

Universität zu Köln  
Geographisches Institut

DAS NÖRDLICHE POLARMEER -  
EINE GEOMORPHOLOGISCHE INTERPRETATION VON  
FALLSTUDIEN AUF DER GRUNDLAGE BATHYMETRISCHER  
KARTEN

**DIPLOMARBEIT**  
vorgelegt von Bettina Platten  
Gutachter: Privat-Dozent Dr. Reinhard Zeese

Köln, im Mai 2005

## INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung.....	1
1 Einführung.....	1
2 Untersuchungsgebiet.....	2
Theoretische Grundlagen.....	3
2.1 Allgemeine Geomorphologie des Meeresbodens.....	3
2.2 Geomorphologie des Nordpolarmeeres.....	6
2.3 Geomorphologie des Untersuchungsgebietes.....	10
II. Methodik.....	14
3 Einführung in die Bathymetrie.....	14
3.1 Geschichte der Bathymetrie.....	15
3.2 Bathymetrie als geowissenschaftliche Methode.....	17
4 Methodische Grundlagen.....	20
4.1 Grundlagen und Anwendungen hydroakustischer Messverfahren.....	20
4.2 Fächerecholot Hydrosweep DS-2.....	22
4.3 Sedimentecholot Parasound.....	29
4.4 Visualisierung der Daten.....	32
4.5 Durchführung der Feldarbeiten.....	36
III. Ergebnisse.....	40
5 Beschreibung der Fallbeispiele.....	40
5.1 Fallbeispiel 1.....	41
5.2 Fallbeispiel 2.....	44
5.3 Fallbeispiel 3.....	47
IV. Diskussion.....	50
6 Fallbeispiele.....	50
6.1 Fallbeispiel 1.....	50
6.2 Fallbeispiel 2.....	52
6.3 Fallbeispiel 3.....	55
7 Allgemeine Erkenntnisse.....	59
7.1 Geomorphologische Erkenntnisse.....	59
7.2 Technische Erkenntnisse.....	60

---

8 Verbesserungsvorschläge.....	60
9 Diskussion der Herangehensweise.....	61
V. Fazit.....	63
10 Zusammenfassung.....	63
11 Ausblick.....	64
Literaturverzeichnis.....	66
Danksagung.....	75
Erklärung.....	76
Anhang.....	77
Teil 1: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 1.....	77
Teil 2: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 2.....	82
Teil 3: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 3.....	87
Teil 4: Kartenbeilage - Übersichtskarte der Fallbeispiele.....	92

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lage des Yermak-Plateaus im Nordpolarmeer.....	2
Abbildung 2: Lage der Fallbeispiele im Untersuchungsgebiet.....	3
Abbildung 3: Physiographische Struktur des Meeresbodens.....	4
Abbildung 4: Formung passiver Kontinentalränder durch exogene Prozesse.....	4
Abbildung 5: Der Mittelatlantische Rücken.....	5
Abbildung 6: Ozeane der Erde.....	6
Abbildung 7: Übersichtskarte des Arktischen Ozeans.....	7
Abbildung 8: Die Entstehung der Framstraße.....	8
Abbildung 9: Meeresströmungen der Framstraße.....	9
Abbildung 10: Yermak-Plateau, Sicht von NW (IBCAO-Grid).....	10
Abbildung 11: Bildung von Sedimentströmen.....	11
Abbildung 12: Schematische Profile von der Framstraße zum St. Anna Trog.....	12
Abbildung 13: International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean.....	17
Abbildung 14: Ausbreitungswellen des Tsunamis im Indischen Ozean .....	19
Abbildung 15: Aussendung und Empfang von Schallsignalen.....	20
Abbildung 16: Abbild der Daten von einem Fischereiecholot.....	20
Abbildung 17: Darstellung verschiedener bathymetrischer Echolote.....	21
Abbildung 18: Prinzip von akustischen Wandlern.....	22
Abbildung 19: Technische Eigenschaften der Hydrosweep-Anlage .....	23
Abbildung 20: Kreuzfächerkalibrierung.....	25
Abbildung 21: Abtauchen des Eises unter den Schiffsrumpf bei schwerer Eisfahrt.....	27
Abbildung 22: Fehlereinflüsse bei Echolotmessungen.....	27
Abbildung 23: Datenbearbeitung im Programm Caris.....	29
Abbildung 24: Technische Eigenschaften der Parasound-Anlage.....	30
Abbildung 25: Rückstreuprinzip eines Sedimentecholots .....	31
Abbildung 26: Datenübersicht des Untersuchungsgebietes mit Tiefenangaben.....	33
Abbildung 27: Kriging-Optionen zur Griderzeugung im Programm Surfer.....	35
Abbildung 28: Fahrtroute der Expedition ARK XX/3.....	37
Abbildung 29: Schwere Eisfahrt während der Expedition ARK XX/3.....	38
Abbildung 30: Hydrosweep-Daten der Polarsternfahrten vom 1999, 2002 und 2004.....	39
Abbildung 31: Fallbeispiel 1, Konturenkarte.....	41
Abbildung 32: Fallbeispiel 1, Übersichtskarte.....	42
Abbildung 33: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt A (3D-Modell).....	43

---

Abbildung 34: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt C (3D-Modell).....	43
Abbildung 35: Fallbeispiel 2, Konturenkarte.....	44
Abbildung 36: Fallbeispiel 2, Konturenlinien auf farbigen Höhenrelief.....	45
Abbildung 37: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt A.....	46
Abbildung 38: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt D.....	46
Abbildung 39: Fallbeispiel 3, Übersichtskarte mit hoher Auflösung berechnet.....	47
Abbildung 40: Fallbeispiel 3, Konturenlinien auf farbigen Höhenrelief.....	48
Abbildung 41: Fallbeispiel 3, Kartenausschnitt A (3D-Modell).....	48
Abbildung 42: Fallbeispiel 3, Kartenausschnitt C (3D-Modell).....	49
Abbildung 43: Fallbeispiel 1, Übersichtskarte (3D-Modell).....	50
Abbildung 44: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt B (3D-Modell).....	51
Abbildung 45: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt C (3D-Modell).....	51
Abbildung 46: Fallbeispiel 2, Übersicht (3D-Modell).....	52
Abbildung 47: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt C (3D-Modell): Eisbergpflugspuren.....	53
Abbildung 48: Parasoundprofil aus dem westlichen Bereich des Yermak-Plateaus.....	53
Abbildung 49: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt B (3D-Modell).....	54
Abbildung 50: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt D (3D-Modell).....	55
Abbildung 51: Fallbeispiel 3, Übersichtskarte (3D-Modell).....	56
Abbildung 52: Parasoundprofil aus dem Bereich des Sophia-Beckens, Rutschung.....	56
Abbildung 53: Fallbeispiel 3, Kartenausschnitt B (3D-Modell).....	58
Abbildung 54: Fallbeispiel 3, Kartenausschnitt D (3D-Modell).....	58

## ABKÜRZUNGEN

AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
CARIS	Computer Aided Resource Information System
CTD	Conductivity, Temperature, Depth
DGM	Digitales Geländemodell
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
GIS	Geographisches Informations System
GMT	Generic Mapping Tool
GPS	Global Positioning System
HIPS	Hydrographic Information Processing System
HYD	Hydrosweep- Format
HYDROSWEEP	Hydrographic multibeam sweeping survey echosounder
IASC	International Scientific Committee
IBCAO	International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean
IHO	International Hydrographic Commission
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission
MINS	Marine Internal Navigation System
N	Nord
O	Ost
ODP	Ocean Drilling Program
PARASOUND	Parametric Echosounder
PFB	Preformed beam
ROV	Remotely Operated Vehicle
S	Süd
SONAR	Sound navigation and ranging
SURF	Sensor -unabhängiges Rohdaten-Format
W	West

## **I. EINLEITUNG**

Der Meeresboden gehört zu einem der am wenigsten erforschten Gebiete der Erde. Die bislang dort gewonnenen Erkenntnisse trugen jedoch zu einem grundlegend neuen Verständnis der Dynamik unseres Planeten bei. Insbesondere die Erforschung der Polarregionen mit ihren erschwerten Zugangsmöglichkeiten hat erst in jüngster Vergangenheit an Bedeutung gewonnen. Große Bereiche der Polarmeere sind deshalb nur lückenhaft erforscht. Eines dieser Gebiete ist das Yermak-Plateau im nördlichen Polarmeer.

### **1 Einführung**

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht darin, einen Beitrag zur Klärung der Entstehung und des Aufbaus des Yermak-Plateaus aus geomorphologischer Sicht zu leisten. Dabei sollen mit Hilfe neu aufgenommener bathymetrischer Daten die zur Zeit diskutierten Hypothesen kritisch betrachtet werden.

Um diese Diskussion angemessen im Rahmen einer Diplomarbeit zu behandeln, wurde folgender systematischer Aufbau gewählt:

Das erste einleitende Kapitel wird zunächst die dieser Arbeit zugrunde liegende Fragestellung erläutern. Danach folgen die Beschreibung und die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes, und es wird ein kurzer allgemeiner Überblick über die Region gegeben. Anschließend werden allgemeine theoretische Grundlagen, die zur Klärung der Fragestellung benötigt werden, erörtert.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit der Methodik, die für diese Arbeit ausgewählt wurde. Dabei wird zunächst ein allgemeiner Einblick in die Bathymetrie als geowissenschaftliche Methode gegeben. Darauf folgen die technischen Grundlagen der verwendeten Messsysteme sowie die Datenaufnahme und -aufbereitung. Den Abschluss des zweiten Kapitels bildet die Beschreibung der durchgeführten Feldarbeiten.

Die aus den Feldarbeiten gewonnenen Ergebnisse der Fallbeispiele werden im dritten Kapitel systematisch dargestellt und beschrieben.

Das vierte Kapitel widmet sich zunächst der Diskussion der Ergebnisse in Bezug auf die Fragestellung der Arbeit und leitet dann zur Erörterung der fachlichen Erkenntnisse der einzelnen Fallbeispiele über. Es folgen eine allgemeine Diskussion der technischen Probleme und des gewählten Lösungsansatzes sowie Verbesserungsvorschläge.

Im fünften Kapitel wird ein zusammenfassender Überblick über die Arbeit gegeben.

Die Arbeit schließt mit einem wissenschaftlichen Ausblick.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen für diese Arbeit befassen sich mit Fallbeispielen aus dem Gebiet des Yermak-Plateaus, das sich nordwestlich von Spitzbergen bogenförmig in nördliche Richtung erstreckt (WEBER 1989). In Süd-Nord Richtung liegt das Gebiet zwischen 80°-83°Nördlicher Breite; von Ost nach West reicht das Plateau von 0°-20° östlicher Länge. Die durchschnittliche Meerestiefe des Plateaus liegt zwischen 500 und 800 Metern (Abbildung 1).

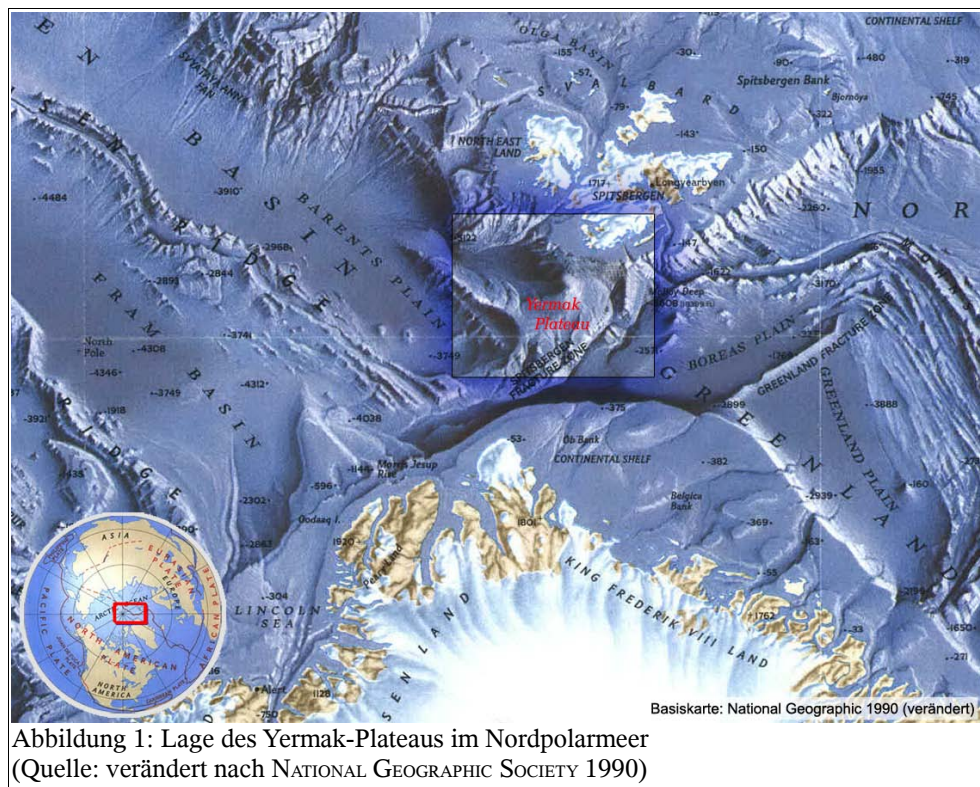


Abbildung 1: Lage des Yermak-Plateaus im Nordpolarmeer  
(Quelle: verändert nach NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY 1990)

Die drei ausgewählten Fallbeispiele (Abbildung 2) befinden sich am westlichen Übergang des Yermak-Plateaus zur Fram-Straße (Fallbeispiel 1), auf dem Plateau selber (Fallbeispiel 2) und am südöstlichen Hang des Plateaus (Fallbeispiel 3).



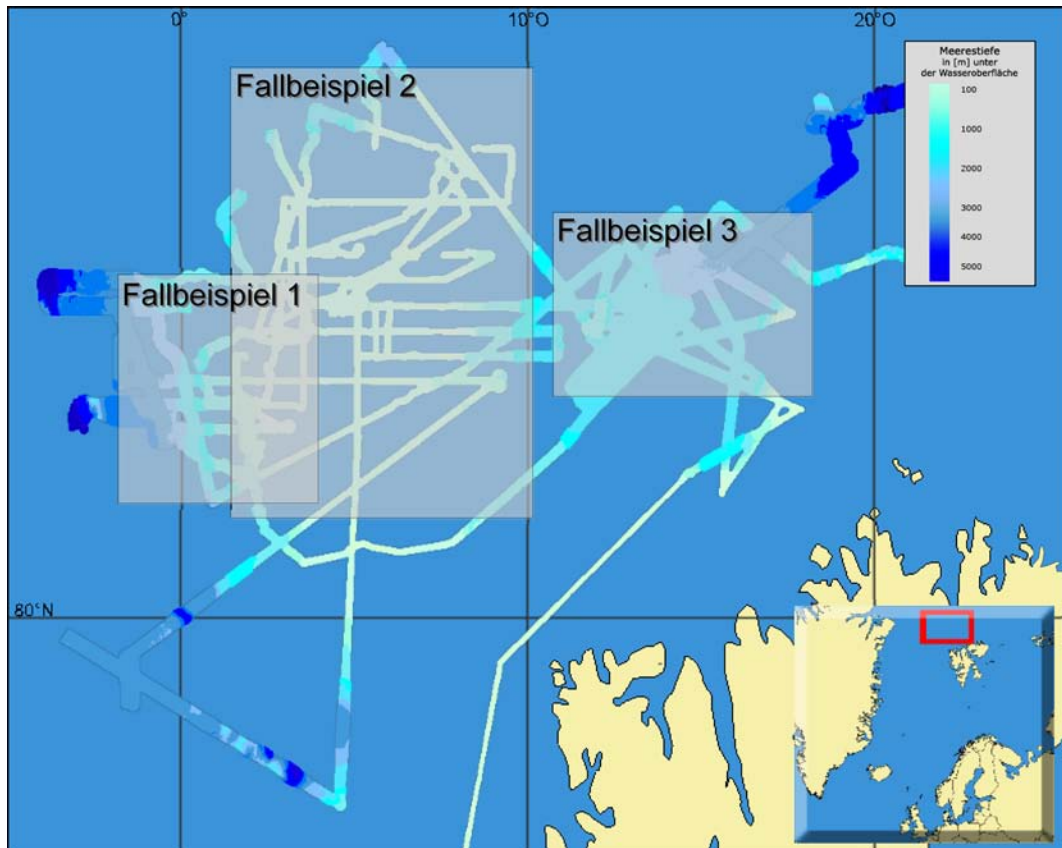


Abbildung 2: Lage der Fallbeispiele im Untersuchungsgebiet  
Im Hintergrund sind die aufgenommenen Tiefendaten dreier Polarstern-Expeditionen projiziert.  
(Kartengrundlage ESRI 1999)

## Theoretische Grundlagen

Die Geomorphologie (von altgriech. *géo*=Erde, *morphé*=Gestalt und *logos*=Wort, Wissen) beschäftigt sich mit der Beschreibung des Formenschatzes der Erdoberfläche sowie den Faktoren und Prozessen, die ihren Ursprung und die zukünftige Genese beeinflusst haben bzw. beeinflussen.

