

# **JAHRESBERICHT 1998/99**

## Inhalt

- 2 Das Institut, das Programm
- **3 ORIENTIERUNG UND ROTATION DER ERDE**
- 3 Theorie der Erdrotation
- 7 Bestimmung und Analyse der Erdrotationsparameter
- 16 TERRESTRISCHE REFERENZSYSTEME
- 16 Modellbildung für geodätische Raumverfahren
- 23 Realisierung terrestrischer Referenzsysteme
- 27 Analyse geodynamischer Deformationen
- 33 SCHWEREFELD UND MEERESTOPOGRAPHIE
- 33 Modellbildung für hochauflösendes Schwerefeld und Meerestopographie
- 37 Analyse von Altimeterdaten
- 44 Bahn- und Parameterbestimmung
- 46 INFORMATIONSSYSTEME
- 46 Geo-Informationssystem (GIS)
- 48 EUROLAS/ILRS Datenzentrum
- 50 Deutsches Schwerearchiv
- 51 WISSENSCHAFTLICHER TRANSFER
- 51 Veröffentlichungen
- 53 Vorträge, Poster
- 56 Tagungen, Konferenzen, Symposien
- 58 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien
- 59 Gäste
- 60 Nationale und internationale Beobachtungseinrichtungen
- 61 **Personelles**
- 61 Personalbestand
- 61 Lehraufträge

#### Das Institut

#### **Das Programm**

Das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) ist eine selbstständige und unabhängige Forschungseinrichtung. Es wird von der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München betrieben. 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 derzeit gültige Forschungsprogramm 1999/2000 mit dem generellen Thema "Grundlagen geodätischer Referenzsysteme" wurde vom wissenschaftlichen Beirat der DGK beraten und von der DGK-Vollversammlung am 26.11.1998 genehmigt. Es gliedert sich in vier langfristig zu bearbeitende Programmpunkte mit insgesamt elf Einzelprojekten sowie dem wissenschaftlichen Transfer durch Öffentlichkeitsarbeit und Beobachtungseinrichtungen:

#### 1. Orientierung und Rotation der Erde

- 1.1 Theorie der Erdrotation
- 1.2 Bestimmung und Analyse der Erdrotationsparameter

#### 2. Terrestrische Referenzsysteme

- 2.1 Modellbildung für geodätische Raumverfahren
- 2.2 Realisierung terrestrischer Referenzsysteme
- 2.3 Analyse geodynamischer Deformationen

#### 3. Schwerefeld und Meerestopographie

- 3.1 Modellbildung für hochauflösendes Schwerefeld und Meerestopographie
- 3.2 Analyse von Altimeterdaten
- 3.3 Bahn- und Parameterbestimmung

#### 4. Informationssysteme

- 4.1 Geo-Informationssystem (GIS)
- 4.2 EUROLAS/ILRS Datenzentrum
- 4.3 Deutsches Schwerearchiv

#### 5. Wissenschaftlicher Transfer

- 5.1 Wissenschaftliche Veröffentlichungen und Gremien
- 5.2 Nationale und internationale Beobachtungseinrichtungen

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

# 1. Orientierung und Rotation der Erde

In der Geodäsie, der Astronomie und der Geophysik ist für verschiedene Aufgaben die genaue Kenntnis der Orientierung der Erde erforderlich. Die Rotation der Erde, d.h. die zeitliche Änderung ihrer Orientierung, hängt eng mit den Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und der festen Erde zusammen. Genaue Erdorientierungsparameter werden für die exakte Punktpositionierung und Navigation mittels geodätischer Weltraumverfahren benötigt, weil dabei immer zwischen einem raumfesten und einem erdfesten Bezugssystem transformiert werden muß. Dieser Programmpunkt hat das Ziel, 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 geodätische Beobachtungen und die numerische Auswertung der daraus gewonnenen Zeitreihen der Orientierungsparameter empirische Informationen über das Rotationsverhalten der Erde. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Verbesserung des VLBI-Verfahrens durch Einsatz eines wissensbasierten Systems für die VLBI-Auswertung.

# Projekt 1.1 Theorie der Erdrotation

#### 1.1.1 Synthetische Modellierung

Die synthetische Modellierung der Erdrotation geht von der Rotationsmatrix aus, die von einem raumfesten zu einem erdfesten Bezugssystem transformiert. Ihre Hauptanteile sind als Funktionen der Zeit relativ einfach modellierbar. Dazu wird sie in eine Drehung um die Achse des zälestischen Ephemeridenpols und die Richtungsänderungen dieser Achse im raumfesten und im erdfesten System (Präzession/Nutation und Polbewegung) zerlegt.

Die Zusammenhänge dieser Anteile der Rotationsmatrix mit dem Rotationsvektor, dem Drehimpulsvektor und den auf die Erde wirkenden Drehmomenten wurden, zunächst unter einigen vereinfachenden Hypothesen, in Formeln abgeleitet. Dabei wurden eine starre Erde mit einem axialsymmetrischen Trägheitstensor angenommen und nur äussere Drehmomente von Sonne und Mond berücksichtigt. Diesem Näherungsansatz entspricht eine zirkulare freie Polbewegung und die bekannte Präzession und Nutation des zälestischen Ephemeridenpols. Das äußere Drehmoment ist dazu als Funktion der zeitabhängigen relativen Positionen von Erde, Sonne und Mond zu formulieren. Diese können entweder in der traditionellen Weise durch fünf Grundargumente, die die jeweiligen mittleren Örter als Funktionen der Zeit beschreiben, ausgedrückt werden oder unmittelbar aus einer vorliegenden Ephemeridendatei, etwa dem Ephemeridenwerk DE403/LE403 des Jet Propulsion Laboratory (JPL), übernommen werden. Diese Datei enthält die Bahndaten der Körper des Sonnensystems in Form von Chebyshevschen Polynomkoeffizienten. Das zu ihrer Interpolation aufgestellte Rechenprogramm wird auch für die Gezeitenmodellierung im Programm DOGS-OC zur Auswertung von Satellitenbeobachtungen benötigt (s. 2.2.2).

#### **Der zälestische** Ephemeridenpol Eine wichige Rolle bei der Darstellung der Orientierung der Erde spielt der zälestische Ephemeridenpol. Er gibt die Richtung der Achse an, um die in der üblichen Parametrisierung die Drehung um den Winkel der Greenwicher Sternzeit erfolgt. Er wird bisher

so definiert, dass er weder in bezug auf ein erdfestes noch in bezug auf ein raumfestes System tagesperiodische Bewegungen ausführt. Diese Definition kann heute angesichts der genauen und hochaufgelösten Bestimmung der Erdorientierung nicht mehr streng beibehalten werden. Man muss wenigstens in einem System auch tages- und sub-tagesperiodische Bewegungen zulassen. Eine Neudefinition des zälestischen Ephemeridenpols ist deshalb zur Zeit ein Thema internationaler Diskussion, an der sich das DGFI beteiligt.

Speziell wurde hier die Frage untersucht, ob und unter welchen Bedingungen die in der VLBI-Auswertung gebräuchliche Praxis, neben den Polkoordinaten zusätzlich tägliche Korrektionen zum eingeführten Nutationsmodell zu schätzen, beibehalten werden kann, wenn die Polkoordinaten in Zeitabständen von einem Bruchteil eines Tages geschätzt werden. Es zeigt sich, dass die Kondition der Normalgleichungsmatrix um so schlechter wird, je kürzer der Zeitabstand der Polkoordinaten gewählt wird, so dass im Grenzfall ein Rangdefekt auftritt. Dieser lässt sich durch eine geeignete Zusatzbedingung zur Minimierung der retrograden quasi-tagesperiodischen Polbewegung beheben.

Die Erdrotationsparameter werden durch geodätische Raum-Sekundäreffekte verfahren heute auf besser als 0,0002" gemessen. Da auf der Seite der Modellbildung eine ähnliche Genauigkeit angestrebt wird, ist eine detaillierte Kenntnis von Massenverlagerungen im rotierenden System Erde notwendig.

> Die größten Auswirkungen auf die Erdrotation haben die atmosphärischen, die ozeanischen und die durch Meeresgezeiten bedingten Störungen. Kleinere Änderungen der Erdrotation resultieren aus Schwankungen des Grundwassserspiegels, aus veränderlichen Schnee- und Eisauflasten und aus Wasserstandsänderungen in großen Seen oder in künstlich angelegten Stauseen. Diese werden auch als Sekundäreffekte bezeichnet. Noch kleiner sind die Änderungen der Erdrotation aufgrund der Deformation der Erde bei Auflasten, den sogenannten indirekten Effekten.

#### Modellierung dynamischer Einflüsse auf die Erdrotation

Zur Berechnung des Einflusses aller oben angegebenen Massenverlagerungen und Deformationen auf die Erdrotation wurde die Bewegungsgleichung für die Rotation einer deformierbaren Erde in Form der Euler-Liouvilleschen Gleichung angesetzt:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{\mathrm{H}}(t) + \vec{\omega}(t) \times \vec{\mathrm{H}}(t) = \vec{\mathrm{L}}(t) \tag{1.1.1}$$

Darin ist

- $\vec{H}(t) = \vec{\omega}(t) \cdot \theta(t) + \vec{h}(t)$  der Drehimpulsvektor mit
- $\theta(t) =:$  Trägheitstensor der Erde,
- $\vec{\omega}(t)$  =: Rotationsvektor der Erde,
- $\vec{h}(t) =:$  relativer Drehimpuls aufgrund bewegter Massen,
- $\vec{L}(t) =:$  von außen angreifende Drehmomente.

# 1.1.2 Deformationsbedingte

In dieser Gleichung wird der Rotationsvektor  $\vec{\omega}$  der Erde mit dem Drehimpulsvektor  $\vec{H}$  und dem Trägheitstensor der Erde verknüpft. Dieser Tensor wird durch eine 3 × 3 Matrix dargestellt, die sich auf eine Diagonalmatrix mit den Hauptträgheitsmomenten  $\theta_{11} = \theta_{22} = A$  und  $\theta_{33} = C$  reduzieren lässt. Atmosphärische, ozeanische oder hydrologische Störungen ergeben aber kleine Zuschläge in den Nichtdiagonalelementen des Tensors und verändern entsprechend der Euler-Liouvilleschen Gleichung (1.1.1) den Rotationsvektor der Erde.

Die Lösung der dreidimensionalen Euler-Liouvilleschen Bewegungsgleichung führt einerseits auf die komplexe Polbewegung  $p(t) = p_1(t) + ip_2(t)$  als zeitabhängige Richtungsänderung des Rotationsvektors und andererseits auf die reelle Tageslängenänderung als Schwankung der Rotationsgeschwindigkeit.

Mit dieser Lösung wird die Polbewegung als Reaktion der Erde auf eine noch zu bestimmende komplexe Anregungsfunktion der Form  $\chi(t) = \chi_1(t) + i\chi_2(t)$  beschrieben, die das physikalische Filter Erde mit der Übertragungsfunktion  $F = e^{i\sigma t}$  durchläuft. Dabei ist  $\sigma = \frac{C-A}{A} \Omega$  die Chandler-Frequenz, entsprechend einer Periode von ca. 434 Tagen, und  $\Omega$  die konstante mittlere Rotationsgeschwindigkeit. Im Gegensatz dazu ist die Tageslängenänderung in der Lösung nur noch linear von der dritten Komponente  $\chi_3$  der Anregungsfunktion  $\chi$  abhängig.

Berechnung der<br/>AnregungsfunktionEin Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum lag in der<br/>Herleitung der Anregungsfunktion und ihrer Anwendung auf<br/>atmosphärische, ozeanische und hydrologische Daten. Die<br/>Anregungsfunktion enthält im wesentlichen die Änderungen der<br/>Trägheitsmomente  $\delta \theta = \delta \theta_{13} + i \delta \theta_{23}$  und  $\delta \theta_{33}$  (Massenterm)<br/>sowie die Drehimpulsanteile  $\overline{h}(t)$  durch bewegte Massen<br/>(Bewegungsterm). So enthalten alle Drehimpulsvektoren in ihren<br/>Komponenten jeweils zwei Terme, die getrennt voneinander<br/>berechnet werden können:

 $\chi = \chi_i^P + \chi_i^W$  [Massenterm (Luftdruck) + Bewegungsterm (Wind)].

Eine Entwicklung der Trägheitsmomente in Kugelkoordinaten ergibt dann die endgültige Form der Anregungsfunktion  $\chi = {\chi_1, \chi_2, \chi_3}$ mit den Komponenten

Komponenten de Anregungsfunktior

$$\chi_{1} = \begin{cases} \chi_{1}^{p} = -\frac{a^{2}(1+k_{2}')}{(C-A)(1-\frac{k_{2}}{k_{f}})} & \int_{A} \rho \zeta \cos \varphi \sin \varphi \cos \lambda dA \\ \chi_{1}^{W} = -\frac{a}{\Omega(C-A)(1-\frac{k_{2}}{k_{f}})} \int_{V} \rho \left(u \sin \varphi \cos \lambda - v \sin \lambda\right) dV \end{cases}$$
(1.1.2)

$$\chi_{2} = \begin{cases} \chi_{2}^{p} = -\frac{a^{2}(1+k_{2})}{(C-A)(1-\frac{k_{2}}{k_{f}})} \int_{A} \rho \zeta \cos \varphi \sin \varphi \sin \lambda dA \\ \chi_{2}^{W} = -\frac{a}{\Omega(C-A)(1-\frac{k_{2}}{k_{f}})} \int_{V} \rho (u \sin \varphi \sin \lambda + v \cos \lambda) dV \end{cases}$$
(1.1.3)

$$\chi_{3} = \begin{cases} \chi_{3}^{p} = \frac{a^{2}(1 + k_{2})}{C} \int_{A} \rho \zeta \cos^{2} \varphi dA \\ \chi_{3}^{W} = \frac{a}{\Omega C} \int_{V} \rho u \cos \varphi dV \end{cases}$$
(1.1.4)

Für den Einfluß der reinen Massenverteilung (Massenterm) wird über die Erdoberfläche A mit den Flächenelementen  $dA = a^2 \cos\varphi d\varphi d\lambda$  integriert; für den Einfluß der Massenbewegungen (Bewegungsterm) wird über das Volumen V mit den Volumenelementen  $dV = a^2 \cos\varphi d\varphi d\lambda da$  integriert. Dabei ist a der Erdradius,  $\rho$  die Dichte der Masse und  $\zeta$  die Höhe bzw. Dicke der Masse im Flächenelement. Mit den Loveschen Zahlen  $k_2$  und  $k_f$  werden die Rotationsdeformation und mit  $k'_2$  die Auflastdeformation aufgrund des Massenterms berücksichtigt.

Mit Hilfe der Gleichungen (1.1.2 - 1.1.4) ließen sich nun die verschiedenen Drehimpulsänderungen getrennt berechnen. Für die Atmosphäre (AAM = Atmospheric Angular Momentum) erhält man die Masse  $\rho \cdot \zeta$  über den Luftdruck p/g. Für den Ozean (OAM = Oceanic Angular Momentum) und die Ozeangezeiten (OTAM = Oceanic Tidal Angular Momentum) konnten Meereshöhenschwankungen aus der Topex/Poseidon-Mission eingesetzt werden. Hydrologische Effekte (HAM = Hydrological Angular Momentum) ließen sich aus Wasserpegeldaten oder Schneehöhen ermitteln (siehe Abschnitt 1.2.1).

Die gesamte Anregungsfunktion zur Bestimmung der Erdrotationsschwankungen ergibt sich dann aus der Summe ihrer Einzeleffekte:

 $\chi = \chi^{AAM} + \chi^{OAM} + \chi^{OTAM} + \chi^{HAM} + \cdots$  .

Projekt 1.2 Bestimmung und Analyse der Erdrotationsparameter	Ein Schwerpunkt im Berichtszeitraum lag in der Berechnung der Anregungsfunktion $\chi$ , die sich aus den atmosphärischen, ozeanischen und hydrologischen Drehimpulsänderungen zusam- mensetzt, und deren Vergleich mit den beobachteten Erdrota- tionsparametern. Zur Untersuchung dieser Zeitreihen mit variab- len Amplituden und / oder Frequenzen wurde die Wavelet-Ana- lyse mit einer Morlet-Funktion verwendet.
1.2.1 Untersuchung und Anwendung neuer Analyseverfahren Aspekte der Wavelet-Analyse	Die Untersuchungen von Randeffekten bei der numerischen Aus- wertung der Wavelet-Transformation wurden abgeschlossen und das Ergebnis in das Auswerteverfahren implementiert. Es wurde festgestellt, dass die Umrechnung des Skalenparameters in einen Frequenz-/Periodenparameter in der bislang üblichen Form nicht streng ist. Über eine Näherungsformel wurden die Energien der Wavelet-Spektren in Amplituden umgerechnet, entsprechend den Amplituden von quasi-harmonischen Schwingungen.
Erdrotationsdaten	Die vom Internationalen Erdrotationsdienst (IERS), Paris, veröffentlichten Polkoordinaten und die Werte der Tageslängen- variation der Serie EOP (IERS) C04 (01.01.1962 bis 31.3.1999) wurden ausgewertet. Diese Zeitreihen enthalten äquidistante Tageswerte, wobei die sehr kurzen Perioden schon herausgefil- tert sind (< 8 Tage bis 1988, < 3 Tage bis 1993 und < 2 Tage ab 1994).
Atmosphärische Daten	Die Zeitreihen der $\chi^{AAM}$ werden vom NCEP (National Center for Environmental Prediction) über klimatologische Modelle nach den Gleichungen (1.1.2 bis 1.1.4, Abschnitt1.1.2) berechnet und dem IERS zur Verfügung gestellt. Von dort können sie über das Internet abgerufen werden. Diese Zeitreihen sind sowohl für den Massen- als auch für den Bewegungsterm für den Zeitraum 01.01.1962 - 31.3.1999 verfügbar.
Hydrologische Daten	Bei den hydrologischen Einflüssen wurden globale und regionale Umverteilungen von Wassermassen betrachtet. Neben der Untersuchung der Schneebedeckungen lag der Schwerpunkt im Berichtszeitraum bei den Einflüssen von Grundwasseränderun- gen und regionalen Wasserspiegelschwankungen wie z.B. durch den größten im Bau befindlichen Staudamm der Erde in China.
	Da es keine globalen, flächendeckenden Grundwassermessungen gibt, wurde die Grundwassermenge über eine Bilanzgleichung des hydrologischen Kreislaufs abgeschätzt. Aus der Differenz zwischen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss ergibt sich die verbleibende Wassermenge am und im Boden. Für Niederschlag und Verdunstung wurden globale assimilierte Datensätze des Distributed Active Archive Center (DAAC), Greenbelt, verwendet.
	Der derzeit im Bau befindliche 3-Schluchten-Staudamm in China wird mit einer Dammhöhe von 185 m, einer Dammbreite von über 2 km und einer Länge von 500 - 700 km bis zu 44,6 $\cdot$ 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> Wasser fassen können. Davon sind 24,9 $\cdot$ 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> als Puffer für die jährliche Flutkontrolle vorgesehen. Dieses veränderliche Volumen wurde durch eine "Sägezahn"-Funktion approximiert.

