



Aufbereitung, Analyse und Visualisierung von Fächersonardaten des Ritscher Canyons, Antarktis

Von
Andreas Prokoph

2. Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Fachhochschule Technikum Kärnten
Studienbereich Geoinformation

Betreuer:

Dr. Hans-Werner Schenke

Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research
Geosciences | Marine Geology and Paleontology

Dr. Norbert Ott

Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Research
Geosciences | Marine Geology and Paleontology

Dr. Heinz Stanek

Fachhochschule Technikum Kärnten

Villach, im Juni 2009

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben habe. Wörtliche und sinngemäße Zitate sind als solche gekennzeichnet.

Villach, den 15.06.2009

Andreas Prokoph

Kurzfassung

Gegenwärtig gewinnt der Lebensraum Ozean immer mehr an Bedeutung. Die kontinentalen Ressourcen schwinden, der Abbau von Rohstoffen unter der Wasseroberfläche wird immer rentabler. Nationale Interessen und Hoheitsansprüche verschiedener Staaten betreffen in einem immer größeren Ausmaß die noch unerschlossenen Regionen der Meere. Bedingt durch die Klimaerwärmung spielt auch die Forschung eine immer wichtigere Rolle. Für Untersuchungen wissenschaftlicher wie wirtschaftlicher Art ist ein detailliertes Wissen über die Topographie der Meeresböden notwendig. Die Fächersonartechnologie ermöglicht das Erfassen von qualitativ sehr hochwertigen Daten. Um allerdings eine homogene Morphologie des Ozeanbodens zu erhalten bedarf es einer Nachbearbeitung der Rohdaten. Inwieweit dort Fehler auftreten können, wie diese zu beheben sind und warum diese auftreten wird

im Rahmen der Vermessung des Ritscher Canyons, einem Tiefseeegraben am Rande der Antarktis, behandelt. Neben Fächerecholotung ist die Vermessung der Meere mit Hilfe von Einzelstrahlecholoten weit verbreitet. Diese liefern aber weitaus schlechteres Datenmaterial, was zu fehlerhaften Strukturen in digitalen Geländemodellen führen kann. Ein weiteres Kriterium für die Qualität von Datensätzen ist die Wahl der Interpolationsmethode. Es wird untersucht, wie sich verschiedene Algorithmen bei Einzel- sowie Fächersonarmessungen verhalten, um herauszufinden, welche Interpolation die Morphologie des Meeresbodens am realitätsnächsten abbildet. Allerdings sind weite Teile der Meeresböden noch nicht durch genaue Messungen erfasst. Somit basiert ein Großteil der bathymetrischen Daten auf Satellitenmessungen des Schwerefeldes der Erde. Diese Technik unterstützt indes nur sehr geringe Auflösungen. Um Angaben über die Genauigkeit von globalen Datensätzen machen zu können, wird die gemessene Bathymetrie des Projektgebietes mit präzidierter Bathymetrie verglichen. Abschluss der Arbeiten bildet die Visualisierung des Ritscher Canyons in Form einer Filmsequenz.



Forschungsschiff FS Polarstern bei wissenschaftlichen Untersuchungen sowie bathymetrischen Messungen in der Antarktis (Weddel Meer, 2004)

Abstract

In recent times the oceans gain more and more importance as habitat for various life forms. Raw materials on the continents are slowly disappearing and mining beneath the ocean's surface is becoming extremely profitable. A multitude of Nations are becoming widely interested in the so far unexplored regions of the world's oceans. Also the importance of research becomes more significant due to the effects of global warming. To conduct a scientific and an economic analysis, detailed knowledge of the ocean-floors' topography is essential. Multibeam echosounders allow high quality data capture. But to achieve a homogeneous morphology of the ocean floor further raw data processing is necessary. What errors can occur, how to edit these and why they occur is examined in a survey of the Ritscher Canyon, which is a deep-sea trench located at the edge of Antarctica.



Research Vessel FS Polarstern during bathymetric survey in Antarctica (Weddel Sea, 2004)

Besides multibeam measurements, underwater survey with singlebeam echosounders is commonly utilized. These units deliver less accurate data sets, which have possible errors in digital elevation models as a result. Another criterion that is responsible for the quality of the bathymetric data set is the choice among the different interpolation methods that the respective scientist ultimately decides to use. It is examined how different algorithms affect single- and multibeam surveys so that one is able to identify the interpolation which displays the ocean's floor in the most accurate fashion. However vast areas of the world's seabed have not yet been fully covered by exact scientific investigations. Therefore bathymetric data is predominantly based on satellite measurements of the earth's gravitational field. In the meanwhile this technology supports only very low resolutions. In order to be able to provide further information about the accuracy of global data sets, the measured bathymetry of the project's area is compared to a predicted bathymetry. At the end of the thesis a visualisation of the Ritscher Canyon is presented in the form of a film sequence.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken ohne deren bereitwillige Hilfe diese Bachelorarbeit nicht zustande gekommen wäre.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Dr. Hans-Werner Schenke und Herrn Dr. Norbert Ott vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung bedanken, die mir die Möglichkeit gegeben haben, mein Berufspraktikum am AWI zu absolvieren. Sie ermöglichten mir außerdem die Teilnahme an der Arktisexpedition ARK XXIV/3 mit dem Forschungsschiff FS Polarstern, wofür ich mich noch einmal ausdrücklich bedanken will. Besonders danken möchte ich noch einmal Herrn Dr. Ott, mit dessen Hilfe das Thema der Arbeit ausgearbeitet wurde und der mir als Betreuer am AWI jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Herrn Dr. Heinz Stanek möchte ich für die Betreuung von Seiten der Fachhochschule Kärnten danken. Er ließ mir beim Verfassen der Arbeit den nötigen Freiraum und stand immer für etwaige Fragen zu Verfügung.

Für die Hilfestellung bei kleineren sowie größeren Problemen, die während der Arbeiten am Projekt auftraten, möchte ich mich bei Fred Niederjasper, Ralf Krockner und Jörn Hatzky aus der Arbeitsgruppe Bathymetrie und Geodäsie bedanken. Des Weiteren bedanke ich mich bei Dorothea Graffe, die stets zur Stelle war, um mich bei Fragen bezüglich der Software ArcGIS zu unterstützen.

Auch danke ich meinen Freunden und Studienkollegen, die mich während des Studiums begleitet haben und wenn nötig für Ablenkung sorgten.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich während des Studiums finanziell sowie mit ihrer Fürsorge unterstützt hat. Ohne sie wäre das alles nicht möglich gewesen. Danke!

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis	Seite 08
2.	Einleitung	Seite 09
	<u>2.1. Motivation</u>	Seite 09
	<u>2.2. Ziel der Arbeit</u>	Seite 10
	<u>2.3. Literaturüberblick</u>	Seite 10
	<u>2.4. Hypothese</u>	Seite 11
	<u>2.5. Struktur der Arbeit</u>	Seite 11
3.	Theoretischer Hintergrund	Seite 12
	<u>3.1. Grundlagen der Bathymetrie</u>	Seite 12
	<i>3.1.1. Einführung in die Thematik</i>	Seite 12
	<i>3.1.2. Gemessene Bathymetrie</i>	Seite 13
	3.1.2.1. Einzelstrahlecholot	Seite 13
	3.1.2.2. Fächerecholot	Seite 14
	<i>3.1.3. Prädizierte Bathymetrie</i>	Seite 15
	<u>3.2. Bathymetrische Daten im Südlichen Ozean</u>	Seite 16
	<i>3.2.1. General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)</i>	Seite 16
	<i>3.2.2. Earth Topographie (ETOPO1)</i>	Seite 17
	<i>3.2.3. International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO)</i>	Seite 18
	<i>3.2.4. Verteilung von gemessener zu prädizierter Bathymetrie</i>	Seite 18
	<u>3.3. Anwendung bathymetrischer Daten in der Wissenschaft</u>	Seite 19
4.	Prozessierung bathymetrischer Rohdaten	Seite 20
	<u>4.1. Untersuchungsgebiet</u>	Seite 20
	<i>4.1.1. Geographische Lage des Projektgebietes</i>	Seite 20
	<i>4.1.2. Rahmen der Datenerfassung</i>	Seite 20
	<u>4.2. Beschreibung des Messsystems</u>	Seite 21
	<u>4.3. Erwartete Qualität und Quantität der Daten</u>	Seite 21
	<u>4.4. Ablauf der Datenbereinigung</u>	Seite 22
	<u>4.5. Aufbereitung der Positionsdaten</u>	Seite 22
	<u>4.6. Aufbereitung der Tiefendaten</u>	Seite 23
	<i>4.6.1. Grobe Fehler</i>	Seite 23
	<i>4.6.2. Systematische Fehler</i>	Seite 24
	<i>4.6.3. Zufällige Fehler</i>	Seite 27
	<u>4.7. Fazit der Rohdatenprozessierung</u>	Seite 28
5.	Digitale Modellierung des Geländes	Seite 29
	<u>5.1. Allgemeine Informationen</u>	Seite 29
	<u>5.2. Export und Import der Daten von CARIS nach ArcGIS</u>	Seite 30

<u>5.3. Interpolation zu Rasterdaten</u>	Seite 30
<i>5.3.1. Deterministische Methoden</i>	Seite 30
5.3.1.1. Inverse Distance Weighting (IDW)	Seite 30
5.3.1.2. Natural Neighbour (NN)	Seite 31
5.3.1.3. Spline	Seite 33
<i>5.3.2. Geostatistische Methoden</i>	Seite 35
5.3.2.1. Kriging	Seite 35
6. Vergleich der Interpolationsmethoden	Seite 37
<u>6.1. Modellierung von Contour-Lines</u>	Seite 37
<u>6.2. Vergleich der Interpolationen mittels der prozessierten Daten</u>	Seite 37
<i>6.2.1. Visueller Vergleich</i>	Seite 37
<i>6.2.2. Vergleich der Isolinien</i>	Seite 38
<i>6.2.3. Differenzbilder</i>	Seite 39
<i>6.2.4. Statistik</i>	Seite 40
<i>6.2.5. Interpretation der Ergebnisse</i>	Seite 41
<u>6.3. Vergleich der Interpolationen mittels simulierten Einzelstrahl Messungen</u>	Seite 42
<i>6.3.1. Visueller Vergleich</i>	Seite 42
<i>6.3.2. Vergleich der Isolinien</i>	Seite 43
<i>6.3.3. Differenzbilder</i>	Seite 44
<i>6.3.4. Statistik</i>	Seite 46
<i>6.3.5. Interpretation der Ergebnisse</i>	Seite 47
<u>6.4. Interpretation der Interpolationsmethoden</u>	Seite 47
7. Gegenüberstellung von gemessener Bathymetrie und Prädizierter Bathymetrie aus globalen Datensätzen	Seite 49
<u>7.1. Vergleich der Datensätze</u>	Seite 49
<i>7.1.1. Visueller Vergleich</i>	Seite 49
<i>7.1.2. Differenzbilder</i>	Seite 50
<i>7.1.3. Statistik</i>	Seite 51
<u>7.2. Ergebnisse und Interpretation</u>	Seite 52
8. Visualisierung der Geländemodelle	Seite 53
<u>8.1. Posterpräsentation / ArcGIS</u>	Seite 53
<u>8.2. Film / Fledermaus</u>	Seite 54
9. Diskussion	Seite 55
10. Zusammenfassung	Seite 56
11. Ausblick	Seite 57
12. Literaturverzeichnis	Seite 58
13. Abbildungsverzeichnis	Seite 63
14. Anhang	Seite 65

1. Abkürzungsverzeichnis

AVI	Audio Video Interleave
AWI	Alfred-Wegener-Institut
BODC	British Oceanographic Data Center
DGM	Digitales Geländemodell
ETOPO	Earth Topography
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
IBCSO	International Bathymetric Chart of the Southern Ocean
IDW	Inverse Distance Weighting
NGDC	National Geophysical Data Center
NN	Natural Neighbour
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated Irregular Network
USGS	U.S. Geological Survey

2. Einleitung

2.1. Motivation

71% der Erdoberfläche ist von Ozeanen und Flachmeeren bedeckt. Allerdings sind große Teile der Meere noch unerforscht und unser Wissen über die Topographie der Meeresböden ist sehr begrenzt. Doch gleichzeitig gewinnen die Weltmeere, besonders die arktischen und antarktischen Regionen, und die damit verbundenen ökonomischen und ökologischen Fragestellungen immer mehr an Bedeutung. Die Förderung von Rohstoffvorkommen unter der Wasseroberfläche wird immer rentabler. Daraus resultierende Kontroversen zwischen Staaten um Abbaurechte erscheinen immer wahrscheinlicher. Allein auf die Gebiete unter dem Nordpolarmeer erheben fünf Staaten Anspruch, darunter Großmächte wie die USA und Russland. Um ihren Ansprüchen Nachdruck zu verleihen wurde z.B. im August letzten Jahres die russische Flagge auf dem Meeresgrund unter dem Nordpol gehisst.

Des Weiteren gewinnt auch die Forschung zunehmend an Gewicht, bedingt durch den Klimawandel und das Abschmelzen der Polkappen. Wie sich der antarktische Zirkumpolarstrom oder der abnehmende Salzgehalt in den Weltmeeren auf das Weltklima auswirken, sind Fragestellungen, die im Moment intensiv erforscht werden.

Hierbei ist die Topographie der Meeresböden ein wichtiger Parameter, sowohl für Wissenschaft als auch für Industrie und nationale Interessen. Allerdings sind noch immer nur wenige Prozent des Meeresbodens genau kartographiert (Wille 2005). Daraus resultiert eine lückenhafte Datengrundlage. Die größtenteils schlechte Qualität bathymetrischer Daten ist einerseits auf unzureichendes Datenmaterial zurückzuführen, aber auch falsch angewandte Interpolationen und eine fehlerhafte Verknüpfung von Datensätzen können zu Unregelmäßigkeiten in der Topographie führen. Teils werden Strukturen erschaffen (Abb. 1), teils verfälschen Interpolationsmethoden geomorphologische Eigenschaften der Meeresbodentopographie. Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit soll geklärt werden, welche Interpolationsmethode sich am besten für verschiedene Ver-



Abb. 1 „Atlantis“: Am 20. Februar dieses Jahres veröffentlichte die Englische Zeitung „Sun“ einen Artikel mit dem Titel „Is this Atlantis?“. Hierbei handelt es sich keinesfalls um den Grundriss einer Stadt auf dem Meeresgrund. Die Artefakte entstanden durch Sonardaten die unsachgemäß in einen globalen Datensatz integriert wurden. Die Linien spiegeln dabei die Route des Schiffs wieder.

teilungen von Messpunkten eignet (Kapitel 7.4). Darüber hinaus werden qualitative Unterschiede zwischen Fächersonar, Einzelstrahlmessungen und prädizierter Bathymetrie, sowie die Notwendigkeit von zukünftigen Messungen aufgezeigt.

2.2. Ziel der Arbeit

Die Arbeitsgruppe „Bathymetrie und Geodäsie“ des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung arbeitet zurzeit an der Erstellung einer ersten Internationalen Bathymetrischen Karte des Südlichen Ozeans (IBCSO). Im Rahmen dieses Projektes wurde auch der Ritscher Canyon in der Antarktis von amerikanischen Wissenschaftlern mit Hilfe eines Fächersonars vermessen.

Um die Rohdaten für eine weitere Verwendung nutzbar zu machen, müssen die Datensätze zunächst editiert werden, um ein möglichst realistisches Abbild des Meeresbodens zu erhalten und Fehler zu minimieren. Der prozessierte Datensatz des Ritscher Canyons wird im Anschluss zu einer digitalen Modellierung des Geländes herangezogen.

Um die Topographie des Meeresbodens zu modellieren, werden die vorhandenen Messpunkte zu einem Raster-Grid interpoliert. Anhand von Interpolationsmethoden, Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging, Spline und Natur Neighbour (NN) soll evaluiert werden welche Methode sich am besten für welche Verteilung von Messpunkten eignet. Hierfür werden sowohl die Lagekoordinaten (x, y) als auch die Tiefenwerte (z) bei den editierten Fächersonar- und einem reduzierten Datensatz und bei einer simulierten Einzelstrahlmessung verglichen. Letztendlich sollen Aussagen über die Qualität der Interpolationsmethoden bei verschiedenen Verteilungen von Messpunkten, sowie über qualitative Unterschiede von Fächersonar und Einzelstrahlmessungen gemacht werden können.

Ergänzend wird die gemessene Bathymetrie des Ritscher Canyons mit prädizierter Bathymetrie verglichen, um Angaben über die Genauigkeit von globalen Datensätzen machen zu können. Zum Abschluss der Arbeit erfolgt eine Visualisierung des Canyons in Form eines Fly-through Movies.

2.3. Literaturüberblick

Einschlägige Literatur ist zum Großteil in wissenschaftlichen Abhandlungen zu finden. Eine weitere wichtige Quelle stellen thematisch verwandte Diplomarbeiten dar. Neben gedruckter Literatur wird sich auf Inhalte relevanter Websites (NOAA, USGS) bezogen. Weitere Informationen liefert ESRI ArcGIS Desktop Help 9.3.

Zentrale Arbeiten im Bereich der Akustik sowie Echolottechnologie sind „An Introduction to Underwater Acoustics“ von Xavier Lurton sowie wissenschaftliche Papers von Hans-Werner Schenke. Wichtige Informationen im Bereich der globalen Datensätze, sowie der prädizierten Bathymetrie, lieferten die Veröffentlichungen von Sandwell & Smith. Die digitale Geländemodellierung und Verwendung der Interpolationsmethoden stützt sich hauptsächlich auf das Werk „Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques und Software Tools“ von de Smith, Goodchild und Longley.

2.4. Hypothese

Die für die Arbeit benötigten Fächersonardaten des Ritscher Canyons liegen zunächst in Form von Rohdaten vor. Um eine realistische Topographie des Meeresbodens zu erhalten, müssen die Messpunkte einer Datenprozessierung unterzogen werden. Hierfür wird die Software CARIS HIPS 6.1 verwendet. Zur Prüfung der GPS Koordinaten steht der „Navigation Editor“, für das Editieren der Tiefenwerte der „Swath Editor“ zur Verfügung. Für eine abschließende Kontrolle wird eine erste Visualisierung des Datensatzes mittels des „Field Sheet Editor“ vorgenommen.

Aus den editierten Daten können darauffolgend digitale Geländemodelle generiert werden. Hierfür steht ArcGIS in der Version 9.3 zur Verfügung. Für die Bearbeitung der nachfolgenden Arbeitspakete werden zudem die Extensions „3D Analyst“, „Spatial Analyst“ sowie „Geostatistical Analyst“ benötigt. Ziel der Arbeiten mit ArcGIS ist es, einerseits herauszufinden, welche Interpolationsmethode verwendet werden kann, um entsprechend den Voraussetzungen möglichst gute Ergebnisse zu erzielen, Artefakte zu vermeiden und geomorphologische Strukturen beizubehalten. Des Weiteren sollen qualitative Unterschiede zwischen Fächersonar, Einzelstrahlmessungen und prädzierter Bathymetrie analysiert werden. Den Abschluss der Arbeit bildet ein Fly-through Movie durch den Ritscher Canyon, erzeugt anhand der Software „Fledermaus“.

2.5. Struktur der Arbeit

Der Punkt „Theoretischer Hintergrund“ beinhaltet eine Einführung in die Grundlagen der Bathymetrie und erklärt die Funktionsweise von Einzelstrahlcholot, Fächerecholot und Prädzierter Bathymetrie. Weiters werden im südlichen Ozean vorhandene Datensätze vorgestellt und die Verteilung von gemessener zu prädzierter Bathymetrie erläutert. Im Anschluss wird die Anwendung bathymetrischer Daten in der Wissenschaft angeführt. Das Arbeitspaket „Prozessierung bathymetrischer Rohdaten“ umfasst eine Beschreibung des Untersuchungsgebietes und des Messsystems. Außerdem wird auf die erwartete Qualität und Quantität der Daten Bezug genommen. Hauptbestandteil dieses Punktes stellt die Analyse der Datenbereinigung dar. Unter „Digitale Modellierung des Geländes“ werden deterministische und geostatistische Interpolationsmethoden erklärt. Der Abschnitt „Vergleich der Interpolationsmethoden“ zeigt die Gegenüberstellung der verschiedenen Interpolationen bei prozessierten Fächersonardaten und simulierten Einzelstrahlmessungen. Nachkommend erfolgt eine Gegenüberstellung von gemessener Bathymetrie und prädzierter Bathymetrie aus globalen Datensätzen. Der Punkt „Visualisierung der Geländemodelle“ zeigt die nötigen Schritte zur Erstellung eines Fly-through Movies durch den Canyon. Im Folgenden werden die Ergebnisse sowie eine Zusammenfassung der Arbeit präsentiert. Abschließend findet eine Diskussion der Resultate statt und mögliche Folgeprojekte werden in einem Ausblick angeführt.

3. Theoretischer Hintergrund

3.1. Grundlagen der Bathymetrie

3.1.1. Einführung in die Thematik

Unter Bathymetrie versteht man die Repräsentation und Visualisierung der Topographie des Meeresbodens. Das Wort ist aus den griechischen Wörtern *báthos* = Tiefe und *metró* = Messen zusammengesetzt (Kohls 2004).

Erste Versuche submarine Hindernisse mittels Schallwellen auszumachen, wurden Anfang des 20. Jahrhunderts unternommen. Mit Beginn des ersten Weltkriegs wurden Echolote dazu eingesetzt, feindliche U-Boote zu lokalisieren. Nach dem Krieg wurde die Technik weiter verbessert und für erste systematische Vermessungen des Meeresbodens im Südatlantik verwendet. Die Besatzung des deutschen Forschungsschiffs „Meteor“ vermaß von 1925-1927 den Südatlantik und erstellte mit diesen Daten die erste moderne und großflächige Karte des Meeresbodens (Leier 2002; Pinet 1999; Seibold & Berger 1996). In den folgenden Jahren setzte vor allem der militärische Bereich Impulse zur Weiterentwicklung von Sonarsystemen, bedingt durch den Zweiten Weltkrieg und den drauffolgenden Konflikt zwischen Ost und West. Seit Anfang der 1960er Jahre wurden Echolote zunehmend für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt. In der ersten Phase der Entwicklung kamen Einzelstrahlecholote zur Anwendung. Diese Systeme wurden in den 1970er Jahren durch Fächerecholote ergänzt. Fächerecholotsysteme ermöglichen bis heute eine wesentlich effizientere Vermessung des Meeresbodens (Lurton 2002; Gardner et al. 2000). Allerdings wird vermutet, dass es noch 125 bis 200 Jahre dauern

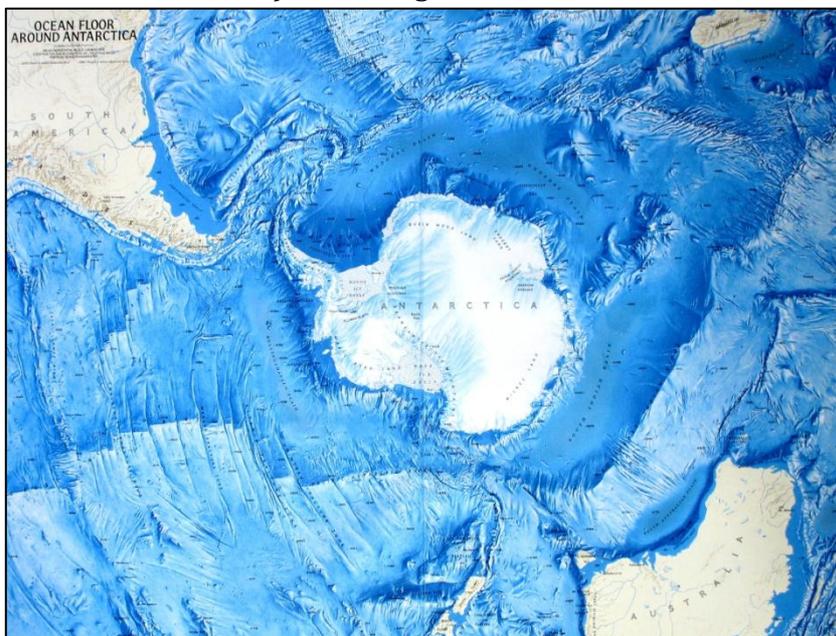


Abb. 2 „Heezen & Tharp Map: Ausschnitt aus der ersten Topographischen Karte der Weltozeane von Bruce Heezen und Marie Tharp. Veröffentlicht wurde das Werk 1977 und verhalf der Theorie der Kontinentalverschiebung zum Durchbruch.

wird, bis der gesamte Meeresboden flächendeckend vermessen ist (Sandwell et al. 2008). In den 1970er Jahren wurde ferner eine weitere Technik entwickelt, um die Struktur des Meeresbodens zu präzisieren:

Die Satellitenaltimetrie macht es möglich durch die Schwereinversion indirekt Auskunft über die Topographie des Meeresbodens zu bekommen (Parker 1972; Oldenburg 1974). 1977 wurde von Heezen & Tharp die erste umfassende Topographie der

Weltozeane veröffentlicht (Abb. 2). 1979 wurde unter Schirmherrschaft der Internationalen Hydrographischen Kommission und der Intergovernmental Oceanographic Commission die General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) publiziert. Diese vereint

bathymetrische Daten aus unterschiedlichen Quellen auf einer Karte und wird fortlaufend aktualisiert (Weber 1989).

Tiefenmessungen werden zur Herstellung von bathymetrischen und nautischen Karten, der Interpretation von Meeresbodenstruktur und für geologische und geophysikalische Untersuchungen verwendet (Jacops 2002). Neben der Wissenschaft findet die Bathymetrie Anwendung bei ökonomischen Fragestellungen, beispielsweise der Erkundung neuer Rohstoffvorkommen oder der Hochseefischerei.

3.1.2. Gemessene Bathymetrie

Unter gemessener Bathymetrie versteht man topographische Daten des Meeresbodens, die mit Hilfe von hydroakustischen Geräten gewonnen wurden. Die geläufigsten Sonarsysteme sind Einzelstrahl- und Fächerecholote. Beide Systeme arbeiten als aktives Sonars. Das Echolot sendet ein starkes akustisches Signal aus, das vom Ziel (i.e. dem Meeresboden) reflektiert wird (Lurton 2002). Die Tiefe wird dabei über eine Laufzeitmessung berechnet, die ein ausgesendeter Schallimpuls benötigt, um die Wassersäule zu durchlaufen. Die vereinfachte Formel zur Berechnung der Wassertiefe lautet:

$$T = \frac{s}{2} = \frac{vt}{2}$$

T[m] = Wassertiefe

s[m] = Länge des Schallwegs

v[m/s] = Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls

t[s] = Laufzeit

Wobei v von Druck, Salzgehalt und Temperatur abhängig ist. In Meerwasser beträgt die Schallgeschwindigkeit meist zwischen 1.450 m/s und 1550 m/s (Lurton 2002). Um Echolotmessungen verschiedener Messfahrten miteinander korrelieren zu können, wird die Wasserschallgeschwindigkeit auf 1500m/s normiert.

3.1.2.1. Einzelstrahlecholot

Ein Einzelstrahlecholot sendet vertikal unter dem Schiff ein kurzes Signal aus, meist mit einem Öffnungswinkel von 5-15°. Dieses System ist auch in der Lage Echos von Objekten in der Wassersäule zu erkennen, weshalb Einzelstrahlecholote oft beim Fischfang eingesetzt werden. Die Auflösung des Systems ist dabei abhängig von Wassertiefe, dem Öffnungswinkel des Sensors und der Geschwindigkeit des Schiffs. Je schneller sich das Schiff bewegt, desto größer werden die Abstände zwischen einzelnen Messpunkten. Je tiefer das Wasser, desto größer wird der Footprint. Der Footprint ist der Bereich, der am Meeresboden mit Messsignalen einer einzelnen Messung abgedeckt wird (Lurton 2002). Der Durchmesser des Footprints berechnet sich aus:

$$\delta = 2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) T$$

δ = Durchmesser des Footprints

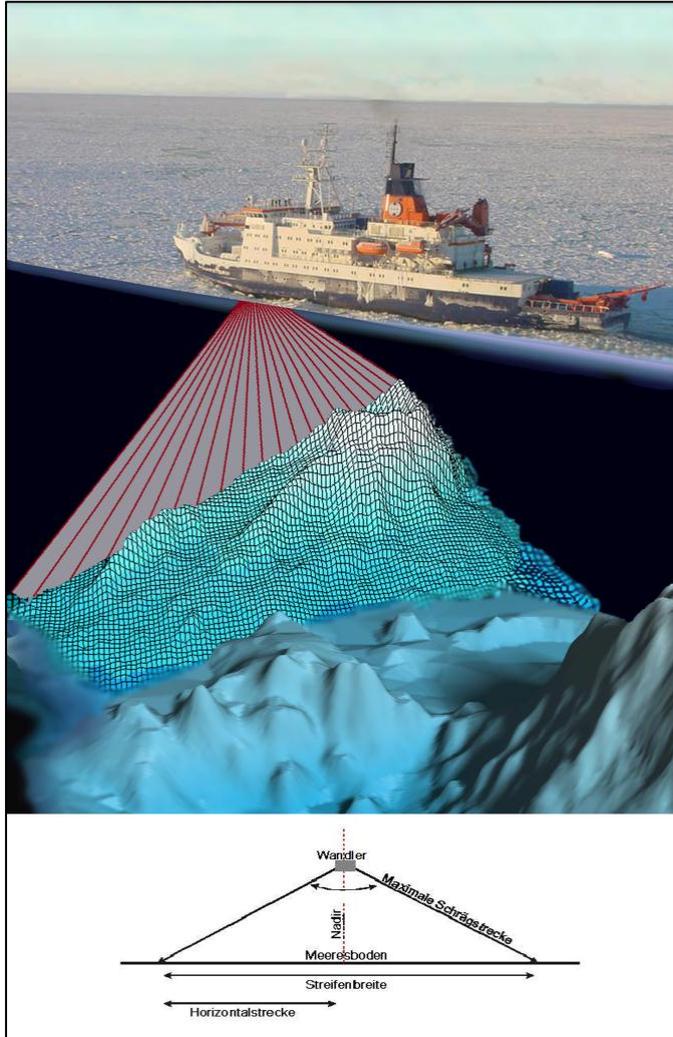
α = Öffnungswinkel

T = Wassertiefe

Alle im Footprint befindlichen Tiefen werden zu einem Wert gemittelt, wodurch eine fein strukturierte Aufnahme des Meeresbodens unmöglich wird. Bedingt durch die relativ große Auflösung (besonders im Falle von Tiefwasser) und nur einem Messwert in Fahrtrichtung des Schiffes eignen sich Einzelstrahlecholote nur eingeschränkt zur realistischen Abbildung des Meeresbodens.

3.1.2.2. Fächerecholot

Fächerecholote werden eingesetzt, um die Abdeckung des Untersuchungsgebietes zu



maximieren und somit die Produktivität zu steigern (de Jong et.al. 2002). Fächersonaranlagen erlauben es, einen breiten Streifen unter dem Schiff kontinuierlich zu vermessen (Schenke 1993). Dabei wird ein Fächer akustischer Signale mit kleinen individueller Breiten ($1-3^\circ$) quer zur Fahrtrichtung des Schiffes ausgesandt (Abb3). Die Auflösung des gemessenen Streifens am Meeresgrund ist abhängig von folgenden Faktoren: Öffnungswinkel des Fächers ($90-150^\circ$), Anzahl der Signale (59-240), Wassertiefe und Geschwindigkeit des Schiffes. Durch die Geschwindigkeit des Schiffes wird der Abstand der einzelnen Messfächer bestimmt: je größer die Geschwindigkeit des Schiffes, desto größer wird die Distanz zwischen den Messstreifen (Schenke 1993). Je tiefer das Wasser, desto größer werden die Abstände zwischen einzelnen Strahlen, sowie deren Footprint. Die Größe des Footprints variiert des Weiteren mit dem Winkel des ausgesandten Signals: Während für das

Abb. 3: Schema der Meeresbodenvermessung mit Fächerecholot

vertikal gesendete Signal (Winkel 0°) weiterhin die Formel

$\delta = 2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) T$ gültig ist, gilt für Berechnungen mit Winkeln $\neq 0$:

$$\delta \approx T \left\{ \tan\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right) - \tan\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) \right\}$$

δ = Durchmesser des Footprints

α = Öffnungswinkel

T = Wassertiefe

φ = Winkel des ausgesandten Signals

So würde sich für eine Tiefe $T = 1000$ m, einem Öffnungswinkel $\alpha = 2^\circ$ und einem Winkel des ausgesandten Signals $\varphi = 60^\circ$ ein Durchmesser des Footprints $\delta = 34,9$ m für das vertikale Signal und ein Durchmesser $\delta = 139,8$ m für das Signal am äußeren Rand des Fächers ergeben.

Eine mögliche Anwendung von Fächersonarmessungen ist die Herstellung bathymetrischer Karten mit lagegenauen Tiefenlinien. Die Koordinatenbestimmung der einzelnen Fächerelemente erfolgt über die Schiffpositionierung und den rechtsweisenden Kurs des Schiffes, der durch geographisch Nord und die Kielrichtung des Schiffes definiert wird (Schenke 1993).