Dementsprechend befasst sich die Geomorphologie des Meeresboden mit der Untersuchung von Oberflächenformen unter der Meeresoberfläche und ihrer Entstehungsgeschichte (MEUSBURGER ET AL. 2001).

### 2.1 Allgemeine Geomorphologie des Meeresbodens

Nach PINET (1999) kann man die Topographie des Meeresbodens in drei unterschiedliche physiographische Großräume unterteilen (Abbildung 3):

- Kontinentalränder
- Mittelozeanische Rücken
- Tiefseebecken

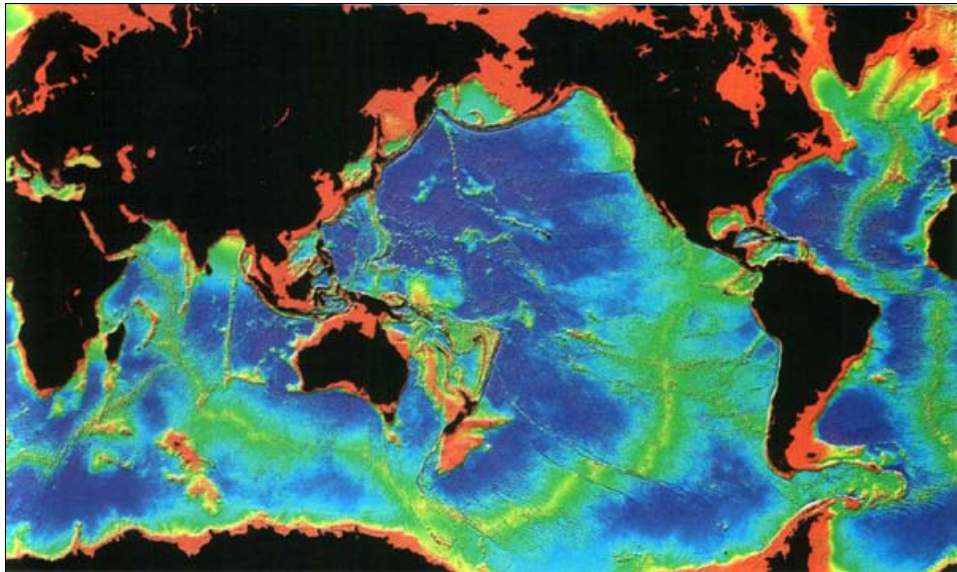


Abbildung 3: Physiographische Struktur des Meeresbodens  
(Quelle: PINET 1999: 35)

### 2.1.1 Kontinentalränder

Kontinentalränder zeichnen sich v.a. durch gewaltige Sedimentablagerungen aus, die als Folge der Erosion der Kontinente durch das angrenzende Meer und des Sedimenttransportes von Flüssen in das Meer entstehen.

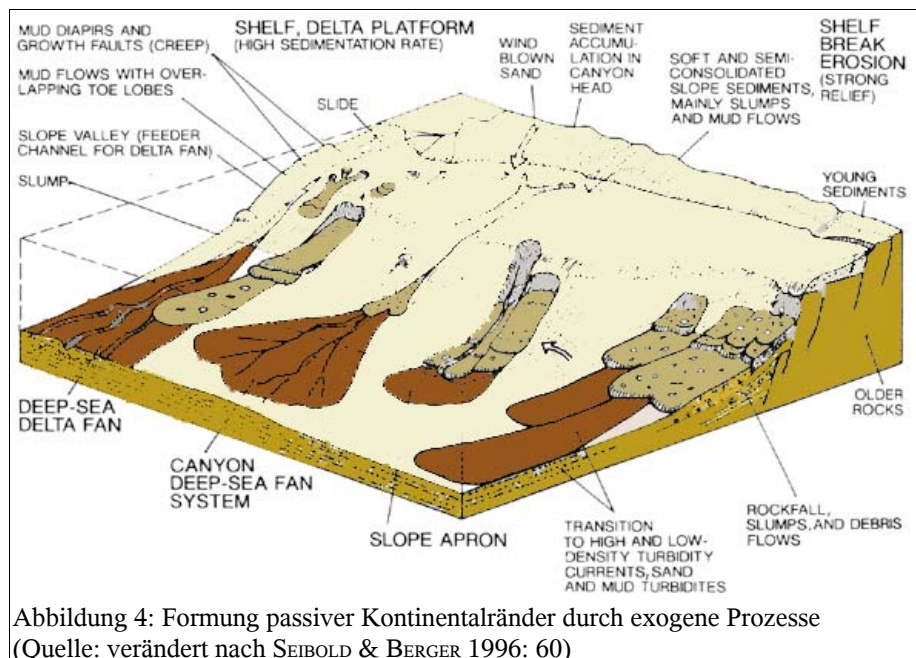


Abbildung 4: Formung passiver Kontinentalränder durch exogene Prozesse  
(Quelle: verändert nach SEIBOLD & BERGER 1996: 60)

Die Kontinentalränder lassen sich ihrerseits in drei Bereiche untergliedern: Die kontinentalen Schelfgebiete sind durch ein sehr flaches seewärtiges Abfallen mit einem Winkel von ca.  $0.5^\circ$  und durch Tiefen zwischen 100-200 Metern gekennzeichnet. Sie enden in unterschiedlicher Entfernung zum Kontinent an der

so genannten Schelfkante, die als Kontinentalhang steil zum Meeresboden hin abfällt. Der Kontinentalhang ist durchschnittlich  $4^\circ$  geneigt und reicht bis in 2-3 Kilometer Tiefe. An diesen Hängen können sich sehr große submarine Canyons bilden, die das erodierte Sediment der Kontinente bis in die Tiefsee transportieren. An der Basis der Kontinentalhänge befinden sich die Kontinentalsockel. An ihnen akkumulieren sich die erodierten Sedimente (Abbildung 4). Kontinentalhänge haben deshalb selten eine uneinheitliche Topographie (SEIBOLD & BERGER 1996; STANLEY 1994).

### 2.1.2 Mittelozeanische Rücken

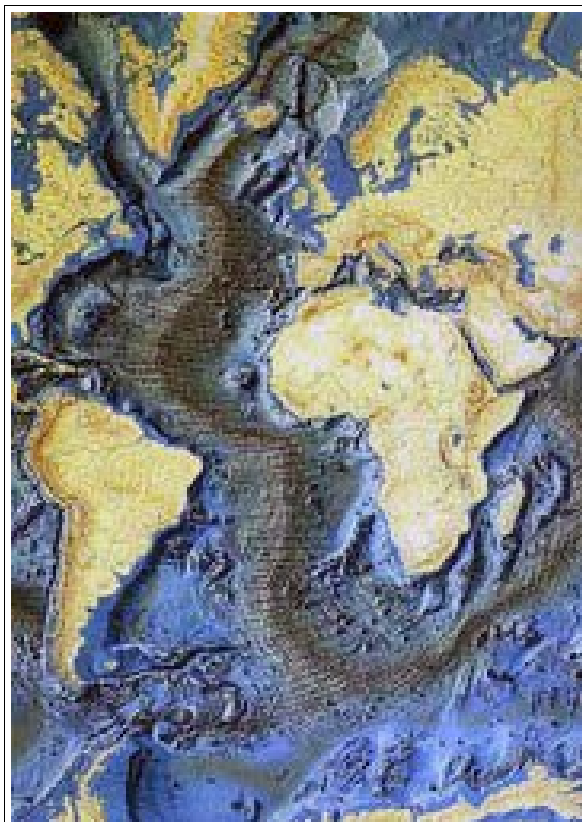


Abbildung 5: Der Mittelatlantische Rücken dargestellt auf einer bathymetrischen Übersichtskarte (Quelle: WIKIMEDIA FOUNDATION INC. 2005)

Mittelozeanische Rücken sind durch das so genannte *seafloor spreading* entstandene Gebirgssysteme, die, bis auf wenige Gebiete, unter dem Meeresspiegel liegen. Sie sind relativ symmetrisch aufgebaut; ein zentraler Graben (*rift valley*) wird beidseitig von einer Horst-Grabenzone umschlossen, der wiederum eine Bruchschollenzone und mehrere aufeinander folgende unterschiedlich hohe Bergzüge folgen.

Der Mittelatlantische Rücken (Abbildung 5) z.B. wird durch das langsame Auseinanderdriften der Nordamerikanischen Kontinentalplatte nach Westen und

der Eurasischen Platte nach Südosten gebildet. Dadurch weitet sich der Meeresboden stetig. In der Mitte dieser Spreizung steigt Magma aus dem Erdinnern auf, das so eine Hebung des Meeresbodens verursacht. Diese Hebung wird am Rand des Mittelatlantischen Rückens durch Senkungserscheinungen ausgeglichen (ALLERTON & MACLEOD 1998; BONATTI 1994; CARBOTTE & SCHEIRER 2004; GRÁCIA ET AL. 1998; KELLETAT 1999; PINET 1999; SCLATER & TAPSCOTT 1987; SEIBOLD & BERGER 1996; WALTER 2003).

### 2.1.3 Tiefseebecken

Tiefseebecken sind durch die oben genannten geomorphologischen Einheiten begrenzt und verfügen über ein komplexes Relief. Tiefseebecken weisen eine sehr geringe Reliefierung auf. Gelegentlich befinden sich auf ihnen Tiefseehügel oder Tiefseeberge, die meistens vulkanischen Ursprungs sind und sich nur in ihrer Höhenausdehnung voneinander unterscheiden. Tiefseegräben zeichnen sich durch ihre hohen Tiefen zwischen 6000 bis über 11000 Metern aus. Häufig sind sie durch tektonische Verschiebungen im Zusammenhang mit der Plattentektonik der Erde entstanden (MEUSBURGER ET AL. 2001; PINET 1999; PRESS & SIEVER 1998; SEIBOLD & BERGER 1996; STANLEY 1994; WALTER 2003).

## 2.2 Geomorphologie des Nordpolarmeeres



Abbildung 6: Ozeane der Erde  
(Quelle: LEIER 2002: 26)

Das Nordpolarmeer stellt räumlich gesehen ein Nebenmeer des Atlantischen Ozeans dar. Seine Ausdehnung von rund 12,2 Mio. km<sup>2</sup> Fläche und seine

Bedeutung für das weltweite ozeanische System lässt nur bedingt die Bezeichnung als Nebenmeer zu (Abbildung 6).

Das Gebiet des Arktischen Ozeans teilt sich in zwei große Meeresbecken: das Eurasische Becken und das Amerasische Becken. Diese beiden großräumigen Becken kann man wiederum in mehrere Schelfmeere und Becken unterteilen. Schelfmeere mit einer Tiefe von kaum mehr als 200 m sind die Barents-See, Kara-See, Laptev-See, Ostsibirische See, Tschuktschen-See, Beaufort-See und Grönland-See. Zu den Becken gehören das Kanada-Becken, Makarov-Becken, Amundsen-Becken und das Nansen-Becken mit Tiefen von 4000 m und mehr (Abbildung 7) (DAVIS 2000; LEIER 2002; PRANGE 2003; WEBER 1989).

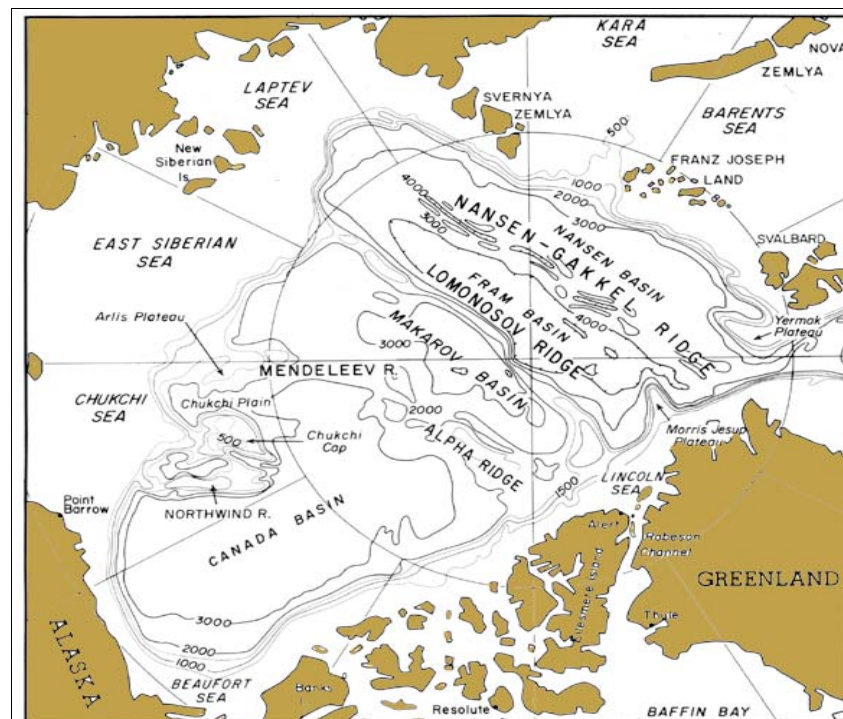


Abbildung 7: Übersichtskarte des Arktischen Ozeans  
(Quelle: verändert nach WEBER 1989: 798)

Das Eurasische Becken wird durch den Lomonosov-Rücken (Satteltiefe 1400-2000 m), der im Zentrum des Nordpolarmeers liegt, und die Laptev-, Kara-, Barents- und Nordgrönland-Kontinentalschelfe begrenzt. Durch den Nansen-Gakkel-Rücken ist das Eurasische Becken in das Fram-Becken und das Nansen-Becken geteilt. Die Kontinentalschelfe Kanadas und Alaskas, das Tschuktschische Grenzgebiet und das Ostsibirische Schelf umschließen das Amerasische Becken, das durch den Lomonosov-Rücken vom Eurasischen Becken getrennt ist. Hier unterteilen der Alpha- und der Mendeleev-Rücken das Gebiet in das Kanada-Becken und das Makarov-Becken (Abbildung 7) (WEBER 1989).

Die angrenzenden Kontinentalschelfe bestimmen den Arktischen Ozean mit ihrem großen Flächenanteil. Dabei nehmen die großflächigen und flachen Schelfe von Europa und Asien den größten Raum ein. Die Schelfgebiete von Nordamerika und Grönland zeichnen sich dagegen eher durch größere Tiefen und eine geringere Fläche aus. An den Schelfrändern befinden sich mehrere Plateaus wie z.B. das Morris-Jesup-Plateau an der Nordspitze Grönlands und das Yermak-Plateau nördlich von Spitzbergen (Abbildung 7) (LINDSTRÖM 2000; MCGONIGAL & WOODWORTH 2003).

Drei große Rückensysteme gliedern die verschiedenen ozeanischen Becken: der Nansen-Gakkel-Rücken im eurasischen Becken, der zentrale Lomonosov-Rücken und der Alpha-Mendelev-Rücken. Der Nansen-Gakkel-Rücken stellt die nördliche Verlängerung des mittelatlantischen Rücken dar, der mit extrem langsamen Spreizungsraten des Meeresbodens bis in die Gegenwart aktiv ist (COCHRAN ET AL. 2003; ENGEN ET AL. 2002; MICHAEL ET AL. 2003). Der Lomonosov-Rücken ist vermutlich ein durch das Auseinanderdriften der Kontinentalplatten abgespaltener Teil der Barents- und Kara-Schelfe (WEIGELT 1998). Die Herkunft und die Entwicklung des Alpha-Mendelev-Rücken ist noch weitgehend ungeklärt. Wahrscheinlich ist aber, dass beide Teile eine unterschiedliche Genese durchlaufen haben (WALTER 2003; WEBER 1989).