Ozeanische Daten
 Für die χ<sup>OAM(T/P)</sup>- Zeitreihen wurden die in einem globalen Gitter von 1°×1° vorliegenden Höhenanomalien Δh (ca. 32000 Punktwerte/Zyklus) gegenüber einer mittleren Meereshöhe, abgeleitet aus Topex/Poseidon-Beobachtungen, herangezogen. Für die 10-tägigen Wiederholungszyklen 2 - 195 wurden nach den Gleichungen im Abschnitt 1.1.2 194 Werte im Abstand von 10 Tagen berechnet, die den Zeitraum vom 03.10.1992 bis 29.12.1997 abdecken. Diese Arbeiten werden in engem Zusammenhang mit dem Programmpunkt 3 durchgeführt.

Wegen fehlender Strömungskomponenten an den Gitterpunkten des Topex/Poseidon-Modells bleibt der Bewegungsterm unberücksichtigt. Um die nicht vernachlässigbaren Bewegungsterme des Ozeans dennoch erfassen zu können, wurden zwei unterschiedliche Ozeanmodelle zur Erzeugung der Anregungsfunktion  $\chi$  herangezogen:

- a) Das Ozeanmodell des MIT (Massachusetts Institute of Technology), aus dem R. Ponte die Anregungsfunktion  $\chi^{OAM(MIT)}$  rechnete und zur Verfügung stellte: Es sind 829 Mittelwerte für den Zeitraum vom 2.1.1985 4.5.1996 im Abstand von 5 Tagen, jeweils für den Massen- und Bewegungsterm (siehe Abbildung 1.2.1 a).
- b) Das Ozeanmodell des ZMK (Zentrum für Meereskunde und Klimatologie, Hamburg): Nach den Gleichungen im Abschnitt 1.1.2 wurden 11688 tägliche Werte der Anregungsfunktion  $\chi^{OAM(ZMK)}$ , jeweils für den Massen- und Bewegungsterm, für den Zeitraum 31.12.1961 31.12.1993 berechnet; weiter reichten die ECHAM3-Echtzeitdaten nicht.

Beide Modelle sind Zirkulationsmodelle und beruhen auf den Navier-Stokes-Bewegungsgleichungen, um ozeanische Massenund Bewegungsfelder zu simulieren. Wesentlichster Unterschied sind die atmosphärischen Antriebe der Simulationen:

- MIT: NCEP-Reanalysen, Zirkulationszeit 3 Jahre.
- ZMK: ECHAM3-Echtzeitdaten und Einführung eines gezeitenerzeugenden Potentials, Zirkulationszeit 265 Jahre.

Auffallend sind die mehr als doppelt so großen Amplituden im ZMK-Modell gegenüber dem MIT-Ozeanmodell, was auch auf unterschiedliche Modellantriebe hindeutet.

Für den Einfluss der Ozeangezeiten wurde das Modell CSR3.0 des Center for Space Research, Austin/Texas, benutzt, das in der Altimetrie zur Reduktion der Altimeterdaten verwendet wird. Für ein Gitter von  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  wurden die theoretischen Ozeangezeiten im Abstand von einem Tag (ca. 40000 Punktwerte/Tag) berechnet. Diese wurden dann durch numerische Integration nach den Gleichungen in Abschnitt 1.1.2 zu 1914 eintägigen  $\chi^{OTAM}$ -Werten umgeformt. Auch hier blieb der Bewegungsterm unberücksichtigt.





#### Atmosphärische und ozeanische Einflüsse auf die Erdrotation

In Abbildung 1.2.1 (b) - (d) sind die Wavelet-Spektren für das MIT-Ozeanmodell, getrennt für den Bewegungs- und den Massenterm, sowie deren Summe dargestellt. In diesem Modell beschreibt der Bewegungsterm des Ozeans eine retrograde, also der Polbewegung entgegengesetzte Bewegung, deren Amplituden sich vor großen El Niño-Effekten vergrößern. Dieses Bewegungsverhalten des Ozeans gegenüber dem Pol wird auch von dem hier nicht dargestellten ZMK-Modell trotz o.a. Unterschiede in den Modellantrieben in ausgezeichneter Weise bestätigt. Im Gegensatz dazu reagiert der Bewegungsterm der Atmosphäre (hier nicht dargestellt) zeitlich verzögert mit einer überwiegend prograden, also der Polbewegung gleichgerichteten Bewegung.

Die Amplituden der Bewegungsterme liegen für die Atmosphäre bei ca. 50% der Gesamtamplitude, für das MIT-Ozeanmodell bei ca. 30% und für das ZMK-Modell nur bei ca. 15%. Dennoch reagiert der Pol auf den Bewegungsterm zeitlich eher als auf den Massenterm des ozeanischen Drehimpulses. Wie in Abb. 1.2.1(b) und (d) ersichtlich, macht diese Zeitverzögerung im MIT-Ozeanmodell mehr als ein halbes Jahr aus, besonders bei den enormen großräumigen Meereswasserverlagerungen aufgrund der im Bild eingetragenen El Niño-Effekte der Jahre 1987/88 und 1991/92.

In Abbildung 1.2.2 werden die aus zwei ausgewählten Zyklen der Topex/Poseidon-Mission abgeleiteten Meereshöhenanomalien (a) und (b) durch numerische Integration in ozeanische Drehimpulsänderungen umgerechnet. Dabei sind die beiden Zyklen, für die die ozeanische Anregungsfunktion ihre Extremwerte annimmt (Minimum im Frühjahr und Maximum im Herbst) mit kleinen Kreisen hervorgehoben (c). Diese jahreszeitliche Variation von ca.  $\pm$  35 cm zeigt sich deutlich in den dargestellten Höhenanomalien. Sichtbar wird eine "Schaukelbewegung" des Ozeans um den Äquator, wobei die Meeresoberfläche im Frühjahr auf der Nordhalbkugel ein niedrigeres Niveau annimmt als auf der Südhalbkugel, während sich die Verhältnisse im Herbst umkehren.

Sowohl die ozeanische Anregungsfunktion  $\chi^{OAM}$ , abgeleitet aus Beobachtungen der Topex/Poseidon Mission, als auch die durch Ozeangezeiten bedingte Anregungsfunktion  $\chi^{OTAM}$  werden in Abb. 1.2.2 (c) der gemessenen, um die Chandler-Bewegung reduzierten Polbewegung gegenübergestellt. Die vorherige Subtraktion der Chandler-Bewegung ist notwendig, weil die atmosphärisch und ozeanisch bedingten Drehimpulsvariationen keine Chandler-Periode enthalten. Eine hier nicht dargestellte Wavelet–Analyse aller dieser Zeitreihen ergibt, dass die dann verbleibende quasi einjährige Polbewegung mit Verzögerungen von bis zu einem Jahr auf die großen Massenverlagerungen von Atmosphäre und Ozean reagiert, der Pol also relativ träge den geophysikalischen Drehimpulsänderungen folgt.



a) TOPEX / Poseidon: Zyklus 59 (1994 - 04 - 21), Meereshöhen - Anomalien

Abb. 1.2.2: Meereshöhen-Anomalien zweier ausgewählter Zyklen der Topex/Poseidon-Mission (a) und (b) und deren Umrechnung in Anregungsfunktionen durch numerische Integration im Vergleich mit der einjährigen Polbewegung (c).

#### 1.2.2 Verbesserung des VLBI-Verfahrens

In den letzten 20 Jahren hat sich die Genauigkeit der VLBI--Ergebnisse aufgrund von Verbesserungen der 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 Auswertevorganges deutlich. Im Rahmen des DFG-Projektes "Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz bei der VLBI-Auswertung" wurde deshalb die Erstellung eines wissensbasierten Systems (WBS) weitergeführt.

Entwicklung eines tu wissensbasierten Systems für W die VLBI-Auswertung fü

Abb. 1.2.3: Das Konzept für den Intelligenten Assistenten zur Unterstützung der VLBI-Auswertung (IADA). Parallel zur Wissensakquisition, also der Sammlung, Strukturierung und Organisation des zur Auswertung notwendigen Wissens, erfolgte die Konzeption eines Intelligenten Assistenten für die Daten-Analyse in der VLBI (IADA). Grundgedanke hierbei war die Entwicklung eines von der Hardware möglichst unabhängigen WBS. Der Aufbau des Systems und die Verknüpfung mit der bestehenden Auswertesoftware ist in Abbildung 1.2.3 dargestellt. Da das WBS in seinen grundlegenden Bestandteilen auch auf andere VLBI-Auswertesysteme übertragbar sein und die Struktur des Auswerteablaufes erhalten bleiben soll, steht es als eigenständige Komponente neben dem *MarkIII Data Analysis System* (s. Abb. 1.2.3). Somit kann dieses System ohne große Veränderungen an der bestehenden Software zu einem "Intelligenten Auswertesystem" ausgebaut werden.



Konzept des wissensbasierten Systems Das Konzept für das WBS sieht die eigentliche Auswertung auch weiterhin mit dem MarkIII Data Analysis System vor, mit dem Unterschied, dass eine implizite und explizite Unterstützung durch den intelligenten Assistenten erfolgen kann. Mit implizit sind hier die im Hintergrund weitgehend unbemerkt vom Auswerter ablaufenden Kontrollen durch das System gemeint, die sich ggf. in Form von Warnungen oder Ratschlägen äußern können. Darüber hinaus kann der Auswerter aber auch explizit auf die Beratung durch das System zurückgreifen und sich beispielsweise durch die Auswertung leiten zu lassen.

Die Kommunikation zwischen IADA und dem MarkIII Data Analysis System wird über eine Schnittstelle realisiert, die den korrekten Austausch von Daten und Ergebnissen zwischen dem WBS und dem MarkIII Data Analysis System gewährleistet. Sobald auf das WBS zurückgegriffen wird, werden die benötigten Daten gesammelt, strukturiert und zu sog. Situationen zusammengefasst. Diese Situationen umfassen das jeweilige fallspezifische Wissen, das an das WBS weitergegeben wird und aus dem unter Einbeziehung des fachspezifischen Wissens eine Problemlösungsaufgabe erstellt wird (vgl. Abbildung 1.2.3). Diese wird dann mit der Problemlösungskomponente bearbeitet. Die Ergebnisse werden über die Schnittstelle an das MarkIII Data Analysis System zurückgegeben und dem Auswerter präsentiert. Abbildung 1.2.4 verdeutlicht den Ablauf der Problemlösung und zeigt, wie die Daten während dieses Prozesses zwischen den beiden Systemen weitergegeben werden.



Beim automatischen Modus kann das wissensbasierte System auch direkt in die Auswertung mit dem MarkIII Data Analysis System eingreifen und beispielsweise Veränderungen an der Parametrisierung vornehmen. Die Schnittstelle gewährleistet gleichzeitig die Integration der vorhandenen Software, so dass die bestehenden algorithmischen Teillösungen in den Inferenzprozess miteinbezogen werden können.

Abb. 1.2.4: Der Datenfluss zwischen dem WBS und dem MarkIII Data Analysis System während der Problemlösungsphase

# Aufbau des wissensbasierten Systems

Der Aufbau des WBS erfolgt mit der KI-Werkbank *BABYLON*, die von der *GMD*, *Forschungszentrum Informationstechnik GmbH*, entwickelt wurde. BABYLON ist in LISP, der am weitesten verbreiteten KI-Programmiersprache, implementiert und stellt Formalismen für Wissensrepräsentation und Problemlösung zur Verfügung. Um die Auswertung von VLBI-Experimenten mit einem WBS automatisieren zu können, muss das notwendige Wissen in einer Wissensbasis (knowledge base) gespeichert werden.

Abbildung 1.2.5 zeigt am einfachen Beispiel einer Uhrenparametrisierung, wie dieses Wissen in Form von Regeln beschrieben werden kann. Dabei sind die einzelnen Bedingungen mit "UND"oder "ODER"-Verknüpfungen miteinander verbunden. Die Parametrisierung ist korrekt, wenn entsprechend Abbildung 1.2.5 entweder die Bedingungen in *Cond1-1* und *Cond1-4* oder in *Cond1-1*, *Cond1-2* und *Cond1-3* erfüllt sind.

Abb. 1.2.5: Repräsentation des Wissens zur Kontrolle der Uhrenparametrisierung



dem Programm OCCAM

Projekt 1.2

programm OCCAM installiert. Diese Software basiert auf einem in den 80er Jahren innerhalb der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS) entwickelten VLBI-Programm und wird inzwischen weltweit von mehreren Gruppen eingesetzt. Am DGFI bot sich damit die Chance, mit CALC/SOLVE und OCCAM zwei völlig unabhängige VLBI-Auswerteprogramme parallel zu benutzen, sie dadurch gegenseitig zu kontrollieren und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Hierzu wurden mehrere Testdatensätze verwendet: die erreichten Genauigkeiten sind ungefähr gleich; allerdings bestehen zwischen den Ergebnissen systematische Unterschiede, die noch näher untersucht werden sollen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde OCCAM derart weiterentwickelt, dass es die Einführung von a-priori Korrelationen zwischen den Beobachtungen gestattet. Korrelationen bestehen z.B. zwischen zeitlich benachbarten Beobachtungen und zwischen den Beobachtungen zu derselben Radioquelle. Auch geometrisch verursachte Korrelationen können vermutet werden. Mit einer empirischen Methode lassen sich diese Korrelationen ermitteln und eine entsprechende a-priori Korrelationsmatrix entwerfen. Dies erlaubt dann die Verwendung einer vollbesetzten Varianz-Kovarianzmatrix. Die Ergebnisse von Testrechnungen sind sehr vielversprechend. So erhöht sich nach Berücksichtigung der a-priori Korrelationen zwar erwartungsgemäß der mittlere Fehler der Basislinienlängen, deren Wiederholbarkeit wird aber signifikant besser.

Weiterhin hat sich das DGFI an einer Ausschreibung des neugegründeten International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS) beteiligt und wirkt seit Frühjahr 1999 als 'Associate Analysis Center' im IVS mit. Neben speziellen Untersuchungen, wie oben geschildert, sollen in Zukunft regelmäßig VLBI-Lösungen eingereicht werden.

# 2. Terrestrische Referenzsysteme

Die Parameterschätzungen aus Messungen der geodätischen Raumverfahren werden hauptsächlich in terrestrischen Referenzsystemen durchgeführt. Diese Systeme werden durch Definitionen festgelegt und durch numerische Parametersätze realisiert. Die Realisierungen sind jedoch unterschiedlich, weil ihre Datumsdefinitionen teilweise nicht kompatibel sind. Eine Vereinheitlichung der Referenzsysteme ist aber Voraussetzung für gemeinsame Ausgleichungen von Beobachtungen der drei Raumverfahren GPS, SLR und VLBI. Eine solche Kombination ist ein Hauptziel dieses Programmpunkts. Daneben werden im operationellen Bereich die Ergebnisse der Datenverarbeitung geodätischer Beobachtungen an die internationalen Dienste der IAG geliefert. So arbeitet das DGFI z.B. als regionales assoziiertes Analysenzentrum für das südamerikanische GPS-Netz (RNAAC SIR) im International GPS Service (IGS). Die geodynamische Interpretation der Ergebnisse konzentrierte sich im Berichtszeitraum vor allem auf den Mittelmeerraum.

Projekt 2.1 Modellbildung für geodätische Raumverfahren	<ul> <li>Während im Vorjahr Untersuchungen zur Variabilität der Antennen-Phasenzentren und der Sensitivität zwischen Höhen- und Troposphärenschätzungen durchgeführt worden waren, stand im Berichtszeitraum folgende Thematik im Vordergrund:</li> <li>Analyse der GPS-Ausgleichungsresiduen zur Identifizierung</li> </ul>
2.1.1 GPS-Modellbildung	<ul> <li>ystematischer Effekte, und</li> <li>Untersuchung des Einflusses von Antennen-Radomen auf die Höhenbestimmung.</li> </ul>
Analyse von GPS- Ausgleichungsresiduen	Die Wiederholgenauigkeit täglicher GPS-Positionsbestimmun- gen liegt im Bereich weniger Millimeter, die äußere Genauigkeit kann jedoch wesentlich schlechter sein. Dies liegt an Model- lierungsfehlern, die aus den Ausgleichungsergebnissen nicht ersichtlich sind, solange die Auswertestrategie und -modelle unverändert bleiben. Dagegen sollten systematische Strukturen in den Ausgleichungsresiduen Modellierfehler anzeigen und zur Identifizierung der Fehlerquelle führen.
	Die Analysen wurden anfänglich auf die Residuen doppelter Differenzen (double differences = DD) des Ausgleichungs- programms der Berner Software beschränkt. Da die DD- Residuen Anteile von Phasenmessungen von zwei Stationen zu zwei Satelliten enthalten und Effekte herausfallen, die allen Satelliten oder beiden Empfängern gemeinsam sind, ist die Interpretation nicht eindeutig. Die Untersuchungen sind deshalb auf die Residuen einfacher (single differences = SD) und undifferenzierter (zero differences = ZD) Messungen erweitert worden. Die Inversion DD $\rightarrow$ SD $\rightarrow$ ZD erfordert die Einführung von folgenden Bedingungen: die Summe der SD-Residuen aller Satelliten einer Epoche sowie die Summe der ZD-Residuen jedes Satelliten zu jeder Epoche über alle Stationen eines Netzes müssen null sein. Die Abbildung 2.1.1 zeigt ein Struktur- diagramm des für diese Analysen entwickelten Programm- systems. Auf jeder der drei Ebenen untersucht ein Analyse- programm die Abhängigkeit der Residuen von Beobachtungs-

richtung und -zeit, rechnet ausgleichende Flächen bis dritter

Ordnung, berechnet Autokorrelationsfunktionen usw..



