

Gemeinsamer CryoSat – GOCE – Workshop am 4.-5. November 2003 bei EADS Astrium in Immenstaad bei Friedrichshafen

Ein weiterer Meilenstein für die wissenschaftliche Nutzung der
beiden ESA Earth Explorer Missionen

Bericht des CryoSat-Projektbüros Deutschland am Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Aus verschiedenen Gründen bot sich die Veranstaltung eines gemeinsamen CryoSat – GOCE – Workshops bei Astrium in Immenstaad an. Insbesondere diente sie der weiteren Abstimmung und Zieldefinition des in Vorbereitung befindlichen DFG-Schwerpunktprogramm „Massentransporte und Massenverteilung im System Erde – Nutzung der neuen Generation von Schwerfeld- und Altimeter-Satellitenmissionen für die Geowissenschaften“. Außerdem werden beide Satelliten bei EADS Astrium in Immenstaad gebaut. Die Integration von CryoSat ist in vollem Gang, und die ersten Teile der GOCE – Struktur sind zur Zeit ebenfalls bereits in der Herstellung. Beide sind ESA – Missionen, und für beide gibt es vom DLR eingerichtete Projektbüros für Deutschland, am AWI in Bremerhaven und am IAPG, TU München.

Die Gelegenheit zum direkten Kontakt zu Astrium ist für die wissenschaftlichen Nutzer besonders interessant; in der Regel läuft ja der gegenseitige Informationsaustausch zwischen Industrie und Wissenschaft immer über die Schnittstelle der ESA. Ein herzliches Dankeschön gilt daher Astrium, insbesondere den Projektmanagern für GOCE und CryoSat, für die Gastfreundschaft, die gute Bewirtung und die Co-Organisation des Workshops. Unmittelbar vor dem Workshop wurde ebenfalls bei Astrium eine Pressekonferenz abgehalten, in welcher die beiden Missionen und ihre Bedeutung für die Erdbeobachtung ansprechend präsentiert wurden.

Natürlich war die Besichtigung von CryoSat im Integrationszentrum von Astrium ein Höhepunkt des Workshops, an welchen sich später sicher alle Teilnehmer erinnern werden, wenn sie CryoSat-Daten nutzen.

Im für GOCE und CryoSat gemeinsamen Teil des Workshops am 4. November wurde ein Überblick über Status und Ziele der beiden Missionen gegeben, insbesondere jeweils für die Teilnehmer aus der Community der anderen Mission. Eine interessante Diskussion ergab sich zu der Frage wie weit das GOCE – Geoid für die Bestimmung oder Verbesserung des Mean Sea Levels für CryoSat von Interesse sein wird. Hier besteht großer Forschungsbedarf, der hoffentlich innerhalb des geplanten DFG-Schwerpunktprogramms realisiert werden kann.

Das Vortragsprogramm, die Abstracts sowie die meisten Präsentationen sind auf den Webseiten <http://www.goce-projektbuero.de> bzw. <http://www.cryosat.de> abrufbar. Im Anhang befinden sich ebenfalls das Tagungsprogramm, die Abstracts sowie eine Teilnehmerliste.

Ein Dankeschön gilt auch den internationalen Gästen aus Großbritannien, Holland und Österreich, welche den Weg nach Immenstaad nicht scheuten.

Im Umfeld des Workshops fand außerdem ein Treffen der Initiatorengruppe zum geplanten DFG-Schwerpunktprogramm (siehe oben) statt. Das Zustandekommen dieses Programms, über welches voraussichtlich im April 2004 entschieden wird, würde Projekten zu wissenschaftlichen Anwendungen beider Missionen einen bedeutenden Schub geben.

Tagungsprogramm

Dienstag 4.11.2003

Gemeinsamer GOCE/CryoSat-Teil

12:30-12:45	Begrüßung und Einführung	
12:45-13:15	Recent advances in ice altimetry and implications for CryoSat	Wingham, UCL
13:45-14:15	What can we learn from CHAMP and GRACE for GOCE and future gravity missions?	Rummel, TUM
14:15-14:45	CryoSat and GOCE mission status and synergies	Rebhan/Haagmans, ESA
14:45-15:15	Pause	
15:15-15:30	GOCE und CRYOSAT in hohen Breiten	Schröter, AWI
15:30-15:45	Zur Rolle der subglazialen Topographie bei der regionalen Geoidbestimmung in Antarktika	Müller/Dietrich, TUD
15:45-16:00	Flugzeuggestützte und bodengebundene Bestimmung von Schwerefeld, Eismassenhaushalt und Krustenstruktur in der Antarktis	Nixdorf, AWI
16:00-16:15	DFG-Schwerpunktprogramm "Massentransporte und Massenverteilung"	Flury, TUM
16:15-16:30	Technischer Stand der CryoSat/GOCE-Mission	Mallow/Woelker, Astrium
16:30-17:30	Besichtigung CryoSat	Mallow, Astrium
abends	Gemeinsames Abendessen in Friedrichshafen	