Im Eozän und Oligozän entstand durch das oben erwähnte Auseinanderdriften der Nordamerikanischen und der Eurasischen Platte zwischen Nordostgrönland und Spitzbergen die Framstraße (Abbildung 8). Dieses Auseinanderdriften führte zu einer Meeresbodenspreizung, die von Dehnungs- und Blattverschiebungsprozessen geprägt war. Geologisch gesehen verbindet die Fram-Straße den Gakkel-Rücken mit dem nördlichsten Teil des mittelatlantischen Grabensystems,

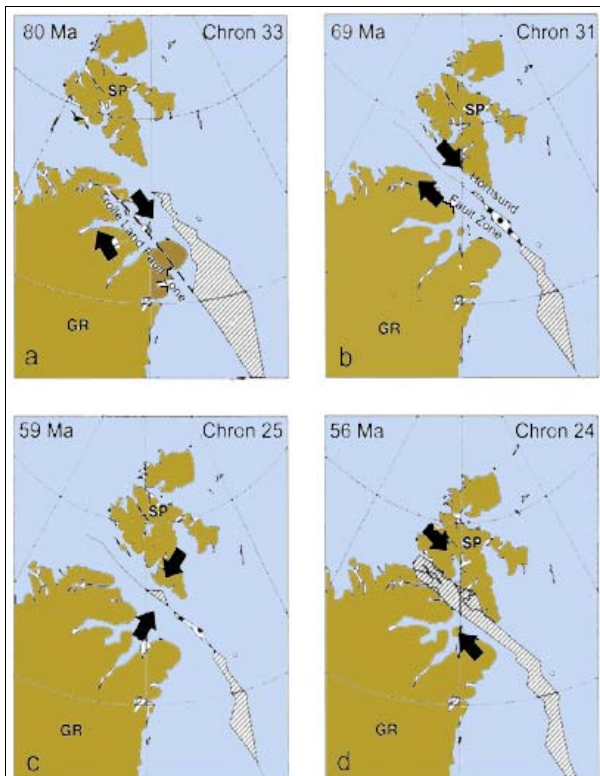
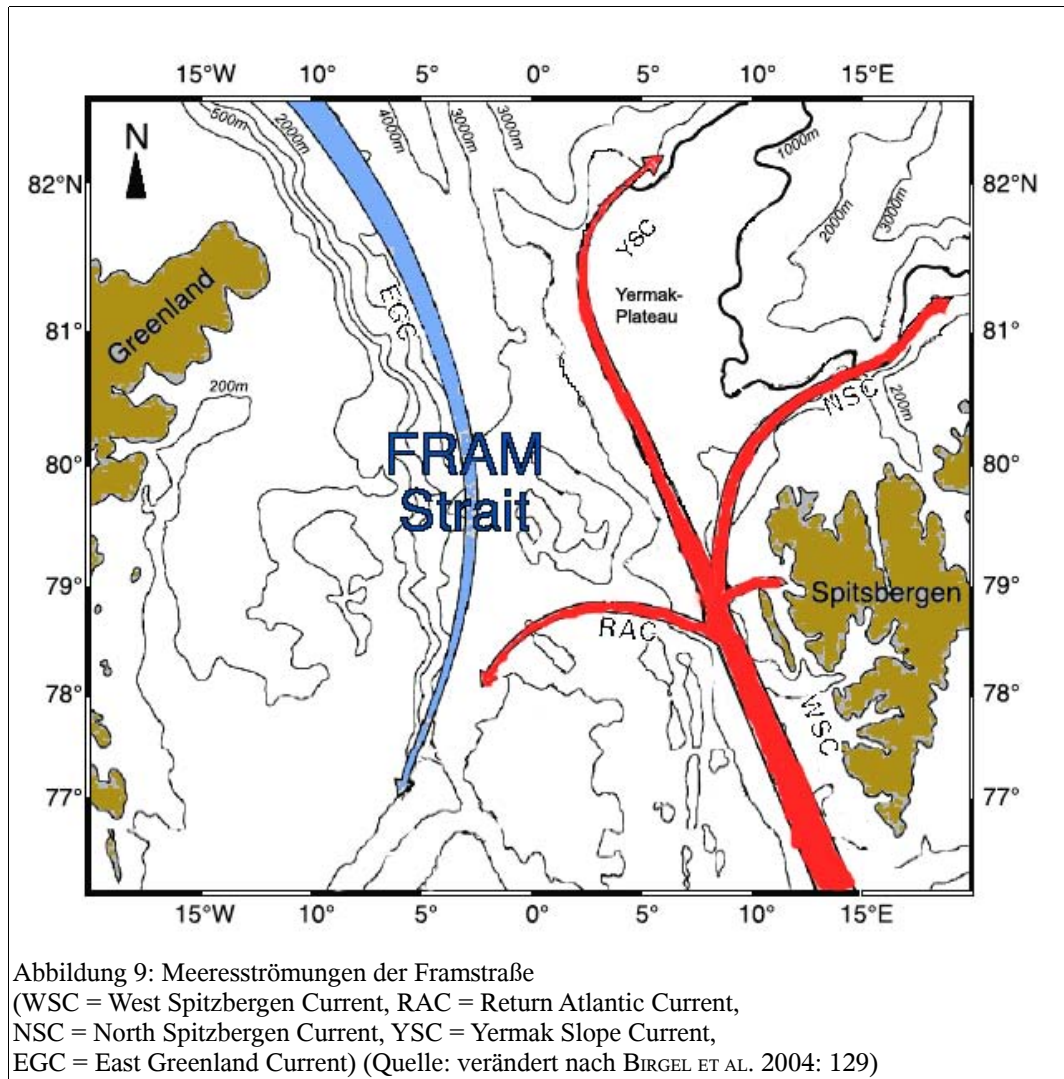


Abbildung 8: Die Entstehung der Framstraße  
Pfeile markieren die vermutliche Plattenbewegung  
(Quelle: verändert nach BOEBEL 2000: 76)

dem Knipovich-Rücken, und ist damit ein Teil der Spitzbergen-Transformstörung. Diese Bruchzone zeichnet den Übergang von kontinentaler zu ozeanischer Platte nach (BLEIL ET AL. 1990; KLENKE & SCHENKE 2003; RITZMANN ET AL. 2004; TESSENSOHN 2001; WALTER 2003).



Der durch das Auseinanderdriften ermöglichte Austausch von Wassermassen des Nordpolarmeeres mit den anderen Ozeanen bildete die Grundlage der heutzutage vorherrschenden Meeresströmungen (RUDELS ET AL. 2000; WALTER 2003). Die Framstraße stellt die einzige Tiefenwasserverbindung (Tiefen bis 3000 m) zwischen dem Nordpolarmeer und den Weltozeanen dar und ist somit enorm wichtig für den Austausch vom kalten Arktikwasser des Ostgrönlandstrom mit dem wärmeren und salzhaltigeren atlantischen Wasser des West-Spitzbergen-Stromes (Abbildung 9) (CISEWSKI ET AL. 2003; GERDES & KAUKER 2000). Der West-Spitzbergen-Strom spaltet sich bei ca. 80°N in den Spitzbergen- und in den Yermakzweig auf (BIRGEL 2003A; BIRGEL 2003B; PRANGE 2003).

Durch diesen Wassermassenaustausch wird das Klima nicht nur in den jeweiligen Regionen, sondern auf der gesamten Erde beeinflusst. Durch die Framstraße fließt der weltweit größte Meereisstrom; sie ist deshalb für den Temperaturaustausch zwischen Arktischem Ozean und Atlantik von besonderer Bedeutung (BLEIL ET AL. 1990; DAVIS 2000; HIBLER 1989; JUNG & HILMER 2001; KLENKE & SCHENKE 2003; KRISTOFFERSEN 1990; MEREDITH 2001; PRANGE 2003; RUDELS ET AL. 2000; VINJE ET AL. 1998). HAUG UND TIEDEMANN (2002) führten dies am Beispiel des zentralamerikanischen Wasserweges aus. Durch das allmähliche Schließen dieser Wasserverbindung wurde vor ca. 4.5 Millionen Jahren die Verteilung von Süßwasser im globalen ozeanischen System stark verändert. Das ließ neue Wasserzirkulationsmechanismen entstehen, die wiederum das System von Ozean, Atmosphäre und Klima beeinflussten und veränderten.

### 2.3 Geomorphologie des Untersuchungsgebietes

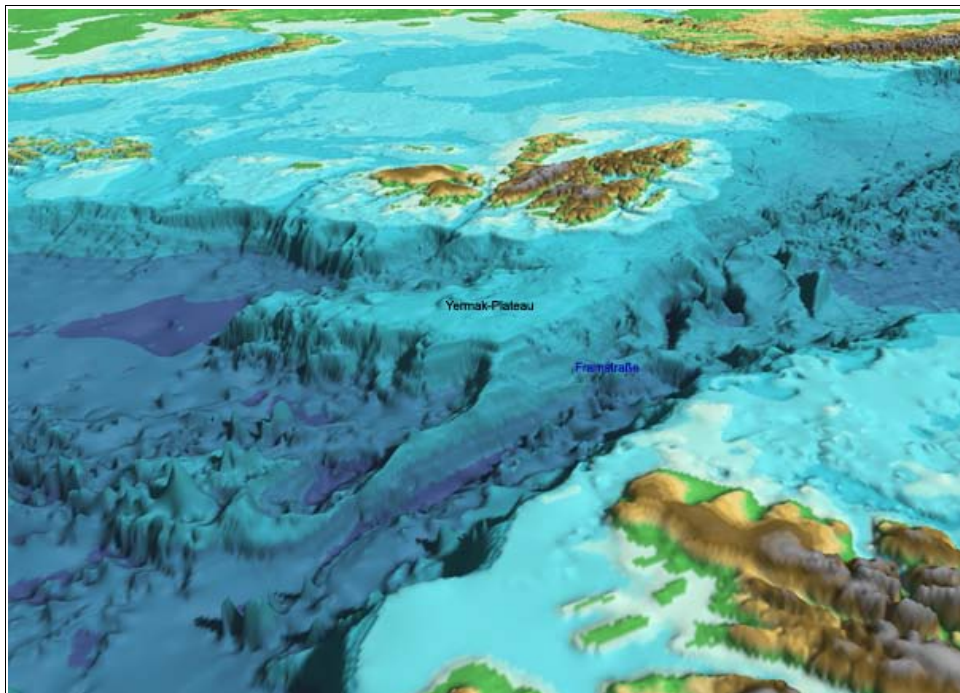


Abbildung 10: Yermak-Plateau, Sicht von NW (IBCAO-Grid)  
(Quelle: INTERNATIONAL ARCTIC SCIENCE COMMITTEE 2004)

Das Yermak-Plateau stellt den nordwestlichen Punkt der Eurasischen Kontinentalplatte dar (Abbildung 10) und kann als relativ junge geologische Formation betrachtet werden. Es wird angenommen, dass das Plateau aus zwei Bereichen besteht, deren Ursprung unterschiedlich ist: im nördlichen und westlichen Bereich liegen die Sedimente auf ozeanischer Kruste auf, im südlichen Bereich hingegen auf kontinentaler Kruste. Lange Zeit vermutete man, dass der



nördliche Bereich des Plateaus während des Auseinanderdriftens von Nord-West-Grönland und Spitzbergen durch vulkanische Prozesse (*Hot Spot Aktivitäten*) am Kontinentalrand entstanden ist. Neuere Erkenntnisse widerlegen jedoch vulkanische Prozesse während des Riftingprozesses. Die magmatische Intrusion, die im Kern des südwestlichen Plateaubereich entdeckt wurde, ist wahrscheinlich eine durch Dekompression hervorgerufene magmatische Schmelze aus dem Erdmantel (EIKEN 1994; MEDOW & JOKAT 2003; RITZMANN & JOKAT 2003; WEIGELT 1998).

Die Sedimentdecke des Yermak-Plateaus hat eine durchschnittliche Mächtigkeit von über 1000 m, wobei im Bereich der nordöstlich auf dem Plateau gelegenen Sverdrup-Bank ein größerer Aufschluss von Grundgebirge nachgewiesen wurde, der nicht von Sedimenten überlagert ist (EIKEN 1994; WEIGELT 1998). An den Hangbereichen des Plateaus stellte man bei einer Untersuchung von Sedimentkernen eine verstärkte Ansammlung von Turbiditen fest. Turbidite sind durch Suspensionsströme hervorgerufene gradierte Schichten, die sowohl in Süßwasserseen, als auch im Meer auftreten können (SEIBOLD & BERGER 1996; STANLEY 1994). Turbidite des Arktischen Ozeans wurden meistens während periglazialer Kaltphasen an Kontinentalhängen abgelagert. Als Folge eines eustatischen Sinkens des Meeresspiegel durch die vermehrte Eisbildung wurden Sedimente freigelegt, erodiert und schließlich an den Kontinentalhängen abgelagert (Abbildung 11).

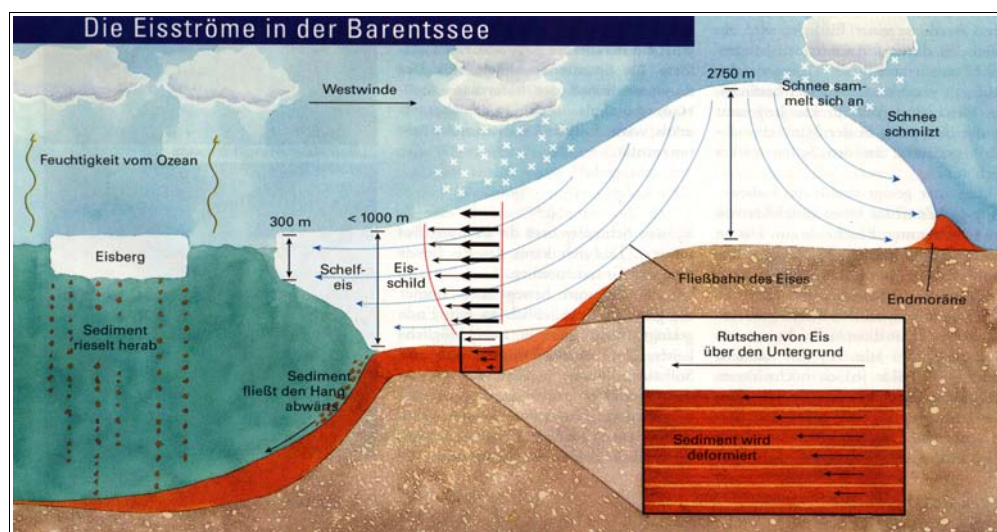
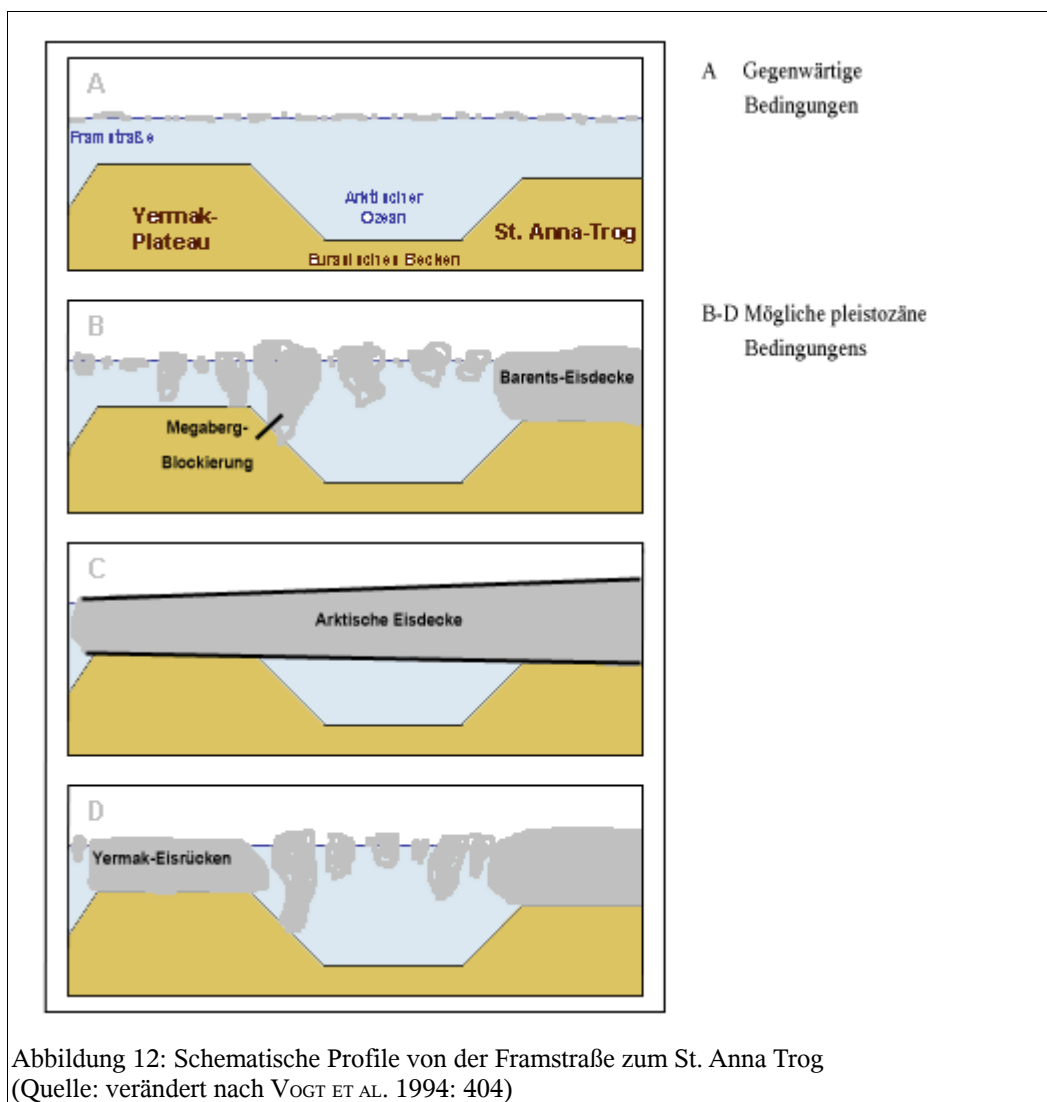


Abbildung 11: Bildung von Sedimentströmen an submarinen Hängen durch Eisströme in der Arktis am Beispiel der Barentssee (Quelle: SIEGERT ET AL. 2005: 62)

Im Bereich des submarinen Yermak-Plateaus, das von tiefen Meereströgen umgeben ist, vermutet man, dass driftende Eisberge von Gletschern der

Schelfgebiete in wärmeren Phasen Sedimente von Kontinentalrändern und -hängen zum Yermak-Plateau transportierten, dort durch den wärmeren West-Spitzbergen-Strom abgeschmolzen sind und das Sediment dadurch auf dem Plateau abgelagert wurde (KNIES ET AL. 2002; RUIKKA & STRAND 2002). Durch die große Menge von Sedimentmaterial an den Hängen des Plateaus kam es zu Suspensionsströmen und Rutschungen. Im Bereich des südwestlich vom Yermak-Plateau gelegenen Sophia-Becken, das Tiefen zwischen 2000-3000 m erreicht, kam es z.B. zu Sedimentablagerungen von bis zu 9 km Mächtigkeit (GEISSLER & JOKAT 2004).