Die Software ist auf Ausgleichungsresiduen mehrerer lokaler und regionaler Netze angewendet worden. Es zeigte sich aber, dass sehr hochfrequente Signale in den Residuen noch nicht erfasst werden. Einige Grafiken können jedoch die erfolgreiche Inversion DD  $\rightarrow$  SD  $\rightarrow$  ZD demonstrieren. Abbildung 2.1.2 zeigt ein Beispiel von L1 SD-Residuen einer lokalen Basislinie unterschiedlicher Antennentypen. In einer der beiden Ausgleichungen wurden die elevationsabhängigen Phasenzentrumsvariationen einer Antenne zu null gesetzt. Dieser Modellierungsfehler wird deutlich in den Residuen wiedergegeben. Die Abbildung 2.1.3 zeigt den gleichen Effekt für einen Satelliten auf der ZD-Ebene, und in Abbildung 2.1.4 sind Polygone durch die Residuen aller Satelliten ausgeglichen worden.





*Abb. 2.1.3: Residuen wie in Abb. 2.1.2, jedoch für einen Satelliten auf ZD-Ebene* 





Abb. 2.1.4: Ausgleichende Polygone der ZD-Residuen aller Satelliten

Einfluss von Antennen-Radomen auf Höhenbestimmungen

Die Antennen vieler GPS-Permanentstationen, insbesondere auch die des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS), sind zum Schutz gegen Witterungseinflüsse und andere Beschädigungen mit einem Radar-Dom (Radom) abgedeckt. Diese Radome können jedoch in Abhängigkeit von Form, Größe und Material die Signalausbreitung beeinflussen und damit die berechneten Positionen, vor allem die Vertikalkomponente, verfälschen. Ein einfaches Verfahren, den Einfluss eines Radoms auf die Höhenbestimmung zu untersuchen, besteht darin, eine Basislinie mit zwei Antennen desselben Typs zu besetzen und dann ohne bzw. mit Radom auf einer der beiden Antennen zu messen. Unter der Voraussetzung gleicher äußerer Bedingungen kann dann die Differenz der Lösungen mit und ohne Radom als Auswirkung des Radoms interpretiert werden. Wendet man diese einfache Strategie nicht auf eine einzelne Basislinie, sondern auf ein ganzes Netz auch unterschiedlicher Antennen und Radome an, und bestimmt man zusätzlich die Höhenunterschiede bei Antennen-Kollokationen

durch Präzisionsnivellement, dann werden die Ergebnisse natürlich noch zuverlässiger.

Es wurden deshalb im November 1998 sowie im Juni 1999 auf der Fundamentalstation Wettzell einwöchige Experimente durchgeführt, in denen zusätzlich zu den dortigen Permanentstationen jeweils mehrere GPS-Systeme der Fabrikate Achtech, Leica und Trimble alternierend mit und ohne Radom betrieben wurden. Die Messdauer betrug in beiden Betriebsmodi mehrere Tage. Diese lokalen Netze wurden durch Hinzunahme permanenter europäischer IGS-, EUREF- oder GREF-Stationen zu regionalen Netzen mit bis zu 3500 km Ausdehnung erweitert, in denen möglichst viele gängige Antennen und Radome vertreten waren. Das zweite Experiment war umfangreicher als das erste und enthielt 28 Stationen. Die Tabelle 2.1.1 gibt eine Zusammenstellung der in die Analysen einbezogenen Antennen und Radome. Es muss erwähnt werden, dass die beiden Radome DUTD und GRAZ nur auf Permanentstationen eingesetzt waren und deshalb nicht ausgewechselt werden konnten.

Tab. 2.1.1: In die Untersuchungen
einbezogene Antennen
und Radome

Fabrikat	Antennen	Radome
Ashtech	ASH700936C_M, D_M, E_M., ASH701073.1	SNOW
Leica	LEIAT303, LEIAT504	LEIC, LEIS
Rogue	AOAD/MB, AOAD/MIT	DUTD, GRAZ
Trimble	TRM14532.00, TRM22020.00+GP, TR29659.00	GRAZ, TRIMBLE

Die Auswertung wurde mit der Berner Software durchgeführt, wobei die Phasenzentrumsmodelle des IGS und, sofern die betreffende Antenne dort noch nicht enthalten ist, die des NGS eingeführt wurden. Die Ergebnisse hinsichtlich der Radomeffekte können durch Fehler der Phasenzentrumsmodelle nicht verfälscht werden, da nur Differenzen gleichartiger Lösungen verglichen werden. Die lokalen Basislinien in Wettzell wurden mit den Phasenmessungen der Originalfrequenzen L1 und L2 ausgeglichen, und die Phasenmehrdeutigkeiten wurden gelöst. Die regionalen Basislinien wurden mit der ionosphärenfreien Frequenzkombination L3 prozessiert. Dabei wurden für alle Stationen Troposphärenparameter für Intervalle von jeweils 2 Stunden geschätzt, wobei die Abbildungsfunktion von Niell angewendet wurde. Für alle lokalen und regionalen Basislinien wurden Ausgleichungen mit minimalen Höhenwinkeln von 10° bis 20° mit einer Schrittweite von 2° gerechnet, weil eine Abhängigkeit der Ergebnisse von diesem Parameter zu erwarten war. Aus den umfangreichen Ergebnissen soll hier nur in Abbildung 2.1.5 der Einfluss des konischen Trimble-Radoms dargestellt werden, wenn dieser auf der Antenne TRM22020.00+GP montiert ist. Die Abbildung zeigt Differenzen von ellipsoidischen Höhenunterschieden auf Basislinien zwischen drei Permanentstationen (KARL, PENC und PFAN) und zwei Stationen (TRI-1 und WTZT) in Wettzell. Der Radom bewirkt je nach minimalem Höhenwinkel der Ausgleichung einen Höhenfehler von 2,5 cm. Bemerkenswert ist die extreme Variation bei der auf einem Gebäude montierten Antenne WTZT. Die Fehler aller anderen Radome sind bei 10° minimalem Höhenwinkel kleiner, steigen jedoch auch mit zunehmendem Höhenwinkel an. In lokalen Netzen, in denen keine Troposphärenparameter geschätzt werden müssen, treten keine signifikanten Verfälschungen durch Radome auf.





#### 2.1.2 SLR-Modellbildung

Das Programmsystem DOGS wird wegen zahlreicher Umstellungen und Erneuerungen systematisch analysiert, wobei zunächst nur LAGEOS Beobachtungen verwendet wurden.

Ziel der ersten Analysestufe ist die Überprüfung, ob das Bahnbestimmungsprogramm DOGS-OC die nichtlinearen dynamischen Beobachtungsgleichungen korrekt nach dem linearisierten Ausgleichungsmodell abarbeitet. Hierzu ist ein weitgehend automatisiertes Daten- und Programmflussskript entwickelt worden, das zu vorgegebenen realen Datenkonfigurationen mit gegebenen Initialwerten und zu schätzenden Parametern exakte Beobachtungen erzeugt.

Die zweite Analysestufe erstreckt sich auf die Verarbeitung von realen LAGEOS-1 Beobachtungen und realen Modellen. Zunächst wird die DOGS-Lösung systematisch mit Lösungen anderer Analysezentren verglichen, wobei auf möglichst identische Eingangsdaten wie Beobachtungen, Koordinaten, Zeiträume, Datumsfestsetzung, physikalische Modelle u.s.w. zu achten ist. Der laufende Zahlenwertevergleich von Parametern und Modellen sowie die häufig vorkommenden Transformationen von einem ins andere Koordinaten- oder Zeitsystem erfordert ein Konzept, das möglichst automatisch den gesamten Analyseablauf steuert.

Für solch einen komplexen Analysefluss bietet sich das objektorientierte Vorgehen an. Ein bedeutender Vorteil dieser Objektorientiertheit besteht darin, dass derselbe Vorgang, der sich in verschiedenartigen Prozessen häufig wiederholt, nur einmal als Methode einer Klasse zu programmieren ist. Die Methoden, die in einer Klasse verkapselt sind, können im weiteren geändert, erweitert oder neu entwickelt werden, ohne dass davon die Programmierung der anderen Programmteile berührt ist. Somit ist eine Arbeitsaufteilung in der Entwicklung von Teilprogrammen (Klassen) möglich.

Zur Zeit befinden sich Module in Entwicklung, die später zu objektorientierten Klassen deklariert werden. Solche Module, die sich aufgrund der bisherigen Analyseerfahrungen als nützlich erweisen, dienen z.B. zur

- Speicherung von Daten in DOGS-OC- oder fremden Formaten in einheitlichen Datenstrukturen (Objekten),
- Durchführung häufig vorkommender Koordinatentransformationen,
- Berechnung von Zeit- und Datumstransformationen,
- Erzeugung verschiedener Koeffizientenmatrizen nach dem Gauß-Markov-Modell,
- Berechnung des Gauß-Markov-Modells.

Ein weiterer Vorteil des objektorientierten Programmierens ist, dass vorhandene Klassenbibliotheken eingebunden und Methoden dieser Bibliotheksklassen unmittelbar aufgerufen werden können (Vererbung). Einige der angesprochenen Module nutzen diese effiziente Möglichkeit. Ziel der Entwicklung dieses objektorientierten Analyseprogramms ist es, nicht nur den Daten- und Prozessfluss in der SLR-Modellierung, sondern auch in der Kombination geodätischer Raumdaten möglichst zu automatisieren.

Definition und Berechnung<br/>eines säkularen PolsIm Hinblick auf die Arbeiten als "Associate Analysis Center" des<br/>ILRS müssen auch die physikalischen Modelle in DOGS-OC auf<br/>dem Laufenden gehalten werden. In diesem Zusammenhang<br/>befassten wir uns mit Definition und Berechnung eines säkularen<br/>Pols, der in die Modelle der Gezeiten, der Rotationsschwankun-<br/>gen und vor allem des terrestrischen Gravitationsfeldes eingeht<br/>(siehe Projekt 1.1).

Einen großen Einfluss auf die berechnete Bahn eines Satelliten hat das benutzte Referenzsystem des terrestrischen Gravitations-

feldes. Das Bezugssystem drückt sich in den Potentialkoeffizienten vom Grad 0 bis 2 aus: Der Koeffizient GM bzw.  $\overline{C}_{00}$ korreliert mit einem Maßstabsfaktor. Das Koeffiziententripel  $(\overline{C}_{11}(t), \overline{S}_{11}(t), \overline{C}_{10}(t))$  ist proportional zum Vektor vom Ursprung des Bezugssystems zum Geozentrum. Die Koeffizienten  $\overline{C}_{21}(t)$ und  $\overline{S}_{21}(t)$  beschreiben in erster Näherung die Bewegung des sogenannten säkularen Pols.

Nach den gültigen "IERS Conventions" sollte ein Gravitationsmodell im vereinbarten terrestrischen Bezugssystem des IERS (ITRS oder CTS) angegeben werden, de facto aber unterscheidet sich die Realisierung des CTS im Gravitationsfeld von derjenigen der Stations- und Polkoordinaten. Für die Potentialkoeffizienten bedeutet dies im einzelnen: von ihrem GM-Wert her sind nur die Potentialmodelle JGM3 und EGM96 mit den ITRF-Koordinaten vereinbar, ein falsches GM führt zu einem systematischen Höhenfehler in den Stationskoordinaten. Gesicherte Koeffizienten der Ordnung 1 (Geozentrumsvariationen) waren noch für kein bisheriges Modell vorhanden. Weil die Orientierung der Topex/Poseidon Modelle (JGM1-3) vom mittleren Pol des IERS stark abweicht, ist das Bezugssystem der JGM-Modelle in den 90er Jahren nicht mehr mit den IERS-Polkoordinaten vereinbar (siehe Abbildung 2.1.6). Das Modell EGM96 dagegen ergibt mit seinen Werten von  $\overline{C}_{21}^{\text{CTS}}(t)$  und  $\overline{S}_{21}^{\text{CTS}}(t)$  eine gute Approximation des mittleren IERS-Poles.



Übrigens wäre es besser, wenn das Bezugssystem des Gravitationsfeldes unabhängig festgelegt würde und für jede Stationskoordinatenlösung Transformationsparameter zum System des Schwerefeldes berechnet würden.



Projekt 2.2 Realisierung	Das DGFI beteiligt sich seit Juni 1996 als "Regional Network Associate Analysis Center" für Südamerika (RNAAC SIR) am International GPS Service (IGS). Auch in diesem Berichts-
terrestrischer	zeitraum wurde das bearbeitete Netz weiter verdichtet.
Referenzsysteme 2.2.1 Regionales IGS-Analysezentrum	Als globale IGS-Stationen wurden Aguas Calientes (INEG) in Mexico, Riobamba (RIOP) in Equador, Rio Grande (RIOG) und Cordoba (CORD) in Argentinien sowie Palmer (PALM) in der Antarktis, und als regionale Verdichtungspunkte, die nur vom DGFI ausgewertet werden, Buenos Aires (IGM0) und Bahia Blanca (VBCA) in Argentinien hinzugenommen. Neben den von den globalen IGS-Datenzentren bereitgestellten Beobachtungs- daten holt das RNAAC SIR täglich die "RINEX-Files" von Maracaibo, Buenos Aires, Bahia Blanca sowie aller brasilia- nischen Stationen (außer Fortaleza) von dafür bereitgestellten FTP-Servern. Da hierin auch die IGS-Station Brasilia enthalten ist, hat das DGFI die Aufgabe übernommen, die Brasilia-Daten umgehend bei den globalen IGS-Datenzentren abzulegen.
RNAAC SIRGAS	Die wöchentlichen Lösungen (SINEX-File) vom IGS RNAAC SIR werden an die globalen IGS-Datenzentren geliefert und vom MIT als "Global Network Associate Analysis Center (GNAAC)" in die globale Polyhedron-Lösungen einbezogen. Die Abbildung 2.2.1 zeigt die Variation dieser Polyhedron-Lösung (in Bezug zur



Abb. 2.2.1: Variationen der GNAAC MIT-Polyhedron-Lösung für die Station Bahia Blanca, basierend auf wöchentlichen Lösungen des RNAAC SIR

Die Polyhedron-Lösungen variieren von Woche zu Woche im cm-Bereich für die Nord- und Ost-Komponente, in der Höhe sind die Variationen etwas größer. Die RNAAC SIR-Lösungen haben einen wesentlich größeren Schwankungsbereich, da sie in einem freien Netz berechnet werden und nur durch die Satellitenbahnen fixiert sind. Noch größer sind natürlich die täglichen Variationen, die auch von der Netzkonfiguration abhängen, wenn nicht alle oder nicht dieselben Stationen gemessen haben.

Die Abbildung 2.2.2 zeigt einen Vergleich der horizontalen Stationsgeschwindigkeiten von ITRF97, APKIM9.0 (siehe 2.3.1) und der Polyhedron-Lösung von MIT, zu der das RNAAC SIR beigetragen hat (siehe auch Titelblatt des Jahresberichts). Generell stimmen die Geschwindigkeiten aller Lösungen gut überein. Im östlichen Bereich des Netzes sind die Geschwindigkeiten der Polyhedron-Lösung größer als die von ITRF97 und APKIM9.0, während sie im westlichen Teil kleiner sind. Fast alle Vektoren der Polyhedron-Lösung weisen mehr westlich. Man muß natürlich die relativ kurzen Beobachtungszeiträume einiger Stationen in Betracht ziehen (maximal drei Jahre, Aguas Calientes und Palmer weniger als ein Jahr).

#### Abb. 2.2.2: Vergleich der Stationsgeschwindigkeiten von ITRF97, APKIM9.0, und der Polyhedron-Lösung von MIT unter Einbeziehung der RNAAC SIR-Auswertungen

Stationsgeschwindigkeiten

aus RNAAC Wochenlösungen





Im Rahmen der GPS-Arbeiten in Südamerika wurden in Zusammenarbeit mit der Universität La Plata das argentinische nationale Referenznetz (POSGAR) und in Kooperation mit dem Instituto Geográfico Agustin Codazzi das kolumbianische Referenznetz (MAGNA) mit der Berner Software ausgeglichen. Beide Netze sind, wie die der anderen südamerikanischen Länder, in das Südamerikanische Referenzsystem SIRGAS eingebunden, über das in den vorherigen Jahren bereits berichtet wurde.

#### DGFI — Jahresbericht 1998/99

2.2.2 ILRS- Analysezentrum	Das DGFI ist intensiv mit dem Aufbau eines "Associate Analysis Center (AAC)" im Rahmen des International Laser Ranging Service (ILRS) beschäftigt. Die im Berichtsjahr durchgeführten Arbeiten konzentrierten sich dabei im wesentlichen auf die Automatisierung der SLR-Auswertung und auf die Durchführung umfangreicher Testrechnungen mit dem Programmsystem DOGS.
DOGS Testrechnungen	Die Testrechnungen wurden mit LAGEOS-1 Beobachtungen des globalen SLR Netzes durchgeführt. Diese Berechnungen dienten im wesentlichen zur Verifikation der neuen Version 4.04 von DOGS und zur Festlegung einer optimalen Strategie für die Auswertung der Laserdaten. Die verwendeten Modelle ent- sprechen weitgehend den IERS Konventionen von 1996. Bisher wurden am DGFI die LAGEOS-1 Beobachtungen in Form von Monatslösungen berechnet, wobei ein Zustandsvektor für den gesamten Zeitraum bestimmt wurde. Die mittleren Beob- achtungsresiduen für diese Monatsbögen betragen ca. 5 cm (siehe Tabelle 2.2.1) und zeigen deutliche systematische Effekte. Um diese zu untersuchen, wurden u.a. Berechnungen mit unterschiedlichen Bahnbogenlängen durchgeführt. Es werden hier Ergebnisse gezeigt, wie sich die Bahnbogenlänge auf die interne Genauigkeit der Lösungen (mittlere Beobachtungs- residuen) und auf die berechneten Stationskoordinaten (Ver- gleich mit ITRF97) auswirkt. Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung der internen Genauigkeit, wenn kürzere Bahn- bögen berechnet werden. Bei fünftägigen Bahnbögen reduzieren sich die mittleren Beobachtungsresiduen um den Faktor 3 auf 1.6 cm (siehe Tabelle 2.2.1). Da diese Residuen nur ein internes Genauigkeitskriterium liefern, wurde zusätzlich noch eine externe Kontrolle der verschiedenen SLR-Lösungen vorgenom- men. Dazu wurden die berechneten Stationskoordinaten mit den ITRF97 Koordinaten verglichen. Exemplarisch sind in Tabelle 2.2.2 die mittleren Restklaffungen nach einer Helmerttrans- formation (mit 14 Stationen) zwischen den Stationskoordinaten der Monatslösungen bzw. 15-Tage-Lösungen und den ITRF97 Koordinaten für einen Zeitraum von sechs Monaten dargestellt. Die Station Komsomolsk mußte wegen schlechter ITRF97 Koordinaten und Geschwindigkeiten bei der Transformation eliminiert werden. Die Ergebnisse zeigen mit Ausnahme des Monats Juni für die 15-Tage-Lösungen eine bessere Überein- stimmung mit den ITRF97 Koordinaten als bei den Monats- lösungen. Diese Genauigkeitsteigerung bei den fünfze

Tabelle 2.2.1: Mittlere

1995 durchgeführt.

