

Kartierung in den Fjorden Ost-Grönlands

Multibeam-Mapping mit einem Museumsschiff

Ein Beitrag von WILHELM WEINREBE

Eine präzise Kartierung des Meeresbodens in unbekanntem arktischen Gewässern mit driftenden Eisbergen und Schollen ist schon eine Herausforderung an sich. Wenn dann auch noch die Vermessung mit einem Oldtimer-Dreimast-Toppsegelschoner und einem temporär über die Seite installierten Fächerecholot erfolgt, sind Schwierigkeiten zu erwarten. Aber manchmal geht es nicht anders. Wenn kein anderes Schiff zur Verfügung steht, hat man nur die Wahl, es zu versuchen – oder bleiben zu lassen. Auch wenn die Hindernisse groß sind, es kann klappen.

Autor

Dr. Wilhelm Weinrebe war bis zum Herbst 2013 Wissenschaftler am Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel. Von 2004 bis 2013 war er Mitglied im Beirat der DHyG

wilhelm@weinrebe-kiel.de

Abb. 1: Dreimast-Schoner »Activ« vor Anker im Skjoldungen-Fjord, Südost-Grönland



Fächerecholot | SeaBeam 1050 | Fjordvermessung | Multibeam-Kartierung
Grönland | »Activ« | Timmiarmiut-Fjord | Skjoldungen-Fjord

Das Projekt

Das Abschmelzen des grönländischen Inlandeises durch die Erwärmung des Klimas hat Auswirkungen weit über das arktische Ökosystem hinaus, es verursacht weltweit Änderungen des Meeresspiegels und beeinflusst die globale thermohaline Zirkulation. Um diese Zusammenhänge besser verstehen zu können, erforscht das »Centre for GeoGenetics« des Naturhistorischen Museums der Universität Kopenhagen im Rahmen des Projektes »Greenland Ice Sheet over the past Millenium« das Verhalten des grönländischen Eisschildes in den vergangenen Jahrhunderten. Dazu werden Bodenproben insbesondere aus Gletscherseen am Rande des Inlandeises, die durch den Rückzug der Vereisung gerade freigelegt wurden, genommen und untersucht. Für die Feldarbeiten wurden bisher Hubschrauber eingesetzt und Camps auf dem Inlandeis angelegt. Hydrographische oder marin-geowissenschaftliche Arbeiten waren bisher für dieses Projekt nicht vorgesehen.

So war es auch für die Feldarbeiten im Sommer 2014 geplant. Doch dann ergab sich für die Projektleitung die Gelegenheit, ein Schiff – die »Activ« – als flexible Basis für die Landarbeiten zu nutzen (Abb. 1). So konnte eine größere Anzahl

Wissenschaftler an den Feldarbeiten teilnehmen und zusätzliche Arbeitsgebiete konnten erreicht werden. Darüber hinaus bot sich die Chance, das Schiff tagsüber, während Probennahmen an Land durchgeführt wurden, für hydrographische und marin-geowissenschaftliche Arbeiten einzusetzen. Die »Activ« verfügt allerdings über kein fest installiertes Fächerecholot. Deshalb war geplant, ein portables System einzusetzen und ein Multibeam-System temporär auf dem Schiff zu installieren. Damit sollten erstmalig Kartierungsarbeiten in den Fjorden durchgeführt und Tiefenkarten erstellt werden. Bis dahin waren für dieses Fahrtgebiet nur vereinzelte Lotungen bekannt.

Das Arbeitsgebiet

Die Küste Südost-Grönlands gehört zu den unzugänglichsten Landstrichen der Erde. Der Ost-Grönlandstrom, der aus dem Arktischen Meer im Norden entlang der grönländischen Ostküste nach Süden fließt und dabei große Mengen arktischen Wassers und damit riesige Mengen Meereises mit sich führt, verhindert für die meiste Zeit des Jahres die Zufahrt für Schiffe. Deshalb ist dieser Küstenstrich über eine Strecke auf fast 600 km von Tasilaq (Ammassalik) im Norden bis zum Kap Farvel an der Südspitze Grönlands praktisch unbewohnt. Denn auch das Inlandeis reicht in diesem Bereich nahezu überall bis an die Küste und lässt kaum irgendwo einen eisfreien Küstenstrich für die Besiedlung frei. Da der anthropogene Einfluss auf die Umwelt hier sehr gering ist, eignet sich das Gebiet besonders gut für die Probennahmen im Rahmen des Projektes.