3.1.3. Präzidierte Bathymetrie

Gemäß den Gesetzen der Physik ist die Oberfläche der Ozeane eine Äquipotentialfläche des Gravitationsfeldes der Erde. Diese Fläche wird auch als Geoid bezeichnet. Die Erde ist keine Kugel, sondern annähernd ein Ellipsoid, dessen Abplattung an den Polen ca. 43 km beträgt. Aber auch dieses Rotationsellipsoid entspricht nicht der wahren Figur der Erde. Auf den Kontinenten bestehen die Abweichungen aus Bergen und Tälern. Auf der Ozeanoberfläche gibt es ebenfalls Abweichungen vom Rotationsellipsoid, die bis zu 100 m ausmachen. Diese „Beulen“ und „Senken“ auf der Meeresoberfläche entstehen durch kleine Anomalien im Schwerefeld der Erde. Zum Beispiel verursacht die zusätzliche Gravitation eines unterseeischen Berges eine „Beule“ an der Wasseroberfläche. Diese Unregelmäßigkeiten können mit sehr präzisen, an Satelliten angebrachten, Radargeräten gemessen werden. Um die Topographie der Ozeanoberfläche festzustellen, sind zwei Distanzmessungen nötig (Smith & Sandwell 2008): Mit Hilfe von Referenzstationen kann die Position und die Höhe (h^n) des Satelliten über dem Geoid genau bestimmt werden. Mit einem senkrecht zum Rotationsellipsoid gerichteten Radarimpuls kann durch Zeitmessung die tatsächliche Höhe (h) des Satelliten über der Ozeanoberfläche errechnet werden (Abb. 4). Die Differenz zwischen der Höhe über dem Geoid und der Höhe über der Wasseroberfläche ergibt die Höhe des Geoids (N):

$$N = h^n - h$$

Schließlich werden tatsächlich gemessene Werte von Echoloten genutzt, um die Daten aus der Satellitenaltimetrie zu kalibrieren und deren Genauigkeit zu verbessern (Smith & Sandwell 2003).

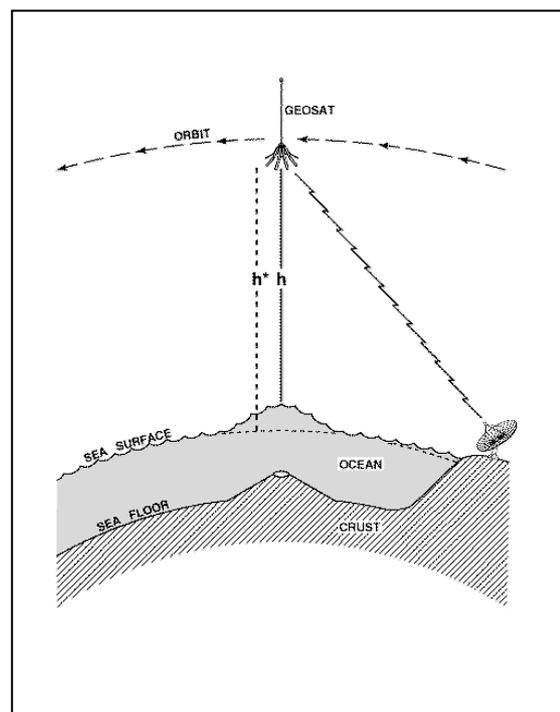


Abb. 4: Berechnung der Höhe des Geoids am Beispiel des Satelliten Geosat (Smith & Sandwell 2003).

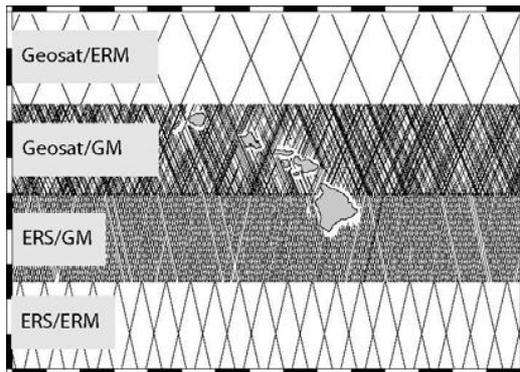


Abb. 5: Satellitenflughbahnen im Bereich von Hawaii (McAdoo 2008).

Durch die Satellitenaltimetrie (Geosat, ERS-1) ist eine flächendeckende Vermessung des Meeresbodens möglich. Satelliten überfliegen jeden Bereich der Ozeane, was zu einer hohen Datendichte führt (Abb. 5). Auch stellen Hoheitsgebiete oder schwer zugängliche Regionen kein Problem dar. Darüber hinaus ist der finanzielle Aufwand wesentlich geringer als bei Schiffsmessungen. Allerdings ist die Auflösung von präzidierten Bathymetrie signifikant geringer, als es Messungen mit Echoloten ermöglichen. Derzeitige Systeme haben eine minimale Zellengröße von 10 km*10 km, Echolote lassen im Tiefwasser Zellen von 100 m*100 m zu. Ferner können Strukturen am Meeresgrund präzidiert oder nicht erkannt werden. So musste das deutsche Forschungsschiff „Polarstern“ im September 2008 feststellen, dass ein unterseeischer Vulkan mit einer Ausdehnung von 30 km*40 km und einer Höhe von 700 m über dem Meeresboden nicht vorhanden war (Jokat 2008).

3.2. Bathymetrische Daten im südlichen Ozean

Im Bereich des südlichen Ozeans stehen flächendeckende Datenkompilationen aus Satellitenaltimetrie und Echolotmessungen zur Verfügung. Diese globalen bathymetrischen Datensätze sind frei zugänglich. Jeder Datensatz verbindet Messungen und Informationen aus verschiedenen Quellen und beim Erstellen der Datensätze werden unterschiedliche Methoden angewandt. Deshalb variieren alle Datensätze und können deshalb für einige Zwecke besser geeignet sein als für andere (Marks et. al. 2006). Die zwei meist verwendeten globalen Rasterdatensätze sind GEBCO und ETOPO1.

3.2.1. General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Der GEBCO Datensatz ist ein frei verfügbarer, globaler, bathymetrischer Datensatz, bereitgestellt vom British Oceanographic Data Center (BODC). 1994 wurden die Daten erstmals in digitaler Form veröffentlicht. Seit April 2003 (überarbeitet 2008) gibt es die dritte Edition des GEBCO Digital Atlas mit einer Zellengröße von 1*1 Bogenminuten. Am Äquator entspricht dies in metrischen Koordinaten einem Raster mit einer Dimension von 1,85 km*1,85 km, in polaren Bereichen bei 60° nur noch 0,92 km in Ost-West-Richtung bei gleicher Breite in Nord-Süd-Richtung. (Goodwille 2004).

Der digitale Datensatz der Ozeane erstreckt sich über die gesamte Erde. Das Raster besteht, je nach Gebiet, aus folgenden Daten:

- Digitalisierte bathymetrische Konturen aus dem GEBCO Digital Atlas
- Landmasse aus der GLOBE Datenbank
- Küstenlinien aus der WVS Datenbank
- Antarktische Küstenlinien aus der SCAR Datenbank
- Zusätzliche Flachwasser Konturen aus Echolotmessungen
- Zusätzliche Konturen in Gegenden ohne Features
- Zusätzliche einzelne Echolotmessungen

Dabei ist die Herkunft der Daten je nach Region unterschiedlich (Abb. 6):

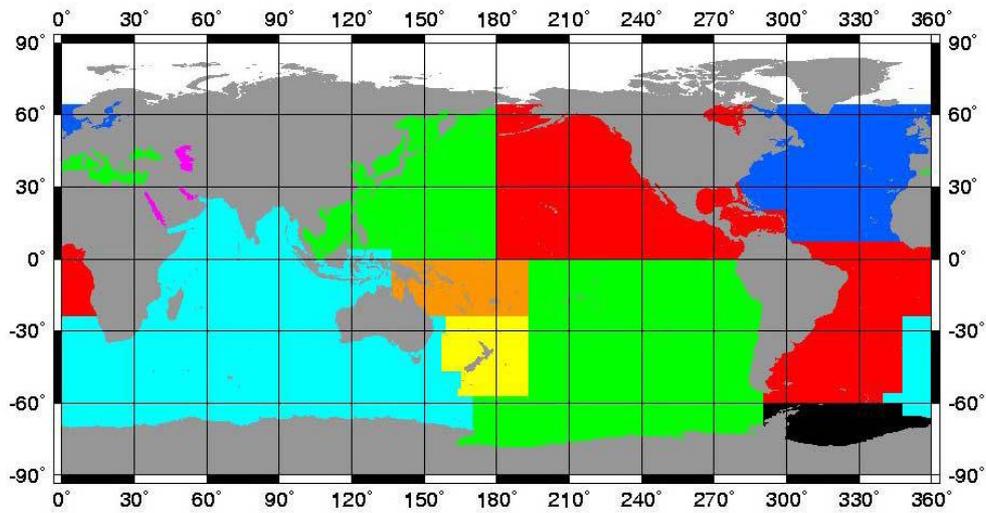


Abb. 6: Geographische Übersicht der Herkunft der Daten des GEBCO Digital Atlas (Goodwille 2004)

Die für die Bachelorarbeit relevanten Daten liegen im hellblauen Sektor, ca. bei 66° Süd und 30° Ost. Diese Daten wurden bereitgestellt und überarbeitet von Andrew Goodwille, die Interpretation der Isobathen erfolgte von Robert Fisher.

3.2.2. Earth Topographie (ETOPO1)

Der Etopo1 Datensatz ist ebenfalls ein frei verfügbares, globales Grid mit einer Auflösung von einer Bogenminute. Integriert ist sowohl die Topographie der Kontinente als auch die Bathymetrie der Ozeane. Herausgeber ist das National Geophysical Data Center (NGDC), eine Abteilung der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Der Datensatz ist in den Ausführungen „Ice Surface“ (Eisdecke der Antarktis und Grönlands) und „Bedrock“ (Untergrund der Eisdecken) erhältlich. Das Raster wurde aus diversen globalen und regionalen Datensätzen erzeugt, zum Großteil aus der prädierten Bathymetrie von Sandwell & Smith (Abb. 7). Die Daten liegen in geographischen Koordinaten vor (WGS 1984)(Amante et. al. 2008).

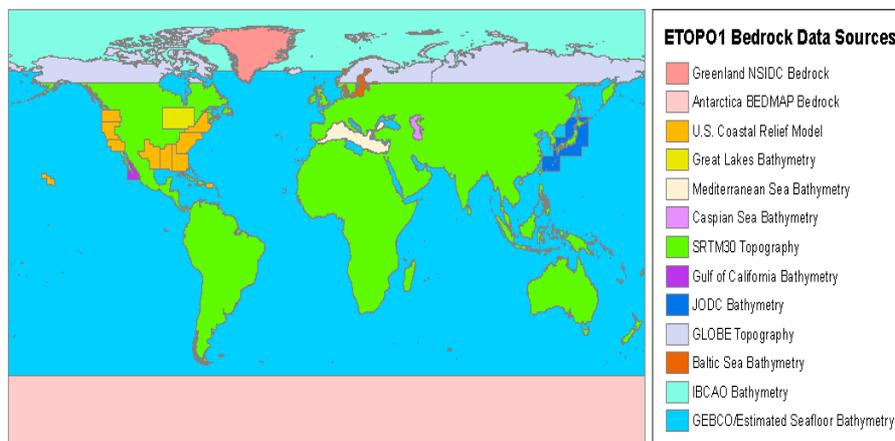


Abb. 7: Quellen der Datensätze des ETOPO1 Bedrock Modells (Amante 2008)

Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Daten wurden von dem Antarctica Bedrock Program der British Antarctic Survey (BEDMAP) bereitgestellt. Dieser Datensatz beinhaltet folgende Grids: Eisdicke über dem Kontinentalboden, Mächtigkeit des Schelfeises, Wassersäule unter dem Schelfeis, Topographie unter dem Festlandeis sowie Bathymetrie bis 60° Süd (Lythe et. al. 2001).

3.2.3. *International Chart of the Southern Ocean (IBCSO)*

Im Rahmen der International Chart of the Southern Ocean (IBCSO) soll ein homogener bathymetrischer Datensatz des südlichen Ozeans mit einer Ausdehnung von 90° bis 50° Süd entstehen. Das Projekt wurde 2002 ins Leben gerufen und seit 2006 hat das Alfred-Wegener-Institut die Koordination übernommen. Eine Expertengruppe sammelt bathymetrische Daten aus Archiven, Datenzentren und Datenbanken von Hydrographischen Instituten und Forschungszentren. Ziel ist es Daten aus Einzelstrahlmessungen, Fächercholotmessungen, Radarbildern sowie Satellitenaltimetrie zu sammeln und diese in einem einheitlichen Datensatz zusammenzuführen (Ott et. al. 2007).

Die im Umfang dieser Bachelorarbeit prozessierten Rohdaten des Ritscher Canyons und der Expedition KNOX14RR fließen ebenfalls in die IBCSO Datenbank mit ein.

3.2.4. *Verteilung von gemessener zu prädizierter Bathymetrie*

Nur wenige Prozent des Meeresbodens, besonders im südlichen Ozean, sind exakt durch Echolotmessungen erfasst (Abb. 8). Die Dichte und Verteilung von Schiffsmessungen lässt Bereiche mit einem Ausmaß von 100.000 km² unerforscht (Marks et. al. 2006). So würde es ca. 125 weitere Jahre dauern, bis der gesamte Meeresboden flächendeckend vermessen ist (Sandwell et. al. 2008). Folglich müssen über weite Gebiete hinweg Isolien interpoliert und auf bathymetrische Daten aus Satellitenaltimetrie zurückgegriffen werden.

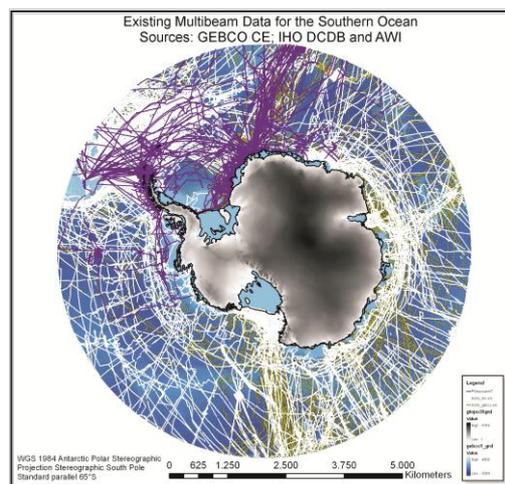


Abb. 8: Schiffsrouten im Bereich des südlichen Ozeans. Große Lücken treten insbesondere im Süd Pazifik auf. (Ott 2007)

3.3. Anwendung bathymetrischer Daten in der Wissenschaft

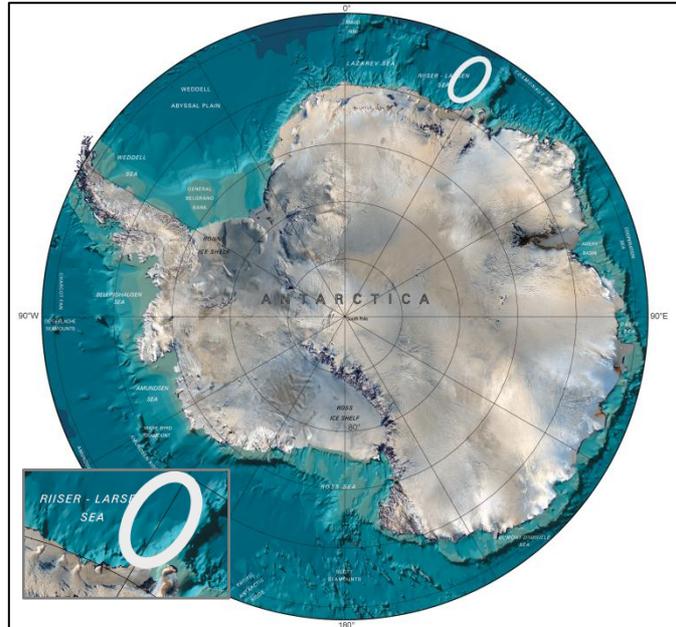
Bathymetrische Daten werden, neben der Herstellung von Karten, in vielen Bereichen der Wissenschaft benötigt. So dienen in der Biologie Fächersonardaten zur Kartierung von Biotopen an Kontinentalhängen (Wilson et. al. 2006). Auch in den Geowissenschaften spielt die Bathymetrie eine wichtige Rolle: Beispielsweise bei der Interpretation von Plattentektonischen Abläufen (Livermore et. al. 2007) oder der Rekonstruktion von paleogeographischen Prozessen (Brown et. al. 2006). Des Weiteren finden bathymetrische Daten und die Topographie des Meeresbodens Anwendung im Bereich der Klimawissenschaften, etwa als Kontrollvariable von Strömungsmodellen (Losch et. al. 2003; Le Provost et. al. 2003; Kunze et. al. 2003; Gille et. al. 2002). Neben der Forschung sind bathymetrische Daten für nationale und wirtschaftliche Interessen von Belang und finden in diesen Bereichen vielfältige Anwendung.

4. Prozessierung bathymetrischer Rohdaten

4.1. Untersuchungsgebiet

4.1.1. Geographische Lage des Projektgebietes

Der Ritscher Canyon befindet sich bei den Koordinaten 66° Süd und 30° Ost. Damit liegt er direkt westlich des Gunnrus Rückens, einer großen geomorphologischen Formation in der Riiser Larsen See (Abb. 9). Der gemessene Abschnitt der Struktur beträgt ungefähr 70 km in der Länge und 20 km in der Breite. Die Tiefe in diesem Gebiet variiert zwischen 4200 und 4900 m. Ein möglicher Entstehungsprozess könnte durch vom Kontinentalhang abfließende Trübeströme gegeben sein. Diese submarinen Sedimentrutschungen können durch gelegentliche Erdbeben, Stürme oder auch abfließendes



Schmelzwasser (Anhang 7) hervorgerufen werden. Dabei ist die Geschwindigkeit direkt proportional zum Gefälle des Hanges und der Dichte der Strömung. Wenn der Suspensionsstrom den Fuß des Hanges erreicht hat, verringert sich die Geschwindigkeit und Sediment beginnt sich abzusetzen. Dies führt zu einem submarinen Fächer, ähnlich einem Flussdelta auf dem Festland (Press et. al. 2003; Kagami 1994). Die Anfänge eines solchen Fächers könnten am nördlichen Rand des Ritscher Canyons zu erkennen sein.

Abb. 9: Geographische Lage des Ritscher Canyons bei 66° Süd und 30° Ost (GEBCO)

4.1.2. Rahmen der Datenerfassung

Die Fächersonardaten wurden im Rahmen der Expedition KNOX14RR (Kind of New and Old eXpeditions) vom SCRIPPS Institute of Oceanography in San Diego erhoben. Die Forschungsreise startete am 04.02.2008 in Kapstadt, Südafrika und endete am 17.03.2008 in Durban, Südafrika (Anhang 9). Als Forschungsschiff kam die R/V Roger Revelle zum Einsatz (Anhang 10). Verantwortlicher Wissenschaftler war Prof. Dr. Kevin Speer, Thema der Expedition stellten Untersuchungen für chemische und physikalische Ozeanographie dar. Die Vermessung des Ritscher Canyons fand am 07. Und 08. März statt. Die Fahrzeit über der Struktur betrug 10 Stunden, wobei sich die erfassten Rohdaten auf ca. 320.000 Messpunkte belaufen. Für die Bereitstellung der unbearbeiteten Fächerecholotdaten sei an dieser Stelle den Verantwortlichen der KNOX-Expedition gedankt.

4.2. Beschreibung des Messsystems

An Bord der R/V Roger Revelle ist seit 2001 ein Fächerecholot vom Typ Simrad EM 120 des Unternehmens Kongsberg Maritime installiert. Dieser Sensor wurde als Tiefseeecho- lot entwickelt um sowohl große Genauigkeiten als auch flächendeckende Messergeb- nisse zu liefern. Das Sonar arbeitet mit einer standardmäßig bei Tiefseeecho-loten einge- setzten Frequenz von 12 kHz. Die Messskala reicht von 20 m – 11.000 m Tiefe. Der Fä- cher besteht aus 191 Einzelstrahlen mit jeweils einem Winkel von 2°. Der Öffnungswin- kel beträgt 90° bis 150° (Abb. 10), wobei im Falle des Fahrtabschnittes über dem Rit- scher Canyon ein Winkel von 120° zum Einsatz kam. Die Genauigkeit wird dabei als 1% der Wassertiefe im Falle des vertikalen Signals und als 2% der Wassertiefe bei Signalen an den äußeren Bereichen des Fächers angegeben. Das entspricht bei einer Wassertiefe von 5000m einer Genauigkeit von 50 – 100m.

Frequency	12 kHz
Max ping rate	5 Hz
Swath coverage sector	Up to 150 degrees
Depth resolution	10 to 40 cm
Depth range from transducers	20 to 11.000 m
Pulse lengths	2, 5 and 15 ms
Range sampling rate	2 kHz (37 cm)
No. of beams	191
Transmit beam steering	Stabilized for roll, pitch and yaw
Receive beam steering	Stabilized for roll
Sounding patterns	Equidistant, equiangle or in-between

Abb. 10: Technische Spezifikationen des Sonarsystems Simrad EM 120 (www.kongsberg-simrad.de)

4.3. Erwartete Qualität und Quantität der Daten

Die quantitativen Eigenschaften der Messdaten richten sich nach den Bedingungen wäh- rend der Datenerfassung. Die Größe des Schallkegels am Meeresboden variiert bei einer Tiefe von 4500 m zwischen 157 m in der Mitte und 629 m am Rand des Fächers. Die zu erwartende Qualität der Tiefenmessungen bewegt sich in Bereichen zwischen 45 m und 90 m. Der Abstand der Profile in Fahrtrichtung des Schiffes beträgt ca. 45 m, abhängig von der Geschwindigkeit und der Messwiederholungsrate. Bei einer Ausdehnung von 70 km*20 km und 314426 Messpunkten ergibt sich des Weiteren eine Abdeckung des Pro- jektgebietes durch 224,5 Messungen pro km².

Ferner erschwert die Lage der Satellitenbahnen die Positionsbestimmung durch GPS im Untersuchungsgebiet. Diese führen nicht über die Pole, sondern schneiden die Meridia- ne und erreichen eine maximale geographische Breite von 55° (Bauer 1992). Somit ist in hohen Breiten zwar eine Verbindung zu GPS-Satelliten möglich, jedoch überschreiten diese selten eine Elevation von 50°. Diese Konstellation bewirkt einerseits sehr gute Schnittbedingungen für die Bestimmung der horizontalen Position, andererseits jedoch werden die Satellitensignale durch den schrägen Einfallswinkel in die Atmosphäre stark beeinflusst, was sich negativ auf die Zuverlässigkeit der Messung auswirkt (Gauger 2002).

4.4. Ablauf der Datenbereinigung

Im Rahmen der Arbeiten am Alfred-Wegener-Institut sind knapp 700 Stunden Messfahrt der R/V Roger Revelle ausgewertet worden. Dies entspricht allen südlich von 50° Süd aufgenommenen Daten der Expedition KNOXX14RR.

Für die Prozessierung der Rohdaten wurde das Programmsystem CARIS HIPS (Hydrographic Information Processing System) des Unternehmens CARIS Universal Systems Ltd. in der Version 6.1 verwendet. CARIS HIPS unterstützt alle gängigen Dateiformate und bietet Tools zur Identifizierung und Bereinigung von bathymetrischen Ausreißern in Fächersonardatensätzen. Die Arbeitsschritte der Datenprozessierung sind in Anhang 10 dargestellt.

Zunächst muss eine Konfigurationsdatei für die Sensorik des jeweiligen Schiffes (vessel configuration file) erstellt werden. Diese enthält Informationen wie Zentrierungs- und Kalibrierungselemente, Anzahl der Einzelstrahlen des Fächers oder Referenzsystem der Positionsbestimmung. Anschließend müssen die Messdaten des SIMRAD Systems in das CARIS HIPS interne HDCS (Hydrographic Data Cleaning System) Format konvertiert werden. Folgend besteht die Möglichkeit Korrekturen an der Schallgeschwindigkeit vorzunehmen. Im Anschluss muss das durchschnittliche Niveau des Meeresspiegels definiert werden (Tide). Nun beginnt die eigentliche Bearbeitung der Rohdaten durch Kontrolle der Positions- sowie Tiefendaten. Letztendlich erfolgt die Sichtung der Ergebnisse im Field Sheet Editor bevor der bereinigte Datensatz zum Export bereitsteht.

4.5. Aufbereitung der Positionsdaten

Ziel der Positionsdatenbereinigung ist es, Fehler bei der Positionsbestimmung zu korrigieren. Im Navigationseditor von CARIS HIPS können erfasste Koordinaten

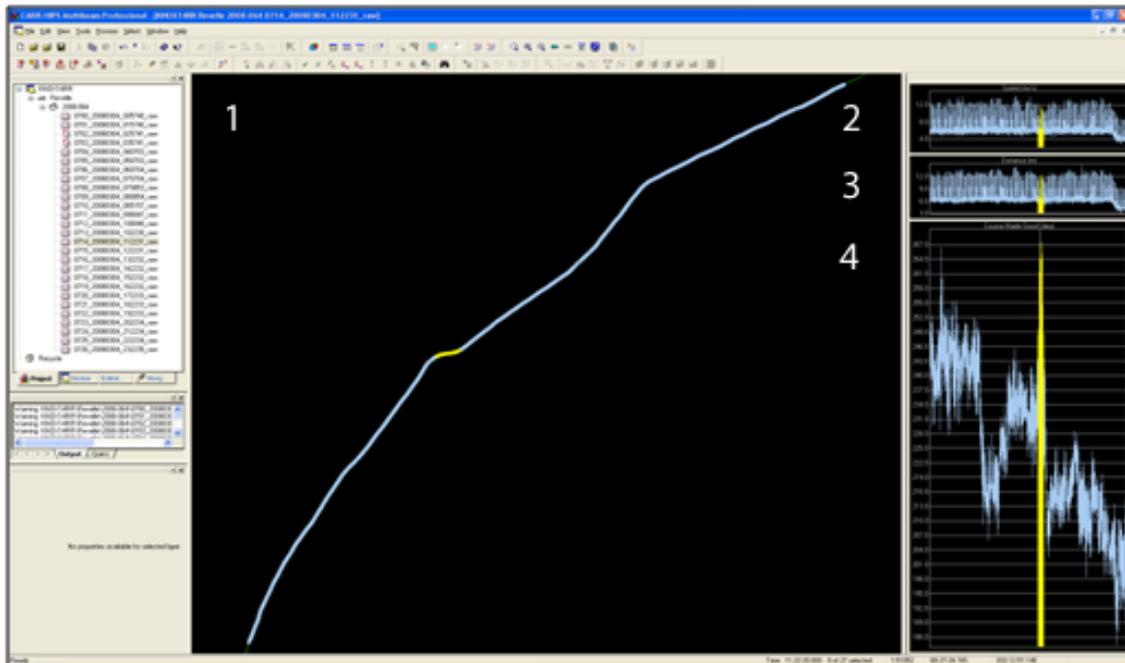


Abb. 11: Bereinigung der Positionsdaten in CARIS HIPS; zu sehen sind Kontrollfenster für Route (1), Geschwindigkeit (2), Distanz (3) und Kurs (4)

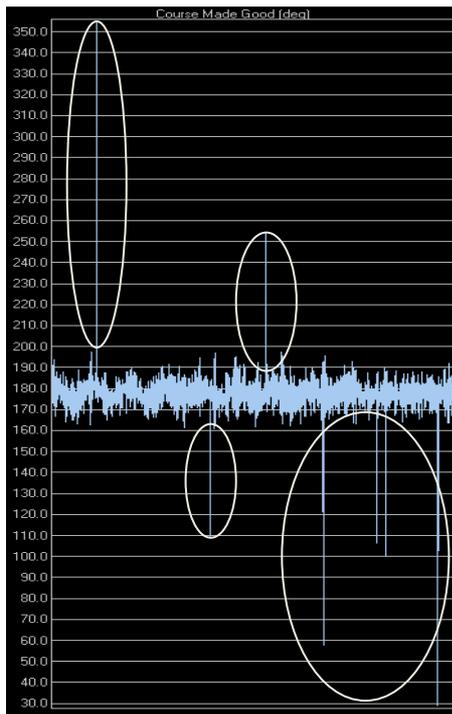


Abb. 12: Positionsdatenbereinigung mit CARIS HIPS; Ausreißer im Kurs des Schiffes

durchsucht werden (Gauger 2002). Dem Nutzer stehen dabei folgende Kontrollwerte zur Verfügung: Route des Schiffes, Geschwindigkeit, Distanz und Kurs (Abb. 11). Sprunghafte Richtungswechsel und Ausreißer deuten dabei auf Fehler in den Navigationsdaten hin (Abb. 12). Auch plötzliche Änderungen des Tempos oder der Abstände zwischen einzelnen Messungen können auf fehlerhafte Werte hinweisen. Es besteht die Möglichkeit, diese entweder zu löschen oder zu interpolieren. Die Positionsdaten der Roger Revelle erwiesen sich dabei als relativ fehlerfrei, die vorzunehmenden Korrekturen blieben im Rahmen. Dadurch blieb auch der Zeitaufwand der Positionsdatenbereinigung verhältnismäßig gering.

4.6. Aufbereitung der Tiefendaten

In der Bathymetrie wird, wie bei allen geodätischen Anwendungen, davon ausgegangen, dass eine Messung aufgrund von Anordnung, Durchführung oder äußeren Einflüssen nicht beliebig genau sein kann. Die Abweichungen vom theoretischen Idealwert werden entsprechend ihrer Ursachen in drei Kategorien unterteilt: Grobe, systematische und zufällige Fehler.

CARIS HIPS stellt zur Bereinigung von Tiefendaten den Swath Editor zur Verfügung. Die Software bietet dem Benutzer dabei fünf Ansichten um Fehler zu erkennen und zu editieren: Plan View, Side View, Rear View, Profile View und 3D View (Anhänge 13-17). Aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes in der Tiefsee können automatisierte Methoden zur Datenbereinigung nicht eingesetzt werden. Lange Schalllaufzeiten und die daraus resultierende geringe Messwiederholrate führen zu kaum vorhandener Datenredundanz. Stochastische Verfahren setzen zudem normalverteilte Messdaten voraus, und sind somit zur automatischen Prozessierung nicht anwendbar.

4.6.1. Grobe Fehler

Grobe Fehler sind eindeutige Fehler, die nicht von der Messung selbst abhängen, sondern auf externe Einflüsse zurückzuführen sind. Diese Fehler resultieren in großen Abweichungen einzelner Strahlen oder ganzer Fächer vom theoretischen Soll. Solche Fehler entstehen hauptsächlich durch äußere Einwirkungen, beispielsweise durch externe Geräuschquellen, Eisreflexionen oder Luftblasen unter dem Sensor (Abb. 13). Beim Eisbrechen entstehen durch den Kontakt des Schiffes mit dem Eis Störgeräusche, die das akustische Signal überlagern und so verfälschen. Weitere Schwingungsquellen stellen Seegang und Schiffsschraube dar. Außerdem wird bei schwerer Eisfahrt das Eis unter

den Schiffsrumpf gedrückt, so dass darauf auftreffende Strahlen reflektiert werden. Zusätzlich werden beim Abtauchen des Eises Luftblasen mit unter Wasser gesogen oder durch Seegang mit unter die Wasseroberfläche gedrückt, an denen ebenfalls das Signal reflektiert werden kann (Gütz 2003). Die manuelle Bereinigung dieser Fehler ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden.

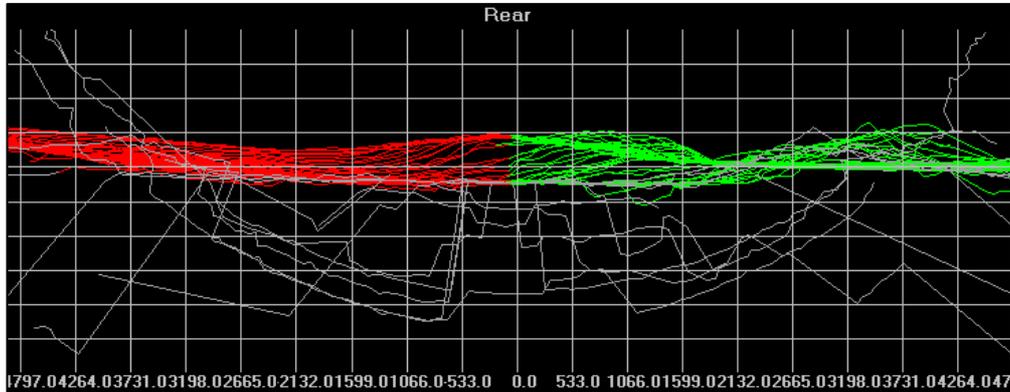


Abb. 13: Grobe Fehler im Datensatz, dargestellt im Rear View des CARIS HIPS Swath Editors

4.6.2. Systematische Fehler

Systematische Fehler treten immer unter gleichen Bedingungen und im gleichen Verhältnis auf. Sofern die zugrundeliegende Systematik ermittelt werden kann, ist es möglich, Korrekturwerte anzubringen, um Fehler im Ergebnis zu minimieren, im Idealfall zu eliminieren. Nach Schenke 1992 fallen folgende Fehlerarten unter diese Kategorie:

- Hub, Stampf und Rollfehler
- Omega Effekt
- Tunnel Effekt
- Refraktionsfehler der Schrägstrahlen
- Positionsfehler des Schiffes
- Rückstreuungseigenschaften des Meeresbodens
- Eindringen der Strahlen in den Meeresboden
- Interferenzen durch Schiffsrauschen

In der Zeitspanne zwischen Senden und Empfangen des ausgesandten Schallimpulses ändern sich nicht nur die Koordinaten des Schiffes, sondern aufgrund externer Einflüsse wie Dünung, Eis und Wind auch dessen Orientierung. Diese Abweichungen werden als Heben, Stampfen und Rollen bezeichnet und können entsprechend korrigiert werden.