Da die vom Seeis transportierten Sedimente auf das Yermak-Plateau gelangten, kann man den transpolaren Drift des Eis nachvollziehen und so auf Meeresströmungen schließen. Man vermutet, dass die Zirkulation der Eisdrift im Pleistozän anders war als heute und sich das Klima während dieser Periode verändert hat (BISCHOF & DARBY 1997; BROECKER 1992; DARBY ET AL. 1989;

ELVERHOI 1998; HIBLER 1989; LEVITAN ET AL. 2002; RUIKKA & STRAND 2002). Im südlichen Bereich des Yermak-Plateaus wurden 1993 und 1994 bei Expeditionen lang gestreckte, rinnenförmige Vertiefungen auf dem Meeresboden im Tiefenbereich von 450-850 m entdeckt. Es wird angenommen, dass es sich dabei um Eisbergpflugspuren handeln könnte, die während des Pleistozän von riesigen Eisbergen verursacht wurden (Abbildung 12). In flacheren Bereichen des Plateaus (510-530 m Tiefe) scheinen keine Eisbergpflugspuren aufzutreten (VOGT ET AL. 1994).

So ist es bislang ungeklärt, ob es während des Pleistozän einen geschlossenen Eisschild von bis zu 1 km Mächtigkeit im Arktischen Ozean gab, der bis auf den Meeresboden auflag, oder ob die Verursacher der Eisbergpflugspuren von den kalbenden Barents- und Karaschelfen stammen, deren Eisberge auf dem Yermak-Plateau auf Grund gelaufen sind. Selbst wenn der Meeresspiegel während des Pleistozän 50-100 m tiefer stand als heute, müsste es sich dennoch um gewaltige Eisströme gehandelt haben (FLOWER 1997; GROSSWALD & HUGHES 1999; HARLAND 1997; POLYAK ET AL. 2001; VOGT ET AL. 1994).

Im nördlichen Bereich des Plateaus konnten bisher jedoch nur vereinzelt Eisbergpflugspuren nachgewiesen werden (VOGT ET AL. 1994).

## II. METHODIK

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, den Meeresboden zu vermessen: Zum einen besteht die Möglichkeit, diesen per Satelliten oder Flugzeug mittels Fernerkundung zu vermessen. Zum anderen ist es möglich, den Meeresboden mit hydroakustischen Systemen, die von Schiffen oder ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen (ROV - Remotely Operated Vehicle) aus bedient werden, zu vermessen. Die Vermessung mit Satelliten und Flugzeugen ist zwar schon weit fortgeschritten und flächendeckend, lässt jedoch nur die Herstellung von Karten mit relativ großem Maßstab zu. Ein weiterer Nachteil für die Verwendung von Satelliten in den hohen Breiten ist ihre festgelegte Bahn, die in der Regel nicht über 81,75° Nord hinaus geht. Ein Vorteil sowohl von Satelliten als auch von Flugzeugen ist die Möglichkeit zur Datenaufnahme in unzugänglichen Regionen (BOEBEL 2000; GIERLOFF-EMDEN 1999; LURTON 2002; PINET 1999).

Hinzu kommt, dass die Auflösung der Karten für eine geomorphologische Interpretation von kleinräumigeren Regionen sehr hoch sein sollte, um lokale Besonderheiten des Reliefs erkennen zu können. Bathymetrische Vermessungen mit so genannten Sonarsystemen (SOund NAVigation and Ranging), die in das Schiff integriert sind, erfüllen dieses Kriterium (GARDNER ET AL. 2000; GIERLOFF-EMDEN 1986; GOLDFINGER 2000).

Im Bereich des Yermak-Plateaus konnten bisher aufgrund oft schlechter Eisverhältnisse nur sehr wenige bathymetrische Vermessungen und andere geowissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden. Dementsprechend sind bathymetrische Daten der Region, die Aufschluss über die Oberflächenformen des Meeresbodens geben könnten, bislang selten. Da es für geomorphologische Interpretationen jedoch zunächst einmal wichtig ist, die genaue Oberflächenform des Meeresbodens zu kennen, wurde die Bathymetrie als Hauptmethode für diese Arbeit ausgewählt. Sie soll im wissenschaftlichen Rahmen einer Diplomarbeit zu neuen untermeerischen geomorphologischen Erkenntnissen vom Untersuchungsgebiet beitragen.

### 3 Einführung in die Bathymetrie

Bathymetrie ist die Wissenschaft vom Vermessen des Meeresbodens. Die Bezeichnung Bathymetrie setzt sich aus den griechischen Wörtern *báthos* (= Tiefe) und *metró* (= messen) zusammen.

### **3.1 Geschichte der Bathymetrie**

Vor der Vermessung des Meeresbodens mit hydroakustischen Systemen wurde schon lange Zeit Gebrauch von Loten gemacht. Mit Stangen oder Seilen, an deren Ende schwere Gewichte gehängt wurden, maß man in Ägypten schon vor ca. 3500 Jahren die Tiefe der Gewässer. Dabei ging es vor allem um die Sicherheit der Schiffe, nicht auf Grund zu laufen. Auch im Griechenland des Herodot im 5. Jahrhundert v. Chr. war die Tiefenmessung mittels Lotleinen bereits bekannt. Ab dem 16. Jahrhundert wurden die Tiefenmessungen dann in Seekarten eingetragen. Dabei handelte es sich meistens um Tiefen von bis zu 400 Metern, weil die Lotleinen nicht länger reichten, und es zudem nicht notwendig war, tiefer zu messen, da die Sicherheit der Schiffe bei solchen Tiefen vor einem Auflaufen auf Grund gewährleistet war (GARDNER 2000).

Erst mit dem aufkommenden Interesse für die Entstehung der menschlichen Umwelt und dem damit einhergehenden Entdeckergeist im Europa des 18. und 19. Jahrhunderts begann man, planmäßige Lotungen von größeren Tiefen (z.B. von James Clark Ross 1840 in der Antarktis mit einer erreichten Tiefe von 4436 Metern) durchzuführen. Auch die Veröffentlichung von Darwins Evolutionstheorie 1859 trug zum allgemein wachsenden Interesse an der Erforschung der Meere bei (KELLETTAT 1999; LEIER 2002).

Am Anfang des 20. Jahrhunderts unternahm man erste Versuche, durch Schallwellen submarine Hindernisse für die Schifffahrt auszumachen. Nachdem die Titanic 1912 durch einen Aufprall auf einen Eisberg sank, wurde der Ruf nach einem Warnsystem, das direkt am Schiff befestigt war, größer. Dies veranlasste den Amerikaner Reginald Fessenden dazu, den Prototyp eines Transducers zu entwickeln, der elektro-akustische Signale unter Wasser aussenden konnte (LEIER 2002; LURTON 2002).

Der Beginn des ersten Weltkriegs 1914 änderte die Verwendungsabsicht der neuen Technik. Man versuchte nun, mit Hilfe der Echolote feindliche U-Boote zu lokalisieren. Nach dem Krieg setzte man weiter auf die Verbesserung der Technik, nutzte sie jedoch auch, um die erste systematische Vermessung des Meeresbodens im Südatlantik durchzuführen. 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. Dabei war zum ersten Mal deutlich der mittelatlantische Rücken zu

erkennteneinen, dessen Existenz bis dahin unbekannt war (LEIER 2002; PINET 1999; SEIBOLD & BERGER 1996).

Im zweiten Weltkrieg spielten U-Boote und somit auch die Sonarsysteme eine große Rolle. Dies verschaffte der Forschung auf diesem Gebiet erneut großen Vorschub. Nach dem Krieg war die Weiterentwicklung hydroakustischer Systeme bis in die 1960er Jahre vor allem auf den militärischen Bereich konzentriert.

Seit Anfang der 1960er Jahre wurden die Sonarsysteme dann auch zunehmend für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt. Bis in die 1970er Jahre wurden Single-Beam-Echolote eingesetzt, die zwar gute Ergebnisse lieferten, die Vermessung jedoch durch die räumlich beschränkte Reichweite des einzelnen Beams recht zeitaufwändig machte. Mit der Entwicklung von so genannten Fächerecholoten (Multi-Beam-Echolote) wurde die Effizienz der Meeresbodenvermessungen Ende der 1970er Jahre um ein Vielfaches gesteigert (LURTON 2002; GARDNER ET AL. 2000).

1979 wurde unter Schirmherrschaft der Internationalen Hydrographischen Kommission die General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) vom Kanadischen Hydrographischen Dienst veröffentlicht. Sie fasst neueste bathymetrische Daten von unterschiedlichen Vermessungen auf einer Karte zusammen und wird seitdem fortlaufend aktualisiert (WEBER 1989).

Die IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean) umfasst die Gebiete nördlich von 64° Breite mit einem Zellenabstand von 2.5 km. Sie stellt wie die GEBCO ein relativ ungenaues, dafür aber flächendeckendes Bild des arktischen Meeresbodens dar und wird deshalb ständig mit neuen bathymetrischen Daten von unterschiedlichen Forschungsfahrten aktualisiert und präzisiert (Abbildung 13). Initiiert wurde die IBCAO durch eine Zusammenarbeit des International Scientific Committee (IASC), der International Hydrographic Commission (IHO) und der Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) (JAKOBSSON 2000).

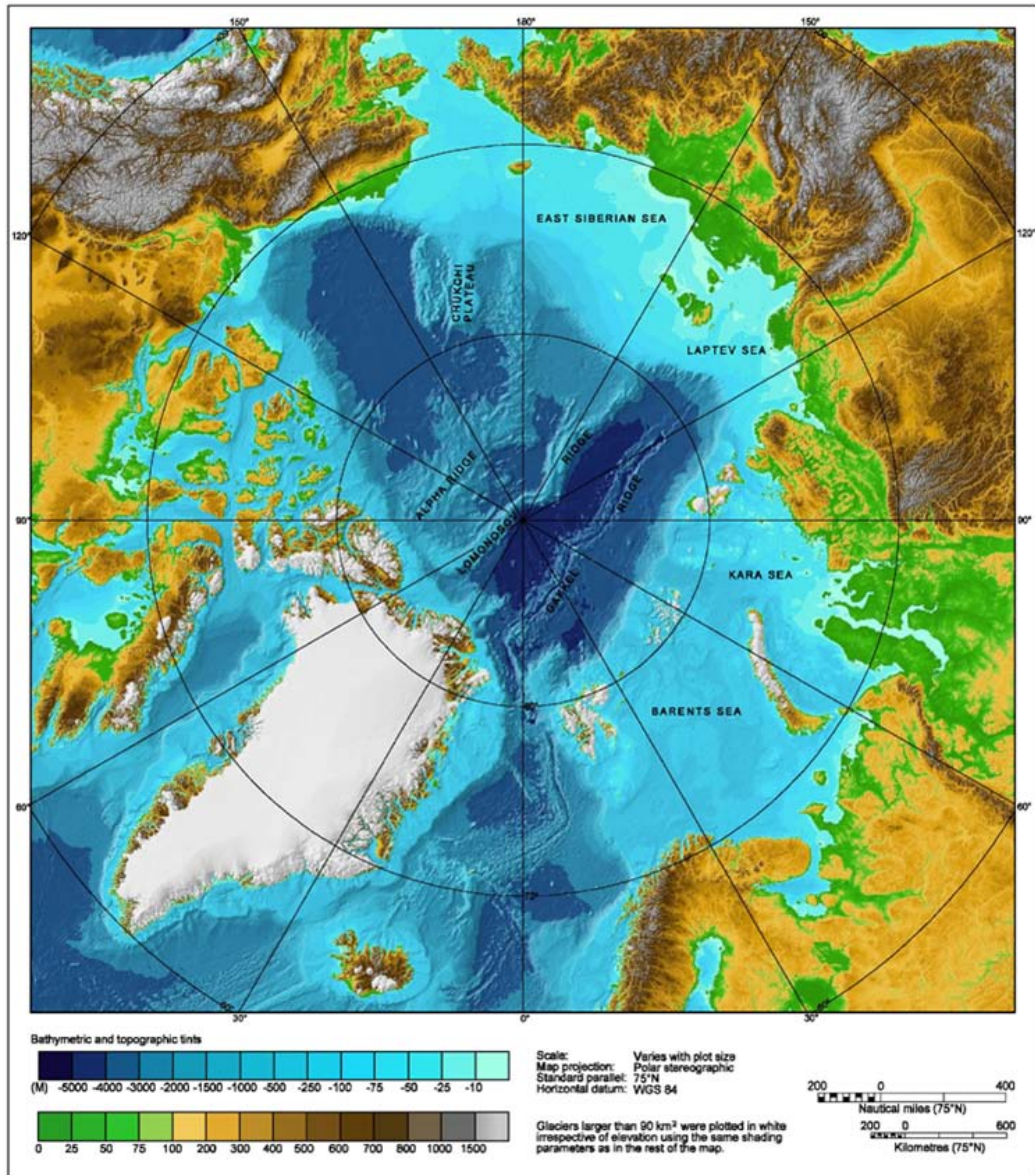


Abbildung 13: International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean  
 (Quelle: INTERNATIONAL ARCTIC SCIENCE COMMITTEE 2004)

### 3.2 Bathymetrie als geowissenschaftliche Methode

In nahezu allen Bereichen der Meeresforschung werden sehr genaue Informationen über die Oberflächengestaltung des Meeresbodens benötigt, um geologische, physikalische und biologische Prozesse untersuchen und erklären zu können. Durch ihre detaillierten Oberflächeninformationen des Meeresbodens ermöglichen bathymetrische Karten z.B. eine gezielte und genau Stationsplanung und Probenentnahme bei wissenschaftlichen Expeditionen (WEINREBE & KOPP 1998).

In zahlreichen geowissenschaftlichen Arbeiten gelangte man durch bathymetrische Untersuchungen zu detaillierteren geomorphologischen Erkenntnissen. Gerade bei der Erforschung der Plattengrenzen und von instabilen

Hängen und Rinnensystemen unter dem Meeresspiegel konnte die Bathymetrie wertvolle Beiträge zur Aufklärung von wissenschaftlichen Fragestellungen leisten (GARDNER ET AL. 2000; McADOO 2000).

Der U.S. Geological Survey arbeitet bereits seit mehreren Jahren intensiv an der Erstellung detaillierter bathymetrischer Karten, wie z.B. von der Ostküstenregion bei New York oder des Golf von Mexiko. Damit will man ein genaueres Verständnis der Meeresbodengeologie erreichen, um zukünftige Forschungen möglichst zielorientiert durchführen zu können (BUTMAN ET AL. 2002; CLARKE ET AL. 2003). Auch bei der bathymetrischen Vermessung der Glacier Bay in Alaska werden die neuen Erkenntnisse als Basis für weitergehende Forschungen und die sinnvolle Verwaltung der natürlichen Ressourcen und Habitate gewertet (CARLSON ET AL. 2002).

Neben der bathymetrischen Vermessung von Ozeanen verwendet der U.S. Geological Survey diese Methode für die geomorphologische Untersuchung von Seeböden, wie z.B. dem Englebright Lake in Kalifornien (CHILDS ET AL. 2002) und den Michigan-See in den USA (BARNES ET AL. 2003). Der Kingsmere Lake in Saskatchewan (Kanada) wurde bereits in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts bathymetrisch vermessen. Während neuer Messkampagnen im Zeitraum zwischen 1993 und 2002 wurde die Topographie des Seegrundes aktualisiert. Durch die neuen Daten konnten detailliertere Karten erstellt werden, die mittlerweile als Grundlage für das Umweltmanagement des See dienen (MELVILLE & MELVILLE 2004).

Die Universität von Kalifornien hat in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen den Meeresboden vermessen und konnte durch die Visualisierung von submarinen Rinnen die bodennahe Sedimentströme vor der kalifornischen Küste nachvollziehen (ORANGE ET AL. 2002).

In einer Arbeit über das tektonisch sehr aktive südöstliche Indonesien, dessen Dynamik aus der Lage an der Grenze der pazifischen, australischen und südostasiatischen Platte resultiert, wurde die bathymetrische Vermessung als Grundlage für die weiteren geomorphologischen Untersuchungen verwendet (HINSCHBERGER ET AL. 2003).