Abb. 2 zeigt den Südosten Grönlands mit den Arbeitsgebieten im Timmiarmiut- und Skjoldungen-Fjord. Die Expedition mit der »Activ« startete Anfang Juli 2014 in Reykjavik, Island. Der Fahrtabschnitt, auf dem das Multibeam-System eingesetzt werden sollte, endete Anfang August 2014 im Timmiarmiut-Fjord. Für die danach folgenden Abschnitte waren keine hydrographischen Arbeiten mehr geplant.

Das Schiff

Die »Activ« wurde 1951 bei der bekannten Segelschiffswerft Ring-Andersen in Svendborg, Dänemark, auf Stapel gelegt. Das Holzschiff aus massiver Eiche wurde in der Grönlandfahrt eingesetzt und war für die Fahrt in Nordsee, Nordatlantik und arktischen Gewässern besonders stark konstruiert und mit Eisschutz versehen worden. Es hatte einen Motor von 250 PS und zwei Masten für das Ladeschirr und die Stützsegel. Nach Beendigung der aktiven Frachtfahrt zwischen Dänemark und Grönland sollte das Schiff Ende der siebziger Jahre abgewrackt werden. Ein Hamburger Architekt kaufte den Rumpf und ließ die »Activ« zu einem originalgetreuen Bramsegelschoner umbauen. Das dreimastige Rigg mit drei Rahsegeln am vorderen Mast und zusätzlicher Breitfock entspricht einer Besegelung, wie sie vor dem Ersten Weltkrieg für Schoner aus dem Ostseeraum mit einem Fahrtgebiet bis nach Südamerika üblich war. Wie damals werden auch heute noch alle 13 Segel allein durch Taljen und von Hand gesetzt.

Die »Activ« hat eine Gesamtlänge von 42 m bei einer Rumpflänge von 30 m, einer Breite von 7,20 m und einem Tiefgang von 3,35 m. Die Segelfläche beträgt 640 m². Das Schiff ist Mitglied im Museumshafen Flensburg. Genutzt wird es überwiegend privat, es wird aber auch verchartert für diverse Aufträge. Berühmt wurde es als Schoner »Pequod« in der Neuverfilmung des Romans *Moby Dick*. Ein Film über eine Expedition von Wissenschaftlern und Künstlern mit der »Activ« nach Nordost-Grönland im Jahre 2011 lief unter dem Titel »Expedition ans Ende der Welt« unter anderem im WDR-Fernsehen.

Aufgrund ihrer massiven Bauweise für die Grönlandfahrt und des verstärkten Rumpfes mit Eisschutz ist die »Activ« zweifellos ein ideales Schiff

für das Fahrtgebiet dieses Projektes. Für hydrographische Vermessungen oder andere marin-geowissenschaftliche Arbeiten ist die »Activ« allerdings keine ideale Plattform; denn eine dynamische Positionierung, die Fähigkeit zu exakter Profildfahrt, ausreichende Stromversorgung, genügend Arbeitsplatz: dies alles ist auf der »Activ« nur bedingt verfügbar. Insbesondere aber sind bei Vermessungen oft Geräte über Bord zu bringen und wieder zu bergen. Auf einem Schiff, das keine hydraulischen oder elektrischen Winden besitzt, sondern auf dem alle Arbeiten nur mit Taljen und Bäumen durchgeführt werden, ist das extrem schwierig. Darüber hinaus ist der Freiraum für solche Arbeiten durch die Takelage sehr eingeschränkt. Nun – aber genau dieses und nur dieses Schiff stand für diese Expedition zur Verfügung. Es gab keine andere Wahl.