Beobachtungsresiduen [cm] für verschiedene Bahnbogenlängen. Die Berechnungen wurden mit LAGEOS-1 Daten des globalen SLR-Netzes vom April

Stationen	1 Monat	15 Tage	10 Tage	5 Tage
Fort Davis, USA	3,4	1,7	2,0	0,4
Washington, USA	4,8	1,7	1,2	1,0
Quincy, USA	3,6	0,9	0,2	0,4
Monument Valley, USA	5,6	1,8	1,3	0,5
Richmond, USA	2,6	1,0	-	-
Maui, Hawaii, USA	5,0	2,2	1,4	0,4
Herstmonceux, England	4,0	2,4	2,0	1,0
Zimmerwald, Schweiz	5,8	4,2	3,2	1,4
Matera, Italien	8,4	6,9	5,3	4,4
Potsdam, Deutschland	3,0	2,0	1,9	1,0
Wettzell, Deutschland	2,0	1,9	2,0	1,8
Riga,	6,1	4,2	3,4	2,5
Komsomolsk, Rußland	7,0	4,6	3,8	2,5
Yarragadee, Australien	5,9	1,7	1,3	0,8
Arequipa, Peru	5,6	1,3	1,2	-
Mittl. Beobachtungsresiduen	5,3	3,3	2,5	1,6

	1 Monat	15 Tage
Januar	2,8	2,0
Februar	3,8	2,5
März	2,5	2,4
April	2,3	1,6
Mai	3,1	2,5
Juni	2,9	4,9
Mittel	2,9	2,2

Tabelle 2.2.2: Mittlere Restklaffungen [cm] nach einer Helmert-Transformation zwischen den berechneten Stationskoordinaten und ITRF97 Koordinaten für das erste Halbjahr 1995. Die schlechteren Ergebnisse der 15-Tage-Lösung für den Juni 1995 ist damit zu begründen, daß relativ wenig Beobachtungen vorliegen und die Lösung dadurch instabil wird. Bei der Berechnung des Mittelwertes wurde diese Lösung deshalb nicht berücksichtigt.

# Projekt 2.3 Analyse geodynamischer Deformation

#### 2.3.1 Aktuelle plattenkinematische Modelle (APKIM)

Die Reihe der APKIM-Berechnungen, die das DGFI seit 1988 durchführt, wurde fortgesetzt. Neben den bereits bisher genutzten globalen VLBI-, SLR- und GPS-Lösungen für Stationsgeschwindigkeiten wurden vermehrt regionale GPS-Datensätze verwendet, um Deformationen außerhalb der konventionell definierten Platten zu verbessern. Die gegenwärtig aktuelle Realisierung dieses globalen Modells der Plattenkinematik ist das APKIM9.

Die für die Berechnungen von APKIM9 verwendeten VLBI-, SLR- und GPS-Datensätze sind in Tabelle 2.3.1 angegeben. Insgesamt wurden 246 Geschwindigkeitsvektoren aus den globalen Netzen verwendet. Einige Stationsgeschwindigkeiten in den o.g. Datensätzen waren infolge zu kurzer Beobachtungsreihen sehr unsicher; sie wurden deshalb bei der Berechnung von APKIM9 nicht berücksichtigt (siehe Tabelle 2.3.1). Besonders bei der GPS-Lösung hat sich infolge der kontinuierlichen Erweiterung des GPS-Netzes, sowohl global als auch regional, sowie infolge der längeren Zeitreihen von nunmehr 5 Jahren eine signifikante Genauigkeitssteigerung gegenüber der im vorherigen Modell APKIM8 verwendeten GPS-Lösung ergeben. Aus den Stationsbewegungen der genannten Datensätze wurden außer den konventionell definierten Platten die folgenden Deformationszonen kinematisch modelliert:

- Mittelmeerraum (FEM mit elastischem Kontinuum, siehe 2.3.2),
- Kalifornien (Prädiktion nach kleinsten Quadraten),
- Südamerikanische Anden (Prädiktion nach kleinsten Quadraten),
- Ostasien/Japan (Prädiktion nach kleinsten Quadraten).
- APKIM 9.0 Beim kinematischen Modell APKIM9 wurden die Plattenrotationen und Kontinuumsdeformationen aus den in Tabelle 2.3.1 angegebenen Datensätzen geschätzt und in einem einheitlichen globalen Datum zusammengefasst. Das Datum ist durch die Bedingung definiert, daß die Integration der Bewegungsvektoren über die ganze Erdoberfläche (nicht nur über die Beobachtungsstationen) zu Null wird ("no net rotation", APKIM9.0). Das Datum der einzelnen Beobachtungstypen wird relativ zu dieser globalen Bedingung bestimmt, die durch Summenbildung der Plattenbewegungen und Deformationen in einem 1°x1°-Gitter realisiert wird.

Beob- achtungs-	Lösung	Anzahl Geschwindig- keitsvektoren		Zeitraum
technik		insgesamt	verwendet	
VLBI	GLB1102	82	75	1979-1998
SLR	CSR96L01	72	55	1976-1996
GPS	CODE99P0	140	116	1993-1998

Tab. 2.3.1: Charakterisierung der in APKIM9 verwendeten VLBI-, SLR- und GPS-Datensätze. In Tabelle 2.3.2 sind die Plattenrotationsvektoren aus dem geodätischen Modell im Vergleich zu dem geophysikalischen Modell NNR NUVEL-1A dargestellt. Es zeigen sich signifikante Abweichungen (95% Irrtumswahrscheinlichkeit) für alle drei Komponenten der Plattenrotationsvektoren für vier Platten (Eurasische, Ostasiatische, Nordamerikanische und Pazifische Platte). Für die anderen Platten weicht die geographische Lage des geodätisch bestimmten Rotationspols teilweise signifikant von den geophysikalisch bestimmten Werten ab. Die geodätischen Resultate für die Arabische, Karibische, Indische und Nazca Platte sind wegen unzureichender Daten noch recht unsicher.

Tab. 2.3.2: Geodätisches (APKIM) und geophysikalisches (NUVEL-1A) Modell der Plattenkinematik. Beim APKIM9 Modell ist die Eurasische Platte in Eurasien und Asien aufgeteilt. Angegeben sind für beide Modelle die geographische Lage des Rotationspoles ( $\Phi$ , $\Lambda$ ) und die Rotationsgeschwindigkeit ( $\omega$ ).

Platte		APKIM 9.0		Ν	NR NUVEL	-1A
Name	$\Phi[^\circ]$	Λ [°]	ω[°/Ma]	$\Phi[^\circ]$	Λ [°]	ω[°/Ma]
Afrika	$50.3 \pm 1.2$	$227.6 \pm 2.4$	$0.287 \pm 0.004$	50.6	286.0	0.291
Antarktis	$59.5 \pm 2.3$	$225.9 \pm 3.5$	$0.255 \pm 0.018$	63.0	244.2	0.238
Arabien	$48.7 \pm 9.3$	$331.2 \pm 79.4$	$0.412 \pm 0.175$	45.2	355.5	0.546
Australien	$32.8 \pm 0.7$	$33.5 \pm 1.3$	$0.641 \pm 0.006$	33.8	33.2	0.646
Karibik	$33.4 \pm 5.8$	$271.6 \pm 16.0$	$0.313 \pm 0.128$	25.0	267.0	0.214
Eurasien	$54.8 \pm 0.6$	$262.4 \pm 0.8$	$0.255 \pm 0.002$	50.6	247.7	0.234
Asien	$70.8 \pm 2.0$	$220.9 \pm 24.8$	$0.368 \pm 0.034$	50.6	247.7	0.234
Indien	$44.7 \pm 7.9$	$33.9 \pm 5.8$	$0.645 \pm 0.133$	45.5	0.3	0.545
Nazca	$33.7 \pm 9.7$	$258.2 \pm 1.5$	$0.712 \pm 0.069$	47.8	259.9	0.743
N. Amerika	$-5.9 \pm 0.8$	$279.4 \pm 0.4$	$0.191 \pm 0.002$	- 2.4	274.1	0.207
Pazifik	$-64.7 \pm 0.2$	$99.9 \pm 2.1$	$0.679 \pm 0.006$	-63.0	107.3	0.641
S. Amerika	$-16.6 \pm 2.2$	$213.7 \pm 6.1$	$0.110 \pm 0.005$	-25.3	235.6	0.116

In Abbildung 2.3.1 sind die Geschwindigkeiten von APKIM9.0 und NNR NUVEL-1A für ausgewählte Stationen gegenübergestellt. Im stabilen Inneren der Platten stimmen die Geschwindigkeiten beider Modelle i.d.R. recht gut überein, während in den Deformationszonen (z.B. Südamerikanische Anden, Kalifornien, Mittelmeerraum, Ostasien) erhebliche Differenzen vorhanden sind.

#### 2.3.2 Geodynamische Modellierung im Mittelmeerraum

Das von der DFG geförderte Projekt wurde in diesem Jahr abgeschlossen. Ziel der Arbeit war, ein dreidimensionales dynamisches Finite-Elemente-Modell des Mittelmeerraumes zu erstellen. Das Modell berücksichtigt die Variation von Topographie und Moho-Diskontinuität sowie die Lithosphärenmächtigkeit. Dabei werden die Strukturen der Subduktions- und Kollisionszonen als sogenannte Kontaktflächen mit Coulombscher Reibung eingearbeitet. Neben den kinematischen Bedingungen aus NUVEL1-A am Modellrand ist die Zugspannung der Subduktion am Hellenischen und Kalabrischen Bogen eine weitere Randbedingung. Die Rheologie der Oberkruste entspricht einem elastoplastischen Körper mit linearem Mohr-Coulomb-Bruchkriterium. In den unteren Schichten wirkt ein elasto-viskoser Körper.



Abb. 2.3.1: APKIM9.0 und NNR-NUVEL-1A Geschwindigkeiten für ausgewählte Stationen



Abb. 2.3.2: Darstellung der effektiven Deformationsrate des FE-Modells in Kombination mit dem Geschwindigkeitsfeld in cm/a. Die Zugspannung der abtauchenden Lithosphärenzungen beträgt 150 MPa, die Coulombsche Reibung in den Kontaktflächen liegt zwischen 0,2 und 0,35. Die Kohäsion hat einen einheitlichen Wert von 100 Pa.

Das Modell zeigt, daß die großräumige Deformation der Erdoberfläche im Mittelmeerraum im wesentlichen auf die Prozesse der Subduktion und kontinentalen Kollision Arabiens mit der Eurasischen Platte zurückzuführen ist. Der Betrag der Zugspannung und der Reibungskoeffizient in den Subduktionszonen und der Nordanatolischen Störung beeinflussen die Oberflächendeformation maßgeblich. Das beste Resultat im Vergleich zu den GPS- und SLR-Messungen erzielt man mit einer Zugspannung von 150 MPa und Reibungskoeffizienten von 0,2-0,35 (Abbildung 2.3.2). Der wichtigste Gesteinsparameter ist die Unterscheidung der Kohäsion (Scherfestigkeit des Gesteins bei verschwindendem Umgebungsdruck). Ein Verhältnis von 40 zu 460 MPa der Festigkeit zwischen Extensions- und Kompressionsspannung führt zu den besten Ergebnissen (Abbildung 2.3.3). Die Wirkung variabler viskoser Eigenschaften der Unterkruste und des oberen Mantels auf die Oberflächendeformation ist nur gering.



Betrachtet man 40 GPS-Stationen innerhalb des Anatolisch-Ägäischen Blocks, so erhält man eine mittlere Abweichung von  $\pm 24,2\%$  im Betrag und  $\pm 10,8^{\circ}$  für das Azimut (Abb. 2.3.3). Eine Prädiktion des Geschwindigkeitsfeldes ist somit durchaus möglich. Jedoch ergeben sich lokal signifikante Abweichungen. Bei den Abweichungen zwischen Modell und Messdaten kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob diese auf nicht modellierte geodynamische Prozesse oder auf episodisch auftretende Effekte überdurchschnittlich hoher bzw. niedriger Seismizität zurückzuführen sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass man aus einem großskaligen Modell grundlegende Erkenntnisse über den Zusammenhang und das Wechselspiel großräumig wirkender geodynamischer Prozesse gewinnen kann. Modelle mit großen räumlichen Abmessungen sind notwendig, um den Zusammenhang sowie die Wechselwirkungen der Hauptantriebskräfte abzuschätzen und zu verstehen. Aus solchen Ansätzen können wertvolle Randbedingungen für kleinere Modelle extrahiert werden, die sich auf lokale Phänomene bzw. einzelne geophysikalische Prozesse konzentrieren. Bei der Diskussion der Ergebnisse muss auf lokale Effekte verwiesen werden, die in einem Modell dieser Größe nicht erfasst

Abb. 2.3.3: Vergleich zwischen den Geschwindigkeitsvektoren aus der Satellitengeodäsie (GPS und SLR) und den Ergebnissen aus dem FE-Modell des östlichen Mittelmeerraumes. Zusätzlich wird in diesem Modell zwischen Kohäsion in Extensionsgebieten (Ägäis, 40 MPa) und Kompressionsgebieten (Anatolien, 460 MPa) unterschieden.

#### Zusammenfassung

werden können. Hierfür benötigt man eine höhere räumliche Auflösung, das heißt, eine feinere Diskretisierung durch Finite Elemente. Um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu den GPS-Daten zu erhalten, und um das zyklische Verhalten in Störungszonen zu modellieren, ist eine zeitlich höhere Auflösung wünschenswert.

**Dead Sea Rift Model** Dieser Gedanke wird derzeit in dem neuen, ebenfalls von der DFG geförderten Projekt DESERMO (Dead Sea Rift Model) aufgegriffen und umgesetzt. In diesem soll ein detailliertes Modell der Region erstellt werden. Insbesondere soll die bisher in der Literatur kontrovers diskutierte Rolle einer eigenständig rotierenden Sinai-Platte und eine zeitlich-räumlich höhere Auflösung untersucht werden. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Universität Tel Aviv im Rahmen des Projekts DSRP (Dead Sea Research Projekt) durchgeführt.

#### 2.3.3 Horizontale und vertikale Krustendeformationen

**CASA-Netz** 

Nachdem das Geodynamik-Projekt WHAT A CAT im zentralen Mittelmeer nicht mehr weitergeführt wird, u.a. weil in diesem Bereich zunehmend Permanentstationen eingerichtet werden und deshalb die bisher durchgeführten GPS-Kampagnen entfallen können, konzentrierten sich die Arbeiten im Berichtszeitraum hauptsächlich auf das "Central and South America (CASA)"-Projekt. Da das vollständige CASA-Netz in Venezuela zuletzt 1996 beobachtet worden war und seitdem nur Teile des Netzes, z.B. nach dem Erdbeben im Juli 1997, wieder besetzt wurden, ist im Frühjahr 1999 die zweite Wiederholungsmessung durchgeführt worden. Anläßlich dieser GPS-Kampagne konnten neben den im CASA-Netz enthaltenen drei Pegelstationen in Venezuela auch zwei Pegelstationen in Kolumbien, eine an der Karibik-, die andere an der Pazifikküste, in das Netz einbezogen werden. Diese Erweiterung ist im Zusammenhang damit zu sehen, dass

- das DGFI 1999 wesentlich an der Ausgleichung des kolumbianischen GPS-Grundnetzes MAGNA beteiligt war, und
- das 1995 eingerichtete kontinentale GPS-Referenzsystem f
  ür ganz S
  üdamerika (SIRGAS) im Jahr 2000 erneut beobachtet und dabei auch zu einem einheitlichen H
  öhensystem f
  ür den ganzen Kontinent mit Anbindung der wichtigen Pegel ausgedehnt werden soll (SIRGAS Working Group III).

Die Abbildung 2.3.4 zeigt das 1999 beobachtete Netz. Eine Epochenlösung im neuesten Referenzsystem ITRF 97 ist berechnet worden, aber es liegt noch keine abschließende Geschwindigkeitslösung aus allen bisher gesammelten Daten vor. Dies liegt daran, dass das in einer älteren Version der Berner Software realisierte Konzept der direkten Schätzung von Geschwindigkeiten in der neuesten Software-Version noch nicht implementiert werden konnte. In Abbildung 2.3.5 sind die aus Epochenlösungen resultierenden Punktverschiebungen für die vom Erdbeben betroffenen Stationen dargestellt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Erdbeben vom Juli 1997 zwar abrupte Bewegungen verursacht hat, die sich aber auch Monate danach noch verlangsamt fortgesetzt haben.

Abb. 2.3.4: Das im Frühjahr 1999 beobachtete CASA-Netz

Abb. 2.3.5: Punktverschiebungen aufgrund des Erdbebens vom 9. Juli 1997



#### Pegel-Einmessungen in Kolumbien und Venezuela

Ein wesentliches Ergebnis der Pegel-Einmessungen ist, dass die mit GPS erhaltene ellipsoidische Höhe (h) mit der Undulation (N) des EGM96-Geoids in den Fundamentalpegeln Buenaventura (Pazifikküste Kolumbien) und La Guaira (Karibikküste Venezuela), welche die nationalen Höhensysteme definieren (H = 0), sehr gut übereinstimmt (siehe Tabelle 2.3.3). Dies ist insofern überraschend, als der Meeresspiegel in beiden Pegeln wegen der unterschiedlichen Meerestopographie in Pazifik und Karibik nicht gleichermaßen mit dem Geoid zusammenfallen dürfte. In EGM96 scheint demnach der Effekt der verschiedenen nationalen Höhensysteme voll enthalten zu sein, so dass das daraus berechnete Geoid stark verfälscht ist. Offensichtlich wurden die terrestrisch beobachteten Schwereanomalien nicht auf das Geoid, sondern auf die Höhenbezugsfläche reduziert, so das sich der systematische Fehler direkt in der Geoidberechnung niederschlägt.