Hubfehler „Heave“

Als Hubfehler wird das sich Heben und Senken des Schiffes in vertikaler Richtung gegenüber der idealisierten Meeresoberfläche bezeichnet (Abb. 14). Dadurch verändert sich die Laufzeit des Signals, was bei Tiefen von mehr als 4000m und einer Messgenauigkeit von 1% - 2% der Wassertiefe aber vernachlässigt werden kann.

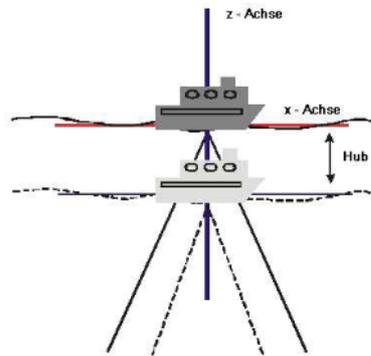


Abb. 14: Hub-Effekt; „Heave“

Stampffehler „Pitch“

Stampfen nennt man die Bewegung des Schiffes um die y-Achse (in Fahrtrichtung). In diesem Fall wird ein Abschnitt des Meeresbodens vermessen, der sich hinter oder vor der erwarteten Position des Fächers befindet. Der veränderte Winkel zur idealisierten Wasseroberfläche wirkt sich auf die gemessene Tiefe aus, da der Schallimpuls einen längeren Weg durch die Wassersäule zu durchlaufen hat.

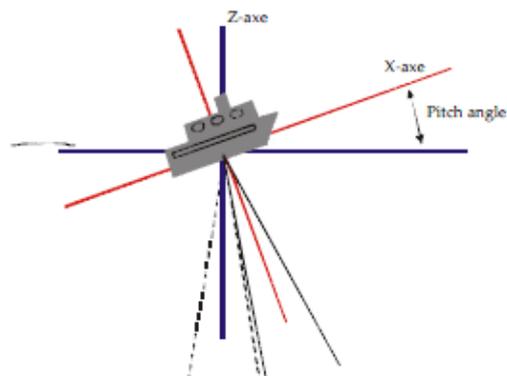


Abb. 15: Stampf-Effekt; „Pitch“

Rollfehler „Roll“

Bei Rollen spricht man von der Bewegung des Schiffes um die x-Achse (parallel zur Fahrtrichtung). Dies wirkt sich auf die Richtung der Echolotsignale aus, der im Normalfall vertikal gerichtete mittlere Strahl dringt in einem veränderten Winkel zur Meeresoberfläche in das Wasser ein.

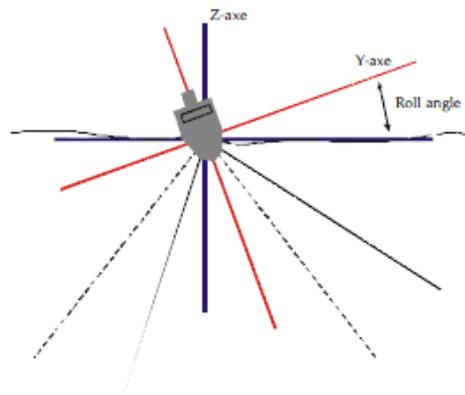


Abb. 16: Roll-Effekt „Roll“

Omega Effekt

Hydroakustische Signalgeber produzieren neben dem Schallhauptfeld sogenannte Nebenkeulen. Diese zeigen in unterschiedliche Richtungen, und abhängig vom Gelände kann es bei starken Neigungen dazu kommen, dass eine Nebenkeule ein stärkeres Echo mit kürzerer Laufzeit erzeugt als die eigentliche Hauptkeule. Da das System aber davon ausgeht, dass das stärkste Echo mit der geringsten Laufzeit vom Schallhauptfeld kommt, können an Abhängen fehlerhafte Messwerte zustande kommen (Abb. 17). Treten diese Fehler kontinuierlich auf, kommt es zu einer Beugung der Isobathen in Richtung des flacheren Geländes (Atlas 1997).

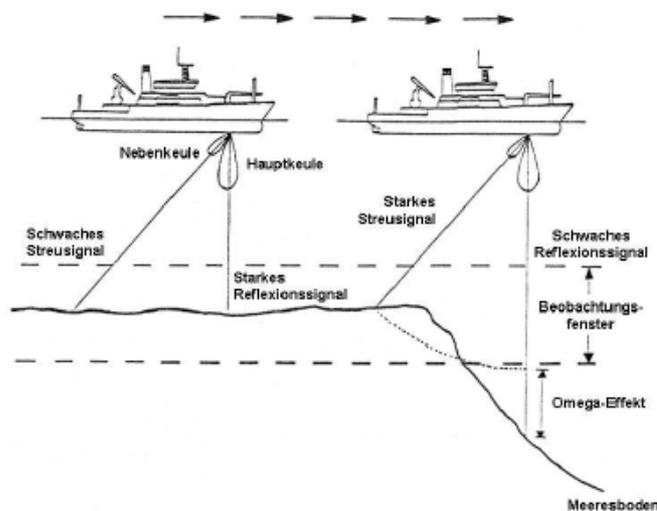


Abb. 17: Zustandekommen des Omega Effekts

Tunnel Effekt

Der Tunnel Effekt kommt zustande, wenn von einem seitlich abgestrahlten Hauptsignal ein Echo kürzerer Laufzeit, von einer Nebenkeule stammend, empfangen wird. In Abhängigkeit der Wasserschallgeschwindigkeit kommt es zu einem „Aufbiegen“ des gemessenen Profilstreifens (Abb. 17). Zu sehen ist dieser Fehler durch ein scheinbares „Absacken“ des vertikalen Signals entlang des Schiffskurses (Atlas 1997).

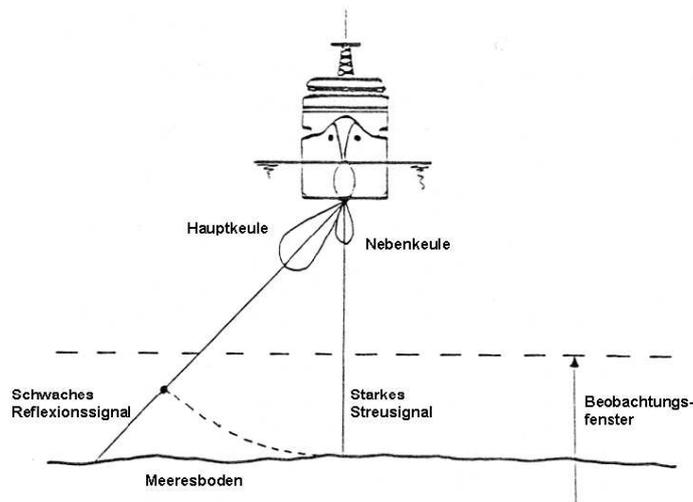


Abb. 18: Entstehung des Tunnel Effekts

Refraktionsfehler der Schrägstrahlen

Ein häufig auftretender Fehler kommt durch die Refraktion der Schrägstrahlen zustande. Die akustischen Signale an den Rändern des Sonarfächers müssen einen längeren Weg durch die Wassersäule zurücklegen und treffen in einem relativ flachen Winkel auf dem Meeresgrund auf. Dies führt zu zusätzlichen Interferenzen und einer starken Streuung des Signals am Ozeanboden. Dieser Effekt führt zu einem „Ausfransen“ der Messprofile (Abb. 19).

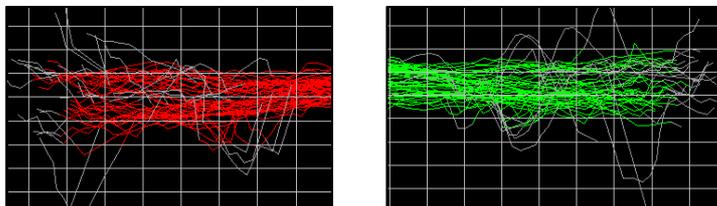


Abb. 19: Refraktionsfehler der Schrägstrahlen

4.6.3. Zufällige Fehler

Zufällige Fehler umfassen aus statistischer Definition die Streuung eingehender Messgrößen, wie beispielsweise Positionsdaten (Länge, Breite) oder Schiffslagedaten (Heben, Stampfen, Rollen) um deren wahren Wert. Zufällige Fehler werden durch nicht zu beeinflussende Veränderungen der Messbedingungen hervorgerufen.

Das Editieren bathymetrischer Rohdaten erfordert in der Regel eine Korrektur grober Fehler, bei deren Auftreten meist alle Strahlen eines Fächers fehlerhaft sind (Anhang 18). Zufällige Fehler dagegen verursachen Abweichungen einzelner Messsignale vom Schallprofil. Diese sollten dann entfernt werden, wenn sie tatsächlich einen definierten Schwellwert übersteigen. Systematische Fehler sind größtenteils nur bedingt durch Markieren einzelner Strahlen oder Fächer auszuschließen. So kann ein Datensatz, bei dem alle Messungen als zu hoch oder zu tief angenommen werden, nicht durch Ausblenden einzelner Tiefenwerte korrigiert werden. Wenn die Ursache eines systematischen Effektes bekannt ist, kann dieser durch ein mathematisches Modell korrigiert oder

durch einen stochastischen Prozess minimiert werden. Bevor der bereinigte Datensatz nun zum Export bereit steht, kann eine erste Visualisierung und Endkontrolle im CARIS HIPS Field Sheet Editor vorgenommen werden (Anhang 19).

4.7. Fazit der Rohdatenprozessierung

Ziel der Datenprozessierung mit CARIS HIPS ist es, eine möglichst realitätsnahe und homogene Morphologie des Meeresbodens zu erhalten. Da diese komplexe Aufgabe bisher von keinem automatisierten Algorithmus zufriedenstellend gelöst werden kann, bedurfte es einer manuellen Bereinigung des Datensatzes. Der Zeitaufwand des Editierens von 700 Stunden Datenerfassung belief sich dabei auf ca. 160 Stunden Arbeitszeit, wobei allerdings Messungen vernachlässigt wurden, bei denen die Roger Revelle ihre Position nicht veränderte. Für den Fahrtabschnitt über dem Ritscher Canyon ergeben sich folgende Resultate: der prozentuale Ausschuss an Messungen beträgt 29,09%, sodass nach der Rohdatenprozessierung und Fehlerkorrektur noch 222972 von ehemals 314426 Punkten zur weiteren Verwendung bereitstanden. Dieser hohe Wert kommt vor allem durch 3 Stationen des Schiffes von jeweils einer Stunde Dauer zustande, deren Daten komplett entfernt wurden. Die überwiegende Anzahl der Fehlmessungen im Projektgebiet kam durch Refraktionsfehler an den Rändern der Profile und durch Eindringen des Vertikalsignals in das Sediment zustande. Eis und Luftblasen unter dem Sensor dürften des Weiteren zu groben Fehler geführt haben, was sich durch Ausreißer („Spikes“) von annähernd 4000 m Höhe bemerkbar macht (Abb. 20).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Prozessierung von Rohdaten sehr zeitintensiv ist, das Ergebnis aber in jedem Fall den Aufwand rechtfertigt. Unbereinigte Daten können in keinem Fall zur digitalen Geländemodellierung herangezogen werden, eine detaillierte und realistische Abbildung des Meeresgrundes ist durch zahlreiche Fehlerquellen nicht möglich (Abb. 20).

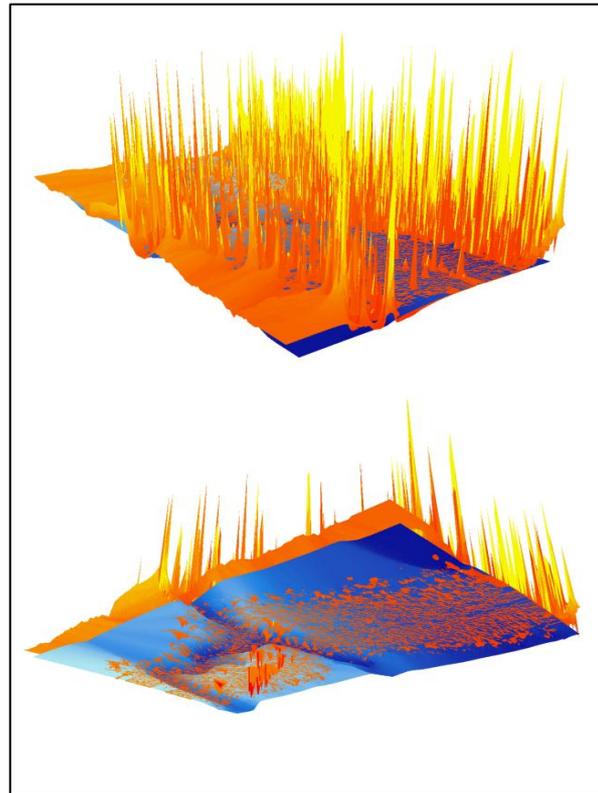


Abb. 20: Vergleich des Datensatzes vor (Orange) und nach (Blau) der Prozessierung; visualisiert in ArcScene

5. Digitale Modellierung des Geländes

5.1. Allgemeine Informationen

Digitale Geländemodelle (DGM) haben zum Ziel, die Erdoberfläche (i. e. den Meeresgrund) möglichst realitätsnah zu repräsentieren. Sie dienen einer vereinfachten Darstellung, die durch Idealisierung und Diskretisierung entstanden und für eine systematische Verarbeitung zugänglich ist (Bill 1999). Das DGM stellt einerseits die Grundlage für die Erstellung von bathymetrischen Karten dar, andererseits ist es Basis für weiterführende Darstellungen sowie Berechnungen. Zwei grundlegende Datenmodelle, die zur digitalen Geländemodellierung herangezogen werden, sind das Rasterdatenmodell (Grid) sowie das Dreiecksdatenmodell (TIN). Die Arbeiten im Rahmen der Bachelorarbeit konzentrierten sich auf Rasterdatenmodelle. Ein Grid stellt eine räumliche Datenstruktur dar, die Raum als ein Array von Zellen gleicher Größe definiert, das in Zeilen und Spalten angeordnet ist. Um eine Oberfläche zu repräsentieren, wird dabei jeder Zelle genau ein Höhenwert zugeordnet. Die Position einer Rasterzelle wird durch ihre Lage relativ zum Beginn des Grids festgelegt (Colin 2004). Die Qualität eines Geländemodells wird durch folgende Punkte beeinflusst:

- Dichte der Grundlagendaten
- Lagegenauigkeit der Koordinaten
- Genauigkeit der Tiefenmessung
- Rasterweite
- Interpolationsalgorithmus

Vier der gängigsten Interpolationsmethoden (Inverse Distance Weighting, Kriging, Natural Neighbour und Spline) werden am editierten Datensatz des Ritscher Canyons angewandt. Ziel ist es, Aussagen über Qualität und Eignung der Interpolationen bei Fächersonar­daten machen zu können. Die Interpolationsmethoden können dabei wie folgt klassifiziert werden:

Lokale vs. Globale Interpolation

Globale Methoden werden auf alle Daten im Untersuchungsgebiet angewandt, lokale dagegen nur auf räumlich definierte Subsets (Lorup 2009).

Exakte vs. Approximierte Interpolationen

Bei exakten Interpolationen schneidet die Oberfläche die bekannten Punkte, während bei approximierten Methoden die Schätzwerte vom tatsächlichen Wert der Messung abweichen können (Abb. 21).

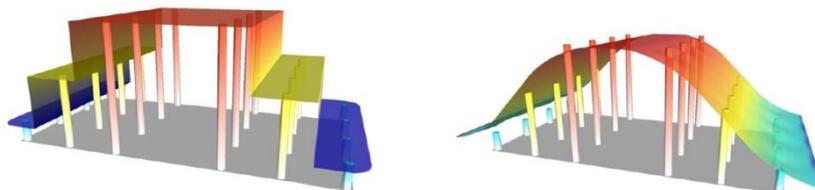


Abb. 21: Exakte vs. Approximierte Interpolation (Lorup 2009)

Deterministische vs. Stochastische Interpolationen

Deterministische Interpolationstechniken basieren auf exakt vorherbestimmten räumlichen Zusammenhängen, während bei stochastischen Methoden auch Zufallselemente mit einfließen.

5.2. Export und Import der Daten von CARIS HIPS nach ArcGIS

Für die Modellierung der digitalen Höhenmodelle sowie für weitere Berechnungen stand am Alfred-Wegener-Institut das Geographische Informationssystem ArcGIS der Firma ESRI in der Version 9.3 zur Verfügung. Zusätzlich wurden die Extensions „3D Analyst“, „Spatial Analyst“ sowie „Geostatistical Analyst“ benötigt (Anhang 20). Der 3D Analyst erlaubt eine effiziente Visualisierung und Analyse von Flächendaten. Der Spatial Analyst bietet eine große Varietät an Applikationen zur Modellierung und Analyse von Rasterdaten. Der Geostatistical Analyst stellt statistische Anwendungen zum Erstellen und Analysieren von Oberflächendaten zur Verfügung.

Zunächst musste der editierte Datensatz in ein von ArcGIS lesbares Format konvertiert werden. Die CARIS HIPS internen HDCS Daten wurden als ASCII Datei exportiert und als Point-Feature-Class in ArcGIS importiert. Die ASCII Datei enthielt dabei je Messpunkt drei Werte: Länge, Breite sowie Tiefe (Anhang 21). Da die Tiefen zunächst als positive Werte ausgegeben wurden, bedurfte es einer Änderung des Vorzeichens. Aus den Punktdaten konnten nun Geländemodelle im Rasterformat erzeugt werden.

5.3. Interpolation zu Rasterdaten

5.3.1. Deterministische Methoden

5.3.1.1 Inverse Distance Weighting (IDW)

Inverse Distanzgewichtungsmodele gehen von der Voraussetzung aus, dass die Gewichtung von Messungen abnimmt, je weiter diese entfernt sind (de Smith et. al. 2008). Somit wird das Gewicht jedes bekannten Punktes invers proportional zu seiner Entfernung zum geschätzten Punkt gesetzt. Die Berechnung erfolgt nach:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

v = zu schätzender Wert

v_i = bekannter Wert

d_i^p = mit p exponenzierte Distanzen der n Datenpunkte zum geschätzten Punkt

Je niedriger dabei der Exponent (Power) gesetzt wird, desto gleichförmiger gehen alle Nachbarn in die Berechnung mit ein und das DGM wird stärker geglättet (Lorup 2009). Der größte Vorteil der IDW Interpolation besteht darin, dass der Algorithmus relativ einfach ist. Somit sind Berechnungen mit wenig Rechenzeit verbunden. Auch fließen verschiedene Distanzen unterschiedlich in die Schätzung mit ein und über den Gewich-

tungsexponenten kann der Einfluss der Entfernungen gesteuert werden. Allerdings werden räumlich gerichtete Zusammenhänge ignoriert und es kann zu Artefaktbildung, dem sog. „Bull Eyes“ Effekt kommen (kreisförmige Bereiche gleicher Werte um bekannte Tiefenmessungen). Die IDW Interpolation ist als lokal, exakt und deterministisch zu klassifizieren und eignet sich insbesondere bei hoher Datendichte mit zufälliger Verteilung.

Die Berechnung des digitalen Geländemodells durch Inverse Distanzgewichtung erfolgte mit den Paramtern (Abb. 22):

- Power: 3
- Zellengröße: 0,002471 Dezimalgrad (ca. 250m)
- Suchradius: Variabel

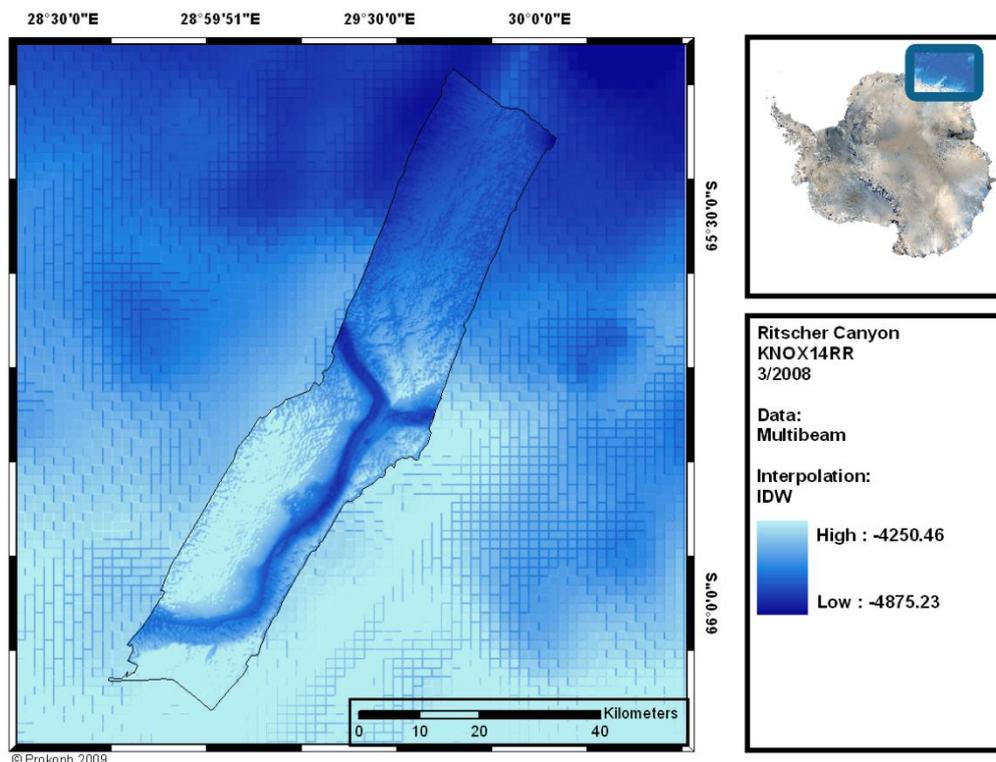


Abb. 22: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch IDW mit Power 3, Projektion: Polarstereographisch

5.3.1.2. Natural Neighbour (NN)

Die Natural Neighbour Interpolation gewichtet die Eingangsdaten basierend auf deren „Einflussgebiet“. Dieses Gebiet wird durch Voronoi Diagramme um jeden der Eingangspunkte festgelegt. Im Prinzip entspricht jede Rasterzelle einem dieser Polygone mit dem möglichen Wert des Punktes, um den das Polygon erzeugt wurde.

Der Ablauf des Algorithmus lässt sich wie folgt beschreiben: Im ersten Schritt wird eine Delaunay Triangulation der Eingangsparameter als Vorbereitung für die Bildung der Voronoi Diagramme erzeugt (Abb. 23-1). Als nächstes wird eine Reihe von Voronoi Diagrammen für das Projektgebiet berechnet (Abb. 23-2). Jeder der Punkte im hervorgehobenen Gebiet besitzt sein eigenes Polygon mit bekannter Fläche. Jedes dieser Polygone teilt eine gemeinsame Grenze mit dem Beispielpunkt. Um den geschätzten Wert des Beispielpunktes zu ermitteln, wird dieser temporär zum Datensatz hinzugefügt, anschließend werden die Voronoi Diagramme neu berechnet (Abb. 23-3). Das Hinzufügen des

Punktes resultiert sowohl in einem neuen Polygon als auch in einer Neuordnung derjenigen, die es unmittelbar umgeben. Letztendlich wird die Gewichtung dieses neuen Punktes durch die Eigenschaften der umliegenden Punkte beeinflusst (Abb. 23-4) (de Smith et. al. 2008).

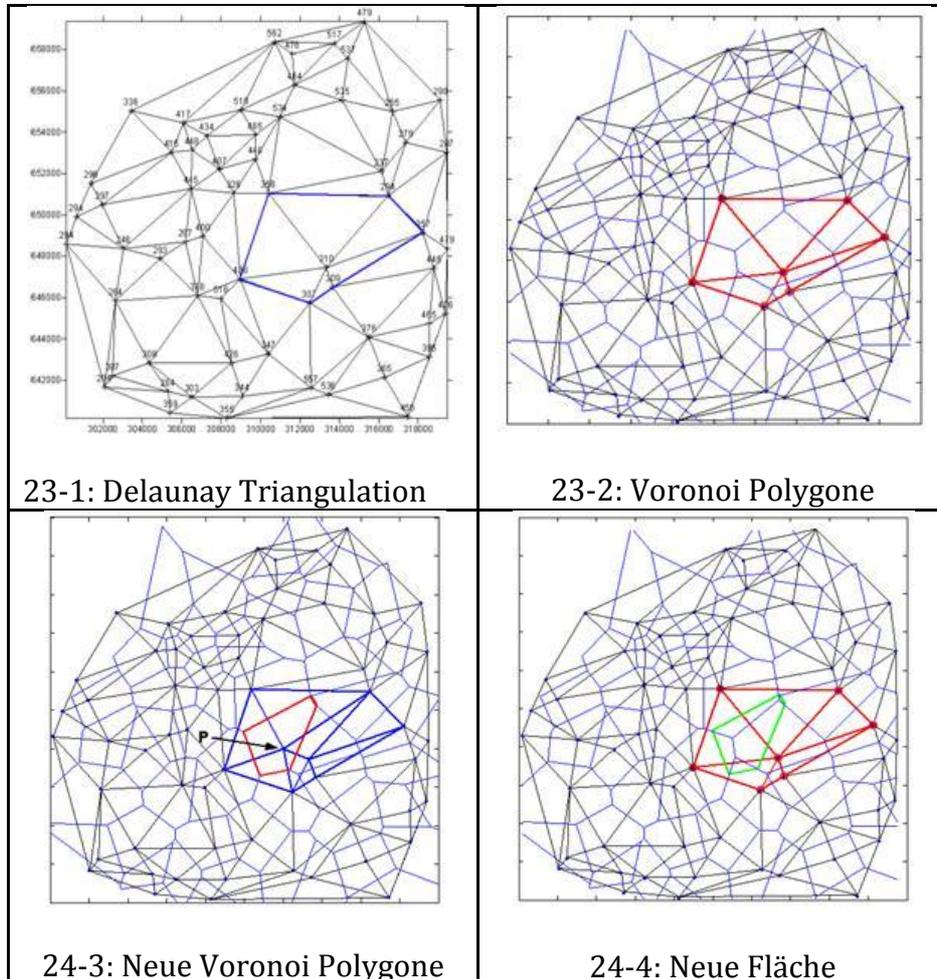


Abb. 23: Schema der Interpolation Natural Neighbour

Natural Neighbour verbindet eine effektive Interpolation der Daten mit relativ geringem Rechenaufwand. Die Methode gibt die Beziehung nächster Nachbarn wieder und erlaubt die Abschätzung lokaler Trends der Oberflächenstruktur, was die Möglichkeit einer weiteren Interpolation zu glatten Oberflächen ermöglicht. Der Algorithmus ist als lokale, exakte und deterministische Methode einzustufen. Die Berechnung des digitalen Geländemodells des Ritscher Canyons erfolgte ebenfalls mit einer Rastergröße von 0,002471 Dezimalgrad (Abb. 24).

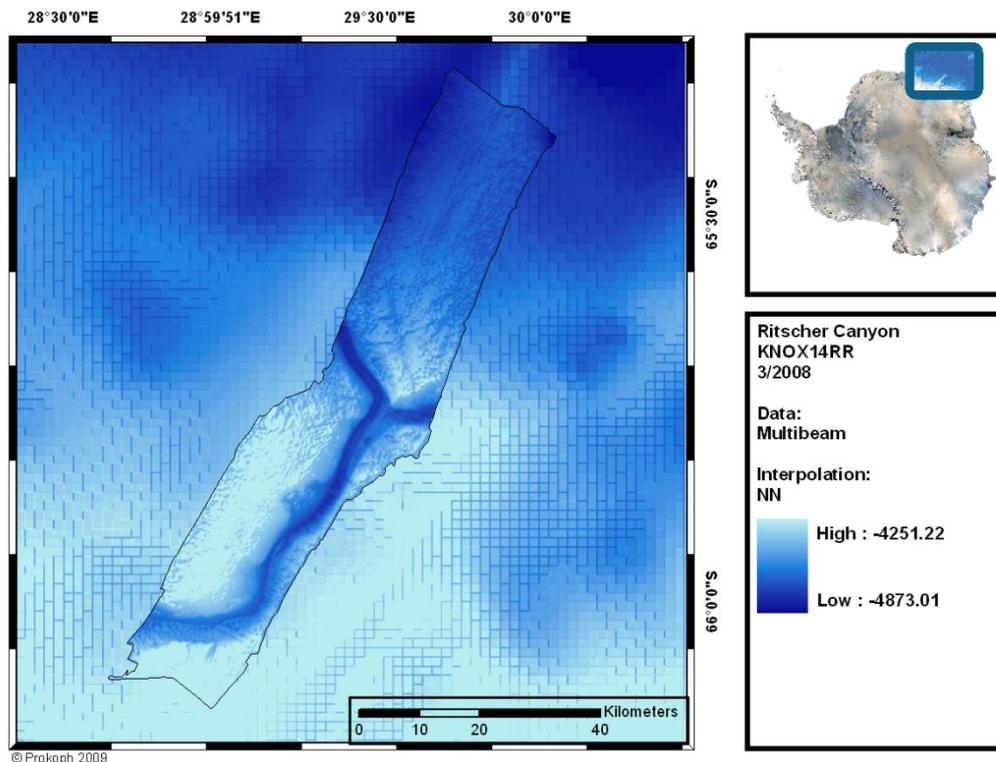


Abb. 24: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch NN, Zellengröße ca. 250 m, Projektion: Polarstereographisch

5.3.1.3 Spline

Die Theorie geht davon aus, dass bei der Spline Interpolation eine Kurve benötigt wird, die exakt durch einen Satz vorgegebener Punkte verläuft. Mit dieser Methode wird durch gemessene Stützpunkte eine Kurve mit möglichst geringer Gesamtkrümmung, sowie möglichst hohen Stetigkeitsanforderungen gelegt (Abb. 25). Die Kurve wird dabei nicht als Polynom der Ordnung n (bei $n-1$ Stützpunkten) bestimmt, sondern aus einzelnen polynominalen Funktionen abschnittsweise zusammengesetzt. Die Biegelinie eines jeden Teilstücks stellt ein kubisches Polynom dar, die Funktionswerte der Nahtstellen zwischen den Teilkurven müssen in erster und zweiter Ableitung übereinstimmen. Das Verfahren zeichnet sich durch Qualität (glatte Oberflächen, lokale Auswirkung der Messwerte) sowie Effizienz (Speicherplatz und Rechenzeit steigen linear mit Anzahl der Stützpunkte) aus (Holzer 2004). Nach de Smith (2008) arbeitet der Algorithmus besonders bei Geländemodellierung sehr effektiv und ermöglicht eine gute Interpolation bei verschiedenen Punktverteilungen.

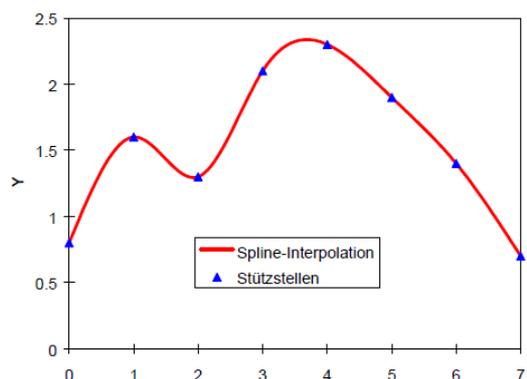


Abb. 25: Spline Interpolation

Für die Berechnung des Geländemodells des Ritscher Canyons wurden folgende Eingangsparmeter verwendet (Abb. 26):

- Spline Typ: Tension
- Gewichtung: 10
- Anzahl der Stützpunkte je Abschnitt: 12
- Zellengröße: 0,002471 Dezimalgrad (ca. 250m)

Die Option „Tension“ gewichtet dabei den Term der ersten Ableitung. Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$z_p = \sum_{i=1}^n w_i \varphi(r) + m$$

z_p = geschätzter Wert

r = Entfernung zum i-ten Datenpunkt

w_i = Gewichtung

m = Neigungswert

$\varphi(r)$ = Polynominalfunktion

Die von ArcGIS verwendete Funktion lautet:

$$\varphi(r) = \ln\left(\frac{cr}{2}\right) + i_0(cr) + y$$

i_0 = modifizierte Besselfunktion $i_0(cr) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i \left(\frac{cr}{2}\right)^{2i}}{(i!)^2}$

y = Eulerkonstante $y = 0,5771...$

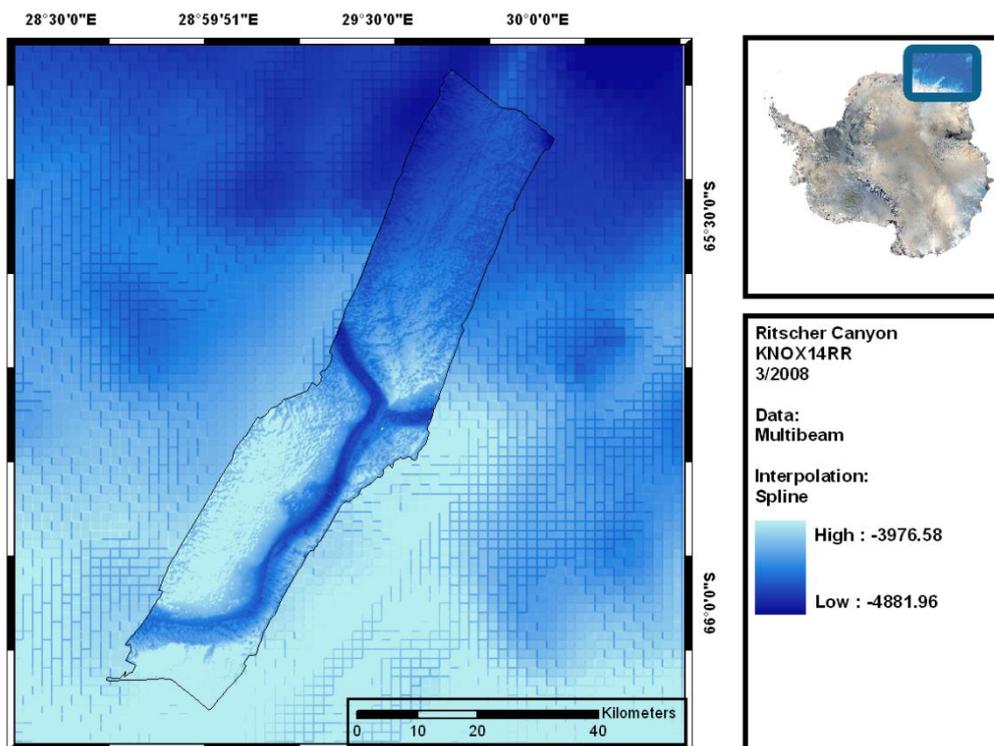


Abb. 26: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch Spline, Projektion: Polarstereographisch

5.3.2. Geostatistische Methoden

5.3.2.1 Kriging

Kriging lässt sich als eine, auf der Geostatistik basierende, Schätztechnik beschreiben, die vorzugsweise für Interpolationen zwischen normalverteilten Messpunkten einer zufällig strukturierten Oberfläche genutzt wird. Die Grundidee ist, etwas über die allgemeinen Eigenschaften und räumlichen Zusammenhänge der Oberfläche herauszufinden. Die Berechnung unbekannter Punkte stützt sich dabei auf ein aus den bekannten Messungen abgeleitetes Modell (Longley et. al. 2004). Das Konzept der Kriging Interpolation basiert auf der Benutzung von Teilmengen der gemessenen Werte, um sog. Semi-Variogramme zu erstellen, die im Normalfall die Zerklüftung des Projektgebietes wiedergeben (Schenke 2003).