Ausrüstung

Nach vorliegenden Informationen war im Arbeitsgebiet mit Wassertiefen von wenigen Metern bis zu mehr als 800 m zu rechnen. Mit einem leichten Flachwasser-Fächerecholot könnte dieser große Bereich nicht abgedeckt werden, dafür müsste ein »Offshore«-System für mitteltiefes Wasser verwendet werden. Zur Verfügung stand beim Geomar ein portables Multibeam von ELAC, das SeaBeam 1050 mit einer Arbeitsfrequenz von 50 kHz. Dieses Gerät war schon mehrfach temporär installiert auf verschiedenen Schiffen eingesetzt worden. Mit 50-kHz-Systemen sind durchaus Wassertiefen von mehr als 2000 m erreichbar, allerdings sind die Schallwandler auch deutlich größer und schwerer als hochfrequente Flachwasserschwinger; beim SeaBeam 1050 wiegen sie inklusive Halterung mehr als 200 kg. Dies macht eine temporäre Installation aufwendig und kompliziert. Die Spezifi-

Danksagung

Dank an die »Danish Agency for Science, Technology and Innovation« für die Finanzierung der Expedition ACTIV 2014; an Prof. Kurt Kjær vom Naturhistorischen Museum der Universität Kopenhagen für die Einladung zur Teilnahme; an Kapitän Jonas Bergsøe und seine Mannschaft für die sichere und professionelle Durchführung der Fahrt. Das Geomar stellte das Multibeam-System zur Verfügung, Wårtsilä ELAC Nautik die Schwingerhalterung und Caris BV die Software zur Datenbearbeitung. Ein besonderer Dank geht an Kristian K. Kjeldsen und Anders A. Bjørk von der Universität Kopenhagen für die unermüdete Hilfe bei Installation und Betrieb des Multibeam-Systems.

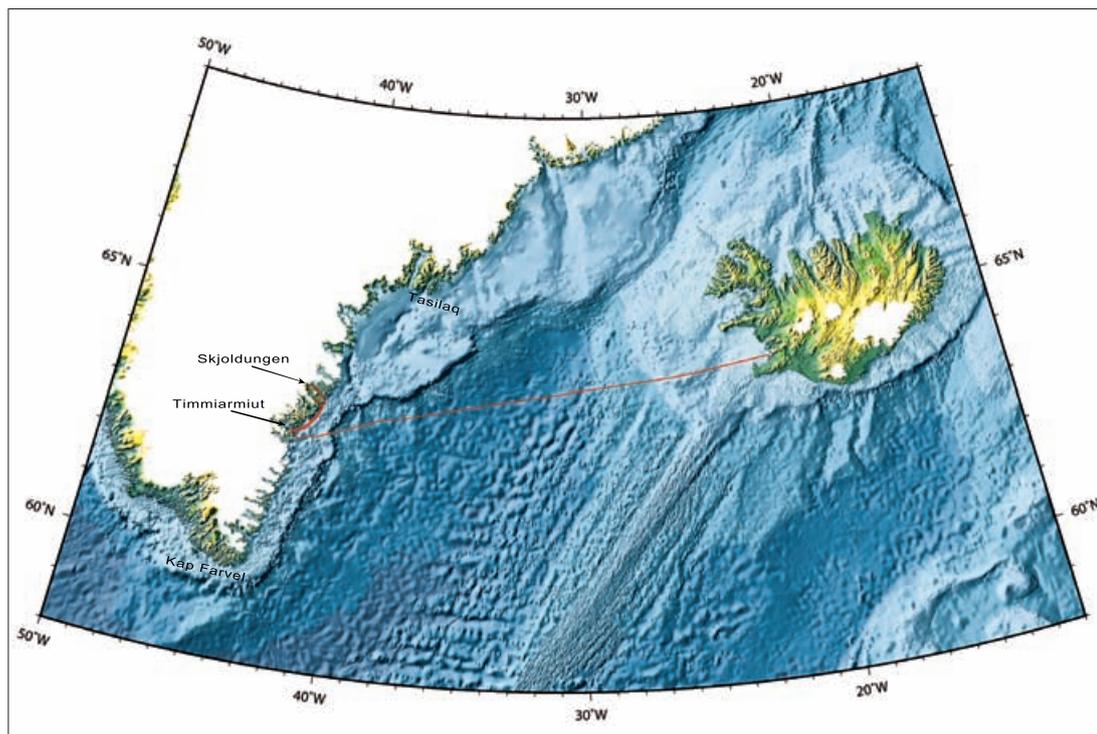


Abb. 2: Übersichtskarte von Südost-Grönland mit dem Kurs der »Activ« und den Arbeitsgebieten Timmiarmiut und Skjoldungen

