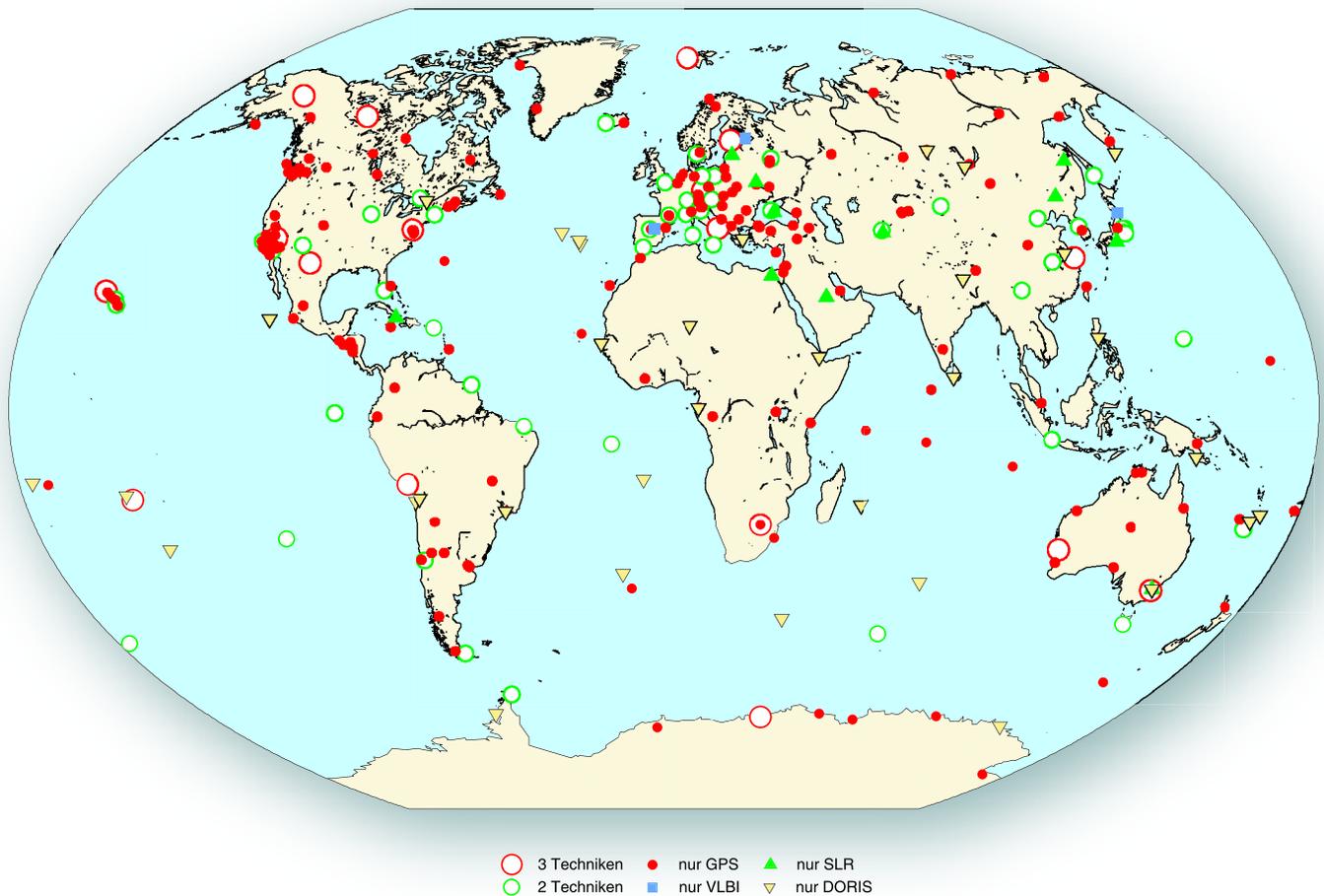


JAHRESBERICHT 2000/2001



Kontinuierlich messende Stationen der verschiedenen geodätischen Raumbeobachtungstechniken.

Das DGFI beteiligt sich an den internationalen wissenschaftlichen Diensten, die die Beobachtungen dieser Stationen sowie die Datenauswertung koordinieren und deren Produkte für die internationale Gemeinschaft bereitstellen.

JAHRESBERICHT 2000/2001

Inhalt

	Das Institut, das Programm	1
A	GEOMETRISCHE REFERENZSYSTEME	
	A1 Modellbildung für GPS	3
	A2 Modellbildung für SLR	5
	A3 Modellbildung für VLBI	8
	A4 Kombination geodätischer Raumbeobachtungsverfahren	10
	A5 Referenzsysteme für Südamerika	14
	A6 Geodynamik-Netz CASA	17
	A7 Aktuelle Plattenkinematik-Modelle	18
B	PHYSIKALISCHE BEZUGSFLÄCHEN	
	B1 Nutzung der Altimetrie zur globalen Schwerefeldbestimmung	20
	B2 Wavelet-Reihenentwicklung des Schwerefeldes	22
	B3 Meeresspiegelüberwachung durch Altimetrie und Pegel	25
	B4 Modellierung und Analyse der Meerestopographie	31
	B5 Altimetrie im Küstenbereich	34
C	DYNAMISCHE PROZESSE	
	C1 Einfluss von Massenverlagerungen auf Rotation und Schwerefeld der Erde	36
	C2 Entwicklung neuer Analysemethoden für Beobachtungsreihen dynamischer Prozesse	39
	C3 Analyse von Zeitreihen von Rotation und Massenverlagerung	42
D	INTERNATIONALE DIENSTE	
	D1 IERS/ITRS Combination Center / Combination Research Center	45
	D2 IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS	49
	D3 ILRS Associate Analysis Center	51
	D4 ILRS/Global Data Center / EUROLAS Data Center (EDC)	54
	D5 IVS Special Analysis Center	56
	D6 Beiträge zum IERS "Global Geophysical Fluids Center"	57
	D7 Konzept für einen "International Altimeter Service"	58
	D8 GPS Permanentstationen	60
E	INFORMATIONSDIENSTE UND WISSENSCHAFTLICHER TRANSFER	
	E1 Geodätisches Informationssystem GeodIS	61
	E2 DGFI Home Page	61
	E3 Intranet	62
	E4 Veröffentlichungen	64
	E5 Vorträge und Poster	66
	E6 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien	70
	E7 Teilnahme an Tagungen, Symposien, Konferenzen	71
	E8 Gäste	72
F	PERSONELLES	
	F1 Personalbestand	73
	F2 Lehraufträge	73
	F3 Habilitationen und Promotionen	73

Das Institut

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

Das Programm

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

Referenzsysteme

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

Motivation

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

Moderne Referenzsysteme

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

Nachbar- disziplinen	Rückwirkend werden aus den geodätisch erstellten Modellen wichtige Informationen für die Nachbarwissenschaften, z.B. Astronomie und Geophysik, bereit gestellt. Aber auch praktische Anwendungen in der Meteorologie und der Hydrologie profitieren von den geodätischen Forschungsergebnissen.
Internationale Zusammenarbeit	In der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft der Geodäsie ist in den letzten Jahrzehnten eine hervorragende Zusammenarbeit entstanden. Die generell benötigten Grundlagen, z.B. globale Referenzsysteme, werden gemeinsam erarbeitet und laufend gehalten. Die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) hat in Folge dessen neue wissenschaftliche Dienste installiert oder bestehende umstrukturiert, welche die benötigten Produkte der Gemeinschaft kostenlos bereit stellen. Das DGFI beteiligt sich an dieser Kooperation durch Mitarbeit in mehreren Diensten der IAG.
Praktische Anwendungen	Mit seinen Arbeiten trägt das DGFI direkt zur Schaffung der Grundlagen für viele Bereiche des praktischen Vermessungswesens bei. Die Forschung auf dem Gebiet geometrischer Referenzsysteme und die verantwortliche Mitarbeit bei der Realisierung globaler Bezugsrahmen in internationalen Diensten, z.B. des ITRF, erlaubt die direkte Einbindung der nationalen Systeme, z.B. SAPOS, als Verdichtungsstufen. Die theoretischen Untersuchungen physikalischer Bezugsflächen und die Beobachtung des Meeresspiegels gehen in die Definition und Realisierung der Höhenbezugssysteme ein, die in Zukunft eine immer größer werdende Bedeutung haben werden, da auch Höhen nicht mehr terrestrisch, sondern mit Satellitenverfahren (z.B. GPS) bestimmt werden.
Gliederung des Programms	Aufgrund dieser Argumentation wurde das derzeit gültige Forschungsprogramm 2001/2002 erstellt. Es wurde vom wissenschaftlichen Beirat der DGK begutachtet und von der DGK-Vollversammlung am 23.11.2000 verabschiedet. Es gliedert sich in vier langfristig zu bearbeitende Programmpunkte mit insgesamt 24 Einzelprojekten sowie den wissenschaftlichen Transfer. Im einzelnen sind dies: <ul style="list-style-type: none"> A Geometrische Referenzsysteme B Physikalische Bezugsflächen C Dynamische Prozesse D Internationale Dienste E Informationsdienste und wissenschaftlicher Transfer
Forschungsgruppe Satellitengeodäsie	Die Projekte mit Bezug zur Satellitengeodäsie werden im Rahmen der „Forschungsgruppe Satellitengeodäsie“ (FGS) durchgeführt, an der die Technische Universität München mit dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie sowie der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie, das Geodätische Institut der Universität Bonn, das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt am Main und das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut beteiligt sind.

A: Geometrische Referenzsysteme

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

A1 Modellbildung für GPS

Die Arbeiten zu diesem Projekt befassten sich im Berichtszeitraum vornehmlich mit der Steigerung der Genauigkeit der GPS-Höhenbestimmung, die z.B. für die Vereinheitlichung der Höhenbezugssysteme in Südamerika (Projekt A5) und die Bestimmung der Vertikalbewegungen von Pegelstationen (Projekt B3) von großer Bedeutung ist. Hauptfehlerquellen bei der Modellierung von GPS-Beobachtungen hinsichtlich der Höhenkomponente sind die troposphärische Refraktion, die Phasenzentrumsvariationen der Antennen sowie die Auflasteffekte durch Ozeangezeiten und Luftdruck. Vor allem der letztgenannte Effekt, vertikale Punktverschiebungen aufgrund von Luftdruckänderungen, wird bei der GPS-Auswertung bisher nicht berücksichtigt.

Atmosphärische Druckauflasten

In einem ersten Experiment zu Beginn des Berichtsjahres wurde deshalb versucht, auf drei langen Basislinien in Europa und Nordamerika die aus täglichen GPS-Auswertungen über ein ganzes Jahr resultierenden Höhen mit Luftdruckvariationen zu korrelieren. Es zeigte sich, dass im allgemeinen nur geringe Druckanomalien vorliegen, so dass keine hohen Korrelationen zu erkennen sind. Beschränkt man den Vergleich dagegen auf Perioden großer Druckanomalien, wie sie vornehmlich im Frühjahr und Spätherbst auftraten, dann betragen die Korrelationen zwischen Höhen- und Luftdruckvariationen 80% und mehr.

Effekte im EUREF

Anschließend wurden in einer umfangreicheren Studie die Auswirkungen von Druckauflasten auf Höhenbestimmungen im Permanentnetz EUREF untersucht. Dabei wurden nicht einzelne Basislinien, sondern ein repräsentatives Teilnetz von EUREF mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von fast 4000 km ausgewertet. Basierend auf den bisherigen Erfahrungen wurde die Analyse auf einen Zeitraum von 32 Tagen im Januar/Februar 2000 beschränkt, in dem zwischen Skandinavien und dem Mittelmeerraum Luftdruckvariationen von bis zu 60 hPa auftraten. Die Abbildungen A1.1 und A1.2 stellen die aus den Netzausgleichungen resultierenden ellipsoidischen Höhenunterschiede zwischen Stationen in Nord- und Südeuropa im Vergleich zu den Luftdruckdifferenzen dar. Die Ergebnisse belegen deutlich, dass sich größere Druckanomalien

in den mit GPS bestimmten Höhen widerspiegeln, und sie zeigen, dass eine Änderung der Druckauflast von 1 hPa zu einer vertikalen Bewegung von etwa 0,7 mm führt.

Abb. A1.1 Variationen des Höhenunterschieds Joensuu (Finnland) – San Fernando (Spanien) gegenüber Luftdruckvariationen.

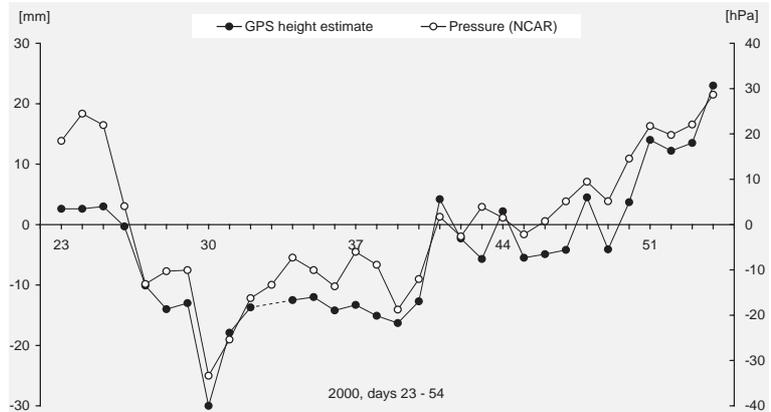
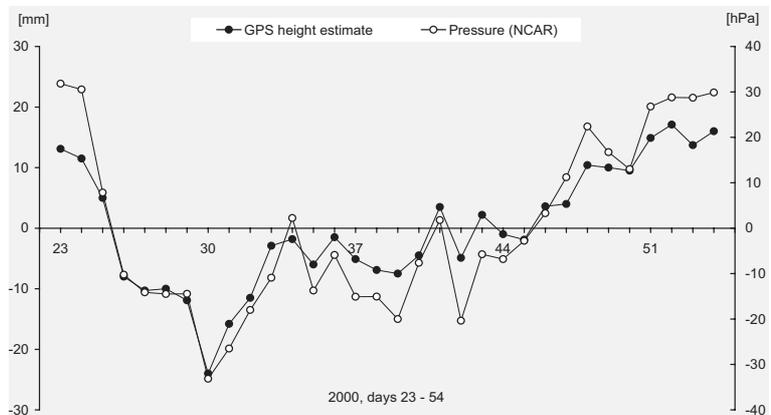
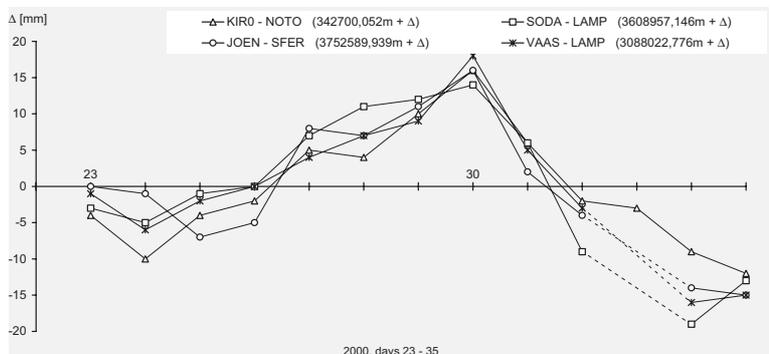


Abb. A1.2 Variationen des Höhenunterschieds Kiruna (Schweden) – Noto (Italien) gegenüber Luftdruckvariationen.



Angesichts der im Vergleich zu den Horizontalkomponenten großen Unsicherheit von GPS-Höhenbestimmungen wurde analysiert, ob sich Variationen des Luftdrucks auch schon in den Basislinienlängen erkennen lassen, wie es bei Netzen mit einer Ausdehnung von einigen tausend Kilometern zu erwarten ist. Die Abbildung A1.3, die über einen Zeitraum von 16 Tagen mit großen Druckänderungen die Variation der Basislinienlängen zwischen mehreren Stationen in Nord- und Südeuropa ausweist, belegt dies tatsächlich.

Abb. A1.3. Variationen von Basislinienlängen aufgrund von Druckänderungen.



A2 Modellbildung für SLR

Das Programmmodul DOGS-OC (**D**GFI **O**rbit and **G**eodetic **P**arameter **E**stimation **S**oftware – **O**rbit **C**omputation) benötigt für seine Bahnstörungenrechnung physikalische Modelle der Bahnbeschleunigungen, geodynamische Modelle der periodischen Stationsbewegungen, Korrekturmodelle des Messvorgangs verschiedener geodätischer Satellitenbeobachtungsverfahren sowie mathematische Modelle zur Parameterschätzung. Diese Modelle müssen laufend dem aktuellen wissenschaftlichen Stand angepasst werden. Folgende Programme erfuhren wesentliche Weiterentwicklungen:

Schwerfeld

Die Genauigkeit der SLR-Lösungen konnte dadurch gesteigert werden, dass das lineare Modell der Potentialkoeffizienten zweiten Grades gegenüber den gängigen Schwerfeldmodellen verbessert wurde. Für C_{21} und S_{21} wurde bisher schon ein von den IERS-Konventionen abweichendes, an die mittlere Polbewegung gekoppeltes Modell verwendet. Nun wurde auch C_{20} durch eine trigonometrische Reihe ersetzt. Aus der Zeitreihe wöchentlich gelöster Potentialkoeffizienten läßt sich für C_{20} eine hochsignifikante jährliche und halbjährliche Periode ableiten – in Übereinstimmung mit den geophysikalischen Modellen von Atmosphäre, Ozeanströmung und kontinentalen Wassermassen (siehe Abb. A2.1).

Darüber hinaus ist die 18.61-jährige Periode des mittleren Mondknotens vorhanden. Weitere Frequenzen (8.85, 6.0, 4.5 und 2.9 Jahre) deuten sich an, ihre Amplituden ließen sich aber noch nicht ausreichend korrelationsfrei ermitteln. Der langperiodische Anteil der Potentialkoeffizienten spiegelt vermutlich Fehler in den mehrjährigen Perioden des Ozeangezeitenmodells wider.

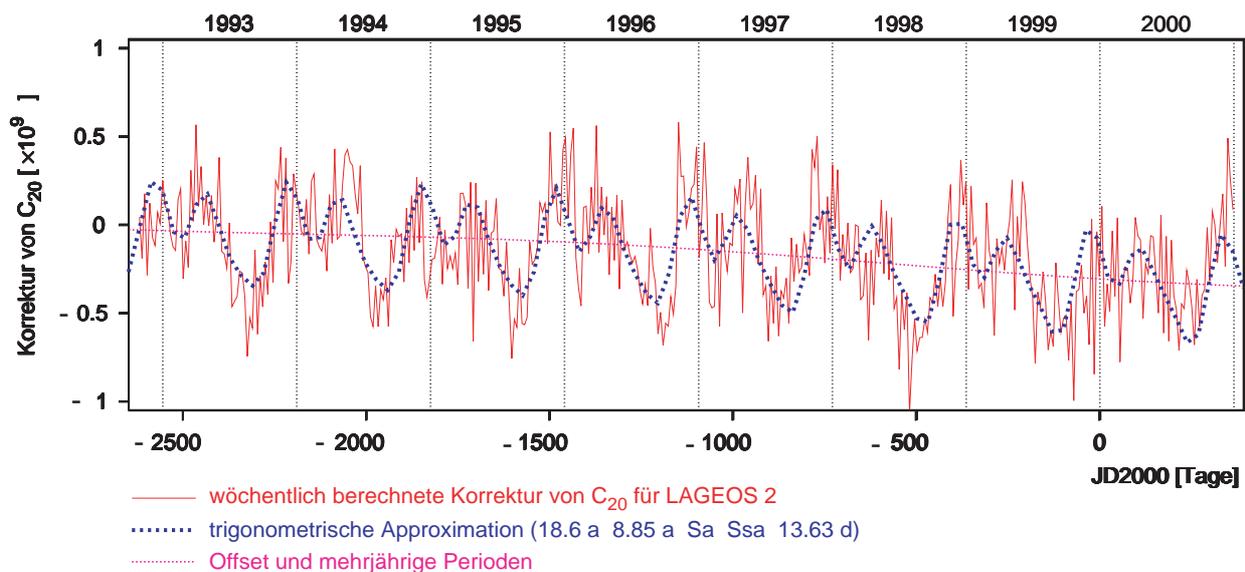


Abb. A2.1 Zeitreihe des Schwerfeldkoeffizienten C_{20}

Geozentrum

Auch die Potentialkoeffizienten ersten Grades enthalten diese Frequenzen, wenn sie im Referenzsystem der Stationskoordinaten (ITRF) modelliert werden. Sie repräsentieren die Lage des (wahren, aktuellen) Geozentrums im ITRF. Da aber DOGS-OC ein vom ITRF verschiedenes, streng geozentrisches Bezugssystem des Gravitationsfeldes voraussetzt ($C_{10} = C_{11} = S_{11} = 0$), werden die Geozentrumskoordinaten als Korrektur geschätzt und von den Stationskoordinaten abgezogen, wenn sie vom ITRF in das geozentrische System der Bahnbestimmung transformiert werden. Diese dreidimensionale Korrektur wird als trigonometrische Funktion der Zeit angesetzt, deren Amplituden mit DOGS-OC geschätzt werden können. Der periodische Anteil dieser Korrektur wird als Geozentrumsvariation bezeichnet. Sie wurde sowohl als Zeitreihe wöchentlicher Schätzwerte als auch analytisch in Form einer trigonometrischen Reihe bestimmt.

In der jährlichen und halbjährlichen Periode gibt es eine Übereinstimmung der ersten Ordnung (auf eine Dezimalstelle) mit den geophysikalischen Modellen von Dong et al. (1997) und Chen et al. (1999) sowie mit den Zeitreihen für LAGEOS (Eanes, 1997) und Topex (Cheng, 1998). Zusätzlich wurde die 18.61-jährige Periode gefunden (siehe Abb. A2.2).

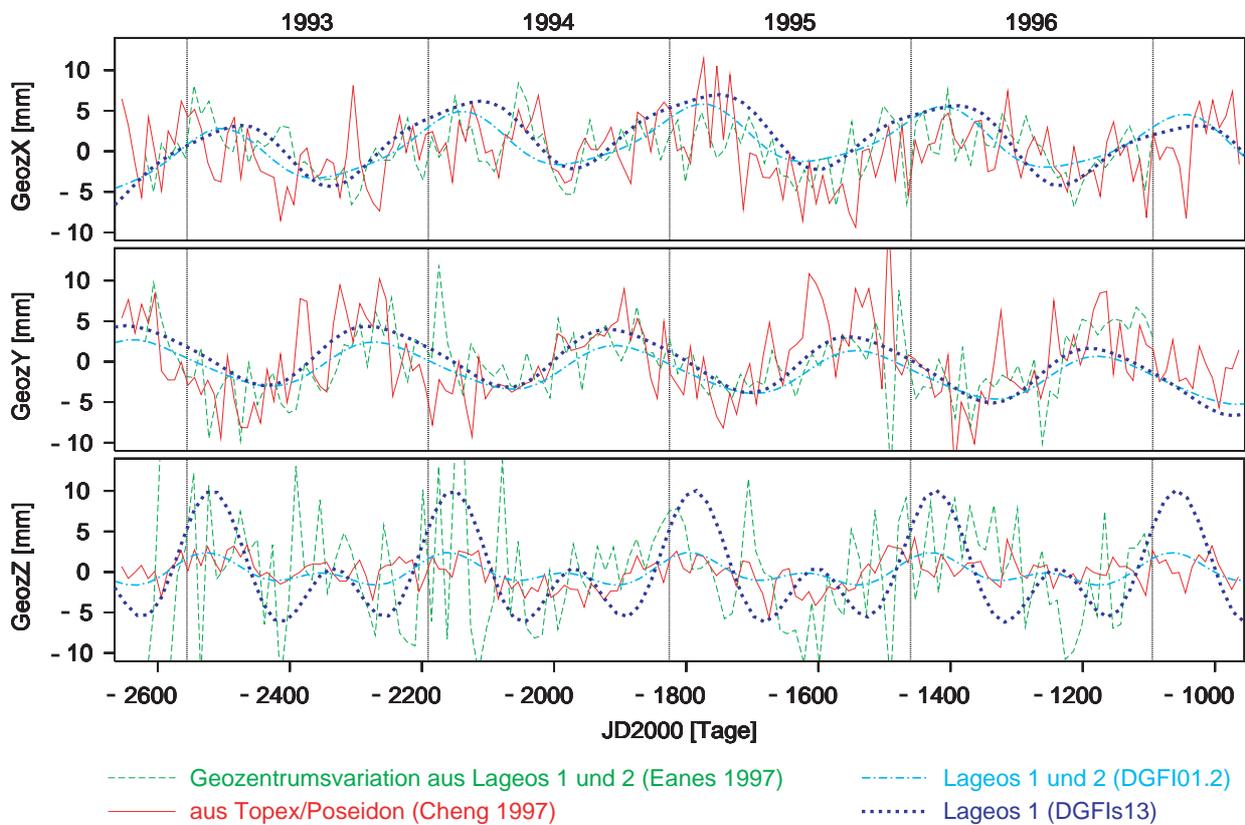
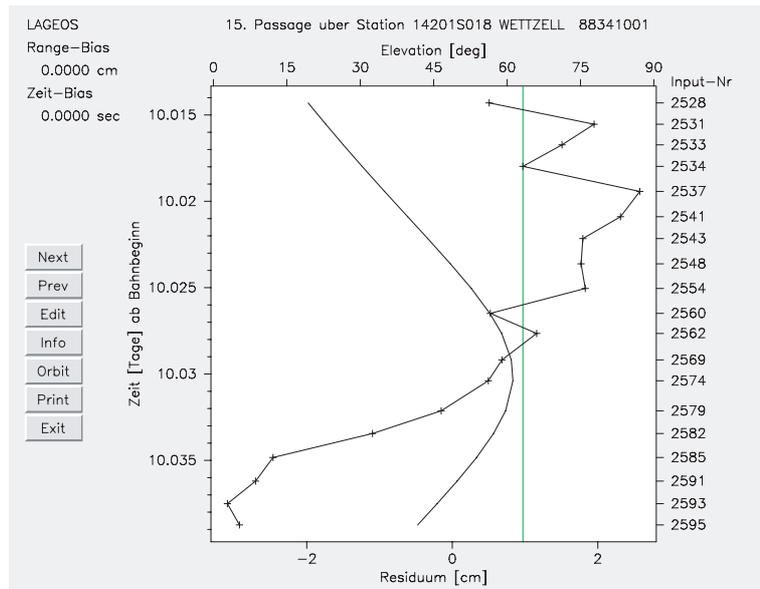


Abb. A2.2 Zeitreihen der Geozentrumsvariation aus Lageos und Topex/Poseidon

Visualisierung Zu DOGS-OV, der Nachbearbeitungs- und Visualisierungssoftware zu DOGS-OC, entstand ein interaktives Graphikprogramm RES-PLOT, das die Beobachtungsresiduen des Bahnbestimmungsprogramms DOGS-OC in Übersichtstabellen und in Einzelpassagen auf dem Bildschirm darstellt. In der Passagendarstellung können einzelne Beobachtungen oder Gruppen von Beobachtungen mit dem Mauscursor eliminiert werden oder früher eliminierte Beobachtungen (auch für diese rechnet DOGS-OC die Residuen) wieder als gültige Beobachtungen eingefügt werden.

Abb. A2.3 Ein Bildschirmfenster beim interaktiven Editieren von SLR-Residuen



A3 Modellbildung für VLBI

Die Bestimmung zeitlich hoch aufgelöster Erdrotationsparameter (ERP) aus Beobachtungen der geodätischen Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ist zentraler Gegenstand eines von der DFG finanzierten Projekts. Sie umfaßt sowohl Aspekte der Modellbildung als auch die Bereitstellung von Zeitreihen zur geowissenschaftlichen Analyse. Bindeglied ist die VLBI-Auswertesoftware OCCAM (Version 5.0), die am DGFI in Zusammenarbeit mit anderen VLBI-Gruppen in Wien (Österreich), St. Petersburg (Russland) und Belconnen (Australien) weiterentwickelt wird. Die in OCCAM implementierten Modelle wurden im Berichtszeitraum verbessert und dem aktuellen Stand der Wissenschaft angepaßt, um VLBI-Sessions systematisch und mit der für wissenschaftliche Untersuchungen notwendigen Flexibilität auswerten zu können.

VLBI-Programm OCCAM

Neben den bisher implementierten Lösungsmethoden (Kalman-Filter, Kleinste-Quadrate-Kollokation) können nun auch alle benötigten Parameter im Gauß-Markov-Modell nach der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt werden. Zusätzlich wurden Verfahren zur Suche nach groben Beobachtungsfehlern implementiert. Die neuen Konventionen des International Earth Rotation Service (IERS Conventions, 2000) wurden, soweit sie absehbar waren, bereits in die Software übernommen. Dies umfaßt ein Gezeitenmodell für die feste Erde, Antennendeformationen durch Temperaturschwankungen, Stationsbewegungen durch Atmosphärenauflast, das Nutationsmodell MHB 2000 sowie das Modell von Eanes für tägliche und subtägliche Schwankungen der Erdrotation. Weitere Arbeiten waren der Automatisierung einzelner Auswerteschritte gewidmet.

Zeitlich hochaufgelöste Erdrotationsparameter aus VLBI

Eine Reihe von Analysen befaßte sich mit der Einschätzung der Qualität zeitlich sehr hoch aufgelöster Erdrotationsparameter, die mit Hilfe der VLBI bestimmt werden. Es ergaben sich einige wesentliche Aussagen: Zeitlich sehr hoch aufgelöste Polkoordinaten lassen sich nicht eindeutig von den Nutationswinkeln trennen. Deshalb müssen bei einer solchen Schätzung die bestmöglichen Modellwerte für die Nutation festgehalten werden. Mit OCCAM 5.0 können Werte für die ERP aus VLBI-Beobachtungen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde gut bestimmt werden. Technisch gesehen wäre sogar eine zeitliche Auflösung von einer Viertelstunde möglich. Dann treten aber sehr hohe Korrelationen zwischen den Erdrotationsparametern auf. Mit der Erhöhung der Auflösung nehmen außerdem die Varianzen der Schätzwerte für die ERP drastisch zu. In solchen Fällen muß die Varianz-Kovarianz-Matrix der Schätzwerte bei anschließenden Analysen (z.B. Fourier oder Wavelet) als zusätzliche Information eingeführt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Durch Akkumulation der Ergebnisse einzelner Sessions verringern sich die zufälligen Fehleranteile. So lassen sich subtägliche periodische Anteile bei einer harmonischen Analyse mit bekannten Frequenzen stabil bestimmen (siehe Abb. A3.1).

