seminar „Aktuelles zum Entstehen von dreidimensionalen Koordinaten und Höhen“, LVA München, 21.01.1998 (Kaniuth, Tremel)
- HPPS-Seminar, LGN Hannover, 05.02.1998 (Kaniuth)
- IGS Analysis Center Workshop, ESOC Darmstadt, 09.-11.02.1998 (Kaniuth, Seemüller)
- III Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 23.-26.02.1998 (Bosch, Drewes, Schmitz-Hübsch)
- 6th International Winter Seminar on Geodynamics, Variation of the Earth Rotation, Sopron, Ungarn, 23.-27.02.1998 (Dill, Schuh)
- EUREF Technical Working Group, Budapest, 9./10.03.1998 (Hornik)
23. Jahressitzung des Deutschen Landesausschusses für das Internationale Lithosphären-Programm (ILP), München, 12./13.03.1998 (Drewes, Bosch, Heidebach)
- Multimedia-Werkstatt, Fachhochschule München, 1./2.04.1998 (Müller)

- CSTG/SLR/LLR Subcommission Steering Committee Meeting, Nizza, Frankreich, 18.04.1998 (Drewes, Seemüller)
- CSTG Executive Committee Meeting, Nizza, Frankreich, 19.04.1998 (Drewes)
- IERS Directing Board Meeting, Nizza, Frankreich, 19.04.1998 (Drewes)
- EGS XXIII General Assembly, Nizza, Frankreich, 20. -24.04.1998 (Baumgartner, Bosch, Dill, Drewes, Heidbach, Schmitz-Hübsch, Schuh, Seemüller)
- CSTG/VLBI-Subcommission Meeting, Nizza, Frankreich, 21.04.1998 (Drewes, Schuh)
- CSTG/SLR/LLR-Subcommission Meeting, Nizza, Frankreich, 21.04.1998 (Drewes, Seemüller)
- 1st Meeting of the IAG/ETC Working Group 6, "Solid Earth Tides in Space Geodetic Techniques" Nizza, Frankreich, 22.04.1998 (Dill, Schuh)
- Arbeitssitzung des Bereichs "Modellierung" innerhalb des DFG-Forschungsvorhabens "Rotation der Erde", Höllenstein, 28.04.1998 (Dill, Drewes, Gerstl, Richter, Schuh)
- DFG-Rundgespräch „Bezugssysteme“, Höllenstein, 29./30.04.1998 (Dill, Drewes, Gerstl, Richter, Schuh)
- Dead Sea Research Project Workshop, Amman, Jordanien, 07./08.06.1998 (Drewes)
- EUREF Symposium - Vorbereitung, Bad Neuenahr, 07./08.06.1998 (Hornik)
- EUREF Technical Working Group, Bad Neuenahr, 09.06.1998 (Hornik)
- EUREF Symposium, Bad Neuenahr, 10.-12.06.1998 (Hornik, Kaniuth)
- Expertenrunde Runder Tisch GIS, Geodätisches Institut, TU München, 17.06.1998 (Bosch, Müller)
- Statusseminar „Referenznetz Antarktis II“, Dresden, 02./03.07.1998 (Drewes)
- V. Congreso de Ciencias de la Tierra, Workshop SIRGAS Working Group III, Santiago, Chile, 10.-14.08.1998 (Drewes)
- MARC Spezialkurs „Analysis of non-linear material behaviour“, Aschheim, 17.-18.09.1998 (Heidbach)
- Journées 1998 Systèmes de référence spatio-temporels, Paris, Frankreich, 21.-23.09.98, Paris, Frankreich, 21.-23.09.1998 (Richter, Schuh)
- Eleventh International Workshop on Laser Ranging, Deggendorf, 21.-25.09.1998 (Cuno, Drewes, Kaniuth, Kelm, Seemüller)
- Workshop Geodynamik, Neustadt a.d. Weinstraße, 24.09./25.09.1998 (Heidbach)
- MARC Spezialkurs „User subroutines“, Aschheim, 23.09.1998 (Heidbach)
- IERS Workshop, Potsdam, 29.09.1998 (Drewes, Schmitz-Hübsch, Schuh)
- Int. Symp. Geodynamics of the Alps-Adria Area by means of Terrestrial and Satellite Methods, Dubrovnik, Kroatien, 28.09.-02.10.1998 (Kaniuth)