Zunächst werden zwischen allen Datenpunkten Paare gebildet und deren Differenzwert (Semivarianz) und Distanz miteinander verglichen. Anschließend werden die Distanzen in Intervalle (Lags) unterteilt und die darin enthaltenen Semivarianzen gemittelt. Durch die entstanden Mittelwerte wird nun eine Kurve gelegt, die beschreibt, wie stark Werte zweier benachbarter Positionen korrelieren (Lorup 2009). Dem Semi-Variogramm lassen sich folgende Parameter entnehmen (Abb. 27):

- Sill: Wert der maximalen Semivarianz
- Range: Lag Distanz, bei dem die maximale Semivarianz erreicht wird
- Nugget: zufällige Abweichung ohne räumlichen Bezug (z. B. Messfehler)

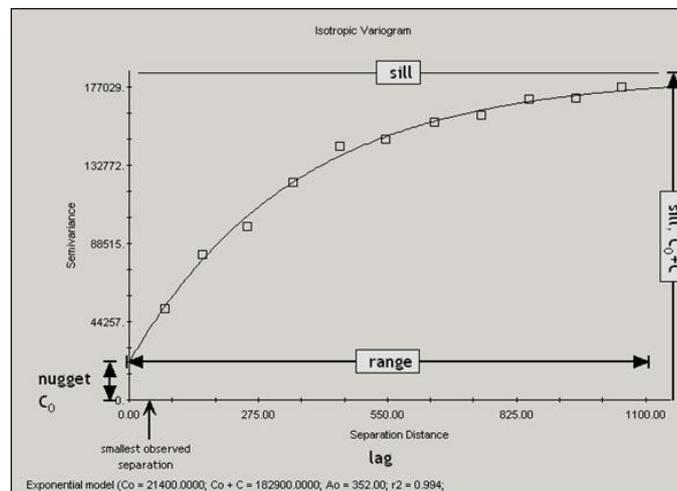


Abb. 27: Semi-Variogramm mit Sill, Range und Nugget (de Smith 2008)

Basierend auf dem Verlauf des Semi-Variogramms wird nun eine mathematische Funktion gewählt. Die Ansätze sind dabei ähnlich dem Modell der Inversen Distanzgewichtung, mit dem Unterschied, dass nicht nur unterschiedlich weit entfernte Punkte unterschiedlich gewichtet werden, sondern auch der Richtungsvektor eine Rolle spielt (Longley et. al. 2004). Kriging hat eine solide theoretische Basis und erlaubt die Wahl der mathematischen Funktion gemäß der Interpretation des Semi-Variogramms. Allerdings muss sich vor Benutzung der Interpolationsmethode eingehend mit der Theorie beschäftigt werden. Des Weiteren eignet sich Kriging nur bei mehr als 50% Abdeckung des Untersuchungsgebietes mit Messpunkten und ist mit sehr langen Rechenzeiten verbunden (Schenke 2003). Die Berechnung des Geländemodells wurde mit folgenden Parametern durchgeführt (Abb. 28):

- Kriging Methode: Ordinary
- Semivariogram Model: Linear
 - o Lag: 0,1056 Dezimalgrad
 - o Range: 1,0600 Dezimalgrad
 - o Sill: 1,35 Dezimalgrad*(Die Optionalen Werte Lag, Range und Sill wurden nur bei der Berechnung des Geländemodells der simulierten Einzelstrahlungsmessung benötigt)*
- Suchradius: Variabel
- Zellengröße: 0,0020 Dezimalgrad (ca. 200 m)

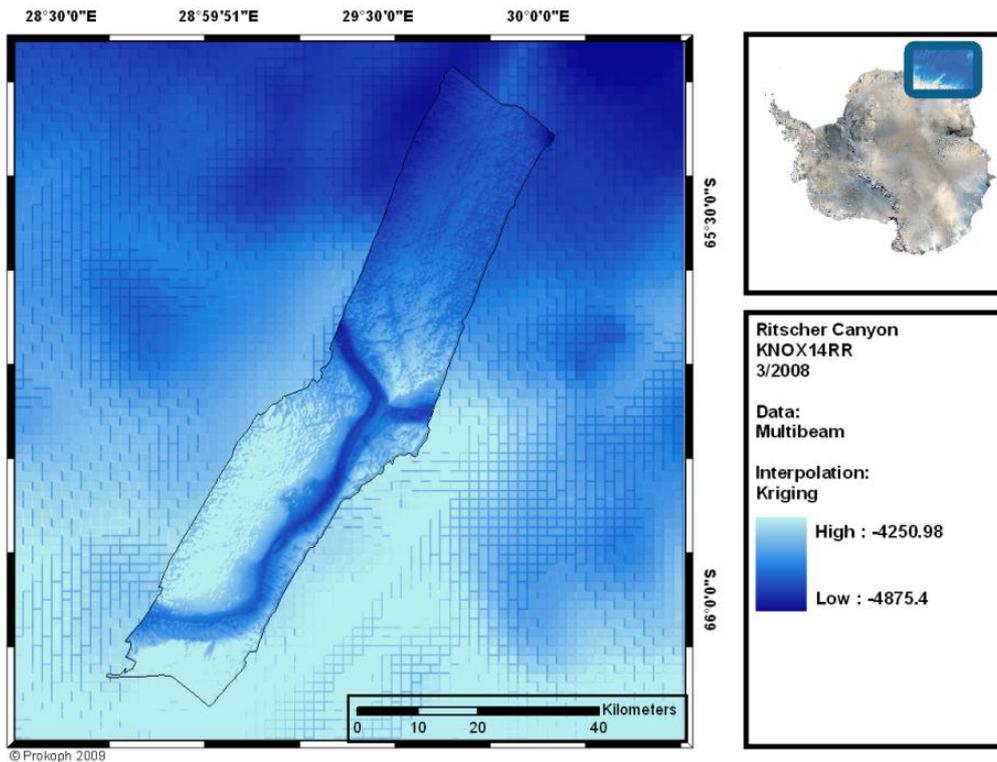


Abb. 28: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch Ordinary Kriging, Projektion: Polarstereographisch

6. Vergleich der Interpolationsmethoden

Um die Genauigkeiten der verschiedenen Interpolationsmethoden zu vergleichen, sowie zu evaluieren, welcher Algorithmus am besten geeignet ist um aus homogenen Tiefenmessungen ein digitales Geländemodell zu erzeugen, müssen zuerst die Contour-Linien (Isobathen) des DGMs berechnet werden. Die generierten Isolinien sowie die Rasterdatensätze selbst bilden die Grundlage für weitere Untersuchungen.

6.1. Modellierung von Contour-Lines

Isolinien können aus Rasterdaten, Vektordaten oder Dreiecksdatenmodellen berechnet werden. Contour-Lines entsprechen Linien des gleichen Wertens auf einer Oberfläche. Wenn Isolinien aus Rasterdaten generiert werden, wird zwischen einzelnen Segmenten linear interpoliert und anschließend geglättet (Abb. 29.). Den Knoten der Rasterzellen werden dabei Werte zugeordnet, die lineare Interpolation erfolgt jeweils zwischen zwei dieser Wertepaare. Das Ergebnis ist eine Polyline mit Scheitelpunkten an jeder Linienkreuzung des Grids und einem unveränderlichen Wert (e.g. der geschätzten Tiefe) (de Smith et al. 2008).

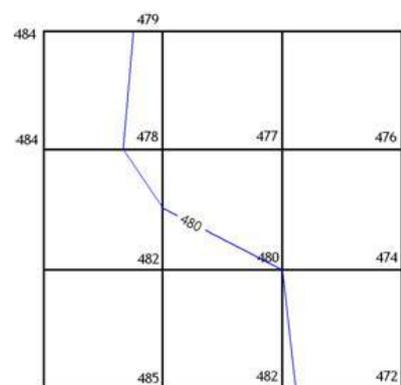


Abb. 29: Lineare Interpolation bei Contour-Lines

6.2. Vergleich der Interpolationsmethoden mittels der prozessierten Daten

Die auf Grundlage der prozessierten Daten des Ritscher Canyons (Anhang 22) berechneten digitalen Geländemodelle werden miteinander verglichen. Als Mittel zur Auswertung stehen Rasterdatensätze, Isolinien, Differenzbilder der Tiefenwerte sowie Statistiken zur Verfügung.

6.2.1. Visueller Vergleich

Zunächst werden die digitalen Geländemodelle aller vier Interpolationen rein visuell miteinander verglichen. Untersucht wird, ob optisch bereits Unterschiede zu erkennen sind und ob sich durch diese Rückschlüsse auf die Qualität ziehen lassen (Abb. 30). Die Visualisierung erfolgte, wie bei allen nachstehenden Untersuchungen, mit ArcGIS 9.3. Um einen besseren Eindruck der Höhenunterschiede zu bekommen, wurde die Option „Hillshade“ aktiviert. Das Raster im Hintergrund liefert der globale Datensatz ETOPO1.

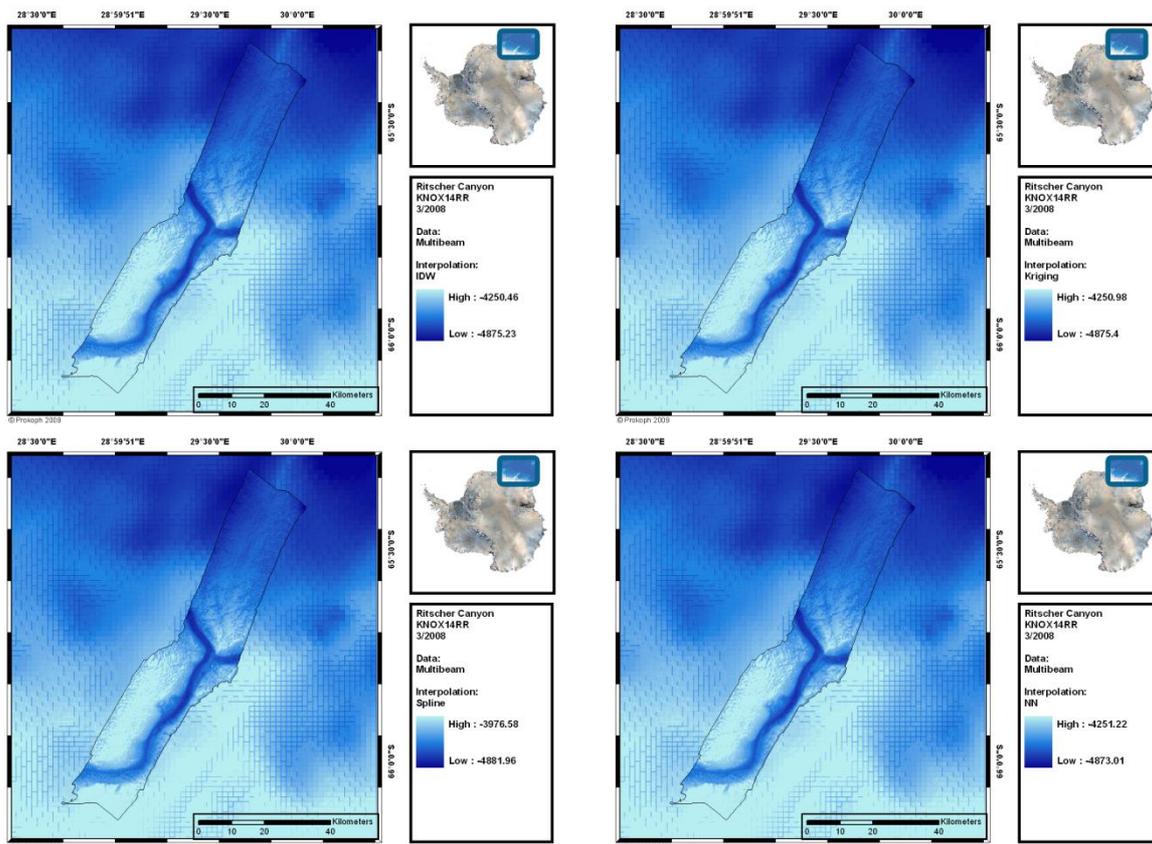


Abb. 30: Visualisierungen der DGMs des Ritscher Canyons; rechts oben: IDW, links oben: Kriging, rechts unten: Spline, links unten: NN

Auf den ersten Blick ist sogleich zu erkennen, dass alle Interpolatoren sehr ähnliche Ergebnisse liefern. Ebenso lässt sich bereits eine gute Qualität der Fächersonardaten feststellen, Artefakte sind kaum auszumachen. Lediglich aus den Messprofilen resultierende Strukturen sind teilweise vorhanden, was aber durch nachträgliche Glättung schnell zu beheben ist. Um eventuell vorhandene Unterschiede besser erkennen zu können wird im Folgenden die räumliche Lage der Isolinien verglichen.

6.2.2. Vergleich der Isolinien

Um detaillierte Informationen über die Lagegenauigkeit der Interpolationen zu bekommen wird der Verlauf der Contour-Lines bei hoher Auflösung verglichen (Abb. 31). Die Isobathen sind nicht zusätzlich geglättet um Trends besser abschätzen zu können. Die Einstellungen zum Generieren der Isolinien wurden wie folgt gesetzt:

- Intervall: 20 m
- Z-Faktor (Überhöhung): 1

Die Anzahl der Isolinien im Projektgebiet beläuft sich dabei für jede Interpolationsmethode auf 30 Konturen verschiedener Höhe.

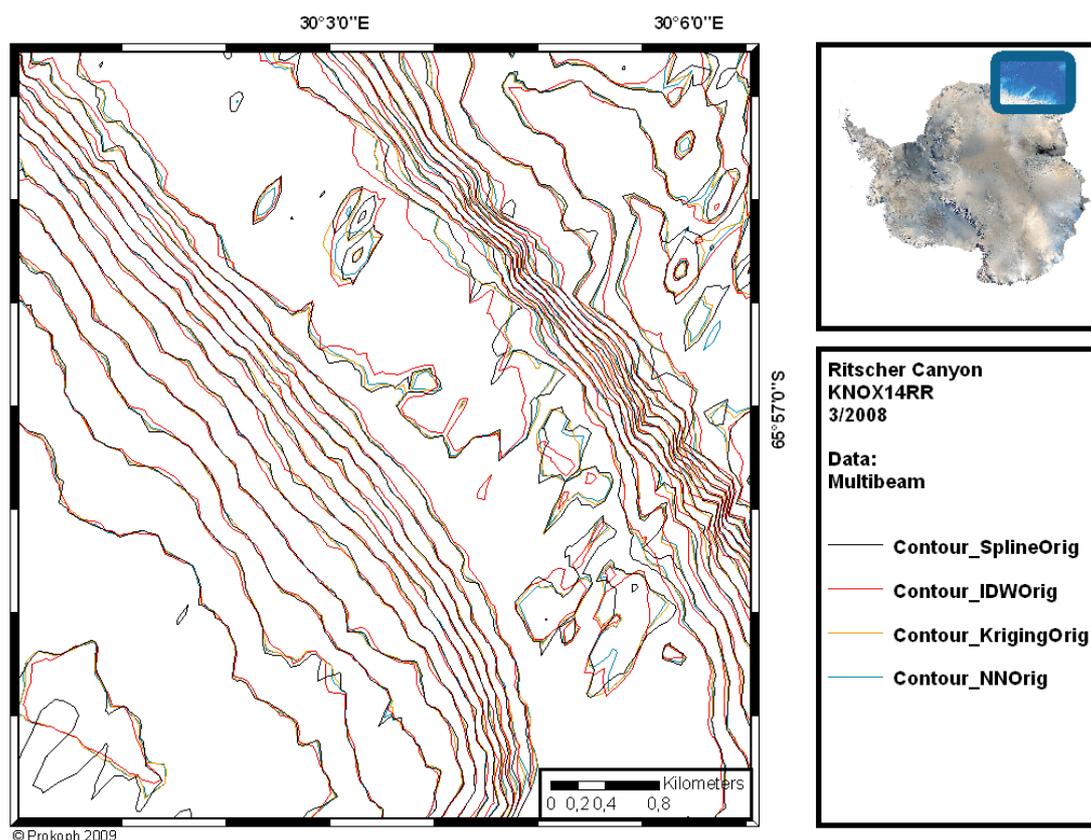


Abb. 31: Isolinien der Interpolationen Spline, IDW, Kriging und NN, basierend auf den prozessierten Fächersonardaten

Wie bereits nach Sichtung der digitalen Geländemodelle zu erwarten war, ergeben sich kaum Differenzen bei der Lage der Tiefenlinien. Abweichungen zwischen den Isobathen belaufen sich auf Werte von maximal 200 m. Bei Tiefen von bis zu 4900 m und einer Fächerbreite von ca. 20 km spielen Unterschiede dieser Größenordnung allerdings keine Rolle. Für die Verwendung in Karten und Veröffentlichungen bedürfen die Isolinien noch einer Glättung, durch diesen Prozess würden die meisten der vorhandenen Abweichungen verschwinden. Eine weitere Möglichkeit um Unterschiede in den Datensätzen ausfindig zu machen, ist die Verwendung von sog. Differenzbildern.

6.2.3. Differenzbilder

Unterschiedliche Tiefenwerte an selben Koordinatenpunkten zweier Rasterdatensätze lassen sich mit sog. Differenzbildern darstellen. Dabei wird jeder Höhenwert einer jeden Rasterzelle von dem Wert der darüberliegenden Zelle subtrahiert. Im Optimalfall besitzen beide Zellen den identischen Wert, die Höhe des Differenzbildes hätte somit an dieser Stelle den Wert Null (Abb. 32). Mit dieser Methode lässt sich vor allem evaluieren, an welchen Positionen zwei Datensätze voneinander abweichen, was die Interpretation von Grids erleichtert.

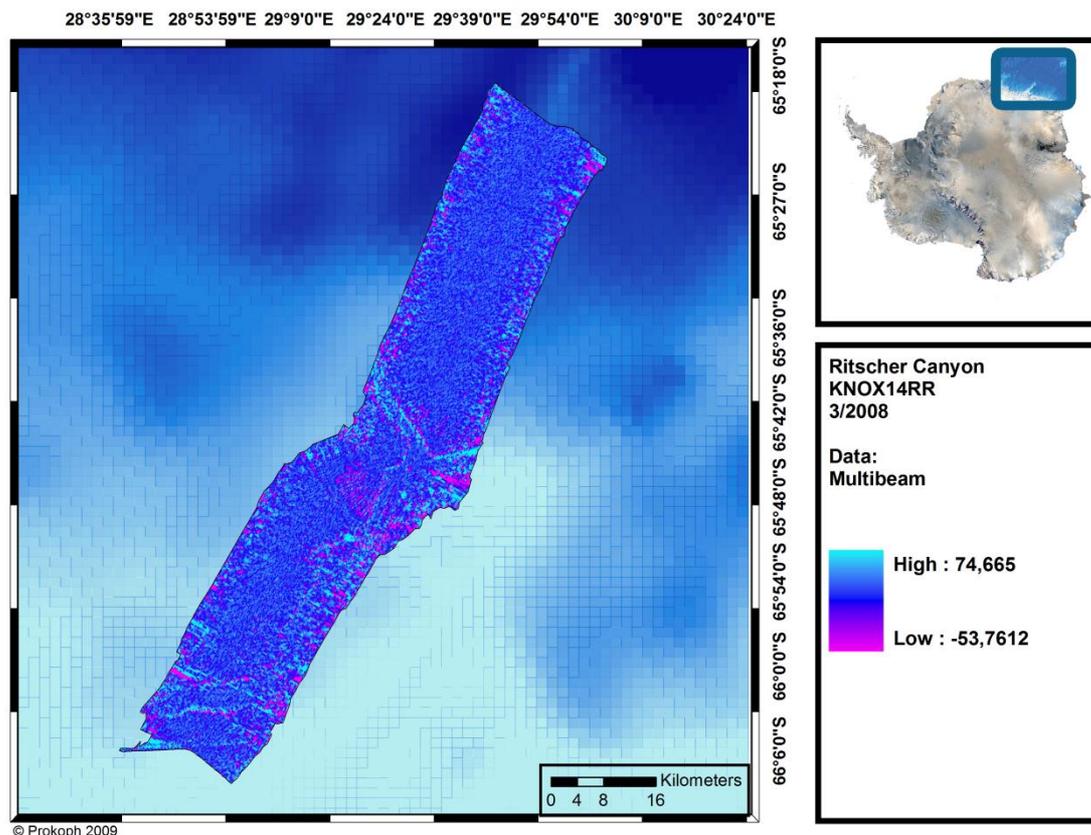


Abb. 32: Differenzbild von Inverse Distance Weighting und Natural Neighbour, basierend auf den prozessierten Fächersonardaten

Das Differenzbild zeigt kaum Abweichungen der beiden Rasterdatensätze voneinander auf. Viele Werte liegen im dunkelblau eingefärbten Intervall, was auf eine starke räumliche Korrelation der digitalen Geländemodelle und einen Differenzwert nahe Null hindeutet. Abbildung 32 zeigt exemplarisch das Differenzbild der Interpolationsmethoden Inverse Distance Weighting und Natural Neighbour, die Vergleiche der anderen Algorithmen liefern fast identische Ergebnisse. Tiefenwerte weichen maximal um 75 m nach oben und 55 m nach unten ab. Die mittlere Abweichung der beiden Geländemodelle liegt bei -0,0083 m, die Standardabweichung beträgt 3,354 m. Auch diese Ergebnisse heben die Ähnlichkeit der Interpolationsergebnisse hervor.

6.2.4. Statistik

Für das Untersuchungsgebiet werden die deskriptiven Statistiken für die statistischen Parameter (Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung) berechnet und der Korrelationskoeffizient gebildet. Die Standardabweichung misst die Streuung der Variablenwerte um den Mittelwert, der Korrelationskoeffizient definiert den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen intervallskalierten Merkmalen und kann Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Ein Wert von +1 (-1) definiert eine perfekte positive (negative) Korrelation, bei einem Wert von 0 besteht überhaupt kein linearer Zusammenhang. Die Statistiken werden mit der ArcGIS 9.3 Extension Geostatistical Analyst berechnet, das Referenzraster für den Korrelationskoeffizienten stellt das mit der Interpolationsmethode Inverse Distance Weighting berechnete digitale Geländemodell dar (Abb. 33, Abb. 34)

Interpolation	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
IDW	-4875,23	-4250,46	-4557,51	151,64
Kriging	-4875,40	-4250,98	-4557,43	151,82
NN	-4873,01	-4251,22	-4557,47	151,73
Spline	-4881,96	-3976,59	-4557,31	151,97

Abb. 33: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Interpolationen IDW, Kriging, NN und Spline; alle Angaben in Meter

Interpolation	Korrelationskoeffizient
IDW	1,00000
Kriging	0,99974
NN	0,99950
Spline	0,99882

Abb. 34: Korrelationskoeffizienten bei verschiedenen Interpolationen; als Referenzdatensatz dient das mit IDW berechnete Geländemodell der prozessierten Fächersonardaten

Die Ergebnisse aus der deskriptiven Statistik bestätigen die Annahme, dass die Berechnungen mit verschiedenen Interpolationsmethoden annähernd übereinstimmende Geländemodelle liefern. Mittelwerte und Standardabweichungen besitzen identische Werte, Korrelationskoeffizienten von 0,999 unterstreichen eine so gut wie perfekte räumliche Autokorrelation der Rasterdatenmodelle.

6.2.5. Interpretation der Ergebnisse

Aus der Auswertung der Vergleiche der vier digitalen Geländemodelle lässt sich ableiten, dass alle verwendeten Interpolationstechniken annähernd gleiche Ergebnisse liefern. Bei Datensätzen mit einer hohen Dichte an Messpunkten sowie einer einheitlichen Morphologie (prozessierte Daten!) lassen sich keine signifikanten Unterschiede bei den erzeugten Grids feststellen. Unter dem qualitativen Aspekt betrachtet, ist die Wahl der Interpolationsmethode nicht bedeutend. Bei hohen Datenmengen sollte allerdings auf Kriging verzichtet werden, da die Berechnung des Rasters mit enorm viel Rechenzeit verbunden ist.

6.3. Vergleich der Interpolationen mittels simulierter Einzelstrahl Messungen

Neben Fächerecholoten ist heutzutage der Einsatz von Einzelstrahlsonarsystemen immer noch weit verbreitet. Um festzustellen, ob die Wahl der Interpolationsmethode bei Messungen aus Einzelstrahlecholoten eine Rolle spielt, soll eine simulierte Vermessung des Ritscher Canyons untersucht werden.

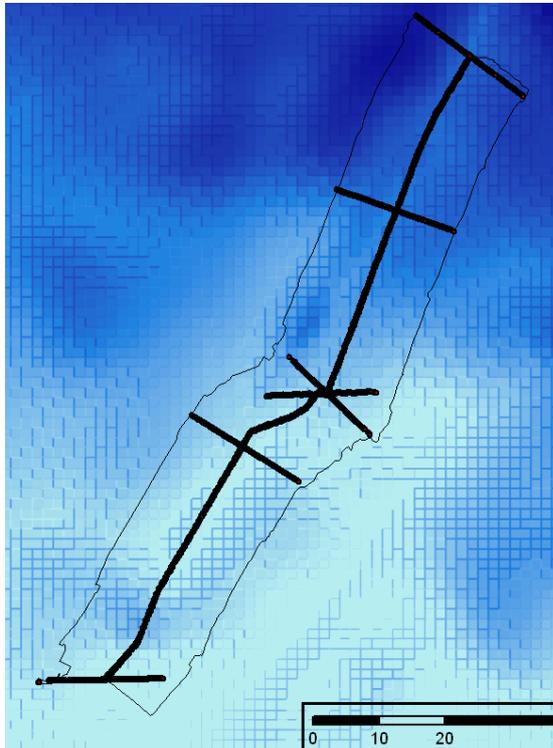


Abb. 35: Simulation einer Einzelstrahlvermessung des Ritscher Canyons

Um dies zu erreichen wurde der bereits prozessierte Datensatz aus Fächersonarmessungen einer weiteren Bearbeitung unterzogen. Zunächst wurden alle Datenpunkte, bis auf das vertikal gesendete Signal, gelöscht. Somit entstand eine Einzelstrahlmessung genau auf der Route der Roger Revelle. Um die Morphologie von Gebieten mit Einzelstrahlecholoten zu erfassen ist es üblich sich kreuzende Profile zu vermessen. Diese simulierten Kreuzungen wurden erreicht indem ausgewählte Fächer in den Datensatz mit aufgenommen wurden (Abb. 35). Die Messungen reduzierten sich dabei von 222972 auf 3417 erfasste Datenpunkte. Aus dem so entstandenen Datensatz wurden erneut vier digitale Geländemodelle mit den Interpolationen IDW, Kriging, Spline und NN berechnet. Vergleiche und Auswertungen der so entstandenen Rasterdaten beruhen wiederum auf Differenzbildern, Statistiken, sowie Untersuchungen der Isolinien.

6.3.1. Visueller Vergleich

Zuerst werden die aus den Interpolationen IDW, Kriging, Spline und NN erstellten digitalen Geländemodelle auf visueller Basis miteinander verglichen. Optische Unterschiede werden untersucht, um Rückschlüsse auf die Qualität der Grids ziehen zu können. Auch soll evaluiert werden, inwiefern die Berechnungen eine realitätsnahe Repräsentation des Meeresbodens liefern (Abb. 36). Die Visualisierung erfolgt wiederum mit ArcGIS 9.3., die Interpolationen werden mit denselben Parametern durchgeführt wie die Berechnungen aus Fächersonardaten.

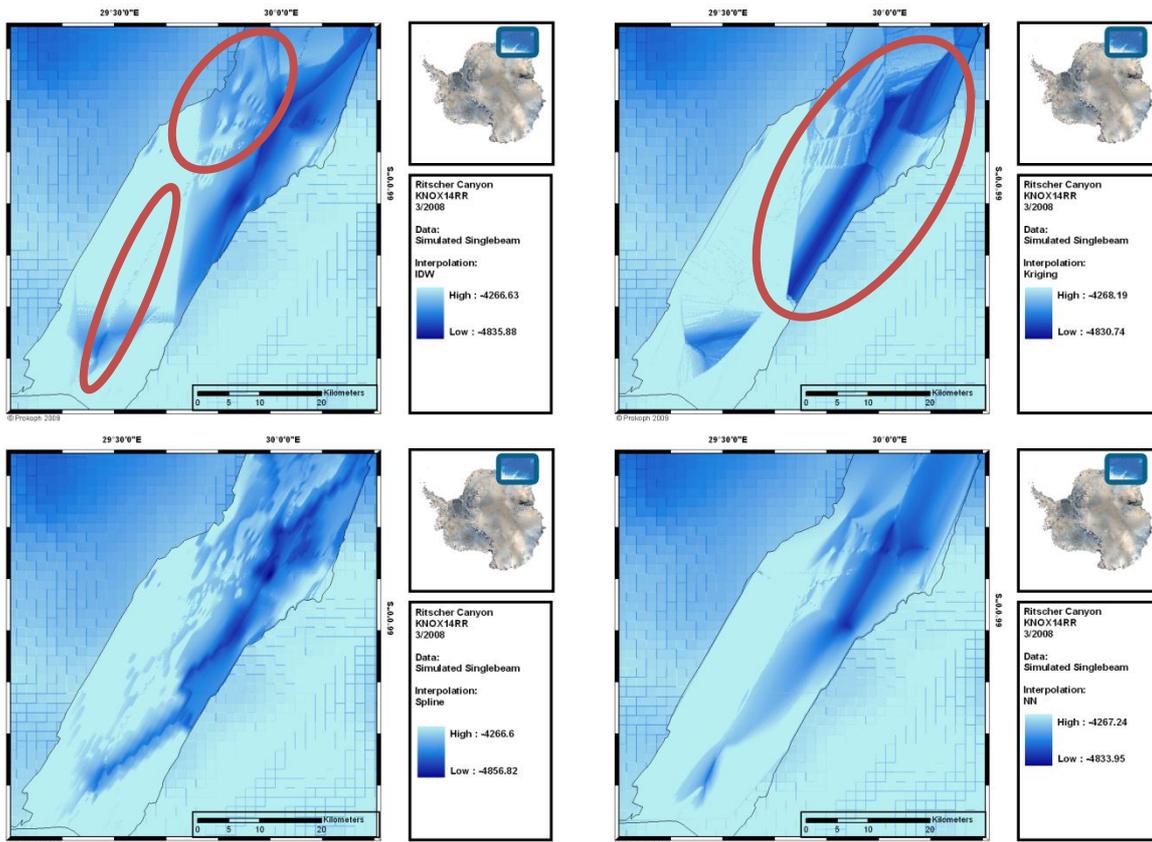


Abb. 36: Digitale Geländemodelle der simulierten Einzelstrahlungsmessung; links oben: IDW, rechts oben: Kriging, links unten: Spline, rechts unten NN

Auf den ersten Blick lässt sich bereits erkennen, dass die Struktur des Canyons nur ansatzweise vorhanden ist und von den Ergebnissen der Fächersonarmessung gravierend abweicht. Inverse Distance Weighting stellt zumindest teilweise die Morphologie des Canyons dar, allerdings wird der südliche Bereich nicht als tiefer liegendes Gelände erkannt. Des Weiteren kommt es zur Bildung von Artefakten (rot gekennzeichnet). Der Kriging Algorithmus liefert ein kaum zu verwertendes Ergebnis, die Visualisierung lässt keine realitätsnahen Struktur des Meeresbodens erkennen. Besonders im nördlichen Gebiet widersprechen sich die Werte der Rasterzellen, es kommt zur Bildung von Bruchkanten, die kaum die Geomorphologie des Ozeanbodens repräsentieren können. Die Resultate der Interpolationen Spline und Natural Neighbour lassen am ehesten Rückschlüsse auf die Formation des Ritscher Canyons zu. Subjektiv betrachtet wird mit der Spline Methode das Geländemodell erzeugt, dass am meisten Übereinstimmungen mit den Originaldaten aufweist. Auch hier kommt es allerdings zu Artefaktbildung, an Abhängen tritt der sog. Treppeneffekt auf. Dies müsste in nachträglicher Bearbeitung geglättet werden. Für weitere Untersuchungen werden im Folgenden die Isolinien der Geländemodelle miteinander verglichen.