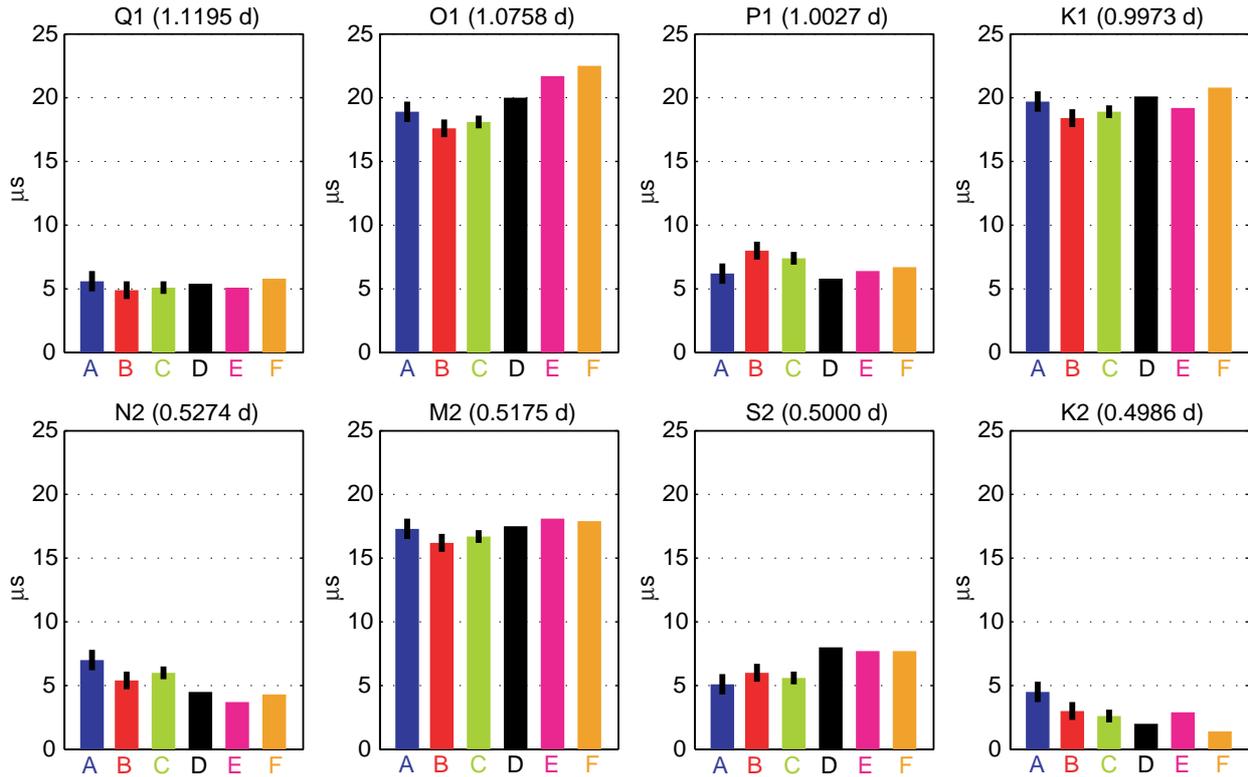


Abb. A3.1 Amplituden der vier täglichen und vier halbtäglichen Haupttiden in dUTI. **A:** DGFI-Lösung (OCCAM 5.0) mit mittleren Fehlern, gerechnet aus 52 NEOS-A Sessions. **B:** DGFI-Lösung (OCCAM 5.0) mit mittleren Fehlern, gerechnet aus 52 CORE-A Sessions, die simultan zu A stattfanden. **C:** DGFI-Lösung (OCCAM 5.0) mit mittleren Fehlern, gerechnet aus den unter A und B beschriebenen Sessions. **D:** Amplituden aus dem Ray-Modell (IERS Conventions, 1996), abgeleitet aus TOPEX/POSEIDON Daten. **E:** Amplituden aus einer VLBI-dUTI-Zeitreihe (20 Jahre, C. Ma), gerechnet von M. Rothacher. **F:** Amplituden aus einer vierjährigen GPS-dUTI-Zeitreihe, gerechnet von M. Rothacher.

Systematiken der Erdrotationsparameter aus VLBI

Zeitreihen von Erdrotationsparametern, die simultan aus unabhängigen VLBI-Netzen gewonnen wurden, zeigen systematische Unterschiede, die auf mögliche Inkonsistenzen der verwendeten Referenzsysteme hindeuten. Entsprechende Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Alle beschriebenen Untersuchungen wurden unter Verwendung einer am DGFI vorhandenen VLBI-Beobachtungsdatenbank (siehe Projekt D5) durchgeführt. Die Arbeiten werden durch eine Sachbeihilfe der DFG (DR143/9-1) gefördert.

A4 Kombination geodätischer Raumbeobachtungs- verfahren

Kombinationsstrategie

Ziel der Kombination geodätischer Raumverfahren ist es, die Stärken einer einzelnen Technik (z.B. die Maßstabsfestlegung durch SLR) zu nutzen und Schwächen (z.B. keine Orientierungsfestlegung des terrestrischen Referenzsystems durch SLR) durch andere Techniken auszugleichen. Im Berichtszeitraum ist die Strategie zur Kombination weiterentwickelt worden und erstreckt sich nun auf zwei verschiedene Kombinationsarten, die intratechnische (Zusammenführung von Beobachtungen derselben Technik) und die intertechnische (Zusammenführung verschiedener Techniken). Eine erste Anwendung hat diese Strategie für operationelle Berechnungen zur Realisierung des ITRS und für Analyseaufgaben im Rahmen von ILRS Pilotprojekten gefunden. Der Strategierahmen ist bei beiden Anwendungen gleich, die Vorgehensweise unterscheidet sich jedoch naturgemäß in Einzelheiten. Operationell ist die Strategie für die Berechnung einer ITRS-Realisierung aus ITRF-2000-Inputdaten innerhalb des IERS/ITRF Combination Centers genutzt worden. Die Umsetzung mit dem institutseigenen Programmsystem DOGS-CS wird im Projekt D1 beschrieben.

Im Folgenden wird die konkrete Strategie für Analyse- und Forschungsaufgaben, die hauptsächlich im Combination Research Center (siehe Projekt D1) zu untersuchen sind, beschrieben. Die Berechnungen hierzu führt ein im DGFI entwickeltes Analyseprogramm aus.

Intratechnische Kombination

In der intratechnischen Kombination sind individuelle Lösungen enthalten, die nur Beobachtungsdaten derselben Raumverfahrenstechnik enthalten. Somit ist die Schnittmenge dieser Daten i.a. nicht mehr statistisch unabhängig. Ziel der intratechnischen Kombination ist es, diejenigen Lösungen zu kombinieren, die internen Auswahlkriterien genügen. Intern bedeutet hier, dass sich das Kriterium ausschließlich auf Daten der intratechnischen Lösungen bezieht. Damit ist gewährleistet, dass die individuelle Eigenart der analysierten Technik — z.B. die Maßstabsfestlegung durch SLR-Daten — erhalten bleibt. Ein Vergleich mit Kriterien, die sich auf Daten oder Lösungen anderer Techniken (externe Kriterien) — z.B. GPS — beziehen, könnte zu unrichtigen Schlussfolgerungen führen.

Die Analyse läuft in folgenden Schritten ab:

- A *Individuelle Lösungen mit Beobachtungen derselben Raumverfahrenstechnik*
 - 1 Aufstellung bedingungsfreier Normalgleichungen aus den im SINEX-Format gegebenen Lösungen, falls diese mit schwachen Bedingungen behaftet sind;
 - 2 Hinzufügen weiterer Normalgleichungen aus minimalen Bedingungen und Lösung dieses erweiterten Systems;
 - 3 Relative Gewichtung der individuellen Kovarianzmatrizen;
 - 4 Analyse der gleichermaßen minimalbedingten Lösungen nach internen Kriterien;
Ergebnis: Auswahl geeigneter Lösungen zur Kombination;
 - 5 Kombination der bedingungsfreien Normalgleichungen der

geeigneten Lösungen und Reskalierung des Normalgleichungssystems;

Ergebnis: Normalgleichungssystem für die intertechnische Kombination im SINEX-Format.

Intertechnische Kombination

In der intertechnischen Kombination sind schließlich die Ergebnisse der intratechnischen Kombination zu analysieren und zu einer einheitlichen Lösung zusammenzufassen. Die momentane Strategie besteht in folgenden Schritten:

B Individuelle Lösungen aus Beobachtungen unterschiedlicher Raumverfahrenstechniken

- 1 Hinzufügung weiterer Normalgleichungen zu den vorliegenden bedingungs-freien Normalgleichungssystemen und Lösung des zusammengefassten Systems;
 - 2 Schätzung der Varianzkomponenten und Skalierung der Normalgleichungen;
 - 3 Berechnung minimal bedingter Lösungen aus den skalierten bedingungs-freien Normalgleichungen und Analyse nach internen und externen Kriterien;
 - 4 Aufstellung der Bedingungs- oder Normalgleichungen für die Exzentrizitäten;
 - 5 Kombination der ausgewählten bedingungs-freien Normalgleichungen sowie der Exzentrizitätsgleichungen und Lösung des Normalgleichungssystems;
- Ergebnis: *Endgültige Lösung der intertechnischen Kombination im SINEX-Format.*

Einige Schritte der intratechnischen Kombinationsstrategie sollen im Weiteren erläutert werden, so wie sie in dem Pilotprojekt „Network+EOP“ der ILRS-Analyse-Arbeitsgruppe (siehe Projekt D3) angewendet wurden:

Relatives Gewichten

Es ist anzunehmen, dass sich in den Lösungen die Kovarianzmatrizen der geschätzten Parameter bis auf einen skalaren Faktor nur unerheblich unterscheiden, weil in allen Lösungen dieselbe Stochastik der Eingangsdaten verarbeitet wird. Im Pilotprojekt weisen die Kovarianzmatrizen jedoch nicht zu vernachlässigende Unterschiede in ihrer Größenordnung auf. Um die Lösungen auf dem gleichen Genauigkeitsniveau analysieren zu können, sind die Matrizen plausibel zu skalieren. Eine Varianzkomponentenschätzung kommt nicht in Betracht, da sie stochastisch unabhängige Lösungen voraussetzt. Stattdessen wird eine relative Gewichtung empfohlen: Unter der Annahme, dass auf gut und regelmäßig beobachtenden Stationen die Standardabweichungen der geschätzten Koordinaten nur geringfügig voneinander abweichen sollten, lassen sich aus den quadrierten mittleren Standardabweichungen dieser Lösungen relative Skalierungsfaktoren für die Kovarianzmatrizen berechnen. Damit erhalten die Lösungen vergleichbare Genauigkeiten.

Im Pilotprojekt erhalten die Wochen-Lösungen desselben Analyse-zentrums Skalierungsfaktoren, die ungefähr gleich groß sind. Jedoch unterscheiden sich die Skalierungsfaktoren der fünf beteiligten Analysezentren in einer Spanne von 0.3 bis 6.6 — ein Indiz dafür, dass jedes Analysezentrum eine andere Gewichtungstrategie verfolgt. Eine entsprechende Gewichtung ist somit Voraussetzung für weitere Analysen.

Interne Kriterien

Nach der relativen Gewichtung lassen sich plausible interne Kriterien mit Hilfe von gewichteten mittleren Differenzen definieren. Zum Beispiel kann die Quadratsumme der Parameterdifferenzen zweier Lösungen berechnet werden, die durch die skalierten Kovarianzmatrizen gewichtet sind. Die Effizienz dieser Kriterien wird zur Zeit analysiert.

Der momentane Entwicklungsstand des Analyseprogramms und von DOGS-CS ist aus Abbildung A4.1 ersichtlich.

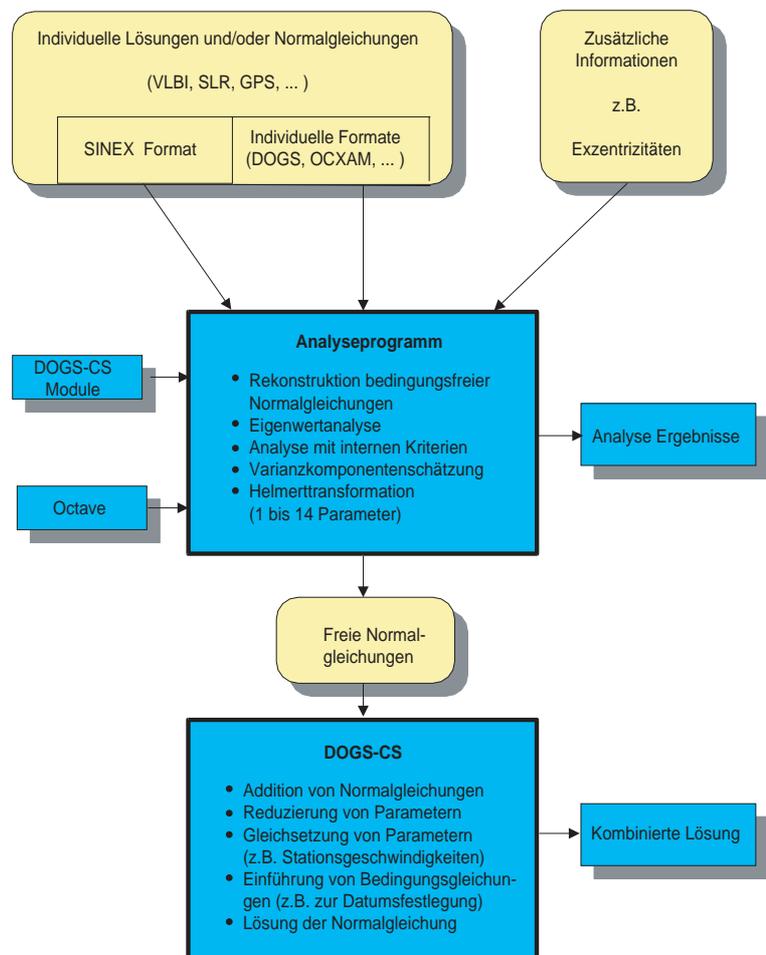


Abb. A4.1 Momentaner Stand der Analyse- und Kombinationssoftware

Erweiterungen des Analyseprogramms

Seit dem letzten Jahresbericht sind Module zur Analyse mit internen Kriterien, zur Varianzkomponentenschätzung und Helmerttransformationen erarbeitet worden. Die Module zur Rekonstruktion bedingungsfreier Normalgleichungen sowie der anschließenden Eigenwertanalyse wurden erweitert. Die Module sind so programmiert, dass sich ein möglichst automatisierter Datenfluss ergibt. Hierbei werden zur numerischen Berechnung Module von DOGS-CS oder dem Programm Octave einbezogen.

Erweiterungen von DOGS-CS

Weil das DGFI die Berechnung einer ITRS Realisierung aus ITRF-2000-Inputdaten auf der Basis von Normalgleichungen durchgeführt hat, war es nötig, die von den Analysezentren eingereichten SINEX-Lösungen in Normalgleichungen zurückzuwandeln. Dies wird durch das gemeinsame DOGS-CS-Format von Normalgleichungen und Lösungen ermöglicht. Dazu waren Erweiterungen des Inversionsmoduls CS_INVERT nötig.

Neu hinzugekommen ist das Modul CS_TRAFO zur Ähnlichkeitstransformation einer Beobachtungs- oder Normalgleichung oder einer Lösung, z.B.

- Epochentransformation,
- 7- oder 14-parametrische Helmerttransformation,
- Rotation, Translation oder Skalierung,

sowie das Modul CS_SOLVIEW zur Aufbereitung einer im Binärformat gespeicherten Lösung, z.B.

- Ausdruck der Lösung für Untergruppen von Parametern,
- Berechnung der Korrelationsmatrizen für Untergruppen von Parametern.

A5 Referenzsystem für die Amerikas

Im Berichtszeitraum wurde die im Mai 2000 beobachtete zweite SIRGAS-GPS-Kampagne mit der neuesten Version der Berner Software ausgewertet. Gegenüber der ersten Messung 1995 in Südamerika war die Anzahl der Stationen von 58 auf 184 angestiegen. Diese Zunahme ist einerseits durch die Ausdehnung auf Mittel- und Nordamerika (neue Definition von SIRGAS: Geozentrisches Referenzsystem für die Amerikas), andererseits durch die Erweiterung der Zielsetzung um eine Vereinheitlichung der nationalen Höhensysteme bedingt. Deshalb waren auch Nivellementpunkte an den Ländergrenzen und Pegelpunkte einzubeziehen.

SIRGAS 2000

Das Netz enthielt eine Vielzahl unterschiedlicher Empfänger- und Antennentypen. Ein erheblicher Aufwand war mit dem Editieren der RINEX-Files vor allem der nicht permanent messenden Stationen verbunden, um die Antennenhöhen zu verifizieren und auf den vereinbarten Antennenreferenzpunkt zu beziehen; außerdem waren die Empfänger- und Antennenbezeichnungen mit den Spezifikationen des Internationalen GPS Dienstes (IGS) in Einklang zu bringen.

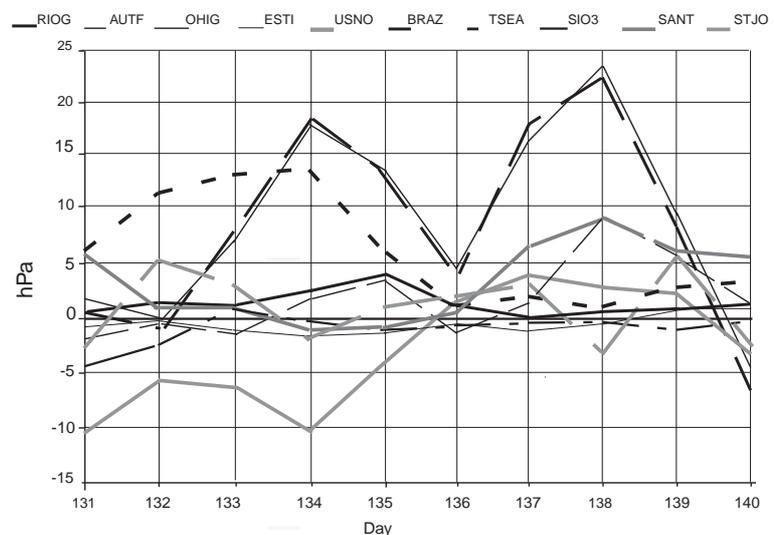
Detailanalysen und Auswertestrategie

Zur Festlegung einer möglichst optimalen Auswertestrategie wurden einige Detailuntersuchungen mit Teildatensätzen durchgeführt, die hauptsächlich die Genauigkeit der Höhenkomponente betreffen. Hierzu gehören die Modellierung der Auflasteffekte der Ozeangezeiten, die Modellierung der troposphärischen Refraktion, die Festlegung der minimalen Elevation und die elevationsabhängige Gewichtung der Beobachtungen. Die Satellitenbahnen und die Erdorientierungsparameter wurden vom IGS übernommen; ebenso wurden die Phasenzentrumsvariationen der Antennen entsprechend den Empfehlungen des IGS modelliert. Basierend auf den Voruntersuchungen können einige weitere Charakteristiken der SIRGAS-Auswertung wie folgt zusammengefasst werden:

- Modellierung der periodischen Auflasteffekte der Ozeangezeiten einheitlich für alle Stationen nach dem Modell FES 95.2;
- Fixierung der Phasenmehrdeutigkeiten mit der „Quasi Ionosphere Free (QIF)“-Strategie ohne Einführung eines Ionosphärenmodells;
- Minimale Elevation festgesetzt auf 10° , da einige Stationen darunter Abschattungen aufweisen;
- Keine elevationsabhängige Gewichtung, die nach den Ergebnissen der Voranalysen zu einer Verschlechterung der Wiederholbarkeit der Höhenbestimmungen führt;
- Schätzung restlicher nicht präzisierbarer Troposphäreneffekte für Intervalle von zwei Stunden; keine Schätzung horizontaler Gradienten, da diese Option bei den Detailanalysen zu einer größeren Streuung der Höhenergebnisse führte.

Ein Effekt, der bei der GPS-Auswertung bisher nicht berücksichtigt wird, ist der Einfluss atmosphärischer Druckauflasten, der bei SIRGAS erheblich sein könnte, weil sich das Netz von 62° nördlicher bis 63° südlicher Breite erstreckt (siehe auch Projekt A1). Es wurden deshalb aus einem globalen Datensatz täglicher Luftdruckwerte für alle Stationen die Luftdruckanomalien während der Kampagne, bezogen auf das lokale Jahresmittel 2000, berechnet. Die Abbildung A5.1 zeigt die Druckverhältnisse für zehn über das Netz verteilte Stationen. Bis auf einen kleinen Bereich um Feuerland blieben die Druckanomalien fast überall unter 10 hPa, so dass keine großen systematischen Verfälschungen der Höhenergebnisse befürchtet werden müssen.

Abb. A5.1 Druckanomalien bezogen auf Jahresmittel für ausgewählte Station während der SIRGAS 2000 Kampagne.



Ergebnisse

Die täglichen Netzausgleichungen konnten selbst bei heutigen Rechnerkapazitäten nicht in einem Guss durchgeführt werden, sondern es wurden die Normalgleichungen von drei Teilnetzen erzeugt und mit dem Programm ADDNEQ zu Tageslösungen kombiniert. Da die Hauptzielsetzung von SIRGAS-2000 in der Vereinheitlichung der Höhensysteme lag und damit die Genauigkeit der mit GPS bestimmten ellipsoidischen Höhen von großer Bedeutung ist, werden in Abbildung A5.2 beispielhaft für vier Pegelstationen die Wiederholgenauigkeiten der täglichen Höhenschätzungen gegenüber der Gesamtausgleichung dargestellt. Diese Stationen sind Eastport (EPRT, USA) und Rawson (RWSN, Argentinien) an der Atlantikküste sowie Neah Bay (NEAH, USA) und Punta Arenas (PTAS, Chile) an der Pazifikküste.

Globale Referenz für SIRGAS

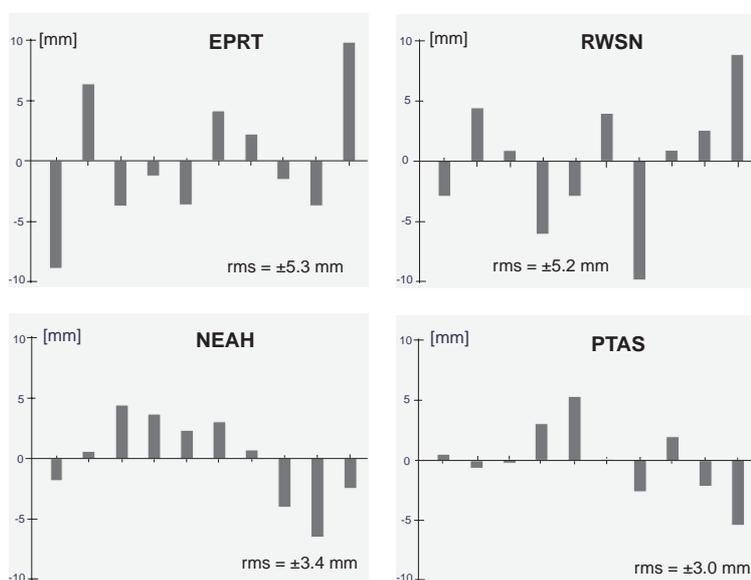
Das Referenzsystem für SIRGAS-2000 sollte ITRF 2000 sein, realisiert durch möglichst gleichmäßig verteilte permanente GPS-Stationen, die während der Kampagne zuverlässig gemessen haben und deren Positionen und Geschwindigkeiten auf langjährigen Zeitreihen, möglichst auch von SLR oder VLBI,

basieren. Die bisherigen Analysen hierzu, die einerseits die Auswahl dieser Referenzstationen, andererseits die Realisierungsstrategie betrafen, zeigten

- dass offensichtlich zwischen den Referenzpunkten vor allem in Südamerika im ITRF-2000 noch Inkonsistenzen im Zentimeter-Bereich bestehen und
- dass je nach angewandter Realisierungsstrategie regional systematische Effekte von einigen Millimetern in der SIRGAS-Lösung auftreten.

Die endgültige Realisierung des Referenzsystems für SIRGAS-2000 bedarf deshalb weiterer Untersuchungen.

Abb. A5.2 Tägliche Wiederholgenauigkeiten der Höhenschätzungen von Pegelstationen.



A6 Geodynamik-Netz CASA

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten für das Projekt „Central and South America“ (CASA) auf die Reprozessierung der bisherigen Kampagnen, um die Daten in ein einheitliches Bezugssystem für eine gemeinsame Ausgleichung zur Schätzung linearer und episodischer Bewegungen einzuführen. Eine weitere zusätzliche Messung des gesamten venezolanischen Teils des Netzes ist kürzlich mit den entsprechenden amtlichen Stellen in Venezuela für Ende Januar 2002 fest vereinbart worden. Zum gegenwärtigen Status der Reprozessierungsarbeiten, die noch nicht abgeschlossen sind, kann etwa folgender Stand angegeben werden:

- die Daten der Kampagnen 2000 (identisch mit den Daten für SIRGAS 2000), 1999 (dritte vollständige Messung des Netzes), 1998 und 1997 (Messungen kurz nach dem schweren Erdbeben in Cariaco, östlichster Teil des Netzes) sind bereits wieder aufbereitet;
- die Daten der Kampagne 1996 (zweite vollständige Messung des Netzes) werden derzeit überarbeitet;
- die Daten der Kampagnen 1995 (identisch mit den Daten für SIRGAS 1995) und 1993 (erste vollständige Messung des Netzes) müssen noch bearbeitet werden.

Für die Modellierung des Auflasteffektes der Ozeangezeiten ist eine entsprechende Datei mit den Phasen und Amplituden für alle Stationen des Netzes vorbereitet worden. In Abbildung A6.1 ist das gesamte CASA-Netz dargestellt.

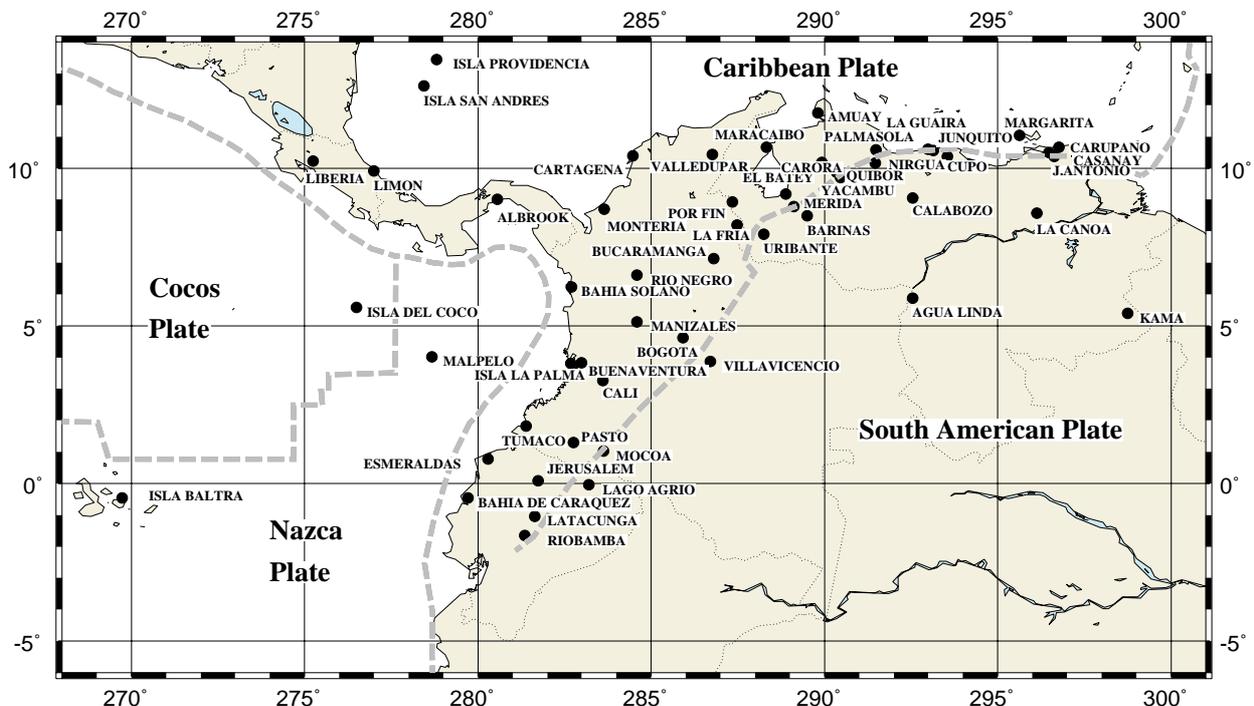


Abb. A6.1 Netzbild des Projekts CASA

A7 Aktuelle Plattenkinematik-Modelle (APKIM)

Die Reihe der APKIM-Berechnungen wurde im Berichtszeitraum fortgeführt. Für die Berechnungen wurden die aktuellen Kombinationsergebnisse des ITRS Combination Centers am DGFI (siehe Projekt D1) verwendet. Diese sind eine aus drei Einzellösungen (GIUB, GSFC, SHA) kombinierte VLBI-Lösung, eine aus fünf Einzellösungen (CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET) kombinierte SLR-Lösung sowie eine vom IGS bereitgestellte kombinierte GPS-Lösung. Die einzelnen Kombinations-Lösungen für jeweils eine Technik (VLBI, SLR, GPS) wurden durch Schätzung von je drei Rotationsunbekannten auf ein gemeinsames rotationsfreies („no net rotation“) Datum bezogen.

APKIM2000 Beim kinematischen Plattenmodell APKIM2000 wurden aus den Stationsgeschwindigkeiten der genannten Datensätze die Rotationsvektoren für 12 Platten bestimmt. Zusätzlich zu den Platten des geophysikalischen Modells NNR NUVEL-1A wurden Rotationsvektoren für die Asiatische und die Somalia-Platte berechnet, welche bei NUVEL in die Eurasische bzw. die Afrikanische Platte einbezogen sind. Für die Cocos- und die Indische Platte konnten mangels geodätischer Daten keine Rotationsvektoren berechnet werden. Neben den starren Platten wurden wie bisher die Deformationszonen (Mittelmeerraum, Kalifornien, Südamerikanische Anden, Ostasien/Japan) mittels Prädiktion nach kleinsten Quadraten modelliert. Bei den Berechnungen mussten von ursprünglich 303 Stationsgeschwindigkeiten 24 (8%) wegen zu großer Residuen eliminiert werden (11 GPS, 8 SLR, 5 VLBI).

Ergebnisse Tabelle A7.1 stellt die Plattenrotationsvektoren von APKIM2000 im Vergleich zum geophysikalischen NUVEL-Modell zusammen. Für die Arabische und die Karibische Platte sind die APKIM2000-Ergebnisse wegen unzureichender Daten noch sehr unsicher. Die Rotationsvektoren der geodätischen Resultate weichen für die meisten Platten signifikant von denen des NUVEL-Modells ab. Besonders groß sind die Differenzen für die Asiatische Platte, die offenbar keine gemeinsame Platte mit Europa bildet.

In Abbildung A7.1 sind die aus APKIM2000 und NUVEL abgeleiteten Geschwindigkeiten für ausgewählte Stationen im Vergleich zu den ITRF2000-Geschwindigkeiten dargestellt. Die APKIM2000- und ITRF2000-Geschwindigkeiten zeigen eine hohe Übereinstimmung. Im stabilen Inneren der Platten stimmen die geodätisch abgeleiteten Geschwindigkeiten in der Regel recht gut mit denen des NUVEL-Modells überein, während insbesondere in Deformationszonen (z.B. Südamerikanische Anden, Kalifornien, Mittelmeerraum, Ostasien/Japan) erhebliche Differenzen auftreten. Aber auch für die Nazca-Platte ist die NUVEL-Geschwindigkeit im Vergleich zu den geodätischen Ergebnissen viel zu groß.

Tab. A7.1 Geodätisches Modell APKIM2000 und geophysikalisches Modell NNR NUVEL-1A der Plattenkinematik. Angegeben sind für beide Modelle die geographische Lage des Rotationspols (Breite, Länge) und die Rotationsgeschwindigkeit mit mittleren Fehlern.