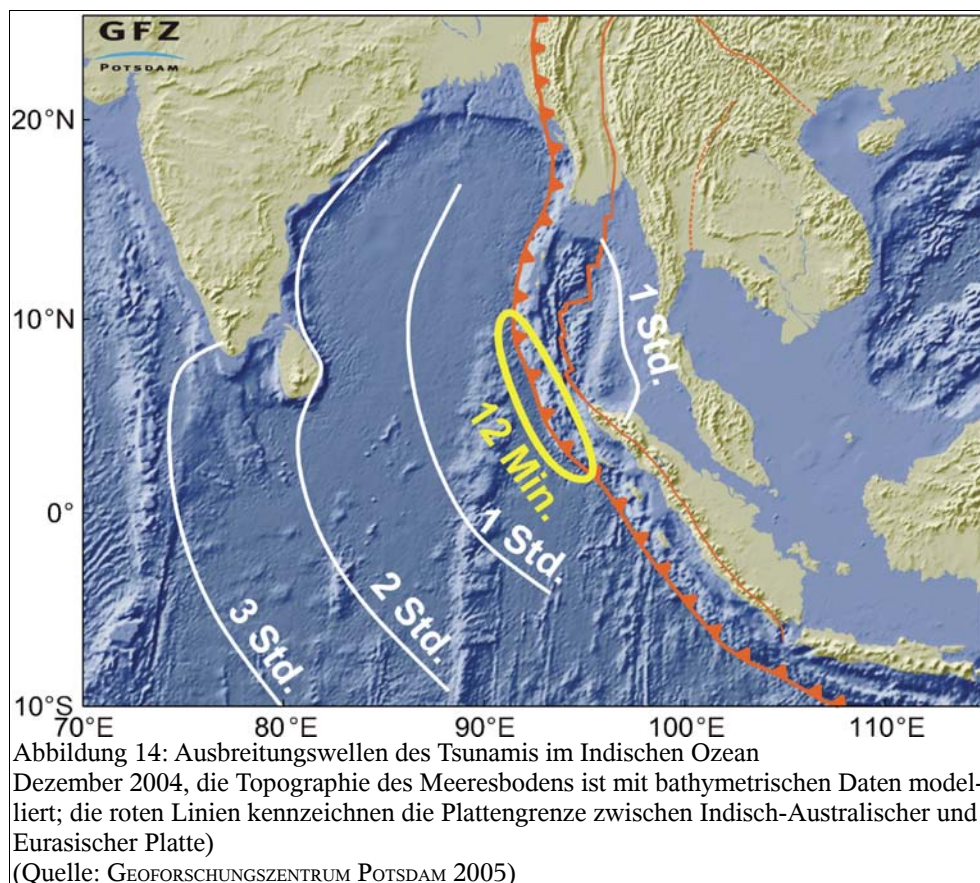
KOSTYLEV ET AL. (2001) konnten in einem neu entwickelten Ansatz zeigen, dass die Kombination von bathymetrischen Karten und Daten benthischer Lebensgemeinschaften das Kartieren submarine Lebensräume wesentlich erleichtert und auch auf großflächiger Ebene möglich macht.



Um die Korallenriffe bei Hawaii möglichst genau beobachten sowie dokumentieren und damit letztendlich auch schützen zu können, verwendet man seit einigen Jahren hochauflösende bathymetrische Verfahren. Anhand der präzisen Karten ist es möglich, schon kleinste Veränderungen an den Riffen zu erfassen und diese zu untersuchen. Hier nimmt die Bathymetrie also einen wichtigen Stellenwert in der Ökosystemforschung ein (FIELD ET AL. 2001).

Auch in nicht-wissenschaftlichen Bereichen spielt die Bathymetrie eine große Rolle. Für die moderne Schifffahrt ist es wichtig, über detaillierte Karten zu verfügen, um die immer größer werdenden Schiffe sicher durch die Weltmeere zu steuern (GARDNER ET AL. 2000).

Katastrophale Ereignisse in jüngster Vergangenheit wie der im Dezember 2004 durch ein submarines Erdbeben und die daraus resultierende Hangrutschung ausgelöste Tsunami im Indischen Ozean, machen deutlich, dass es für die Gefahrenvorsorge von erheblicher Bedeutung sein kann, die genaue Topographie des Meeresbodens und seine damit verbundene Dynamik zu kennen. Gefährdete Regionen können durch die Erkenntnisse der Bathymetrie identifiziert und mit Hilfe von Vorwarnsystemen besser geschützt werden (Abbildung 14) (DOMRÖS ET AL. 2005; GRÁCIA & DANOBETIA 2002; KILBURN & SOLANA 2002).



## 4 Methodische Grundlagen

„Acoustic waves are today the only practical way to carry information underwater.“ (LURTON 2002: 1)

### 4.1 Grundlagen und Anwendungen hydroakustischer Messverfahren

Das Grundprinzip von hydroakustischen (Sonar-) Systemen liegt in der Aussendung und dem Empfang von gerichteten Schallsignalen (Abbildung 15), die von mehreren sich in einem Messwandler befindenden Projektoren und Hydrophonen ausgehen. Solche Systeme werden auch Sonarsysteme genannt (LURTON 2002).

Sonarsysteme werden nicht nur für wissenschaftliche Zwecke genutzt, sondern dienen z.B. Fischereifloten dazu, große Fischschwärme zu

lokalisieren, helfen Wracks aufzuspüren oder erfüllen militärische Zwecke (Abbildung 16) (LURTON 2002).

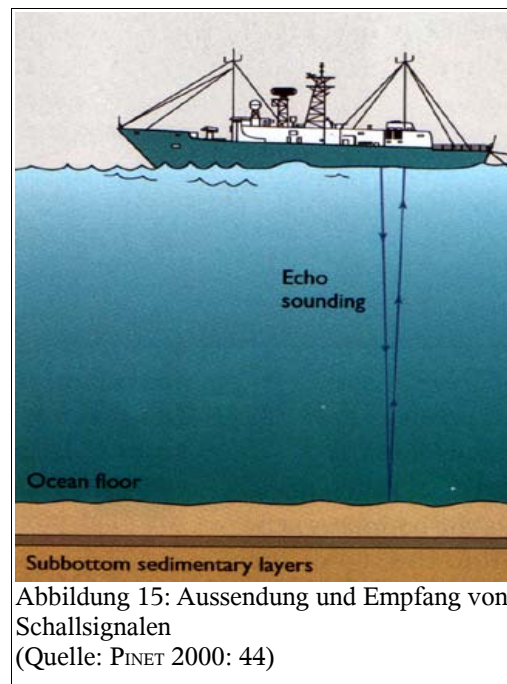


Abbildung 15: Aussendung und Empfang von Schallsignalen  
(Quelle: PINET 2000: 44)

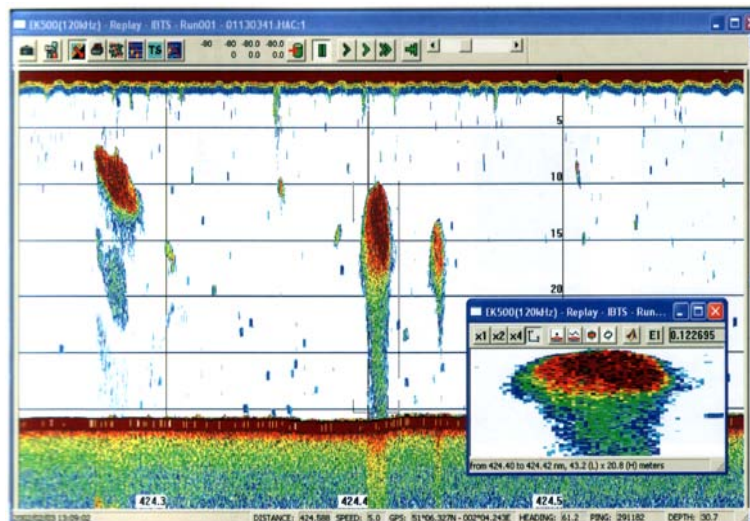


Abbildung 16: Abbild der Daten von einem Fischereiecholot das mehrere große Fischschwärme geortet hat  
(Quelle: LURTON 2002: Farbtafel 1)

Neben der Überlieferung von Tiefendaten ist es mit hydroakustischen Systemen auch möglich, z.B. digitale Videodaten eines Tauchroboters, die in der Tiefsee

aufgenommen werden, durch Schallsignale an den Empfänger zu senden und dort Videobilder zu produzieren. Ein besonders bekanntes Beispiel dafür sind die Videoaufnahmen, die Anfang der 1990er Jahre von der Titanic gemacht wurden (LURTON 2002). Außerdem ist es mit Hilfe hydroakustischer Systeme, die in ein ferngesteuertes Unterwassergefährts eingebaut sind (ROV), möglich, auf den Meeresboden abgesunkene Schadstoffschichten zu erkennen (HARMS ET AL. 1998).

Der Einsatz von verschiedenen Echoloten in der Wissenschaft ermöglicht es, genaue Informationen zur Meeresbodentopographie auch bei großen Meerestiefen zu erlangen. Zu wissenschaftlichen Zwecken werden in der Regel entweder Single Beam Echolote oder bevorzugt Fächerecholote eingesetzt, die den Vorteil haben, gleichzeitig eine größere Fläche mit einer höheren Auflösung abzutasten. So genannte Sedimentecholote können im Gegensatz zu Single-Beam und Fächerecholoten durch das Aussenden unterschiedlicher Frequenzen bis zu 200 m tief in den Meeresboden eindringen und Daten über die Sedimentstrukturen im Meeresboden liefern (Abbildung 17).

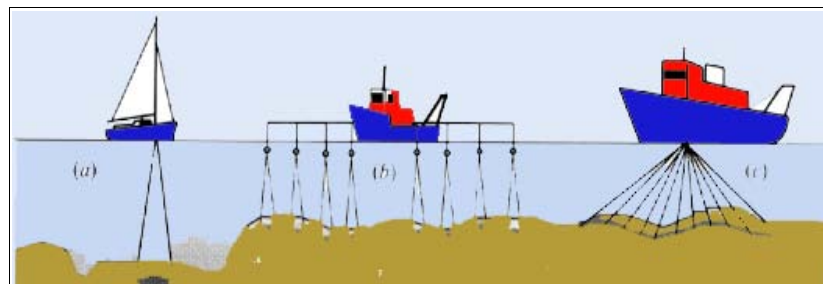


Abbildung 17: Darstellung verschiedener bathymetrischer Echolote

(a) Single-Beam Echolote

(b) Sidescan-Sonar

(c) Multi-Beam Echolot

(QUELLE: verändert nach LURTON 2002: 219)

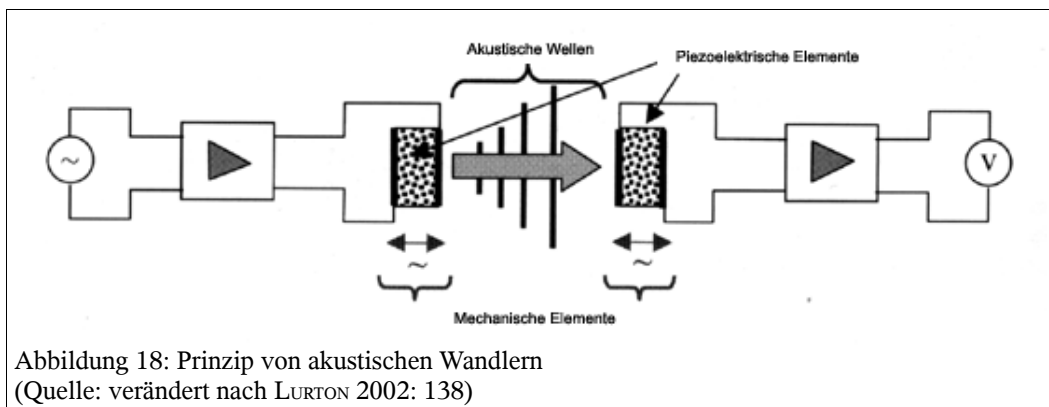
Für die möglichst genaue und flächendeckende Vermessung eines Gebietes ist es notwendig, möglichst geradlinig und parallel verlaufende Profile (Matratzen) anzulegen. Nach der Messung der Daten während der Fahrt und der anschließenden Editierung und Bereinigung der Daten von Fehlereinflüssen, werden schließlich Raster erstellt, aus denen mit Computerunterstützung Geländemodelle erstellt werden können.

Während der Expedition im Jahr 2004 wurden sowohl das seit 1989 auf dem Forschungsschiff Polarstern fest installierte Fächerecholot Hydrosweep DS2, als auch das Sedimentecholot Parasound als hydroakustische Systeme eingesetzt, die in den Punkten 5.2 und 5.3 vorgestellt werden.

## 4.2 Fächerecholot Hydrosweep DS-2

### 4.2.1 Datenaufnahme

Das Fächersonarsystem Hydrosweep DS2 (Hydrographic multibeam sweeping survey Echosounder Deep Sea) wurde 1985 und 1986 von der Firma Krupp Atlas Elektronik, heute Atlas Hydrographics, für die großflächige Vermessung mittlerer und großer Wassertiefen entwickelt. Es beinhaltet zwei hydroakustische Sensorarrays (auch Wandler genannt), die im vorderen Bereich des Schiffskiels angebracht sind und eine Größe von 3.0x0.3m aufweisen. Ein Array ist in Fahrtrichtung, das andere rechtwinklig dazu ausgerichtet. In jedem Array befinden sich jeweils vier mal 24 piezoelektrische Elemente (=Hydrophone), deren große Anzahl den Vorteil hat, dass das System auch beim Ausfall einiger dieser Elemente noch funktionstüchtig ist (Abbildung 18). Bei einer Bandbreite von 1.2 kHz werden von diesen Wandlern aus gerichtete Schallsignale mit einer Frequenz von 15.5 kHz ausgesendet (GRANT & SCHREIBER 1990; GUTBERLET & SCHENKE 1989; SCHENKE 1990).



Nach einer Ergänzung des DS2 Systems im Jahre 1997 um ein Sidescan Sonar mit der so genannten *backscatter* (= Rückstreuung) Funktion, ist es auch möglich, Rasterbilder des Meeresbodens zu erstellen und Aussagen über die Beschaffenheit des Meeresbodens zu treffen. Die Ermittlung des Rückstreu- (*backscatter*) Koeffizienten durch Reflexionsmessungen von einzelnen Beams am Meeresboden erwies sich jedoch nur in geringeren Wassertiefen als auswertbar; in Tiefseebereichen reicht die Auflösung der Backscatterdaten nicht mehr aus, um verlässliche Aussagen treffen zu können (CHAKRABORTY ET AL. 2001; HAGEN ET AL. 1995).

#### 4.2.2 Technische Konzeption

Der Tiefenmessbereich des Fächerecholotes HYDROSWEEP DS2 liegt in einem Bereich von 10`000 bis 11`000 Metern, wobei die absolute Tiefengenauigkeit weniger als 1% der Wassertiefe beträgt. Die Impulsfrequenz des Echolots beträgt 15,5 kHz. Der Öffnungswinkel des Echolotfächers kann je nach Wassertiefe verändert werden; bei einer Tiefe von 10`000-4`700 Metern ist ein Öffnungswinkel von 120° möglich, der einen Streifen der 3.5fachen Meerestiefe erfasst; bei größeren oder sich stark verändernden Tiefen (10`000-8`000 Meter) ist ein Öffnungswinkel von 90° Wegen der höheren Auflösung, der einen Streifen der doppelten Meerestiefe am Boden erfasst, sinnvoll. Bei noch größeren Tiefen kann der Öffnungswinkel noch auf 60° reduziert werden. Hydrosweep verfügt insgesamt über 59 Preformed Beams, dabei beträgt der Öffnungswinkel eines einzelnen Beams im Tiefseemodus ab 100 Metern Wassertiefe 2.3°, bei geringeren Tiefen liegt er bei 4.5°. Auch der Ausgangspegel der Impulsfrequenz ist tiefenabhängig; bei 10-100 m ist er größer als 210 dB, in Tiefen von 100-1000 m liegt er höher als 220 dB und bei einer Tiefe ab 1000 m ist er größer als 237 dB (Abbildung 19) (GRANT & SCHREIBER 1990; GUTBERLET & SCHENKE 1989; SCHENKE 1990, 1992, 1993).