kationen des Fächerecholotes SeaBeam 1050 sind in der Tabelle aufgeführt.

SeaBeam 1050	
Frequenz	50 kHz
maximale Fächerbreite	153°
Anzahl der Beams	126
Beam-Öffnung	1,5° × 1,5°
maximale Tiefe	3000 m
Puls-Länge	0,15 ms bis 10 ms

Zur Bestimmung von Position, Lage und Kurs wurde ein Bewegungssensor F180R+ der Firma CodaOctopus verwendet. Systemsteuerung, Kontrolle und Datenaufzeichnung mit der Software Hydrostar erfolgten auf einem Standard-Laptop unter Windows XP. Tiefenprofile der Wasserschallgeschwindigkeit wurden mit einer Speichersonde CTD48M der Firma Sea & Sun aufgenommen.

Installation des Multibeam-Systems

Kritisch für die Funktion eines Multibeam-Systems ist die Anbringung der Schwinger. Bei fest installierten Systemen befinden sich die Schwinger zumeist glatt abschließend unten im Rumpf oder in einer Gondel unterhalb des Schiffes. Für die temporäre Installation wird oft die Variante mit einer Stange (»pole«) über die Seite gewählt; die Schwinger müssen allerdings für die ungehinderte Abstrahlung sowie für den störungsfreien Empfang der akustischen Energie zumindest bis auf die Tiefe des Kiels gebracht werden, das heißt der »pole« wird relativ lang und erfordert eine Fixierung möglichst weit unten am Rumpf, um übermäßige Hebelwirkungen zu vermeiden.

Für den Einsatz auf der »Activ« war zu bedenken, dass die Installation wegen der zu erwartenden stürmischen Überfahrt durch die Dänemark-Straße erst im Arbeitsgebiet erfolgen konnte, also nicht in einem sicheren Hafen an der Pier, sondern schwimmend in einer geschützten Bucht in Grönland. Vor der Überfahrt wurde ein 6 m langer Stab aus massivem Stahlrohr angefertigt. Außerdem wurden zwei Stützen außen am Rumpf angebracht, an die später Haltearme angeschraubt werden konnten (Abb. 3). Am oberen Träger wurde ein Drehgelenk befestigt, sodass die gesamte Konstruktion für Transitfahrten aus dem Wasser gehoben und in eine waagerechte Position gebracht werden konnte (Abb. 4). Der untere Haltearm erhielt eine U-förmige Aufnahme, um das Stahlrohr bei Messeinsätzen in der Vertikalen zu fixieren (Abb. 5). Die Installation der 6 m langen Stange mit den montierten Schwingern vom schwimmenden Schiff aus war eine große Herausforderung, zumal alles nur mit Taljen, Bäumen und Muskelkraft erfolgen musste. Zudem war der Platz an Deck sehr begrenzt und es war schwierig, die sperrige Konstruktion durch die Takelage über die Bordwand an die richtige Position zu bugsieren (Abb. 6). Bei der Vermessung wurden die Schwinger zusätzlich durch zwei Dyneema-Seile gesichert. Die Konstruktion erwies sich während der gesamten Fahrt als ausreichend stabil.

Die Installation der anderen Komponenten war wesentlich einfacher. Der Bewegungssensor des F180R+ wurde in der Nähe der Schwingerhalterung an Deck festgeschraubt. Die zwei GPS-Antennen wurden an einem horizontal ausgerichteten Stab von 2 m Länge weit hinten am Ruderhaus angebracht, um den Einfluss von Masten und Segeln auf den GPS-Empfang zu minimieren. Die Deckseinheit des Multibeam-Systems sowie der Laptop zur Akquisitionskontrolle und zur Datenaufzeichnung wurden in der Kapitänskajüte aufgestellt.