Pegel	h (GPS)	H (niv.)	N (EGM96)	$\epsilon = h$ -H-N
Pazifik (Kol.)				
Tumaco	18,70 m	3,22 m	14,26 m	1,22 m
Buenaventura*	20,66 m	3,63 m	17,04 m	-0,01 m
Karibik (Kol.)				
Cartagena	-4,50 m	1,13 m	-6,09 m	0,46 m
Karibik (Ven.)				
Amuay	7,83 m	29,08 m	-21,64 m	0,39 m
La Guaira*	124,69 m	143,39 m	-18,70 m	0,00 m
Carúpano	-29,68 m	2,95 m	-32,78 m	0,15 m

Tab. 2.3.3: Differenz (ε) zwischen den mit GPS bestimmten ellipsoidischen Höhen, den nivellierten Höhen an den Pegeln und den aus EGM96 abgeleiteten Geoidundulationen (\* = Bezugspegel der Höhensysteme Kolumbiens bzw. Venezuelas)

# 3. Schwerefeld und Meerestopographie

Genauigkeit und Auflösung des Schwerefeldes erweisen sich für aktuelle Anforderungen immer noch als unzureichend: Ein Zentimeter-Geoid würde Höhenmessungen gleicher Genauigkeit mit GPS ermöglichen, und in Verbindung mit der Altimetrie könnte die absolute Meerestopographie global genau überwacht werden, um Rückschlüsse auf Zirkulationen, Massen- und Energietransport zu ziehen. Zwei Drittel der Erdoberfläche können durch Satellitenaltimetrie präzise abgebildet werden. Dedizierte Schwerefeldmissionen wie CHAMP, GRACE und GOCE werden Daten liefern, die eine erhebliche Verbesserung des Schwerefeldes ermöglichen. Die Arbeiten zielen deshalb auf 1) eine verbesserte Modellierung von hochauflösendem Schwerefeld und Meerestopographie, 2) die Langzeitanalyse von Altimeterdaten vor allem durch Kombination mehrerer Altimetermissionen und 3) Bahn- und Parameterbestimmungen für die Nutzung der CHAMP-Daten, die Validierung von Schwerefeldverbesserungen und die Schätzung von Geozentrumsvariationen. Die Arbeiten dieses Programmpunktes sind seit Juli 1999 in das vom BMBF geförderte Projekt EVAMARIA eingebunden.

# Projekt 3.1 Modellbildung für Schwerefeld und Meerestopographie

#### 3.1.1 Hochauflösende Darstellungsformen des Schwerefeldes

Wavelet-Entwicklung für regionale Gravitationsfeldstrukturen

> Hochauflösende Schweredaten aus Altimetrie

Das Gravitationspotential der Erde wird üblicherweise in eine Kugelfunktionsreihe entwickelt. Lokale beziehungsweise regionale Gravitationsfeldvariationen führen jedoch zu einer Veränderung sämtlicher Koeffizienten der Kugelfunktionsreihe. Als Modellansatz für das Gravitationspotential kann daher eine Kombination aus einem Kugelfunktionsmodell für den niederfrequenten Anteil und einer Wavelet-Entwicklung für den hochfrequenten Anteil gewählt werden. Regionale Strukturen des Gravitationsfeldes lassen sich nämlich aus einer sphärischen Wavelet-Transformation erkennen. Als Variable der sphärischen Wavelet-Transformation treten ein Dilatationsparameter und zwei sphärische Rotationsparameter auf. Es wurde ein Konzept erarbeitet, das die zuvor beschriebene Aufteilung des Schwerefeldmodells in eine Kugelfunktions- und eine Wavelet-Entwicklung beinhaltet. Die unbekannten Koeffizienten der Wavelet-Reihe sollen aus einer Bayes-Schätzung ermittelt werden, wobei die notwendigen Vorinformationen über die unbekannten Parameter aus der Wavelet-Transformation eines bekannten Schwerefeldes zu gewinnen sind. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf die Diskretisierung der Wavelet-Transformation zu legen, da diese vom Wert des Dilatationsparameters abhängt. Die Umsetzung dieses Konzepts sollte im Rahmen der CHAMP--Mission erfolgen, wobei eine entsprechende Förderung der Arbeiten durch die DFG vorausgesetzt wurde. Da eine Förderung jedoch nicht gewährt wurde, ist nun eine Zusammenarbeit mit südamerikanischen Institutionen begonnen worden.

e Zur Ableitung hochauflösender Schwerefelddaten aus Altimetrie
 s wurde ein alternatives Verfahren durch Simulationen erprobt.
 e Dabei wird an einem Kreuzungspunkt zweier Bahnspuren die mittlere Krümmung des Meeresspiegels aus einem lokalen Flächenmodell zweiter Ordnung abgeleitet, dessen Parameter aus den benachbarten Spurdaten durch Ausgleichung geschätzt werden. Die Krümmung des Meeresspiegels wird von der Meeres-

topographie praktisch nicht beeinflusst, so dass dieses Verfahren direkt die mittlere Krümmung einer Äquipotentialfläche bestimmt, die über die Laplacesche Differentialgleichung mit der zweiten radialen Ableitung  $T_{rr}$  des Störpotentials verknüpft ist. Zur Erprobung wurden altimetrische Höhen durch EGM96 Geoid höhen in drei verschiedenen Szenarien simuliert, welche die realen Meßsituationen zunehmend gut approximieren (vergl. Abbildung 3.1.1): Die Höhen wurden auf ein regelmäßiges Gitter verteilt (Gittermethode), symmetrisch auf zwei sich orthogonal kreuzende Spuren (Kreuzmethode) und unsymmetrisch auf zwei sich schiefwinklig schneidende Spuren (Spurmethode).



Die Karibik mit dem Puerto-Rico Graben wurden als Testgebiet ausgesucht, weil dort extreme Geoidneigungen auftreten. Die Ergebnisse für Gitter- und Kreuzmethode sind in Tabelle 3.1.1 zusammengestellt und weisen nach, dass das Verfahren grundsätzlich funktioniert. Die Kreuzmethode führte auf ein singuläres Gleichungssystem und erforderte eine Regularisierung, die mit Hilfe der Pseudoinversen durchgeführt wurde. Die Regularisierung führt dann zu guten Ergebnissen, wenn durch eine Skalierung der unbekannten Flächenparameter die Elemente der Jakobimatrix gleichmäßige Größenordnungen erhielten. Bei der Spurmethode versagt diese Regularisierung aus bisher ungeklärten Gründen. Das Verfahren wird jedoch weiter verfolgt, weil die Kombination der Spuren verschiedener Satelliten große Flexibilität besitzt und eine hohe räumliche Auflösung verspricht. Niveauunterschiede durch Bahnfehler der beiden sich kreuzenden Spuren können z.B. durch unterschiedliche Absolutglieder, welche die Flächenkrümmung nicht beeinflussen, aufgefangen werden, so dass auch Bahnspuren verschiedener Satelliten ohne vorhergehende Kreuzungspunkt-Analyse nutzbar sind.

T <sub>rr</sub>	Diff. T	T <sub>rr</sub> - T <sub>zz</sub>	Punkte:
(Soll)	Gitter	Kreuz	2138
- 80.2	- 3.3	- 6.2	Minimum
+ 65.7	+ 2.6	+ 6.0	Maximum
± 16.0	± 0.2	± 0.3	rms-Wert

Tab. 3.1.1: Ergebnisse (in Eötvos) der Simulation zur Ableitung von Schweregradienten aus altimetrischen Meereshöhen in dem Testgebiet Karibik /Puerto-Rico Graben.



Um hochauflösende Schweredaten zu vergleichen, wurden die marinen 2'x2' Schwereanomalien von Sandwell und Knudsen benutzt. Außerdem wurde ein Programm zur Berechnung beliebiger Funktionale von hochauflösenden Schwerefeldmodellen verbessert.

#### 3.1.2 Modellierung der Meerestopographie und ihrer Variabilität

Im letzten Jahresbericht wurde die zweidimensionale Wavelet-Transformation auf der Basis der zweidimensionalen Morlet-Funktion vorgestellt, die zur Detektion bestimmter Oberflächenstrukturen eingesetzt werden kann. Da die zu untersuchenden Meereshöhen nach Abspaltung eines deterministischen Trends als stochastisches Signal interpretiert werden können, wurde die zweidimensionale Wavelet-Transformation von stochastischen Signalen untersucht. Setzt man das Signal  $x(t_1, t_2) = x(t)$  als im weiteren Sinne homogen und ergodisch voraus, ist die Erwartungswertfunktion  $E[x(t)] = \mu x$  gleich der Konstanten und die Autokovarianzfunktion

 $C_{x}(\mathbf{t}_{1},\mathbf{t}_{2}) = E[(x(\mathbf{t}_{1}) - \mu x)^{*}x(\mathbf{t}_{2}) - \mu x)] = C_{x}(\tau)$ 

mit  $\tau = \mathbf{t}_2 - \mathbf{t}_1$  unabhängig vom Ursprung des gewählten kartesischen Koordinatensystems, das durch die Koordinaten  $\mathbf{t}_1$ und  $\mathbf{t}_2$  und repräsentiert wird. In diesem Fall erweist sich auch die zweidimensionale Wavelet-Transformation  $X(a, \theta, \mathbf{b})$  als im weiteren Sinne homogen, da sich die Erwartungswertfunktion  $E[X(a, \theta, \mathbf{b})] = \mu x$  aufgrund der Zulässigkeitsbedingung für die Wavelet-Funktion zu  $\mu x = 0$  ergibt und die Autokovarianzfunktion

 $C_{X}(a, \theta, \mathbf{b}_{1}, \mathbf{b}_{2}) = E[X^{*}(a, \theta, \mathbf{b}_{1})X(a, \theta, \mathbf{b}_{2})]$ 

mit vorgegebenenen Werten für den Skalierungsparameter a und den Rotationswinkel  $\theta$  nach

$$C_{X}(a, \theta, \beta) = \int_{\mathbb{R}^{2}} C_{x}(\tau) w(\beta - \tau, a, \theta) dr$$

als Funktion des Differenzvektors  $\beta = \mathbf{b}_2 - \mathbf{b}_1$  geschrieben werden kann. Die Autokovarianzfunktion der Wavelet-Transformation berechnet sich demnach aus der zweidimensionalen Faltung der Autokovarianzfunktion des zu analysierenden stochastischen Prozesses mit der Funktion  $w(\beta - \tau, a, \theta)$ , die sich aus der zweidimensionalen Wavelet-Funktion ermittelt. Für  $\beta = \mathbf{0}$  erhält man die vom Skalierungsparameter *a* und vom Rotationswinkel  $\theta$  abhängige Varianzfunktion  $\sigma_X^2(a, \theta) = C_X(a, \theta, \mathbf{0})$ . Bezeichnet  $\tilde{S}_x(\omega)$  eine Schätzung des Fourier-Spektrum  $S_x(\omega)$  des zu analysierenden x(t) Signals, das sich aus der zweidimensionalen Fourier-Transformation der Schätzung  $\tilde{C}_x(\tau)$  der Autokovarianzfunktion  $C_x(\tau)$  berechnet, erhält man die geschätzte Varianzfunktion aus

$$\tilde{\sigma}_x^2(a,\,\theta) = \frac{|a|^2}{4\pi^2} \int_{\mathbb{R}}^2 \tilde{S}_x(\omega) \,|\, \Psi(ja\mathbf{A}'\omega)\,|^2\,d\omega$$

worin die Matrix A den Rotationswinkel  $\theta$  enthält und bereits im letzten Jahresbericht angegeben worden ist. Das Quadrat  $|\Psi(ja\mathbf{A}'\omega)|^2$  der Fourier-Transformation  $\Psi(ja\mathbf{A}'\omega)$  der Wavelet-Funktion ergibt sich für den Fall der Morlet-Funktion mit ausreichender Genauigkeit zu

$$|\Psi(ja \mathbf{A}' \omega)|^2 = 4 \pi^2 \sigma^4 e^{-|a \mathbf{A}' \omega - \omega_0|^2 / \sigma^2}$$

Bezeichnet nun  $\sigma_x^2$  eine Schätzung der Varianzfunktion  $C_x(\mathbf{0})$ , bedeutet der Zusammenhang

$$\tilde{\sigma}_x^2 = \frac{1}{C\psi} \int_0^{2\pi} \int_{\mathbb{R}} \tilde{\sigma}_x^2(a,\theta) \frac{da}{|a|^3} d\theta$$

dass die geschätzte Gesamtvarianz in einzelne Varianzanteile aufgespalten wird und die Schätzung  $\tilde{\sigma}_{x}^{2}(a, \theta)$  die Varianzverteilung des Zufallsfeldes x(t) in Abhängigkeit vom Skalierungsparameter a und vom Rotationswinkel  $\theta$  widerspiegelt. Da sich Signalstrukturen aus der Varianzverteilung erkennen lassen, sind die dominierenden Signalanteile dort in dem durch die Variablen a und  $\theta$  aufgespannten Raum zu finden, wo die Funktion  $\tilde{\sigma}_{X}^{2}(a, \theta)$  große Werte aufweist.

Das Verfahren der Datenkompression durch Anwendung der durch Waveletdiskreten Wavelet-Transformation wurde zunächst an eindimensionalen Signalen getestet, wobei als Wavelet-Funktionen die Transformation Daubechies-Funktionenfamilie zum Einsatz kam. Durch die Anwendung der schnellen Wavelet-Transformation lässt sich die Signalzerlegung und die Signalrekonstruktion effizient durchführen.

# 3.1.3 Datenkompression

# Projekt 3.2 Analyse von Altimeterdaten

#### 3.2.1 Langzeitmodellierung und Fehleranalyse des mittleren Meeresspiegels

Abb.3.2.1: Geglättete, mittlere Meerestopographie in der südlichen Karibik für den Zeitraum 1992-1998. Entlang der Bahnspuren von Topex/Poseidon wurden die ellipsoidischen Meereshöhen um das "mean" EGM96-Geoid reduziert. Die Werte an den drei venezolanischen Pegeln wurden interpoliert. Die Datenbestände von Topex/Poseidon wurden wiederum aktualisiert und umfassen jetzt 6,5 Jahre von Oktober 1992 - Mai 1999. Das im Vorjahr für den Bereich der Karibik erprobte Interpolationsverfahren (Glättung von fünf aufeinanderfolgenden Punkten durch kubische Polynome, Abzug des EGM96-Geoids und Interpolation auf ein 20' -Gitter) wurde nun global angewendet und mit noch engeren Kriterien für die Elimination von Aussreissern verbunden. Die Meeresoberflächentemperaturen wurden ebenfalls vervollständigt und liegen jetzt global für die Periode 1992-August 1999 vor.

Modellierung und Fehleranalyse des mittleren Meerespiegels wurden exemplarisch in der Karibik und im Nordatlantik weitergeführt. Bei den Untersuchungen in der Karibik hatten die Ergebnisse des Vorjahres gezeigt, dass selbst so hochauflösende Schwerefeldmodelle wie das EGM96 nicht in der Lage sind, die extremen Geoidvariationen im Puerto-Rico-Graben und an der Küste Venezuelas aufzulösen. Die Schätzungen der Meerestopographie wurden deshalb mit Hilfe eines räumlichen Medianfilters einer stärkeren Glättung unterzogen. Die geglättete Meerestopographie ist in Abbildung 3.2.1 dargestellt.



Abbildung 3.2.1 zeigt außerdem die Lage von drei venezolanischen Pegeln und die für diese Pegel geschätzten Beträge der Meerestopographie. Durch GPS-Messungen an diesen Pegeln standen ellipsoidische Höhen  $H_i$  zur Verfügung. Mit den nivellierten Höhen  $h_i$ , der geschätzten Meerestopographie  $\zeta_{BM}$  am Höhenbezugspunkt (La Guaira) und der aus EGM96 berechneten Geoidhöhe  $N_i$  konnte damit erstmals die Bilanzgleichung

$$h_i + \zeta_{BM} + N_i - H_i = 0$$

überprüft werden (vergl. Abbildung 3.2.2). Die Ergebnisse der Bilanz sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt und weisen eine überraschend gute Übereinstimmung auf. Dies indiziert, dass die Altimetrie eine gute absolute Lagerung des Meeresspiegels gewährleistet.



Abb. 3.2.2: Zusammenhang zwischen nivellierten Höhen, GPS-Höhen, dem Geoid und der Meeretopographie

Tab. 3.2.1: Bilanz zwischen Nivellement, Meerestopographie, Geoidhöhe und ellipsoidischen GPS-Höhen (m) an drei venezolanischen Pegeln.

	$h_{i}$	+ $\zeta_{BM}$	$+ N_i$	- $H_i$	= 0 ?
Amuay	29.67	0.05	-21.64	7.83	0.25
La Guaira	143.39	0.05	-18.70	124.68	-0.06
Carupano	2.95	0.05	-32.78	-29.68	-0.10

Durch Kooperation mit der venezolanischen Landesvermessung standen für die in Abbildung 3.2.1 dargestellten Pegel Monatsmittelwerte der Pegelregistrierungen zur Verfügung. Die mehrjährige Variabilität dieser Pegeldaten konnte erstmals mit altimetrisch bestimmten Meeresspiegelvariationen verglichen werden. Es ist ein günstiger Zufall, das für alle drei Pegel Bahnspuren von Topex/Poseidon sehr genau über den jeweiligen Pegelstandort verlaufen. Jeder der 240 Topex/Poseidon Zyklen liefert so ein kurzes Bahnspurprofil, das zum Pegel hin- oder vom Pegel wegführt. Abbildung 3.2.3 zeigt die Profile, die auf den Pegel Amuay zulaufen. Mit einem Punkt des Profils, der möglichst nahe am Pegel liegt, aber noch genügend (durch Land) ungestörte Altimetermessungen aufweist, konnten damit (fast)



Abb. 3.2.3: Profil der Meerestopographie für die Topex/Poseidon Bahnspur Nr. 254, die genau auf den venezolanischen Pegel Amuay zuläuft. Links die Profilhöhen aller Zyklen, dargestellt als Funktion der Breite, rechts die Lage von Bahnspur und Pegel sowie Isolinien des EGM96 Geoids. Die deutlichen Spitzen in den Profilhöhen, die bei 13.5° und 17.5° Breite auftreten, sind eindeutig mit starken Geoidneigungen gekoppelt und indizieren kurzwellige Fehler des EGM96 Geoids.

alle 10 Tage die Meereshöhen ermittelt werden. Diese eindimensionalen Zeitreihen wurden den Monatsmittelwerten der Pegel gegenübergestellt (vergl. Abbildung 3.2.4) Die Zeitreihen zeigen eine recht hohe Korrelation. Die Driftraten sind jedoch widersprüchlich und für die Pegelregistrierungen unerklärbar hoch.