Mittwoch 5.11.2003**CryoSat-Workshop**

9:00-9:30	Data products & Level 1b/2 Processing	Cullen, UCL
	Aktivitäten und Pläne	
9:30-9:45	Geostatistische Verfahren zur Berechnung eines digitalen Höhenmodells durch die Verknüpfung von Radar-Altimeterdaten und SAR-Daten, angewendet auf das Lambert Gletscher / Amery Eisschelf System	Stosius, Uni TR
9:45-10:00	Einsatzmöglichkeiten von CryoSat Sival-Messungen im Bereich der Antarktischen Halbinsel	Vogt, Uni FR
10:00-10:15	Niederschlagsklimatologie in Polargebieten	Heygster, Uni HB
10:15-10:30	Numerische Untersuchungen elektromagnetischer Reflexionen in Eis und Ableitung der Akkumulationsraten	Eisen, AWI
10:30-10:45	Pause	
10:45-11:00	Assimilation von Meereisdicke und -drift in dynamische Eismodelle	Schröter, AWI
11:00-11:15	Synergien zwischen CryoSat und TerraSAR	König, DLR
	Validierung	
11:15-11:30	Overview of planned Cryosat validation activities for 2003-2006	Davidson, ESA
11:30-11:45	Höhenänderung und Fließgeschwindigkeit im westlichen Randbereich des grönländischen Inlandeises: Das ETH/CU-Projekt als Basis eines terrestrischen Validierungsgebietes für CryoSat	Stober, FHST
11:45-12:00	Konzeption zur CryoSat-Produktvalidierung in der Region Schirmacheroase/Antarktika	Dietrich, TUD
12:00-12:15	CryoSat Landeisvalidierung	Nixdorf, AWI
12:15-12:30	CryoSat Meereisvalidierung	Haas, AWI
12:30-13:45	Mittagspause in der Atrium-Kantine	
	Nutzungskonzept	
13:45-14:15	Diskussion Deutsches Nutzungskonzept	CryoSat-Projektbüro
14:15-14:30	DFG-Schwerpunktprogramm Antarktischforschung	CryoSat-Projektbüro
14:30-15:00	Fördermöglichkeiten in Deutschland	Schmidt, Projektbüro

Abstracts

1. Integration von CryoSat- und GOCE-Messungen

GOCE und CRYOSAT in hohen Breiten

Jens Schröter, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Freibordmessungen von Meereis zur Bestimmung der Eisdicke werden von CRYOSAT erwartet. Die Differenz aus aktueller (geozentrischer) Höhe des Meereises und einer "dynamischen Topographie" (also Ozeanzirkulation und Geoid) ist hierfür die wichtigste Eingangsgröße. Diese dynamische Topographie, die hier nur als Korrektur benötigt wird, ist für die Ozeanographie von großem Interesse. Naturgemäß handelt es sich um die hohen Breiten Gebiete, die nur schwer zugänglich sind, insbesondere im Winter. Die Möglichkeit, Satellitenaltimetrie auch auf eisbedeckte Gebiete auszudehnen ist sehr attraktiv. Gerade die hohen Breiten spielen eine entscheidende Rolle in der Diskussion um die globale Erwärmung und für die Stabilität der großräumigen Ozeanzirkulation.

Flugzeuggestützte und bodengebundene Bestimmung von Schwerfeld, Eismassenhaushalt und Krustenstruktur in der Antarktis

*Uwe Nixdorf, Wilfried Jokat, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven
Reinhard Dietrich, IPG TU Dresden*

Der Vortrag stellt das DFG-Projekt VISA vor (Validierung, Verdichtung und Interpretation von Satellitendaten zur Bestimmung von Magnetfeld, Schwerfeld, Eismassenhaushalt und Krustenstruktur in der Antarktis unter Nutzung flugzeuggestützter und bodengebundener Messungen), das vorbereitende Daten für die GOCE und CryoSat-Missionen gewinnen soll.

In einem großräumigen Gebiet (ca. 1 Mio. km²) im Dronning Maud Land/Antarktika sollen durch Satellitenmissionen gewonnene Informationen über das Erdschwerfeld, aber auch über das Magnetfeld und über Eishöhen validiert werden. Zu diesem Zweck sind flugzeuggestützte und durch Bodenmessungen gewonnene bzw. im Rahmen des Vorhabens zu gewinnende Datensätze (Höhe, Schwere, Magnetik, Eisdicken, Seismik) zu nutzen.

Diese Messungen in Kombination mit den Satellitendaten dienen auch zur Verfeinerung der Potentialfeldmodelle (Schwere, Magnetik), zur Modellierung von Krustenstruktur und Lithosphärendynamik sowie zur Erfassung von Dynamik und Massenbilanz des antarktischen Eiskörpers im Arbeitsgebiet.