Platte	APKIM2000			NNR NUVEL-1A		
	Φ [°]	Λ [°]	ω [°/Ma]	Φ [°]	Λ [°]	ω [°/Ma]
Afrika	52,7 ± 0,6	276,8 ± 1,5	0,269 ± 0,003	50,6	286,0	0,291
Somalia	47,8 ± 4,8	267,4 ± 8,7	0,292 ± 0,026	50,6	286,0	0,291
Antarktis	63,2 ± 1,2	231,5 ± 2,4	0,243 ± 0,011	63,0	244,2	0,238
Arabien	51,8 ± 2,8	350,7 ± 38,7	0,467 ± 0,155	45,2	355,5	0,546
Australien	34,4 ± 0,3	36,9 ± 0,6	0,619 ± 0,004	33,8	33,2	0,646
Eurasien	57,9 ± 0,6	262,9 ± 0,9	0,259 ± 0,002	50,6	247,7	0,234
Asien	68,7 ± 1,1	210,1 ± 11,7	0,368 ± 0,017	50,6	247,7	0,234
Karibik	46,3 ± 8,0	251,7 ± 30,8	0,191 ± 0,068	25,0	267,0	0,214
Nazca	44,8 ± 1,8	262,8 ± 0,7	0,644 ± 0,014	47,8	259,9	0,743
N. Amerika	-2,4 ± 0,8	280,8 ± 0,4	0,198 ± 0,002	-2,4	274,1	0,207
Pazifik	-65,2 ± 0,2	107,1 ± 1,4	0,658 ± 0,003	-63,0	107,3	0,641
S. Amerika	-21,7 ± 2,0	230,7 ± 5,2	0,092 ± 0,003	-25,4	235,6	0,116

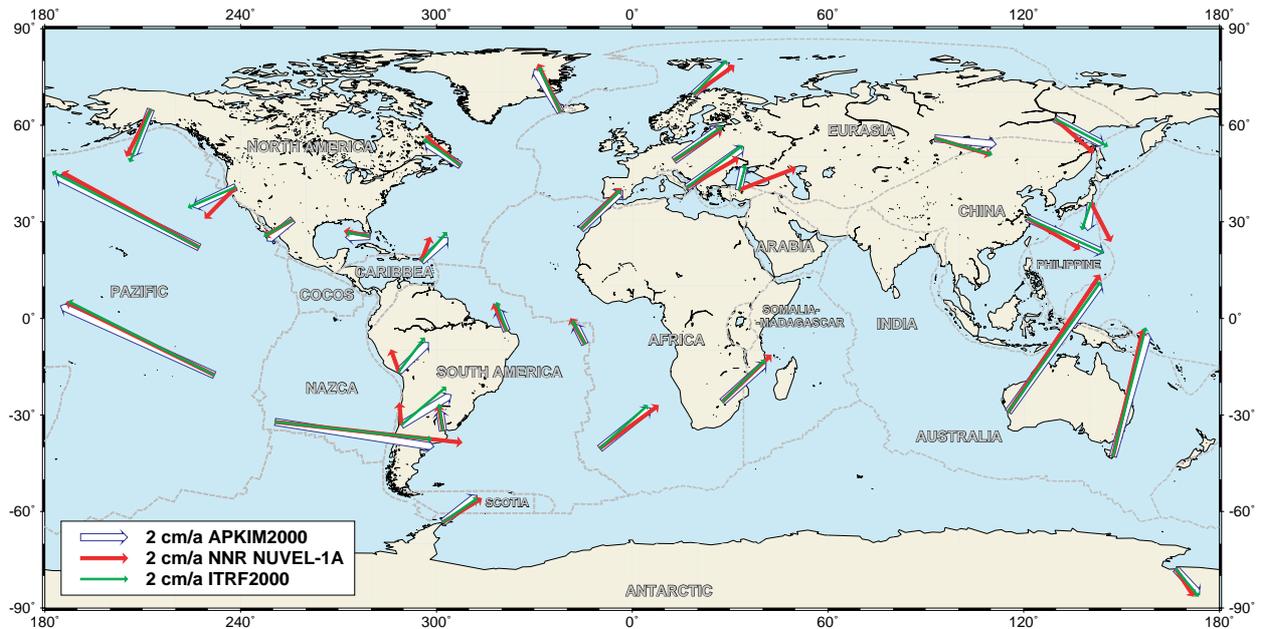


Abb. A7.1 APKIM2000, ITRF2000 und NNR NUVEL-1A Geschwindigkeiten für ausgewählte Stationen.

Die aus geodätischen Daten abgeleiteten Rotationsvektoren liefern inzwischen für die meisten Platten sehr gute Ergebnisse und bieten gegenüber geophysikalischen Modellen bekanntermaßen erhebliche Vorzüge. Deshalb wurde dem Internationalen Erdrotationsdienst vorgeschlagen, anstelle des gegenwärtig verwendeten Modells NNR-NUVEL-1A zur Realisierung der „no rotation“-Bedingung zukünftig vorzugsweise die aus geodätischen Daten abgeleiteten kinematischen Modelle (z.B. APKIM-2000) zu benutzen.

B: Physikalische Bezugsflächen

Geodätische Höhen werden im Allgemeinen in Relation zu geometrischen oder physikalischen Bezugsflächen angegeben. Moderne Raumverfahren (z.B. GPS) liefern primär geometrische Höhen über einem Bezugsellipsoid. Gebrauchshöhen für die Praxis beziehen sich jedoch auf Flächen, die durch das Erdschwerefeld bestimmt sind, z.B. das Geoid oder das Quasigeoid. Sie sind im Niveau durch Bezugspunkte festgelegt, deren Höhen relativ zu langfristig gemittelten Pegelregistrierungen definiert werden. Die Orientierung am mittleren Meeresspiegel ist naheliegend aber problematisch. Der Meeresspiegel richtet sich nicht nur nach dem Schwerefeld aus, sondern wird zusätzlich durch Temperatur, Luftdruck und Strömungen verändert. Die Abweichungen des Meeresspiegels vom Geoid (die Meerestopographie) muss bekannt sein, um Höhensysteme zu vereinheitlichen. Die Meerestopographie liefert zugleich Erkenntnisse über wichtige dynamische Prozesse (Massenverlagerungen) des Systems Erde.

Geoid und Meeresspiegel sind damit grundlegende physikalische Bezugsflächen, die in engem Zusammenhang stehen. Neue Schwerefeldmissionen wie CHAMP, GRACE und GOCE, etablierte Raumberechnungsverfahren wie die Satellitenaltimetrie, die präzise Punktpositionierung durch GPS sowie traditionelle Registrierungen von Pegeln müssen kombiniert werden, um die Beziehungen zwischen Geoid und Meeresspiegel zu präzisieren. Die Projekte B1 bis B5 untersuchen wichtige Aspekte dieser Aufgabe.

B1 Nutzung der Altimetrie zur globalen Schwerefeldbestimmung

Die anstehenden Schwerefeldmissionen CHAMP, GRACE und GOCE werden neben der Bestimmung zeitlicher Variationen vor allem erheblich höhere räumliche Auflösungen des Schwerefeldes ermöglichen. Problematisch bleibt dabei die „Fortsetzung nach unten“: die Messungen erfolgen in Satellitenhöhe; das Schwerefeld soll jedoch bis an die Erdoberfläche aufgelöst werden. Die Satellitenaltimetrie kann hier stabilisierend wirken, da sie mit der Meeresoberfläche eine genäherte Äquipotentialfläche abtastet. Es stellt sich deshalb die Frage, in welchem Umfang die Normalgleichungen des Schwerefeldes stabilisiert werden, wenn altimetrische Observable wie Kreuzungspunkt-Differenzen, Lotabweichungen, Schwereanomalien oder Schweregradienten zusätzlich berücksichtigt werden.

Die Satellitenaltimetrie hat zu erheblichen Verbesserungen der marinen Schwereanomalien geführt. Alle hoch auflösenden Schwerefeldmodelle nutzen diese Daten, die mittlerweile für ein nahezu globales $2' \times 2'$ -Gitter vorliegen. Allerdings erscheint der „Umweg“ über die Schwereanomalien unnötig. In Voruntersuchungen wurden bereits „direktere“ Alternativen aufgezeigt. Die linearisierte Bahntheorie von Kaula (und Rosborough) wurde z.B. genutzt, um aus Kreuzungspunkt-Differenzen Schwerefeldverbesserungen zu bestimmen. Durch eine Diplomarbeit wurde bestätigt, dass Schweregradienten aus der Krümmung der Meeresoberfläche an Kreuzungspunkten abgeleitet werden können. Allerdings enthalten Kreuzungspunkt-Differenzen nicht nur gravitative Bahnfehler, sondern auch Meeresspiegel-Variationen sowie Fehler der atmosphärischen und geophysikalischen Altimeterkorrekturen. Schließlich ist die räumliche Auflösung durch die Beschränkung auf Kreuzungspunkte begrenzt, insbesondere wenn nur Kreuzungspunkt-Ereignisse von zeitlich kurz aufeinander folgenden Beobachtungen betrachtet werden, um die Variationen des Meeresspiegels zu minimieren.

Neigung und Krümmung entlang der Bahnspur

Im Berichtszeitraum wurde deshalb ein weiterer Ansatz verfolgt, um möglichst direkt die hoch auflösenden Altimetermessungen entlang der Bahnspur zur Schwerefeldverbesserung zu nutzen. Entlang der Bahnspur-Profile approximieren Neigungen und Krümmungen der ellipsoidischen Meereshöhen, *SSH*, Neigungen und Krümmungen des Geoid-Profils. Bei den Neigungen muss die Meerestopographie, *SSTop*, als Korrektur berücksichtigt werden. Die Geoidhöhen N sind über die Brunssche Gleichung mit dem Störpotential T (und der Normalschwere γ) verknüpft. Mit

$$N = \frac{T}{\gamma} = SSH - SSTop$$

ergibt sich zum Beispiel für die erste Ableitung nach der Weglänge t entlang der Bahnspur

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial T}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + T \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{\gamma} \right) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

Das Störpotential und seine partiellen Ableitungen nach Länge λ und Breite φ enthalten die zu verbessernden harmonischen Koeffizienten. Die Ableitungen $\partial \lambda / \partial t$ und $\partial \varphi / \partial t$ ergeben sich aus der Geometrie der Bahnspur.

Durch wiederholte partielle Ableitung folgen auch die zweiten Ableitungen der Geoidhöhen entlang der Bahnspur — ein langer, hier nicht dargestellter Ausdruck, der Ableitungen des Störpotentials bis zur zweiten Ordnung enthält.

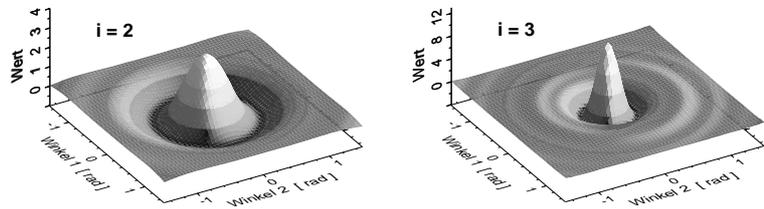
Eigenwertberechnung extrem großer Matrizen

Die analytischen Beobachtungsgleichungen für Lotabweichungen und Krümmungen entlang der Spur wurden aufgestellt. Eine numerische Umsetzung dieser Beobachtungsgleichungen steht jedoch noch aus. Zunächst ist die Frage zu untersuchen, ob und in welchem Maße sich die Normalgleichungen des Schwerefeldes durch die Hinzunahme altimetrischer Beobachtungen stabilisieren. Die Kondition der Normalgleichungen kann schlüssig nur durch eine Berechnung von Eigenwerten überprüft werden. Die dabei zu untersuchenden Gleichungssysteme haben erhebliche Dimensionen. Bereits beim Entwicklungsgrad 70 fallen nahezu 5000 Schwerefeldkoeffizienten an. Bei noch höheren Entwicklungsgraden stößt eine klassische Eigenwertzerlegung sehr schnell an numerische Grenzen. Es wurden deshalb Alternativen untersucht. Ein iteratives Verfahren für die Berechnung von Eigenwerten der Koeffizientenmatrix sehr großer linearer Gleichungssysteme ist von Lanczos entwickelt worden. Bei dem Verfahren wird die zu untersuchende Matrix durch wiederholte Ähnlichkeitstransformationen auf Tridiagonalgestalt gebracht. Die Eigenwerte einer Tridiagonalmatrix sind dann leicht zu berechnen. Es gibt mittlerweile zahlreiche Programme, die den Lanczos-Algorithmus realisieren. Die frei verfügbare ARPACK-Lösung basiert auf bewährten LAPACK- und BLAS-Routinen und zeichnet sich durch sehr geringe Speicheranforderungen aus.

B2 Wavelet-Reihenentwicklung des Schwerefeldes

Das Gravitationspotential der Erde wird üblicherweise in einer Kugelfunktionsreihe entwickelt. Während sich die Kugelfunktionsentwicklung als geeignet für die Darstellung des globalen bzw. niederfrequenten Anteils des Gravitationsfeldes erweist, lassen sich mittel- und hochfrequente bzw. regionale und lokale Feldanteile durch eine Reihenentwicklung in sphärischen Wavelet-Funktionen modellieren. Sphärische Wavelet-Funktionen zeichnen sich in Abhängigkeit vom Skalierungsparameter i sowohl durch eine räumliche Lokalisierung als auch durch eine Lokalisierung im Frequenzbereich aus. Beispielhaft zeigt Abbildung B2.1 die räumliche Lokalisierung einer rotationssymmetrischen Wavelet-Funktion für zwei verschiedene Skalierungswerte. Der Zusammenhang zwischen dem Skalierungsparameter und dem durch den Entwicklungsgrad n repräsentierten Frequenzbereich wird durch die Legendre-Koeffizienten der verwendeten Wavelet-Funktion hergestellt.

Abb. B2.1 Räumliches Lokisierungsverhalten einer rotationssymmetrischen Wavelet-Funktion



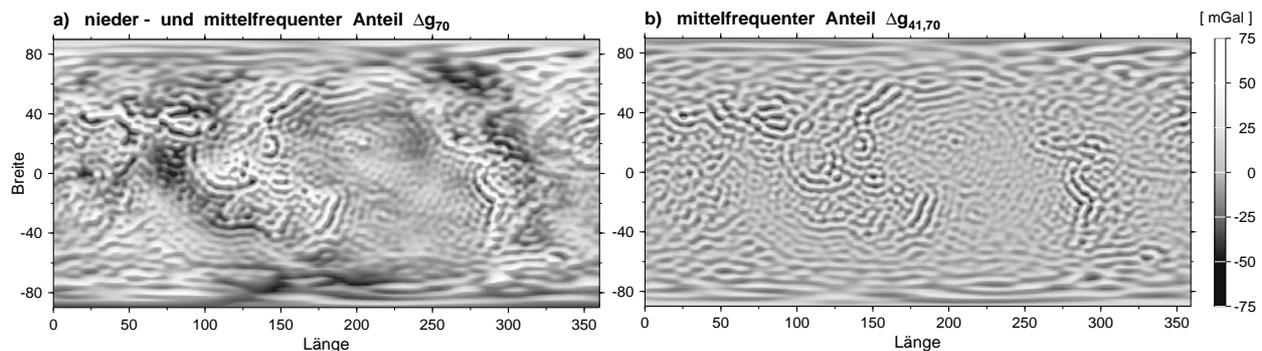
Sollen nun beispielsweise Schwereanomalien modelliert werden, bietet sich die folgende Vorgehensweise an:

- der niederfrequente Anteil der Schwereanomalien wird durch die klassische Kugelfunktionsentwicklung beschrieben,
- der mittel- und hochfrequente Anteil wird mit Hilfe der skaldiskreten sphärischen Wavelet-Transformation in eine Summe skalenabhängiger Detailsignale zerlegt. Die Summe aller Detailsignale bedeutet die Rekonstruktion des Ausgangssignals.

Skalenabhängige Detailsignale

Im Folgenden wird die genannte Prozedur anhand eines einfachen Beispiels veranschaulicht. Hierzu wird der in Abbildung B2.2b dargestellte mittelfrequente Anteil der aus dem EGM 96 berechneten Schwereanomalien der Grade 41 bis 70 mit Hilfe der de-la-Vallée-Poussin Wavelet-Funktion in Detailsignale zerlegt.

Abb. B2.2 Nieder- und mittelfrequenter Anteil der EGM96 Schwereanomalien



Diese lassen sich anschließend mit Hilfe des Stokes-Operators in die in Abbildung B2.3 dargestellten Detailsignale der Geoidundulationen transformieren. Man erkennt deutlich das skalenabhängige Verhalten.

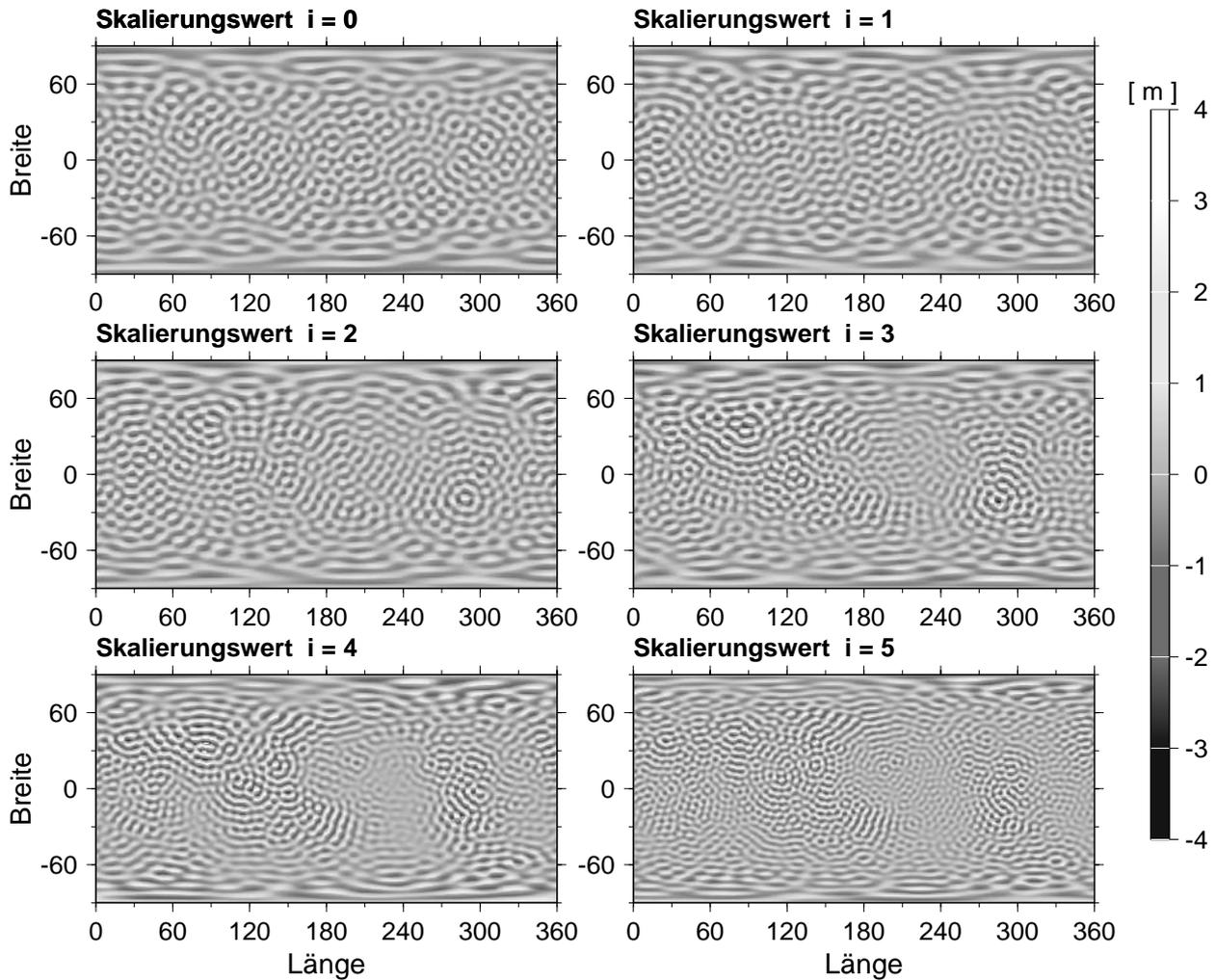
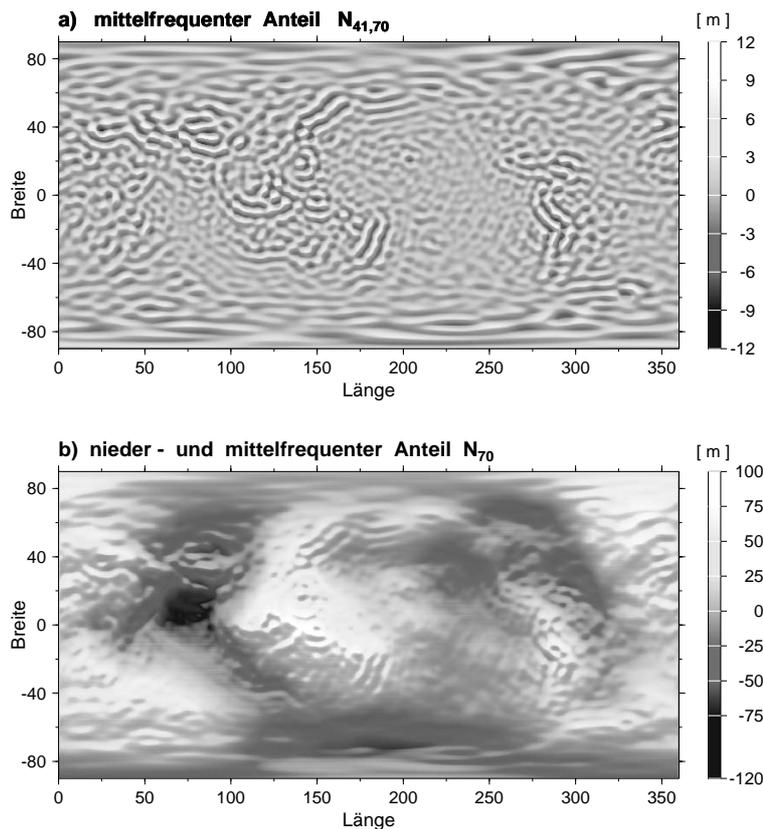


Abb. B2.3 Ausgewählte Detailsignale des betrachteten mittelfrequenten Anteils der Geoidundulationen

Eine große Anzahl von Wavelet-Koeffizienten weist einen betragsmäßig kleinen Zahlenwert auf. Vernachlässigt man nun alle Koeffizienten, deren Betrag beispielsweise kleiner ist als 5% des Maximalwertes der betreffenden Skala, lässt sich eine Datenkompression ohne bedeutenden Informationsverlust erzielen. Abbildung B2.4b zeigt die Summe der Kugelfunktionsentwicklung für die Geoidundulationen bis Grad 40 und des aus den transformierten Detailsignalen konstruierten mittelfrequenten Anteils aus Abbildung B2.4a unter Berücksichtigung aller Wavelet-Koeffizienten.

*Abb. B2.4 Konstruierter
mittelfrequenter Anteil
sowie nieder- und
mittelfrequenter Anteil
der Geoidundulationen*



B3 Meeresspiegel- überwachung durch Altimetrie und Pegel

Die Untersuchungen im Nord-Atlantik im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts EVAMARIA (Erkennung und Verfolgung anomaler Meerwasserstände mit Altimetrie und Pegel-Registrierungen im Nord-Atlantik) wurden abgeschlossen.

Die Messaktivitäten des Projekts wurden mit der Einrichtung der GPS-Permanentstation in Tórshavn und weiteren episodischen Messkampagnen auf den für das Projekt ausgesuchten Stationen abgeschlossen. Tabelle B3.1 gibt einen Überblick über die GPS-Aktivitäten im Jahr 2001.

Tab. B3.1 Kennzeichen episodischer GPS-Kampagnen im Jahr 2001 und für die Einrichtung der GPS-Permanentstation in Tórshavn im Rahmen des Projekts EVAMARIA

STATION	Messperiode Tag d.Jahres	Tage	Std/Tag	Rate (sec)	Elev. (°)	EMPFÄNGER/ ANTENNE
CAYMAN ISLANDS:						
North Sound Pegel	087 - 094	8	12	15	0	Leica SR520/LEIAT303
South Sound BM D 2.1	089 - 090	2	4	15	0	Leica SR520/LEIAT302
North Sound Cliff	088 - 089	2	4	15	0	Leica SR520/LEIAT302
USA , FLORIDA:						
Vaca Key BM 3970 K 1988	086 - 094	9	24	15	0	Leica SR520/LEIAT504
Key West BM 4580 C 1992	088 - 093	6	9	15	0	Leica SR520/LEIAT303
PORTUGAL, AZOREN:						
Flores IPCC Pfeiler	171 - 177	7	24	15	0	Leica SR520/LEIAT504
Flores Hilfspkt. Nähe Pegel	172 - 176	5	3	15	0	Leica SR520/LEIAT302
USA, DELAWARE BAY :						
Lewes GPS S-5A	093 - 095	3	9	15	5	Leica SR9500/LEIAT303
Cape May No. 54 Reset-ECC	096 - 098	3	8	15	0	Leica SR9500/LEIAT303
USA, CHESAPEAKE BAY:						
Chesapeake CBBT No. 3 1975	087 - 089	3	8	15	5	Leica SR9500/LEIAT303
Kiptopeke No. 5 1958	090 - 092	3	8	15	5	Leica SR9500/LEIAT303
IRLAND:						
Malin Head Z001	171 - 179	7	24	15	0	Leica SR520/LEIAT504
DÄNEMARK, FÄRÖER:						
Tórshavn K-87-9035	056 - 059	4	6	30	0	Leica SR520/LEIAT303
TORS	seit 055	perm.	24	30	0	Leica CRS1000/LEIAT504

Bestimmung von Höhen und Vertikalgeschwindigkeiten der Pegel aus GPS-Daten

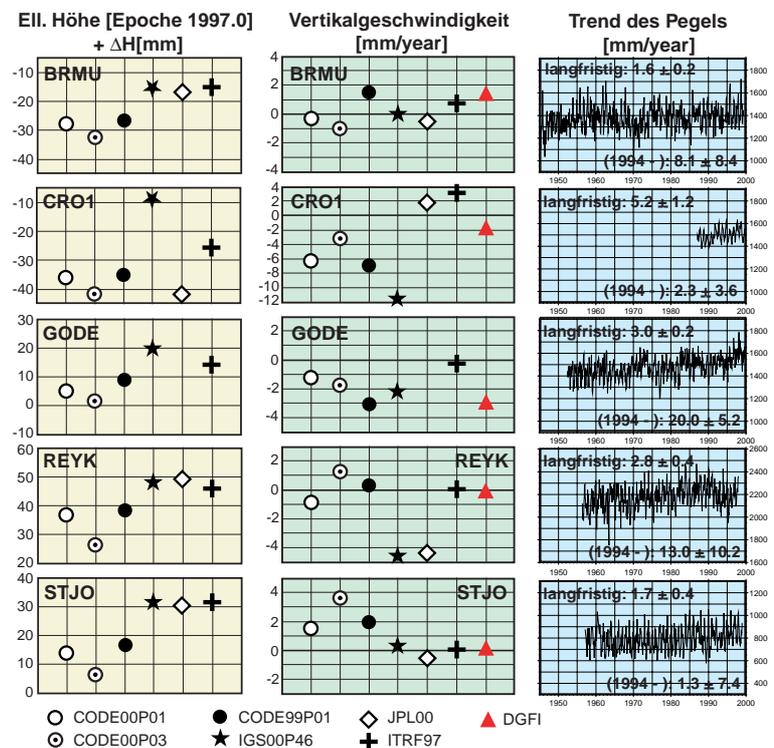
Die Daten der permanent beobachtenden GPS-Stationen, die im Nord-Atlantik in unmittelbarer Nachbarschaft von Pegeln betrieben werden, wurden im Rahmen des EVAMARIA Projekts eingehend analysiert. Ein Vergleich der Lösungen, die für diese Stationen von Analysezentren des Internationalen GPS-Service (IGS) erzeugt wurden, ergab Differenzen von mehreren cm in der Höhe und bis zu 3mm/Jahr in den Vertikalgeschwindigkeiten (siehe Abbildung B3.1). Die Diskrepanzen liegen weit über den formalen Fehlern der Einzellösungen und belegen die Problematik einer signifikanten Bestimmung von Höhen und Vertikalgeschwindigkeiten.

Für ein ausgesuchtes Netzwerk von 12 GPS-Stationen wurde deshalb eine spezielle Lösung mit zehn Einwochen-Messperioden berechnet, die sich über den Zeitraum 1994 - 2000 erstrecken. Die Lösung zeichnete sich durch eine besonders sorgfältige Auswertestrategie aus:

- Bahnen, Uhren- und Erdrotationsparameter der endgültigen IGS-Produkte übernommen;
- L1- und L2-Ambiguitäten durch die QIF-Strategie gelöst;
- Auflasteffekte der Ozeangezeiten mit dem Modell GOT99.2 berücksichtigt (bereitgestellt durch Scherneck);
- troposphärische Laufzeitfehler präzisiert mit dem Saastamoinen-Modell und Niell's Abbildungsfunktion, residuelle Laufzeitfehler alle zwei Stunden geschätzt;
- Messungen ab 10° Höhenwinkel ohne höhenabhängige Gewichtung berücksichtigt;
- tägliche Normalgleichungsanteile von allen Epochen mit dem Programm ADDNEQ aufsummiert.

Die Ergebnisse für fünf der Stationen, die in unmittelbarer Nachbarschaft zu Pegeln liegen, sind in Abbildung B3.1 im Vergleich mit anderen Lösungen dargestellt. Die DGFI-Lösung liegt jeweils innerhalb der anderen. Eine höhere Zuverlässigkeit ist aber trotz der homogenen Auswertung nicht nachweisbar. Der Analysezeitraum ist teilweise zu kurz, um verlässliche Vertikalgeschwindigkeiten abzuleiten. Die Analysen zeigen auch, wie sensitiv die Ergebnisse bezüglich der Festlegung des Referenzsystems sind.

Abb B3.1 Höhen und Vertikalgeschwindigkeiten ausgesuchter GPS-Stationen mit dem Trend der benachbarten Pegel.



Entwicklung des Meeresspiegels im Nord-Atlantik aus Altimetrie

Neben den GPS-Messungen und -Auswertungen zielt das EVAMARIA-Projekt auf die Untersuchung von Meeresspiegelanomalien durch Altimetrie und Pegelregistrierungen. Durch die Kombination von harmonischer Analyse und „Principal Component Analysis“ (PCA) konnte die räumliche und zeitliche Entwicklung des Meeresspiegels im Nord-Atlantik vollständig beschrieben werden. Anomale und regional unterschiedliche Entwicklungen wurden deutlich identifiziert (vgl. Vorjahresbericht). Hier werden nur die Ergebnisse der abschließenden Analyse der TOPEX/Poseidon-Daten für einen Zeitraum von acht Jahren wiedergegeben. Um die hochfrequente Variabilität zu eliminieren, wurde die Zeitreihe der Meereshöhenmodelle mit einem gleitenden 90-Tage-Mittel geglättet. Da im EVAMARIA-Projekt vor allem anomale Entwicklungen des Meeresspiegels identifiziert werden sollten, wurden saisonale Variationen mit jährlicher und halbjährlicher Periode abgezogen. Die dominanten Mode 1 und 2 des Restsignals sind in Abbildung B3.2 dargestellt. Die Ergebnisse deuten auf ein langperiodisches Schwingungsverhalten mit Perioden von sechs bis sieben Jahren hin.

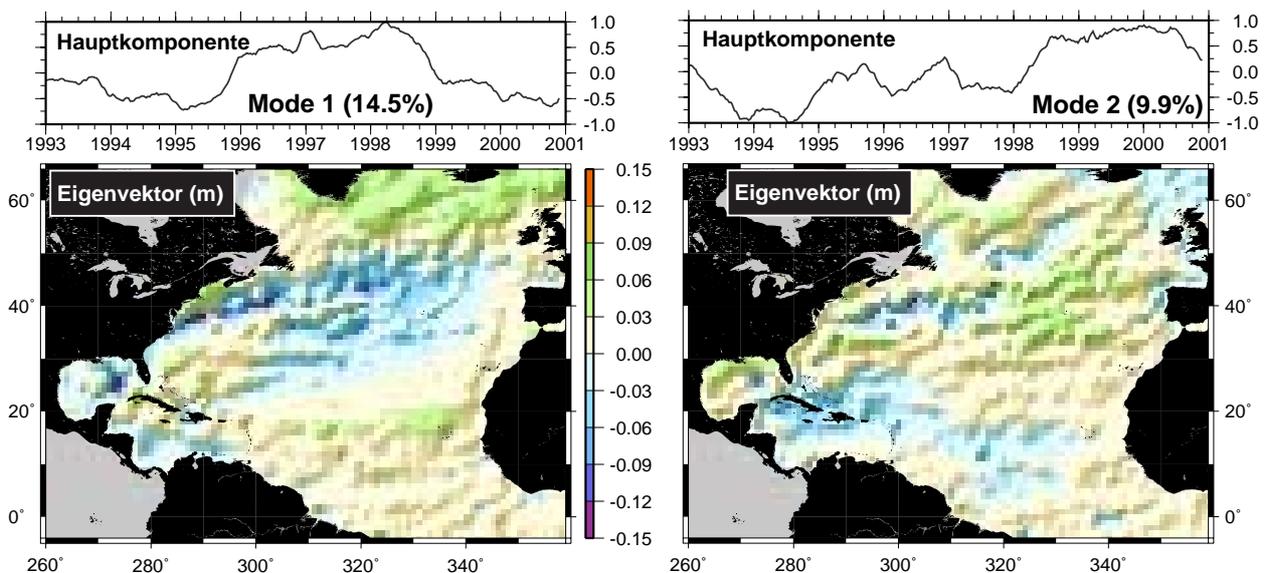


Abb. B3.2 Die beiden dominanten Mode der residuellen Meereshöhen im Nord-Atlantik erklären zusammen 24,4% der Gesamtvarianz. Saisonale Variationen wurden eliminiert, und die Zeitreihe der Meereshöhen wurde mit einem gleitenden 90-Tage-Mittel geglättet. Die Hauptkomponenten beider Mode (oben) indizieren langperiodische Oszillationen mit Perioden von sechs bis sieben Jahren. Die räumliche Struktur von Mode 1 (linkes unteres Teilbild) war z.B. von 1996 bis 1999 positiv, davor und danach negativ ausgebildet.