<b>Sonartechnik</b>	<b>Eigenschaften</b>
Tiefenmessbereich	10m-11.000m
Impulsfrequenz	15,5 kHz
Bandbreite	± 0.6 kHz
Ausgangspegel	>210 dB (10 – 100m) >220 dB (100 – 1000m) >237 dB (>1000m)
Öffnungswinkel	120° (10 – 4.700m) 90° (10 – 8.000m) 60° (8.000 - 11.000m)
Tiefengenauigkeit	< 1,0% der Wassertiefe
Refraktionskorrektur	CTD-Profil/ Schallgeschwindigkeitssensor/ Kreuzfächerkalibrierung
Anzahl der PFB (PreFormed Beams)	59
Öffnungswinkel eines PFB	4.5° (10 - 100m)/ 2,3° (100 - 11000m)

Abbildung 19: Technische Eigenschaften der Hydrosweep-Anlage

#### 4.2.3 Messprinzip

Das Grundprinzip von Echolotmessungen liegt in der Messung der Laufzeit, die ein ausgesendeter Schallimpuls braucht, um die Wassersäule zu durchlaufen. Ein Schallimpuls, der von einem an der Schiffsunterseite angebrachtem Schwinger

lotrecht zur Wassersäule ausgesendet wird, wird vom Meeresboden reflektiert und an einer Empfängereinheit des Schwingers aufgezeichnet. Bei Fächerecholotsystemen wird jedoch nicht nur ein einzelner gebündelter Strahl ausgesendet, sondern quer zur Fahrtrichtung des Schiffes wird ein breiter Schallfächer abgesendet, der es ermöglicht, den Meeresboden flächenhaft zu erfassen. Die Wassertiefe (Tiefe in Metern,  $h$  in [m]) lässt sich mit der Laufzeit des Schallsignals (Zeit in Sekunden,  $t$  in [s]) und der bekannten jeweiligen Wasserschallgeschwindigkeit ( $c_m$  in [m/s]) auf das Niveau der Schwingereinrichtung an der Schiffsunterseite bezogen, ermitteln:

$$[h = \frac{1}{2} \cdot c_m \cdot t]$$

[ $c_m = c_{\text{mean}}$ , mittlere Schallgeschwindigkeit im Meerwasser]

Durch die Zuordnung zu festen Winkeln werden die vom Meeresboden reflektierten Schallsignale in 59 Winkelabschnitte unterteilt, die man als Preformed Beams bezeichnet und aus denen 59 konkrete Tiefenwerte berechnet werden können (SCHENKE 1990, 1992, 1993).

Die Wassertiefe und die Geschwindigkeit des Schiffes beeinflussen die Auflösung der gewonnenen Daten wesentlich. Da der Fächer mit zunehmender Wassertiefe breiter aufgefächert wird, werden die Abstände zwischen den einzelnen Preformed Beams größer und die Qualität der Auflösung nimmt ab. 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. Da die Wassertiefe auch die Laufzeit der Schallsignale festlegt, wird die Auflösung bei schneller Schifffahrt und großen Wassertiefen ungenauer (GRANT & SCHREIBER 1990; SCHENKE 1990, 1992, 1993).

#### 4.2.4 Kreuzfächerkalibrierung und Positionsbestimmung

Da die Wasserschallgeschwindigkeit je nach Temperatur, Salzgehalt und Tiefe innerhalb der Wassersäule variieren kann, ist es notwendig, die Wasserschallgeschwindigkeit ständig neu zu bestimmen und bei der Tiefenberechnung mit einzubeziehen. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten, die im folgenden kurz vorgestellt werden.

Durch den Einsatz einer CTD-Sonde (Conductivity (= Salzgehalt), Temperature, Depth) kann das Wasserschallgeschwindigkeitsprofil ermittelt werden. Dabei werden Temperatur, Salzgehalt und Druck in verschiedenen

Wassertiefen mit einer Sonde gemessen und daraus die Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Wasser berechnet. Die Werte werden dann manuell in das Programm Hydromap Online eingegeben. Ein Nachteil dieser relativ genauen Methode ist, dass die Messungen mit CTD Sonden viel Zeit in Anspruch nehmen. Aus Zeitgründen wurden auf der Polarsternexpedition ARK XX/3 daher keine vergleichenden Messungen mit der CTD-Sonde gemacht, was bei Tagen mit starker Eisfahrt in den Ergebnissen mit berücksichtigt werden muss (URBAN 2002).

Über eine weitere Möglichkeit, die Wasserschallgeschwindigkeit zu ermitteln, verfügt das Hydrosweep DS2 System selbst. Mittels einer so genannten Kreuzfächerkalibrierung werden Eichprofile erstellt, welche mit Hilfe der vorher gemessenen Tiefenwerte dazu dienen, eine mittlere Wasserschallgeschwindigkeit zu berechnen.

Die Kreuzfächerkalibrierung des Fächerecholotes wird im wesentlichen durch die unterschiedliche Anordnung der beiden Sensorwandler am Schiffsrumpf ermöglicht. Bei der Kalibrierung werden im normalen Kalibrierungsmodus (es ist möglich, diesen manuell zu verstellen) nacheinander in einem Abstand von 100 Metern vier Eichprofile in Fahrtrichtung des Schiffes angelegt. Der Messfächer, der normalerweise quer zur Fahrtrichtung Schallimpulse aussendet, wird im Kalibrierungsmodus längs zur Fahrtrichtung, also um  $90^\circ$  gedreht, ausgerichtet (Abbildung 20).

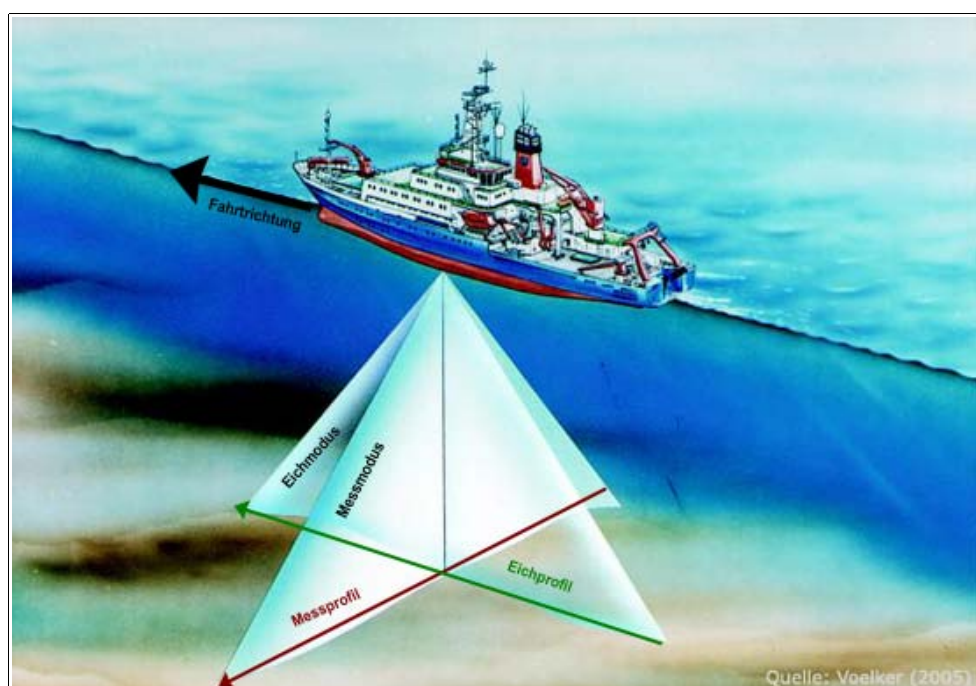


Abbildung 20: Kreuzfächerkalibrierung  
(QUELLE: verändert nach VÖLKER 2005)

Die zuvor im normalen Messmodus gemessenen Tiefenwerte werden so an bestimmten Positionen vom Querprofil nochmals erfasst. Die unterschiedlichen Tiefenwerte werden verglichen. Anhand der Differenz beider Werte wird ein Korrekturfaktor berechnet, der zu einer Verbesserung des Wertes der mittleren Wasserschallgeschwindigkeit führt. Die Kreuzfächerkalibrierung ist jedoch auch allen Fehlereinflüssen von Fächerecholotmessungen ausgesetzt (siehe Kapitel 5.2.5 Fehlereinflüsse). Daher kann es auch hier zu Fehlmessungen kommen (BÜCHSENSCHÜTZ-NOTHDURFT 2002; PIKE & BEIBOER 2001).

Da das Schiff ständig den Bewegungen des Wassers und Windeinflüssen ausgesetzt ist, ist es notwendig, die Bewegungen des Schiffes bei den Tiefenmessungen mit dem Fächerecholot einzuberechnen. Eine in der Mitte und auf der Höhe der Wasserlinie des Schiffes angebrachte Laser-Plattform erfasst die Geschwindigkeit sowie die Hub-, Roll- und Stampfbewegungen des Schiffes und misst deren Stärke optisch. Die MINS (Marine Internal Navigation System)-Plattform sendet diese Werte aktiv an die Sende- und Empfängereinheit der Hydrosweepanlage und korrigiert diese dadurch. Außerdem besitzt sie einen Positionsfilter, der die von vier an Bord befindlichen GPS (Global Positioning System)-Empfängern empfangenen Positionsdaten bereinigt und ebenfalls im Sekundentakt an das Hydrosweepsystem sendet. Durch diese Positionsdaten erhält jeder gemessene Tiefenwert einen vorläufigen Koordinatensatz. Nach der Transformation in geographische Koordinaten weist jeder Fächerdatensatz 59 einzelne Werte für jeweils eine geographische Länge, eine geographische Breite und einen Tiefenwert auf (GUTBERLET & SCHENKE 1989; SCHENKE 1990, 1993).

#### **4.2.5 Fehlereinflüsse**

Bei Echolotmessungen können durch die zugrunde liegende Technik des Aussendens und Empfangens von Schallsignalen verschiedene Fehler auftreten. Diese Fehlerquellen werden im allgemeinen in grobe, systematische und zufällige Fehler unterteilt, die im folgenden vorgestellt werden.

Als grobe Fehler werden eindeutig zuweisbare Fehler bezeichnet, die durch äußere Einflüsse auf das Echolotsystem entstehen. Bei einem Forschungseisbrecher wie der Polarstern kommt es bei schwerer Eisfahrt häufig dazu, dass durch an den Schiffsrumpf prallende Eis Störgeräusche produziert werden, die die Schallsignale des Echolotes überlagern und somit verfälschen. Zudem kommt es vor, dass Eis unter den Schiffsrumpf gedrückt wird und die



Schallsignale dadurch vorzeitig reflektiert werden. Auch Luftblasen, die beim Untertauchen des Eises unter den Schiffsrumpf gelangen, können zur Messung von Fehltiefen führen (Abbildung 21).



Abbildung 21: Abtauchen des Eises unter den Schiffsrumpf bei schwerer Eisfahrt  
(Foto: B. PLATTEN 2004)

Eine weitere mögliche Fehlerquelle können Reflexionen von Lebewesen im Messstrahl sein (z.B. große Fischschwärme). Andere Geräusch- bzw. Schwingungsquellen wie starker Seegang und der Schiffspropeller führen ebenfalls zu Störungen, die Fehlmessungen verursachen (Abbildung 22) (LURTON 2002; MEDWIN & CLAY 1998; SCHENKE 1990).

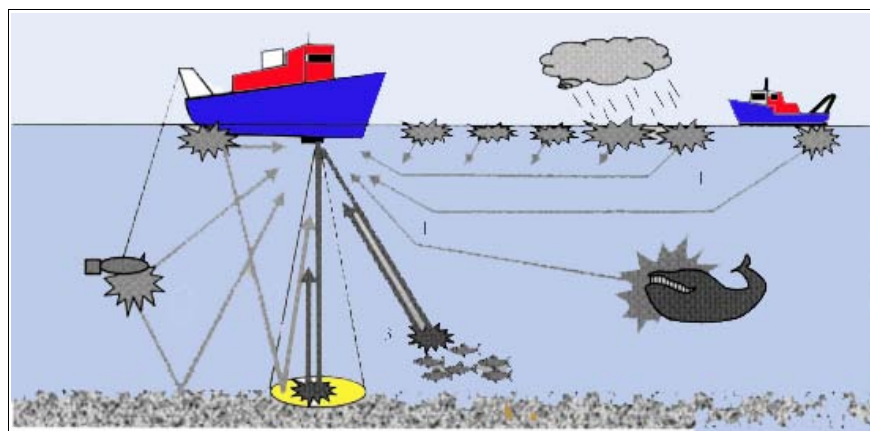


Abbildung 22: Fehlereinflüsse bei Echoschallmessungen  
(Quelle: verändert nach LURTON 2002: 104)

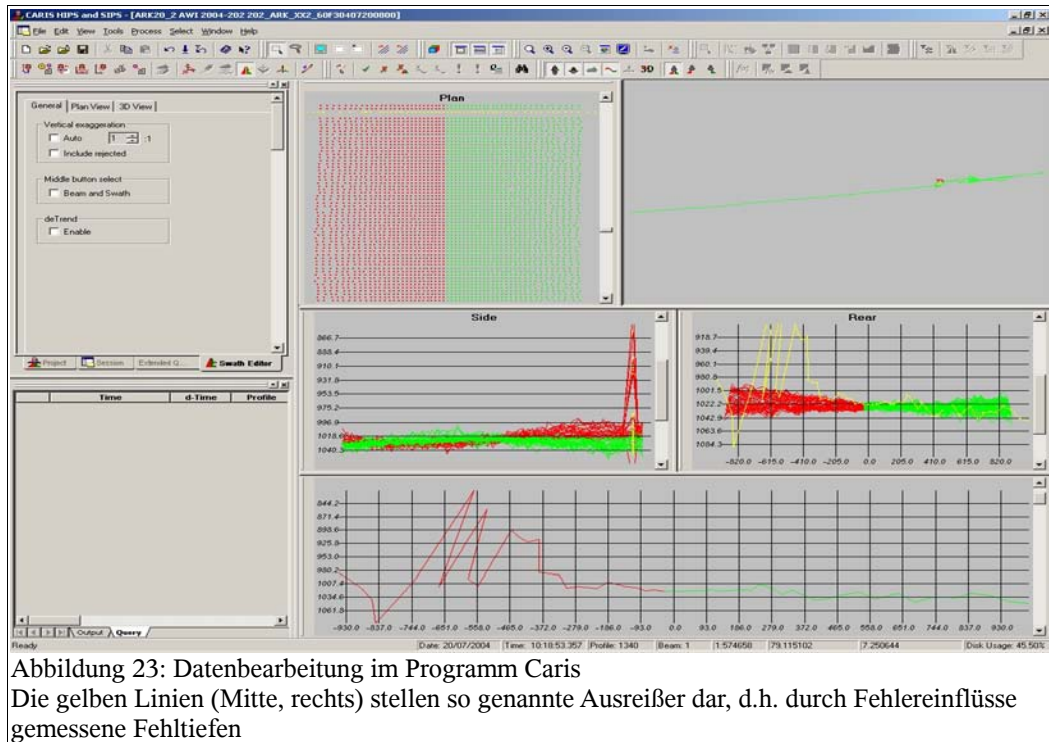
Anders als bei Fehlern, die durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden, treten systematische Fehler immer mit den gleichen Merkmalen und unter gleichen

Bedingungen auf. Falls die grundlegende Systematik der Fehler erkannt werden kann, ist es möglich, systematische Fehler mit einer dementsprechend angepassten Dateneditierung zu bereinigen. Als systematischer Fehler stellt sich z.B. der so genannte Omega-Effekt dar, der bei starken Geländeneigungen auftritt. Da hydroakustische Schwinger neben dem eigentlich gerichteten Schallfeld Nebenkeulen hervorrufen, die in unterschiedliche Richtungen weisen, kann es bei starken Neigungen dazu kommen, dass eine Nebenkeule ein stärkeres Echo mit einer kürzeren Laufzeit misst als das Hauptfeld. Das Echolotsystem ist aber darauf eingestellt, dass immer die Hauptkeule das stärkste Echo mit der kürzesten Laufzeit liefert. Durch diese Diskrepanz entsteht eine fehlerhafte Messung, die bei einem kontinuierlichem Auftreten in Richtung der geringeren Tiefe zu einer Beugung der Tiefenlinien führt. Da diese Beugung der Tiefenlinien wie der griechische Buchstabe  $\Omega$  aussieht, erhielt dieser systematische Fehler den Namen Omega-Effekt.

Ein weiterer systematischer Fehler ist der Tunnel-Effekt, der seinen Namen ebenfalls durch die Aufbiegung der Tiefenlinien durch Fehlmessungen bekommen hat. Er entsteht, wenn ein seitlich abgestrahltes Hauptsignal irrtümlicherweise das Signal einer Nebenkeule mit einer kürzeren Laufzeit empfängt (BÜCHSENSCHÜTZ-NOTHDURFT 2002; SCHENKE 1990).

#### **4.2.6 Datenaufbereitung**

Die Rohdaten, die mit dem Programm Hydromap Online gemessen werden, sind noch nicht navigationseditiert und müssen deshalb zum so genannten Surf Format konvertiert werden. Dieses navigationseditierte Format enthält absolute bzw. wahre Tiefen, d.h. die Tiefendaten werden durch die Konvertierung an die Wasserschallgeschwindigkeit angepasst und mit Navigationsdaten verbunden. In einem weiteren Schritt werden diese Surfdaten in das Programm Caris Hips and Sips eingelesen und manuell von Fehlereinflüssen bereinigt (Abbildung 23). Durch die dort erfolgende Navigations- und Tiefeneditierung kann man verhindern, dass die in einem späteren Arbeitsschritt entstehenden Karten diese Fehler enthalten. Eventuell durch Fehlereinflüsse entstandene Beeinträchtigungen der Karten könnten sonst zu Fehlinterpretationen der Oberfläche des vermessenen Geländes führen.