Zur Rolle der subglazialen Topographie bei der regionalen Geoidbestimmung in Antarktika

Jan Müller, M. Scheinert, R. Dietrich, IPG TU Dresden

Die gegenwärtigen Satellitenmissionen bringen eine enorme Genauigkeitssteigerung bei der globalen Geoidbestimmung sowie bei der Erfassung zeitlicher Änderungen des Schwerefeldes (CHAMP, GRACE) mit sich. Darüberhinaus soll die GOCE-Mission eine homogene, geschlossene Lösung im hochauflösenden Bereich ermöglichen. Trotzdem bleiben weiterhin Probleme bestehen, u.a. werden Wellenlängen kürzer als ca. 100km nicht aufgelöst. Um die Auflösung zu erhöhen und insbesondere in Gebieten mit ungenügender Datenbedeckung das Geoid zu verbessern, werden regionale Geoidbestimmungen durchgeführt. Eine anerkannte und allgemein benutzte Methodik zur regionalen Geoidbestimmung bildet die Remove Restore Technik (RRT) - die Aufteilung des zu analysierenden Feldes in 3 Wellenlängenbereiche. Dabei wird der kurzwellige Anteil durch die Gravitationswirkung der Topographie repräsentiert und soll hier für die Antarktis näher untersucht werden. Der mittlere Wellenlängenbereich (der langwellige Anteil kommt aus globalen Schwerefeldmodellen) kann mit Hilfe der Aerogravimetrie abgedeckt werden. Als Datenbasis für die Untersuchung der subglazialen Topographie in Antarktika werden zunächst ausschliesslich Höhen des BEDMAP-Konsortiums verwendet. Diese liegen mit einer Auflösung von 5km für das gesamte Gebiet südlich 60°S vor. Zu Beginn soll die spektrale Charakteristik dieser Topographiedaten untersucht und bewertet werden. Anschliessend erfolgt durch direkte Vorwärtsrechnung über Integralformeln die Bestimmung der aus der Felsuntergrundtopographie resultierenden Schwere signale. Die anhand der vorgegebenen Topographie erreichbare spektrale Auflösung des kurzwelligen Schwerefeldanteils soll mit der erreichbaren Auflösung von GOCE verglichen werden. Daraus abgeleitet werden können Aussagen über die Grenzwellenlängen bei der Remove Restore Technik, damit eine Überschneidung mit Schwereanteilen aus globalen Schwerefeldmodellen (EGM96, EIGEN, GOCE-Modelle) vermieden wird. Ausserdem soll der aus den BEDMAP-Daten errechnete kurzwellige Geoidanteil hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit bei der Geoidbestimmung (derzeitiges Ziel: 1cm) bewertet werden. Dabei ist insbesondere die Frage interessant, ob die Genauigkeit und räumliche Auflösung der BEDMAP-Daten für die angestrebte Genauigkeit der regionalen Geoidbestimmung ausreichend ist oder ob die Subglazialtopographie noch deutlich höher aufgelöst werden muss.

2. Aktivitäten und Pläne

Geostatistische Verfahren zur Berechnung eines digitalen Höhenmodells durch die Verknüpfung von Radar-Altimeterdaten und SAR-Daten, angewendet auf das Lambert Gletscher / Amery Eisschelf System

Ralf Stosius, FB Geographie/Geowissenschaften, Uni Trier

Es wird ein neues digitales Höhenmodell mit 3 km Auflösung für das Lambert Gletscher / Amery Eisschelf Systems vorgestellt, dass mit Hilfe geostatistischer Verfahren durch eine Kombination aus ERS-2 Radar-Altimeterdaten (RA-Daten) und RADARSAT SAR-Daten berechnet wird. Zunächst wird mit geostatistischer Interpolation („ordinary kriging“) aus ERS-2 RA-Daten von 1997 ein Höhenmodell für das Untersuchungsgebiete berechnet. Die Messauflösung entlang der RA Orbits ist zwar recht hoch, zwischen den Orbits entstehen jedoch, abhängig vom Aufnahmemodus und der geographischen Breite, mehrere Kilometer breite Datenlücken, was eine Interpolation erforderlich macht. Auf dem Eisstrom und dem Schelfeis ist der Interpolationsfehler gering. Deshalb wird hier bei der Interpolation ein Variogramm verwendet, das für den Bereich der „Grounding“ Zone charakteristisch ist.

Um die Interpolationsgenauigkeit weiter zu erhöhen, werden SAR-Daten als sekundäre Information hinzugezogen. Die RADARSAT SAR-Daten wurden 1997 aufgenommen und liegen als ein Mosaikbild der Antarktis mit 125 m Auflösung vor. Der Ausschnitt des Untersuchungsgebiets wird mit den RA-Daten koreferenziert. Auf der Basis des SAR-Bildes werden anhand charakteristischer morphologischer Eigenschaften homogene Regionen voneinander abgegrenzt. Innerhalb dieser Regionen wird dann jeweils ein charakteristisches Variogramm der RA-Daten bestimmt und ordinary kriging durchgeführt. Die Regionen werden schließlich zu einem vollständigen digitalen Höhenmodell verbunden. Dieses Vorgehen wird als stratifiziertes Kriging oder „kriging within strata“ bezeichnet. Die beiden Kriging-Verfahren werden mittels Kreuzvalidierung miteinander verglichen.