6.3.2. Vergleich der Isolinien

Um die aus den Interpolationsmethoden entstandenen Strukturen exakter interpretieren zu können, werden aus den Datensätzen Tiefenlinien im Abstand von 20 m generiert. Es soll evaluiert werden, wie sehr der Verlauf der Isobathen eine möglichst realitätsnahe Struktur des Meeresbodens darstellt (Abb. 37).

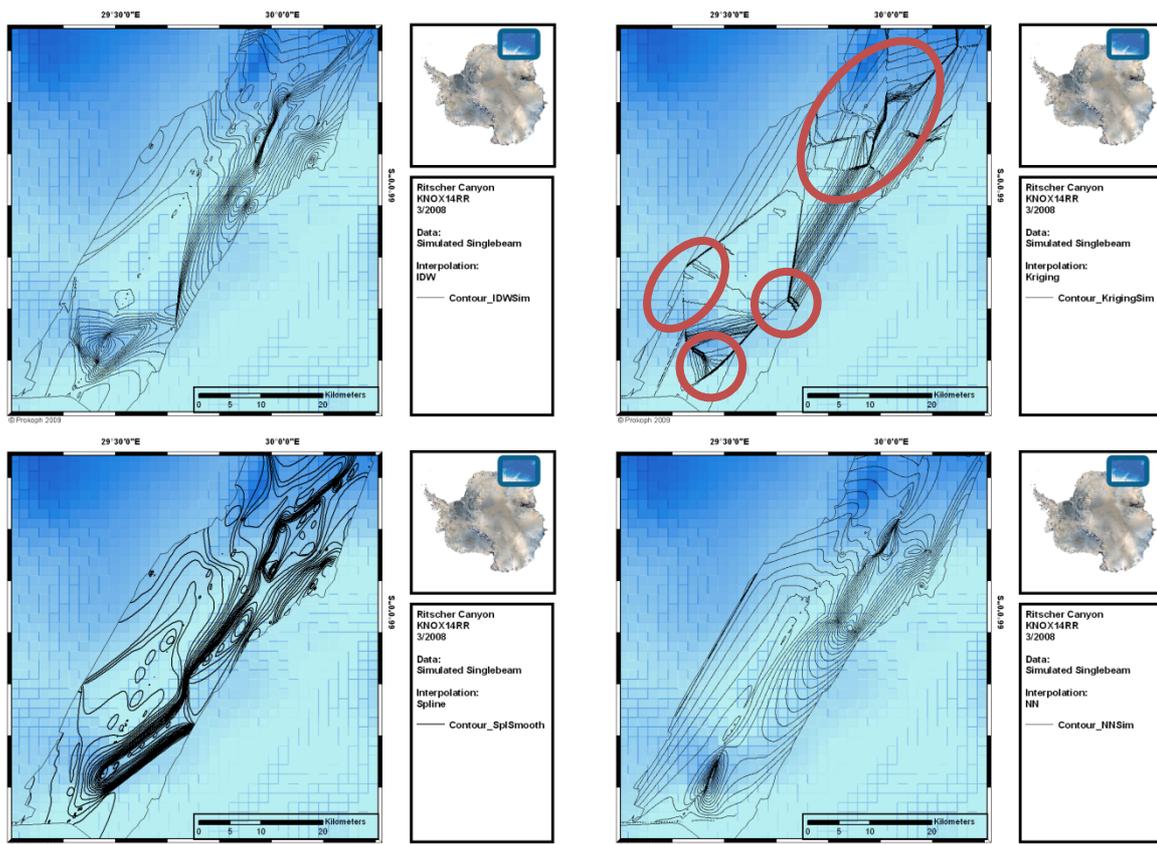


Abb. 37: Contour-Lines der Interpolationen IDW (links oben), Kriging (rechts oben), Spline (links unten) und NN (rechts unten)

Im Unterschied zu den aus Fächersonardaten gerechneten Geländemodellen, weichen die Positionen der Isolinien je nach verwendeter Interpolation signifikant voneinander ab (Anhang 23). Basierend auf dem angewandten Algorithmus differiert die Lage der Tiefenlinien sehr stark: Die Morphologie des Ritscher Canyons ist als Einziges bei der Berechnung mit Splines auszumachen. Während Inverse Distance Weighting und Natural Neighbour noch Ergebnisse liefern die Spielraum für Interpretationen lassen, lassen die Resultate des Kriging keine weitere Verwendung zu. Wie bereits nach Sichtung der Rasterdaten zu erwarten war, repräsentiert das mit Kriging berechnete Geländemodell keine mögliche Form des Ozeanbodens. Sich schneidende Isolinien sind Features, die auf keinen Fall in topographischen Visualisierungen vorkommen dürfen, da derartige Strukturen in der Realität nicht üblich sind.

6.3.3. Differenzbilder

Die Analyse der Differenzbilder soll helfen herauszufinden, an welchen Positionen die aus simulierten Einzelstrahlungsmessungen erzeugten digitalen Geländemodelle von den Rasterdaten aus Fächersonarmessungen abweichen. Als Referenz wird das mit Inverse Distance Weighting berechnete DGM aus 5.3.1.1. verwendet (Abb. 38.). Auch soll nach weiteren Merkmalen gesucht werden, welche Interpolation die Struktur des Ritscher Canyons am Realitätsnächsten abbildet. Alle Differenzbilder wurden mit ESRI ArcGIS 9.3 erzeugt.

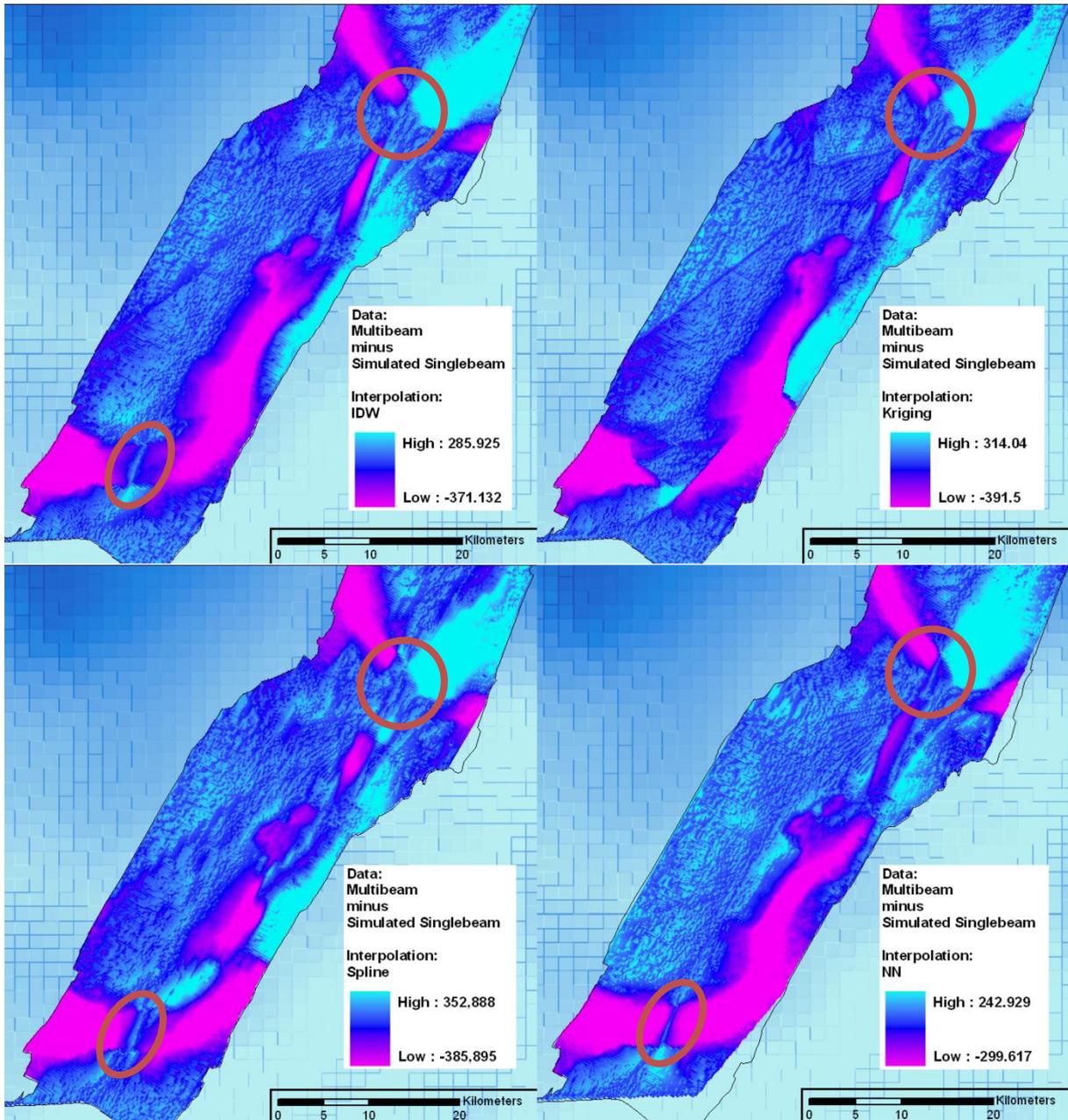


Abb. 38: Differenzbilder zwischen Fächersonardaten und simulierten Einzelstrahlmessungen

Die Differenzbilder zeigen, dass große Teile der digitalen Geländemodelle aus Einzelstrahlmessung über- bzw. unterprädiziert sind. Dies verdeutlicht noch einmal den großen qualitativen Unterschied zwischen Fächersonar und Einzelstrahlchlot. Auffällig sind sowohl die Übereinstimmung der Rasterbilder an den Positionen der Einzelstrahlmessungen (rot gekennzeichnet), als auch die Differenzen in weiten Bereichen des Tiefseecanyons. Grund für die Korrelation der Grids an den Messpunkten ist die Eigenschaft der Algorithmen als exakte Interpolatoren. Die Differenzen der Tiefenwerte sind dort am meisten ausgeprägt, wo keine Messdaten vorliegen.

Die Amplitude der abweichenden Werte beträgt bis zu 739 m. Unerwartet ist, dass die Interpolation mit Spline die höchsten Abweichungen verursacht, obwohl visuell das beste Ergebnis erzielt wird. Der statistische Vergleich der Differenzbilder zeigt ein ähnliches Ergebnis (Anhang 24-27): Im Mittel weicht das aus Spline gerechnete DGM um -21,95 m von dem Fächersonardatensatz ab, die Standardabweichung beträgt 89,57 m. Schlechtere Ergebnisse liefert nur noch der Kriging Algorithmus mit einem Mittelwert

von -20,50 m und einer Standardabweichung von 95,42 m. Die geringsten Abweichungen weist das Differenzbild mit NN auf: Der Mittelwert beträgt -21,00 m, die Standardabweichung 78,92 m.

6.3.4. Statistik

Die deskriptive Statistik der vier Interpolationen Inverse Distance Weighting, Kriging, Spline und Natural Neighbour aus Einzelstrahlmessung wird berechnet und in Relation zu dem mit IDW berechneten Raster aus Fächersonardaten gesetzt. Zu untersuchende Parameter sind Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung sowie der Korrelationskoeffizient (Abb. 39-40).

Interpolation	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
IDW (Fächersonar)	-4875,23	-4250,46	-4557,60	151,67
IDW	-4835,88	-4266,63	-4532,69	162,77
Kriging	-4830,79	-4268,18	-4533,98	172,43
NN	-4833,95	-4268,14	-4543,56	142,68
Spline	-4856,81	-4266,59	-4531,15	171,11

Abb. 39: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Interpolationen IDW, Kriging, NN und Spline; alle Angaben in Meter; Daten: Einzelstahlmessungen

Interpolation	Korrelationskoeffizient (Korrelation zu Grid aus Fächersonardaten, berechnet mit IDW)
IDW	0,70833
Kriging	0,67825
NN	0,78676
Spline	0,68690

Abb. 40: Korrelationskoeffizienten bei verschiedenen Interpolationen; als Referenzdatensatz dient das mit IDW berechnete Geländemodell der prozessierten Fächersonardaten

Die maximalen, minimalen und mittleren Tiefenwerte der digitalen Geländemodelle aus Einzelstrahlecholotdaten liegen relativ eng beisammen, die Abweichung beträgt maxi-

mal 45 m, was bei Tiefen von bis zu 4900 m zu vernachlässigen ist. Auch die Unterschiede bei der Standardabweichung halten sich in Grenzen. Korrelationskoeffizienten zwischen 0,69 und 0,79 lassen immer noch engere Zusammenhänge zwischen Fächersonar und Single Beam vermuten, obwohl subjektiv kaum Übereinstimmungen zwischen original und simulierten Daten vorliegen.

Es ist allerdings auffallend, dass Spline, anders als die Untersuchungen aus 6.3.1. und 6.3.2. erwarten lassen, schlechtere Ergebnisse erzielt als Interpolationen mit Inverse Distance Weighting oder Natural Neighbour. Gerade NN weist mit 0,78676 einen Korrelationskoeffizienten auf, der deutlich über den Ergebnissen der anderen Berechnungen liegt.

6.3.5. Interpretation der Ergebnisse

Nach Auswertung der Vergleiche lassen sich zwei unterschiedliche Ergebnisse festhalten: Der visuelle Vergleich, sowie die Gegenüberstellung der Isolinien legt eine Verwendung des Spline Algorithmus nahe, bei Verwendung dieser Interpolationsmethode lässt sich die Struktur des Ritscher Canyons am deutlichsten erkennen. Nach einer Kantenglättung würde die Morphologie auch eine plausible Realität des Meeresbodens abbilden. Dem stehen die Resultate der Differenzbilder und der Statistik gegenüber: Berechnungen mit Splines haben einen niedrigeren Korrelationskoeffizienten, eine höhere Standardabweichung und die Tiefenwerte weichen stärker voneinander ab als bei der Interpolation mit Inverse Distance Weighting oder Natural Neighbour. Lediglich Kriging lässt sich definitiv als geeignete Interpolationsmethode für DGMs aus Einzelstrahlmessungen ausschließen: Keine einheitliche Morphologie des Ozeanbodens und auch die statistischen Werte sprechen gegen diesen Algorithmus – hinzu kommt der enorme Rechenaufwand. Bei der Statistik sowie dem Vergleich der Differenzbilder muss allerdings das Wertespektrum der Ergebnisse in die Interpretation mit einbezogen werden. Die Resultate definieren zwar welche Interpolationsmethode mehr Übereinstimmung mit den Fächersonardaten aufweist, allerdings bewegen sich die Werte in einem sehr engen Bereich, weshalb deren Aussagekraft hinterfragt werden muss. Das ausschlaggebende Kriterium bei der Wahl der Interpolationsmethode bleibt somit die Plausibilität: Die Morphologie des Meeresbodens muss einer möglichst realitätsnahen Struktur entsprechen. Aus diesem Grund sind die visuellen Interpretationen den Ergebnissen aus der Statistik voranzustellen, die Wahl der Interpolationsmethode würde somit auf den Spline Algorithmus fallen. Eine zweite Option wäre mit Natural Neighbour gegeben, welche passable Strukturen mit guten statistischen Ergebnissen verbindet. Um Unterschiede dieser beiden Interpolationen besser interpretieren zu können, wäre aber die Untersuchung weiterer Geländemodelle von Nöten.

6.4. Interpretation der Interpolationsmethoden

Als Ergebnis der Untersuchung von verschiedenen Interpolationsmethoden, basierend auf Fächersonar- sowie Einzelstrahlmessungen lässt sich festhalten: Bei guter Datengrundlage (Fächersonarmessungen) spielt die Wahl der Interpolationsmethode keine signifikante Rolle, die Berechnung des digitalen Geländemodells liefert Interpolationsunabhängig eine hochqualitative, sowie realitätsnahe Repräsentation des Meeresbodens. Single-Beam Echolotung bedingt allerdings eine wesentlich schlechtere Datenbasis, die Qualität der berechneten Rasterbilder nimmt stark ab. Bei einer geringeren Abdeckung des Projektgebietes durch Messpunkte fallen auch die unterschiedlichen Cha-

rakteristiken der Interpolatoren stärker ins Gewicht. Bei deren Interpretation ist das wichtigste Kriterium eine möglichst realitätsnahe Struktur des Meeresgrundes zu erhalten. Statistiken spielen im Zweifelsfall eine untergeordnete Rolle. Im Falle des Ritscher Canyons lieferte der Spline Algorithmus das beste Ergebnis. Die Untersuchung ist allerdings nur als exemplarisch anzusehen, um die Aussagekraft der Resultate zu validieren wären Vergleiche an weiteren Datensätzen von Nöten.

7. Gegenüberstellung von gemessener Bathymetrie und prädizierter Bathymetrie aus globalen Datensätzen

Im Folgenden soll der qualitative Unterschied zwischen Fächersonardaten und prädizierter Bathymetrie aus globalen Datensätzen untersucht werden. Zum Vergleich werden Teile der Datensätze GEBCO und ETOPO1 herangezogen. Die Gegenüberstellung erfolgt durch visuelle Vergleiche, Differenzbilder sowie Statistiken. Es soll geprüft werden, ob prädizierte Bathymetrie exakte Sonarmessungen ersetzen kann.

7.1. Vergleich der Datensätze

7.1.1. Visueller Vergleich

Um die GEBCO sowie ETOPO1 Daten besser vergleichen zu können, wurde die Fläche des Ritscher Canyons aus den globalen Datensätzen extrahiert (Abb. 41).

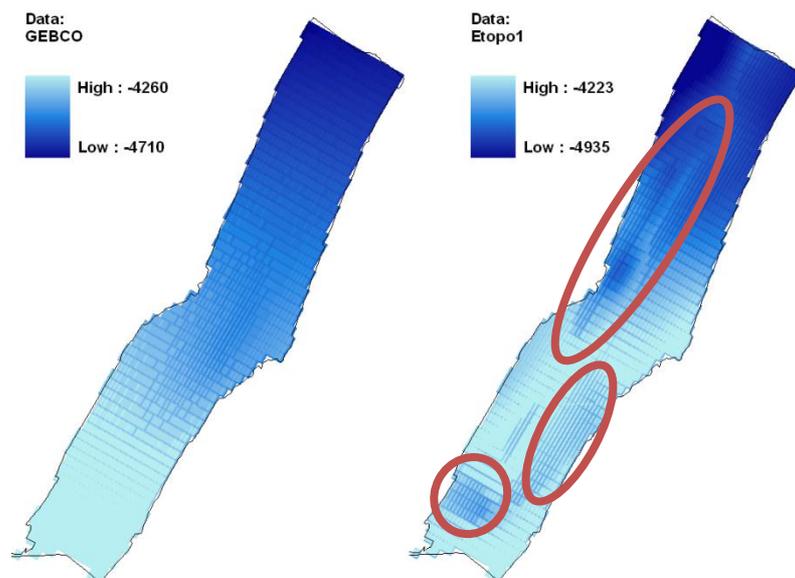


Abb. 41: Digitale Geländemodelle aus den Datenkompilationen GEBCO und ETOPO1

Beide Geländemodelle weisen unterschiedliche Formationen auf; Während der Canyon im Falle des GEBCO Datensatzes nicht vorhanden ist, weisen ETOPO1 Daten teilweise Strukturen auf, die die Morphologie des Canyons widerspiegeln (rot gekennzeichnet). Überraschend sind die teils ausgeprägten Unterschiede zwischen den beiden Grids: Neben dem Wegfallen von Formationen bei den GEBCO Daten, fallen die Unterschiede im Wertebereich der Tiefenangaben auf: Während die tiefste Stelle der GEBCO Topographie bei -4710m liegt, prädizieren die ETOPO1 Daten eine Tiefe von maximal -4935 m für dieses Gebiet.

7.1.2. Differenzbilder

Um sowohl Unterschiede zwischen der prädizierten Bathymetrie aus globalen Datensätzen, als auch zu dem digitalen Geländemodell aus Fächersonarmessungen herauszuarbeiten werden erneut Differenzbilder berechnet. Als Referenzraster dient die Interpolation IDW mit Power 3 (Abb. 42).

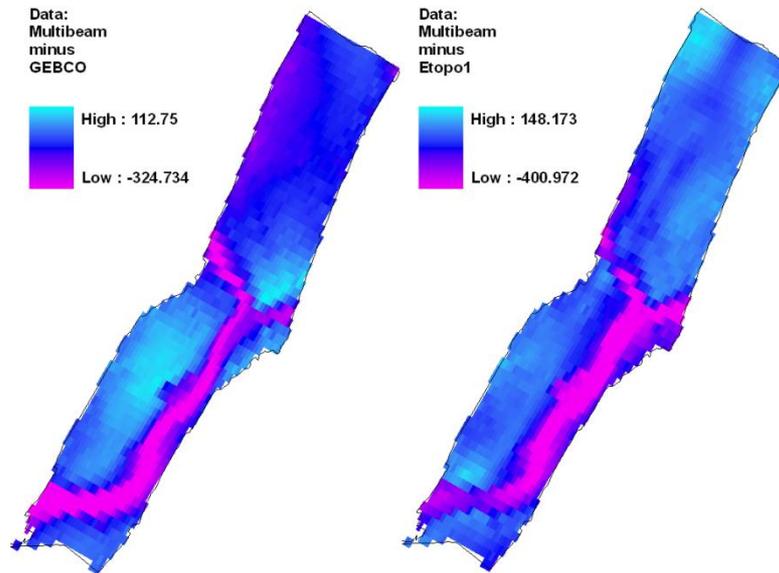


Abb. 42: Differenzbilder der globalen Datensätze GEBCO und ETOPO1 mit Fächersonardaten, interpoliert mit IDW

Die Differenzbilder verdeutlichen noch einmal, dass die Struktur des Ritscher Canyons bei globalen Datensätzen so gut wie nicht vorhanden ist. Die komplette Formation des Tiefseegrabens wird überprädiziert, ersichtlich durch die violett eingefärbten Bereiche. Des Weiteren lassen sich aus der Statistik der Differenzbilder Rückschlüsse auf Ähnlichkeiten zwischen prädizierter und gemessener Bathymetrie des Ritscher Canyons führen (Abb. 43).

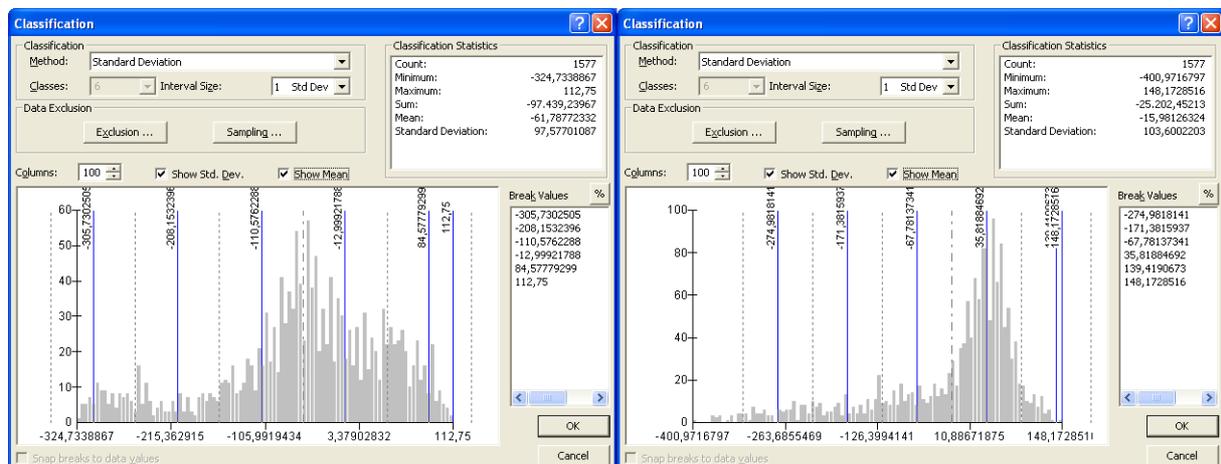


Abb. 43: Statistiken der Differenzbilder aus GEBCO (links) und ETOPO1 (rechts) Daten

Die mittlere Abweichung zu den Fächersonardaten ist mit einem Wert von 15 m bei Verwendung der ETOPO1 Daten deutlich geringer als bei der GEBCO Kompilation, die das Raster mit durchschnittlich 62 m zu hoch darstellt. Auch enthält der GEBCO Datensatz mehr Ausreißer in höheren Wertebereichen, während sich die Abweichungen der ETOPO1 Daten bei Tiefendifferenzen von ca.10-50 m konzentrieren.

7.1.3. Statistik

Die deskriptive Statistik der prädizierten Bathymetrie aus den globalen Datensätzen GEBCO und ETOPO1 wird berechnet und in Relation zu dem mit IDW berechneten Raster aus Fächersonardaten gesetzt. Die Parameter Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und der Korrelationskoeffizient werden miteinander verglichen (Abb. 44-45).

Geländemodell	Min	Max	Mittelwert	Standardabweichung
Fächersonar	-4875,23	-4250,46	-4557,60	151,67
ETOP01	-4935,00	-4223,00	-4540,88	166,47
GEBCO	-4710,00	-4260,00	-4495,32	119,25

Abb. 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der globalen Datensätze ETOPO1 und GEBCO; alle Angaben in Meter

Geländemodell	Korrelationskoeffizient (Korrelation zu Grid aus Fächersonardaten, berechnet mit IDW)
ETOP01	0,79012
GEBCO	0,76325

Abb. 45: Korrelationskoeffizienten der prädizierten Bathymetrie aus den Datensätzen ETOPO1 und GEBCO; als Referenzdatensatz dient das mit IDW berechnete Geländemodell der prozessierten Fächersonardaten

Mit einem Mittelwert von -4549 m, der sehr nahe bei den mittleren Tiefen der Fächersonardaten liegt, sowie einem Korrelationskoeffizienten von 0,79 weist der ETOPO1 Datensatz signifikante Übereinstimmungen mit der gemessenen Bathymetrie auf. Obwohl die Struktur des Ritscher Canyons bei den GEBCO Daten nicht vorhanden ist, sind die statistischen Ergebnisse nur minimal schlechter als im Falle der ETOPO1 Daten. Die Ergebnisse aus der Statistik weisen somit einen hohen Grad an Kongruenz zwischen globalen Datensätzen und Bathymetrie aus Fächersonarmessungen auf.

7.2. Ergebnisse und Interpretation

Sowohl bei den ETOPO1 als auch bei den GEBCO Daten ist die Struktur des Ritscher Canyons so gut wie nicht existent. Während allerdings die ETOPO1 Daten teils Formationen erkennen lassen, die an die Morphologie des Tiefseegrabens erinnern, weist die Bathymetrie des GEBCO Datensatzes keinerlei Strukturen auf. Auch wenn man nach Auswertung der Statistiken eine grobe Übereinstimmung der Geländemodelle erwarten könnte, wird in der Realität der Canyon von der Satellitenaltimetrie nicht erfasst. Wenn man die Dimensionen des Ritscher Canyons (70 km * 20 km) betrachtet werden die qualitativen Unterschiede zwischen globaler Bathymetrie und Bathymetrie aus Fächersonarmessungen deutlich. Der Canyon stellt eine geomorphologische Struktur erster Güte dar, die z.B. großen Einfluss auf Strömungen in dieser Region hat. Prädizierte Bathymetrie aus Satellitendaten eignet sich zwar zur Verwendung von Modellrechnungen im großen Maßstab, sobald allerdings genaue Daten von Nöten sind, kann die prädizierte Bathymetrie Fächerstrahlmessungen nicht ersetzen. Um detaillierte Informationen über die Struktur der Meeresböden zu bekommen, sind auch in Zukunft möglichst großflächige Vermessungen mit Fächersonartechnologie nötig. Dazu gehört sowohl das Ausrüsten von Forschungsschiffen mit dieser Technik als auch Voraussicht bei der Routenplanung von Expeditionen: Der Transfer sollte auf Strecken verlaufen, die noch nicht mit Sonar vermessen wurden. Ziel ist es, möglichst wenige Lücken in bathymetrischen Datensätzen mit prädizierter Bathymetrie füllen zu müssen.

8. Visualisierung der Geländemodelle

Um die Ergebnisse der Fächersonardatenbereinigung zu präsentieren wird ein Poster des Projekts erstellt, sowie der Ritscher Canyon in Form eines Fly-Through Movies visualisiert.

8.1. Posterpräsentation / ArcGIS

Die Anfertigung des Posters erfolgt mit Hilfe von ESRI ArcGIS 9.3 (Abb. 46). Alle Kartenteile werden in einer polarstereographischen Projektion mit dem Datum WGS 84 dargestellt. Die Präsentation des Projektes besteht aus vier Teilen: Einer Detailkarte des Ritscher Canyons, einem Legendenfenster mit Metainformationen, einem 3D Modell, sowie Übersichtskarten mit der Route der Roger Revelle. Die Datengrundlage der Detailkarte bildet der bereinigte Fächersonardatensatz, interpoliert mit Inverse Distance Weighting (Power 0,5). Das Raster im Hintergrund liefert ETOPO1. Landmasse sowie Ozeane der Übersichtskarten werden auf Grundlage des GEBCO Datensatzes visualisiert. Der Kontinent Antarctica wird durch ein Mosaic aus Landsat Aufnahmen abgebildet (LIMA). Das 3D Modell des Canyons wird bei einer Überhöhung um den Faktor 25 mit IVS3D Fledermaus erzeugt.

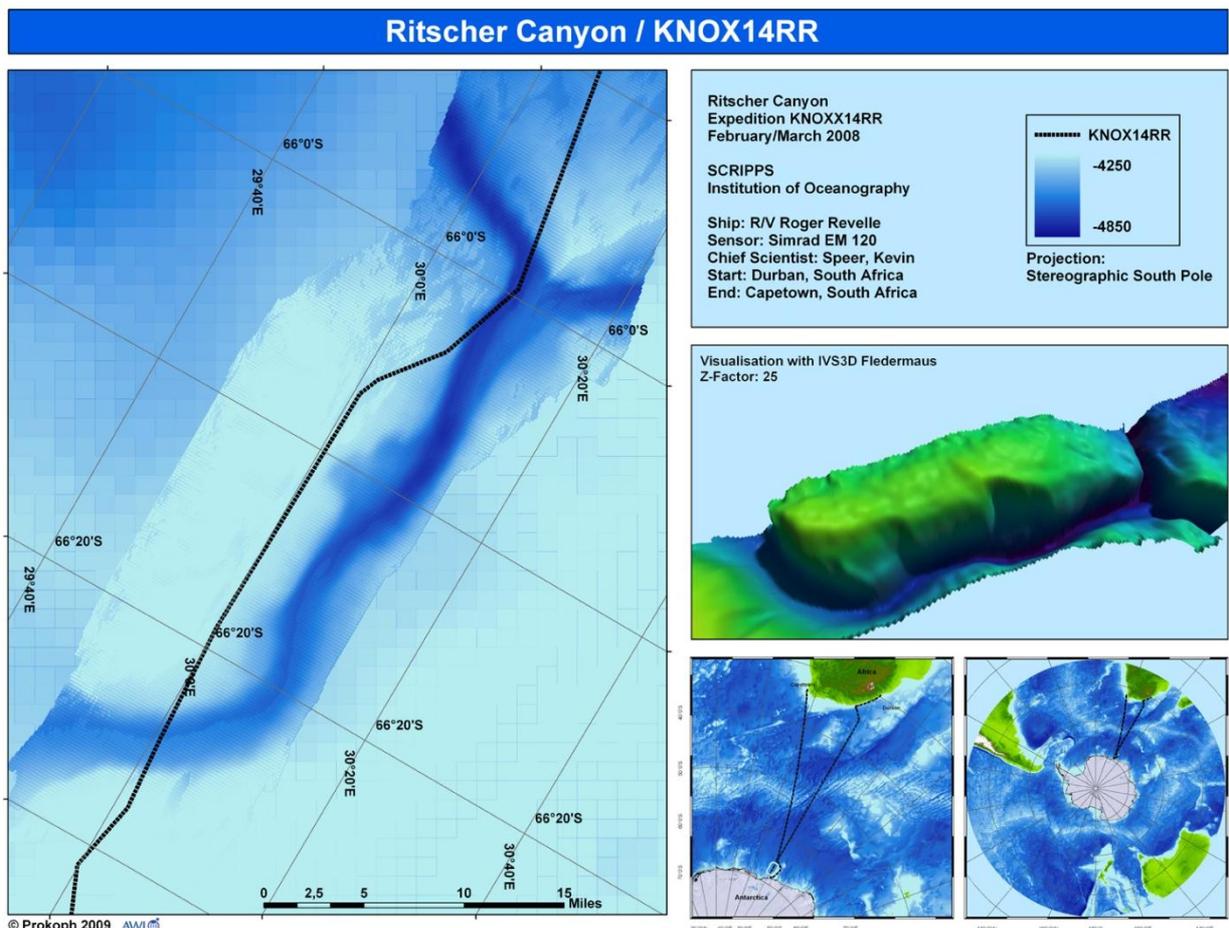


Abb. 46: Zusammenfassung der Arbeiten am Alfred-Wegener-Institut; Visualisierung des Ritscher Canyons und Metainformationen zur Expedition KNOX14RR

8. 2. Film / Fledermaus

Für die Visualisierung der digitalen Geländemodelle steht am Alfred-Wegener-Institut das Programm „Fledermaus“ der Firma IVS3D in der Version 7 zur Verfügung (Anhang 28-31). Die Software bietet Funktionen, um interaktiv räumliche Ansichten von Modellen zu erzeugen. Fledermaus erlaubt das Anfertigen und Untersuchen von 3D Modellen und stellt Objekte wie Oberflächen, Volumina, Dichte-Felder oder Querschnitte dar (IVS3d, 2009). Des Weiteren unterstützt das Programm den Import von Dateien im ESRI Shapefile Format.