El Niño und La Niña: Meeresspiegelanomalien im Pazifik

Die Kombination einer harmonischen Analyse von saisonalen Vorgängen mit einer PCA-Analyse der residuellen Meeresspiegelschwankungen, die aperiodische Entwicklungen des Meeresspiegels aufzudecken vermag, hat sich im EVAMARIA-Projekt bewährt. Die Methode wurde deshalb auch im Pazifik angewendet. Auch dort bilden sich saisonale Meeresspiegelschwankungen in den ersten (hier nicht dargestellten) Moden der PCA-Analyse ab. Mode 7 identifiziert mit knapp 2% Anteil an der Gesamtvarianz wieder den Gezeitenfehler der Partialtide M_2 .

mit der Aliasperiode von 62.1 Tagen. Nach einer harmonischen Analyse mit Jahres- und Halbjahres-Periode sowie der Aliasperiode des M_2 -Gezeitenfehlers wurden diese Anteile aus den Meeresspiegelschwankungen reduziert und die PCA-Analyse mit dem residuellen Signal wiederholt. Nun bilden sich in den ersten beiden Moden vor allem die nicht-periodischen Entwicklungen des Meeresspiegels ab (vgl. Abbildungen B3.3 und B3.4).

Abb. B3.3 Mode 1 einer PCA-Analyse nicht-saisonalen Meeresspiegel-Schwankungen im Pazifik mit einem Anteil von 9,4% der Gesamtvarianz. Die Hauptkomponenten (oben) zeigen die zeitliche Ausbildung der räumlichen Struktur, die durch den Eigenvektor (unten, Einheit cm) dargestellt wird. Die bipolare Struktur mit einem erhöhten Meeresspiegel im Äquatorbereich des Ost-Pazifiks und einem abgesenkten Meeresspiegel im Westpazifik ist typisch für ein El Niño-Ereignis und ist hier besonders stark im Dezember 1997 ausgeprägt.

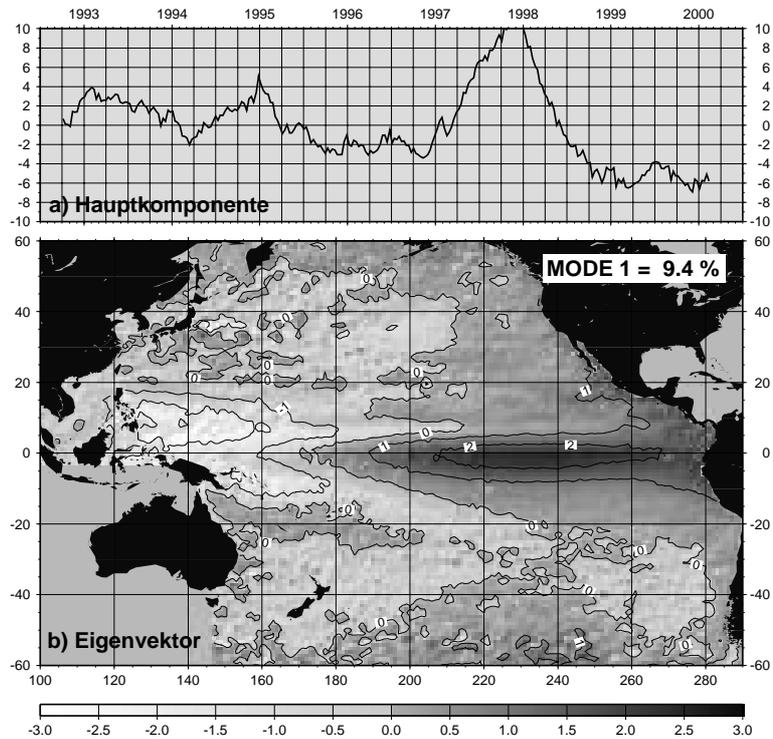
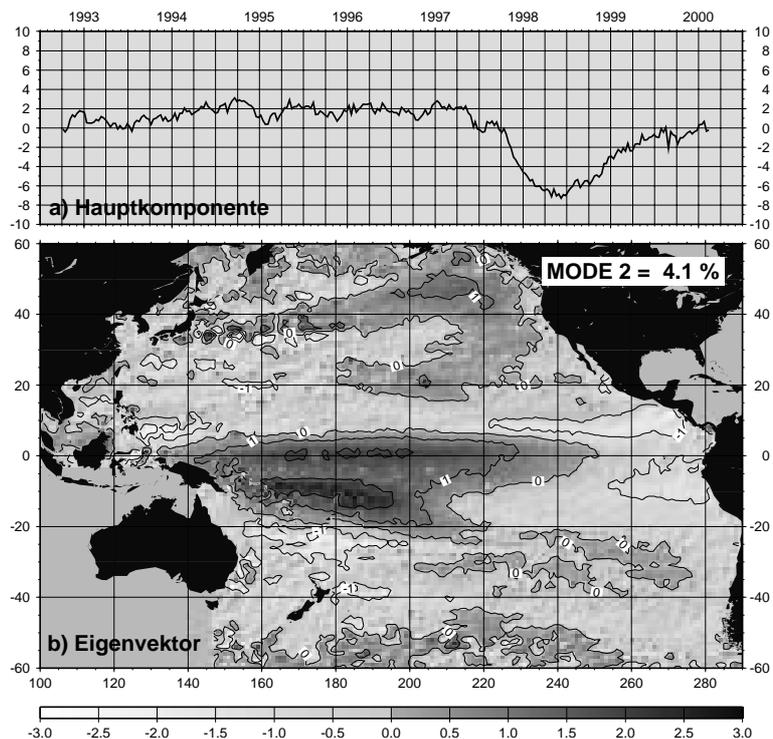


Abb. B3.4 Mode 2 der residuellen Meeresspiegel-Schwankungen im Pazifik mit 4,1 % Anteil an der Gesamtvarianz. Im Frühsommer 1998 (siehe Hauptkomponente, oben) erreicht die räumliche Struktur (unten, Einheit cm) ihre stärkste Ausprägung. Nach einem El Niño-Ereignis wird dieser Nachschwingeffekt als La Niña bezeichnet.



**Vergleich von Altimetrie und
Pegelregistrierungen an den
Küsten Südamerikas**

Der erfolgreiche Abschluss des EVAMARIA-Projekts legt es nahe, ähnliche Untersuchungen auch in anderen Gebieten durchzuführen. Da die hydrodynamische Entwicklung des Golfstroms ihren Ursprung im tropischen Atlantik und letztlich im Süd-Atlantik besitzt, ist eine Ausdehnung des Untersuchungsgebiets auf den gesamten Atlantik sinnvoll. Die gute Kooperation mit einigen südamerikanischen Ländern bietet dafür beste Voraussetzungen. In einem ersten Schritt wurden altimetrische Zeitreihen der Meeresspiegelschwankungen mit Pegelregistrierungen an der Küste Südamerikas verglichen. Die Ergebnisse sollen im Rahmen des SIRGAS-Projekts (siehe A5) helfen, Höhenbezugssysteme in Süd-Amerika zu vereinheitlichen. Der Vergleich einiger Pegel mit exponierter Küsten- oder gar Insellage kann aber auch für gemeinsame Kalibrationen von Altimetermissionen genutzt werden.

**Verfügbarkeit von
Pegelregistrierungen
mit täglicher und stündlicher
Datenrate**

Für den Vergleich altimetrischer Zeitreihen mit südamerikanischen Pegelregistrierungen wurden zunächst die Bestände der wichtigsten Datenarchive, PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) und UHSLC (University of Hawaii Sea Level Center), gesichtet. Dabei ergab sich folgende Situation: An der Westküste und der Südspitze Südamerikas stehen gute Registrierungen mit täglicher (meist auch stündlicher) Auflösung zur Verfügung, die mit geringer Zeitverzögerung im „WOCE fast delivery mode“ durch das UHSLC bereit gestellt werden. Vermutlich sind die El-Niño-Ereignisse an der Westküste Südamerikas der Grund für die Neuinstallation oder Wartung dieser Pegel. An der Nord- und Ostküste liegen dagegen fast gar keine Pegel mit täglicher oder stündlicher Datenrate vor. Das PSMSL gibt zwar etliche Pegel an, für die Monatsmittelwerte der Registrierungen zur Verfügung stehen, einige sind aber vor vielen Jahren eingestellt, andere erst seit einem oder zwei Jahren betrieben worden. Die Datenpolitik der hydrologischen Dienste, die häufig unter militärischer Obhut stehen, verbietet zudem die freie Verfügbarkeit stündlicher Registrierungen. Schließlich liegen an einigen Pegeln durchaus gute Registrierungen über einen ausreichend langen Zeitraum in analoger Form vor, die allerdings zunächst digitalisiert werden müssen. Die enge Kooperation mit einigen Staaten Südamerikas lässt erwarten, dass auch für wichtige Pegel an der Nord- und Ostküste stündliche Registrierungen bereit gestellt werden können.

Vorläufige Ergebnisse

Ein vorläufiger Vergleich der bisher verfügbaren Pegelregistrierungen (an der Westküste vor allem Tagesmittelwerte des UHSLC, an der Ostküste Monatsmittelwerte des PSMSL) mit altimetrischen Zeitreihen des Meeresspiegels (deren Bestimmung in Projekt B5 erläutert wird) führt zu folgenden Ergebnissen (vgl. Tabelle B3.2): Für die Pegel an der Westküste stimmen die Registrierungen mit Korrelationskoeffizienten bis zu 0.86 recht gut mit den altimetrischen Zeitreihen überein. An der Ostküste treten dagegen keine deutlichen Korrelationen auf. Insbesondere die Vergleiche an der argentinischen Küste schlagen fehl, weil

hier durch den sehr ausgedehnten Kontinental-Schelf starke Meereszeiten auftreten, die offensichtlich in der Altimetrie nur unzureichend korrigiert werden konnten. Die Analysen des Vorjahres hatten bereits deutlich auf Fehler der Korrektur der Partialtide M_2 des CSR3.0-Modells hingewiesen. Es ist außerdem festzustellen, dass die Trendanalysen für Pegel und Altimetrie zum Teil so erheblich voneinander abweichen, dass die Differenzen kaum mit tektonischen Vertikalgeschwindigkeiten der Pegelstation erklärt werden können. Das größte Hindernis für einen absoluten Vergleich der Pegelregistrierungen, die durch GPS höhenmäßig bestimmt sind, und der auf das Geozentrum bezogenen altimetrischen Meeresspiegelschwankungen bleibt jedoch die Unkenntnis der Höhenunterschiede zwischen GPS-Bezugspunkt und Pegel-Nullpunkt.

Tab. B3.2 Ergebnisse eines vorläufigen Vergleichs von altimetrischen Zeitreihen und den Registrierungen südamerikanischer Pegelstationen. Bei der Datenrate werden unterschieden D = tägliche Mittelwerte und M = Monatsmittel. Die letzte Spalte gibt die rms-Werte der Differenzen, die vorletzte die Korrelation beider Zeiteihen an.

Pegel	Zeitraum [Jahr]	Datenrate	Beob.-Zahl	Trend Pegel [mm/Jahr]	Trend Altimetrie [mm/Jahr]	Korrelation ρ	RMS(Diff.) [m]
Cartagena-B	93.3 - 00.2	D	1958	7.0 ± 0.7	-1.0 ± 1.2	0.54	± 0.06
Balboa	92.0 - 98.0	D	2186	18.7 ± 1.5	-2.7 ± 1.7	0.40	± 0.13
Cristobal	92.0 - 98.0	D	1925	5.5 ± 0.7	-6.7 ± 1.2	0.22	± 0.10
Buenaventura	92.0 - 00.2	D	2889	3.4 ± 0.8	-2.6 ± 2.4	0.80	± 0.07
Tumaco	92.1 - 00.2	D	2604	-0.6 ± 1.0	0.3 ± 1.5	0.80	± 0.07
Santa Cruz	92.0 - 00.0	D	2907	0.8 ± 0.9	1.5 ± 0.1	0.86	± 0.06
Baltra-B	92.0 - 00.0	D	2842	-4.7 ± 0.9	-0.2 ± 2.7	0.84	± 0.07
La Libertad	92.0 - 00.7	D	3100	-5.8 ± 0.8	2.3 ± 0.1	0.75	± 0.08
Lobos de Afuera	92.0 - 99.7	D	2789	3.4 ± 0.9	1.0 ± 1.9	0.80	± 0.07
Callao-B	92.0 - 97.0	D	1821	-14.2 ± 1.0	-3.1 ± 1.9	0.49	± 0.05
Arica	92.0 - 99.0	D	2555	13.7 ± 0.9	1.4 ± 1.9	0.65	± 0.07
Antofagasta	92.0 - 00.0	D	2632	-15.7 ± 0.7	-0.4 ± 1.4	0.58	± 0.07
San Felix	92.0 - 98.0	D	1101	16.0 ± 0.9	1.9 ± 0.8	0.30	± 0.06
Caldera	92.0 - 99.0	D	2546	4.8 ± 0.6	1.8 ± 1.0	0.55	± 0.05
Valparaiso	92.0 - 00.0	D	2918	3.2 ± 0.6	2.2 ± 1.1	0.54	± 0.06
Puerto Montt	92.0 - 98.0	M	72	25.3 ± 6.1	-8.3 ± 1.4	0.44	± 0.09
Juan Fernandez-C	92.0 - 99.0	D	2418	-0.8 ± 0.8	2.9 ± 2.3	0.41	± 0.09
Ushuaia	96.0 - 00.0	D	1163	-9.8 ± 4.9	0.1 ± 3.7	0.49	± 0.22
Puerto Williams	92.1 - 99.0	D	2266	8.1 ± 1.8	-5.1 ± 3.7	0.42	± 0.21
Port Stanley	92.8 - 96.8	D	1463	9.9 ± 2.4	-4.4 ± 2.1	0.54	± 0.10
Puerto Deseado	92.3 - 96.0	M	28	-4.7 ± 10.4	-9.4 ± 5.3	-0.05	± 0.30
Puerto Madryn	92.2 - 98.0	M	61	-10.6 ± 7.4	-16.8 ± 11.8	0.07	± 0.70
Mar del Plata	92.0 - 98.0	M	69	-6.2 ± 4.9	1.8 ± 4.6	0.03	± 0.17
Palermo	92.0 - 98.0	M	72	-11.4 ± 7.6	-17.1 ± 6.9	0.05	± 0.38
Montevideo	92.1 - 95.9	M	38	0.7 ± 14.5	-12.4 ± 6.1	-0.02	± 0.38
Cananea	92.0 - 93.4	D	731	14.1 ± 11.7	-4.9 ± 4.1	0.16	± 0.22
Termisa	93.5 - 95.3	D	652	-102.5 ± 2.7	5.3 ± 1.5	0.23	± 0.05
Fortaleza	95.9 - 98.2	D	856	-5.3 ± 1.6	1.5 ± 1.1	0.03	± 0.05
Cayenne	92.9 - 96.8	M	42	-2.5 ± 6.3	1.8 ± 1.6	0.56	± 0.05
Carupano	92.0 - 99.0	M	83	-52.4 ± 4.4	0.4 ± 2.2	0.49	± 0.09
La Guaira	92.0 - 98.6	M	80	-10.3 ± 4.4	-0.4 ± 1.3	0.84	± 0.04
Amuay	92.1 - 98.2	M	67	-60.0 ± 7.5	0.2 ± 2.9	0.63	± 0.09
Punta de Piedras	92.0 - 98.0	M	72	-1.1 ± 4.8	0.8 ± 1.4	0.79	± 0.05
Cumana	92.0 - 97.0	M	60	-9.6 ± 6.9	0.2 ± 1.3	0.51	± 0.08
Maracaibo	92.0 - 94.1	M	11	24.1 ± 24.3	-0.2 ± 1.1	0.49	± 0.62

B4: Modellierung und Analyse der Meerestopographie

Das Geoid als global einheitliche Höhenbezugsfläche ist nach der klassischen Definition als diejenige Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes erklärt, die sich durch eine Meeresoberfläche ausbilden würde, die nur der Schwerkraft unterliegt. Druckgradienten, Unterschiede des Salzgehalts und Winddruck erzeugen jedoch Strömungen, die zusätzlich durch Reibung und Corioliskräfte beeinflusst werden. Es bildet sich eine Meeresoberfläche aus, die auch im langperiodischen Mittel keineswegs mit einer Äquipotentialfläche zusammenfällt. Die Differenz zwischen dem Meeresspiegel und dem Geoid wird als Meerestopographie bezeichnet. Sie ist eng mit der Definition des Geoids verknüpft, läßt aber auch Rückschlüsse auf die Oberflächenströmungen zu. Es wurden Untersuchungen zur Modellierung der Meerestopographie und zu einer Fehlerabschätzung angestellt.

ozeanographische Ansätze

Die numerische Integration der hydrodynamischen Bewegungsgleichungen wird mit zum Teil sehr komplexen Modelleigenschaften durchgeführt, um unter anderem auch Ausbildung und Entwicklung des Wasserstandes zu berechnen. Das Parallel Ocean and Climate Model, POCM, ist eine der aufwändigsten Berechnungen dieser Art. Die Modelle liefern jedoch keine Fehlerabschätzung. Sie haben auch keinen absoluten Bezug zu einer Äquipotentialfläche.

Im einfachsten Fall degenerieren die Bewegungsgleichungen zur hydrostatischen Differentialgleichung, die einen Gleichgewichtszustand zwischen Schwerkraft und hydrostatischem Druck postuliert. Dieser kann genutzt werden, um mit Vertikalprofilen von Salzgehalt und Temperatur Differenzen des Wasserstandes zwischen zwei Orten zu berechnen. Levitus (1994) hat entsprechende Daten gesammelt und aufbereitet. Die so abgeleiteten „dynamischen Höhen“ sind jedoch nur relativ. Die damit gebildete „dynamische Topographie“ beschreibt zudem nur den Teil der Meerestopographie, der sich durch Dichteänderungen, d.h. Volumenänderungen, ausbildet.

geodätische Ansätze

Der alternative Ansatz, die Meerestopographie aus Altimetrie und Schwerefeld abzuleiten, wird in der Geodäsie verfolgt. Bei der Schwerefeldmodellierung werden z.B. Altimeterdaten einbezogen, um gleichzeitig mit den Schwerefeldkoeffizienten auch Kugelfunktionsmodelle der Meerestopographie zu schätzen. Wegen der Schwerefeldfehler können diese Modelle nur bis Grad und Ordnung 20 entwickelt werden. Kugelfunktionen sind jedoch keine geeigneten Basisfunktionen für die Meerestopographie, da sie aufgrund ihres globalen Characters auch auf Landflächen Werte liefern.

Schließlich kann die Meerestopographie lokal durch Abzug eines hoch auflösenden Geoids von den ellipsoidischen Meereshöhen geschätzt werden. Dieser prinzipiell sehr einfache Weg bedarf jedoch einiger Korrekturen und Transformationen:

1. Entlang der Bahnspur liegen Altimetermessungen mit Ein-Sekunden-Abstand (d.h. etwa alle 7 km) vor. Um daraus

Korrekturen und Transformationen

ellipsoidische Meereshöhen abzuleiten, die mit der spektralen Auflösung des Geoids konsistent sind, muss ein Mittel entlang der Bahnspur gebildet werden.

2. Die permanente Gezeitendeformation ist in den Schwerefeldmodellen nicht enthalten, wird in der Altimetrie jedoch nicht korrigiert. Es ist ein „mittleres“ Geoid zu berechnen, d.h. das Geoid muss um den permanenten Gezeiteneinfluß deformiert werden, um es der altimetrischen Meeresoberfläche anzupassen.
3. Die geozentrischen Bezugssysteme, die bei der Bahnbestimmung für die Altimetrie und in der Schwerefeldmodellierung unterschiedlich realisiert werden, müssen ineinander überführt werden, um die systematischen Differenzen nicht in die Meerestopographie zu projizieren.
4. Bei der Geoidberechnung muss folgendes beachtet werden:
 - Die harmonischen Koeffizienten C_{20} , C_{21} , S_{21} sind zeitabhängig und erfordern eine Epochenkorrektur.
 - Die Konstanten GM und A der Kugelfunktionsentwicklung sind in der Regel nicht identisch mit GM' und A' , die mit J_2 (oder I/f) und ω_{Earth} das Normalpotential festlegen. Die harmonischen Koeffizienten des Störpotentials sind deshalb unter der Bedingung, dass sich das Potential im Außenraum nicht ändert, umzuskalieren.
 - Bruns' Formel erfordert die Auswertung des Störpotentials auf dem Geoid, dessen Undulation aber erst durch die Formel von Bruns berechnet wird. Hier ist also ein iteratives Vorgehen erforderlich.

Abbildung B4.1 zeigt das Ergebnis einer Schätzung der Meerestopographie. Die Meereshöhen wurden für den Zeitraum Oktober 1992 bis Februar 2000 gemittelt und das „mittlere“ Geoid aus dem hoch auflösenden Schwerefeld EGM96 berechnet.

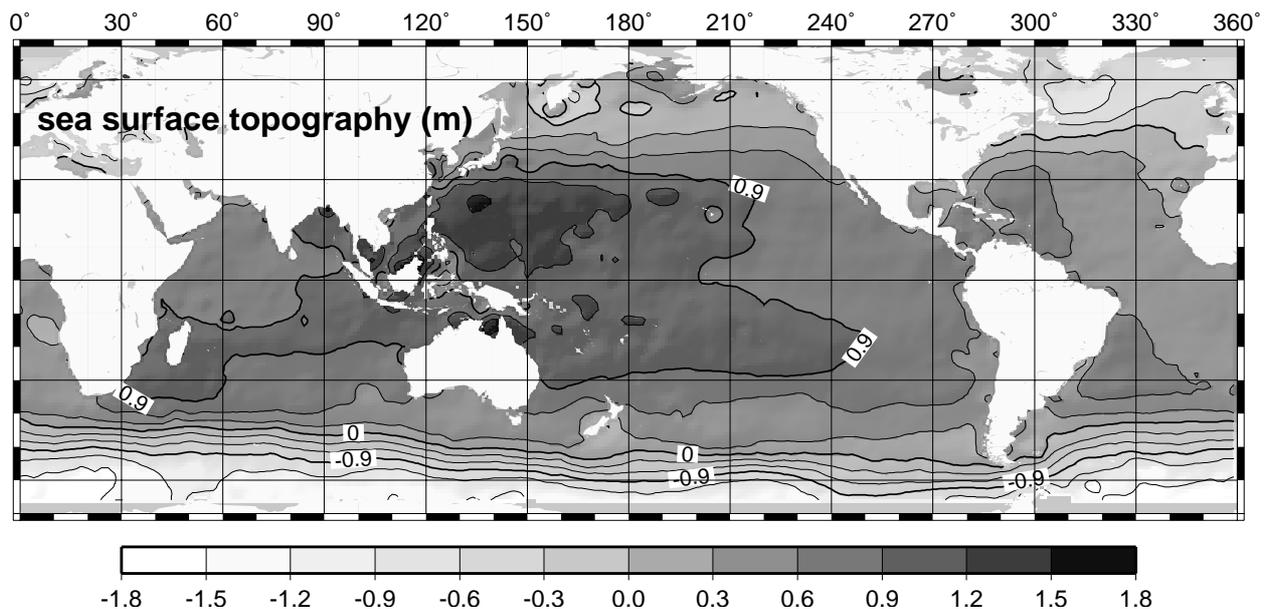


Abb. B4.1 Mittlere Meerestopographie (m), gebildet als Differenz zwischen den über siebeneinhalb Jahren (Okt. 1992 - Febr. 2000) gemittelten Meereshöhen und einem „mittleren“ Geoid, berechnet aus dem Schwerefeldmodell EGM96.

Fehlerbilanz der Meerestopographie

Eine Fehlerabschätzung für die in Abbildung B4.1 dargestellte Meerestopographie sieht wie folgt aus: Aus Kreuzungspunkt-Differenzen ergibt sich für die Meereshöhen ein rms von $\pm 6-7$ cm, der sich durch die Mittelbildung entlang der Bahnspur auf ca. $\pm 2-3$ cm reduziert. Der akkumulative Fehler der Geoid- undulationen wird für das Schwerefeld EGM96 dagegen mit ± 41 cm angegeben. Die damit noch dominanten Geoidfehler werden sich durch die Ergebnisse der dedizierten Schwerefeldmissionen CHAMP, GRACE und GOCE erheblich reduzieren. Trotz der ungünstigen Fehlerbilanz bilden sich in der Meerestopographie die aus der klassischen Ozeanographie bekannten großräumigen subtropischen Wirbel in den westlichen Ozeanbecken sowie der Antarktische Zirkumpolarstrom deutlich aus.

Korrektur von Geoid und Meerestopographie

Die von den ellipsoidischen Meereshöhen abgezogenen Geoid- undulationen wurden mit bestimmten Parametern eines Normalpotentials und unter der Annahme $U_0 = W_0$ berechnet, d.h. dass der Potentialwert des Geoids mit dem des Referenzellipsoids identisch ist. Die Parameter des Normalpotentials sind aber frei wählbar, und der Potentialwert U_0 stimmt nicht notwendigerweise mit dem Potentialwert der Äquipotentialfläche überein, die sich dem Meeresspiegel bestmöglich anpasst. Abbildung B4.2 zeigt die zonalen Mittelwerte der hier berechneten (vorläufigen) Meerestopographie. Bildet man das mit dem Kosinus der Breite gewichtete globale Mittel H , so ergibt sich $H = +37$ cm. Die endgültigen Geoidundulationen sind also mit einer Konstanten W_0 zu berechnen, die geringfügig von dem Wert U_0 des Normalpotentials abweicht. In erster Näherung kann mit der Normalschwere γ

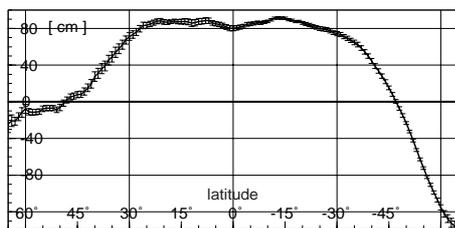


Abb B4.2 Zonale Mittelwerte der Meerestopographie mit Fehlerbalken, die die Variation innerhalb der Breitenkreise andeuten.

$$W_0 = U_0 - H \cdot \gamma$$

gesetzt werden. Die endgültigen Geoidundulationen berechnen sich dann mit der verallgemeinerten Formel von Bruns

$$N = T_q / \gamma_q - (W_0 - U_0) / \gamma_q$$

sodass die Meerestopographie im Mittel verschwindet.

Die hier angedeutete Vorgehensweise ist zwar grundsätzlich richtig, leidet jedoch unter dem Mangel, dass die Satellitenaltimetrie bisher keine globale Ausmessung der Weltmeere ermöglicht. TOPEX/Poseidon besitzt nur eine Breitenüberdeckung von $\pm 66^\circ$ und lässt große Teile der südlichen Ozeane unbeobachtet. Andere Missionen bieten zwar eine bessere Überdeckung, besitzen jedoch nicht die Langzeitstabilität, um eine repräsentative mittlere Meeresoberfläche zu bilden. Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die Meeresoberfläche keineswegs stationär ist.

B5 Altimetrie im Küstenbereich

Durch Definition der Höhe eines Langzeit-Mittelwertes ausgesuchter Pegelregistrierungen wird das Datum nationaler Höhensysteme festgelegt. Der mittlere Meeresspiegel fällt jedoch keineswegs mit einer global einheitlichen Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes zusammen. Außerdem verändert sich der Meeresspiegel mit der Zeit. Schließlich können vertikale tektonische Bewegungen der Pegelstation scheinbare Meeresspiegeländerungen vortäuschen. Die Altimetrie könnte — bei ausreichender Langzeit-Stabilität — eine unabhängige Kontrolle absoluter, d.h. auf das Geozentrum bezogener, Meeresspiegeländerungen liefern.

Probleme der Altimetrie im küstennahen Bereich

Die Nutzung der Altimetrie im küstennahen Bereich ist jedoch problematisch weil

- die Messungen verfälscht werden, sobald bzw. solange der Meßbereich („footprint“) schon bzw. noch Landflächen enthält, die andere Rückstrahleigenschaften besitzen,
- die Meereszeiten insbesondere im Küstenbereich nur unzureichend bekannt sind und
- sich die meteorologischen Verhältnisse an der Küste stark ändern, so dass die atmosphärischen Laufzeitkorrekturen unsicher sind.

Es ist deshalb erforderlich, im küstennahen Bereich die hochfrequenten Altimeterdaten (mit einer Datenrate von 10 bzw. 20Hz) zu analysieren, um Störungen durch Landflächen zu erkennen und verbesserte Modelle der Meereszeiten zu nutzen oder zu bestimmen.

Vergleich von Pegelregistrierungen und Altimetermessungen

Die Extrapolation von Altimetermessungen vom offenen Ozean zu Pegelstationen an der Küste oder auf Inseln erfüllt dabei mehrere Funktionen. Sie ermöglicht den relativen Vergleich altimetrischer Zeitreihen des Meeresspiegels mit den Pegelregistrierungen. Der Trend beider Zeitreihen sollte sich nur um die — durch permanente GPS-Messungen bestimmbare — vertikale tektonische Bewegung des Pegels unterscheiden. Bei einer geozentrischen Verankerung des Pegels durch GPS kann sie auch genutzt werden, um nationale Höhensysteme miteinander zu vergleichen.

Das Extrapolationsverfahren

Das Extrapolationsverfahren, d.h. die Bestimmung einer altimetrischen Zeitreihe der Meeresspiegel-Schwankungen am Pegel, erfolgt in drei Schritten:

1. Die ellipsoidischen Koordinaten der Messpunkte werden in ein kartesisches Koordinatensystem transformiert, dessen Nullpunkt im Pegel liegt. Die Meereshöhen werden um die Höhen einer geeigneten Näherungsfläche (z.B. ein Geoid) reduziert.
2. Ein lokales Flächenmodell niedrigen Grades wird an die residuellen Meereshöhen durch Ausgleichung angepasst, wobei Neigungen und Krümmungen aus allen Messungen und das Absolutglied individuell für jede Altimeter-Passage bestimmt werden.

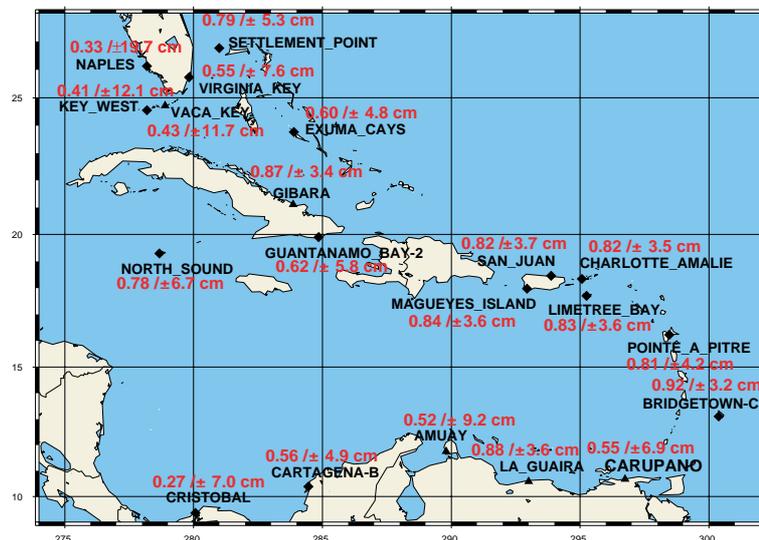
3. Die für jede Passage geschätzten Absolutglieder des lokalen Flächenmodells bilden eine Zeitreihe, die direkt mit den Pegelregistrierungen verglichen werden kann.