Einsatzmöglichkeiten von CryoSat Sival-Messungen im Bereich der Antarktischen Halbinsel

*Steffen Vogt, Frank Rau, Helmut Saurer, Hermann Goßmann, IPG Uni Freiburg
Matthias Braun, ZFL Uni Bonn*

Die Antarktische Halbinsel weist ein hohes Maß an Dynamik und aktuellen Änderungen in den glazialen Systemen auf. Gletscherrückzüge, der spektakuläre Zerfall des Wordie- und des Larsen-Schelfeises sowie die Trends der langjährigen meteorologischen Zeitreihen deuten auf langanhaltende Veränderungen im Massenhaushalt der Gletscher dieser Region hin.

Der Notwendigkeit Massenbilanzen für die glazialen Systeme der Halbinsel zu bestimmen, stehen die Unzugänglichkeit weiter Teile der Region und ein fast gänzlich fehlendes von entsprechenden Massenhaushaltstudien gegenüber. Von SCAR ISMASS wurde die Region daher als eines der vordringlichsten Zielgebiete für weitere glaziologische Arbeiten neben dem Westantarktischen Eisschild ausgewiesen. Fernerkundungsverfahren, insbesondere InSAR- und photogrammetrische Auswertungen, aber auch verbesserte Altimeter-Messungen können dabei zusätzlich zu den meist eher punktuellen Felderhebungen großflächig einzigartige Datengrundlagen liefern.

Starken Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Altimeter-Messungen haben Geländegeometrie und physikalische Eigenschaften der Schneedecke. Von satellitengestützten Sensoren konnten deshalb für große Teile der Antarktischen Halbinsel bisher kaum zuverlässige Altimeterdaten erhoben werden. Der SARIn-Mode des neuartigen SIRAL-Instruments könnte nun dazu beitragen, erstmals auch für diese Gebiete Altimeterdaten zu gewinnen.

Der Vortrag konzentriert sich auf die Vorstellungen geplanter Aktivitäten zur Abschätzung der Nutzbarkeit von SIRAL-Messungen im stark reliefierten Gelände der Antarktischen Halbinsel im Rahmen eines Cryosat-Daten-AOs. Die Arbeiten bauen direkt auf abgeschlossene und laufende Projekte und das umfangreiche Datenarchiv der Arbeitsgruppen auf.

Die vorgeschlagenen Arbeiten umfassen die Analyse ausgewählter Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der SIRAL-Messungen, vor allem die zeitlichen und räumlichen Variabilitäten in der Schneedecke. Dazu werden u.a. langjährige Zeitreihen von ERS-1/2-Radardaten in Kombination mit aktuellen ENVISAT-Radardaten, InSAR-Auswertungen, Schneesachtdaten mehrerer Feldkampagnen, sowie Schneeschmelzmodellierungen herangezogen. Aus den Analysen sollte schließlich eine Bewertung der SIRAL-Daten der Halbinsel abgeleitet werden können.

Precipitation climatology in polar regions

*Georg Heygster, Christian Melsheimer, IUP Uni Bremen
Annette Rinke, Klaus Dethloff, Alfred-Wegener-Institut, Potsdam*

A. Ice sheets

Currently, precipitation is one of the largest uncertainties in the mass budget of the large ice sheets in Antarctica and Greenland. CryoSat will determine the change of ice height, driven by precipitation, melting and ice displacement. This contribution aims to determine the precipitation from a regional atmospheric model which in turn will be adjusted by including daily maps of total atmospheric water vapor, determined using a recent remote sensing technique to retrieve values in the range from 0 to 6 kg/m² over Antarctic sea ice and land ice from data of the humidity sounders SSM/T2 aboard the DMSP satellite series. Transferring this procedure to the NOAA AMSU-B satellite sensors, including Arctic conditions and producing daily gridded fields for the years 1998 to 2004 will allow to improve a regional atmospheric model.

The results of long-term runs will be used to describe quantitatively the annual and decadal variability of the atmospheric water vapor, and the snow accumulation on the Antarctic and Greenland ice sheets as an important part of the hydrological balance and the mass balance of the large ice sheets. At the same time, this project has strong relations to land ice modeling activities and to GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space).

B. Sea Ice

A similar estimate of precipitation will be carried out over sea ice. As the regime is more humid in these regions, in addition to the total water vapor, the cloud liquid water path will be estimated from satellite measurements of the passive microwave sensors SSM/I and AMSR. These fields will also be used to adjust the atmospheric models, e.g., by nudging techniques.