Da man auf Forschungsfahrten häufig schnell aktuelle Karten benötigt und dies in z.B. in ArcGIS mehr Aufwand bedeutet, werden an Bord oft erste Karten mit dem Programm GMT (Generic Mapping Tool) hergestellt.

Um Karten in Geoinformationsprogrammen wie z.B. ArcGIS der Firma ESRI darstellen zu können, ist es notwendig, die editierten Daten über die Konvertierung in das Ascii-Format umzuwandeln, so dass die Daten in der schematischen xyz-Reihenfolge vorliegen. Für die einfache Handhabung der Konvertierungen hat das Alfred-Wegener-Institut ein internes Datenformat entwickelt. Aus diesem so genannten Hyd-Format werden alle Folgedaten generiert. Xyz-Daten enthalten die Koordinaten und die jeweils dazugehörige Tiefe und können in ArcGIS und speziellen 3D-Visualisierungsprogrammen wie Surfer zu einer Karte und Geländemodellen berechnet werden.

Die in dieser Arbeit angewandten Bearbeitungsschritte werden in Abschnitt „Visualisierung“ in 5.4 weiter erläutert.

### 4.3 Sedimentecholot Parasound

#### 4.3.1 Datenaufnahme

Das Sedimentecholot Parasound (Parametric Echosounder) wurde ebenfalls von der Firma Atlas Hydrographics entwickelt und wird eingesetzt, um den Aufbau

der Sedimentschichten des Meeresbodens erfassen zu können. Es erstellt somit kein flächendeckendes Oberflächenmodell des Meeresbodens, sondern dringt nur punktuell in den Meeresboden ein, um die Reflexionseigenschaften der Sedimentschichten zu analysieren. Dieses Single Beam System ist in der Lage bis zu 200 Meter in den Meeresboden einzudringen und anzuzeigen, ob weiche oder harte Bodenreflektoren vorherrschen (NIEMANN 2003).

#### 4.3.2 Technische Konzeption

Der Tiefenmessbereich des Parasound Echolots liegt in Bereichen von 10`000 bis 15`000 m Wassertiefe und hat eine Impulsfrequenz von 4 kHz. Möglich sind zudem Frequenzen von 2.5 – 5.5 kHz. Die Schallsignale werden wie bei Hydrosweep von einer einzigen Empfängereinheit ausgesendet und empfangen, die ebenfalls unter dem Schiff angebracht ist. Im Gegensatz zum Hydrosweep-System wird beim Parasound System ein konstantes Primärsignal (auch Pilotfrequenz genannt) von 18 kHz von einem variabel einstellbaren sekundären Schallsignal, das eine Frequenz von 20.5 – 23.5 kHz haben kann, überlagert und liefert somit eine endgültige Sendefrequenz von 2.5 – 5.5 kHz. Wie oben erwähnt liegt diese Frequenz meist bei 4 kHz. Der Öffnungswinkel der Sendefrequenz liegt bei einer Frequenz von 4 kHz bei 4°, wobei die Sendefrequenz nur im Zentrum des Beams abgestrahlt wird. Die durch das akustische Signal am Boden erfasste Fläche entspricht bei einem Öffnungswinkel von 4° einem Durchmesser von 7% der Wassertiefe (Abbildung 24).

Sonartechnik	Eigenschaften
Tiefenmessbereich	10 m – 15.000 m
Impulsfrequenz	Standard: 4 kHz möglich sind 2,5 kHz - 5,5 kHz
Primärfrequenz	18 kHz
Sekundärfrequenz	variabel zwischen 20,5 kHz und 23,5 kHz in 0,5 kHz Schritten einstellbar
Bandbreite	0.5 kHz
Öffnungswinkel	4° (18 kHz Frequenz)
Eindringtiefe	10 m – 200 m
Tiefengenauigkeit	0.2 m + 0.1% der Wassertiefe

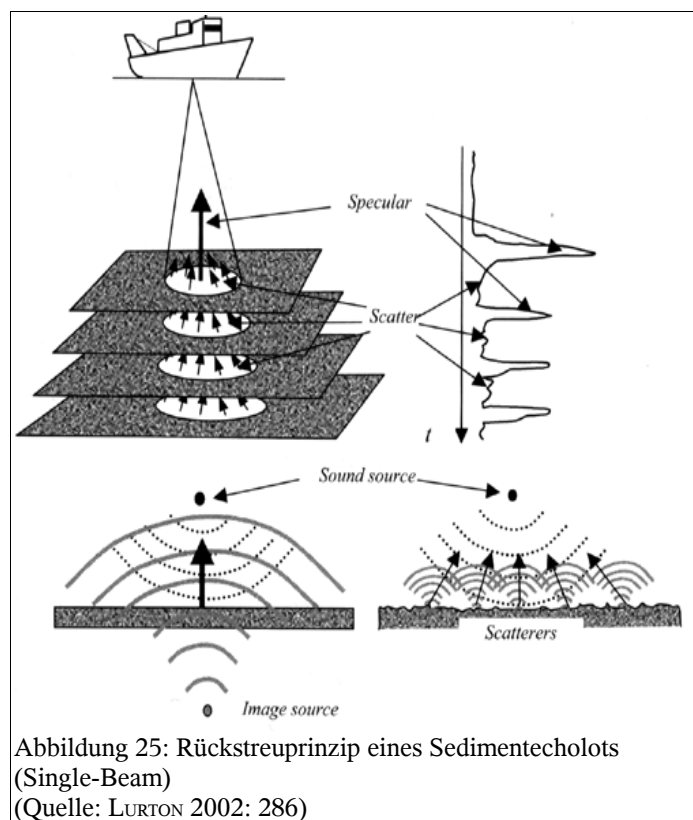
Abbildung 24: Technische Eigenschaften der Parasound-Anlage

Da die absoluten Tiefen und die Tiefengenauigkeit für das Parasoundsystem zweitrangig sind, weichen die Tiefenmessungen des Systems zum Teil stark von anderen Echoloten ab. Bei zu großen Ungenauigkeiten können die Tiefen jedoch

manuell an die Werte des Hydrosweepecholotes angepasst werden (BERGMANN 1995; NIEMANN 2003).

### 4.3.3 Messprinzip

Das Parasoundsystem ist ein so genanntes Singlebeamsystem, d.h. es sendet nur einen einzelnen gebündelten Strahl aus, der jedoch bis in das vorhandene Sediment eindringt (Abbildung 25).



### 4.3.4 Querkalibrierung und Positionsbestimmung

Eine Korrektur der Wasserschallgeschwindigkeit ist beim Parasoundsystem nicht möglich, da es nur einen einzigen Strahl absendet und somit keine Vergleiche z.B. durch Querkalibrierungen möglich sind. Deshalb ist es besonders wichtig, bei den Messungen die Wassertiefe und v.a. die Schiffsgeschwindigkeit zu berücksichtigen, da die Laufzeit der Schallsignale bei einer Wassersäule von mehreren Tausend Metern bis zu 8 Sekunden beträgt. Bei zu großen Datenlücken würde das Auflösungsvermögen der Messungen für zuverlässige Aussagen zu gering werden, so dass bestimmte Registrierparameter für den Betrieb der Parasoundanlage festgelegt wurden. Im Normalfall geht man von einer durchschnittlichen Wasserschallgeschwindigkeit von 1500m/s aus und korrigiert die Messdaten mit diesem Wert.

Vor allem die ungenaue Positionsbestimmung, die durch das Single-Beam-System entsteht, stellt ein Problem bei der Auswertung der Daten dar. Die Positionen können nur über Zeitangaben nachgearbeitet werden, die neben den übrigen Daten automatisch digital vom System abgespeichert werden (BERGMANN 1995; NIEMANN 2003).

#### **4.3.5 Fehlereinflüsse**

Das Parasoundsystem ist wie das Hydrosweep-System äußeren Einflüssen wie Hub-, Roll- und Stampfbewegungen ausgesetzt, die berücksichtigt und korrigiert werden müssen. Bei Parasound wird die Hubkompensation von einer automatischen Anlage geleistet, die eine Laufkorrektur für den Sende- und Empfangszeitpunkt liefert. Die Auflösung zwischen den einzelnen Sedimentreflektoren wird aus diesem gemeinsamen Bezugsniveau hergestellt und erreicht eine Genauigkeit von ca. 10 cm (BERGMANN 1995; NIEMANN 2003).

#### **4.3.6 Datenaufbereitung**

Da die Datenaufbereitung des Parasound Datenmaterials nicht vom Autor dieser Arbeit selbst durchgeführt wurde, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen.

### **4.4 Visualisierung der Daten**

Wie bereits zuvor erläutert, liegen die prozessierten und editierten Rohdaten im Ascii-Format in xyz-Form vor und können deshalb systemübergreifend und universell in Geographischen Informationssystemen (GIS) und Geländemodellierungsprogrammen eingelesen werden. Zur Aufbereitung der Daten wurden für die vorliegende Arbeit die Produkte ArcGIS 8 der Firma ESRI sowie Surfer 8 der Firma Golden Software eingesetzt. Hierbei wurde ArcGIS vornehmlich für Analyse, Umwandlungs- und Kartierungsarbeiten eingesetzt, während die Oberflächenmodellierung und Visualisierung mit Surfer umgesetzt wurde.

Aus allen einzeln vorliegenden Datensätzen wurde zunächst ein Gesamtdatensatz erstellt, der die gesamten relevanten Datensätze des Untersuchungsgebietes enthält. Neben Daten der Expedition 2004 wurden hier Daten von Polarsternfahrten aus den Jahren 1999 und 2002 integriert, um eine

größere Abdeckung des Gebietes zu erlangen (vgl. Erläuterungen zur Durchführung der Datenaufnahme in Abschnitt 5.5).

Das zusammengefügte Datenmaterial besteht insgesamt aus 16'410'055 Einträgen, was einer Gesamtmenge von fast 50 Millionen einzelnen Daten entspricht, da jeder Eintrag aus den X- und Y-Koordinaten in dezimalen Gradangaben sowie dem zugehörigen Höhenwert Z in Metern unter dem Meeresspiegel besteht. In ArcGIS wurden diese Daten in einen Punktdatensatz umgewandelt, damit das erhebliche Datenmaterial in einer auch für aktuelle Computersysteme aufwendigen Rechenoperation überhaupt bewältigt werden konnte. Um mögliche Datenunterschiede der einzelnen Expeditionen ggf. auffindig zu machen wurde zusätzlich zu den xyz-Daten die Jahresinformation für jeden Punkt integriert, so dass diese Information bei fraglichen Ergebnissen zusätzlich hinzugezogen werden können. Zudem wird dadurch ersichtlich, welche Daten von dem Autor dieser Arbeit selbstständig erfasst und editiert wurden und welche Daten ergänzend in der Arbeit integriert wurden.

Der erstellte Gesamtdatensatz wurde mit Hilfe der Höheninformationen in ArcGIS analysiert. Durch eine graduelle Darstellung der Höheninformationen wurden anschließend relevante Regionen ausgewählt, die exemplarisch als

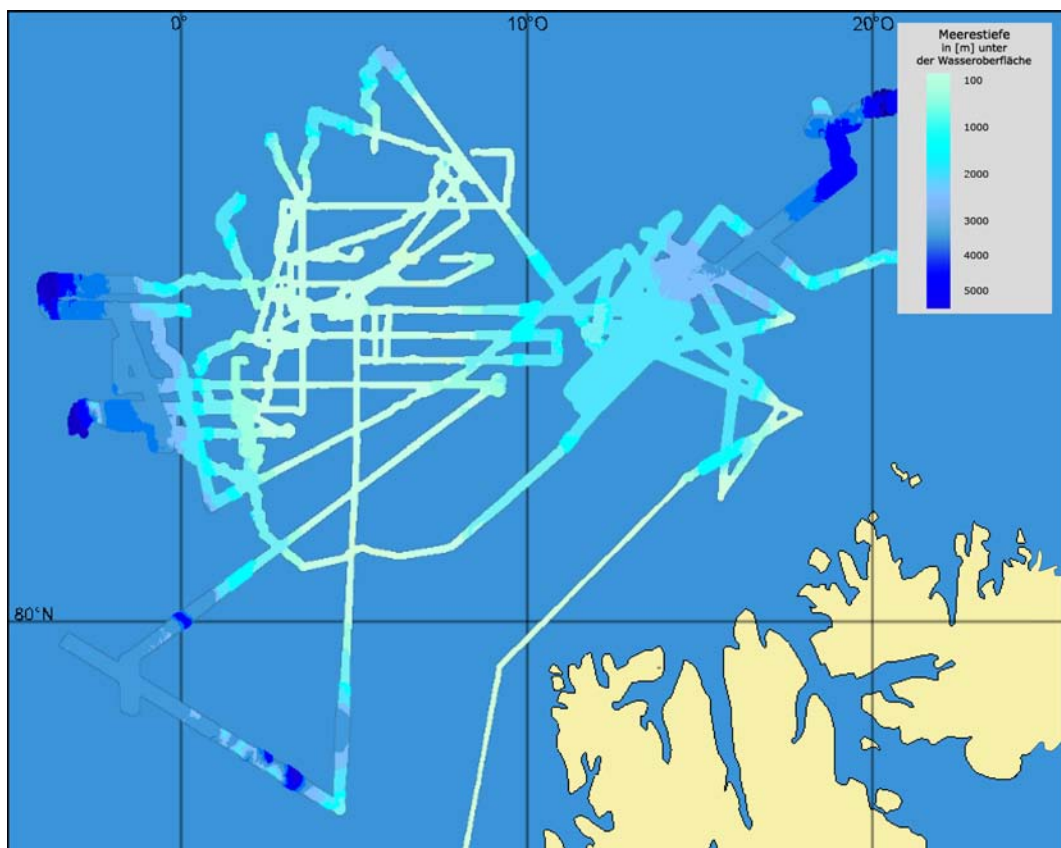


Abbildung 26: Datenübersicht des Untersuchungsgebietes mit Tiefenangaben (Kartengrundlage ESRI 1999)

Fallbeispiele in dieser Arbeit analysiert und interpretiert werden sollen (Abbildung 26). Die drei ausgewählten Fallbeispiele werden im dritten Kapitel, dem Ergebnisteil der Arbeit, näher erläutert.

Damit die Daten effizienter visualisiert werden konnten, wurde das GIS eingesetzt, um aus dem Gesamtdatensatz Datensätze der einzelnen Fallbeispiele zu erzeugen, die jeweils geringere Datenmengen aufweisen und so für eine weitere Oberflächenmodellierung besser verwendet werden können. Dabei wurden in einem ersten Schritt Teildatensätze der drei ausgewählten Regionen als Punktdaten berechnet. Zusätzlich wurden neben den drei Hauptregionen einzelne Gebiete innerhalb dieser Regionen in separate Teildatensätze exportiert. Auf diese Bereiche wird in der Darstellung der Ergebnisse gesondert eingegangen.

Die Teildatensätze konnten dann wiederum auf die notwendige Datenmenge reduziert werden, so dass für die Oberflächenmodellierung lediglich die für den Ausschnitt relevanten Daten zur Umrechnung und Interpolation herangezogen wurden. Die reduzierten Daten bestanden bei den kleinsten Teilgebieten aus ca. 200'000 Datensätzen, wogegen die Übersicht des größten Fallbeispiels immerhin noch ca. 9 Millionen Datensätze aufwies.

Für die Oberflächenmodellierung in Surfer hatte dies zur Folge, dass die kleineren Datensätze mit wesentlich mehr Interpolationsiterationen berechnet werden konnten, so dass diese kleinräumigen Beispielflächen nun eine Darstellung mit einer wesentlich größeren Auflösung bei akzeptablen Berechnungszeiten ermöglichten (die selbst bei kleinen Datensätzen auf einem aktuellen Computersystem mit einem 2 GHz Prozessor immer noch einige Stunden beträgt). Neben der Interpretation der großräumigen Situation der Fallbeispiele können spezifische Besonderheiten des Meeresbodens und mögliche geomorphologische Besonderheiten in diesen hochaufgelösten Darstellungen deutlich besser erkannt werden. Die hochaufgelöste Darstellung ermöglicht außerdem z.B. eine bessere Zuordnung der Parasoundprofile zu den jeweiligen Teilgebieten und können dadurch in direkten Bezug zueinander gesetzt werden.

Durch den Export der Fallbeispieldatensätze in das bereits zuvor verwendete Ascii-Format in xyz-Form wurden die im GIS bearbeiteten Daten in die Modellierungssoftware Surfer importiert. Der Import der xyz-Daten in Surfer erfolgte über den so genannten Kriging Algorithmus, in dem die einzelnen Datensätze in ein Grid (also ein rechteckiges Datenraster) überführt werden.