Multibeam-Kartierungen

Das Multibeam-System konnte auf dieser Expedition an zehn Tagen eingesetzt werden, dabei wurden auf 402 km Profillänge Bathymetriedaten registriert. In den engen Fjorden (Abb. 7) wurde während der Vermessungen nicht gesegelt, sondern mit Motor gefahren, dabei wurde eine Geschwindigkeit von drei bis fünf Knoten eingehalten.

Abb. 3: Installation der Multibeam-Schwinger backbord außenbords: Träger mit U-förmiger Aufnahme unten, Träger mit drehbarer Halterung oben

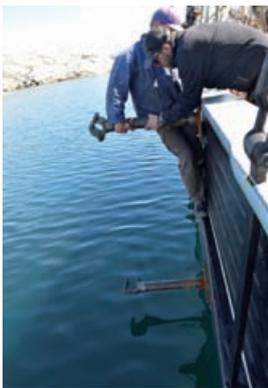


Abb. 4 (rechts oben): Multibeam-Schwinger in der Transit-Position

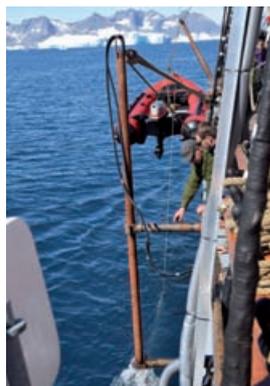


Abb. 5: Multibeam-Schwinger im Messeinsatz

Abb. 6: Installation der Multibeam-Schwinger-Halterung über die Backbordseite: schwieriger Einbau mit Taljen, Bäumen und Muskelkraft

Zur Kontrolle der Wasserschallgeschwindigkeit wurden an elf Positionen Profile mit der Sea & Sun CTD48M-Speichersonde aufgenommen. Auch wenn es sich bei diesem Gerät um eine relativ leichte und handliche Ausführung handelte, war das Einziehen der Sonde per Hand aus Wassertiefen von bis zu 800 m eine mühsame und zeitraubende Angelegenheit.

Während im südlichen Arbeitsgebiet, dem Timmiarmiut-Fjord, die Eisbedeckung so stark war (Abb. 8), dass nur eine relativ kleine zusammenhängende Fläche von ca. 15 km² aufgenommen werden konnte, wurde das nördliche Arbeitsgebiet, der Skjoldungen-Fjord mit dem südlichen und dem nördlichen Arm, nahezu flächendeckend kartiert (Abb. 9). Nur im innersten Bereich des Fjordsystems blieb eine Lücke von ca. 5 km Länge: hier waren die umliegenden Bergwände so steil, dass kein GPS-Signal empfangen werden konnte.

Die Breite des Skjoldungen-Fjords variiert von ca. 500 m bis mehr als 2500 m. Da der Einsatz der »Activ« primär der Unterstützung der Landoperationen diente, war die Profilplanung für die Multi-beam-Kartierung nicht immer optimal. Insgesamt aber konnte das gesamte Fjordsystem mit jeweils drei Fächerlotprofilen vermessen werden, eins näher zum nördlichen, eins näher zum südlichen Ufer und eins in Fjordmitte. So wurde eine komplette Überdeckung bis auf schmale Streifen in unmittelbarer Ufernähe erreicht.

Erste Ergebnisse

Im Skjoldungen-Fjord waren die Bedingungen für die Kartierung überwiegend gut, nur im inneren Bereich gab es vermehrt treibende Eisschollen, die eine Datenaufnahme erschwerten. Insgesamt war die Datenqualität ausreichend, um Karten mit einer horizontalen Auflösung (Rasterweite) von 5 m x 5 m zu erstellen. Abb. 10 zeigt als Beispielausschnitt aus dem Mündungsbereich des südlichen Fjordarms.