Durch die Einführung des Flächenmodells können die Passagen verschiedener Altimetermissionen gemeinsam genutzt und die altimetrische Zeitreihe verdichtet werden.

Erprobung

Das Verfahren wurde an zahlreichen Pegeln mit TOPEX/-Poseidon- und ERS-2-Daten erprobt und die altimetrische Zeitreihen mit monatlichen und täglichen Mittelwerten der Pegelregistrierungen verglichen. Die Differenzen zwischen der altimetrischen Zeitreihe und den Pegelregistrierungen weisen bei günstigen Verhältnissen (Pegel auf einer Insel oder an der Küste mit Altimeter-Bahnspuren in unmittelbarer Nähe) einen rms von 5-7 cm auf. Die Zeitreihen sind in diesen Fällen hoch korreliert ($\rho > 0.8$). Abbildung B5.1 zeigt Ergebnisse für einige Pegel in der Karibik und nördlich von Kuba. Weitere Vergleiche wurden im Nordatlantik und an den Küsten Südamerikas durchgeführt.

Abb. B5.1 Vergleich von altimetrischen Zeitreihen und Pegelregistrierungen in der Karibik. Zu jedem Pegel sind die Korrelationskoeffizienten und die rms-Werte der Differenzen beider Zeitreihen angegeben.



Modellverbesserungen und Vergleich mit stündlichen Pegelregistrierungen

Verbesserungen des Extrapolationsverfahrens sind in Arbeit: Eine Analyse der Residuen legt z.B. nahe, die Neigungen der residuellen Meereshöhen mit einer saisonalen Variation zu modellieren. Eine Kreuzungspunktanalyse kann vorab das Höhenniveau einer Altimeter-Passage verbessern. Vorteilhaft ist es schließlich, wenn auf die — in Küstennähe zweifelhafte — altimetrische Korrektur der Meereszeiten verzichtet wird und die momentanen Meereshöhen direkt mit stündlichen Pegelregistrierungen verglichen werden. Pegel mit stündlicher Datenrate ermöglichen eine genaue Analyse der Meereszeiten am Pegel, die evtl. die zweifelhafte Altimeterkorrektur ersetzen kann. In zunehmendem Umfang stellen z.B. das University of Hawaii Sea Level Center, UHSLC, aktuelle Registrierungen mit stündlicher Datenrate im Internet zur Verfügung. Für zahlreiche Pegel wurden bereits die stündlichen Registrierungen gesammelt.

C: Dynamische Prozesse

Geodätische Raumverfahren erreichen heute Beobachtungsgenauigkeiten, die es gestatten, zeitliche Variationen der geometrischen Gestalt der Erde, ihres Schwerefeldes und ihrer Rotation in einer großen Bandbreite zu erfassen. Eine adäquate und konsistente dynamische Modellierung der ursächlichen physikalischen Vorgänge und ihrer Auswirkung auf geodätisch beobachtbare Größen ist deshalb von grundlegender Bedeutung für die geodätischen Bezugssysteme und die Kombination der verschiedenen Raumverfahren. Die derzeitigen Arbeiten am DGFI lassen sich in folgende Bereiche gliedern: Modellierung der Einflüsse von Massenverlagerungen im Erdinnern und im Außenraum der Erde auf die Rotation und das Schwerefeld der Erde sowie Anwendung und Weiterentwicklung von Methoden wie der Wavelet-Transformation zur Analyse von Beobachtungs- und Modellzeitreihen dynamischer Prozesse.

C1 Einfluß von Massenverlagerungen auf Rotation und Schwerefeld der Erde

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Projektes wird die Variation des Erdrotationsvektors, die primär aus Massenverlagerungen in Atmosphäre und Ozean folgt, in Betrag und Richtung modellhaft beschrieben. Hierzu wird die Erde als Kreisel angesetzt, der durch zeitlich hochauflösende Modelle für die Bewegung der Luftmassen in der Atmosphäre und für die ozeanischen Strömungen und Gezeiten angetrieben wird (Primäreffekte). Zusätzliche Effekte aufgrund von Gezeiten der festen Erde und Sekundäreffekte wie Schwankungen des Grundwasserspiegels und Auflastdeformationen werden berücksichtigt. Die verfeinerte Modellierung des Trägheitstensors der Erde (triaxiales Trägheitsellipsoid) sowie seiner zeitlichen Änderung (Rückkopplung der Polbewegung über die Rotationsdeformation) erfordert die numerische Integration der nichtlinearen liouvilleschen Differentialgleichung. Die aus dem Modell abgeleitete Variation des Erdrotationsvektors wird mit unabhängigen, geodätisch ermittelten Werten der Reihe C04 des Internationalen Erdrotationsdienstes (IERS) verglichen.

Modellierung der Erdrotation

Die Drehimpulsbilanz eines deformierbaren Körpers wird in einem mit dem Körper verbundenen, mit dem Rotationsvektor $\boldsymbol{\omega}$ rotierenden Bezugssystem durch die liouvillesche Differentialgleichung beschrieben. Danach besteht zwischen einem von außen auf den Körper wirkenden Drehmoment \mathbf{L} und der Änderung seines Drehimpulses \mathbf{H} der Zusammenhang

$$\frac{d}{dt}\mathbf{H} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \mathbf{L}. \quad (1)$$

Die Bewegung der Massenelemente des deformierbaren Körpers und damit auch sein Drehimpuls \mathbf{H} relativ zu einem Inertialsystem setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: Aus der Rotation des mit dem Körper verbundenen Bezugssystems resultiert der Drehimpuls $\mathbf{I} \cdot \boldsymbol{\omega}$ (\mathbf{I} ist der Trägheitstensor des Körpers), und die Bewegung der Massenelemente relativ zu diesem System erzeugt einen zusätzlichen Drehimpuls \mathbf{h} (relativer Drehimpuls). Damit lautet die liouvillesche Differentialgleichung

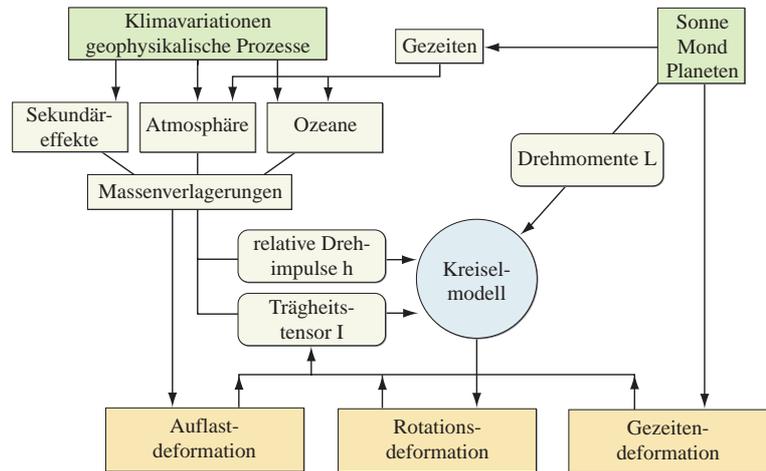
$$\frac{d}{dt}(\mathbf{I} \cdot \boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}) + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{I} \cdot \boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}) = \mathbf{L}. \quad (2)$$

Alle in Gleichung (2) vorkommenden Größen sind zeitlich variabel.

Kreiselmodell im Drehimpulsansatz

Beim Drehimpulsansatz werden die einzelnen Drehimpulse aufgrund der Massenbewegungen der festen Erde, der Atmosphäre und des Ozeans relativ zu einem mit der festen Erde verbundenen (terrestrischen) Bezugssystem modelliert. Jede Massenverlagerung in einem dieser drei Bereiche, beispielsweise in der festen Erde deren Gezeiten und Auflastdeformation, ändert den Trägheitstensor I . Daneben tragen die Bewegungen vor allem der Atmosphären- und der Ozeanmassen in bezug auf das terrestrische System zum relativen Drehimpuls h bei. Die Variationen des Trägheitstensors und die relativen Drehimpulse für die Primär- und Sekundäreffekte erhält man aus Modellannahmen und Messergebnissen. Das Drehmoment auf der rechten Seite der Differentialgleichung (2) entsteht durch die Gravitation von Sonne und Mond. Die durch den Drehimpulsansatz bilanzierten Drehimpulse der einzelnen Systemkomponenten werden als unabhängig angenommen, so dass die Einflüsse der Komponenten additiv überlagert werden können. Einen Überblick über die verschiedenen Einflüsse und Wechselwirkungen gibt die Abbildung C1.1.

Abb. C1.1 Strukturdiagramm des verwendeten Kreiselmodells mit den wesentlichen Einflussgrößen und Wechselwirkungen.



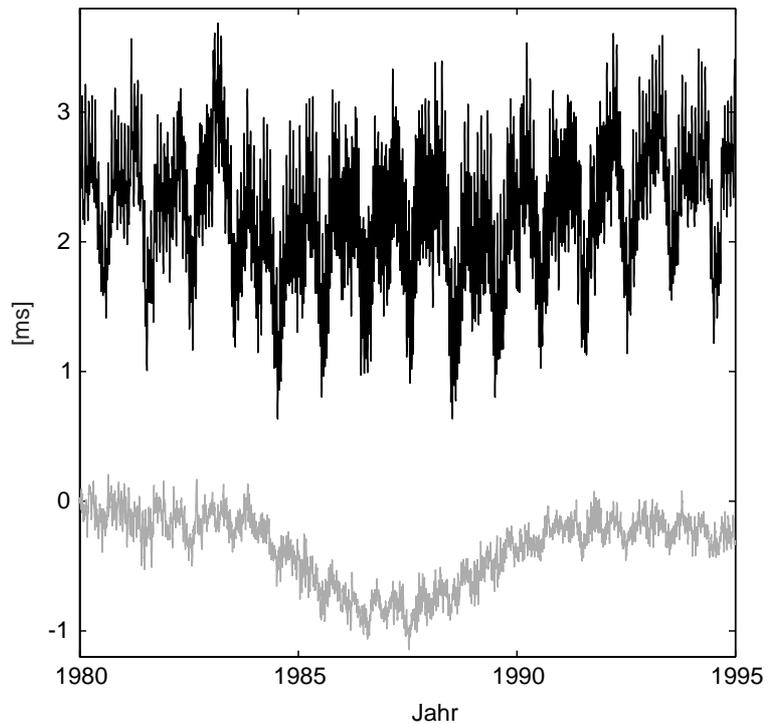
Numerische Lösung

Das durch Gleichung (2) beschriebene gekoppelte Differentialgleichungssystem erster Ordnung kann als Anfangswertproblem numerisch gelöst werden. Um die Verlässlichkeit der Lösung aus algorithmischer Sicht abschätzen zu können, wurden verschiedene aus der Literatur bekannte Lösungsverfahren angewandt und miteinander verglichen: zwei Runge-Kutta-Verfahren (2./3. Ordnung sowie 4./5. Ordnung) mit adaptiver Steuerung der Schrittweite als Vertreter der Ein-Schritt-Verfahren, das Adams-Bashforth Moulton-Verfahren als Mehrschrittverfahren sowie die Extrapolationsmethode nach Bulirsch und Stoer. Unter numerischen Gesichtspunkten liefern alle Verfahren identische Lösungen. Hinsichtlich ihrer Laufzeit erweisen sich das Runge-Kutta-Verfahren 4./5. Ordnung und das Extrapolationsverfahren als einander gleichwertig und den beiden anderen Verfahren deutlich überlegen.

Vergleich des Modells mit Beobachtungen

Um die aus dem Modell abgeleiteten Zeitreihen für die Komponenten des Rotationsvektors auf ihre Plausibilität zu prüfen, kann man sie mit den aus geodätischen Beobachtungen gewonnenen Daten der Reihe C04 des IERS vergleichen. Die Abbildung C1.2 zeigt beispielhaft erste Ergebnisse für die Variation der Tageslänge (ΔLOD) zwischen 1980 und 1995 infolge der atmosphärischen Anregung unter Verwendung von Reanalysedaten des National Centers of Environmental Prediction (NCEP) und der ozeanischen Anregung durch das kombinierte Ozeanströmungs- und gezeitenmodell OMCT des Instituts für Meereskunde der Universität Hamburg. Außerdem ist die Deformation der festen Erde aufgrund des gezeitenerzeugenden Potentials von Sonne und Mond gemäß den IERS-Konventionen von 1996 berücksichtigt. Die Analyse ergibt eine gute Übereinstimmung für Periodenlängen unterhalb eines Jahres. Jedoch treten Diskrepanzen im dekadischen bis säkularen Bereich auf, die möglicherweise auf die bislang nicht modellierte Bewegung des Erdkerns relativ zum Mantel zurückzuführen sind.

Abb. C1.2 Variation der Tageslänge, dunkelgrau: mit dem Kreiselmodell berechnete Werte, hellgrau: Differenz zwischen Modellrechnung und den Daten aus der Reihe C04 des IERS. Das Restsignal im dekadischen Periodenbereich ist deutlich zu erkennen.



C2 Entwicklung neuer Analysemethoden für Beobachtungsreihen dynamischer Prozesse

In den letzten Jahren wurde am DGFI ein umfangreiches Programmpaket für die Wavelet-Analyse einer Zeitreihe und den Vergleich mehrerer Zeitreihen mit Hilfe der Morlet-Wavelet-Funktion entwickelt. Im Berichtszeitraum wurde dieses Programmsystem um die Berechnung statistischer Größen ergänzt. Als Wavelet-Skalogramm bezeichnet man üblicherweise das Quadrat der Wavelet-Transformation. Fasst man nun die diskreten Werte einer als stationär und daher als gleichgenau vorausgesetzten Zeitreihe in einem Zufallsvektor zusammen und nimmt diesen Beobachtungsvektor als normal verteilt an, erhält man das Wavelet-Skalogramm als χ^2 -verteilte Zufallsgröße, für die sich dann ein Signifikanztest formulieren lässt. Die Einbringung verschiedener Varianzen für die diskreten Werte der Zeitreihe ist deshalb von großer Bedeutung, weil auf Grund der steigenden Messgenauigkeit vieler geodätischer Messsysteme jüngere Beobachtungen in der Regel eine viel höhere Genauigkeit aufweisen als zeitlich weiter zurückliegende Messungen. In manchen Fällen ist es außerdem notwendig, die Kovarianzmatrix des Beobachtungsvektors nicht nur als Diagonalmatrix, sondern als vollbesetzte Matrix einzuführen. Abbildung C2.1b zeigt den kurzperiodischen Teil des Morlet-Skalogramms der LOD-Zeitreihe aus den Jahren 1980 bis 1998, wobei die in Abbildung C2.1a dargestellten 6939 diskreten Werte als gleich genau angenommen wurden. Die Skalogrammwerte wurden weiterhin einem Signifikanztest unterzogen, wobei von einer a priori Standardabweichung von 0,03 msec für die einzelnen Beobachtungen ausgegangen wurde. Nur die dominanten Strukturen bleiben erhalten; siehe Abb. C2.1c. Im vorliegenden Fall sind von den ursprünglich rund 17000 berechneten Koeffizienten bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 5% nur ca. 1700 signifikant, sodass die Kompressionsrate 10:1 beträgt.

Chandler-Bewegung

Um beispielsweise die Chandler-Bewegung aus den Daten der Polbewegung mit Hilfe der Wavelet-Theorie zu extrahieren, wird die inverse Wavelet-Transformation benötigt, bei der es sich zunächst um eine Doppelintegration über die Definitionsbereiche des Skalierungsparameters a und des Verschiebungsparameters b handelt. Aus einer zweidimensionalen Funktion wird demnach eine eindimensionale Funktion berechnet. Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass für die Signalrekonstruktion nicht alle Werte der Wavelet-Transformation aus ihrem Definitionsbereich benötigt werden. Infolgedessen wurde ein Inversionsprogramm erstellt, das auf der Anwendung der undezimierten Wavelet-Transformation basiert. Werden aus dem durch den Verschiebungs- und den Skalierungsparameter aufgespannten Phasenraum nur bestimmte Bereiche für die inverse Transformation herangezogen, liegt eine Filterung vor. Insbesondere spricht man von einer stationären Filterung, wenn nur die Wavelet-Koeffizienten berücksichtigt werden, die in vorgegebenen konstanten Skalenbändern liegen. In Abbildung C2.2d ist der prograde Teil des Morlet-Skalogramms der Polbewegung aus Abbildung C2.2a dargestellt, das deutlich die Jahresschwingung und die Chandler-Bewegung zeigt. Ab-

bildung C2.2b stellt die Konstruktion der Chandler-Bewegung dar, die allein mit den Wavelet-Koeffizienten berechnet wurde, die in dem pro- und retrograden Periodenbereich zwischen 380 und 480 Tagen liegen. Dieses Ergebnis bedeutet demnach eine stationäre Wavelet-Filterung der Polbewegung zur Extraktion der Chandler-Bewegung mit variablen Amplituden und Perioden.

Abb. C2.1 Morlet-Skalogramme der LOD-Zeitreihe ohne und mit Signifikanztest

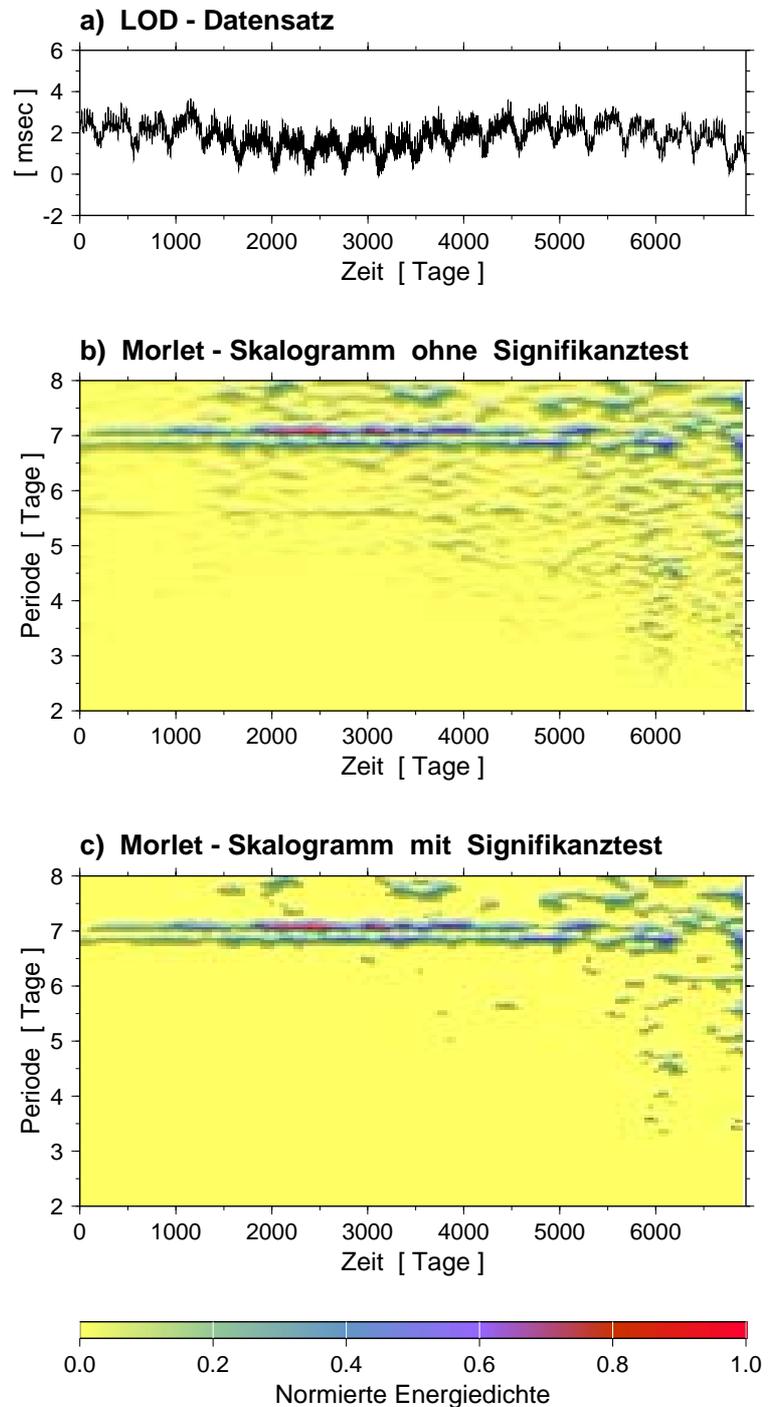
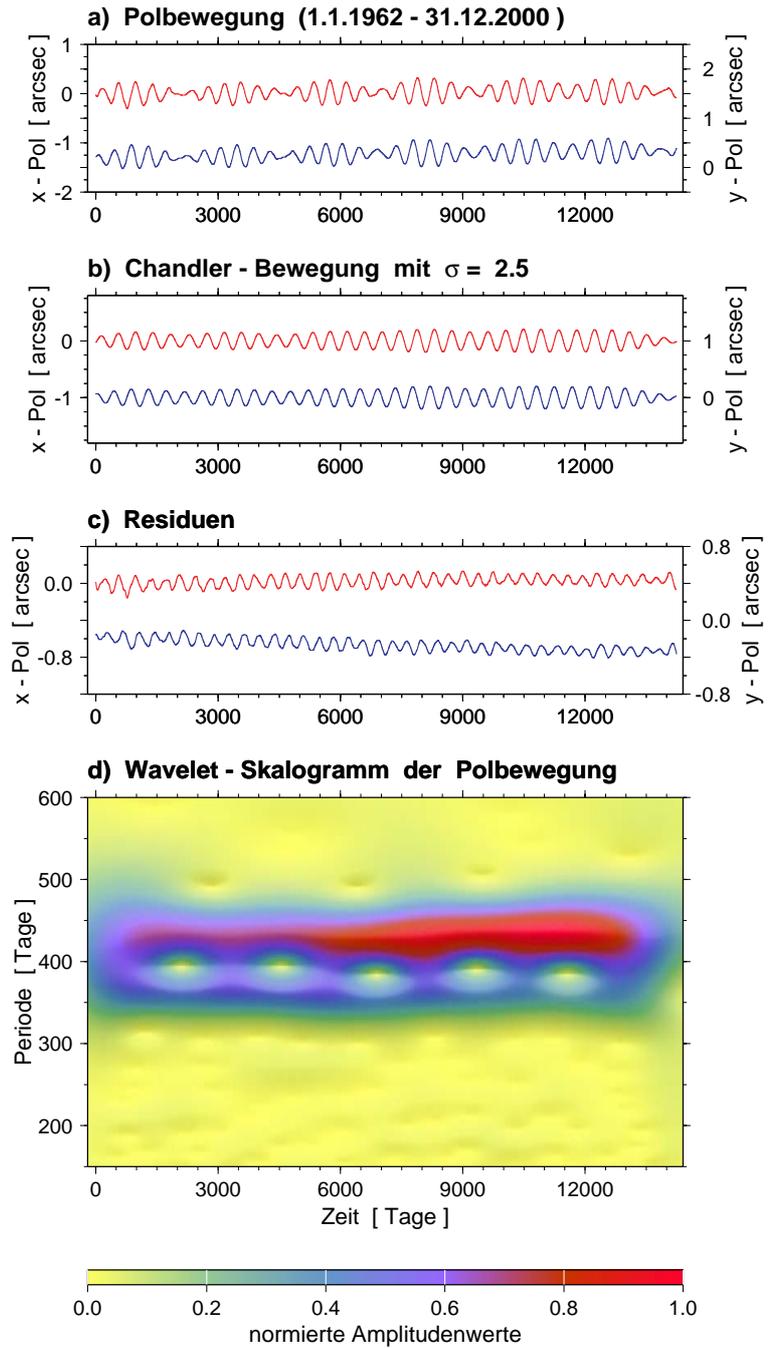


Abb. C2.2 Stationäre Wavelet-Filterung der Polbewegung



C3 Analyse von Zeitreihen von Rotation und Massenverlagerung

Im Berichtszeitraum wurden die Analysen von Zeitreihen der Erdrotationsparameter mit Wavelets fortgesetzt. Eine Besonderheit dieses Analyseverfahrens ist, dass man verschiedenartige Wavelets, quasi als Suchmuster, in die Transformation einsetzen kann, je nach Vorinformationen über die zu untersuchende Datenreihe. Sucht man etwa in einer Zeitreihe nach scharfen Kanten oder Sprüngen, könnte zu deren Lokalisierung das Haar-Wavelet geeignet sein. Die für die Erdrotationsparameter charakteristischen quasi-periodischen Schwingungen lassen sich dagegen besser mit dem Morlet-Wavelet als Suchmuster lokalisieren und auf mögliche Variationen untersuchen. Einige geophysikalische Prozesse, z.B. die jährlich sich langsam auf-, aber schnell abbauenden Schneebedeckungen, bewirken jahresperiodische Anregungen der Erdrotation, sind aber keine harmonischen Schwingungen. Für solche „nicht harmonischen Anregungen“ der Erdrotation sind künftig besser geeignete Wavelets als das Morlet-Wavelet erforderlich.

Zeit-Frequenz-Lokalisierung

Über den so genannten Gestaltparameter σ lässt sich in der Morlet-Transformation die Zeit-Frequenz-Lokalisierung an die Problemstellung anpassen. In Abbildung C3.1 ist dargestellt, wie mit einem wachsenden Wert für σ die Morlet-Wavelet-Transformation in die Fourier-Transformation übergeht. Der Grund dafür ist, dass dann die Einhüllende des Morlet-Wavelets immer langsamer abklingt und im Grenzfall $\sigma \rightarrow \infty$ schließlich von einer Zeit- und Frequenz-lokalisierenden in eine rein Frequenz lokalisierende Funktion übergeht.

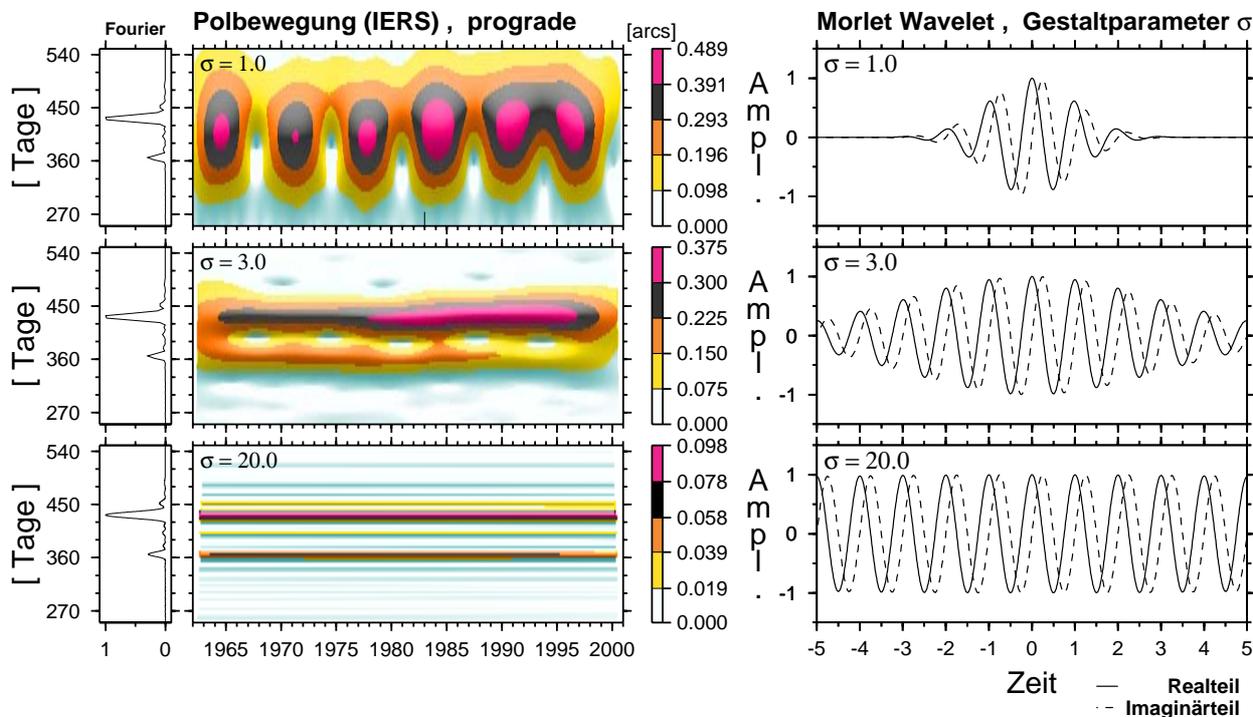


Abb. C3.1 Zeit-Frequenz-Lokalisierung in der Morlet-Wavelet-Transformation über den Gestaltparameter σ am Beispiel der prograden Polbewegung. Für $\sigma \rightarrow \infty$ geht die Morlet-Wavelet-Transformation in die Fourier-Transformation über.

Trennung von Chandler- und jahresperiodischer Polbewegung

Eine geeignete Wahl für den Gestaltparameter ist notwendig, um die beiden Hauptbewegungen der Polbewegung (Chandler-Bewegung und jahresperiodische Bewegung) voneinander trennen zu können. Abbildung C3.1 zeigt, wie sich mit dem Wert $\sigma=3.0$ eine sichtbare Trennung erreichen lässt. Auffallend ist dabei das Wechselspiel in der Variation der Amplituden: In dem Maße, wie sich von 1962 bis 2000 die Amplitude der Chandler-Welle vergrößert, verkleinert sich die Amplitude der jahresperiodischen Polbewegung. Aus diesem speziellen Wavelet-Koeffizientensatz wurden dann mit der in Projekt C2 erwähnten inversen Wavelet-Transformation die beiden Zeitreihen der Hauptschwingungen der Polbewegung erzeugt (vergl. Abbildung C2.2b). Das Ergebnis der inversen Wavelet-Transformation entspricht der variablen Chandler-Bewegung, die in Abbildung C2.2 dargestellt ist.

Variation der Tageslänge auf Grund der Gezeiten

Ein ähnliches Wechselspiel ergibt sich auch bei den hier nicht dargestellten Gezeiteneinflüssen auf die Tageslänge: Im Periodenbereich von 5 - 30 Tagen wird die Variation der Tageslänge abwechselnd mehr von den halbmonatlichen oder mehr von den monatlichen Gezeiten beeinflusst.