Abb.3.2.4: Relativer Vergleich der Monatsmittelwerte von drei venzolanischen Pegeln mit Meerespiegelvariationen, die aus Altimeterprofilen von Topex/Poseidon abgeleitet wurden. Die linke Skala (Einheit m) bezieht sich auf die Meeresspiegelvariationen aus Topex/Poseidon (durch Punkte verbundene Polygone), die rechte Skala (Einheit mm) bezieht sich auf die Monatsmittelwerte der Pegel.Die Zeitreihen haben einen recht hohen Korrelationskoeffizienten. Für jeden Pegel sind auch die Driftraten (in mm/Jahr) der beiden Zeitreihen angegeben.Während die Driftraten des Meerespiegels wenige mm/Jahr betragen, weisen die Pegeldaten in Carupano und Amuay extrem hohe Driftraten auf. Es bleibt zu klären, ob hier tektonische Bewegungen vorliegen oder lokale Einflüsse der Pegelstation oder der Registrierung selbst verantwortlich sind.



Für den Vergleich von Pegelregistrierungen mit Meeresspiegelvariationen liegen nicht immer so günstige geometrische Verhältnisse wie an der venezolanischen Küste vor. Es wurde deshalb begonnen, durch eine Diplomarbeit geeignete Interpolationsverfahren zu untersuchen, mit denen die Meeresspiegelschwankungen von der Bahnspur des Altimetersatelliten auf den Pegelstandort übertragen werden können.

Der Nordatlantik war weiterhin Gegenstand detaillierter Untersuchungen. Die bereits vor zwei Jahren entdeckte Meereshöhenanomalie des nordatlantischen Subpolarwirbels wird auch durch den jetzt 6,5 Jahre umfassenden Datensatz bestätigt. Driftraten bis zu +16 mm/Jahr nördlich von 50° Breite implizieren im Untersuchungszeitraum einen Meeresspiegelanstieg von 10 cm (siehe Abbildung 3.2.5). Gleichzeitig hat sich der Meerespiegel im zentralen Golfstromgebiet um mehr als 10 cm gesenkt und im Zentrum des Subtropenwirbles wiederum um ca. 5 cm gehoben.

### 3.2.2 Untersuchung anomaler Wasserstände im Nordatlantik

Abb. 3.2.5: Änderungen (in cm) der Meerestopographie im Nordatlantik für den Zeitraum Okt. 1992 - Mai 1999. Überlagert sind Vektoren, die die entsprechende Änderung der geostrophischen Strömungsgeschwindigkeiten anzeigen.

![](_page_39_Figure_3.jpeg)

Übersetzt man mit Hilfe der geostrophischen Gleichungen die Neigungsänderungen der Meerestopographie in Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten (siehe Abbildung 3.2.5), läßt sich erkennen, dass in den letzten sieben Jahren

- der Subpolarwirbel des Nordatlantiks schwächer,
- der Subtropenwirbel dagegen etwas stärker geworden ist, und
- sich der Golfstrom nach S
  üden verlagert hat, weil die Strömungen in seiner nördlichen Randzone schw
  ächer, in der s
  üdlichen Randzone dagegen st
  ärker geworden sind.

Die Daten der Meeresoberflächentemperatur haben eine sehr ausgeprägte Jahresschwingung, die im zentralen Nordatlantik den jahreszeitlichen Schwankungen der Meerestopographie um einen Monat vorangeht. Die Amplituden der Jahresschwingungen weisen dabei ein Verhältnis von 1-2 cm/°C auf. Allerdings ist die Jahresschwingung der Meerestopographie keineswegs so dominant wie bei der Meeresoberflächentemperatur. Das wesentlich komplexere Verhalten der Topographie kann deshalb keineswegs ausschließlich durch Temperatureinflüsse erklärt werden. Vergleiche mit anderen Datenquellen, wie z.B. den Pegelregistrierungen, sind deshalb unumgänglich.

ojekt EVAMARIA ist ein neues Projekt, das seit Juli 1999 über den Projektträger BEO durch das BMBF gefördert wird. Ziel des Projektes ist die Erkennung und Verfolgung anomaler Meerwasserstände mit Altimetrie und Registrierungen von Pegeln im Nord-Atlantik. Dass die Altimetrie grundsätzlich in der Lage ist, großräumige Wasserstandsanomalien von wenigen cm zu erkennen, wurde bereits durch die oben beschriebenen Untersuchungen bewiesen. Die überraschend hohen und regional unterschiedlichen Veränderungen des Meeresspiegels, die durch Altimetrie erkannt wurden, sollen aber durch Pegelregistrierungen ergänzt und überprüft werden. Da Pegel jedoch nur die Schwankungen des Meerespiegels relativ zur festen Erde

#### Projekt EVAMARIA

aufzeichnen, soll durch GPS-Messungen versucht werden, tektonisch verursachte Höhenänderungen an den Pegelstationen zu identifizieren. Dazu werden an drei ausgesuchten Pegeln im Nordatlantik permanent aufzeichnende GPS-Empfänger installiert. An weiteren Pegeln sind gleichzeitig episodische Messungen vorgesehen. Die geplanten Messungen werden ergänzt und unterstützt durch ausländische Partner, die logistische Unterstützung bieten, sich an den Messungen aktiv beteiligen oder eigene Daten zur Verfügung stellen. Als Kooperationspartner konnten bisher gewonnen werden:

- Escuela de Ingeniería Geodésica, La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela
- Instituto Geográfico Agustin Codazzi, Bogotá, Columbia
- Instituto Portugués de Cartografia, Lisboa, Portugal
- Kort.og. Matrikelstyrelsen, Kopenhagen, Dänemark
- Landmaelingar Islands, Reykjavik, Island
- Servicio Autónomo de Geografia y Cartografia Nacional, Caracas, Venezuela

Für die Pegelregistrierungen stehen die Datenbestände des PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) mit Monatsmittelwerten und des UHSLC (University of Hawaii Sea Level Center) mit Tagesmittelwerten zur Verfügung. Ergänzend konnten von venezolanischen Kooperationspartnern aktuelle Registrierungen bezogen werden. Die bisherige Inspektion der Pegelregistrierungen belegt die Notwendigkeit einer absoluten Höhenkontrolle durch GPS. Abbildung 3.2.6 zeigt Registrierungen mit wechselnden, z.T widersprüchlichen oder ganz unerklärbar hohen Driftraten.

![](_page_40_Figure_10.jpeg)

Abb. 3.2.6: Pegelregistrierungen in der Karibik (links) und im Nordost-Atlantik (rechts)

Für die absolute Höhenkontrolle durch GPS stellen sich sehr hohe Anforderungen. Liegen die Epochenmessungen drei Jahre auseinander, darf der Höhenfehler 5 mm nicht überschreiten, um (typische) Driftraten von  $\pm 2-3$  mm/Jahr aufzudecken. Die Nähe zu einer permanenten GPS-Station ist deshalb für die episodischen Messungen sehr wichtig.

Zur Auswahl der Pegel wurden aber auch andere Kriterien benutzt: Die Dauer und Vollständigkeit der Registrierung, die Verfügbarkeit für den durch Altimetrie abgedeckten Zeitraum (ab 1992), die Lage (Insel bzw. offener Ozean oder hervorragende Küstenlage) sowie eine mögliche logistische Unterstützung durch örtliche Kooperationspartner. Das Ergebnis der bisherigen Pegelauswahl ist in Abbildung 3.2.7 dargestellt.

![](_page_41_Figure_4.jpeg)

Abb. 3.2.7: Pegel und GPS-Stationen für das Projekt EVAMARIA

Für die Pegelstationen und die verfügbaren Registrierungen wurde eine Datenbank konzipiert und angelegt. Die Datenbank soll im Intranet bereitgestellt werden, um allen Projektbeteiligten die erforderlichen Metadaten zur Verfügung zu stellen. Kreuzungspunktdifferenzen

Bei Mittelung über einen genügend langen Zeitraum bilden sich in Kreuzungspunktdifferenzen nicht nur die durch das Schwerefeld verursachten Bahnfehler, sondern auch Inkonsistenzen in den Bahnbezugssystemen verschiedener Satelliten ab. Die Abweichungen der Bezugssysteme müssen aber erkannt werden, um z.B. einen säkularen Meeresspiegelanstieg durch Altimetrie nachweisen zu können.

Um neben Schwerefeldkorrekturen auch eine Maßstabskorrektur dr sowie Translationen dx, dy und dz zwischen den Bezugssystemen zweier Satelliten schätzen zu können, wurden Möglichkeiten zur Stabilisierung näher untersucht. Die Aufgabe, Schwerefeldkorrekturen und Datumsparameter gemeinsam zu schätzen, ist nämlich aus zwei Gründen schlecht konditioniert:

- 1. Der mittlere, "geographisch korrelierte" Bahnfehler (eine Linearkombination von Fehlern der Schwerefeldkoeffizienten) ist in den Kreuzungspunktdifferenzen *eines* Satelliten überhaupt nicht sichtbar; in *gemischten* Kreuzungspunktdifferenzen nur die Differenz der mittleren Bahnfehler zweier Satelliten mit möglichst unterschiedlicher Bahn.
- 2. Maßstabskorrektur dr und Translation dz sind wegen der Dominanz des Ozeans auf der südlichen Hemisphäre stark korreliert. Dx- (bzw. dy)-Translationen bewirken Änderungen der Schwerefeldkoeffizienten  $dC_{3p}$ ,  $dC_{5p}$ ,  $dC_{7l}$  (bzw.  $dS_{3p}$ ,  $dS_{5p}$ ,  $dS_{7l}$ ).

Als apriori Information wurde zunächst die volle Varianz-Kovarianzmatrix des Schwerfeldes, mit dem die Bahnen der Altimetersatelliten berechnet wurden, eingeführt. Die Lösung war jedoch unbefriedigend, da trotz kleiner Residuen der beobachteten Kreuzungspunktdifferenzen der mittlere Bahnfehler nahezu beliebig hohe Werte annahm. Erst Pseudobeobachtungen für den mittleren Bahnfehler selbst, mit Varianzen, die durch strenge Fehlerfortpflanzung aus dem apriori Schwerefeldmodell gewonnen wurden, führte zu einer stabilen Lösung. Die oben erwähnten Korrelationen blieben jedoch bestehen, so dass die Trennung von Translationsparametern und den ersten Koeffizienten mit ungeradem Grad und der Ordnung eins schwierig bleibt.

# Projekt 3.3 Bahn- und Parameterbestimmung

Globale geodynamische Prozesse, wie die Verlagerung von ozeanischen Wassermassen, verursachen differentielle Translationen und Rotationen des terrestrischen Koordinatensystems. Die Variationen des Geozentrums können relativ zur Erdoberfläche durch wiederholte Bestimmung der Schwerefeldkoeffizienten ersten und zweiten Grades bestimmt werden. Hochfliegende Satelliten wie LAGEOS-1 und LAGEOS-2 sind dafür genügend sensitiv.

#### Geozentrumsvariationen

Zu Vergleichszwecken wurden auch aus Altimetrie die ozeanischen Massenverlagerungen abgeschätzt und deren Auswirkungen auf die Geozentrumslage berechnet. Da die altimetrisch beobachteten Höhenänderungen die Summe aus Volumen- und Massenänderungen enthalten, wurden die dynamischen Höhen der Levitus-Klimatologie (1994), die lediglich die jahreszeitlichen Schwankungen von Temperatur- und Salzgehaltsänderungen wiedergeben, abgezogen. Für die residuellen Höhen wurden Kugelfunktionskoeffizienten ersten und zweiten Grades berechnet (siehe Abbildung. 3.3.1).

![](_page_43_Figure_6.jpeg)

Abb. 3.3.1: Kugelfunktionsanalyse der ozeanische Massenverlagerungen, abgeschätzt durch die Differenz altimetrisch bestimmte Meereshöhen minus dynamische Höhen der Levitus Klimatologie. Der Einfluß der dynamischen Höhen ist durch graue Kreise dargestellt und erweist sich (bis auf  $C_{10}$ ) als gering und antizyklisch zu den altimetrischen Höhen.

Alle Koeffizienten zeigen eine dominante Jahresschwingung. Der Einfluß der dynamischen Höhen ist (bis auf  $C_{10}$ ) gering und beträgt weniger als 1cm. Überraschenderweise verhalten sich die dynamischen Höhen antizyklisch.

Eine harmonische Analyse der Levitus-Höhen (siehe Abbildung 3.3.2) zeigt, dass Amplituden und Phasen ähnlich verteilt sind wie bei den altimetrisch bestimmten Meereshöhen: In westlichen Randströmungen wie Kuroshio und Golfstrom ergeben sich Amplituden von 12 cm oder mehr. Auch die globale Verteilung der Phasenlage sieht ähnlich aus und weist auf der Nordhalbkugel maximale Amplituden für den Spätsommer aus, auf der Südhalbkugel liegen die Maxima dagegen im Frühjahr. Auffallend ist allerdings, dass die dynamischen Höhen von Levitus auch auf der Südhalbkugel, insbesondere zwischen -30° bis -50° Breite teilweise recht hohe Beträge (etwa 10 cm) annehmen, während die altimetrischen Meereshöhen dort überhaupt keine starken Amplituden aufweisen. Die flächenmäßige Dominanz der Ozeane auf der Südhalbkugel führt nun dazu, daß der global gemittelte Jahresgang der dynamischen Höhen antizyklisch zum globalen Mittel der altimetrisch bestimmten Meereshöhen-Änderungen verläuft.

Abb. 3.3.2: Amplituden (cm) der jährlichen Schwankungen für die dynamischen Höhen der Levitus Klimatologie.

![](_page_44_Figure_4.jpeg)

# 4 Informationssysteme

Ein wesentliches Element der Forschung ist die Einbeziehung aller verfügbaren Informationen in die wissenschaftlichen Arbeiten (Recherchen nach Daten- und Literaturquellen). Solche Informationen können lokal vom Nutzer gesammelt und verwaltet oder bei aktuellem Bedarf von externen Daten- oder Informationssystemen herangezogen werden. Beim modernen Konzept der Globalisierung der Wissenschaft ergibt sich eine Kombination dieser beiden Möglichkeiten: Im Rahmen der internationalen Arbeitsteilung wird von den Forschungseinrichtungen ein Teil der Daten selbst gehalten und den übrigen Institutionen zugänglich gemacht, der andere benötigte Teil wird von externen Zentren angefordert. Der Daten- und Informationsaustausch geschieht vorwiegend über das Internet. Das DGFI hat bereits vor Jahren mit dem Aufbau eines geodätischen Informationssystems für den Bereich der höheren Geodäsie begonnen. Dieses System wird nun in das Konzept der allgemeinen geographischen Informationssysteme (GIS) einbezogen. Dazu wurde eine enge Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern, die im GIS-Bereich arbeiten, begonnen.

# Projekt 4.1 Geoinformationssystem

Das DGFI beteiligte sich im Rahmen der Arbeiten zum Design eines Geodätischen Informationssystems an der Erstellung des Konzepts für einen Forschungsverbund Geoinformation (ForGeo) in Bayern.

ForGeo soll anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Geoinformation in enger Kooperation von Partnern aus Verwaltung, Wirtschaft, Industrie und Hochschulen betreiben. Die Entwicklung neuer Konzepte zur Verwendung von Geodaten, vor allem die Nutzung des Internets als Medium zur Bereitstellung und Verteilung der Daten, stehen im Vordergrund.

Das Interesse des DGFI innerhalb dieses Projekts liegt vor allem in der Integration von GPS-Daten in Geoinformationssystemen, sowie der Lösung von Problemen in Zusammenhang mit Referenzsystemen, sowohl in Lage als auch in der Höhe. Die vorgeschlagenen und untersuchten Projekte beziehen sich auf:

- Fragen der Referenzsysteme,
- GPS-Nivellement zur Höhenübertragung,
- GPS-Nutzung zur Passpunktbestimmung.

Das Projekt wurde in drei Phasen entwickelt:

- 1. Machbarkeitsstudie mit Ausarbeitung eines Grobkonzepts im Jahr 1998.
- 2. Feinkonzept mit detaillierter Ausarbeitung für den Aufbau eines Prototyps.
- 3. Aufbau eines Vorprojekts OmniGIS in der Region Niederbayern, Bayerischer Wald.

Die Finanzierung des Projekts sollte aus Mitteln der Privatisierungserlöse der bayerischen Staatsregierung im Rahmen von Bayern-Online, Phase drei erfolgen, mußte allerdings durch die Verzögerung bei der Mittelbereitstellung aus dem Haushalt des Finanz- und Umweltministeriums vorgenommen werden. **Internet Darstellung** Die Internet Darstellung des "Geodesy Information System (GeodIS)" und des DGFI wurden aktualisiert, erweitert und gründlich umstrukturiert. Die beiden Einstiegsseiten

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

haben nun im Kopfbereich der Seite einen sogenannten Header-Frame. Dieser enthält Verweise auf wichtige Unterabschnitte und bleibt auch bei Wechsel auf andere HTML-Seiten bestehen. Der Kopfteil erleichtert damit die Orientierung und erlaubt direkte Rücksprünge in andere Bereiche der HTML-Seiten (siehe Abbildungen 4.1.1 und 4.1.2).

**GeodIS** Das GeodIS ist ein allgemeines Fachinformationssystem für die Geodäsie, das seit Jahren vom DGFI laufendgehalten wird. Die Inhalte wurden wesentlich erweitert und es enthält nun auch eine Übersicht der für die Geodäsie relevanten Wissenschaftlichen Organisationen sowie eine Liste der Internationalen Dienste. In beiden Fällen sind natürlich Verweise auf die jeweiligen Startseiten der Organisationen und der Dienste gesetzt. Dies erlaubt Nutzern des GeodIS einen schnellen Zugang zu Informationen und Daten. Die Übersichtsseite der Internationalen Dienste ist in Abbildung 4.1.1 exemplarisch dargestellt.

Abb. 4.1.1: Die neue Startseite des GeoIS Internet Servers.

![](_page_46_Picture_7.jpeg)

Bei den HTML-Seiten des DGFI wurden vor allem die Darstellung der internationalen Projekte, an denen das Institut - z.T. federführend - beteiligt ist, erneuert. Die Listen der Veröffentlichungen sowie für Vorträge und Poster wurden ebenfalls aktualisiert. In zunehmendem Maße werden eigene Reports, DGFI- und DGK-Jahresberichte sowie andere am DGFI herausgegebene Schriften (CSTG Bulletins) in das sogenannte Portable Document Format (PDF) konvertiert und auf dem HTTP Server des DGFI zur Verfügung gestellt.