Nach dem Einladen der Dateien in Fledermaus, werden diese mit einer 25fachen Überhöhung visualisiert. Das verwendete Raster wurde aus den prozessierten Fächersonar-daten mit der Interpolation IDW (Power 0,5) berechnet. Das Geländemodell kann nun mit einem Joystick erforscht werden. Die Navigation durch den Canyon wird als Bildfolge gespeichert. Aus zwei Minuten Film resultieren bei 25 fps ca. 1500 Einzelbilder im TIFF Format. Die so entstandene Bildfolge wird anschließend zu einem Video im AVI Format konvertiert (Codecs: Divx/MP4). Schnitte sowie die Nachbearbeitung des Films erfolgten mit Apple iMovie 7.1.4. (Abb. 47).

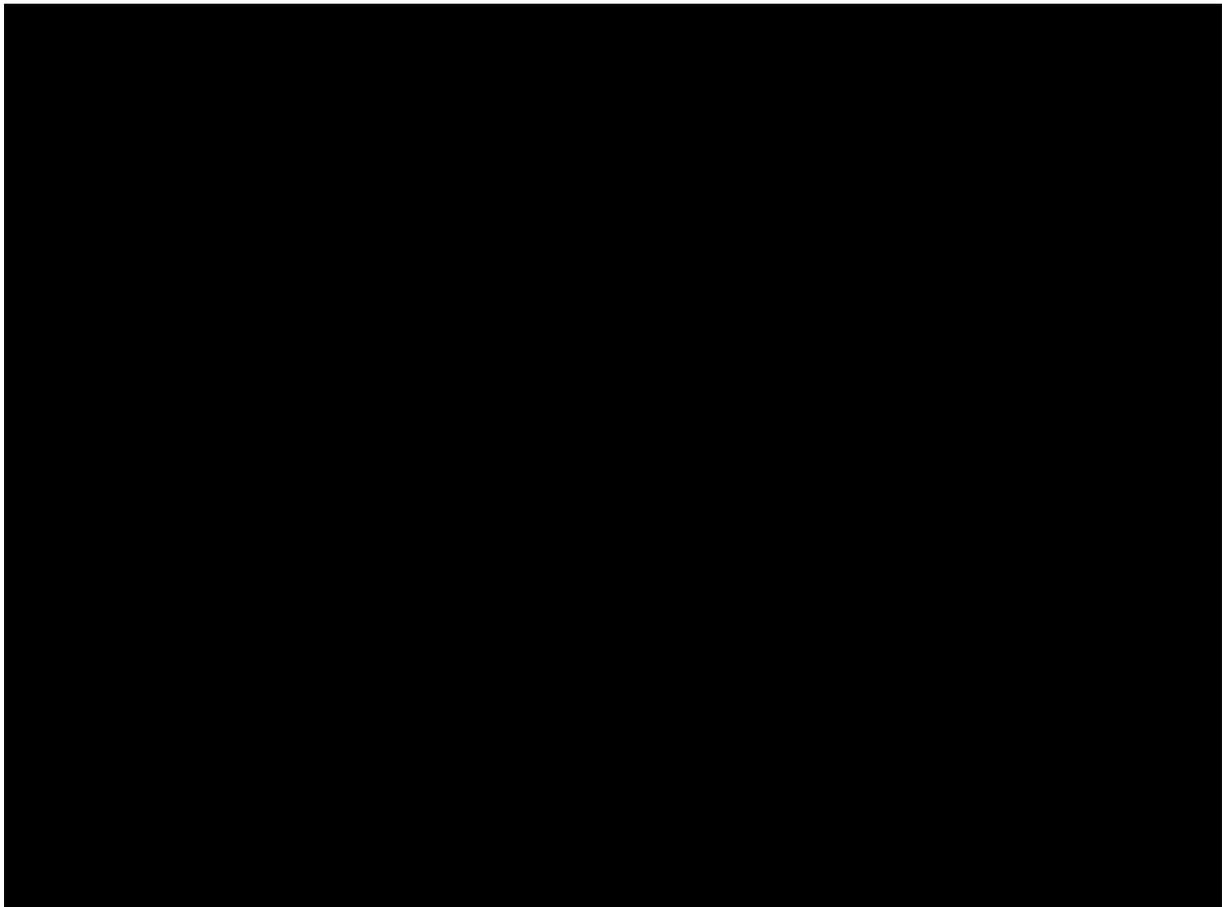


Abb. 47: Visualisierung des Ritscher Canyons als Fly-Through-Movie; Produktion mit IVS3D Fledermaus, Schnitt mit Apple iMovie

9. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von Fehlerquellen bei der Prozessierung von Rohdaten, die Analyse von Interpolationsmethoden bei verschiedenen Verteilungen von Messpunkten, sowie die Visualisierung digitaler Geländemodelle. Die Bereinigung der Rohdaten verlief größtenteils ohne Probleme, in den meisten Fällen konnte eine einheitliche Morphologie des Meeresbodens gewährleistet werden. Auch die Relation zwischen Zeit und Ergebnis der Datenbereinigung blieb zufriedenstellend. Die Vergleiche von Rasterdaten zur Untersuchung von Interpolationsmethoden lieferten die gewünschten Ergebnisse. Lediglich bei den Visualisierungsarbeiten mit der Software Fledermaus traten einige Probleme bei der Georeferenzierung der Geländemodelle auf. Die Transformation von geographischen Koordinaten zu einer polarstereographischen Projektion verursachte Fehler im Grid. Die Problematik konnte aber durch den Export von bereits projizierten Messpunkten aus CARIS HIPS behoben werden.

Nachdem alle Ergebnisse aus den Untersuchungen an Fächersonardatensätzen sowie Einzelstrahlecholotmessungen vorliegen, erfordern einige Punkte eine weitere Erörterung. Fächersonardaten liefern aufgrund der hohen Datendichte hochqualitative Ergebnisse. Allerdings ist damit ein enormer Rechenaufwand bei der Interpolation zu Rasterdaten, sowie ein großer Bedarf an Speicherplatz verbunden. Inwiefern die Datensätze reduziert werden könnten, ohne signifikante Qualitätseinbußen in Kauf nehmen zu müssen, könnte in weiteren Tests behandelt werden.

10. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde die Prozessierung, die Analyse sowie die Visualisierung von bathymetrischen Daten durchgeführt.

Ziel der Rohdatenprozessierung ist es, eine möglichst homogene Morphologie des Meeresbodens zu erhalten. Dabei sind grobe, systematische sowie zufällige Fehler zu beachten. Das Editieren der Daten ist zwar sehr zeitintensiv, allerdings rechtfertigt das Ergebnis in jedem Fall den Aufwand, da unbereinigte Messungen keine realitätsnahe Abbildung der Meeresbodenstruktur erlauben.

Nachdem aus den bereinigten Datensätzen mit den Interpolationen IDW, Kriging, Spline und NN digitale Geländemodelle berechnet wurden, konnten die Ergebnisse auf qualitative Eigenschaften untersucht werden. Die Vergleiche zeigten, dass bei Datensätzen mit einer hohen Dichte an Messpunkten die Wahl der Interpolationsmethode keine signifikante Rolle spielt.

Neben Fächersonarecholoten ist der Einsatz von Einzelstrahlmessungen weit verbreitet. Um herauszufinden, wie sich verschiedene Interpolationsalgorithmen bei geringerer Datendichte verhalten, wurde eine Einzelstrahlvermessung des Ritscher Canyons simuliert und die Ergebnisse mit den Geländemodellen aus Fächersonardaten verglichen. Als Fazit konnte festgehalten werden, dass die Qualität der Rasterbilder stark abnimmt. Ferner sollte bei der Wahl der Interpolationsmethode das wichtigste Kriterium eine möglichst realitätsnahe Struktur des Meeresbodens sein. Statistiken spielen im Zweifelsfall eine untergeordnete Rolle. Für die Topographie des Canyons liefert der Spline Algorithmus die besten Ergebnisse.

Letztendlich wurde, da große Teile globaler Datensätze auf prädizierter Bathymetrie basieren, das digitale Geländemodell aus Fächersonardaten dem aus Satellitenaltimetrie gegenübergestellt. Es konnten gravierende Abweichungen zur gemessenen Bathymetrie festgestellt werden, die Formation des Ritscher Canyons ist größtenteils nicht existent, auch wenn der ETOPO1 Datensatz Ansätze der Struktur erkennen lässt.

Allerdings sind alle Untersuchungen als exemplarisch anzusehen. Um die Ergebnisse zu validieren, wären Analysen weiterer Datensätze nötig.

11. Ausblick

In dieser Bachelorarbeit wurden geostatistische Arbeiten lediglich mit ArcGIS 9.3 durchgeführt. Es wäre auch möglich, diese Analysen mit dem Programm Matlab der Firma MathWorks durchzuführen. Hiermit könnten umfangreichere Untersuchungen vorgenommen werden, mit denen die Ergebnisse der Arbeit weiter präzisiert werden könnten.

Auch stellen Rasterdaten nur eine Möglichkeit dar, Geländemodelle zu visualisieren. Eine andere Herangehensweise wäre die Visualisierung von Tiefenmessungen mit Hilfe von Triangulated Irregular Networks (TIN) und Isolinien (Gold et. al. 2003, Dakowicz et. al. 2002, Thibault et. al. 2000). Um die Qualität dieser Geländemodelle zu prüfen wären Vergleiche mit den in dieser Arbeit untersuchten Rasterdaten möglich. Auch könnte die Optimierung von Dreiecksmodellen mit den Algorithmen Skeleton und Crust Bestandteil weiterer Analysen werden. Ferner resultiert eine Vielzahl der in globalen Datensätzen vorhandenen Artefakte nicht aus falsch angewandten Interpolationen, sondern aus dem Zusammenschneiden von prädzierter Bathymetrie mit genauen Echolotmessungen. Die Untersuchung von bereits existierenden Methoden, sowie die Entwicklung neuer Algorithmen könnte die Basis für weitere Arbeiten bilden.

Da die Ausarbeitung dieser Themen den Umfang dieser Bachelorarbeit übersteigen würde, könnten auf diese im Rahmen einer Master- oder Diplomarbeit genauer eingegangen werden.

12. Literaturverzeichnis

Referenzen:

Amante, C., Eakins, B. W. (2008): ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis

Atlas (1997): Hydrosweep DS-2 Manual, Vol. 1., *STN Atlas Electronic Bremen, Erste Auflage*

Bauer, M (1992): Vermessung und Ortung mit Satelliten, *Wichman Verlag, Karlsruhe, zweite Auflage 1992*

Beyer, A. (2006): Seafloor analysis based on multibeam bathymetry an backscatter data, *In: Berichten zur Polar- und Meeresforschung 540, 2006*

Bill, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Analysen, Anwendungen und neue Entwicklunge., *Wichmann, Heidelberg, 2te Edition, 1999*

Brown, B., Gaina, C., Müller, R. D. (2006): Circum-Antarctic palaeobathymetry: Illustrated examples from Cenozoic to recent times, *In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 231 (2006), S. 158-168*

Childs, C. (2004): Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst, *In: ArcUser, July-September 2004*

Dakowicz, M., Gold, C. (2002): Extracting Meaningful Slopes from Terrain Contours, *In: International Conference on Computational Science, S. 144-152 (2002)*

de Jong, C. D., Lachapelle, G., Skone, S., Elema, I. A. (2002): Hydrography, *Published by VSSD, Netherlands*

de Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. (2008): Geospacial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools, 2nd Edition, *Published by Matador*

Gauger, S. (2002): Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse einer bathymetrischen Vermessung im westlichen Teil des Gakkel-Rückens, *Diplomarbeit im Fachbereich Geomatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg*

Gille, S.T., Metzger, E. J., Tokmakian, R. (2002): Seafloor Topography and Ocean Crirculation, *In: Oceanography, Volume 17, Number 1, a quarterly journal of the Oceanography Society (2003)*

Gille, S. T., Llewellyn Smith, S. G. (2003): Bathymetry and Ocean Circulation, *In: Charting the Secret World of the Ocean Floor. The Gebco Project 1903-2003*

Gold, C. (1999): An Algorithmic Approach to a Marine GIS, *In: Marine and Coastal Geographical Information Systems (2000)*, S. 37-52

Gold, C., Dakowicz, M. (2003): Digital Elevation Models from Contour Lines, *In: GIM International (2003)*

Goodwille A. M. (2004): Concepts behind the GEBCO global bathymetric grid

Goodwille A. M.: User Guide to the GEBCO one minute grid, *URL: http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/documents/gridhel p.pdf* (Zugriff: 27.04.2009)

Gütz, S. (2003): Submarine Hangstabilität – bathymetrische Aspekte des Sicherheitsfaktors F, *Diplomarbeit am Institut für Theoretische Geodäsie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*

Holzer, S. M. (2004): Spline-Interpolation, *Institut für Mathematik und Bauinformatik, Universität der Bundeswehr München* *URL: http://www.unibw.de/rz/dokumente/public/getFILE?fid=bs_1501995* (Zugriff: 30.05.2009)

Jacops, M. (2002): Analysis of High Resolution Bathymetric Data in the Eltanin Impact Area, *Master Thesis at the Delft University of Technology*

Kagami, H. (1994): Ritscher Canyon off Breid Bay, Dronning Maud Land, East Antarctica, *In: Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., 7, 1994, S. 162-175*

Kohls, T. (2004): Anwendung und Optimierung der Delaunay-Triangulation auf bathymetrische Datensätze, *Diplomarbeit an der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshafen*

Kunze, E., Llewellyn Smith, S. G. (2003): The Role of Small-Scale Topography in Turbulent Mixing of the Global Ocean, *In: Oceanography Volume 17, Number 1, a quarterly journal of the Oceanography Society (2003)*

Le Provost, C., Lyard, F. (2003): The impact of ocean bottom morphology on the modelling of the long gravity waves, from tides and tsunami to climate, *In: Charting the Secret World of the Ocean Floor. The Gebco Project 1903-2003*

Liu, H., Jezek, J. C., Li, B. (1999): Development of an Antarctic digital elevation model by integrating cartographic and remotely sensed data: A geographic information based approach, *In: Journal of geophysical research, Vol. 104, No. B10, Oktober 1999, S. 23,199-23,213*

Livermore, R., Hillenbrand, C. D., Meredith, M., Eagles, G. (2007): Drake Passage and Cenozoic climate: An open and shut case?, *In: Geochemistry Geophysics Geosystems, Volume 8, Number 1 (2007)*

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (2004): Geographical Information Systems and Science, *John Wiley & Sons Ltd, 2nd Edition 2005*

Lorup, E., Fislser, J. (2009): Kontinuierliche räumliche Variablen, URL: <http://www.gitta.info> (Zugriff: 23.04.2009)

Losch, M., Wunsch, C. (2003): Bottom Topography as a Control Variable in an Ocean Model, In: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Volume 20 (2003)*

Lurton X. (2002): An introduction to underwater acoustics: principles and applications, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York*

Lythe, M. B., Vaughan D. G. and the BEDMAP Consortium (2001): BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica, In: *Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. B6, June 10, 2001, S. 11,335-11,351*

Macnab, R., Jakobsson, M., Ott, N., Schenke, H. W., Travin, D. (2007): Marine Scientific Expeditions during IPY: Opportunities for Upgrading Bathymetric Maps of the Arctic and Southern Oceans

Marks, K. M., Smith, W. H. F. (2006): An Evaluation of Publicly Available Global Bathymetry Grids, In: *Marine Geophysical Researches, Springer Netherlands, S. 19-34*

McAdoo, B. G. (2008): Marine Geoid, Gravity and Bathymetry: An increasingly clear view with satellite altimetry

Oldenburg, D. W. (1973): The inversion and interpretation of gravity anomalies, In: *Geophysics, Vol. 39, No. 4 (August 1974), S. 526-536*

Ott, N., Schenke, H. W. (2007): GIS based data compilation of the new international Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO), In: *Antarctica: A keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X*

Parker, R. L. (1972): The Rapid Calculation of Potential Anomalies, In: *Geophys. J. R. astr. Soc. (1972) 31, S. 447-455*

Press, F., Siever, R. (2003): Allgemeine Geologie – Einführung in das System der Erde, 3. Auflage 2003, *Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin*

Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Grille, S., Jayne, S., Soofi, K., Coakley, B. (2001): Bathymetry from Space; White paper in support of a high-resolution, ocean altimeter mission, URL: http://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html (Zugriff 23.04.2009)

Sandwell, D. T., Smith, W. H. F. (2008): Exploring the ocean basins with satellite altimeter data, URL: http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/predicted/explore.HTML#sat_alt (Zugriff: 23.04.2009)

Sandwell, D. T., Smith, W. H. F. (1997): Marine gravity anomaly from Geosat and ERS satellite altimetry, *In: Journal of Geophysical Research, Vol. 102, No B5, S. 10039-10054*

Schenke, H. W. (1993): Fächersonarmessungen für geowissenschaftliche Untersuchungen, *In: ZfV 4 1993, S. 171-187*

Schenke, H. W. (2003): Interpolation and Contouring of Sparse Sounding Data, *In: Charting the Secret World of the Ocean Floor. The Gebco Project 1903-2003*

Smith, W. H. F., Sandwell D. T. (1997): Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings, *In: Science 277, September 1997*

Smith, W. H. F., Sandwell, D. T. (2003): Conventional Bathymetry, Bathymetry from Space, and Geodetic Altimetry, *In: Oceanography, Vol. 17, No. 1/2004*

Thibault, D., Gold, C. (2000): Terrain Reconstruction from Contours by Skeleton Construction, *In: Geoinformatica, Volume 4, Issue 4, S. 349-373*

Wille, P. C. (2005): Sounds Images of the Ocean; *In Research and Monitoring, Springer Verlag Berlin*

Wilson, M. F. J., O'Connell, B., Brown, C., Guinan, J. C., Grehan, A. J. (2006): Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope, *In: Marine Geodesy, 30: 3-35 (2007)*

Weblinks:

AWI

<http://www.awi.de>

Zugriff: 12.06.2009

British Oceanographic Data Center

http://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco/

Zugriff: 30.05.2009

GLOBE land elevations:

<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>

Zugriff: 22.05.2009

IBCSO

<http://www.ibcso.org/>

Zugriff: 27.05.2009

NGDC/NOAA

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

Zugriff: 25.05.2009

SCAR Coastline

http://www.add.scar.org/add_main.html

Zugriff: 18.05.2009

SCRIPPS Institution of Oceanography

<http://www.sio.ucsd.edu/>

Zugriff: 18.05.2009

WVS Coastline:

<http://rimmer.ngdc.noaa.gov/mgg/coast/wvs.html>

Zugriff: 18.05.2009

Landsat Image Mosaic of Antarctica (LIMA)

<http://lima.usgs.gov/>

Zugriff: 07.06.2009

IVS3D Fledermaus

<http://www.ivs3d.com/>

Zugriff: 07.06.2009

13. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Atlantis
Abbildung 2: Heezen & Tharp Map
Abbildung 3: Schema der Meeresbodenvermessung mit Fächerecholot
Abbildung 4: Berechnung der Höhe des Geoids am Beispiel des Satelliten Geosat
Abbildung 5: Satellitenflugbahnen im Bereich von Hawaii
Abbildung 6: Geographische Übersicht der Herkunft der Daten des GEBCO Digital Atlas
Abbildung 7: Quellen der Datensätze des ETOPO1 Bedrock Modells
Abbildung 8: Schiffsrouten im Bereich des südlichen Ozeans
Abbildung 9: Geographische Lage des Ritscher Canyons
Abbildung 10: Technische Spezifikationen des Sonarsystems Simrad EM 120
Abbildung 11: Bereinigung der Positionsdaten in CARIS HIPS
Abbildung 12: Positionsdatenbereinigung mit CARIS HIPS
Abbildung 13: Grobe Fehler im Datensatz, dargestellt im Rear View des CARIS HIPS Swath Editors
Abbildung 14: Hub-Effekt; „Heave“
Abbildung 15: Stampf-Effekt; „Pitch“
Abbildung 16: Roll-Effekt „Roll“
Abbildung 17: Zustandekommen des Omega Effekts
Abbildung 18: Entstehung des Tunnel Effekts
Abbildung 19: Refraktionsfehler der Schrägstrahlen
Abbildung 20: Vergleich des Datensatzes vor und nach der Prozessierung
Abbildung 21: Exakte vs. Approximierte Interpolation
Abbildung 22: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch IDW mit Power 3, Projektion: Polarstereographisch
Abbildung 23: Schema der Interpolation Natural Neighbour
Abbildung 24: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch NN, Zellengröße ca. 250 m, Projektion: Polarstereographisch
Abbildung 25: Spline Interpolation
Abbildung 26: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch Spline, Projektion: Polarstereographisch
Abbildung 27: Semi-Variogramm mit Sill, Range und Nugget
Abbildung 28: DGM des Ritscher Canyons, Berechnung durch Ordinary Kriging, Projektion: Polarstereographisch
Abbildung 29: Lineare Interpolation bei Contour-Lines
Abbildung 30: Visualisierungen der DGMs des Ritscher Canyons
Abbildung 31: Isolinien der Interpolationen Spline, IDW, Kriging und NN, basierend auf den prozessierten Fächersonardaten
Abbildung 32: Differenzbild von Inverse Distance Weighting und Natural Neighbour, basierend auf den prozessierten Fächersonardaten
Abbildung 33: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Interpolationen IDW, Kriging, NN und Spline
Abbildung 34: Korrelationskoeffizienten bei verschiedenen Interpolationen
Abbildung 35: Simulation einer Einzelstrahlvermessung des Ritscher Canyons
Abbildung 36: Digitale Geländemodelle der simulierten Einzelstrahlmessung
Abbildung 37: Contour-Lines der Interpolationen IDW, Kriging, Spline und NN

Abbildung 38: Differenzbilder zwischen Fächersonardaten und simulierten Einzelstrahlungsmessungen

Abbildung 39: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Interpolationen IDW, Kriging, NN und Spline

Abbildung 40: Korrelationskoeffizienten bei verschiedenen Interpolationen

Abbildung 41: Digitale Geländemodelle aus den Datenkompilationen GEBCO und ETOPO1

Abbildung 42: Differenzbilder der globalen Datensätze GEBCO und ETOPO1

Abbildung 43: Statistiken der Differenzbilder aus GEBCO und ETOPO1 Daten

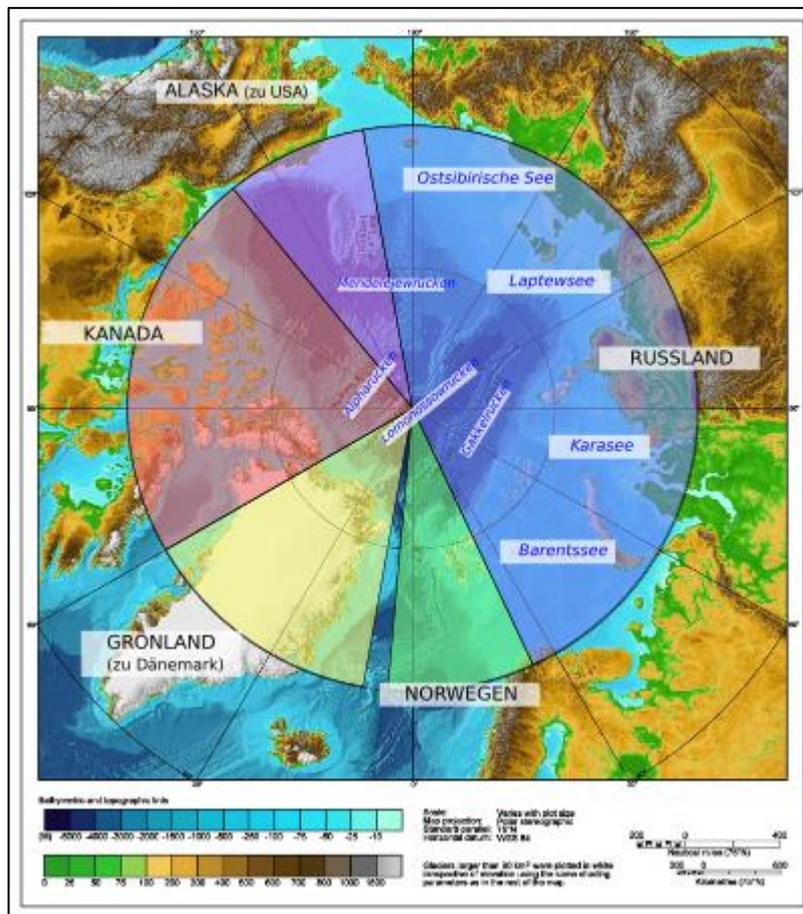
Abbildung 44: Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der globalen Datensätze ETOPO1 und GEBCO

Abbildung 45: Korrelationskoeffizienten der prädizierten Bathymetrie aus den Datensätzen ETOPO1 und GEBCO

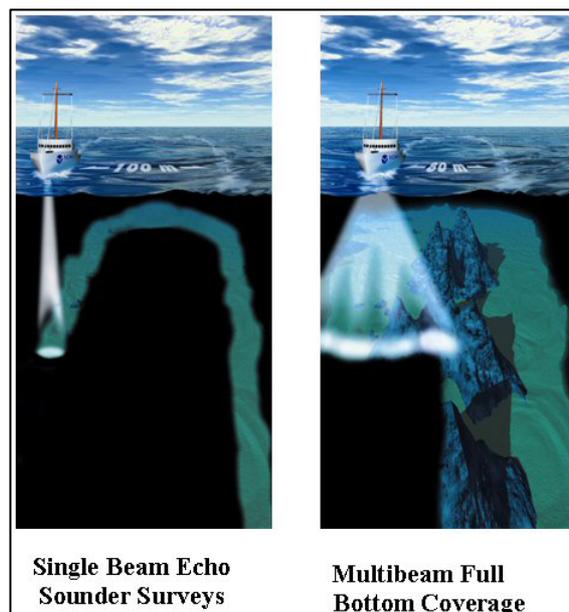
Abbildung 46: Zusammenfassung der Arbeiten am Alfred-Wegener-Institut

Abbildung 47: Visualisierung des Ritscher Canyons als Fly-Through-Movie

14. Anhang



Anhang 1: Hoheitsansprüche im Nordpolarmeer



Anhang 2 „Singlebeam & Multibeam“: Unterschiede bei der Auflösung von Einzelstrahl- und Fächerecholot (www.nauticalcharts.noaa.gov)



International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO)

An Echo Sounding Patchwork for Circum-Antarctic Mapping



Project Background

Introduction

At present, two international initiatives are compiling polar bathymetric data for use in construction of seafloor topography. These are the ocean mapping groups on the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) and the International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO). The IBCSO group focuses on the build-up of an updated digital bathymetric database for the entire Southern Ocean with additional data derived from radar satellite imagery, altimetry, and gravity. Data sets are provided by a great number of facilities and data centers. Data management and data processing is conducted by use of proprietary **Geographic Information Systems (GIS)**. This approach assures interoperability for data exchange and allows production of cartographic paper products and digital web maps.



Framework

The IBCSO program was adopted as an International Bathymetric Chart mapping project in 2004. The following groups and sub-committees set up IBCSO in an official frame:

- ▶ the SCAR Geosciences Standing Scientific Group (GSSG)
- ▶ the IOC Consultative Group on Ocean Mapping (CGOM)
- ▶ the Hydrographic Committee on Antarctica (HCA) of the IHO
- ▶ the IBCSO has close liaisons with:
- ▶ the GEBCO Sub-Committee on Digital Bathymetry (SCDB)
- ▶ the SCAR/SCOR Expert Group on Oceanography
- ▶ the SCAR SC on Antarctic Geographic Information (SC-AGI)

The IBCSO program started at the end of 2006 and is now based at the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in Bremerhaven, Germany.

Contact

Dr. Norbert Ott (Norbert.Ott@awi.de)
 Dr. Hans Werner Schenke (Hans-Werner.Schenke@awi.de)
 Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research
 P.O.B. 12 01 61, 27515 Bremerhaven, Germany
 Information about IBCSO: www.ibcso.org/

Objectives of the IBCSO

- ▶ International collaboration with facilities and data centers
- ▶ Collection of data, information, and knowledge
- ▶ Buildup of an interoperable digital database
- ▶ Portraying the seafloor topography around Antarctica
- ▶ Generating bathymetric grids and maps
- ▶ Electronic data exchange

GIS architecture of the IBCSO

- ▶ High end GIS by use of proprietary software
- ▶ Full data capabilities and exceptional functionality
- ▶ Desktop GIS tools for authoring, editing, and analysis
- ▶ Server GIS for dynamic spatial data management
- ▶ Internet map server for providing web maps
- ▶ Data storage via object oriented geodatabase (DBMS)

Bathymetric data

- ▶ AWI bathymetric database (e.g. BCWS, 2001)
- ▶ National and international data centers (AAD, ADD, GAD, IHO-DCDB, GEODAS, WDC MGG, ...)
- ▶ Academic facilities and hydrographic offices (AMBS, GNS, HDNO, SIO, UKHO, Vernadsky, ...)

Topographic data of Antarctica

- ▶ Digital Elevation Model, coastline (NSIDC, 2001)
- ▶ Bedrock topography (BEDMAP 2, 2007)
- ▶ Coastline, grounding line, sea ice, ice edge, (ADD, BPRC, BIJ, NIWA, NSIDC)

Additional data

- ▶ SAR imagery from Radarsat-1 (ASF, 1997)
- ▶ Marine gravity from satellite altimetry (SIO, 1997)
- ▶ Predicted Bathymetry (NGDC, 1997)
- ▶ GEBCO and GDA CE (NGDC, BODC, 2003)
- ▶ ETOPO2v2 (NGDC, 2006)

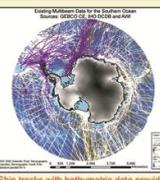
Metadata

- ▶ track control or header information

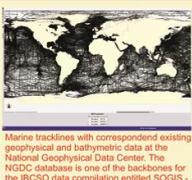
Difficulties arising from electronic data exchange

- ▶ Poor knowledge about existing data and data gaps
- ▶ Poor knowledge about platform interoperability
- ▶ Poor knowledge about data manipulation
- ▶ Missing contact persons, missing responsibilities

Echo Sounding Data



Ship tracks with bathymetric data provided by GEBCO CE, the IHO DCDB and AWI for use in the IBCSO map compilation. Large data gaps occur especially in the South Pacific.



Marine tracklines with correspondent existing geophysical and bathymetric data at the National Geophysical Data Center. The NGDC database is one of the backbones for the IBCSO data compilation entitled SOGIS - the Southern Ocean Geographic Information System.



The Fisher scans. Test of the Sheet 2801-N with scan superimposed on the GDA bathymetry and with NGDC data overlaid.

Problems in ocean mapping data compilation

- ▶ Irregular data distribution
 - hydrographic surveys with regular profiles
 - non-systematic profiles due to ship transects
 - missing data and data gaps in large areas
- ▶ Inconsistent data characteristics
 - age, source, sonar system, accuracy
 - processing, over-all-quality, and documentation
- ▶ Poor verification of echo soundings
 - limited or no ground truth
 - missing error assessment
- ▶ Contouring and map generation
 - manual versus digital interpolation
 - artefacts from analog-to-digital conversion

Ship tracks and bathymetric contour map of the Davis Sea generated by the Russian HDNO for bathymetric map compilation.

ASCII data with x, y, and z values representing the ship position and depth measurement.



Bathymetric chart with depth contours and ship tracks of the Ross Sea compiled by Staggpole and Davey, GNS, New Zealand.

Multibeam bathymetric data hosted at the NGDC. Note the irregular and sparse information in the Southern Ocean.

The Bathymetry working group at AWI hosts one of the largest database mainly of multibeam data for polar areas in the world. As a result, the Bathymetric Chart of the Weddell Sea (BCWS; 2001) was published by AWI in cooperation with Vernadsky Institute. The BCWS map series is the nucleus for the IBCSO data compilation.

Anhang 5: IBCSO Project Background and Echo Sounding Data (<http://www.ibcso.org/>)



International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO)

SOGIS: The Southern Ocean Geographic Information System for Data Integration



Project Background

Introduction

At present, two international initiatives are compiling polar bathymetric data for use in construction of seafloor topography. These are the ocean mapping groups on the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) and the International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO). The IBCSO group focuses on the build-up of an updated digital bathymetric database for the entire Southern Ocean with additional data derived from radar satellite imagery, altimetry, magnetic, and gravity. Data sets are provided by a great number of facilities and data centers. Data management and data processing is conducted by use of proprietary **Geographic Information Systems (GIS)**. This approach assures interoperability for data exchange and allows production of cartographic paper products and digital web maps.