Die Ergebnisse aus dem Skjoldungen-Fjord zeigen deutliche Unterschiede zwischen dem nördlichen und dem südlichen Arm. Während die Wassertiefen im Norden relativ gleichförmig zunehmen von ca. 200 m im inneren Teil bis auf ca. 600 m an der Mündung, ist der südliche Arm geprägt durch einen flachen inneren Teil, der an keiner Stelle mehr als 300 m tief ist, sowie durch einen äußeren tiefen Abschnitt mit Wassertiefen um die 500 m. Etwa in der Mitte zwischen beiden Strecken findet sich ein ausgeprägter Sill.

Die Morphologie des Meeresbodens in den Fjordarmen ist geprägt durch glaziale Abtragungen und Ablagerungen. Besonders interessant in diesem Gebiet ist die Fortsetzung des steilen topographischen Reliefs an Land bis unter Wasser, markiert durch ausgeprägte geologische Strukturen (Abb. 11).

Probleme und Schwierigkeiten

Natürlich war von vornherein klar, dass bei einem temporär installierten Mittelwasser-Multi-beam-



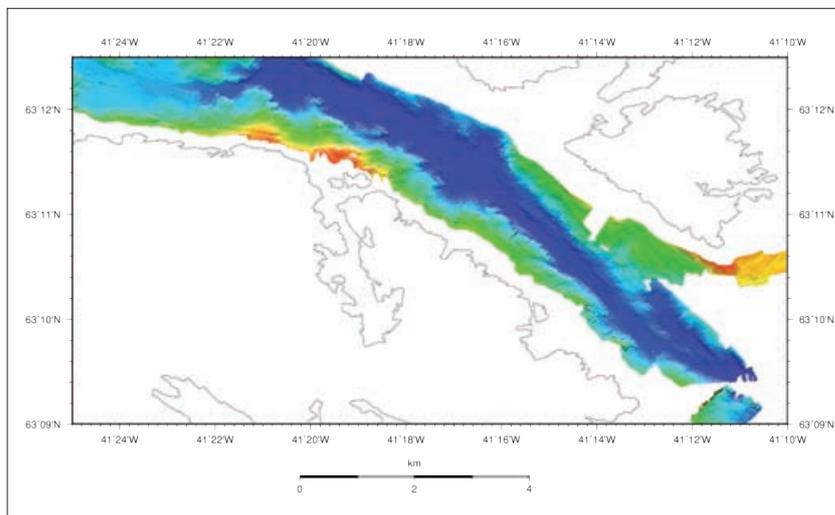
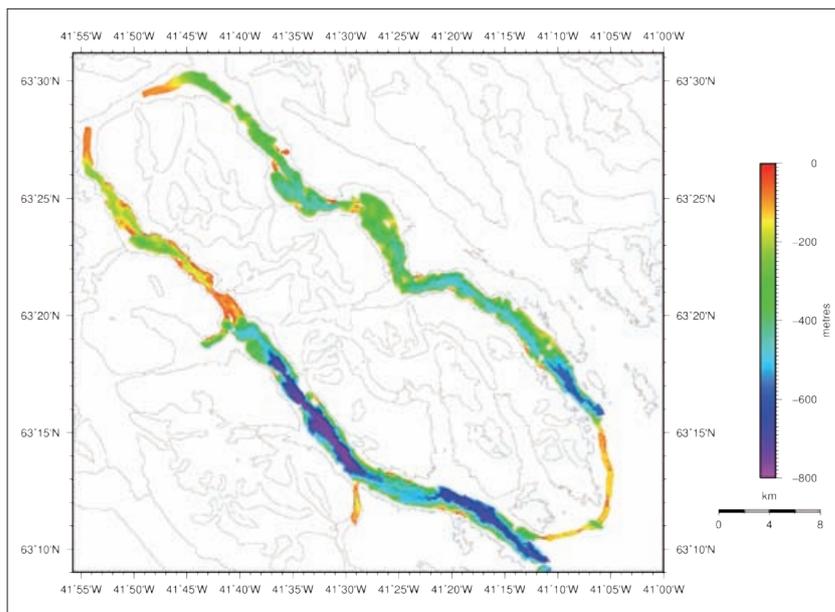
Abb. 7: Schwieriges Manövrieren in eisbedecktem Fahrwasser im Skjoldungen-Fjord