Hoch frequente Anteile der Erdrotation

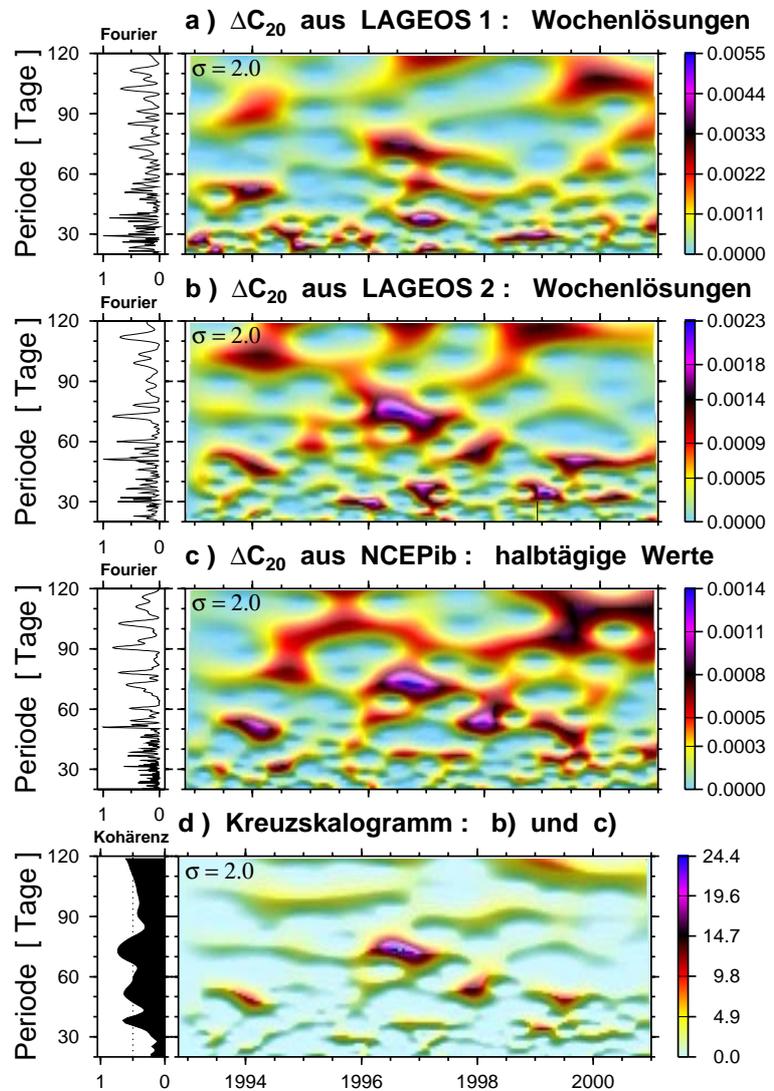
Ein Hauptaugenmerk lag im Berichtszeitraum auf den Analysen von hoch auflösenden Zeitreihen der Erdrotation, die am DGFI aus speziellen VLBI-Sessionen (siehe Projekt A3) abgeleitet werden. Hinzu kommen in jüngster Zeit aus kontinuierlichen GPS-Messungen ermittelte Erdrotationsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung. Da im dargestellten Periodenbereich unter 12 Stunden keine atmosphärischen oder ozeanischen Anregungsfunktionen zur Verfügung stehen, wurden zum Vergleich Pegelregistrierungen mit stündlicher Auflösung auf drei global verteilten Stationen (San Juan/Puerto Rico, Christmas Island/Pazifik, Nagasaki/Japan) herangezogen. Alle Pegel zeigen Amplitudenvariationen in den Gezeitenfrequenzen M_3 und M_4 , also in den Perioden „knapp über“ 8 und 6 Stunden. Die Amplitudenvariationen der Erdrotationsparameter liegen hingegen genau in den Perioden von 8 und 6 Stunden. Zur Klärung dieser Unterschiede sollen die Rotationsparameter in diesem Periodenbereich mit einem Gezeiten-Analyseprogramm untersucht werden.

Variationen von ΔC_{20}

Im Hinblick auf neue Satellitenmissionen wie CHAMP und GOCE wurden kleine Änderungen des Schwerefeldes auf Grund von Massenverlagerungen untersucht. Dies steht in engem Zusammenhang mit Projekt A2. In den Abbildungen C3.2a,b sind als Beispiel die Variationen der dynamischen Erdabplattung (ΔC_{20} in der Kugelfunktionsentwicklung des Schwerefeldes) im subsaisonalen Periodenbereich aus den jeweiligen Wochenlösungen von LAGEOS 1 und LAGEOS 2 der Jahre 1990 bis 2000 dargestellt. Diese Lösungen werden verglichen mit der Variation von ΔC_{20} , die aus dem Atmosphärenmodell von NCEP (National Centers for Environmental Predictions, Washington) berechnet wurde (Abbildung C3.2c). Im Ergebnis wird deutlich, dass beide LAGEOS-Satelliten auf Grund ihrer großen Höhen nur schwach

sensitiv für die monatliche Gezeitenperiode sind. Es ergibt sich eine mittlere Kohärenz zwischen der Abplattung, abgeleitet aus LAGEOS 2, und der entsprechenden Abplattung auf Grund atmosphärischer Anregung in den Perioden von 40, 50 und 70 Tagen (Abbildung C3.2d).

Abb. C3.2 Wavelet-Skalogramm der Erdabplattung (ΔC_{20} in der Kugelfunktionsentwicklung des Schwerefeldes), abgeleitet aus Wochenlösungen von a) LAGEOS 1 und b) LAGEOS 2 sowie c) aus atmosphärischer Anregung, berechnet aus dem NCEP-Modell. Das Kreuzskalogramm d) zeigt eine mittlere Kohärenz der aus LAGEOS 2 und dem NCEP-Modell abgeleiteten Erdabplattung in den Perioden von 40, 50 und 70 Tagen.



D: Internationale Dienste

Die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) betreibt mehrere wissenschaftliche Dienste. Sie stellen Daten und Informationen für eine globale Nutzergemeinschaft bereit. Das DGFI wirkt an diesen internationalen Aufgaben mit. Es beteiligt sich im International Earth Rotation Service (IERS) als Analysezentrum für das Internationale Terrestrische Referenzsystem (ITRS des IERS), als Kombinationszentrum und innerhalb des Zentrums für Globale Geophysikalische Fluide (GGFC). Im International GPS Service (IGS) wirkt es als Regionales Analysezentrum für Südamerika (RNAAC-SIR) und im International Laser Ranging Service (ILRS) als EUROLAS Datenzentrum (EDC) und assoziiertes Analysezentrum mit. Schließlich beteiligt sich das DGFI als Spezielles Analysezentrum im International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS).

D1 IERS / ITRS Combination Center / Combination Research Center

DGFI Beiträge zum IERS

Mit Inkrafttreten der neuen Struktur des International Earth Rotation Service (IERS) zum 1. Januar 2001 beteiligt sich das DGFI an diesem internationalen Dienst als ITRS Combination Center und als IERS Combination Research Center. Hauptaufgabe eines ITRS Combination Centers (ITRS-CC) ist die Berechnung einer „Realisierung“ des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems (ITRS). Diese besteht derzeit aus Positionen und Geschwindigkeiten von Stationen und wird durch Kombination individueller Lösungen verschiedener Raumbeobachtungsverfahren (VLBI, SLR/LLR, GPS, DORIS) als International Terrestrial Reference Frame bestimmt. Die Combination Research Center (CRC) wurden als zusätzliche Komponente innerhalb des neuen IERS eingerichtet, um weitere Verbesserungen des Kombinationsverfahrens der verschiedenen Messtypen zu entwickeln.

Aus der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS) haben das DGFI, die Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG) der Technischen Universität München und das Geodätische Institut der Universität Bonn (GIUB) gemeinsam die Aufgabe eines CRC übernommen. Die dazu notwendigen Arbeiten werden vom DGFI koordiniert.

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau des ITRS-CC und auf die Berechnung einer ersten kombinierten Lösung aus VLBI-, SLR- und GPS-Daten. Die Arbeiten im Rahmen des CRC sind eng mit dem Projekt A4 verknüpft und dort mit den wissenschaftlichen Arbeiten beschrieben.

ITRS Combination Center

Für das ITRS-CC sind folgende Hauptkomponenten in der Entwicklung:

1. Ein Datenverwaltungs- und Informationssystem zur Organisation aller ITRF-relevanten Daten, z.B. Stationsinformationen, Exzentrizitäten, Inputlösungen, Kombinationsergebnisse und ITRF-Produkte.
2. Programme zur Datenanalyse und Kombination (siehe Projektbeschreibung A4, Abbildung A4.1):
 - Programme zur Validierung und Analyse der von den Rechenzentren bereitgestellten individuellen Lösungen im

- SINEX-Format,
 - Kombinationssoftware DOGS-CS auf Basis bedingungs-freier Normalgleichungen,
3. Qualitätskontrolle der berechneten ITRF-Produkte:
- Methoden für den internen Vergleich der Kombinations-ergebnisse,
 - externe Validierung mit einer unabhängig gerechneten Kombinationslösung, z.B. mit dem vom IGN berechneten ITRF2000.

**Kombinierte Lösung:
ITRF2000_DGFI.P**

Das DGFI hat aus denselben individuellen Lösungen, aus denen das ITRF2000 gerechnet wurde, eine erste ITRS-Realisierung berechnet (ITRF2000_DGFI.P), die dem IERS Directing Board vorgelegt und bei der IAG Scientific Assembly in Budapest vorgestellt wurde. Die Datenanalyse erfolgte im Wesentlichen in vier Schritten:

1. Zuerst wurden alle Eingangslösungen (siehe Tabelle D1.1) im SINEX-Format auf Vollständigkeit, Kompatibilität, eingeführte Zwänge usw. untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass zahlreiche Lösungen das SINEX-Format nicht einhielten oder notwendige Informationen nicht enthielten. Widersprüche ergaben sich bei der Angabe der Zwänge. Besonders die als "loosely" oder "minimally constrained" eingestuft Lösungen enthielten in einigen Fällen erhebliche Zwänge. Wenn diese Zwänge nicht aus den individuellen Lösungen eliminiert werden können, ist eine systematische Verfälschung der Kombinationslösung zu befürchten. Rückfragen bei den Autoren der inkompatiblen Lösungen waren wegen des sehr späten Eingangs der Daten nicht möglich.
2. Basierend auf den Ergebnissen von Schritt eins wurden drei VLBI-Lösungen (GIUB, GSFC, SHA), fünf SLR-Lösungen (CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET) sowie die vom IGS bereitgestellte kombinierte GPS-Lösung zur Kombination verwendet. Gemäß der in A4 beschriebenen Strategie wurden für diese neun Lösungen die freien Normalgleichungen rekonstruiert, die als Input für die Berechnung der kombinierten Lösung dienen.
3. Die Kombination der freien Normalgleichungen wurde mit dem DGFI-Programm DOGS-CS vorgenommen. Zunächst wurden die Normalgleichungen innerhalb einer Messtechnik kombiniert und die individuellen Lösungen analysiert. Ausreißer wurden identifiziert und die relative Gewichtung über die Schätzung von Varianzfaktoren bestimmt. Dann wurden die für jeweils eine Technik addierten Normalgleichungen zur Gesamtlösung kombiniert. Dieses Zweischrittverfahren musste iterativ angewendet werden, um eine optimale Datenbereinigung und Gewichtung zu erzielen.

- Das Datum der kombinierten Lösung wurde zur besseren Vergleichbarkeit ähnlich dem offiziellen ITRF2000 definiert. Den Koordinatenursprung (Translation und ihre zeitliche Variation) bestimmen die fünf SLR-Lösungen. Der Maßstab und seine zeitliche Variation wurde durch die VLBI- und SLR-Lösungen festgelegt. Die Orientierung und ihre zeitliche Variation wurde durch eine Rotationsbedingung ("no net rotation") relativ zu den ITRF2000-Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten für ein Teilnetz von 40 Stationen mit guter globaler Überdeckung und hoher Datenqualität fixiert.

Im rechten Teil der Tabelle D1.1 sind Informationen zu den individuellen Lösungen zusammengestellt, die zur Berechnung der ITRS-Realisierung ITRF2000_DGFI.P beigetragen haben. Stationen mit zu kurzen Zeitreihen (< 1 Jahr) wurden nicht für die Kombination verwendet, weil ihre Stationskoordinaten und Geschwindigkeiten zu schlecht bestimmt sind. Aufgrund dieses Kriteriums wurden 44 VLBI-, 44 SLR- und 21 GPS-Stationen von der Kombination ausgeschlossen. Weiterhin zeigt die Tabelle die WRMS Differenzen für Stationskoordinaten und Geschwindigkeiten zwischen den individuellen Lösungen und der kombinierten Lösung nach Anwendung einer 14-parametrischen Helmert-Transformation.

Tab. D1.1 Übersicht der Eingangsdaten (individuelle Lösungen) für das ITRF2000 und die DGFI-Kombination. Zusätzlich zu den in der Tabelle dargestellten Lösungen enthält das offizielle ITRF2000 noch zwei multitechnische Lösungen und acht GPS-Verdichtungsnetze, die wir bei der Kombination nicht verwendet haben. Bei sieben Lösungen fanden wir Diskrepanzen zu den angegebenen Zwängen; bei einigen dieser Lösungen waren die eingeführten Zwänge überhaupt nicht dokumentiert. Diese mit einem Fragezeichen versehenen Lösungen wurden nicht einbezogen, um systematische Verfälschungen der Ergebnisse zu vermeiden.

Übersicht der ITRF2000 Eingangsdaten (individ. Lösungen)					Lösungen für DGFI Kombination		
Technik	AC/TC	Daten-	Zwänge	Stationen	Stationen	WRMS Differenzen	
				# original	# verwend.	Positionen [mm]	Geschw. [mm/a]
VLBI	GIUB	84-99	loose	51	50	3,8	0,6
	GSFC	79-99	loose	130	86	4,0	0,5
	SHA	79-99	loose	127	85	4,0	0,6
LLR	FGS	77-00	loose	3			
SLR	AUS	92-00	loose?	55			
	CGS	84-99	loose	94	61	14,0	3,0
	CRL	90-00	loose	60	60	12,6	2,3
	CSR	76-00	loose	139	95	14,3	2,0
	DEOS	83-99	loose	91			
	DGFI	90-00	removable	43	39	13,5	2,2
	JCET	93-00	loose	48	41	7,2	1,8
GPS	CODE	93-00	minimum ?	160			
	GFZ	93-00	minimum ?	98			
	IGS	96-00	minimum	168	147	4,1	1,4
	JPL	91-99	minimum ?	112			
	NCL	95-99	minimum ?	90			
	NOAA	94-00	removable	165			
DORIS	GRGS	93-00	loose	66			
	IGN	92-00	minimum	80			

Vergleich mit offiziellem ITRF2000

Eine 14-parametrische Helmert-Transformation zwischen ITRF2000_DGFI.P und dem offiziellen ITRF2000 ergab folgende Ergebnisse:

- Translationen und ihre zeitliche Variationen:

$$T_x = 3.7 \text{ mm} - 0.1 \text{ mm/a}$$

$$T_y = -2.8 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm/a}$$

$$T_z = 0.2 \text{ mm} + 1.1 \text{ mm/a}$$

- Maßstab und seine zeitliche Variation:

$$S_c = 0.1 \text{ ppb} - 0.03 \text{ ppb/a}$$

Tab. D1.2
WRMS Differenzen für
Positionen und Geschwindigkeiten

Technik	Anzahl der Stationen	Position [mm]	Geschwindigkeit [mm/a]
VLBI	86	7.8	0.6
SLR	95	19.1	2.8
GPS	147	4.5	1.5

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass zur Datumsfestlegung beider ITRS-Realisierungen dieselben SLR- und VLBI-Lösungen verwendet wurden. Obwohl der Vergleich demzufolge keine vollständig unabhängige Kontrolle liefert, ist die Übereinstimmung zwischen beiden ITRS-Realisierungen in der Festlegung des Koordinatenursprungs und des Maßstabs zufriedenstellend. Die WRMS Differenzen der Positionen betragen ungefähr 2 cm für SLR und sind kleiner als 1 cm für VLBI und GPS. Die mittlere Übereinstimmung der Stationsgeschwindigkeiten zwischen beiden ITRS-Realisierungen liegt in der Größenordnung von 1 bis 3 mm/a. Allerdings ergeben sich für 15 Stationen (5%) Diskrepanzen von mehr als 2 cm/a in den Geschwindigkeiten. Solche Ausreißer sind die Ursache der relativ großen Differenzen zwischen ITRF2000 und ITRF2000-DGFI.P bei der SLR-Technik. Abbildung D1.1 zeigt exemplarisch drei Stationen mit signifikanten Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den beiden ITRS-Realisierungen.

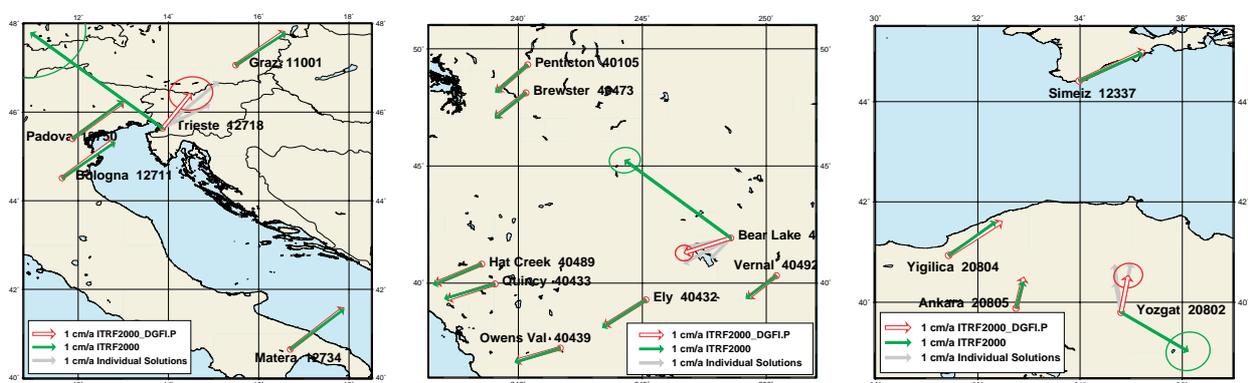
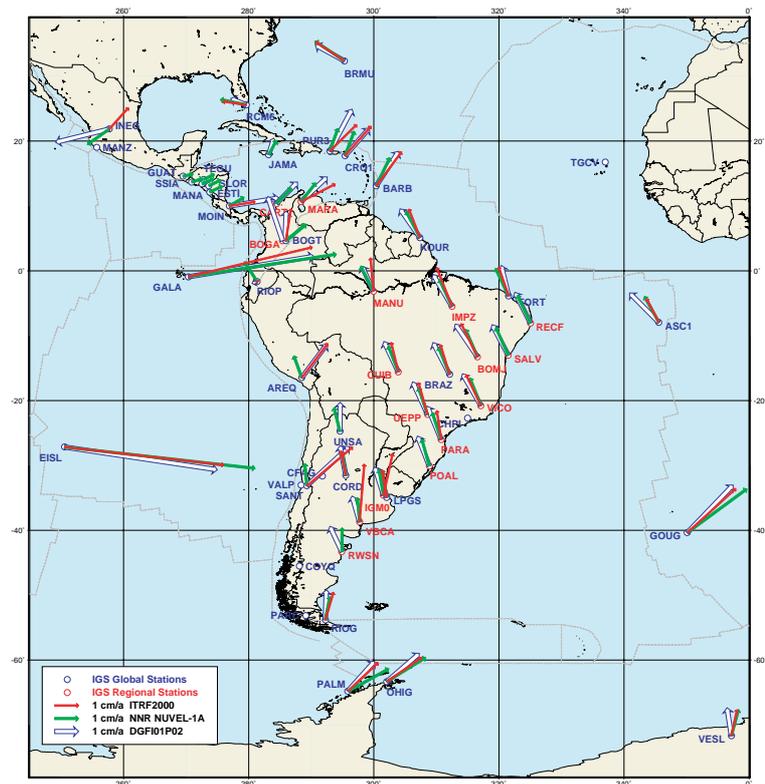


Abb. D1.1 Vergleich von Stationsgeschwindigkeiten, abgeleitet aus dem offiziellen ITRF2000 und der Lösung ITRF2000_DGFI.P.

D2 IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS

Seit Juli 1996 arbeitet das DGFI als assoziiertes Analysezentrum für das regionale Netz kontinuierlich beobachtender GPS Stationen im südamerikanischen Raum (RNAAC-SIR) innerhalb des International GPS Service (IGS). Zur Zeit enthält dieses Netz 55 Stationen (Abbildung D2.1). Die Daten von 18 dieser Stationen werden ausschließlich durch das DGFI prozessiert, während die übrigen 37 auch in die Auswertungen anderer, globaler IGS Analysezentren (AC) einbezogen sind.

Abb. D2.1 Vergleich der Geschwindigkeiten aus der Lösung DGF101P02 mit ITRF2000 und dem geologisch-geophysikalischen Modell NNR NUVEL-1A



Die wöchentlichen Lösungen des RNAAC-SIR werden unverzüglich an die globalen Datenzentren (GDC) des IGS geleitet und in die IGS Kombinationslösungen der assoziierten Analysezentren für das globale IGS Netz (GNAAC) einbezogen, die regelmäßig die Koordinaten von etwa 180 Stationen berechnen und für die Nutzergemeinschaft bereit stellen.

Neben diesen kontinuierlichen Arbeiten werden vom DGFI in Abständen von etwa einem Jahr Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten durch Akkumulation der wöchentlichen Lösungen gerechnet. Eine dieser Lösungen wurde in das ITRF2000 einbezogen. Die Geschwindigkeiten der neuesten Berechnung (DGF101P02) werden in Abbildung D2.1 mit denen des ITRF2000 verglichen.

Episodische Punktversetzungen durch Erdbeben

Außer den linearen Bewegungen wurden auch episodische Punktversetzungen bestimmt, die durch Erdbeben verursacht wurden, damit die Koordinatenänderungen bei der Realisierung

von Referenzsystemen berücksichtigt werden können. Die Abbildungen D2.2 und D2.3 zeigen die Versetzungen nach den Erdbeben in El Salvador im Januar/Februar 2001 und in Peru im Juni/Juli 2001. Es sind jeweils die Bewegungen beim ersten Beben und bei den Nachbeben angegeben. Während die Punkt-lageänderungen in El Salvador (SSIA) 0,7 cm bzw. 4,3 cm betru- gen, waren sie in Peru (Arequipa) mit 52,1 cm bzw. 6,6 cm sehr viel größer.

Abb. D2.2
Punktversetzungen
nach den Erdbeben in El Salvador,
13.01. und 13.02.2001

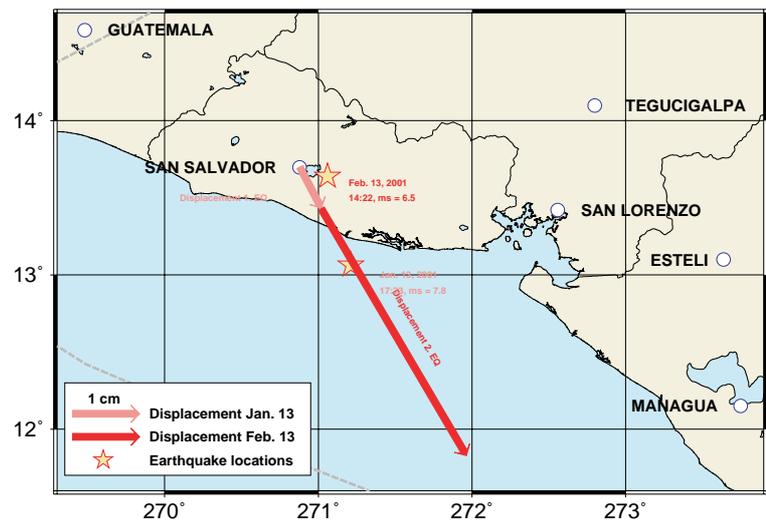
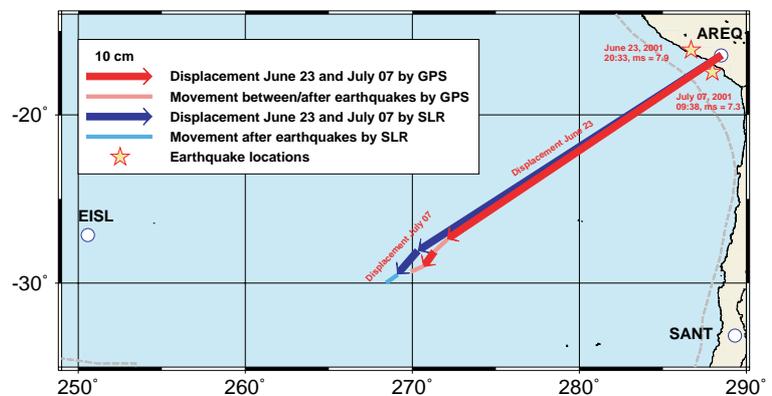


Abb. D2.3
Punktversetzungen
nach den Erdbeben in Peru,
23.06. und 07.07.2001



D3 ILRS Associate Analysis Center

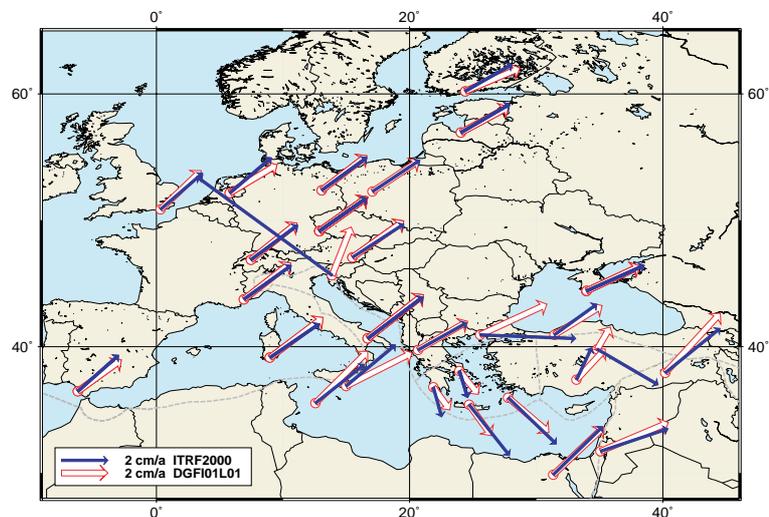
20-Jahre-Laserlösung

Das DGFI wertet seit über 20 Jahren mit Hilfe des institutseigenen Softwarepaketes DOGS Lasermessungen zu geodätisch nutzbaren Satelliten aus. Ergebnisse dieser Auswertung sind Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten, Änderungen der Pollage und der Tageslänge sowie Korrekturen zum Schwerefeldmodell der Erde.

Diese Auswertungen wurden im Berichtsjahr mit der Berechnung einer 20-Jahre-Lösung SSC(DGFI)01L01 für Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten fortgesetzt. Die Grundlage der Berechnungen sind Bahnbögen von einer Woche für Lageos 1 und 2, die mit DOGS-OC berechnet und bis zur endgültigen Lösung iteriert werden. Anschließend werden Normalgleichungen aufgestellt, die internen Parameter (Bahnelemente, Skalierungsfaktoren, ...) durch Reduktion des Normalgleichungssystems mit DOGS-CS eliminiert und die reduzierten Normalgleichungen aufaddiert. In einem letzten Schritt werden einzelne Parameter, wie z.B. die Geschwindigkeiten nahe gelegener Stationen, gleichgesetzt, Bedingungen eingeführt und das Gleichungssystem gelöst.

Ein Vergleich dieser Lösung mit ITRF2000 zeigt in vielen Fällen eine gute Übereinstimmung in Koordinaten und Geschwindigkeiten. Für einige Stationen, z. B. Bear Lake, Triest und Yozgat, zeigen sich aber in den Geschwindigkeiten erhebliche Differenzen. Die Abbildung D3.1 zeigt die berechneten Geschwindigkeiten von Laserstationen in Europa im Vergleich mit ITRF2000.

Abb. D3.1 SSC(DGFI)01L01
und ITRF2000
Geschwindigkeiten für Europa.



In Zusammenhang mit diesen Berechnungen wurden Zeitreihen für das Geozentrum und C_{20} (siehe Projekt A2) abgeleitet.

Aktuelle Berechnungen

Aktuelle Lasermessungen zu Lageos 1 und 2 werden mit geringer zeitlicher Verzögerung mit dem Programmsystem DOGS weiter verarbeitet. Die Ergebnisse werden zur Fortführung und Verbesserung der Stationskoordinatenlösung und der Zeitreihen verwendet. Außerdem kontrollieren sie die Genauigkeit der Lasermeßsysteme.

Ein aktuelles Ergebnis dieser Berechnungen sind die Verschiebungen der Laserstation in Arequipa, Peru, auf Grund der Erdbeben vom 23. Juni und 7. Juli 2001. Die aus SLR-Messungen bis einschließlich 20. Oktober 2001 gewonnenen Ergebnisse decken sich weitgehend mit den durch GPS bestimmten Verschiebungen (siehe Projekt D2).

Als Ausgangskordinaten für die Berechnung diente die 20-Jahre-Lösung des DGFI. Die Verschiebung der Station aus der über den Zeitraum zwischen den Beben akkumulierten Koordinatenlösung beträgt 30,2 cm nach Süden, 46,2 cm nach Westen und -2,6 cm in der Höhe. Nach dem zweiten Beben erfolgte ein weiterer Versatz um 4,0 cm nach Süden, 3,1 cm nach Westen und 0,2 cm in der Höhe. Aus den SLR-Beobachtungen nach dem zweiten Beben läßt sich eine Bewegung der Station von 0,6 mm/Tag in südwestlicher Richtung (Azimut 235 Grad) ableiten. Die Genauigkeit der Koordinaten zwischen den Beben ist auf Grund der geringen Datenmenge schlechter (ca. 6 mm je Koordinate) als die nach den Beben (ca. 1 mm). In Abbildung D2.2 ist das DGFI-SLR-Ergebnis im Vergleich mit GPS grafisch dargestellt.

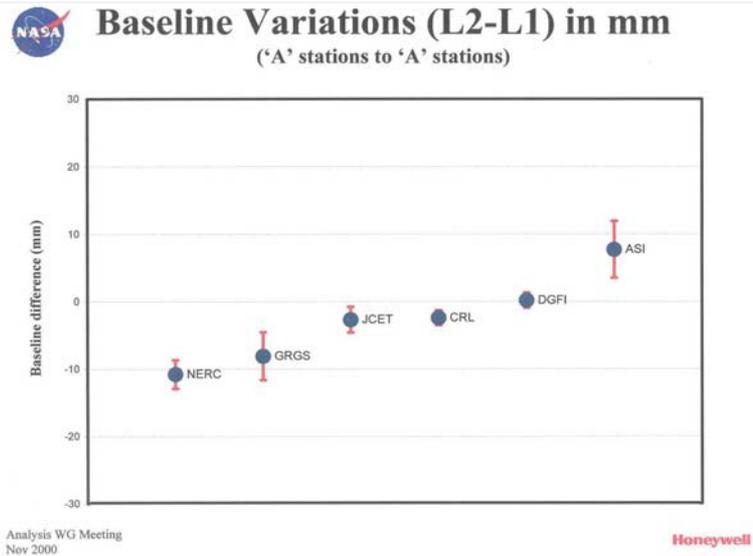
ILRS AWG Pilotprojekte

Seit 1999 beteiligt sich das DGFI aktiv am ILRS (International Laser Ranging Service) als AAC (Associate Analysis Center). Um ein möglichst gutes kombiniertes SLR Produkt zu gewährleisten, wurden vom ILRS verschiedene Pilotprojekte initiiert. Erkennbare Fortschritte konnten vor allem im Pilotprojekt EOP+POS (Erdorientierung und Positionierung) erzielt werden. Hier wurde in verschiedenen Phasen durch ständige Vergleiche und Testrechnungen eine weitere Verbesserung der Ergebnisse der einzelnen Analysezentren und des kombinierten Produkts erreicht.

Im Berichtszeitraum wurden die Phasen 4 und 5 dieses Pilotprojekts durchgeführt und die Ergebnisse bei ILRS AWG Workshops präsentiert. Die Auswertung umfasste Lasermessungen zu Lageos1 und Lageos2 über einen Zeitraum von 52 Wochen im Jahr 1999. Als Ergebnis waren 13, über jeweils vier Wochen aufsummierte, Sätze von Stationskoordinaten und Erdrotationsparametern mit täglicher Auflösung abzuliefern. Das Datum wurde durch „loose constraints“ für Positionen und EOP's realisiert. Die Kombinationszentren sollten dann diese individuellen Lösungen zu einem gemeinsamen ILRS-Produkt kombinieren. Da aufgrund der unterschiedlichen Programme und Auswerte-Strategien eine Reihe von Problemen auftraten, werden noch weitere Phasen des Pilotprojekts folgen.

Die Qualität der einzelnen Ergebnisse läßt sich z.B. aus einer Vergleich der Differenz der datumsunabhängigen Basislinien zwischen Lageos1- und Lageos2-Lösungen erkennen (siehe Abbildung D3.2).

Abb. D3.2 Vergleich der Differenz aller Basislinien zwischen allen Laserstationen aus Lageos1- und Lageos2-Lösungen.
Quelle: Van Husson, NASA.



Am neuesten Pilotprojekt, der Phase 5, hat sich das DGFI im Teilbereich A mit einer Lösung für Stations- und Polkoordinaten sowie UT1-Variationen beteiligt. Außerdem trug das DGFI zur Kombination der verschiedenen Lösungen mit einer Untersuchung zu deren innerer Genauigkeit bei (siehe A4).