Framework

The IBCSO program was adopted as an International Bathymetric Chart mapping project in 2004. The following groups and sub-committees set up the IBCSO in an official frame:

- ▶ the SCAR Geosciences Standing Scientific Group (GSSG)
- ▶ the IOC Consultative Group on Ocean Mapping (CGOM)
- ▶ the Hydrographic Committee on Antarctica (HCA) of the IHO
- ▶ the IBCSO has close liaisons with:
- ▶ the GEBCO Sub-Committee on Digital Bathymetry (SCDB)
- ▶ the SCAR/SCOR Expert Group on Oceanography
- ▶ the SCAR SC on Antarctic Geographic Information (SC-AGI)

The IBCSO mapping program started at the end of 2006 and is now based at Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in Bremerhaven, Germany.

Contact

Dr. Norbert Ott (Norbert.Ott@awi.de)
 Dr. Hans Werner Schenke (Hans-Werner.Schenke@awi.de)
 Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research
 P.O.B. 12 01 61, 27515 Bremerhaven, Germany
 Information about IBCSO: www.ibcso.org/

GIS architecture of the IBCSO

- ▶ High end GIS by use of proprietary software
- ▶ Full data capabilities and exceptional functionality
- ▶ Desktop GIS tools for authoring, editing, and analysis
- ▶ Server GIS for dynamic spatial data management
- ▶ Internet map server for the provision of web maps
- ▶ File serving via Network Attached Storage with RAID

Hardware information of the GIS environment at AWI Bremerhaven. Workstations and PCs are connected with several types of servers: license and application server, web server, and geodatabase server. A Citrix meta-server allows additional platforms to access the GIS software. Data storage is realized by a disk array (gross capacity: 24 TByte).

SOGIS - GIS based data compilation

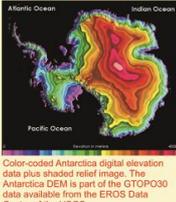
The technological strategy implies collection and integration of existing geophysical and geological data sets together with topographic and bathymetric data for Antarctica and the entire Southern Ocean. Geophysical data from marine gravity acquired by satellite altimeter and mapping of lithospheric magnetic anomalies provide subsurface information of predominant tectonic structures and magnetic spreading anomalies. The potential field anomalies are highly correlated with morpho-structural features of the oceanic crust.

Integrated studies for deeper insights

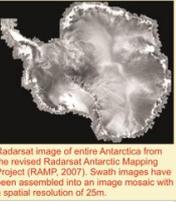
Analysis and modeling of the SOGIS data sets enables us to generate paleobathymetric maps with special emphasis on submarine geotectonic and barriers for an updated plate tectonic reconstruction of the Southern Ocean. Another application is the correlation between variations in gravity anomalies roughness and topographic lineaments in the abyssal plains. This relationship could be diagnostic for the tectonic heterogeneity of the oceanic crust, because transform faults can not be identified primarily by echo sounding data due to marine sediment coverage. The knowledge of fault pattern assists the estimation of crustal behavior e.g. localization of potential earthquake hypocenters for use in Tsunami early warning systems. GIS based analysis of bathymetric data does not only provide water depth information, but also derived digital terrain model parameters, e.g. slope, aspect, curvature, and terrain variability. Multi-scale terrain analyses of multibeam data are important descriptors for benthic habitat mapping.

Geoscientific Data Compilation

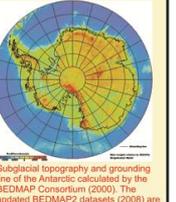
Topographic Features



Color-coded Antarctica digital elevation data plus shaded relief image. The Antarctica DEM is part of the GTOPO30 data available from the EROS Data Center of the USGS.

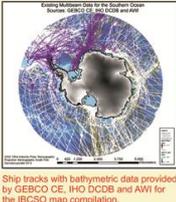


RadarSAR image of entire Antarctica from the revised Radarsat Antarctic Mapping Project (RAMP, 2007). Swath images have been assembled into an image mosaic with a spatial resolution of 25m.

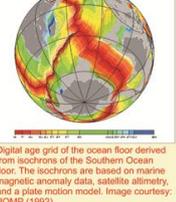


Subglacial topography and grounding line of the Antarctic calculated by the BEDMAP Consortium (2000). The updated BEDMAP2 datasets (2008) are provided by BAS.

Seafloor Features

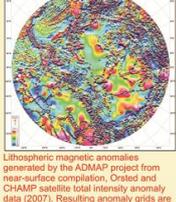


Digital age grid of the ocean floor derived from isochrons of the Southern Ocean floor. The isochrons are based on marine magnetic anomaly data, satellite altimetry, and a plate motion model. Image courtesy: POMP (1992).

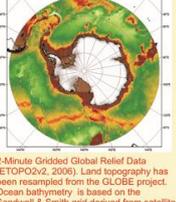


Predicted bathymetry resulting from dense satellite gravity data and sparse ship depth measurements by Smith & Sandwell (1997). Digital data is available from the NGDC.

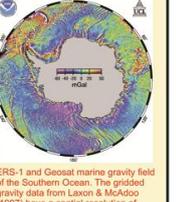
Subsurface Features



Lithospheric magnetic anomalies generated by the ADMAP project from near-surface compilation. Orsted and CHAMP satellite total intensity anomaly data (2007). Resulting anomaly grids are important tools for geological mapping.

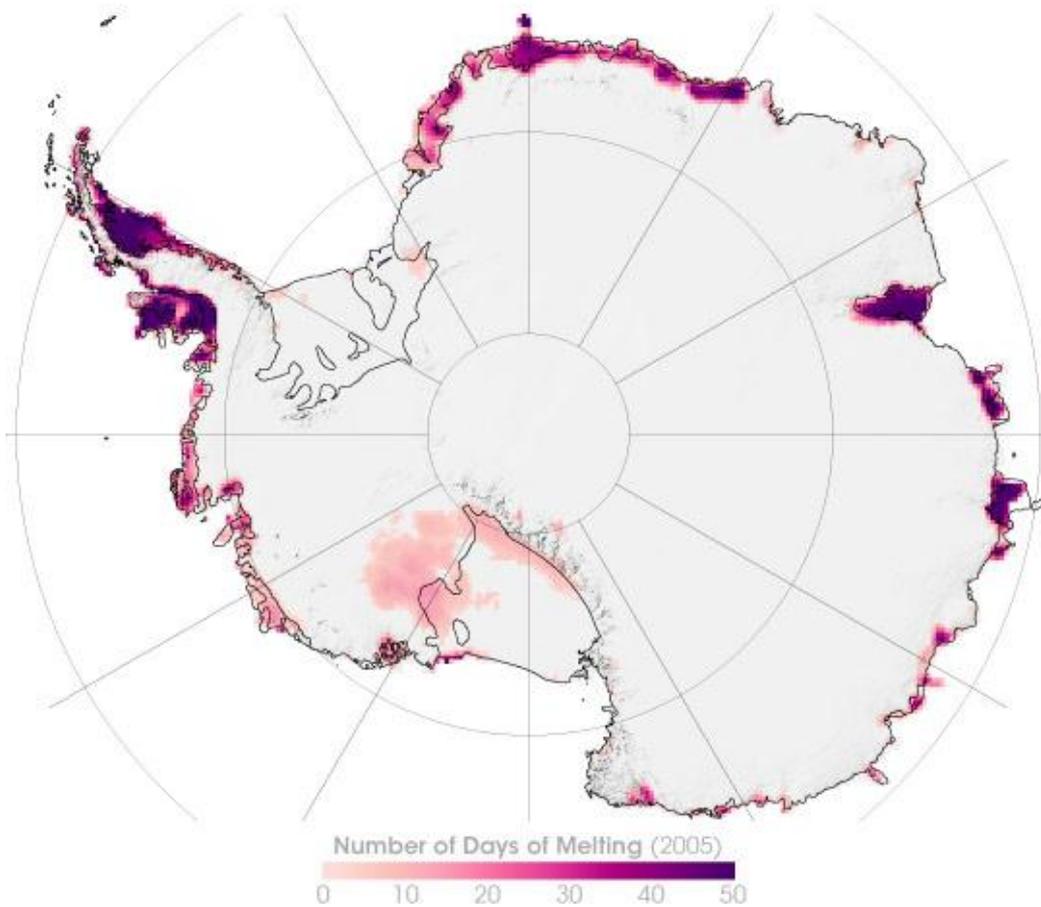
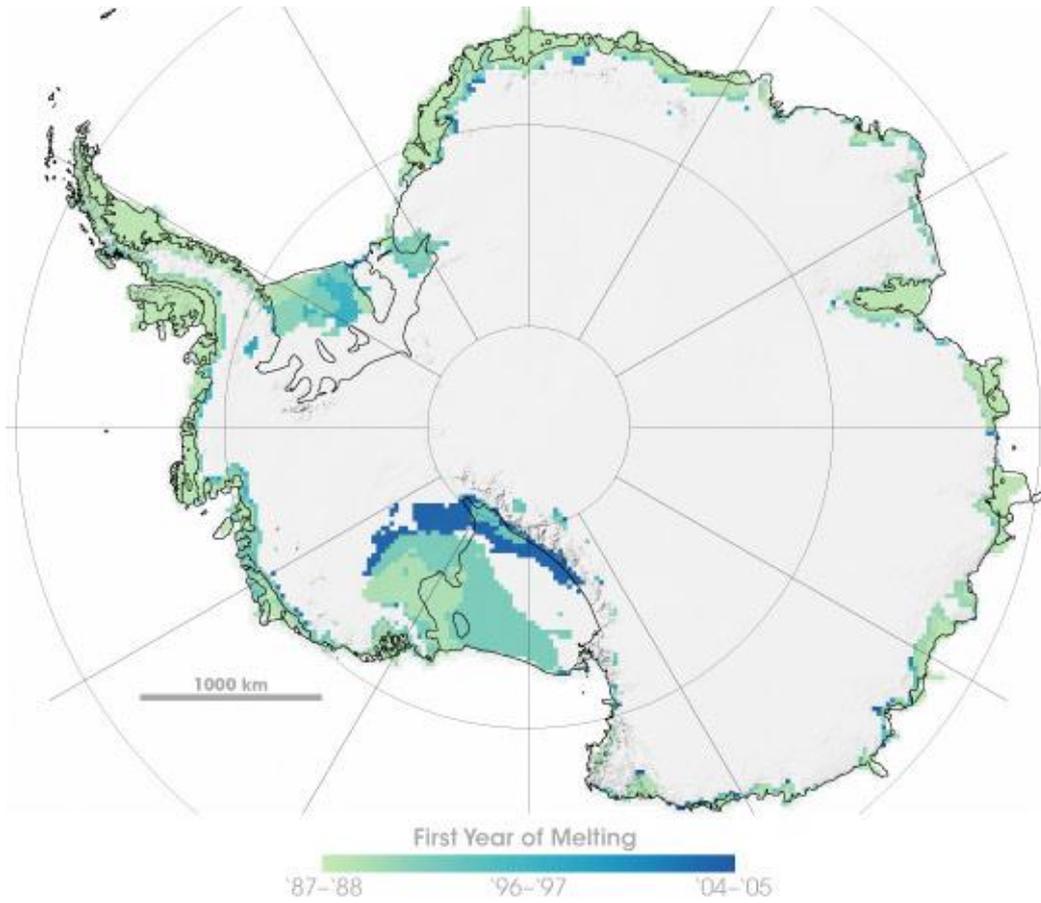


2-Minute Gridded Global Relief Data (ETOPO2v2, 2006). Land topography has been resampled from the GLOBE project. Ocean bathymetry is based on the Sandwell & Smith grid derived from satellite altimetry of the sea surface.



ERS-1 and Geosat marine gravity field of the Southern Ocean. The gridded gravity data from Laxon & McAdoe (1997) have a spatial resolution of 20km and 30km in ice-covered seas.

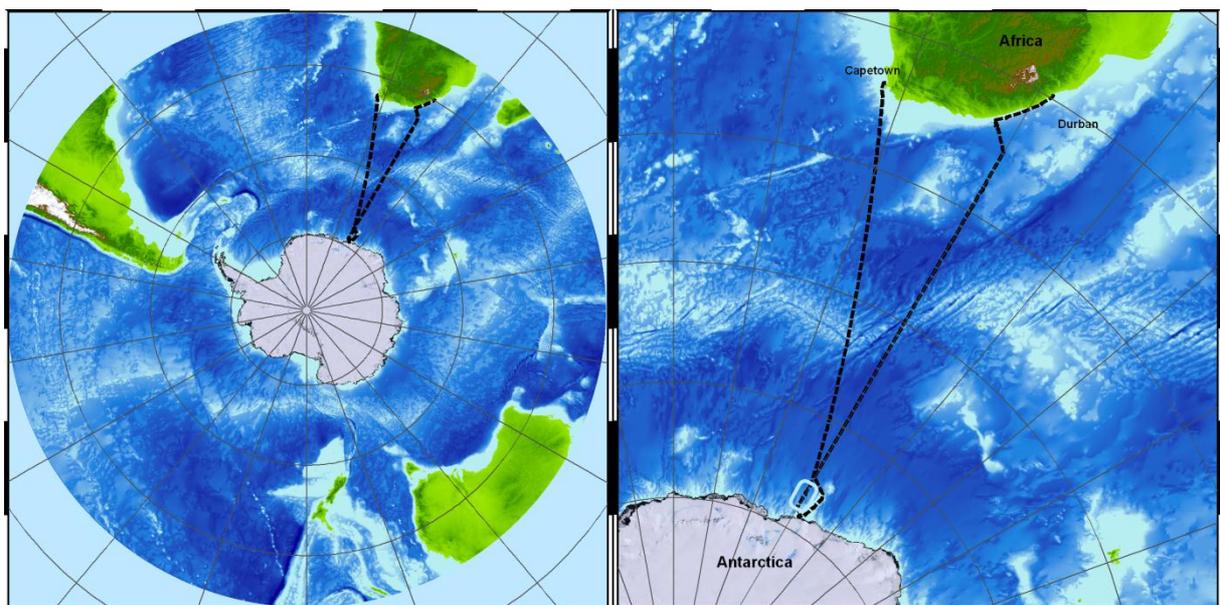
Anhang 6: IBCSO Project Background and Geoscientific Data Compilation (<http://www.ibcso.org/>)



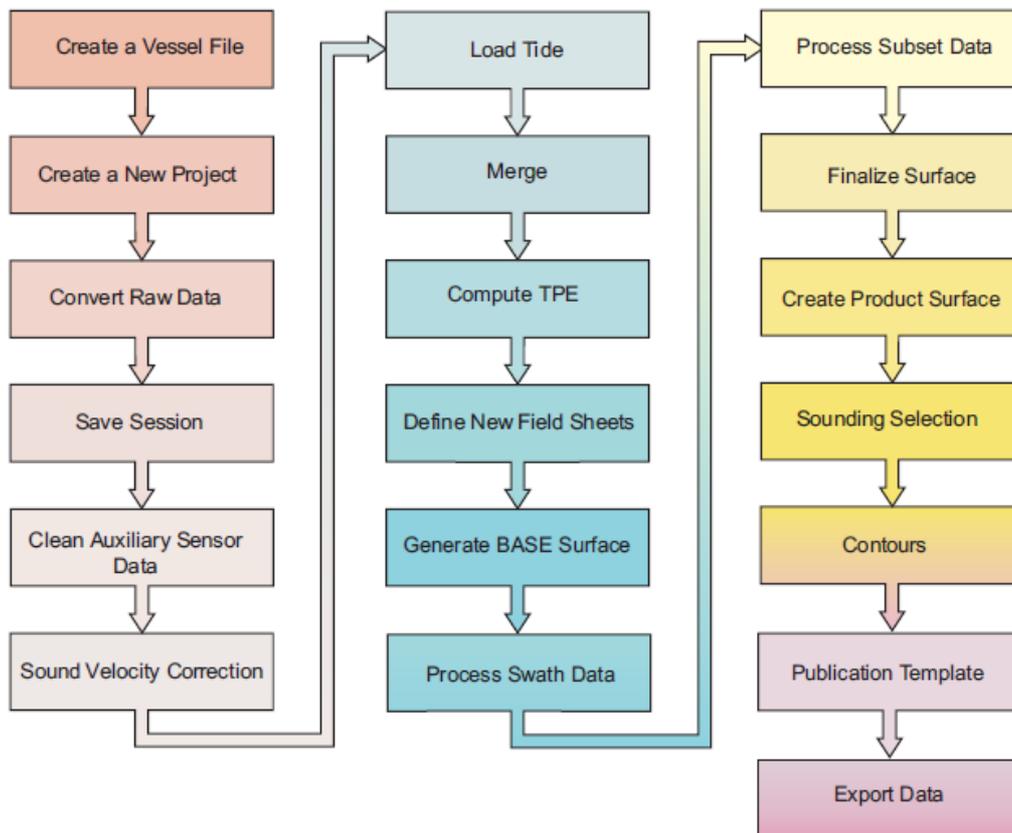
Anhang 7: Abschmelzprozesse in der Antarktis



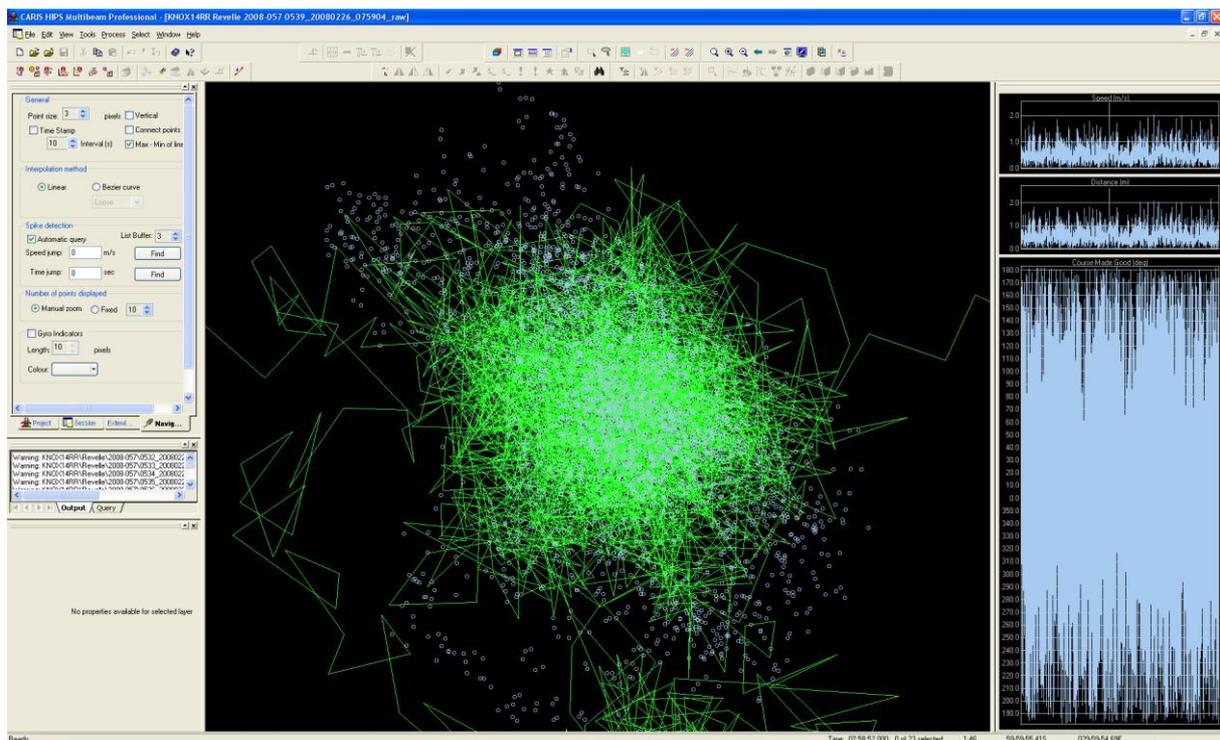
Anhang 8: Forschungsschiff Roger Revelle



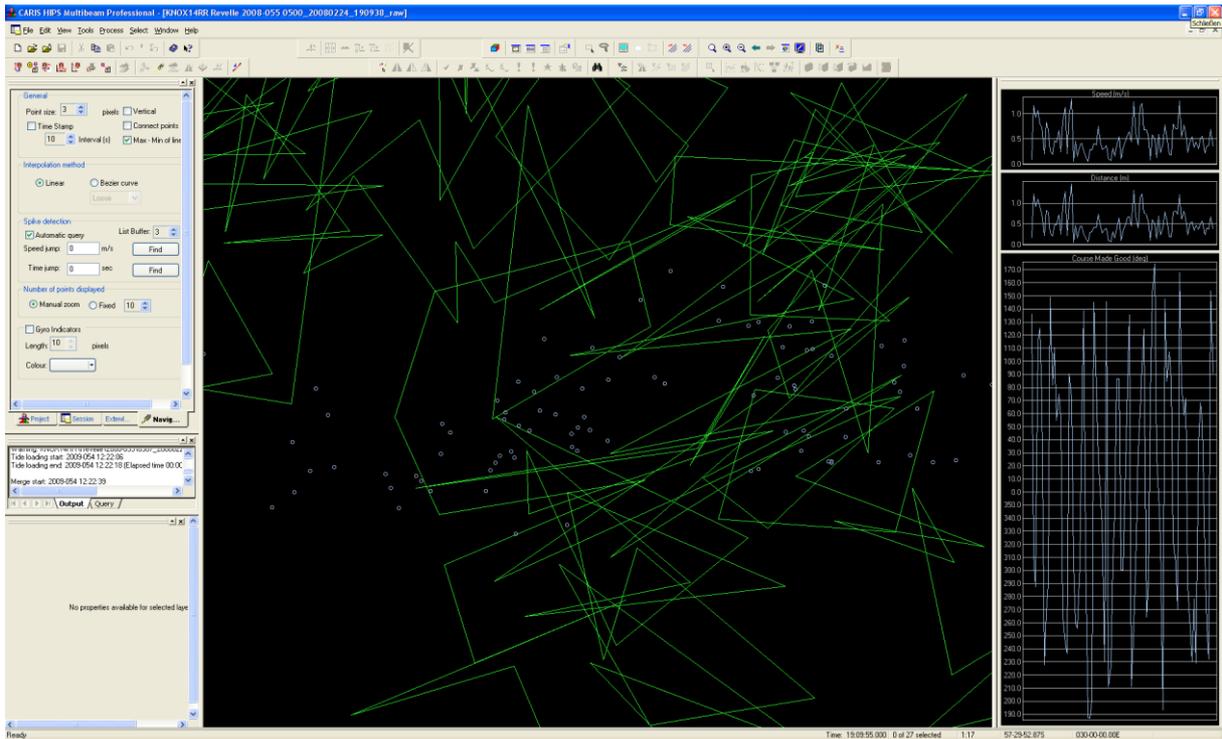
Anhang 9: Route des Forschungsschiffes Roger Revelle während der Expedition KNOX14RR



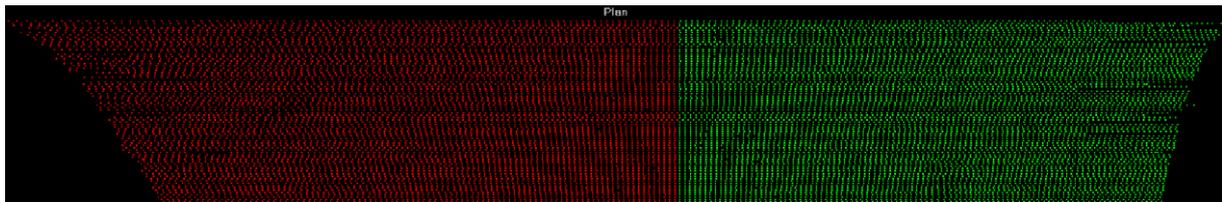
Anhang 10: Workflow Diagramm zur Bereinigung von Multibeam Daten mit CARIS HIPS



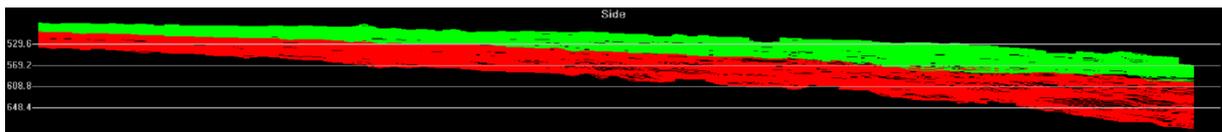
Anhang 11: Bereinigung der Positionsdaten in CARIS HIPS (i.e. Stillstand des Schiffes)



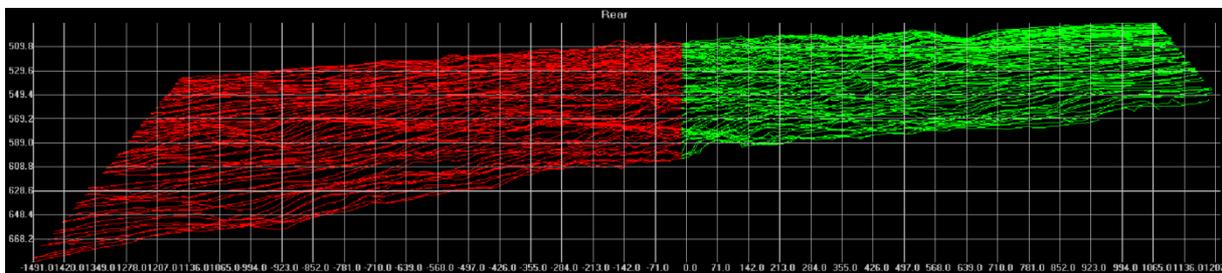
Anhang 12: Bereinigung der Positionsdaten in CARIS HIPS (i.e. Stillstand des Schiffes)



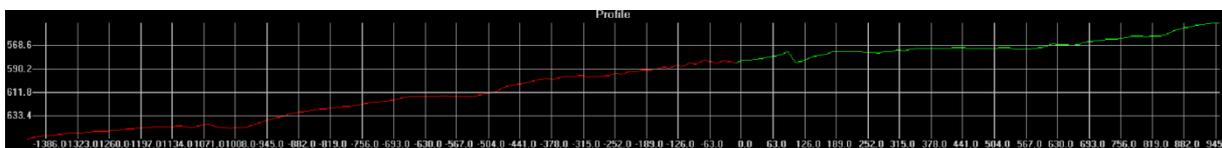
Anhang 13: CARIS HIPS Swath Editor; Plane View (Vertikale Sicht auf den Fächer)



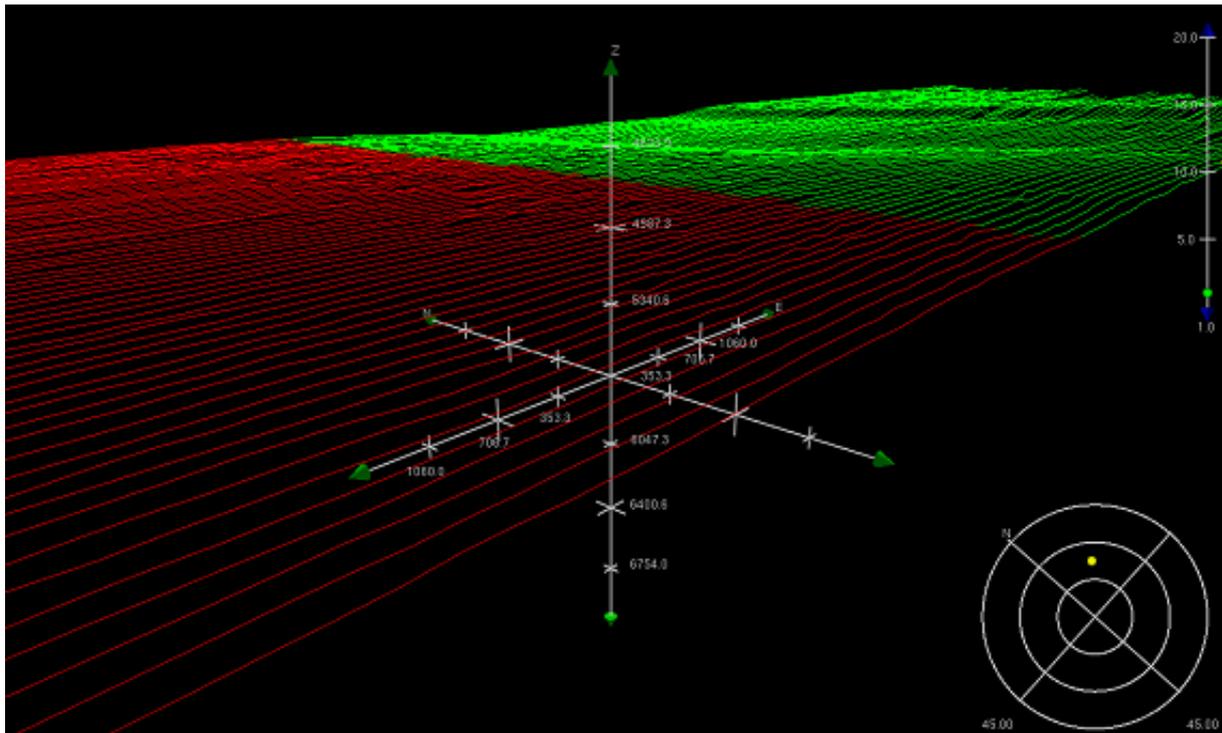
Anhang 14: CARIS HIPS Swath Editor; Side View (Horizontale Sicht auf den Fächer)



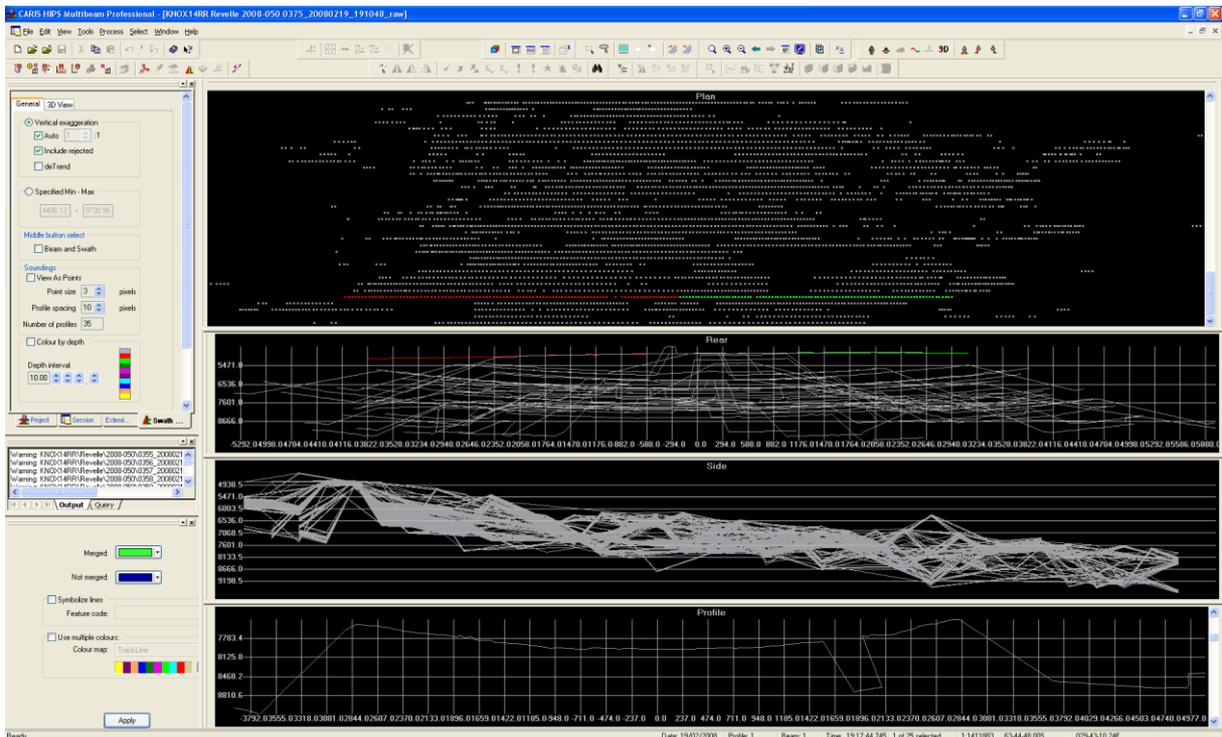
Anhang 15: CARIS HIPS Swath Editor: Rear View (Ansicht mehrerer Messstreifen)