Numerische Untersuchungen elektromagnetischer Reflexionen in Eis und Ableitung der Akkumulationsraten

Olaf Eisen, Uwe Nixdorf, Frank Wilhelms, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Interne Horizonte in Eisschilden lassen sich durch elektromagnetische Reflexionsverfahren kohärent über hunderte von Kilometern verfolgen. Obwohl zahlreiche Anwendungen annehmen, dass ein einzelner interner Reflektor eine Isochrone darstellt, sind noch zahlreiche Fragen zum Ursprung der Reflektoren ungeklärt. Wir verwenden ein einfaches Faltungsmodell und ein zweidimensionales numerischen Finite-Differenzen Modell im Zeitbereich (FDTD) um gemessene Bodenradargramme synthetisch nachzubilden. Als Eingangsdatensatz werden dielektrische Profilmessungen entlang eines 130 m Eiskerns aus Dronning Maud Land, Antarktis verwendet. Die FDTD-Ergebnisse bilden die gemessene Spur hervorragend nach, die aus der Faltung berechnete synthetische Spur zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Radargramm, kann aber nur teilweise die Charakteristika individueller Reflektoren nachbilden. Mittels Sensitivitätsstudien wird der physikalische Ursprung einzelner Reflexionen identifiziert sowie die isochronen Eigenschaften bestätigt. Die Ergebnisse werden direkt auf die Datierung interner Schichten angewandt, die drei Eiskernbohrungen über 320 km verbinden. Aus der Variation der Tiefenlage der internen Schichten wird sowohl die räumliche als auch zeitliche Variation der Akkumulationsrate der letzten 2000 Jahre abgeleitet. Es zeigt sich, dass die kleinräumige Variation im Bereich von mehreren Kilometern bis zu 50% des großräumigen Trends beträgt. Die Ergebnisse implizieren, dass die Ableitung der Akkumulation aus Einzelmessungen, z.B. Schneeschächte und Eiskerne, mit Vorsicht zu betrachten sind.

Assimilation von Meereisdicke und -drift in dynamische Eismodelle

Jens Schröter, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Die von der CRYOSAT Mission erwarteten großräumigen Messungen der Meereisdicke stellen eine neue Herausforderung an die Modellierung des Meereises dar. Die Schätzung der Eisdicke ist eines der schwierigsten Unterfangen in Rahmen der Eisvorhersage. Flächendeckende Dickenmessungen dienen zunächst der Verifikation von Modellen. In einem zweiten Schritt sollen CryoSat-Eisdickenmessungen assimiliert werden, um Modellparameter aus der Eisrheologie zu optimieren und ihre mögliche räumliche und zeitliche Abhängigkeit zu bestimmen. Die gleichen Ziele verfolgen wir mit dem Vergleich und der Datenassimilation von Eisgeschwindigkeiten, die vom Satelliten gemessen werden.

Synergetische Nutzung von Cryosat- und SAR-Daten

Thomas König, DLR, Oberpfaffenhofen

Die synthetischen Apertur-Daten der ERS, b.z.w. des ENVISAT Satelliten werden sich in idealer Weise mit den Messungen des coherenten Cryosat-Altimeters ergaenzen. Das IMF hat langjaehrige Erfahrung mit der Ableitung von Seegangs-, Wind- und Eisparametern aus SAR-Daten flugzeug- und satellitengetragender Systeme und hat bereits erste Untersuchungen zur synergetischen Nutzung von Altimeter und SAR fuer Seegangsmessungen durchgefuehrt.

Konkret werden folgende Untersuchungen vorgeschlagen, die im wesentlichen auf einer Kombination von SAR-Daten des ENVISAT Satelliten mit Cryosat-Daten basieren.

- Hochaufgeloeste ASAR-Daten im Dual-Polarisationsmodus und Wide Swath Modus werden benutzt um die Interpretation der Cryosat-Messungen zu optimieren. Insbesondere koennen mit Hilfe der SAR-Daten kleinskalige Eisstrukturen untersucht werden, ueber die das Cryosat Altimeter aufgrund der groeberen Aufloesung mittelt. Diese Untersuchungen sollen in wolkenfreien Faellen mit Hilfe optischer Daten weiter ergaenzt werden.
- Aus ENVISAT Wide Swath Daten abgeleitete Eisdriftmessungen werden in Kombination mit den Cryosat Eisdickemessungen benutzt um die Eisdynamik zu analysieren.
- Aus SAR-Daten abgeleitete Wind-, und Seegangsstatistiken an der Meereiskante werden in Kombination mit Freibord Messungen von Cryosat benutzt um die Dynamik der marginalen Eiszone, insbesondere das Aufbrechen des Eises durch Seegang zu untersuchen. Fuer diese Untersuchungen werden neben Image Mode Daten auch Wave Mode Daten der ERS b.z.w. ENVISAT Satelliten benutzt.