Abb. 8: Dichte Eisbedeckung im Timmiarmiut-Fjord verhindert weiteres Kartieren

Abb. 9: Bathymetrische Karte des Skjoldungen-Fjord-Systems nach den Vermessungen mit der »Activ«

Abb. 10 (unten): Detailkarte vom südlichen Eingang des Skjoldungen-Fjordsystems (Farb-Tiefenskala wie in Abb. 9)



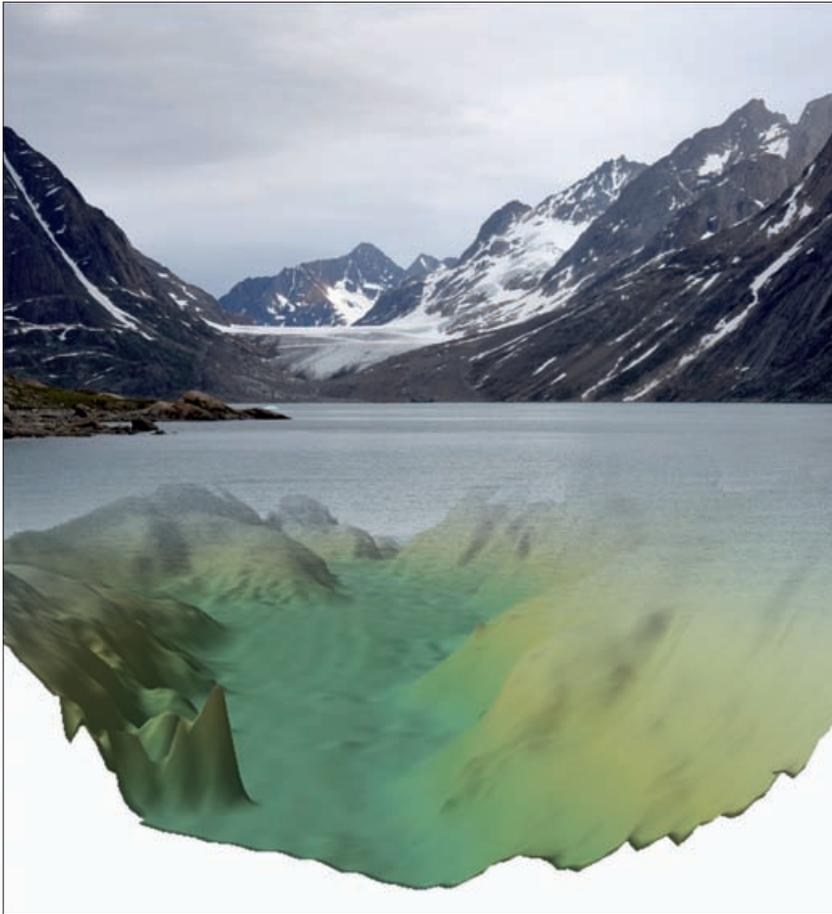


Abb. 11: Meeresbodenrelief im Skjoldungen-Fjord kombiniert mit der Landtopographie

System im Vergleich zu einem fest eingebauten Gerät Abstriche an der Qualität der Ergebnisse zu erwarten waren. Darüber hinaus war das Arbeitsgebiet aufgrund der Eisbedeckung extrem schwierig und das Schiff nicht für Vermessungsarbeiten ausgelegt. Die größten Probleme ergaben sich naturgemäß aus der temporären Anbringung der schweren Schwinger am Ende einer 6 m langen Stange. Da die untere Befestigung der Stange nur oberhalb der Wasserlinie möglich war, blieb ein über 3 m langes freies Ende im Wasser; der Wasserdruck auf dieses Ende war auch bei langsamer Fahrt enorm. Dazu kamen Kollisionen mit treibenden Eisschollen im Wasser, die auch bei vorsichtiger Fahrt nicht immer zu vermeiden waren. Folglich wurde nach Abschluss der Arbeiten bei der Demontage eine leichte Verbiegung des Rohres festgestellt, dies hatte sicherlich einen negativen Einfluss auf die Datenqualität.