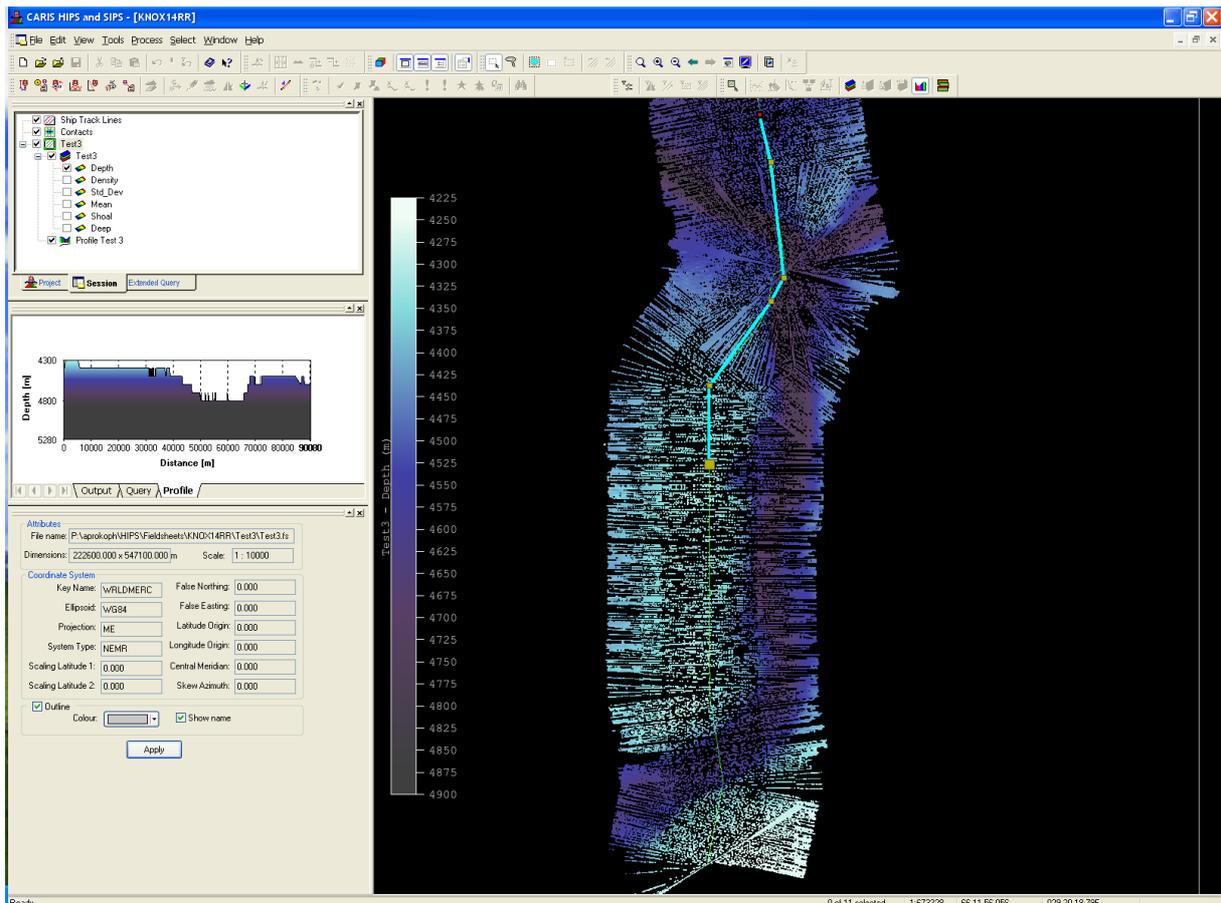
Anhang 16: CARIS HIPS Swath Editor: Profile View (Ansicht eines einzelnen Messfächers)



Anhang 17: CARIS HIPS Swath Editor: 3D View (Dreidimensionale Ansicht der Fächer)



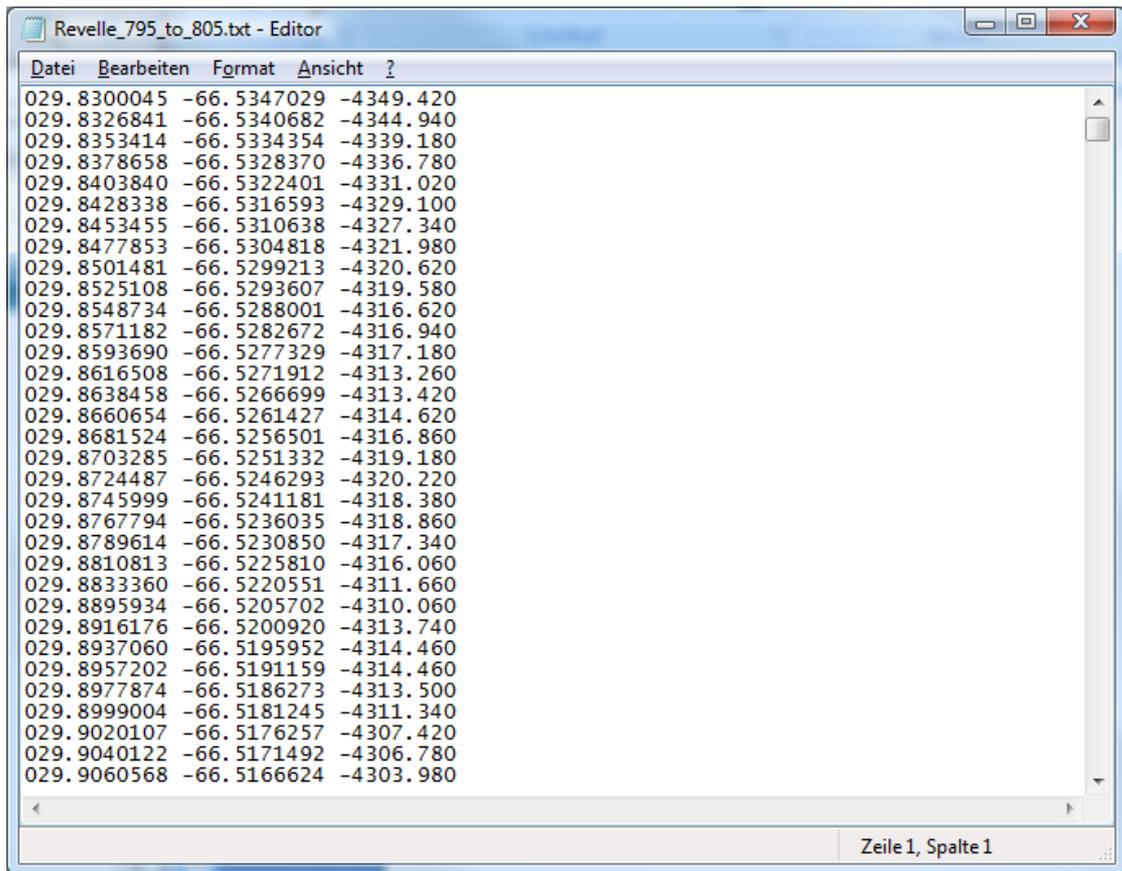
Anhang 18: CARIS HIPS; Messprofil mit zahlreichen groben Fehler, vermutlich bei schwerer Eisfahrt der Roger Revelle



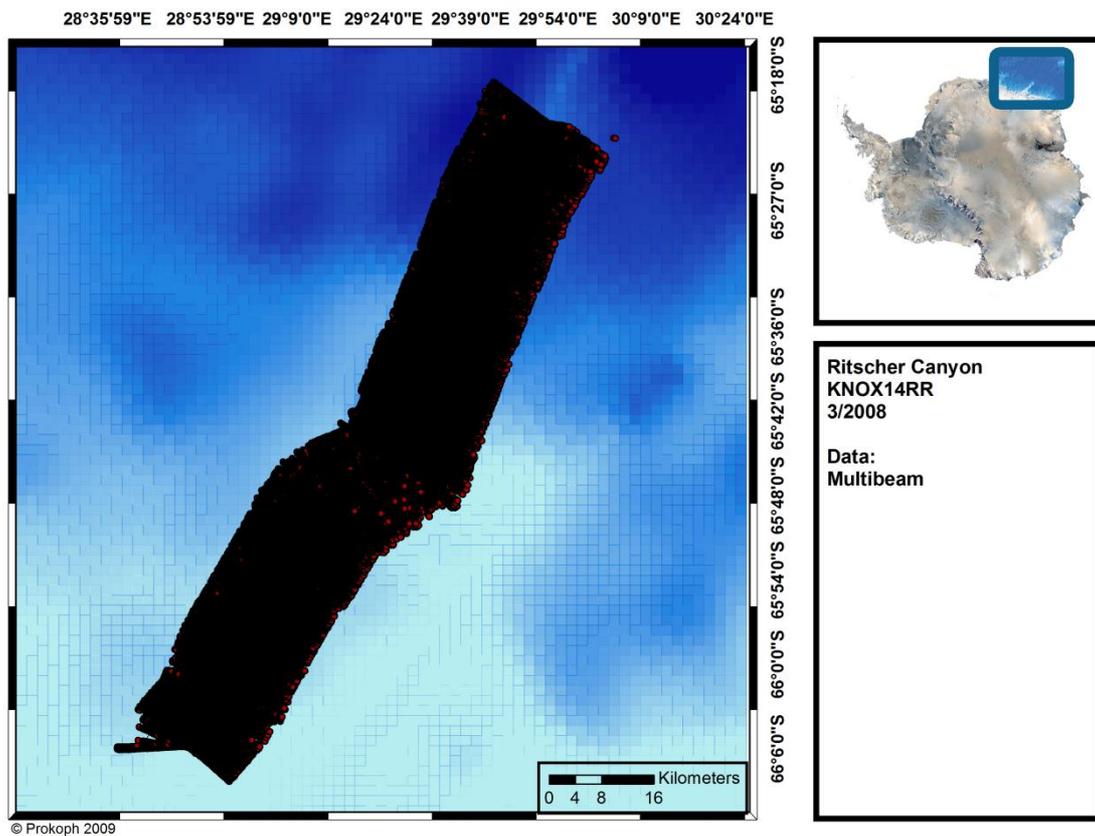
Anhang 19: CARIS HIPS Field Sheet Editor; Erste Visualisierung und Endkontrolle des bereinigten Datensatzes

ArcGIS 3D Analyst	<ul style="list-style-type: none"> • ArcGlobe: Interactive 3D scenes • Globe views in ArcCatalog • Globe publishing in ArcGIS Publisher • 3D raster and TIN modeling tools • Publish globe services • LIDAR and terrain datasets
ArcGIS Spatial Analyst	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced raster and vector tools • Spatial modeling • ArcGrid Map Algebra
ArcGIS Geostatistical Analyst	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced kriging and surface modeling • Exploratory spatial data analysis tools • Probability, threshold, and error mapping

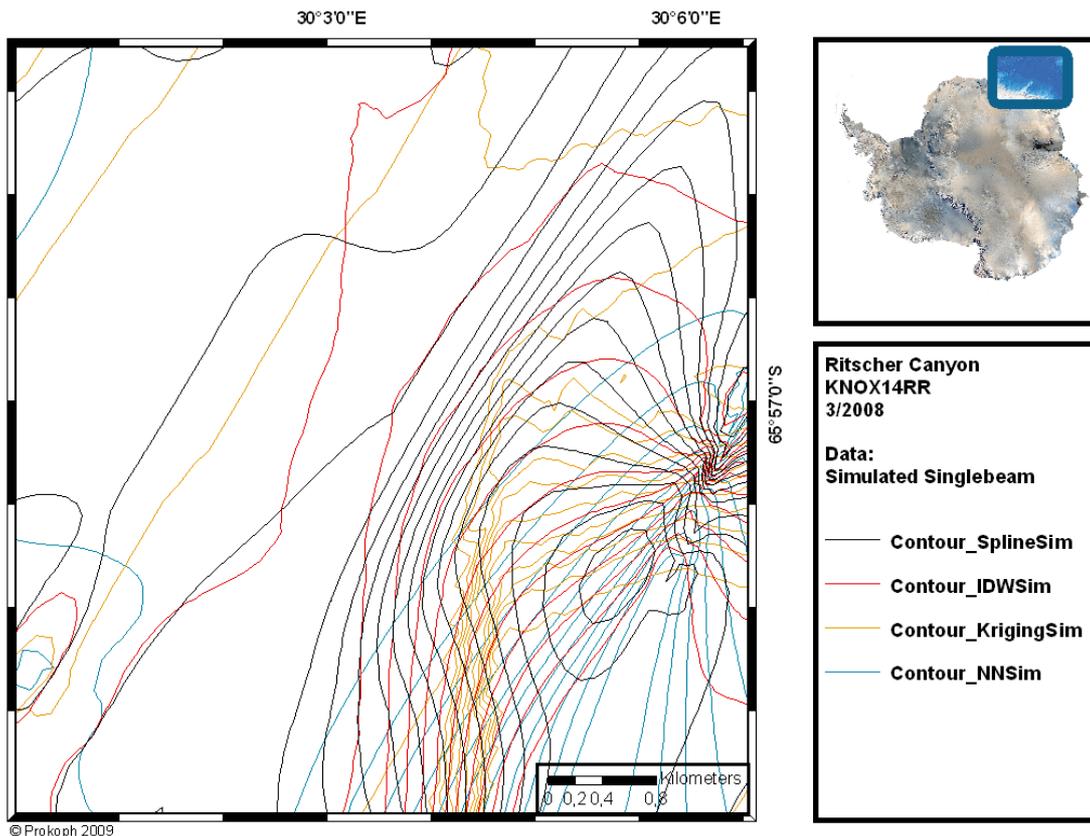
Anhang 20: Verwendete ArcGIS Extensions und deren Funktionen



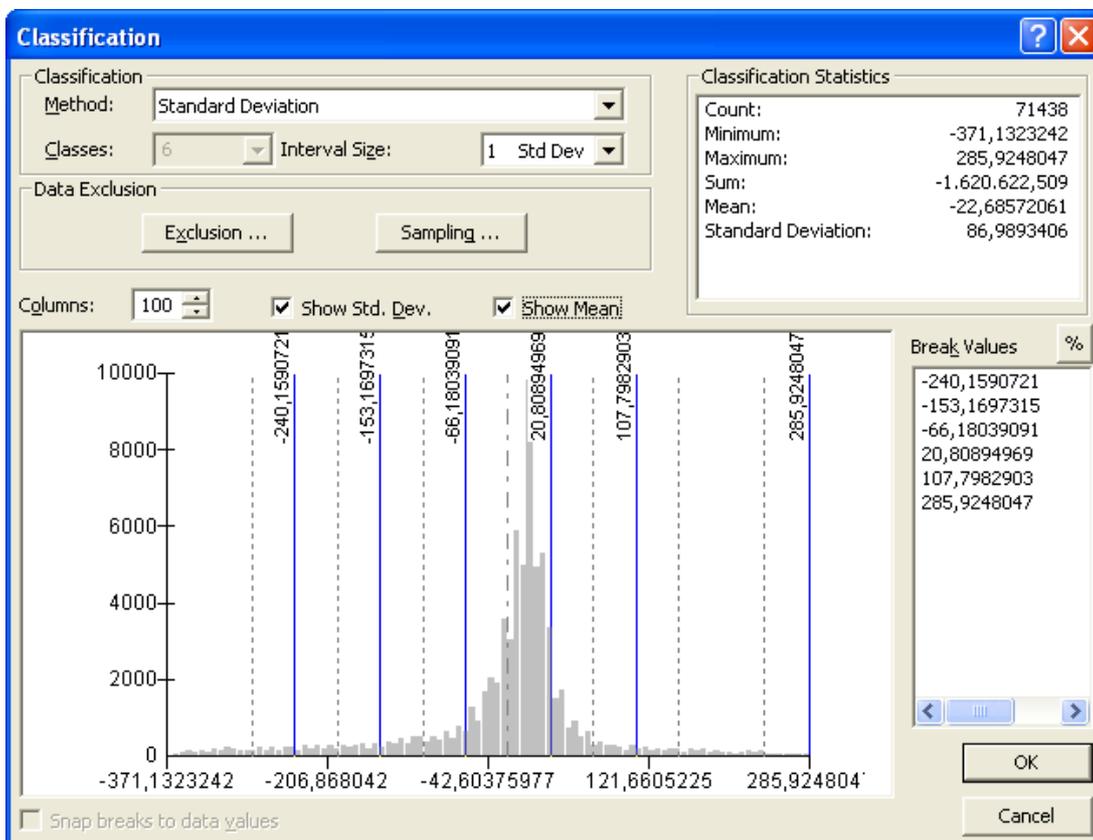
Anhang 21: Export des Datensatzes in Form einer ASCII Datei



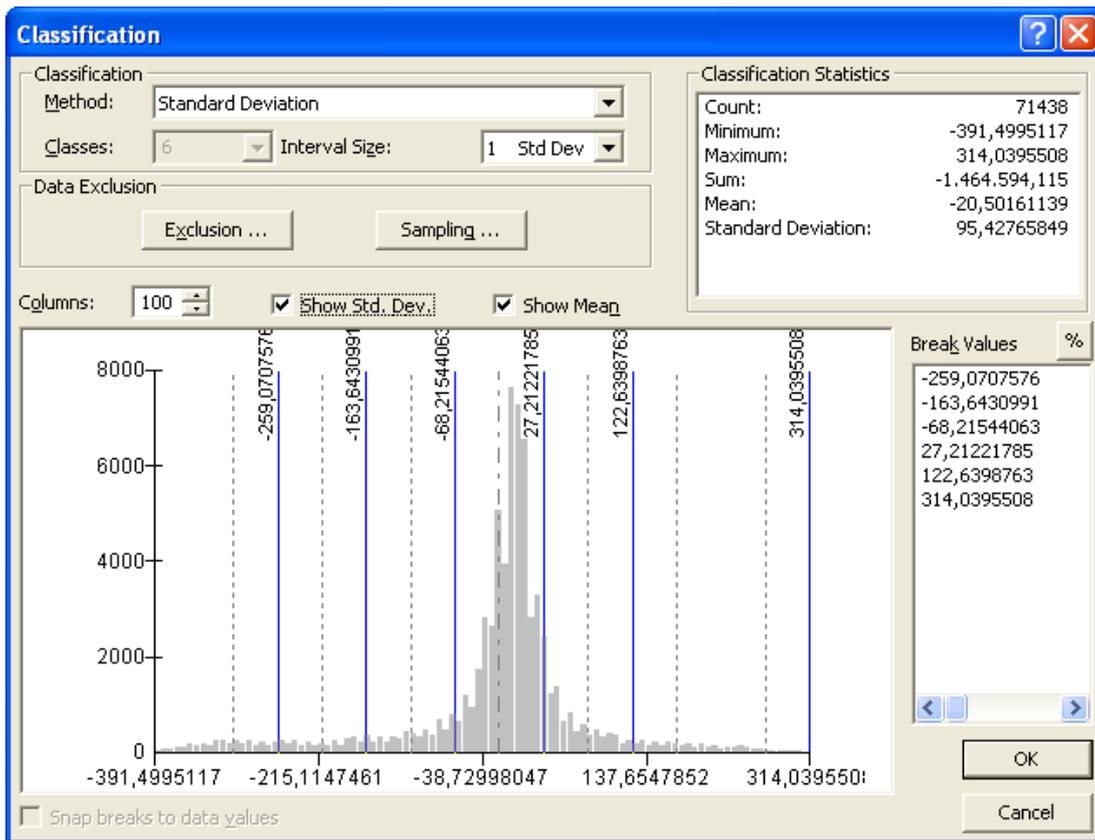
Anhang 22: Prozessierter Datensatz des Ritscher Canyons; Abdeckung des Fahrtabschnittes mit Messpunkten



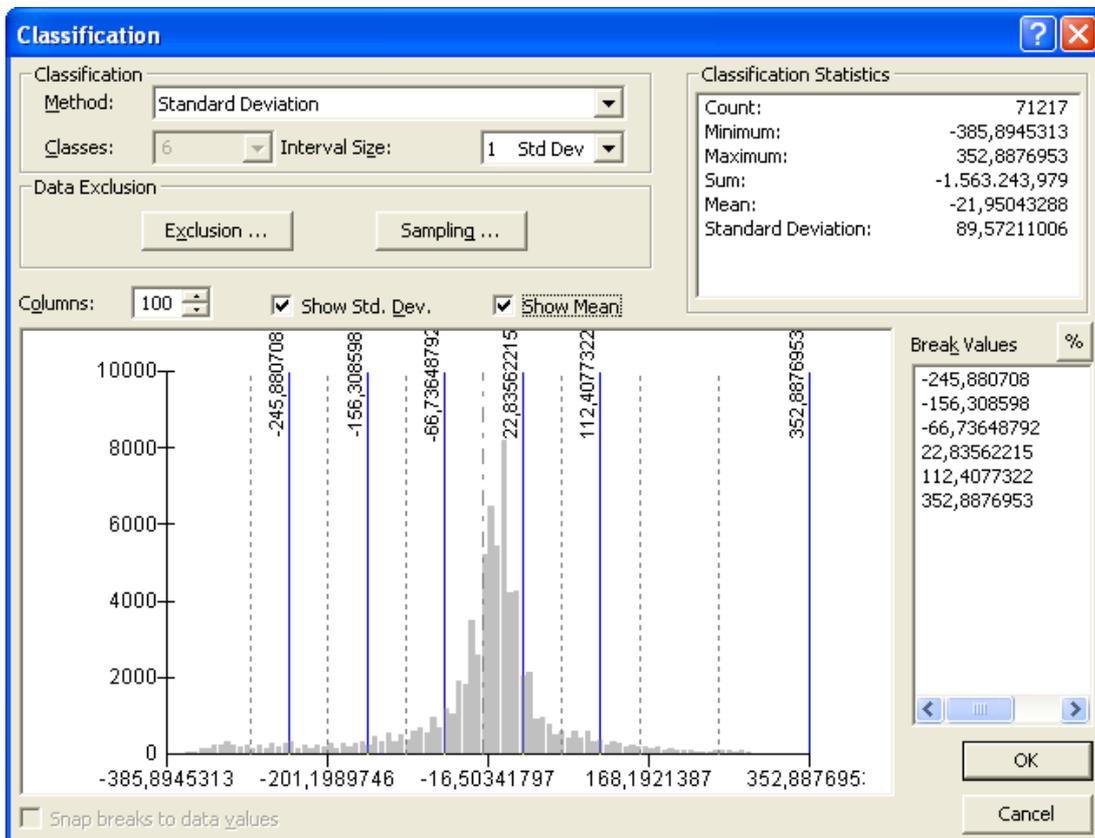
Anhang 23: Isolinen der aus simulierten Einzelstrahlungsmessungen berechneten Geländemodelle; es sind keine einheitlichen Höhenstufen zu erkennen



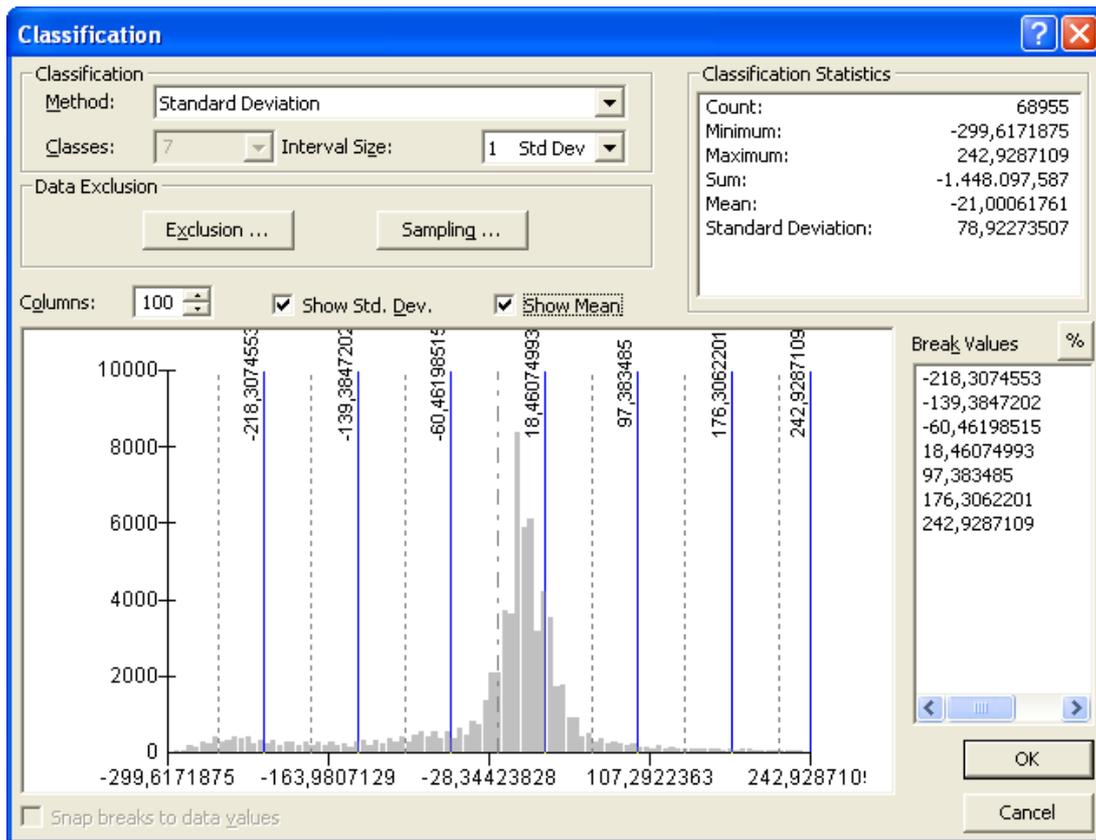
Anhang 24: Statistik des Differenzbildes IDW (Fächersonar) - IDW (Einzelstrahlecholet)



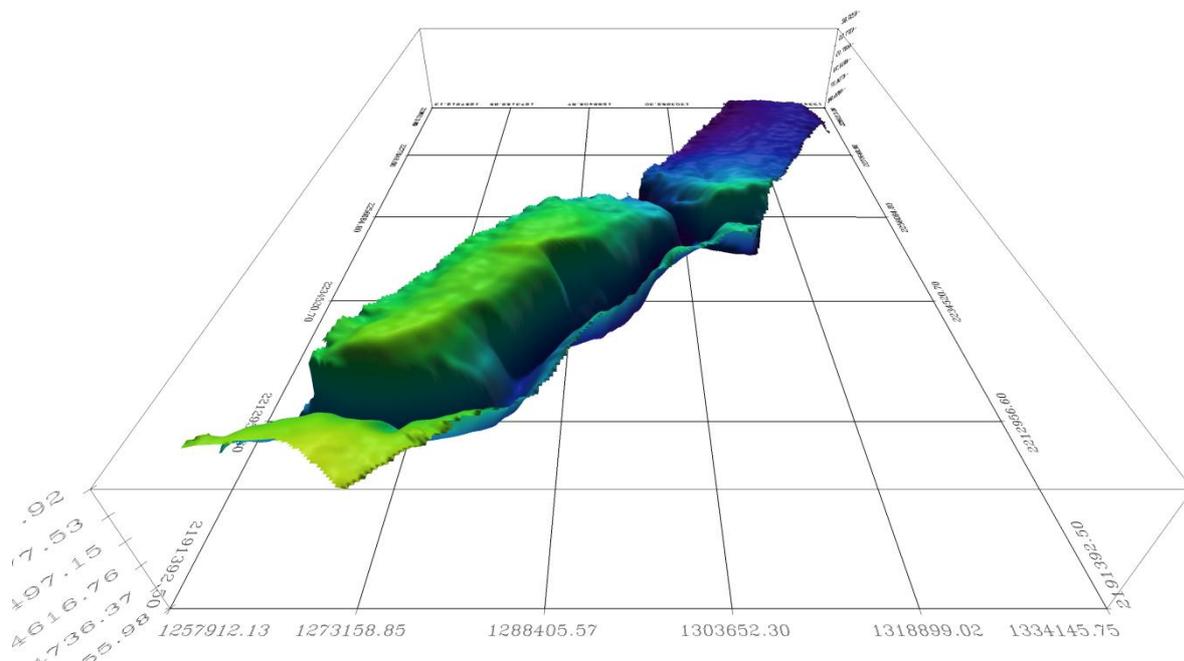
Anhang 25: Statistik des Differenzbildes IDW (Fächersonar) – Kriging (Einzelstrahlecholot)



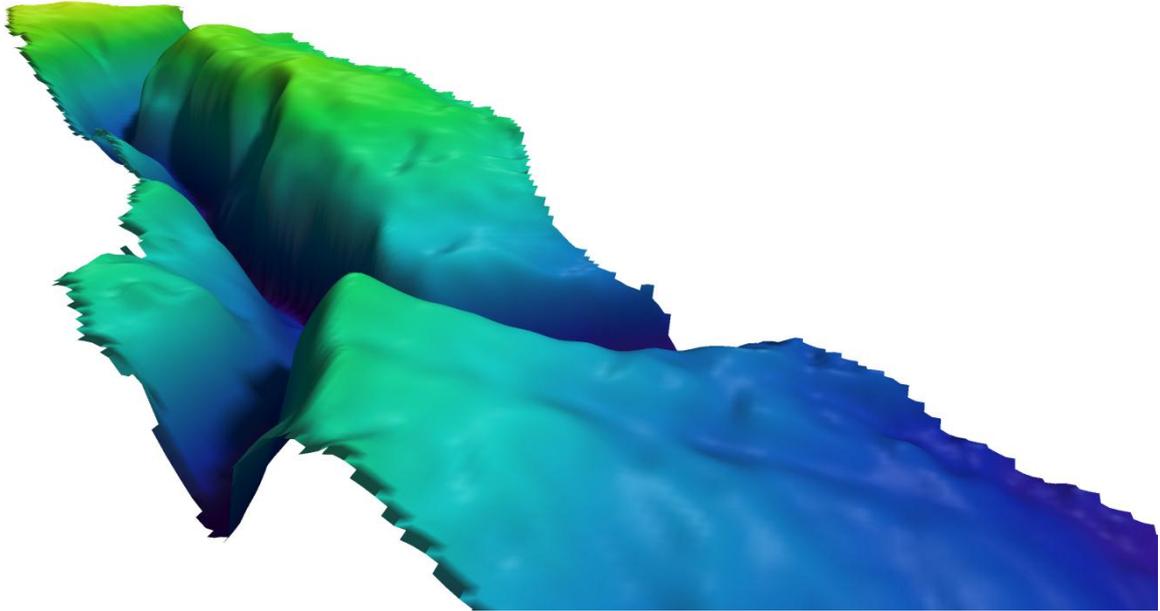
Anhang 26: Statistik des Differenzbildes IDW (Fächersonar) – Spline (Einzelstrahlecholot)



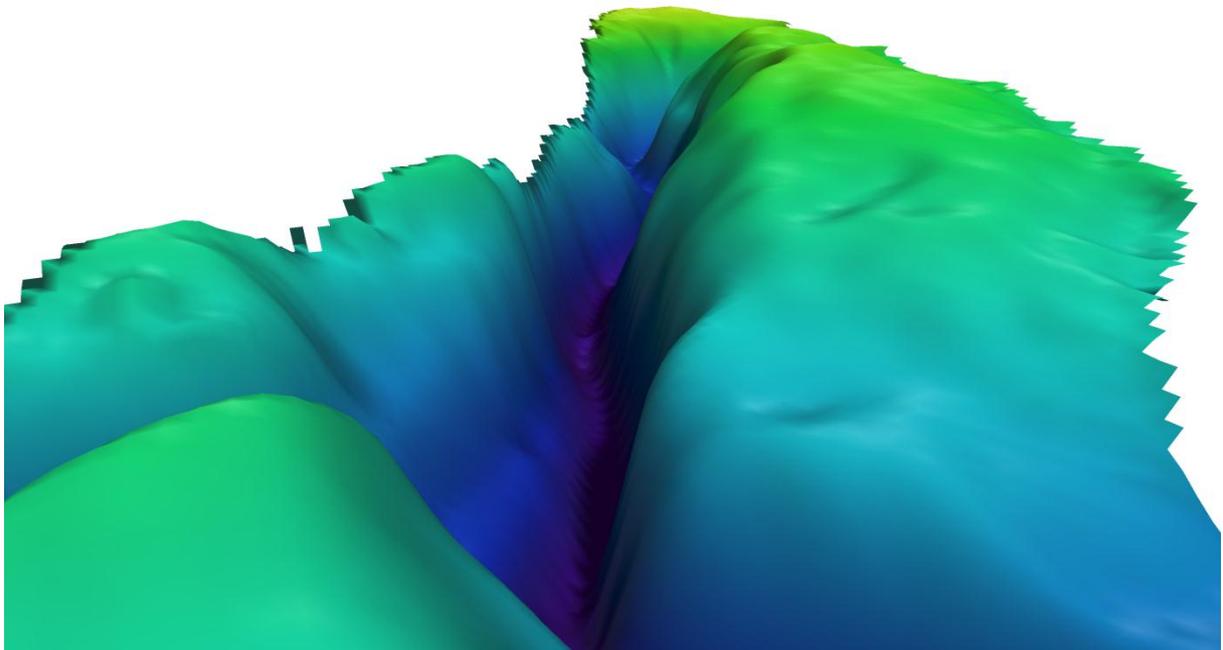
Anhang 27: Statistik des Differenzbildes IDW (Fächersonar) - NN (Einzelstrahlecholot)



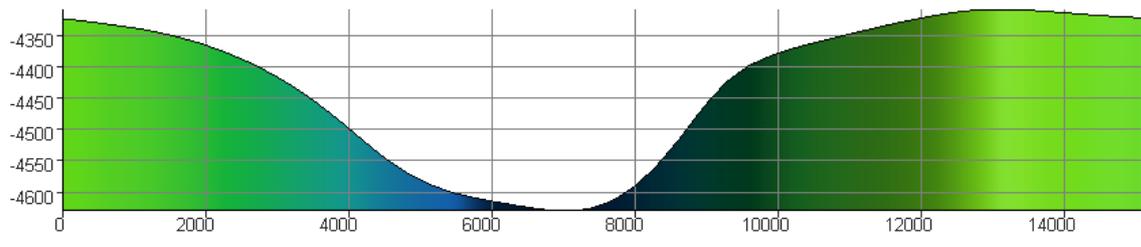
Anhang 28: Visualisierung des Ritscher Canyons in IDV3D Fledermaus



Anhang 29: 3D Modell des Ritscher Canyons



Anhang 30: 3D Modell des Ritscher Canyons



Anhang 31: Tiefenprofil des Ritscher Canyons; visualisiert mit IVS3D Fledermaus