Cryosat wird sich ebenfalls mit dem Ende 2005 startenden TerraSAR-X Satelliten ergaenzen der voll-polarimetrische Messungen liefern wird und darueber hinaus Along-Track-Interferometrische Faehigkeiten zur Ableitung von Stroemungsfeldern hat.

3. Validierung

Höhenänderung, Fließgeschwindigkeit und Deformation im westlichen Randbereich des grönländischen Inlandeises: Das ETH/CU-Camp-Projekt als Basis eines terrestrischen Validierungsgebietes für CryoSat.

Manfred Stober, Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik

Seit 1991 werden an der Station ETH/CU-Camp geodätische Messungen zur Bestimmung von Höhenänderung, Fließgeschwindigkeit und Deformation des grönländischen Inlandeises durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf dem Inlandeis ca. 80 km nord-östlich des Küstenortes Ilulissat (Jakobshavn) in der Höhe der Gleichgewichtslinie (ca. 1150 m), somit also am Übergang des Ablations- zum Akkumulationsgebiet. Die Massenbilanz in dieser Region ist glaziologisch von besonderem Interesse, zeigt sie doch Veränderungen der Gleichgewichtslinie als Folge von Klimaänderungen unmittelbar an.

Ziel der Untersuchungen ist es, die Veränderung der Eismassen durch unmittelbare geodätische Messung der Eisoberfläche zu erfassen. Der Vorteil dieser Methode besteht in der weitgehend hypothesenfreien Ermittlung von Höhenänderungen der Eisoberfläche in verschiedenen Jahren, aus denen unmittelbar Volumenänderungen berechenbar sind. Zusätzlich wird die Fließgeschwindigkeit und Verformung des Eises in Form von absoluten und differentiellen Verschiebungsvektoren konkreter, mit Pegeln vermarkter Punkte auf der Eisoberfläche bestimmt. Dadurch lassen sich Durchlassmengen von Eis berechnen, noch wichtiger aber ist die Untersuchung zeitlicher Änderungen, da die Zu- oder Abnahme der Fließgeschwindigkeit ebenfalls ein Indiz für Klimaänderungen darstellt. Die Verformung des Eises (Strain) gibt zusätzliche Informationen über die Verzerrungsverhältnisse am Untersuchungsort, Daten, die ebenso wie die Fließgeschwindigkeit in Eis-Klima-Modelle eingehen können bzw. zu deren Verifikation benötigt werden. Aus Strainwerten lassen sich ebenfalls Höhenänderungen bestimmen, die im Vergleich zu den direkten Meßergebnissen eine wertvolle Aussage über Abschmelzen und Ausfließen von Eismassen ermöglichen.

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass die Fließgeschwindigkeit im Durchschnitt 0,317 m/d beträgt, mit geringer Tendenz zu zunehmender Geschwindigkeit im Lauf der Jahre. Die Fließrichtung (durchschnittliches Azimut = 260,24 gon) zeigt den zu erwartenden Abfluß in Richtung Jakobshavn Isbrae, dem schnellsten Gletscher der grönländischen Westküste.

Die wichtigsten Ergebnisse folgen aber aus den Höhenmessungen. Aus Eishöhen des Gebietes in verschiedenen Jahren ergibt sich im Durchschnitt über alle Pegelpositionen eine jährliche Höhenabnahme von -0,22 m/a. Dieselbe Höhenabnahme folgt aus dem Vergleich flächenhafter topographischer Aufnahmen der Eisoberfläche, wobei allerdings geringe lokale Variationen sichtbar werden.

Die Analyse der Strainraten (aus der Verformung des Deformationsnetzes) ergibt große horizontale Verzerrungsraten in den Hauptverzerrungsrichtungen zu $e_1 = +1118$ ppm/a und $e_2 = -894$ ppm/a. Unter Annahme von Volumenkonstanz folgt hieraus eine Höhenabnahme von -0,18 m/a. Der Widerspruch „Volumenkonstanz“ und „Höhenabnahme“ läßt sich dadurch aufklären, wenn ein Teil der Höhenabnahme durch Abschmelzen, ein anderer durch Ausfließen verursacht wird. Unter diesem Aspekt gehen -0,04 m/a zu Lasten der Abschmelzung, der größte Teil aber (-0,18 m/a) ist auf verstärkten Abfluß zurückzuführen, der nicht durch Zufluß entsprechender Eismassen aus höheren Gebieten ausgeglichen wird.

Mit der festgestellten Höhenabnahme geht im Untersuchungszeitraum (1991 – 2002) eine Erhöhung der jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit um $+0,3 \text{ }^\circ\text{C/a}$ einher. Beides zusammen führt zu einer Verschiebung der Gleichgewichtslinie hin zu höheren Regionen und damit zu einer beträchtlichen Vergrößerung des Ablationsgebietes in Küstennähe.