![](_page_47_Figure_3.jpeg)

Projekt 4.2 EUROLAS/ILRS-Datenzentrum Seit November 1998 besteht der "International Laser Ranging Service (ILRS)", ein Dienst in der Sektion II (Advanced Space Technology) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG). Im ILRS gibt es zwei globale Datenzentren: Das Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) der NASA und das EUROLAS Data Center (EDC) des DGFI. In den "Terms of Reference" für den ILRS werden die Struktur und die Aufgaben

**ILRS** Reference" für den ILRS werden die Struktur und die Aufgaben für alle Komponenten des ILRS festgelegt. Die globalen Datenzentren bilden das Interface zu den Analysezentren. Die Aufgaben wurden im letzten Jahresbericht aufgeführt. In diesem Berichtszeitraum wurden erhebliche Arbeiten zur Erfüllung der Aufgaben als globales ILRS-Datenzentrum geleistet. Insbesonde-

![](_page_47_Figure_7.jpeg)

re wurden Arbeiten zur Archivierung und Verteilung der wissenschaftlichen Datenprodukte aller ILRS "Analysis Centers" und "Associate Analysis Centers" durchgeführt, zumal das DGFI auch ein ILRS "Associate Analysis Center" unterhält (siehe 2.2.2). Als Mitglied im Governing Board des ILRS (für die Datenzentren) wurde auch an der Gestaltung (z.B. mehrfache Änderung/Ergänzung der Terms of Reference) des ILRS mitgewirkt. Die "Terms of Reference" und alle anderen Informationen zum ILRS stehen auf Web-Seiten

http://ilrs.gsfc.nasa.gov/ilrs/ilrs\_home.html

im CDDIS, die am EDC gespiegelt werden.

#### SLR Beobachtungskampagnen

Im ILRS Governing Board wurde (unter Mitwirkung des EDC) über neue SLR-Kampagnen bzw. die Fortsetzung von Kampagnen entschieden. Neue Kampagnen waren IGEX98 (GLONASS Tracking Campaign), SUNSAT (ein südafrikanischer Satellit), und BEACON-C; fortgeführt wurden die GFO-1 und die WESTPAC-Kampagne. Bei vielen ILRS-Meetings anlässlich internationaler Tagungen wurden die zukünftigen Anforderungen an Daten- und Analysezentren bezüglich der kommenden "Low Earth Orbiting" (LEO) Satelliten diskutiert und vorbereitende Arbeiten eingeleitet. In der Arbeitsgruppe des ILRS "Data Formats and Procedures" war das EDC bei der Planung für die Bereitstellung von täglichen Bahnvorhersagen für die LEO--Missionen beteiligt.

![](_page_48_Figure_7.jpeg)

Abb. 4.2.1: Globale ILRS SLR-Stationen

Datenbestand Die 38 ILRS SLR-Stationen (Abbildung 4.2.1) haben im Berichtszeitraum 39 der 44 Satelliten beobachtet. In den ILRS wurden auch die "Lunar Laser Ranging (LLR)"-Beobachtungen integriert. Zwei LLR-Stationen, eine in den USA und eine in Europa (Grasse), liefern regelmäßig ihre Beobachtungen zu den Reflektoren auf dem Mond an die globalen Datenzentren. Von den 38 SLR-Stationen schicken 31 Stationen (EUROLAS und Western Pacific Laser Tracking Network) ihre Beobachtungen (On-Site Normal Points) zum EDC/ILRS-Datenzentrum. Das aus 7 Stationen bestehende NASA-Netz nutzt das CDDIS. Beide globalen Datenzentren tauschen ihre Daten aus, so dass an beiden Zentren komplette globale Datensätze vorliegen. Die Tabelle 4.2.1 gibt den Bestand der EDC-Datenbank am 01.10.99 für die "Quick-Look"-Daten bzw. "On-Site Normal Points" wieder, die das offizielle ILRS-Datenprodukt sind.

Tab. 4.2.1: Bestand der EDC-Datenbank am 01.10.99 für das Produkt "Quick-Look"-Daten

Passagen (seit Okt. 95 global)			Passagen (seit Okt. 95 global)		
Satellit	Zuwachs 10/98 - 09/99	gesamt	Satellit	Zuwachs 10/98 – 09/99	gesamt
STARLETTE	6246	21903	GPS-35	480	2193
AJISAI	8930	30159	GPS-36	409	1737
LAGEOS-1	6470	23081	GLONASS-62	942	963
LAGEOS-2	5346	19995	GLONASS-63	10	1952
ETALON-1	668	2797	GLONASS-64	73	81
ETALON-2	682	2879	GLONASS-65	152	397
ERS-1	4193	9028	GLONASS-66	947	1458
ERS-2	4365	18837	GLONASS-67	119	4299
TOPEX/POS.	7704	29185	GLONASS-68	869	875
STELLA	4304	15659	GLONASS-69	920	938
METEOR-3	-	409	GLONASS-70	1422	1430
GFZ-1	23	5606	GLONASS-71	1109	2617
FIZAU	32	4243	GLONASS-72	1670	1684
RESURS-01-3	18	2011	GLONASS-74	31	39
TIPS	-	1849	GLONASS-75	159	160
ADEOS	-	671	GLONASS-76	163	166
ZEIA	-	146	GLONASS-77	181	187
DIADEME-1C	-	1393	GLONASS-79	1498	1513
DIADEME-1D	-	1585	GLONASS-80	46	46
GFO-1	2411	3839	GLONASS-81	142	142
GEOS-3	2219	2235	GLONASS-82	76	76
WESTPAC-1	1504	1969	MOND-1	26	26
BEACON-C	1048	1048	MOND-2	55	57
SUNSAT	751	751	MOND-3	426	438
			Gesamtsumme	68839	224752

# Projekt 4.3 Deutsches Schwerearchiv

Im Berichtszeitraum wurden neun Anfragen zur Ermittlung von Schwerewerten für physikalische Labors (meistens zur Druckwaagen-Kalibrierung) bearbeitet. Die Werte wurden durch Interpolation nach kleinsten Quadraten (Prädiktion) unter Berücksichtigung der nächstgelegenen gemessenen Werte aus dem Schwerearchiv berechnet.

# 5 Wissenschaftlicher Transfer

Sämtliche Forschungsergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten sollen für die Praxis aufbereitet und leicht zugänglich zur Verfügung gestellt werden. In wissenschaftlichen Gremien werden die Erkenntnisse diskutiert und verbreitet. Dazu dienen auch am DGFI aufgelegte Schriftenreihen. Als Dienstleistung für die wissenschaftliche Gemeinschaft werden außerdem vom DGFI einige Beobachtungseinrichtungen im In- und Ausland betrieben bzw. unterhalten. Die dort gewonnenen Messdaten fließen direkt in nationale oder internationale Projekte ein.

# 5.1 Veröffentlichungen

- ANDERSEN, P.H., H. SCHUH, J. MÜLLER: Explanatory supplements to the sections on "The solid Earth pole tide effect on the geopotential" and "The site displacement caused by rotational deformation due to polar motion" of the IERS Conventions (1996). DGFI Report No. 71, ed. by H. Schuh, 13-18, 1999.
- ANGERMANN, D., J. KLOTZ, C. REIGBER: Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. Earth and Planetary Science Letters, 171, 329-334, 1999.
- BEUTLER, G., H. DREWES, H. HORNIK (Eds.): Commission VIII International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Progress Report 1998. IAG CSTG Bulletin No. 15, 80 Seiten, DGFI, Munich 1999.
- BEUTLER, G., M. ROTHACHER, H. DREWES: Collocating space geodetic networks: Scientific rationale and state of realizations of the International Space Geodetic Network (ISGN). In: Proc. of the Int. Workshop on Geodetic Measurements by Collocation of Space Techniques on Earth (GEMSTONE), 1-9, 1999.
- BOSCH, W.: Langzeitbestimmung der absoluten dynamischen Topographie. In: WOCE Abschlußbericht des Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, 208-218, Bremerhaven, 1999.
- BROSCHE, P., H. SCHUH: Tides and Earth rotation. Surveys in Geophysics (19) 417-430, 1998.
- DEHANT, V., H. SCHUH, et al.: *Considerations concerning the non-rigid Earth nutation theory*. Celestial Mechanics, Vol. 72/4, 245-310, 1999.
- DILL, R.: *Einfluß globaler Massenverlagerungen auf die Erdrotation*. In: 3. DFG-Rundgespräch zum Thema Bezugssysteme. DGK, Reihe A, Nr. 116, 17-21, München 1999.
- DREWES, H.: *Realisierung des kinematischen terrestrischen Referenzsystems ohne globale Rotation ("no net rotation")*. In: 3. DFG-Rundgespräch zum Thema Bezugssysteme. DGK, Reihe A, Nr. 116, 120-125, München 1999.
- DREWES, H.: The International Space Geodetic and Gravimetric Network (ISGN). In: Beutler, G., H. Drewes, H. Hornik (Eds.): Commission VIII - International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Progress Report 1998. IAG CSTG Bulletin No. 15, 13-15, DGFI, Munich 1999.
- DREWES, H.: *Positioning, overview and highlights*. In: National report of the Federal Republic of Germany on the geodetic activities in the years 1995 1999. DGK, Reihe B, Nr. 308, 9-10, München 1999.
- DREWES, H., G. BEUTLER: CSTG activities 1997 and 1998. In: Beutler, G., H. Drewes, H. Hornik (Eds.): Commission VIII - International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Progress Report 1998. IAG CSTG Bulletin No. 15, 5-12, DGFI, Munich 1999.
- GERSTL, M.: *Bezugssysteme der Satellitengeodäsie*. In: 3. DFG-Rundgespräch zum Thema Bezugssysteme. DGK, Reihe A, Nr. 116, 110-119, München 1999.
- GUBLER, E., H. HORNIK (Eds.): EUREF Publication No. 7/1 Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Bad Neuenahr-Ahrweiler, 10-13 June 1998 and Reports on the EUREF Technical Working Group (TWG). Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung Nr. 59 (zugleich Mitteilung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 6), 284 Seiten, Frankfurt a.M., 1999.

- GUBLER, E., H. HORNIK (Eds.): EUREF Publication No. 7/II Report on the Results of the European Vertical Reference Network GPS campaign 97 (EUVN 97). Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung Nr. 59 (zugleich Mitteilung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 7), 170 Seiten, Frankfurt a.M., 1999.
- HAAS, R., A. NOTHNAGEL, H. SCHUH, O. TITOV: Explanatory supplement to the section "Antenna deformation". DGFI Report No. 71, ed. by H. Schuh, 26-29, 1999.
- HECK, B., R. RUMMEL, E. GROTEN, H. HORNIK (Eds.): National report of the Federal Republic of Germany on the geodetic activities in the years 1995 - 1999. XXII General Assembly of the International Union for Geodesy and Geophysics (IUGG) 1999 in Birmingham. DGK, Reihe B, Nr. 308, 124 Seiten, München, 1999.
- KANIUTH, K., H. DREWES, K. STUBER, H. TREMEL, H.-G. KAHLE, Y. PETER, S. ZERBINI, G. TONTI, H. FAGARD: Crustal deformations in the central Mediterranean derived from the WHAT A CAT GPS project. In: Proceedings of the 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, Febr. 12-13, ed. by W. Schlüter and H. Hase, 192-197, 1999.
- KANIUTH, K., D. KLEUREN, H. MÜLLER: Improving the GPS height and troposphere estimation capabilities in context with the Bernese software. EUREF Publication No. 7/I, Mitt. des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 6, 247-251, 1999.
- KANIUTH, K., D. KLEUREN, H. TREMEL, W. SCHLÜTER: Elevationsabhängige Phasenzentrumsvariationen geodätischer GPS-Antennen. ZfV 10/1998, 319-325.
- KANIUTH, K., K. STUBER: On the accuracy and reliability of height estimates in regional GPS networks. Proc. 2nd Int. Symp. Geodynamics of the Alps-Adria Area by Means of Terrestrial and Satellite Methods, 131-144, 1999.
- KANIUTH, K., K. STUBER: Einfluß von Antennen-Radomen auf die GPS-Höhenbestimmung. AVN 7/1999, 234-238.
- SCHMIDT, M.: Approximate solution of normal equations by eigenvalue decomposition. Journal of Geodesy (73)109-117, 1999.
- SCHMIDT, M., H. SCHUH: Wavelet-Analyse der mit VLBI beobachteten Nutationsreihen. ZfV, 124. Jahrgang, 24-30, 1999.
- SCHUH, H.: *The rotation of the Earth observed by VLBI*. Acta Geod. Geoph. Hungarica, Vol. 34(4), 1-12, 1999.
- SCHUH, H., W. SCHWEGMANN, V. TESMER, H. DREWES: DGFI Analysis Center. In: Vandenberg, N.R. (Ed.) International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 1999 Annual Report, NASA/TP-1999-209243, 196-197, 1999.
- SCHUH, H., W. SCHWEGMANN: *Erste Schritte in Richtung Echtzeit-VLBI*. In: 3. DFG-Rundgespräch zum Thema Bezugssysteme. DGK, Reihe A, Nr. 116, 168-174, München 1999.
- SCHUH, H.: Explanatory Supplement to the IERS Conventions (1996), chapters 6 and 7 an overview -. DGFI Report No. 71, ed. by H. Schuh, 5-8, 1999.
- SCHUH, H., O. TITOV: Short-period variations of the Earth rotation parameters as seen by VLBI. In: Proceedings of the 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, Febr. 12-13, ed. by W. Schlüter and H. Hase, 172 - 177, 1999.
- SCHWEGMANN, W., H. SCHUH: On the automation of the Mark III Data Analysing System. In: Proceedings of the 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, held at Viechtach, February 12-13, ed. by W. Schlüter and H. Hase, 265-272, 1999.
- SEEMÜLLER, W., H. DREWES: Annual report 1997 of the RNAAC SIRGAS. In: IGS 1997 Technical Reports, 173-174, IGS CB, JPL Pasadena, 1998.

## 5.2 Vorträge und Poster

- ADAM J., W. AUGATH, C. BOUCHER, C. BRUYNINX, P. DUNKLEY, E. GUBLER, W. GURTNER, H. HORNIK, H. V.D. MAREL, W. SCHLÜTER, H. SEEGER, M. VERMEER, J. B. ZIELINSKI: *The European reference system coming of age*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 26.07.1999. (Poster)
- ANGERMANN, D., H. DREWES: *The ITRS and plate kinematics*. Les Journées 99 & IX. Lohrmann-Kolloquium, Dresden, 13.09.1999.
- ANGERMANN, D., J. KLOTZ, C. REIGBER: *Realization of a terrestrial reference frame for large-scale GPS networks*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999.
- BOSCH, W.: Geosat and ERS-1 datum offsets relative to Topex/Poseidon and geopotential corrections estimated simultaneously from dual-satellite crossover altimetry. IAG Section II Symposium (IGGOS), München, 05.10.1998 (Poster)
- BOSCH, W.: Long-term sea level monitoring by satellite altimetry, Technische Universität Prag, Tschechien, 05.11.1998.
- BOSCH, W.: *Meeresspiegelanstieg-Beweis durch Satellitenaltimetrie*? Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 10.02.1999.
- BOSCH, W.: A remark on the computation of the derivatives of Legendre functions, EGS XXIV. General Assembly, Den Haag, Niederlande, 22.04.1999.
- BOSCH, W.: Langzeitbestimmung der absoluten dynamischen Topographie. WOCE Abschlußtagung, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 28.04.1999 (Poster)
- BOSCH, W.: Variations of geocenter and Earth orientation deduced from estimates of ocean mass redistribution. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999. (Poster)
- BOSCH, W., H. DREWES, K. KANIUTH, H. KAHLE, N. HERNANDEZ: Sea-level changes and vertical crustal movement in the southern Caribbean from satellite altimetry, tide gauge records and GPS height determinations, XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999.
- DILL, R.: Regionale und globale hydrologische Einflüsse auf die Erdrotation. Seminar über Astronomie, Geodäsie und Erdrotation, Bonn, 28.01.1999.
- DILL, R., H. DREWES, B. RICHTER, H. SCHUH: Influences of hydrological mass redistributions on Earth rotation. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, 21.07.1999 (Poster).
- DREWES, H.: Die Arbeiten des DGFI in den Jahren 1997/98. Jahresvollsitzung der DGK, Bayer. Akademie der Wissenschaften, München, 26.11.1998.
- DREWES, H.: *Presente y Futuro de la Geodesia*. Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires, Argentinien, 02.12.1998.
- DREWES, H.: *Presente y Futuro de la Geodesia en Argentina*. Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca, Argentinien, 07.12.1998.
- DREWES, H.: Sistemas de Referencia. Instituto Geográfico Agustin Codazzi, Bogotá, Kolumbien, 11.12.1998.
- DREWES, H.: *Plattenbewegungen und Krustendeformationen aus geodätischen Weltraumbeobachtungen.* Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Bonn, 17.12.1998.
- DREWES, H.: *Einrichtung und Laufendhaltung überregionaler Bezugssysteme*. Universität der Bundeswehr, München, 18.01.1999.
- DREWES, H.: *Medición y procesamiento de datos GPS*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Kolumbien, 24./25.02.1999.
- DREWES, H.: *Problemática de los sistemas de referencia vertical*. Escuela de Ingeniería Geodésica, La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 04.03.1999.