Eine Untersuchung der Genauigkeit der von den einzelnen Analysezentren eingereichte Resultate durch Van Husson (NASA) ergab für die DGFI-Lösung gute Ergebnisse (siehe Tabelle D3.1).

Tabelle D3.1: Wiederholbarkeit der Höhenbestimmung (mm) aus den 13 individuellen 4-Wochen-Lösungen der einzelnen Analysezentren (ILRS Pilotprojekt 5, Phase A).

	DGFI	CSR	IAAK	CRL	CGS	NERC
Yarragadee	4.6	6.9	6.3	8.6	18.9	17.0
Monument Pk..	4.4	4.3	6.2	7.4	19.1	23.8
Graz	8.2	7.0	7.6	8.4	18.3	23.6

Die Teilnahme an der Phase B erfordert eine Modifikation des DOGS-Programms, da in diesem Teil untersucht werden soll, inwieweit das Ergebnis der Polbestimmung durch die zusätzliche Schätzung von Ableitungen der Polparameter verbessert werden kann.

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

Das EUROLAS Data Center (EDC) beim DGFI ist eines der beiden globalen Datenzentren des International Laser Ranging Service (ILRS). Im Berichtszeitraum standen Verbesserungen, Ergänzungen und die Absicherung des Datenflusses für die Produkte „On-Site Normalpoints“ und Bahnvorhersagen im Vordergrund.

ILRS Die im letzten Jahresbericht erwähnten Backup-Prozeduren sind jetzt eingeführt und arbeiten routinemäßig. Der Datenfluß für das Datenprodukt „On-Site Normalpoints“ ist in Abbildung D4.1 dargestellt. Die Abbildung D4.2 zeigt die Backup-Prozedur für die Bahnvorhersagen. Beide Prozeduren sind nötig, um eventuelle Ausfälle eines der beiden globalen Datenzentren zu überbrücken.

Abb. D4.1 Backup-Prozeduren für „On-Site Normalpoints“

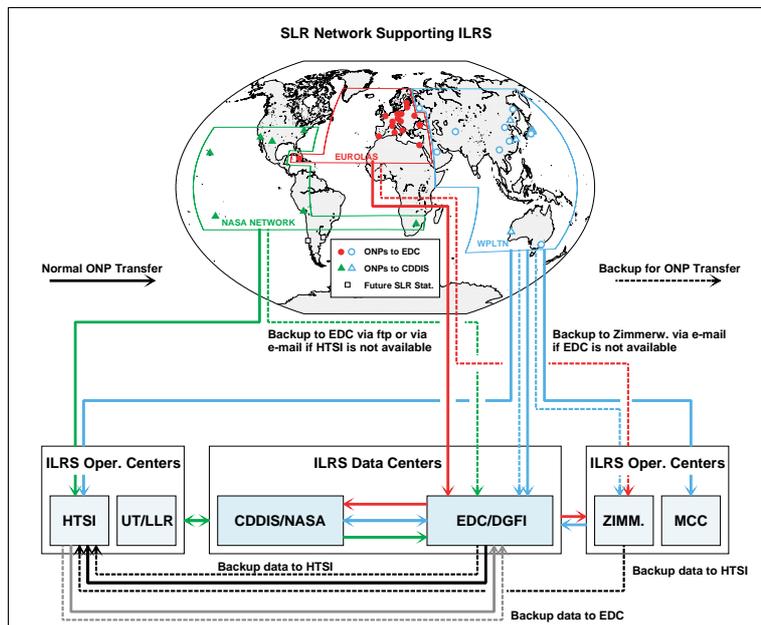
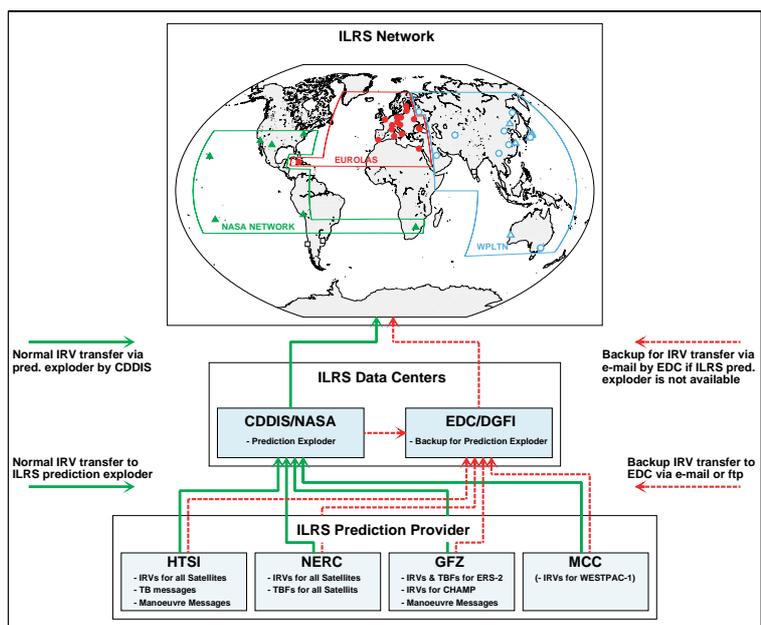


Abb. D4.2: Backup-Prozeduren für Bahnvorhersagen



Weiter wurde die Kontrolle über die vollständige Übertragung aller Daten zwischen den Datenzentren EDC und CDDIS/HTSI vorangetrieben. Am EDC werden stündlich die Übersichten der erhaltenen Beobachtungsdaten aufdatiert, so dass eine sofortige Kontrolle über den Datenbestand am EDC möglich ist. Diese Übersichten über archivierte Passagen am EDC und beim CDDIS stehen auf dem FTP-Server des EDC bereit. Ebenso findet man hier die stündlich aufdatierten Tagesdatensätze für „On-Site Normalpoints“.

Regel Gebrauch wurde wieder von den vom EDC betriebenen Mail-Explodern SLRmail und SLReport (größtenteils Analyse- und Kampagnen-Reports) gemacht. Am Ende des Berichtszeitraums waren 822 (davon 158 im Berichtszeitraum) SLRmails und 1250 (davon 855 im Berichtszeitraum) SLReports eingegangen.

SLR-Beobertungskampagnen

Im ILRS Governing Board wurde unter Mitwirkung des EDC wiederum über neue SLR-Kampagnen bzw. die Fortsetzung alter Kampagnen entschieden. Auf Wunsch der ILRS Analysis Working Group wurde die ETALON-Kampagne unterstützt und vor kurzem verlängert. Die SUNSAT-, GFO-1-, WESTPAC- und CHAMP-Kampagnen wurden abgeschlossen, die BEACON-C- und ETALON-Kampagnen laufen weiter.

Tab. D4.1 Bestand der EDC/ILRS-Datenbank am 01.10.2001 für das Produkt "On-Site Normalpoints"-Daten (einschließlich der „Lunar Laser Ranging (LLR)“ Beobachtungen zu den vier Mondreflektoren).

44 ILRS-Stationen haben im Berichtszeitraum 28 Satelliten beobachtet, für die täglich Bahnvorhersagen bereitgestellt werden. Unter den 47 beobachtbaren Satelliten sind 24 GLONASS-Satelliten, aber nur drei GLONASS-Satelliten sind in der Prioritäten-Liste des ILRS vertreten, für die ebenfalls täglich Bahnvorhersagen bereitgestellt werden. Die Tabelle D4.1 gibt den Datenbestand am 01.10.2001 wieder.

Satellit	Passagen (seit 10/95 global)		Satellit	Passagen (seit 10/95 global)		Satellit	Passagen (seit 10/95 global)	
	Zuwachs 2001	gesamt		Zuwachs 2001	gesamt		Zuwachs 2001	gesamt
STARLETTE	7566	37020	DIADEME-1C	-	1393	GLONASS-70	-	1430
AJISAI	10230	50727	DIADEME-1D	-	1585	GLONASS-71	-	2617
LAGEOS-1	7258	37225	GFO-1	3811	10047	GLONASS-72	61	3260
LAGEOS-2	6179	32443	GEOS-3	-	2237	GLONASS-74	-	39
ETALON-1	1266	4949	CHAMP	1520	1520	GLONASS-75	32	300
ETALON-2	1274	5221	WESTPAC-1	1663	5328	GLONASS-76	32	301
ERS-1	-	10524	BEACON-C	6025	12797	GLONASS-77	32	343
ERS-2	4171	27450	GPS-35	647	3368	GLONASS-78	1805	2290
TOPEX/POS.	8963	47121	GPS-36	580	2814	GLONASS-79	-	3237
STELLA	4938	25581	SUNSAT	1	1864	GLONASS-80	1779	3508
METEOR-3	-	409	GLONASS-62	-	963	GLONASS-81	52	275
GFZ-1	-	5606	GLONASS-63	-	1952	GLONASS-82	72	244
FIZAU	-	4243	GLONASS-64	-	81	GLONASS-84	752	752
RESURS-01-3	-	2011	GLONASS-65	-	397	MOND-1	40	210
TIPS	-	1849	GLONASS-66	-	1544	MOND-2	32	188
ADEOS	-	671	GLONASS-67	-	4299	MOND-3	419	1651
ZEIA	-	146	GLONASS-68	-	875	MOND-4	-	12
			GLONASS-69		945			
						Gesamtsumme	71200	367862

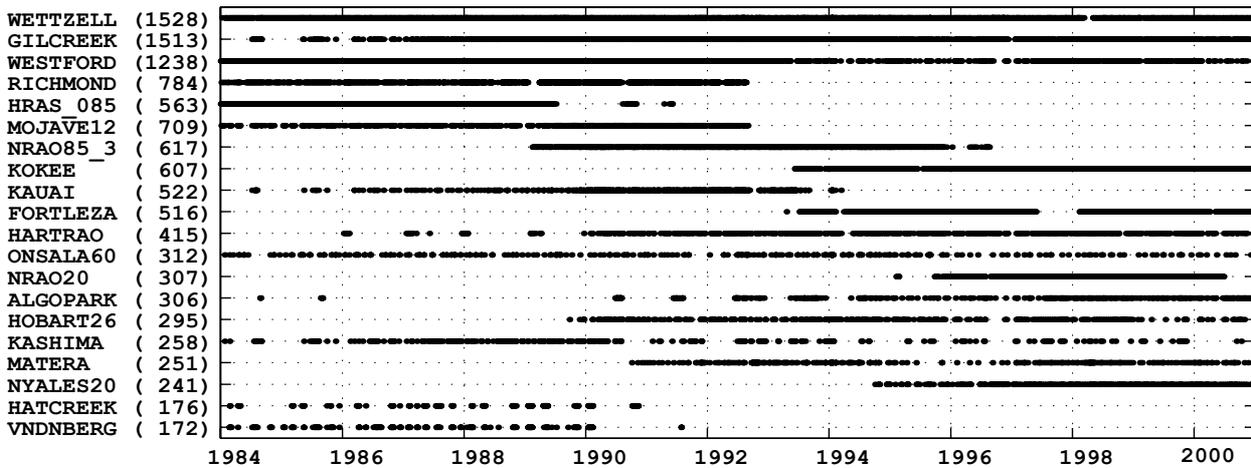
D5 IVS Special Analysis Center

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

VLBI Beobachtungsdatenbank am DGFI

Im Berichtszeitraum wurde eine Beobachtungsdatenbank erstellt, in der alle verfügbaren 24-stündigen VLBI-Sessions von 1979 bis 2000 abgelegt und klassifiziert sind. Als Quellen dienen neben den IVS-Datenservern vor allem das Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) der NASA. Es können nun leicht alle Sessions einer Beobachtungsreihe wie NEOS-A abgefragt werden, an denen ein bestimmtes Teleskop (z.B. Wettzell) beteiligt war. Die Datensammlung umfaßt z.Zt. etwa 3400 Sessions, an denen 146 Stationen teilnahmen. Sie dient als Grundlage für sämtliche Untersuchungen am DGFI zur geodätischen Nutzung der VLBI und ihrer Kombination mit anderen Raumverfahren wie GPS und SLR (siehe Projekt A4). Bisher wurden Lösungen für einige hundert archivierte VLBI-Sessions berechnet (siehe Tabelle D5.1).

Tab. D5.1 Beobachtungszeiten der 20 Teleskope, die von 1984 bis 2000 an den meisten 24-stündigen VLBI-Sessions teilgenommen haben (z.B. war Wettzell an 1528 derartigen Sessions beteiligt). Damit kann zum Beispiel die Verlässlichkeit der für ein Teleskop berechneten Bewegungskvektoren eingeschätzt werden (Quelle: DGFI-VLBI-Datenbank).



Erstes IVS Pilot Projekt

Als Special Analysis Center nahm das DGFI am ersten Pilotprojekt des IVS teil, das durchgeführt wurde, um die Homogenität und die äußere Genauigkeit der durch VLBI bestimmten Erdrotationsparameter zu überprüfen und zu verbessern. Dazu reichten zehn Analysezentren Lösungen für Erdrotationsparameter ein, die aus den 52 NEOS-A Sessions des Jahres 1999 berechnet wurden; insgesamt wurden sechs verschiedene VLBI-Auswerteprogramme verwendet. Beim Vergleich der Lösungen mit den offiziellen IVS-Produkten schnitten die zwei vom DGFI eingereichten Lösungen am besten ab. In der folgenden Tabelle D5.2 sind die mittleren gewichteten quadratischen Abweichungen (WRMS) angegeben. Die WRMS-Werte liegen in der Größenordnung der theoretischen mittleren Fehler der geschätzten Parameter.

Tab. D5.2: Mittlere gewichtete quadratische Abweichungen der VLBI Lösungen des DGFI von der des IVS.

	Polkoordinaten		$\Delta UT1$ [μs]	Zuschläge an Nutation IAU 1980 Modell	
	X_p [μas]	Y_p [μas]		$\Delta \epsilon$ [μas]	$\Delta \Psi \cdot \sin(\epsilon_0)$ [μas]
WRMS DGFI1 vs IVS	84.7	52.3	3.5	55.2	67.8
WRMS DGFI2 vs IVS	88.4	51.7	3.7	57.4	71.1

Das Pilotprojekts und seiner Ergebnisse sind auf der Website des IVS-Analysis Coordinators ausführlich beschrieben:

<http://giub.geod.uni-bonn.de/vlbi/IVS-AC/pilot1/index.html>.

Weitere Arbeiten

Weitere Beiträge des DGFI Special Analysis Center sind Vergleiche von Ergebnissen, die aus unterschiedlichen VLBI-Netzen gewonnen wurden, sowie die qualitative Beurteilung zeitlich hoch aufgelöster Erdrotationsparameter, die mit VLBI bestimmt wurden.

D6 Beiträge zum IERS „Global Geophysical Fluids Center“

Das DGFI wird sich über das Special Bureau Ocean (SBO) des Global Geophysical Fluids Center (GGFC) des Internationalen Erdrotations-Dienstes (IERS) an der Berechnung ozeanischer und durch Ozeangezeiten verursachter Einflüsse auf die Erdrotation beteiligen.

Ozeanische Anregung der Erdrotation

Massenverlagerungen in den Weltmeeren bewirken ozeanische Drehimpulsänderungen (Oceanic Angular Momentum, OAM), aus denen die ozeanische Anregungsfunktion χ^{OAM} der Erdrotation zu berechnen ist. Die ozeanische Anregung der Erdrotation wird dabei hauptsächlich aus Beobachtungen der TOPEX/Poseidon-Mission und deren Nachfolgemissionen berechnet und regelmäßig aufdatiert. Zur Zeit stehen am DGFI die 10-tägig abgeleiteten Meereshöhenanomalien ΔH der TOPEX/Poseidon Mission als $1^\circ \times 1^\circ$ -Gitterwerte von Ende 1992 bis Anfang 2001 zur Verfügung. Es wurde ein Programm entwickelt, das alle verfügbaren ΔH durch numerische Integration in 10-tägige Werte der ozeanischen Anregungsfunktion χ^{OAM} transformiert.

Vor der numerischen Integration müssen die sterischen Effekte berücksichtigt und die Genauigkeit der Meereshöhenanomalien abgeschätzt werden. Wegen fehlender Strömungskomponenten an den Gitterpunkten des TOPEX/Poseidon-Modells sind Vergleiche mit neueren Ozeanmodellen, z.B. dem OMCT (Ocean Model with Circulation and Tides), notwendig, um neben dem Anteil durch die Massenverlagerung (Änderung des Trägheitstensor) auch den Anteil durch die Bewegung (Änderung des relativen Drehimpulses) in der ozeanischen Anregung der Erdrotation zu erfassen.

D7 Konzept für einen „International Altimeter Service“

Der in der CSTG-Subkommission „Multi-Mission Satellite Altimetry“ erarbeitete Grundgedanke, verschiedene Entwicklungen der Satelliten-Altimetrie durch einen internationalen Altimeter-Dienst zu bündeln, wurde auf mehreren internationalen Kongressen vorgestellt. Die engen und vielfältigen Beziehungen zwischen Satelliten-Altimetrie und anderen, bereits existierenden internationalen Diensten wie z.B. dem IERS mit IGS, ILRS und dem Büro für „Monitoring Geophysical Fluids“, dem PSMSL oder Elementen von Beobachtungssystemen wie GOOS oder EuroGOOS sprechen für die Entwicklung eines solchen Dienstes.

Defizite bisheriger Altimeterdaten

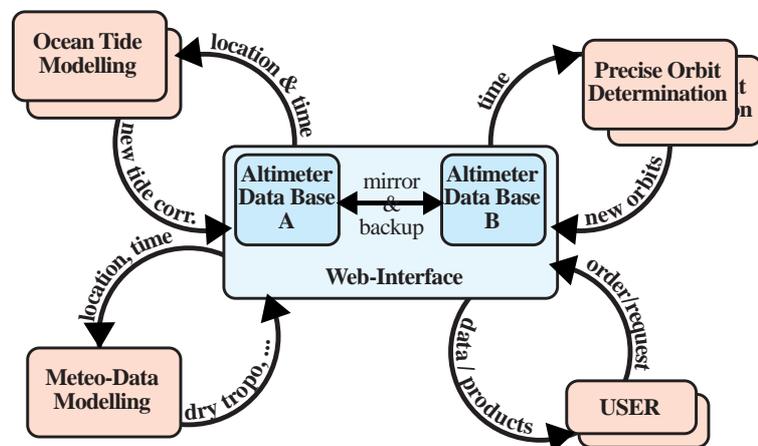
Die Realisierung ist jedoch in mehrfacher Hinsicht schwierig: Die Datenpolitik für Altimeterdaten ist sehr unterschiedlich und nicht immer so offen wie für die Topex/Poseidon-Mission. Bereits existierende Analyse- und Produktzentren wie z.B. AVISO, NOAA, JPL (Pathfinder-Projekt) bieten außerdem bereits Produkte und Dienstleistungen im Sinne eines solchen Dienstes an. Trotzdem bestehen zwei wesentliche Defizite:

1. Das Format-Problem: Jede neue Mission führte mindestens ein neues Datenformat ein. Oftmals entstanden mehrere Formate für eine Mission. Andererseits sind die Anwendungen der Satelliten-Altimetrie so unterschiedlich, dass nahezu jeder Nutzer seine eigenen Format-Anforderungen entwickelt.
2. Das Update-Problem: Die Verarbeitung der Missionsdaten hält nicht Schritt mit der Entwicklung verbesserter Schwerefeldmodelle, neuer Korrektur-Modelle und Algorithmen.

Konzept für eine offene Altimeter-Datenbasis

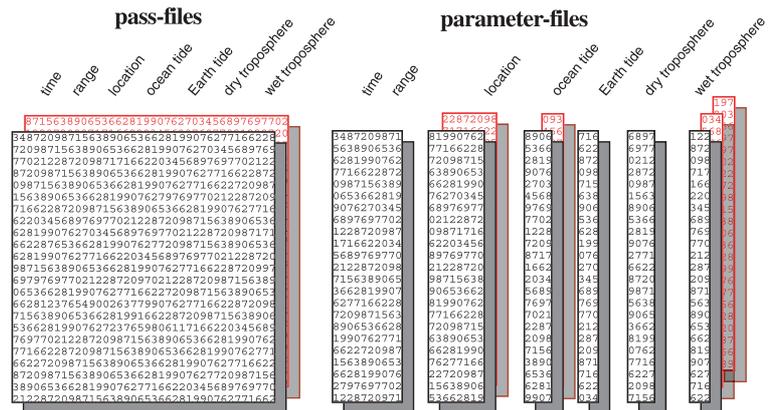
Um diese Defizite aufzuheben, wurde eine missions-unabhängige Datenstruktur entwickelt, die a) eine schnelle update-Fähigkeit besitzt und b) räumlich und zeitlich beschränkte Auszüge ermöglicht, für die der Nutzer selbst Zahl und Reihenfolge der Ausgabeparameter bestimmen kann. Daneben sollen aber auch Standardprodukte für weniger erfahrene Altimeternutzer angeboten werden. Datenauszüge und Produkte sollen über eine Internet-Schnittstelle bestellt werden können.

Abb. D7.1 OpenADB als verteiltes System



Funktionalität, Inhalt, Struktur und Organisation des neuen Konzeptes wurden entworfen. Entscheidend ist der offene Charakter des System-Konzeptes: Externe Gruppen, die präzise Bahnbestimmung oder Gezeiten-Analyse durchführen, können die Ergebnisse ihrer Berechnungen in die neuen Datenstrukturen einfügen, ohne andere Datenbestände ändern zu müssen (siehe Abb. D7.1). Damit können der Altimeter-Dienst stark modularisiert und die Rechenleistung eines verteilten Systems genutzt werden. Grundlegend ist dafür die Aufspaltung der bisherigen Dateien in sogenannte Parameter-Dateien (siehe Abb. D7.2).

Abb. D7.2 Struktur der bisherigen Pass-Dateien (links) und Konzept der neuen Parameter-Dateien (rechts), die nur diejenigen Parameter enthalten, die durch ein dediziertes Programm erzeugt bzw. aktualisiert werden



Prototyp-Entwicklung

Bisher wurde eine Prototyp entwickelt, der die postulierte Funktionalität aufweist und folgende Komponenten enthält:

- Datenbanksystem zur Verwaltung der Datenstrukturen und der Metadaten;
- Web-Interface, um Nutzeranforderungen für Datenauszüge und Produkte entgegen zu nehmen;
- Programme und Skripten, um Datenauszüge mit nutzerspezifischen Datenstrukturen zu erzeugen;
- Programme zur Aktualisierung von Parameter-Dateien;
- Interface-Programme, um existierende Datenbestände in die neuen Strukturen zu überführen.

Systemkomponenten

Die Datenbank wurde mit MySQL realisiert. Das Web-Interface beruht auf einem Linux-Betriebssystem mit Apache Web-Server und dynamischen HTML-Seiten mit PHP-Skripten zur Datenbankankündigung. Die Datenauszüge werden mit einem erfolgreich erprobten C-Programm erstellt, das durch PERL Skripte gesteuert wird. TOPEX/Poseidon Missions-Daten wurden bereits in die neue Datenstruktur überführt. Als Beispiel für eine aktualisierte Parameter-Datei wurden mit dem Gezeitenmodell GOT99.2 neue Korrekturen der Meeresgezeiten berechnet.

Die Fertigstellung des Web-Interfaces steht unmittelbar bevor. Der Prototyp soll dann intensiv durch einen kleinen Kreis von Experten getestet werden, um die Erfahrungen für die weitere Entwicklung zu nutzen.

D8 GPS Permanentstationen



Abb. D8.1 GPS-Antenne mit Radom an der neuen Permanentstation in Tórshavn

Das DGFI hat in den Jahren 1998 und 2000 in Südamerika fünf GPS Permanentstationen (Maracaibo/Venezuela, Bahia Blanca und Rawson/Argentinien sowie Bogotá und Cartagena/Kolumbien) installiert. Diese Stationen werden vom DGFI in Zusammenarbeit mit südamerikanischen Institutionen betrieben (Universidad del Zulia, Maracaibo, Universidad Nacional, La Plata, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá). Die Messdaten werden über Internet direkt vom DGFI abgerufen und im Rahmen des regionalen IGS Analysezentrams (RNAAC-SIR, siehe Projekt D2) verarbeitet. Daneben dienen die Stationen zur Überwachung der Höhen nahegelegener Pegel in den Projekten EVAMARIA (Maracaibo und Cartagena, siehe Projekt B3) und SIRVEMAS (Bahia Blanca und Rawson, siehe Projekt A5).

Anfang 2001 wurde eine neue Permanentstation in Tórshavn auf den Färöer Inseln eingerichtet (siehe Abbildung D8.1). Die Station befindet sich auf dem Gebäude der Ballonsondenstation des dänischen Wetterdienstes in 1,5 km Entfernung zu dem zu überwachenden Pegel. Die Zentrierung Pegel - Permanentstation wurde gemessen. Es besteht eine vertragliche Vereinbarung mit dem Hausherrn, dem Dänischen Meteorologischen Institut. Da kein Internetanschluss für die tägliche Datenübertragung zur Verfügung gestellt werden konnte, musste ein eigener Telefonanschluss eingerichtet werden.

Seit ihrer Inbetriebnahme arbeiten die Stationen Maracaibo (Febr.1998), Bogota (Febr. 2000), Rawson (Nov. 1999), Bahia Blanca (Dez. 1998), Tórshavn (Febr. 2001) ohne große Ausfälle. Lediglich von der Station Cartagena (Jan. 2000) konnten wegen eines Glasfaserbruchs zwischen Permanentstation und Server zwischen Juni 2001 und September 2001 keine Daten abgezogen werden.

Alle an Pegeln installierte Permanentstationen des DGFI wurden in das IGS Pilotprojekt „GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring“ (TIGA) eingebracht. Dieses Projekt soll global die Höhenbewegungen von Pegeln überwachen, um die registrierten Wasserstandsänderungen in vertikale Erdkrustendeformationen und Meeresspiegelvariationen trennen zu können.

Weitere in dem Projekt TIGA vorgesehene Stationen des DGFI sind Mar del Plata (Argentinien) und Carupano (Venezuela).

E: Informationsdienste und wissenschaftlicher Transfer

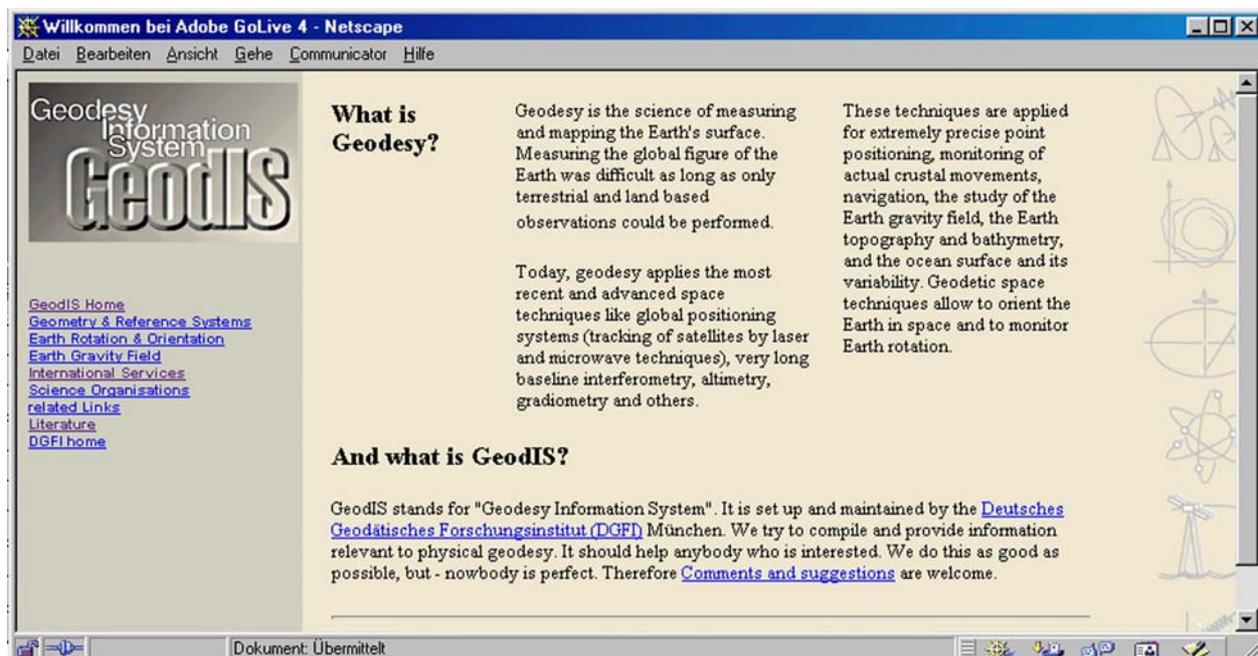
Um Forschungsarbeiten und -ergebnisse innerhalb des wissenschaftlichen Umfelds sowie in der Öffentlichkeit bekannt und zugänglich zu machen, sind diese in geeigneter Weise aufzubereiten. Neben den Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Reihen unterhält das DGFI ein Informationssystem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

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

E1 Geodätisches Informationssystem GeodIS

GeodIS ist ein Fachinformationssystem, das seit einigen Jahren vom DGFI laufendgehalten wird. Es stellt Informationen für die wichtigsten Bereiche der Physikalischen Geodäsie (Geometrie und Referenzsysteme, Erdrotation und Orientierung, Schwerfeld) zusammen und bietet Übersichten von relevanten wissenschaftlichen Organisationen und den für die Geodäsie bedeutenden internationalen Diensten. Soweit verfügbar, wurden Verweise auf die Startseiten der Organisationen und Dienste gesetzt, um Interessenten einen schnellen Zugang zu Informationen und Daten zu bieten. Das Layout der HTML-Seiten wurde für eine verbesserte Navigation so umgestaltet, dass ein seitlicher Rahmen mit der übergeordneten Gliederungs-Struktur des GeodIS auch nach einem Wechsel zu einer anderen Seite sichtbar bleibt. Viele Verweise auf externe Seiten wurden aktualisiert. Die Einstiegsseite des GeodIS ist <http://www.dgfi.badw.de/~geodis>.

Abb. E1.1 Die Startseite des GeodIS



E2 DGFI Home Page

Die DGFI Home Page wurde vollständig vom Geodätischen Informationssystem GeodIS getrennt und wird jetzt durch eine eigenständige Struktur der HTML-Seiten verwaltet. Die Darstellung im Internet soll helfen, die Forschungsarbeiten und -ergebnisse des DGFI bekannt und zugänglich zu machen. Das derzeitige Forschungsprogramm des Instituts wird dargestellt, nationale und internationale Projekte, an denen das DGFI beteiligt ist, sind aufgeführt und seit kurzem wurden auch die Beiträge des Instituts an den wissenschaftlichen Diensten skizziert.

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

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

E3 Intranet

Zur Bearbeitung der in den Abschnitten A bis D beschriebenen Projekte ist eine funktionierende Rechnerinfrastruktur unabdingbar. Das betrifft die Ausstattung mit Rechenleistung und die Verfügbarkeit von ausreichend Plattenplatz zur Speicherung von Daten und Ergebnissen. Eine leistungsfähige Internet-Anbindung vervollständigt diese Konfiguration.

DGFI Intranet

Das Intranet des DGFI dient der Verknüpfung der Rechner untereinander und dem Informationsaustausch innerhalb der Arbeitsgruppen und zwischen den Mitarbeitern. Die Mehrzahl der Arbeitsplatzrechner und alle Server (Dual Prozessor Systems) sind PC's mit Linux als Betriebssystem. Die wenigen Windowsrechner greifen über Terminal-Emulationen auf die Server zu. Abbildung E3.1 zeigt die aktuelle Struktur des DGFI Intranet, einschließlich der Anbindung an das Internet über das Leibniz-Rechenzentrum.

Die verschiedenen Möglichkeiten von Linux, eine verteilte Rechenumgebung aufzubauen, unterstützen den Betrieb des Netzes. Durch NFS (Network File System) kann ohne Probleme auf verteilte Datenbestände zugegriffen werden. NIS (Network Information System) erlaubt eine einfache Benutzerverwaltung und X11 erleichtert das verteilte Rechnen. Darüber hinaus kann mit Hilfe von Datenbanken und Web-Servern leicht ein Informationssystem aufgebaut und unterhalten werden.