Mit einer Erweiterung des Untersuchungsgebietes könnten noch umfassendere Aussagen, besonders über die Veränderung des Ablationsgebietes, getroffen werden. Solche Arbeiten und Wiederholungsmessungen sind für die Jahre 2005 und 2006 geplant. Im Hinblick auf CryoSat bieten die zu erwartenden terrestrischen Höhen, Höhenänderungen und Fließgeschwindigkeiten ebenfalls eine hervorragende Möglichkeit zur Validierung der CryoSat-Ergebnisse. Das erweiterte Gebiet würde eine Länge von ca. 40 km bei einem Höhenbereich von 1150 m (ETH/CU-Camp) bis 250 m (Eisrand Pakitsoq) umfassen. Gerade die großen Höhenunterschiede und eine unregelmäßige Topographie stellen bei CryoSat Fehlerquellen dar, die es zu überprüfen gilt, hierzu wird auf Level-2-Daten zurückzugreifen sein. Ebenes Gelände, wie es im Inneren von Grönland vorherrscht, bietet hier wesentlich weniger Probleme. Typisch für die Randzone sind auch der unregelmäßige Niederschlag, der die Eindringtiefe der CryoSat-Signale beeinflusst. Eine Validierungsmöglichkeit ergibt sich hierbei durch Einbeziehung der Level-1-Daten.

Das vorgeschlagene Gebiet hat eine relativ kleine Ausdehnung, erstreckt sich aber über einen großen Höhenbereich. Für die Validierung von CryoSat sind jedoch viele kleine Gebiete ebenso wertvoll wie wenige große, zumal wenn (wie am ETH/CU-Camp) die zeitlichen Veränderungen schon durch bisherige langzeitige Beobachtungsreihen gut gesichert sind.

Konzeption zur CryoSat-Produktvalidierung in der Region Schirmacheroase/ Antarktika

*Reinhard Dietrich, Martin Wiehl, IPG TU Dresden
C.K. Shum, USA*

Die Ermittlung von Oberflächenhöhen-Änderungen der kontinentalen Eisschilde ist ein zentrales Ziel der CryoSat-Mission. Wir stellen ein Konzept zur Validierung der ermittelten Änderungen durch unabhängige Beobachtungen vor.

Als Testgebiet dient die Region der Schirmacheroase / Dronning Maud Land, Antarktika. Hier werden seit über 10 Jahren geodätische Beobachtungen von Oberflächenhöhen-Änderungen entlang zweier Traversen von je 100km Länge durchgeführt und sollen während der CryoSat-Missionszeit fortgesetzt werden. Eine der Traversen verläuft durch ein Blauisgebiet von etwa 110x50km² Ausdehnung, für das eine Massenbilanz von -10...-20cm Wasseräquivalent pro Jahr (Standardabweichung <20%) ermittelt wurde.

Die Analyse der wiederholten Beobachtungen erlaubt Aussagen sowohl über den langzeitigen Trend als auch über die zeitliche und räumliche Variabilität. Durch den Vergleich mit den CryoSat-Produkten sollen diese validiert werden.

Als weiteres Vorhaben soll die Ermittlung von Eishöhenänderungen durch CryoSat anhand von gezeiten- und luftdruckbedingten hochfrequenten Änderungen des Nivlisen-Schelfeises validiert werden. Das Gezeitensignal dieses Schelfeises ist durch unabhängige Messungen genau bekannt.

In Testgebieten der Größenordnung eines Footprints soll die Topographie durch ein dichtes Raster kinematischer GPS-Messungen genau bestimmt werden. Eine Simulation des Altimetersignals erlaubt dann die Validierung des interferometrischen Altimeter-Modus.

CryoSat–Meereisvalidierung: Instrumente und Methoden

Christian Haas, Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Die Meereis-Dickenbestimmung durch CryoSat ist von einer genauen Kenntnis der Schnee- und Eiseigenschaften (insbesondere der Dichte), sowie von der Eismorphologie und der Schollengrößenverteilung abhängig. Um die Zusammenhänge der Eisdickenmessungen von diesen Parametern zu untersuchen sowie die Eisdickenmessungen selber zu validieren, sollen mehrere gezielte Validierungskampagnen, sowohl im Weddellmeer als auch nördlich von Grönland durchgeführt werden.

Am Alfred-Wegener-Institut (AWI) stehen dazu zahlreiche Messverfahren und –geräte zur Verfügung. Neben Methoden zur in-situ-Bestimmung von Eis- und Schneeeigenschaften (Eiskernuntersuchungen) sind dies insbesondere hubschrauber- und flugzeuggestützte Messverfahren. Zur Validierung der Eisdickenmessungen auf Skalen einiger 100 km kommt insbesondere eine hubschraubergestützte elektromagnetische (EM) Eisdickensonde zum Einsatz (EM-Bird). Diese ist in der Lage, hochgenaue (± 0.1 m) und hochauflösende (3-4 m) Eisdickenmessungen durchzuführen, die Eisoberflächenmorphologie und Freibordverteilung mit einem Laseraltimeter zu vermessen, sowie Schollengrößenverteilungen zu bestimmen. Mit einem Laser-Scanner sowie dem Airborne Synthetic-Aperture Interferometric Radar Altimeter System (ASIRAS) können von Bord der AWI-Polarflugzeuge die zweidimensionale Eistopographie sowie das Meereis-Freibord bestimmt werden. Kombination dieser beiden Sensoren erlaubt es, das Eindringverhalten der CryoSat-Radarsignale in den Schnee zu untersuchen sowie die Freibordmessungen zu validieren. Durch die Kombination der Flugzeug- und Hubschraubermessungen kann insbesondere die Genauigkeit der Umrechnung von Freibord- in Eisdickendaten untersucht werden.