## 6.4 Gäste

- 03.11.1997: Dr. J. Behrens, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- 20.11.-21.11.1997: Frau A. Meza, Universidad de La Plata, Argentina (Vortrag über Modellierung der Ionosphäre mit GPS).
- 16.12.-19.12.1997: Frau K. Wienholz und Dr. Ch. Cui, Inst. für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU Berlin.
- 08.01.1998: Dr. Klein, Bayer. Landesvermessungsamt, München
- 15.01.1998: J. Wendt, Inst. für Planetare Geodäsie, TU Dresden (Vortrag: Geodätische Untersuchungen rezenter Deformationen der Erdkruste im Schwarmbebengebiet Vogtland)
- 21.01.1998: Dr. K. Arfa-Kaboodvand, Inst. für Physikalische Geodäsie, TH Darmstadt
- 26.01.1998: Prof. Dr. J. Campbell, Geodätisches Institut, Univ. Bonn
- 30.01.1998: Prof. Dr. M. Schilcher, Geodätisches Institut, TU München
- 11.02.1998: Dr. J. Schröter, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven
- 27.02.1998: Dr. Ch. Baumer, Stansstad, Schweiz, zu Besuch im von der DGK-Geschäftsstelle verwalteten Filchner-Archiv.
- 08.03.-10.03.1998: Dr. T. Yoshino, Communication Research Laboratory, Tokyo, Japan (Vortrag: The Keystone Project and its performance)
- 07.04.1998: Dr. M. Schmitz, Fundación Venezolana de Investigaciones Sísmicas (FUNVISIS), Caracas, Venezuela
- 10.07.1998: Studierende der TU Berlin anlässlich einer Fachexkursion.

## 6.5 Personelles

### Personalbestand

Im Berichtszeitraum 1997/98 waren am DGFI (einschl. DGK-Geschäftsstelle) beschäftigt:

- aus der Grundausrüstung
  - 13 wissenschaftliche Angestellte
  - 11 technische und Verwaltungsangestellte
  - 2 Arbeiter
- aus Drittmitteln
  - 4 wissenschaftliche Angestellte
  - 1 studentische Hilfskraft
- wissenschaftliche/studentische Hilfskräfte
  - 1 wissenschaftliche Hilfskraft
  - 16 studentische Hilfskräfte mit durchschnittlich 355 Std./Jahr
  - 4 Praktikanten

## Lehraufträge

Folgende Lehraufträge wurden von Mitarbeitern des DGFI wahrgenommen:

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

Hon.-Prof. Dr. H. Drewes: “Geodynamik”, Univ. Bw. Neubiberg

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

## 6.6 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien

### International Association of Geodesy

- Commission V: Earth Tides, Working Group 6: Earth Tides in Space Geodetic Techniques (Chairman: Dr. H. Schuh)
- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG) (Secretary: Dr. H. Drewes)
- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), SLR/LLR Subcommittee (Steering Committee Member: W. Seemüller)
- Commission X: Global and Regional Geodetic Networks, Subcommittee for Europe (EUREF) (Secretary: H. Hornik)
- Commission X: EUREF-Technical Working Group (H. Hornik)
- Commission X: Working Group 2: The Use of GPS and IGS for ITRF Densification (K. Kaniuth)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Governing Board (W. Seemüller)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Data Formats and Procedures Working Group Coordinator (Substitute: W. Seemüller)
- Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (SIRGAS, IAG-Representative: Dr. H. Drewes)
- Special Study Group 2.160: Spaceborne INSAR Technology (Dr. M. Schmidt)
- Working Group “International Space Geodetic Network (ISGN)” (Chairman: Dr. H. Drewes)

### International Astronomical Union

- Commission 19: Rotation of the Earth (Consultant: Dr. H. Schuh)
- IAU/IUGG Working Group on “Non-Rigid Earth Nutation Theory“ (Dr. H. Schuh)
- International Earth Rotation Service (IERS) (Consultant: Dr. H. Schuh)

### European Space Agency

- 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**

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

**Deutsche Geodätische Kommission**

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

**Forschungsgruppe Satellitengeodäsie**

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