Aufgrund der Arbeitsweise war zudem ein häufiges Absenken der Schwinger-Konstruktion aus der Transit- in die Messposition bzw. umgekehrt erforderlich. Dies führte wahrscheinlich jedes Mal zu einer leichten Veränderung der Position des Rohres in der Aufnahme. Deshalb hätte eigentlich nach jeder Absenkung eine neue Roll-Kalibrierung durchgeführt werden müssen, dies war aus Zeitgründen jedoch nicht möglich.

Eine ausführliche Kalibrierung des Systems wurde am Beginn der Expedition durchgeführt, allerdings ergaben sich dabei Schwierigkeiten: da die Wassertiefen im gesamten Arbeitsgebiet

bis dahin völlig unbekannt waren, mussten die Kalibrierprofile ohne Wissen auf ihre Eignung festgelegt werden. Es stellte sich heraus, dass die gewählten Profile nicht optimal für eine Kalibrierung waren.

Das Schiff – die »Activ« – war für Vermessungsarbeiten nur bedingt geeignet. Für Kartierungsfahrten wurde zwar mit Motor gefahren und nicht gesegelt, allerdings war eine exakte Profilfahrt durch den Einfluss von Strömungen im Fjord und starken Windböen von den umgebenden steilen Bergen nicht möglich.

Der Eintrag von Gletschereis in den Fjord an manchen Stellen führt zu lokal unterschiedlichen Wasserschallgeschwindigkeiten; leider konnte kein Sensor zur kontinuierlichen Bestimmung der Oberflächenschallgeschwindigkeit eingesetzt werden. Dieser Wert wurde aus den aufgenommenen Schallprofilen übernommen. Allerdings war der Einsatz der CTD-Sonde im Handbetrieb ohne Winde sehr zeitaufwendig.

Weitere Probleme ergaben sich beim Betrieb des Bewegungssensors F180R+. Die Bestimmung von Attitude und Kursrichtung (»Heading«) wird bei diesem Gerät unterstützt durch GPS-Signale, die an zwei Antennen empfangen werden. In den engen Fjorden, umrahmt von steilen, hohen Bergen, war der GPS-Empfang zeitweise nicht möglich. Auch die Kalibrierung des F180R+ war schwierig und letztlich nicht optimal; denn sie erfordert einige Stunden ununterbrochenen Betrieb des Systems. Der schwache Generator des Schiffes fiel jedoch zwischendurch immer wieder aus.

Fazit

Wenn auch die Qualität der aufgenommenen Daten aufgrund der Umstände und Schwierigkeiten keinen ganz hohen Ansprüchen genügt, so sind doch die erstellten Karten von großem Wert, da die vermessenen Gebiete bisher nahezu unbekannt waren. Zum ersten Mal ist nun eine flächendeckende Aufnahme verfügbar. Die Daten bilden eine hervorragende Basis für weitergehende geologische und glaziologische Interpretationen dieses Gebietes. Aus diesem Grunde werden die Daten an die Pangaea-Datenbank (www.pangaea.de) übergeben und stehen dann für andere Arbeitsgruppen zur Verfügung.

Zwar war das Schiff für die hydrographischen Arbeiten nicht besonders gut geeignet, was zweifellos zu Schwierigkeiten und Qualitätseinbußen geführt hat. Auf der anderen Seite war die »Activ« ein ideales Schiff für das schwierige Fahrwasser.

Darüber hinaus hat das Fehlen sämtlicher moderner Hilfsmittel, vor allem von hydraulischen oder elektrischen Winden, eindrucksvoll deutlich gemacht, wie hydrographische Arbeiten vermutlich vor hundert Jahren mit viel Muskelkraft durchgeführt werden mussten. Nach dieser Ausfahrt erfahren die Errungenschaften moderner Forschungs- und Vermessungsschiffe eine vollkommen andere Wertschätzung. 