Ein Web-, Mail- und FTP-Server dient der Anbindung des DGFI an das Internet. Zusätzlich kann auch jeder Mitarbeiter mit Webbrowsern, FTP-Clients oder Terminal-Emulatoren direkt auf das Internet zugreifen.

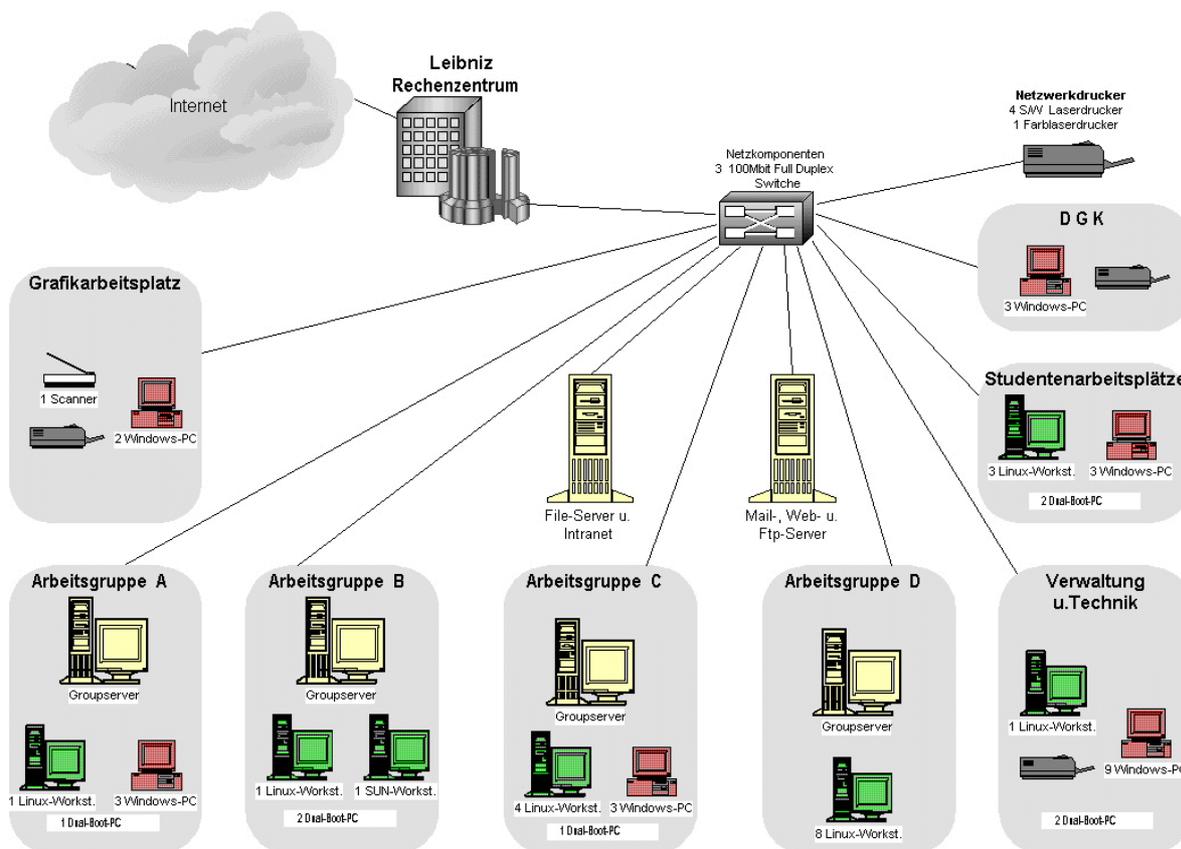


Abb. E3.1 Systemkonfiguration am DGFI.

Datenhaltung

Bei der großen Menge wichtiger Daten, die fortlaufend am DGFI anfallen, ist ein Konzept zur kurz-, mittel- und langfristigen Datenhaltung erstellt worden. Kurzfristig werden Daten auf den Festplatten der einzelnen Server und Arbeitsplatzrechner gespeichert.

Die mittelfristige Datensicherung erfolgt entweder durch Kopie der Daten auf den Archiv-Server oder durch Speicherung auf 4-mm- oder 8-mm-Magnetbändern. Der Archiv-Server dient auch als Sicherung wichtiger Daten während der Prozessierung. Die Sicherung wird meist mit Hilfe des Programms RSYNC, das eine Spiegelung ganzer Verzeichnisse ermöglicht, durchgeführt.

Die langfristige Sicherung der Daten erfolgt entweder durch Brennen auf CD-ROM oder durch Übertragung der Daten auf das Archivierungs- und Backupsystem TSM (Tivoli Storage Manager) des Leibniz-Rechenzentrums. Im Berichtszeitraum wurden ca. 100 CD-ROM's gebrannt. Die aktuelle Belegung des TSM-Systems mit Daten des DGFI beträgt zur Zeit ca. 7,8 Mio. Dateien von insgesamt 1,77 TByte Umfang.

E4 Veröffentlichungen

ALTAMIMI, Z., D. ANGERMANN, D. ARGUS, G. BLEWITT, C. BOUCHER, B. CHAO, H. DREWES, R. EANES, M. FEISSEL, R. FERLAND, T. HERRING, B. HOLT, J. JOHANNSON, K. LARSON, C. MA, J. MANNING, C. MEERTENS, A. NOTHNAGEL, E. PAVLIS, G. PETIT, J. RAY, J. RIES, H.-G. SCHERNECK, P. SILLARD, M. WATKINS: The terrestrial reference frame and the dynamic Earth. *EOS* (82), 273-279, 2001.

ANGERMANN, D.: DGFI Associate Analysis Center. In: Pearlman, M., L. Taggart (Eds.): International Laser Ranging Service 1999 Annual Report, NASA/TP-2000-209969, 175-177, 2000.

BECKER, M., E. REINHART, S. B. NORDIN, D. ANGERMANN, G. MICHEL, C. REIGBER: Improving the velocity field in South and South-East Asia: The third round of GEODYSSSEA. *Earth Planets Space*, 52, 721-726, 2000.

BOSCH, W.: CSTG Subcommission on Multi-Mission Satellite-Altimetry (ScoMMSA). IAG CSTG Bulletin No. 16, 59-61, Munich 2000.

BOSCH, W.: On the computation of derivatives of Legendre Functions. *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, Vol. 25, No. 9-11, 655-659, 2000.

BOSCH, W.: EOF-Analysen der Meeresspiegelschwankungen im Pazifik. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Heft 2, 74-81, 2001.

CAROSIO, A., H. KUTTERER (Eds.): Proceedings of the First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry - Report No. 295, 2001.

DREWES, H.: The new structure of CSTG 1999-2003. IAG CSTG Bulletin No. 16, 7-16, Munich 2000.

DREWES, H.: The unified height reference system for the Americas. Seventh United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas, E/CONF.93/INF.14, 2001.

DREWES, H., W. BOSCH, H. HORNIK (Eds.): Commission VIII - International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Status and Program 1999-2003. IAG CSTG Bulletin No. 16, Munich 2000.

KANIUTH, K.: The EUREF permanent network: Ocean tide loading, height and troposphere estimates. *Veröff. BEK*, Nr. 61, 69-74, 2000.

KUHN, M.: The influence of different crust models on the gravity field of the Earth. *Bollettino di Geofisica Teoretica et Applicata*, Vol. 40, No. 3-4, 2000.

KUTTERER, H.: Zur Behandlung von Ungewissheit bei der Analyse geodätischer Daten. *Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik*, Heft 3, 129-131, 2001.

KUTTERER, H.: An imprecise search space for GPS phase ambiguity parameters. In: Carosio, A., H. Kutterer (Eds.): Proceedings of the First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry - Report No. 295, 215-220, 2001.

KUTTERER, H.: Uncertainty assessment in geodetic data analysis. In: Carosio, A., H. Kutterer (Eds.): Proceedings of the First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry - Report No. 295, 7-12, 2001.

MICHEL, G. W., M. BECKER, D. ANGERMANN, C. REIGBER, E. REINHART: Crustal motion in E- and SE-Asia from GPS measurements. *Earth Planets Space*, 52, 713-720, 2000.

SCHMIDT, M.: Grundprinzipien der Wavelet-Analyse und Anwendungen in der Geodäsie. *Habilitationsschrift*, Shaker Verlag, Aachen, 2001.

- SCHMIDT, M.: Wavelet analysis of stochastic signals. In: IERS Technical Note No. 28, 65-71, 2000.
- SCHMIDT, M.: Wavelet-Analyse von Erdrotationsschwankungen. Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 2, 94-100, 2001.
- SCHMIDT, M., H. SCHUH: Abilities of wavelet analysis for investigating short-period variations of Earth rotation. In: IERS Technical Note No. 28, 2000, 73-80, 2000.
- SCHÖN, S., H. KUTTERER: Intervallmathematische Behandlung von Unsicherheiten in geodätischen Messungen. Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik, Heft 3, 132-135, 2001.
- SCHÖN, S., H. KUTTERER: Interval-based description of measurement uncertainties and network optimization. In: Carosio, A., H. Kutterer (Eds.): Proceedings of the First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry - Report No. 295, 41-46, 2001.
- SCHUH, H., H. SCHMITZ-HÜBSCH: Short period variations in Earth rotation as seen by VLBI. Surveys in Geophysics (21), 499-520, 2000.
- SEEMÜLLER, W., H. DREWES: Annual Report 1999 of RNAAC SIRGAS, 1999 Technical Reports, IGS Central Bureau, Pasadena, CA, Jet Propulsion Laboratory, 2000.
- SEEMÜLLER, W.: EDC Report. In: Pearlman, M., L. Taggart (Eds.): 1999 Annual Report, NASA/TP-2000-209969, 148-150, May 2000.
- SEITZ, F.: Charakterisierung eines bistatischen Rayleigh- und Raman-Lidars zur Bestimmung von höhen aufgelösten Wasserdampfprofilen. IAPG/FESG No. 10, München, 2000.
- TESMER, V., H. KUTTERER, H. DREWES: DGFI Analysis Center Annual Report. In: Vandenberg, N., K. Baver (Eds.): International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2000 Annual Report, NASA/TP-2001-209979, 215-217, 2001.
- TESMER, V., H. SCHUH: Comparison of the results obtained by different VLBI networks. In: Tomasi, P., F. Mantovani, M. Perez Torres (Eds): Proceedings of the 14th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Istituto di Radioastronomia, Bologna, 7-12, 2000.
- TORRES A.J., H. HORNIK (Eds.): International Association of Geodesy / Section I - Positioning; Subcommittee for Europe (EUREF), Publication No. 9: Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF) held in Tromsø, 22-24 June 2000 / Reports of the EUREF Technical Working Group, Veröff. BEK, Nr. 61, 2000

E5 Vorträge und Poster

ACUÑA, G.: Correlation between multi-mission altimetric series and tide gauge registrations in the Caribbean Sea. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

ACUÑA, G., W. BOSCH, M. HOYER, E. WILDERMANN, J. HERNANDEZ: Investigations on the height system of Venezuela and the South Caribbean sea surface topography. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).

ANGERMANN, D.: The DGFI SLR Solution for ITRF 2000. ITRF 2000 Workshop, Paris, France, 02.11.2000.

ANGERMANN, D.: Contribution of individual space techniques for the realization of vertical reference systems. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

ANGERMANN, D.: Geocenter variations derived from SLR data to Lageos-1 and Lageos-2. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.09.2001.

ANGERMANN, D.: Combination of VLBI, SLR and GPS solutions for ITRS realization. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.09.2001.

ANGERMANN, D.: International Laser Ranging Service. Geodätische Woche, Köln, 21.09.2001.

BOSCH, W.: Estimating and monitoring the sea surface topography. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 22.02.2001.

BOSCH, W.: Comparison of altimetric sea level time series and tide gauge registrations. APSG-Workshop, University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 24.04.2001.

BOSCH, W.: Low frequency sea level variations in the North Atlantic. APSG-Workshop, University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 24.04.2001.

BOSCH, W.: Concept for a unified multi-mission altimeter data base (OpenADB). APSG-Workshop, University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 24.04.2001.

BOSCH, W.: Concept for a unified multi-mission altimeter data base (OpenADB). IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 06.09.2001.

BOSCH, W., G. ACUÑA, C. BRUNINI, R. MATURANA, R. LUZ, L. SANCHEZ: Connecting sea level and height systems along the coast of South America - a first assessment. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).

BOSCH, W., G. ACUÑA, R. KANIUTH: Caribbean sea level variability from Topex/Poseidon altimetry. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20.-23.02.2001 (Poster).

BOSCH, W., H. DREWES, P. HÄFELE, K. KANIUTH, R. KANIUTH, M. KUHN, K. STUBER, H. TREMEL: The EVAMARIA Project: Identification and verification of sea level anomalies in the North Atlantic. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20.-23.02.2001 (Poster).

BOSCH, W., H. DREWES, P. HÄFELE, K. KANIUTH, R. KANIUTH, M. KUHN, K. STUBER, H. TREMEL: The EVAMARIA Project: Absolute trend and low frequency variations of the North Atlantic sea level. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).

BOSCH, W., P. HÄFELE, K. KANIUTH: GPS estimates of vertical crustal movements for sites around the North Atlantic Ocean. CGPS@TG Workshop, Hawaii Institute of Geophysics and Planetology, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 23.-27.04.2001 (Poster).

DILL, R.: Untersuchung hydrologischer Einflüsse auf die Rotation der Erde. DFG-Rundgespräch „Rotation der Erde“, Höllenstein, Wetzell, 09.03.2001.

DREWES, H.: Einrichtung eines einheitlichen kontinentalen Höhenbezugssystems für Südamerika. 17. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, Stuttgart, 13.10.2000.

DREWES, H.: Realization of the geodetic no net rotation reference frame - APKIM10. ITRF Workshop, Paris, France, 02.11.2000.

DREWES, H.: Die Arbeiten des DGFI in den Jahren 1999/2000. Jahresvollsitzung der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK), München, 23.11.2000.

DREWES, H.: Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

DREWES, H.: Curso "Sistemas de Referencia". IGAC/CIAF Bogotá, Colombia, 05.-09.03.2001.

DREWES, H.: Sistemas de Referencia geodésicos. Sociedad Cartográfica de Colombia, Bogotá, Colombia, 15.03.2001.

DREWES, H.: Geodätische Referenzsysteme und ihre Realisierung durch die Dienste der IAG. INTERGEO, Köln, 20.09.2001.

DREWES, H.: IUGG und IAG, Aufgaben und Organisation. Geodätische Woche, Köln, 21.09.2001.

DREWES, H., D. ANGERMANN: The actual plate kinematic and crustal deformation model 2000 (APKIM 2000) as a geodetic reference system. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).

DREWES, H., J. N. HERNANDEZ, M. HOYER, K. KANIUTH, L. SANCHEZ: Überwachung der Höhen von Meeresspiegeln an der Karibik- und Pazifikküste Südamerikas. 17. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, Stuttgart, 11.-13.10.2000 (Poster).

HÄFELE, P.: Vertical crustal movements of tide gauge sites around the North Atlantic Ocean. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 22.02.2001.

HÄFELE, P.: Analysis of time series of GPS height estimates with regard to atmospheric pressure loading. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

HÄFELE, P.: GPS based estimates of heights and vertical velocities for tide gauge sites around the North Atlantic Ocean. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.09.2001.

KANIUTH, K.: Processing of the SIRGAS 2000 GPS network at DGFI. IAG Symp. Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

KANIUTH, K.: The impact of antenna radomes on height estimates in regional GPS networks. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 23.02.2001.

KANIUTH, K.: Effects of atmospheric pressure loading on the EUREF network. EUREF Symposium, Dubrovnik, Croatia, 17.05.2001.

KANIUTH, K.: Results of the SIRGAS 2000 GPS network processing at DGFI. SIRGAS committee meeting, Budapest, Hungary, 06.09.2001.

KANIUTH, K., H. DREWES, H. TREMEL, J. N. HERNÁNDEZ, M. HOYER: Krustendeformationen an der Boconó-El Pilar Verwerfung in Venezuela aus GPS-Messungen im CASA-Projekt. 17. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, Stuttgart, 11.-13.10.2000 (Poster).

KANIUTH, K., H. TREMEL, H. DREWES: Results of the unified vertical GPS reference network for the Americas (SIRGAS 2000) processing at DGFI. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 02.-07.09.2001 (Poster).

KELM, R.: ILRS Pilot Project (3): Analysis of solutions. ILRS AWG Meeting, Matera, Italy, 09.-10.11.2000.

KELM, R.: ILRS AWG Pilot Project "Position + EOP": Analysis-comparison and combination. ILRS Analysis Working Group, Nice, France, 22.-23.03.2001.

KELM, R.: Towards an automated unification of solutions with identical observations. EGS XXVI General Assembly, Nice, France, 26.-30.03.2001. (Poster)

- KELM, R.: Pilot Project 5A: Comparison and assessment of solutions by internal criteria. ILRS AWG meeting, Toulouse, France, 18.09.2001 (presented by H. Müller).
- KUHN, M.: Geoid variations due to mean sea-level variations. IAG Symposium on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20-23.02.2001 (Poster).
- KUHN, M.: Low frequency variations of the North Atlantic sea level. EGS XXVI General Assembly, Nice, France, 26.03.2001.
- KUHN, M.: On the indirect effect of Helmert's condensation methods in precise geoid determination. EGS XXVI General Assembly, Nice, France, 30.03.2001.
- KUHN, M.: Sea level variations in the North Atlantic. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.09.2001.
- KUHN, M., W. BOSCH: The effect of mean sea level change on the geoid. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).
- KUTTERER, H.: Tutorial on fuzzy logic. First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Zürich, Switzerland, 12.03.2001.
- KUTTERER, H.: Uncertainty assessment in geodetic data analysis. First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Zürich, Switzerland, 13.03.2001.
- KUTTERER, H.: An imprecise search space for GPS phase ambiguity parameters. Proceedings of the First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Zürich, Switzerland, 15.03.2001.
- KUTTERER, H.: Non-probabilistic assessment in geodetic data analysis. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).
- KUTTERER, H.: Alternativen für die Modellierung von Ungewißheit bei der Analyse geodätischer Daten. Geodätische Woche 2001, Köln, 21.09.2001.
- KUTTERER, H., V. TESMER: Subdiurnal EOP from VLBI networks - determinability and significance. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).
- MEYER F., F. SEITZ, J. MÜLLER: An algorithm for reliable normal point calculation of noisy LLR measurements. 8th International Symposium on Remote Sensing, Toulouse, France, 17.-21.09.2001 (Poster).
- MÜLLER, H.: ILRS pilot project 5A: DGFI solution for station coordinates and EOP, ILRS AWG Meeting, Toulouse, France, 17.09.2001.
- POPINSKI, W., W. KOSEK, H. SCHUH, M. SCHMIDT: Comparison of two wavelet transform coherence and cross-covariance functions applied on polar motion and atmospheric excitation. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).
- RICHTER, B.: Simultaneous estimation of polar motion and nutation parameters. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).
- SÁNCHEZ, L., H. DREWES: Comparison of the classical and the modern vertical reference system in Colombia. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).
- SCHMIDT, M.: Wavelet-Analyse von Zeitreihen. Rundgespräch 'Rotation der Erde', Höllenstein, 08.-09.03.2001.
- SCHMIDT, M.: Computation of geoid undulations from gravity anomalies by means of spherical wavelets. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).
- SCHMIDT, M.: Darstellung von Geoidundulationen mittels sphärischer Wavelet-Funktionen. Geodätische Woche, Köln, 20.09.2001.

SCHMIDT, M., W. MARTINEZ, J. FLOREZ: General scheme for the computation of regional geoid undulations using spherical wavelets. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20.-23.02.2001 (Poster).

SCHMITT, G., B. HECK, U. SCHMIDT, S. SCHÖN, M. VETTER, J. ZIMMERMANN, J. WIESEL, K. FAULHABER, H. KUTTERER: Information system for geodetic deformation analysis with heterogeneous data. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).

SCHMITZ-HÜBSCH, H.: Wavelet-Analysen der Erdrotationsparameter im hochfrequenten Bereich. Rundgespräch 'Rotation der Erde', Höllenstein, 08.03.2001.

SCHMITZ-HÜBSCH, H.: Variationen der Erdrotationsparameter auf verschiedenen Zeitskalen. Geodätische Woche, Köln, 20.9.2001.

SCHMITZ-HÜBSCH, H., H. SCHUH, F. SEITZ, V. TESMER, R. WEBER: Short period oscillations in Earth rotation as seen by different geodetic techniques. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.-06.09.2001 (Poster).

SCHÖN, S., H. KUTTERER: Network optimization with respect to systematic errors. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).

SEEMÜLLER, W.: Status of ILRS/EDC Global Data Center, 12th International Workshop on Laser Ranging, Matera, Italy, 16.11.2000.

SEEMÜLLER, W.: Velocity estimates of the IGS RNAAC SIR stations. IAG Symp. on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 22.02.2001.

SEEMÜLLER, W.: ILRS data center report, ILRS General Assembly, Nice, France, 28.03.2001.

SEEMÜLLER, W.: ILRS data formats & procedures, working group report, ILRS General Assembly, Nice, France, 28.03.2001.

SEEMÜLLER, W., K. KANIUTH, H. DREWES: Horizontal and vertical movements of the IGS regional reference network for South America. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 03.-04.09.2001 (Poster).

SEITZ, F.: Einführung ozeanischer und atmosphärischer Anregungsfunktionen in ein Kreiselmodell der Erde. Rundgespräch 'Rotation der Erde', Höllenstein, 09.03.2001.

SEITZ, F.: Numerical solutions for the non-linear Liouville equation. IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 05.09.2001.

SEITZ, F.: A Bistatic Rayleigh- and Raman-Lidar system for application in atmospheric sounding. 8th International Symposium on Remote Sensing, Toulouse, France, 18.09.2001.

SEITZ, F., M. THOMAS, J. STUCK: A gyroscopic model for rotational dynamics of the Earth, XXVI EGS General Assembly, Nice, France, 25.-30.03.2001 (Poster).

SEITZ, F., H. SCHMITZ-HÜBSCH: Die Polbewegung der Erde aus einem Kreiselmodell. Geodätische Woche, Köln, 18.-21.09.2001 (Poster).

TESMER, V.: Status report of DGFI Special Analysis Center. IVS Analysis Workshop, Greenbelt, Washington D.C., USA, 12.02.2001.

TESMER, V.: Untersuchung der mit VLBI gemessenen Erdrotationsparameter. DFG-Rundgespräch „Rotation der Erde“, Höllenstein/Wetzell, 08.03.2001.

TESMER, V.: Reassessment of highly resolved EOP determined with VLBI. 15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Barcelona, Spain, 07.09.2001.

TITOV, O., J. BÖHM, V. TESMER, H. SCHUH: Version 5.0 of the OCCAM VLBI software. IVS Analysis Workshop, Greenbelt, Washington D.C., USA, 12.02.2001 (Poster).

TITOV, O., J. BÖHM, V. TESMER, H. SCHUH: Version 5.0 of the OCCAM VLBI software. XXVI EGS General Assembly, Nice, France, 28.03.2001 (Poster).

E6 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Gremien

International Council for Science (ICSU)

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

International Association of Geodesy (IAG)

- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG) (President: Dr. H. Drewes)
- Commission VIII: International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), Subcommission on Multi-Mission Satellite Altimetry (Chairman: Dr. W. Bosch)
- Commission X: Global and Regional Geodetic Networks, Subcommission for Europe (EUREF) (Secretary: H. Hornik)
- Commission X: EUREF-Technical Working Group (H. Hornik)
- Commission X: Working Group 2: The Use of GPS and IGS for ITRF Densification (K. Kaniuth)
- Special Commission 1, Subcommission 1: Statistics and Optimization (Dr. H. Kutterer)
- Special Commission 8: Sea Level and Ice Sheets (Dr. H. Drewes)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Governing Board (Dr. H. Drewes, W. Seemüller)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Analysis Working Group (Dr. D. Angermann, Dr. R. Kelm, H. Müller)
- International Laser Ranging Service (ILRS): Data Formats and Procedures Working Group (Substitute chairman: W. Seemüller)
- Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (SIRGAS, IAG-Representative: Dr. H. Drewes)
- Special Study Group 4.187: Wavelets in Geodesy and Geodynamics (Dr. M. Schmidt)
- Special Study Group 4.191: Theory of Fundamental Height Systems (Dr. H. Drewes)
- Special Study Group 3.167: Regional Land and Marine Geoid Modelling (Dr. M. Kuhn)
- Special Study Group 3.177: Synthetic Modelling of the Earth's Gravity Field (Dr. M. Kuhn)
- Special Study Group 4.188 Mass Density from Joint Gravity Modelling (Dr. M. Kuhn)
- Special Study Group 4.190: Non-probabilistic assessment in geodetic data analysis (Chairman: Dr. H. Kutterer)

European Space Agency (ESA)

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

Consortium of European Laser Stations EUROLAS

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

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

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

Deutsche Geodätische Kommission (DGK)

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

Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS)

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

E7 Teilnahme an Tagungen, Symposien, Konferenzen

- EUREF Technical Working Group Meeting, Lisboa, Portugal, 9.-10.10.2000 (Hornik)
17. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, Stuttgart, 11. - 13.10.2000 (Drewes)
- ITRF Workshop, Paris, France, 02.-03.11.2000 (Angermann, Drewes)
- 12th International Workshop on Laser Ranging, Matera, Italy, 13.-17.11.2000 (Seemüller)
- Jahresvollsitzung der DGK, München, 23.-24.11.2000 (Drewes, Hornik)
- ESA RA2 Science Advisory Group, ESTEC Noordwijk, Netherlands, 27.11.2000 (Bosch)
- 7th United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas, New York, USA, 22.-26.01.2001 (Drewes)
- IVS Analysis Workshop, Greenbelt, Washington D.C., USA, 12.-14.02.2001 (Tesmer)
- IAG Symposium on Vertical Reference Systems, Cartagena, Colombia, 20.-23.02.2001 (Acuña, Angermann, Bosch, Drewes, Häfele, Kaniuth, Schmitz-Hübsch, Seemüller)
- DFG-Rundgespräch „Rotation der Erde“, Höllenstein, 08.03.-09.03.2001 (Dill, Kutterer, Schmidt, Schmitz-Hübsch, Seitz, Tesmer)
- First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS. Zürich, Schweiz, 12.03.-16.03.2001 (Kutterer)
- EUREF Technical Working Group Meeting, München, 15.-16.03.2001 (Hornik)
- EGS XXVI General Assembly, Nice, France, 25.-30.03.2001 (Drewes, Kelm, Kuhn, Seemüller, Seitz)
- ILRS Analysis Working Group Meeting, Nice, France, 22.-23.03.2001 (Kelm)
- ILRS Governing Board, Nice, France, 27.03.2001 (Seemüller)
- ILRS General Assembly, Nice, France, 28.03.2001 (Seemüller)
- CSTG Executive Committee Meeting, Nice, France, 28.03.2001 (Drewes)
- IAG Commission XIV "Crustal Deformation" Meeting, Nice, France, 28.03.2001 (Drewes)
- ITRF Working Group Meeting, Nice, France, 28.03.2001 (Drewes)
- IERS Global Geophysical Fluids Center Meeting, Nice, France, 28.03.2001 (Drewes, Seitz)
- IAG Executive Committee Meeting, Nice, France, 29.-30.03.2001 (Drewes)
- Asian-Pacific Sea Level and Geodynamics (APSG) Workshop. University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, 23.-24.04.2001 (Bosch)
- Klaus Wyrтки Symposium. University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 23.-24.04.2001 (Bosch)
- Continuous GPS at Tide-Gauges (CGPS@TG)-Workshop. University of Hawaii Sea Level Center, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 25.04.2001 (Bosch)
- 7th Meeting of GLOSS Experts. Hawaii Institute of Geophysics and Planetology, Univ. Hawaii, Honolulu, USA, 26.-27.04.2001 (Bosch)
- EUREF TWG Meeting, Dubrovnik, Croatia, 15.05.2001 (Hornik)
- EUREF Symposium, Dubrovnik, Croatia, 16.-19.05.2001 (Hornik, Kaniuth)
- IAGA-IASPEI Joint Scientific Assembly, Hanoi, Vietnam, 23.-29.08.2001 (Drewes)

IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 02.-07.09.2001 (Acuña, Angermann, Bosch, Drewes, Häfele, Kaniuth, Kuhn, Kutterer, Richter, Schmidt, Schmitz-Hübsch, Seitz, Seemüller)

15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Barcelona, Spain, 07.-08.09.2001 (Tesmer)

GOCE-Workshop, Universität Bonn, 17.-18.09.2001 (Bosch)

INTERGEO/Geodätische Woche, Köln, 18.-21.09.2001 (Angermann, Drewes, Kutterer, Schmidt, Schmitz-Hübsch)

6th International Symposium on Remote Sensing, Toulouse, France, 17.-21.09.2001 (Seitz)

ILRS Analysis Working Group Workshop, Toulouse, France, 17.-18.09.2001 (Müller)

ILRS Mission Working Group Workshop, Toulouse, France, 19.09.2001 (Müller)

E8 Gäste

- 13.10.-17.10.2000: Prof. M. Hoyer, Univ. del Zulia, Maracaibo, Venezuela
- 13.10.- 20.10.2000: R. Luz, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasilien
- 16.10.2000: Prof. J. Sündermann, M. Thomas, Universität Hamburg
- 16.10.2000: Prof. A. Hense, J. Stuck, Universität Bonn
- 16.10.-15.12.2000: R. Maturana, H. Parra, Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile
- 16.10.-15.12.2000: P. Natali, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien
- 20.10.-24.10.2000: L. Sánchez, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Kolumbien
- 23.11.2000: Prof. H. Henneberg, Univ. del Zulia, Maracaibo, Venezuela
- 16.02.2001: Prof. Werner Gurtner, Universität Bern, Schweiz
- 05.06.-13.06.2001: Prof. C. Brunini, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien
- 10.09.-21.09.2001: Dr. S. Costa, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasilien.
- 10.09.-11.09.2001: Prof. S. de Freitas, Univ. Curitiba, Brasilien
- 11.09.-12.09.2001: N. Hernandez, Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, Caracas, Venezuela
- 11.09.-12.09.2001: A. Diaz, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentinien
- 11.09.-09.10.2001: P. Natali, Univ. Nacional de La Plata, Argentinien
- 14.09.2001: A. Hermosilla, Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile

F: Personelles

F1 Personalbestand

Im Berichtszeitraum 2000/2001 waren am DGFI (einschl. DGK-Geschäftsstelle) beschäftigt:

- aus der Grundausrüstung

- 13 wissenschaftliche Angestellte
- 11 technische und Verwaltungsangestellte
- 2 Arbeiter
- 10 studentische Hilfskräfte mit durchschnittlich 258 Std./Jahr
- 3 Praktikanten
- 2 geringfügig Beschäftigte

- aus Drittmitteln

- 7 wissenschaftliche Angestellte
- 7 studentische Hilfskräfte

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

F2 Lehraufträge

Folgende Lehraufträge wurden von Mitarbeitern des DGFI wahrgenommen:

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

Hon.-Prof. Dr. H. Drewes: "Geodynamik", Univ. Bw. München

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

F3 Habilitationen und Promotionen

Folgende Habilitationen und Promotionen von Mitarbeitern des DGFI wurden abgeschlossen:

19.01.2000 Dr.-Ing. M. Schmidt: Grundprinzipien der Wavelet-Analyse und Anwendungen in der Geodäsie. Habilitation an der Technischen Universität München.

07.04.2000 Dipl.-Geophys. O. Heidbach: Der Mittelmeerraum. Numerische Modellierung der Lithosphärendynamik im Vergleich mit Ergebnissen aus der Satellitengeodäsie. Promotion an der Ludwig-Maximilians-Universität München.

15.05.2001 Dipl.-Ing. M. Baumgartner: Simultane Schätzung von Schwerefeldkorrekturen und großskaligen Meeresspiegelschwankungen aus Satellitenaltimeterdaten. Promotion an der Technischen Universität München.