- DREWES, H.: *The geoscience of global change: Space geodesy and global sea level.* Deutscher Landesausschuß für das Internationale Lithosphärenprogramm, Bonn, 22.04.1999.
- DREWES, H.: Geoforschung mit dem Global Positioning System. Wissenschaftsforum "Geoforschung und Satelliten", GEOSPECTRA, Düsseldorf, 15.06.1999.
- DREWES, H.: The development of the ISGN: Status and perspectives. XXII IUGG Gen.Ass., Birmingham, UK, 20.07.1999.
- DREWES, H.: Monitoring the sea level and vertical crustal movements in the South Atlantic along the coast of Argentina. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 23.07.1999.
- DREWES, H.: Geodetic datum constraints on plate tectonic and crustal deformation models (APKIM 9.0). XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 28.07.1999 (Poster).
- DREWES, H.: Sistema de referencia vertical por mareógrafos y altimetría satelital (SIRVE MAS) en Argentina. IV Reunión Técnica, IPGH Comisión de Geofísica, Tucumán, Argentina, 20.09.1999.
- DREWES, H.: Control gravimétrico de alta precisión a lo largo del lámite de las placas de América del Sur y del Caribe. IV Reunión Técnica, IPGH Comisión de Geofísica, Tucumán, Argentina, 23.09.1999.
- DREWES, H., G. BEUTLER, J. BOSWORTH, C. BOUCHER, T. HERRING, I. I. MUELLER: *The International Space Geodetic and Gravimetric Network (ISGN)*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 26.07.1999 (Poster).
- DREWES, H., W. BOSCH, K. KANIUTH, J.N. HERNANDEZ, M. HOYER, E. WILDERMANN: Realization of the vertical reference system in Venezuela. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- DREWES, H., K.KANIUTH., W. SEEMÜLLER, K. STUBER, H. TREMEL, N. HERNANDEZ, M. HOYER, E. WILDERMANN, L.P. FORTES, K. PEREIRA: *Monitoring the continental reference frame in South America*. IAG Section II Symposium (IGGOS), München, 05.10.1998 (Poster)
- DREWES, H., K. KANIUTH, K. STUBER, H. TREMEL, J.N. HERNÁNDEZ, M. HOYER, E. WILDERMANN, H.-G. KAHLE: Regional crustal deformations caused by the 1997 Cariaco earthquake from repeated GPS observations. AGU Spring Meeting, Boston, USA, 04.06.1999.
- ENGELS, J., E. GRAFAREND, B. RICHTER: Frequenzen/Amplituden der Nutation und ihre zugeordneten Frequenzen/Amplituden der Polbewegung - Zur Transformation des Drehvektors der Erde vom raumfesten in das erdfeste System. Geodätische Woche 1998, Kaiserslautern, 13.10.1998.
- KANIUTH, K.: Modellierung der troposphärischen Refraktion in der GPS-Ausgleichung. Univ. Karlsruhe, 03.02.1999.
- KANIUTH, K.: Kalibrierung der Phasenzentren von GPS-Antennen. FH Neubrandenburg, 26.03.1999.
- KANIUTH, K.: *Kalibrierung von GPS-Antennen am DGFI*. Workshop zur Festlegung des Phasenzentrums von GPS-Antennen, Bonn, 28.04.1999.
- KANIUTH, K.: Applying fiducial troposphere information to GPS densification networks. EUREF Symposium, Prag, Tschechien, 04.06.1999.
- KANIUTH, K., W. BOSCH, H. DREWES, C. BRUNINI, J. MOIRANO, P. NATALI: *The vertical reference system* of Argentina. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- KANIUTH, K., H. DREWES, K. STUBER, H. TREMEL, H.-G- KAHLE, Y. PETER, S. ZERBINI, G. TONTI, H. FAGARD: Crustal deformations in the Central Mediterranean derived from the WHAT A CAT GPS project. 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, 13.02.1999.
- KANIUTH, K., H. DREWES, K. STUBER, H. TREMEL, J. N. HERNÁNDEZ, M. HOYER, E. WILDERMANN, H.-G. KAHLE, A. GEIGER: Position changes due to recent crustal deformations along the Caribbean-South American plate boundary derived from the CASA GPS project. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).

- KANIUTH, K., K. STUBER: *The impact of radomes on GPS height estimates*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- KLOTZ, J., D. ANGERMANN, G. W. MICHEL, O. CIFUENTES, R. BARRIGA, S. BARINTOS, R. PERDOMO, J. VIRAMONTE, V. RIOS: Spatial and temporal variation of GPS-derived deformation in the Central and Southern Andes. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 27.07.1999.
- MOIRANO, J., K. KANIUTH: Systematic effects in GPS double difference phase residuals. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- RICHTER, B.: Synthetische Beschreibung der Polbewegung und der Präzession eines axialsymmetrischen starren Körpers. Geodätische Woche 1998, Kaiserslautern, 13.10.1998.
- RICHTER, B.: Synthetic modelling of earth rotation. Tagung Mathematische Methoden der Geodäsie, Oberwolfach, 31.03.1999.
- SÁNCHEZ, L., W. MARTINEZ, J. A. FLOREZ, H. DREWES, K. KANIUTH, H. TREMEL: Connection of the Colombian vertical datum to the geocentric reference system. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- SÁNCHEZ, L., H. TREMEL, H. DREWES: *The Colombian national geocentric reference frame*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- SCHMIDT, M.: *Grundlagen der Signalverarbeitung*. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Schweiz, 18.01.1999.
- SCHMIDT, M., H. SCHUH: Abilities of the wavelet analysis for investigating short-period variations of Earth Rotation. EGS XXIV. General Assembly, Den Haag, Niederlande, 22.04.1999.
- SCHMITZ-HÜBSCH, H.: Wavelet-Transformationen der Erdrotationsparametern, Geodätische Woche 1998, Kaiserslautern, 13.10.1998.
- SCHMITZ-HÜBSCH, H., M. THOMAS: Oceanic and atmospheric influences on the earth orientation parameters. EGS XXIV. General Assembly, Den Haag, Niederlande, 22.04.1999 (Poster).
- SCHUH, H.: Contributions of VLBI to Space Geodesy, IAG Section II Symposium (IGGOS), München, 06.10.1998.
- SCHUH, H.: Beobachtung der Erdrotation und VLBI. Geodätische Woche 1998, Kaiserslautern, 13.10.1998.
- SCHUH, H.: Der Einfluß des Klimas auf die Erdrotation, Vortragsreihe "Klimaveränderungen" an der Bayer. Akademie der Wissenschaften, München, 23.11.1998.
- SCHUH, H.: *Irregular short-period variations of the Earth rotation parameters*, Symp. Polar Motions from Hours to Decades, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 06.12.1998.
- SCHUH, H.: Short-period variations of the Earth rotation parameters as seen by VLBI. 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, 13.02.1999.
- SCHUH, H.: Short periods of Earth rotation as seen by VLBI. EGS XXIV. General Assembly, Den Haag, Niederlande, 22.04.1999.
- SCHUH, H.: Report on "Explanatory Supplement to the IERS Conventions (1996)". 2nd Meeting of the IAG/ETC Working Group 6, Birmingham, UK, 22.07.1999.
- SCHUH, H.: VLBI Measurements of EOP. Les Journées 1999 & IX. Lohrmann-Kolloquium, Dresden, 15.09.1999.
- SCHUH, H.: Short-period Variations of Earth Rotation Observed by VLBI. Les Journées 1999 & IX. Lohrmann-Kolloquium, Dresden, 15.09.1999.
- SCHUH, H.: *Der Einfluβ des Klimas auf die Erdrotation*. Festkolloquium anläßlich des 60. Geburtstags von Prof. Dr. J. Campbell, Geodätisches Institut der Universität Bonn, Bonn, 17.09.1999.

- SCHUH, H., B. KOLACZEK, W. KOSEK: *Short Period Oscillations of Earth Rotation*. IAU Colloquium 178, Polar Motion: Historical and Scientific Problems, Cagliari, Italien, 30.09.1999.
- SCHUH, H., B. RICHTER UND S. NAGEL: *Analysis of long time series of polar motion*, Symp. Polar Motions from Hours to Decades, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 10.12.1998 (Poster)
- SCHUH, H., B. RICHTER, S. NAGEL: Analysis of long time series of polar motion and nutation. IAU Colloquium 178, Polar Motion: Historical and Scientific Problems, Cagliari, Italien, 30.09.1999.
- SCHUH, H., V. TESMER: *VLBI data analysis with a full variance-covariance matrix*. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 21.07.1999 (Poster).
- SCHWEGMANN, W.: Zur Automatisierung der VLBI-Auswertung: Konventionelle und wissensbasierte Techniken. Seminarveranstaltung innerhalb des DFG-Forschungsvorhabens "Rotation der Erde", Bonn, 28.01.1999.
- SCHWEGMANN, W.: On the automation of the Mark III data analysis system. 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, 12.02.1999.
- SCHWEGMANN, W.: Automation of the VLBI data analysis using a knowledge-based system. XXII IUGG General Assembly, Birmingham, UK, 20.07.1999 (Poster).
- SCHWEGMANN, W., H. SCHUH: A knowledge-based system for VLBI data analysis. AGU 1998 Fall Meeting, San Francisco, USA, 06.12.1998.
- SEEMÜLLER, W.: Status of IGS RNAAC SIRGAS. LUZ/EIG, Maracaibo, Venezuela, 15.03.1999.
- SEEMÜLLER, W.: *ILRS Global Data Center (EDC) Report 1999*, ILRS Third General Assembly, Florenz, Italien, 22.09.1999.

## 5.3 Tagungen, Konferenzen, Symposien

Business Meeting IERS Monitoring Global Geophysical Fluids, Potsdam, 02.10.1998 (Schuh)

IAG Section II Symposium "Towards an Integrated Global Geodetic Observing System "(IGGOS), München, 05.-09.10.1998 (Bosch, Drewes, Hornik, Schuh, Seemüller)

Geodätische Woche 1998, Kaiserslautern, 13.10.1998 (Dill, Richter, Schuh, Schmitz-Hübsch)

Radar Altimeter 2 Science Advisory Group Meeting, ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande, 19.10.1998 (Bosch)

EUREF Tech. Working Group, Paris, Frankreich, 25.-26.10.1998 (Hornik)

European Geodetic Commission, München, 27.10.1998 (Hornik)

DGK Beirat, München, 05.11.1998 (Drewes, Hornik)

DGK-Jahressitzung, München, 25.-27.11.1998 (Drewes, Hornik)

AGU 1998 Fall Meeting, San Francisco, USA, 05.-10.12.1998 (Schuh, Schwegmann)

EOGEO99 Workshop, Silverspring, USA, 09.-11.02.1999 (Müller)

IAG Section II Business Meeting, DGFI München, 12.02.1999 (Bosch, Drewes)

13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach, 12.-13.02.1999 (Kaniuth, Schub, Schwegmann, Tesmer)

EUREF Technical Working Group, Bern, Schweiz, 08.-09.03.1999 (Hornik)

Lenkungsausschuß FORGEO, Bayerisches Forschungszentrum für Wissensbasierte Systeme, München, 09.03.1999 (Bosch)

Workshop on Low Earth Orbiter Missions, Potsdam, 9.-11.03.1999 (Kaniuth)

FGS Vorstandssitzung, TU München, 12.03.1999 (Bosch, Drewes)

Radar Altimeter 2 Science Advisory Group Meeting, ESA-ESTEC, Noordwijk/Holland, 15.03.1999 (Bosch)

Seminar Kalibrierung geodätischer Meßsysteme, Neubrandenburg, 26.03.1999 (Kaniuth)

Tagung Mathematische Methoden der Geodäsie, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, 29.03.-02.04.1999 (Richter)

EGS XXIV. General Assembly, Den Haag, Niederlande, 19.-23.04.1999 (Bosch, Dill, Schmidt, Schmitz-Hübsch, Schuh, Seemüller)

ILRS Data Formats & Procedures Working Group, Den Haag, Niederlande, 20.04.1999 (Seemüller)

ILRS Governing Board Meeting, Den Haag, Niederlande, 21.04.1999 (Seemüller)

ILRS General Assembly, Den Haag, Niederlande, 22.04.1999 (Seemüller)

Workshop zur Festlegung des Phasenzentrums von GPS-Antennen, Bonn, 28.04.1999 (Kaniuth)

Sondersitzung der Deutschen Geodätischen Kommission, München, 03.05.1999 (Hornik)

Kompaktstudium "GIS im Internet/Intranet", Universität der Bundeswehr, München, 10.-12.05.1999 (Müller)

AGU Spring Meeting, Boston, USA, 30.05.-04.06.1999 (Drewes)

CSTG Executive Committee Meeting, Boston, USA, 01.06.1999 (Drewes)

IAG Subcommission EUREF, Sitzung der Technical Working Group, Prag, Tschechien, 01.06.1999 (Hornik)

EUREF Symposium, Prag, Tschechien, 02.-05.06.1999 (Hornik, Kaniuth)

XXII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Birmingham, UK, 19.07.-30.07.1999 (Bosch, Dill, Drewes, Kaniuth, Schuh, Schwegmann)

2nd Meeting of the IAG/ETC Working Group 6, Birmingham, UK, 22.07.1999 (Schuh)

CSTG Executive Meeting, Birmingham, 26.07.1999 (Drewes, Bosch)

INTERGEO - 83.Geodätentag, Hannover, 02.09.1999 (Drewes)

Les Journées 1999 & IX. Lohrmann-Kolloquium ,,Motion of Celestial Bodies, Astrometry and Astronomical Reference Frames", Dresden, 13.-15.09.1999 (Angermann, Schuh)

IV Reunión de la Comisión de Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Tucumán, Argentina, 20.-24.09.1999 (Drewes)

ILRS Data Formats & Procedures WG, Florenz, Italien, 21.09.1999 (Seemüller)

ILRS Governing Board Meeting, Florenz, Italien, 22.09.1999 (Seemüller)

ILRS 3rd General Assembly, Florenz, Italien, 22.09.1999 (Seemüller)

EUROLAS Business Meeting, Florenz, Italien, 23.09.1999 (Seemüller)

IAU Colloquium 178, Polar Motion: Historical and Scientific Problems, Cagliari, Italien, 26.-30.09.1999 (Schuh)

# 5.4 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) (President: Dr. H. Drewes)
- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Subcommission on Multi-Mission Satellite Altimetry (Chairman: Dr. W. Bosch)
- Commission X: Global and Regional Geodetic Networks, Subcommission for Europe (EUREF) (Secretary: H. Hornik)
- Commission X: EUREF-Technical Working Group (H. Hornik)
- 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 (Substitute chairman: 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)
- Special Study Group 4.191: Theory of Fundamental Height Systems (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)
- Sub-group T5 "Computational Consequences" of the IAU Working Group "On the International Reference System ICRS" (corresponding member: 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)

# 5.5 Gäste

0309.10.1998:	Dr. K. Elango, ISTRAC/Indien
0528.10.1998:	Laura Sanchez, Instituto Geográfico Agustin Codazzi, Bogotá, Kolumbien (Auswerte- und Koordinierungsarbeiten im Rahmen des SIRGAS-Projektes)
14.10.1998:	Prof. Dr. Stepan Klak, Dr. Nevio Rosić, TU Zagreb, Kroatien
10.12.1998:	Dr. A.O. Weber, BAdW, mit einer Gruppe von Stipendiaten der Hans-Seidel-Stiftung e.V
01.03-30.04.1999	Sonia Costa, Instituto Brasileiro de Geografia e Estadistica/Univ. Curitiba, Brasilien (Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der GPS-Auswertung, DAAD Stipendium)
11.03.1999:	Prof. Dr. Vladimir Uvarov, el Fabri State University Kasachstan, Almaty, Kasachstan.
16.03.1999:	Studierende der TU München
2526.03.1999:	Dr. O.J. Sovers, RSA/JPL, Pasadena, U.S.A, hielt einen Vortrag mit dem Thema: "Radio Interferometric Astrometry: Current Status and Future Challenges"
30.03.1999:	Walter Subiza, Univ. Curitiba, Brasilien
22.06.1999:	Studierende der TU München
01.0531.07.1999:	Prof. Dr. Eugen Wildermann, Univ. Maracaibo, Venezuela (Forschungsarbeiten im Rahmen der bilateralen Kooperation, DAAD Stipendium)
01.0531.07.1999:	Juan Moirano, Univ. La Plata, Argentinien (Forschungsarbeiten im Rahmen des Promotionsverfahrens, DAAD Stipendium)
02.0802.09.1999:	Claudia Tocho, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien (Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der gravimetrischen Geoidberechnung unter Einschluß von Altimeter- daten)
18.0818.09.1999:	Mauricio Gende, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien (Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Bestimmung der Phasenzentren von GPS-Antennen)
20.0924.09.1999:	Johannes Böhm, TU Wien, Österreich
27.0926.10.1999:	Prof. Dr. Claudio Brunini, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien (Forschungs- arbeiten im Rahmen des bilateralen Projekts "Vertikales Referenzsystem von Argentinien", das auf deutscher Seite vom Internationalen Büro des BMBF bei der DLR Bonn gefördert wird)
27.0926.11.1999:	Amalia Meza, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien (Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Darstellung des Elektronengehalts der Ionosphäre aus GPS, PRARE und TOPEX/POSEIDON-Messungen)
11.1009.12.1999	Ricardo Urbina, Instituto Geográfico Militar, Quito, Equador (Auswertung der GPS- Messungen des nationalen Referenznetzes im Rahmen des SIRGAS Bezugssystems)
25.1024.11.1999	William Martinez, Instituto Geográfico Agustin Codassi, Bogotá, Kolumbien (Darstel- lung des regionalen Schwerefeldes durch sphärische Wavelets)

## Projekt 5.6 Nationale und internationale Beobachtungseinrichtungen

Das DGFI unterhält mehrere Beobachtungsstationen und Messeinrichtungen im In- und Ausland für nationale und internationale Projekte bzw. Nutzer.

#### Raumbeobachtungsstation Maracaibo / Venezuela

Die seit Mai 1995 auf dem Gelände der Fakultät für Ingenieurwesen der Universidad del Zulia in Maracaibo, Venezuela, messende PRARE-Station fiel im Jahre 1998 aus und konnte nicht wieder in Betrieb genommen werden. Eine im Februar 1998 auf der gleichen Plattform installierte GPS-Station arbeitet zuverlässig und wird routinemäßig in die wöchentlichen Auswertungen des IGS "Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS" (RNAAC, siehe 2.2.1) einbezogen. Sie dient außerdem als Referenzstation für die Projekte CASA und vertikale Referenzsysteme (siehe 2.3.3).

#### **GPS-Permanentstation Bahia Blanca / Argentinien**

Im Rahmen des vom BMBF, Internationales Büro bei der DLR Bonn, geförderten Projekts "Vertikales Referenzsystem für Argentinien" wurde in der "Universidad Nacional del Sur", Bahia Blanca, Argentinien, eine permanente GPS-Station eingerichtet. Sie dient als Referenzstation zur Überwachung des nahegelegenen Pegels in Puerto Belgrano und wird außerdem in das IGS RNAAC-SIR (siehe 2.2.1) einbezogen.

#### Normalstrecke Ebersberger Forst

Die Normalstrecke des DGFI für Längenmessgeräte wurde im Berichtszeitraum weiterhin regelmäßig von der Bayerischen Landesvermessung genutzt.

# **6** Personelles

# 6.1 Personalbestand

Im Berichtszeitraum 1998/99 waren am DGFI (einschl. DGK-Geschäftsstelle ) beschäftigt:

- aus der Grundausstattung

- 13 wissenschaftliche Angestellte
- 11 technische und Verwaltungsangestellte
- 2 Arbeiter

- aus Drittmitteln

- 4 wissenschaftliche Angestellte
- 2 studentische Hilfskräfte
- wissenschaftliche/studentische Hilfskräfte
  - 16 studentische Hilfskräfte mit durchschnittlich 355 Std./Jahr
  - 2 Praktikanten
  - 2 geringfügig Beschäftigte

# 6.2 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. München

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

Dr. R. Kelm: "Ausgleichungsrechnung I und II", Univ. Bw. München