Im Rahmen des ersten CryoSat-Validierungs-Experimentes CryoVex 2003 wurden im April 2003 in der Framstraße bereits erste zeit- und ortsgleiche Flüge der hubschrauber- und flugzeuggestützten Sensoren durchgeführt. Dabei wurden wertvolle Erkenntnisse zum Vergleich von Messungen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung sowie zur Koordination mehrerer Luftfahrzeuge gewonnen. Diese Erfahrungen werden die zukünftige Koordination der luftgestützten Messungen mit CryoSat-Überflügen wesentlich verbessern. Während CryoVex 2003 standen außerdem zahlreiche Radarsat und Envisat SAR Daten zur Verfügung, die zur Extrapolation der luftgestützten Messungen in größere Gebiete und zur Unterscheidung verschiedener Eisregime dienen sollen. Dazu müssen aus dem Vergleich von SAR- und in-situ-Messungen neue Algorithmen zur Ableitung von Meereiseigenschaften aus SAR-Daten entwickelt werden.

Teilnehmerverzeichnis

Abrikosov, Oleg	GFZ Potsdam	Miller, Heinz*	AWI Bremerhaven
Alkhatib, Hamza	Universität Bonn	Müller, Jan	TU Dresden
Baur, Oliver	Universität Stuttgart	Müller, Jürgen	Universität Hannover
Bosch, Wolfgang	DGFI München	Nixdorf, Uwe*	AWI Bremerhaven
Boxhammer, Christian	Universität Bonn	Pail, Roland	TU Graz
Braun, Matthias*	ZFL Bonn	Petrovic, Svetozar	GFZ Potsdam
Davidson, Malcom*	ESA-ESTEC	Plank, Gernot	TU Graz
	Noordwijk	Rebhan, Helge	ESA-ESTEC
Dietrich, Reinhard*	TU-IPG Dresden		Noordwijk
Eckert, Karl-Heinz	EADS Astrium	Rostan, Friedhelm*	EADS Astrium
Eicker, Annette	Universität Bonn	Rummel, Reiner	TU München
Eisen, Olaf*	AWI Bremerhaven	Schäfer, Uwe	BKG Leipzig
Flury, Jakob	TU München	Schmidt, Klaus-Peter*	DLR Bonn
Földvary, Lorant	TU München	Schröter, Jens*	AWI Bremerhaven
Göbell, Sibylle*	AWI Bremerhaven	Schuh, Wolf Dieter	Universität Bonn
Goßmann, Hermann*	IPG Freiburg	Schwintzer, Peter	GFZ Potsdam
Groten, Erwin	TU Darmstadt	Stober, Manfred*	FHT Stuttgart
Gruber, Thomas	TU München	Stosius, Ralf*	Uni Trier
Gutting, Martin	TU Kaiserslautern	Svehla, Drazen	TU München
Haagmans, René	ESA Noordwijk	Vennemann, Bernd*	DLR Bonn
Haas, Christian*	AWI Bremerhaven	Vogt, Steffen*	IPG Freiburg
Hartmann, Rolf	Jena Optronik	Wallis, Dave*	UCL London
Heck, Bernhard	Universität Karlsruhe	Wassermann, Stefanie*	KFZ Karlsruhe
Heygster, Georg*	IUP Bremen	Welsch, Mario	EADS Astrium
Ilk, Karl-Heinz	Universität Bonn	Wermuth, Martin	TU München
Jarecki, Focke	Universität Hannover	Wild, Franziska	Universität Karlsruhe
Kaban, Mikhail	GFZ Potsdam	Wingham, Duncan*	UCL London
Kargoll, Boris	Universität Bonn	Wolf, Insa	Universität Hannover
Kern, Michael	TU Graz	Wölker, Albrecht	EADS Astrium
König, Thomas*	DLR Oberpfaffenhofen	Zahn, Wolfgang	Forschungszentrum
Lehner, Susanne*	DLR Oberpfaffenhofen		Jülich
Liebsch, Gunter	BKG Leipzig		
Mallow, Uwe	EADS Astrium		
Marquart, Gabriele	SRON Utrecht		
Mayer-Gürr, Torsten	Universität Bonn		
Melsheimer, Christian*	IUP Bremen		

* Teilnehmer des CryoSat Workshops