Kriging ist eine geostatistische Rastermethode, die vorrangige Datentrends zur Interpolation der nicht abgedeckten Bereiche verwendet. Die Genauigkeit dieser Interpolation nimmt mit der Zahl der berechneten Zeilen und Spalten zu. Damit steigt jedoch auch die Zahl der notwendigen Iterationsvorgänge, da sowohl der Trend innerhalb der Zeilen, als auch der Trend innerhalb der Spalten und bei übergreifenden Trends, wie z.B. der diagonale Verlauf eines Rückens, bei der Interpolation berücksichtigt werden müssen. Somit steigt mit der höheren Auflösung auch die Rechenzeit. Zudem muss in diesem Zusammenhang auch berücksichtigt werden, dass die Daten letztendlich im Trend nicht genauer sein können als die Zahl der aufgenommenen Daten (ARMSTRONG 1998; DAVIS 2003).

Die Wahl der Parameter für die Berechnung des Grids, die vor der Umwandlung in Form der Angabe der Zielgeometrien erfolgt, sollte sich also an der Größe des Gebietes, an der generellen Datenabdeckung und der zur Verfügung stehenden Rechenzeit orientieren (Abbildung 27). Außerdem müssen inhaltliche Überlegungen berücksichtigt werden, da großflächige Strukturen bei stärker geglätteten Daten besser zum Vorschein kommen, während höher aufgelöste Darstellungen vor allem zur Betrachtung von Details geeignet sind.

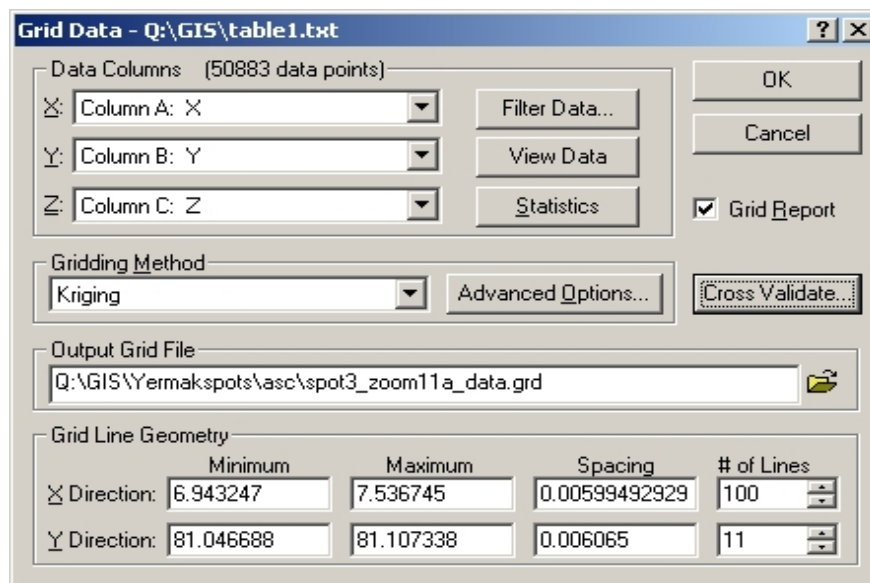


Abbildung 27: Kriging-Optionen zur Griderzeugung im Programm Surfer

Da die aufgenommenen Daten in Bezug auf die jeweiligen Gebiete der Fallbeispiele eine sehr unregelmäßige Datenabdeckung aufweisen, ist Kriging dennoch die beste Rastermethode, um ein flächendeckendes Oberflächenmodell des Untersuchungsgebietes zu erstellen. Interpolierte Gebiete, in denen großflächig nur wenige oder keine Daten vorhanden sind, müssen bei der Interpretation vorsichtig betrachtet bzw. unberücksichtigt gelassen werden.

Alle ausgewählten Datensätze wurden nach der Kriging-Methode in Griddaten umgerechnet. Surfer generiert als Bericht eine detaillierte Übersicht der statistischen Schritte zur Berechnung nach dem Kriging-Algorithmus und dokumentiert auf diese Weise, in welcher Form die bestehenden Daten zur Erzeugung des Oberflächenmodells verwendet wurden (siehe Anhang Teil 1 bis 3). Aus diesen Griddaten wurden anschließend in Surfer Konturenkarten, Gittermodelle, Reliefkarten, Vektorenkarten, 2D-Basiskarten mit einer 2-dimensionalen Darstellung des Höhenreliefs (sog. „Image Maps“ in Surfer) und 3D-Oberflächenmodelle erstellt, anhand derer die folgende Ergebnisdarstellung und Interpretation vorgenommen wurde.

Da das Untersuchungsgebiet sehr weit nördlich liegt, wurde für die kartographische Darstellung und die Oberflächenmodellierung als Grundlage eine polarstereographische Projektion der Daten gewählt. So konnten darstellungsbedingte Verzerrungen minimiert bzw. vermieden werden, die die Interpretation der Daten erschweren (FLACKE & KRAUS 2003).

#### ***4.5 Durchführung der Feldarbeiten***

Die Realisierung dieser Arbeit erforderte vier unterschiedliche Arbeitsphasen: Die erste Phase galt hauptsächlich der Vorbereitung auf das Untersuchungsgebiet und der Einarbeitung in dessen Thematik, sowie dem Erlernen der Arbeitsschritte für die anschließende Datenaufnahme und -verarbeitung. Die tatsächlichen Feldarbeiten (Datenaufnahme) wurden in einer zweiten Arbeitsphase vom 31.8.2004 bis zum 3.10.2004 im Rahmen einer Teilnahme an der Expedition ARKXX/3 auf dem Forschungseisbrecher Polarstern des Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung durchgeführt. Da bereits an Bord Karten für andere Forschungszweige benötigt wurden, erfolgte der der größte Teil der Datenbereinigung während der Expedition. Dort wurden dann erste Karten mit dem Programm GMT erstellt.

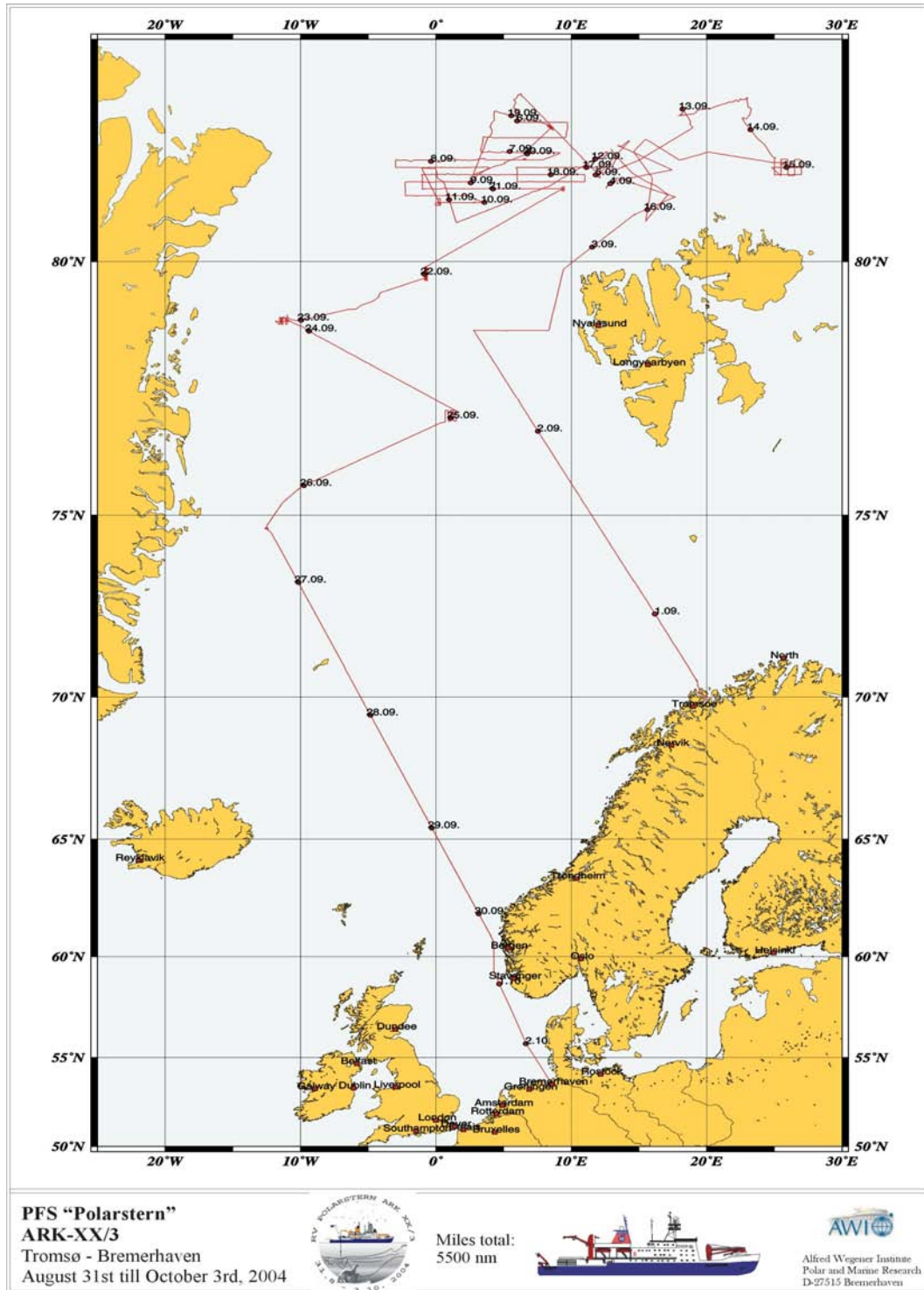


Abbildung 28: Fahrtroute der Expedition ARK XX/3  
(zur Verfügung gestellt vom AWI Bremerhaven, unveröffentlicht)

Die Fahrt führte vom norwegischen Tromsø in nördlicher Richtung nach Spitzbergen. Das Hauptarbeitsgebiet der Forschungsfahrt lag nördlich von Spitzbergen am und auf dem Yermak-Plateau (Abbildung 28).

Der Schwerpunkt des Forschungsprogramm lag auf geophysikalischen und geologischen Untersuchungen, die abwechselnd durchgeführt wurden. Das Gebiet des Yermak-Plateaus ist nahezu ganzjährig mit dichtem Packeis bedeckt, so dass

es normalerweise selbst mit einem Eisbrecher schwierig ist, über das Plateau zu fahren. Die Eisverhältnisse erwiesen sich jedoch als relativ günstig, so dass die Polarstern bis über den 82. Breitengrad vordringen konnte und somit neue Daten von bislang unvermessenen Gebieten gesammelt wurden. Über den gesamten Zeitraum wurden bathymetrische Vermessungen mit dem Hydrosweep-System vorgenommen. Da jedoch andere Forschungsarbeiten im Vordergrund standen, erfolgte die bathymetrische Datenaufnahme nicht in einem systematischen Raster. Die Überwachung der Anlage und der Daten von den drei verantwortlichen Wissenschaftlern (Autor eingeschlossen) über 24 Stunden pro Tag gestaltete sich besonders bei Passagen mit schwerer Eisfahrt als sehr aufwändig.



Abbildung 29: Schwere Eisfahrt während der Expedition ARK XX/3  
Foto: B.PLATTEN 2004

Von den insgesamt 27 Tagen bathymetrischer Datenaufnahme fanden 12 Tage bei schwerem Eisvorkommen statt (Abbildung 29), was häufig zu Fehlmessungen und Systemausfällen führte, die dann korrigiert werden mussten.

Die dritte Arbeitsphase bestand vornehmlich aus der Verarbeitung der aufgenommenen Daten und der anschließenden Erstellung Karten und Geländemodelle. Um möglichst flächendeckende Darstellungen zu erhalten wurden bathymetrische Daten von zwei weiteren Fahrten in das Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1999 und 2002 in die Kartenausschnitte integriert. Durch die Anwendung und Erprobung verschiedener 3D-Modellierungsalgorithmen (vgl. Abschnitt 5.4) wurde versucht, einen optimalen Weg der Datenanalyse zu entwickeln, der möglichst gut verwertbare Ergebnisse für eine geomorphologische Interpretation der Daten erzielt (Abbildung 30).

Die vierte und abschließende Arbeitsphase wurde von der Interpretation und der Diskussion der Arbeitsergebnisse eingenommen.

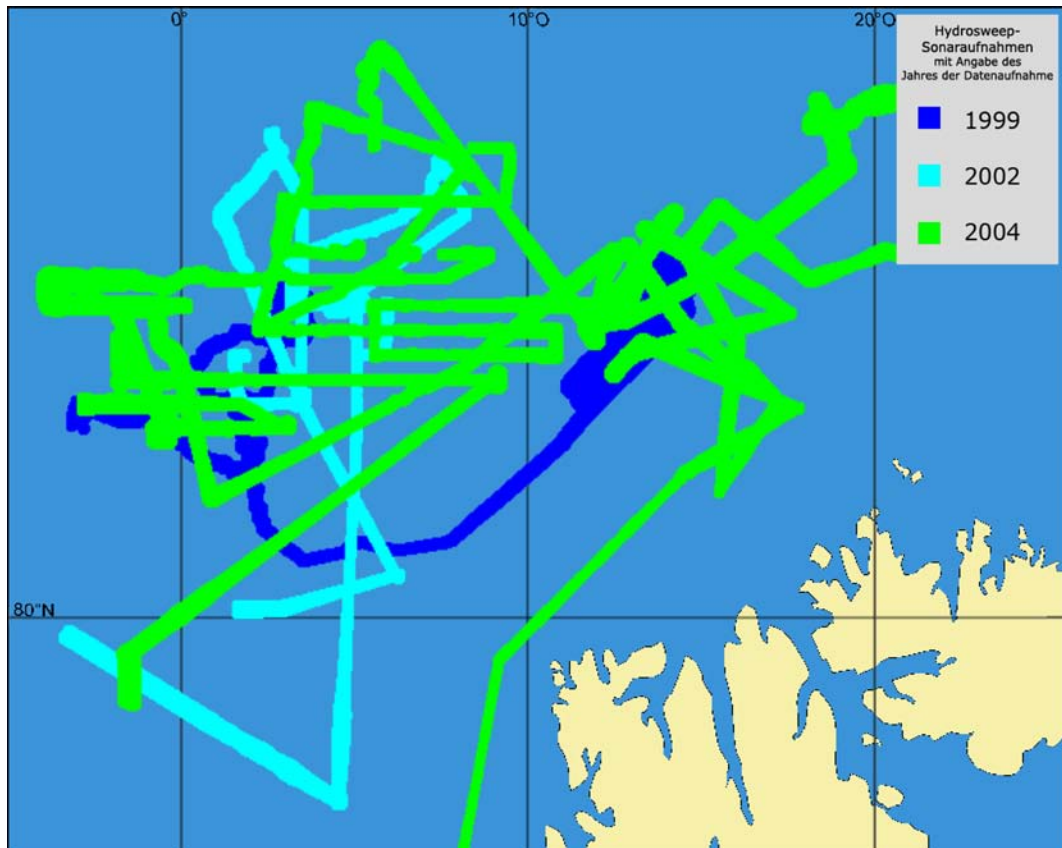


Abbildung 30: Hydrosweep-Daten der Polarsternfahrten vom 1999, 2002 und 2004 (Kartengrundlage ESRI 1999)

### III. ERGEBNISSE

Für die Auswahl der Fallbeispiele gab es im wesentlichen zwei Kriterien: Zum einen wurden inhaltliche Kriterien berücksichtigt, also Gebiete ausgewählt, die sich an der Fragestellung der Arbeit orientieren und die zu einer möglichen Lösung beitragen könnten; zum anderen erschien es sinnvoll, datentechnische Gründe zu beachten. Deshalb wurde versucht, Gebiete zu wählen, von denen möglichst flächendeckendes Datenmaterial vorhanden war, die also großflächig bathymetrisch „kartiert“ wurden, so dass nur wenige Bereiche vom Rechner interpoliert werden mussten.

Die folgenden Oberflächenmodelle und kartographischen Darstellungen stammen aus den eigenen Berechnungen der aufgenommenen Hydrosweep Daten der Polarsternfahrten von 1999, 2002 und 2004 (Abbildung 30). Bei der detaillierteren Auswertung einzelner Teilbereiche der Fallbeispiele wurde Wert darauf gelegt, dass die überwiegenden Daten dieser Teilbereiche von der 2004er Fahrt stammen. Die Berichte der statistischen Berechnungen für die Modellierung der drei Fallbeispiele sind im Anhang (Teil 1 bis 3) dokumentiert.

#### 5 Beschreibung der Fallbeispiele

Das erste Fallbeispiel liegt am westlichen Hang des Yermak-Plateaus zwischen 80.5° bis 81.6°N und 2°W bis 4°O. Die Lage des Fallbeispiels wurde gewählt, weil schon bei der Betrachtung der Übersichtskarte des gesamten Untersuchungsgebietes der deutliche Übergang des marinen Plateaus in die angrenzende Tiefsee zu erkennen war. Aufgrund der starken Hangneigung sind hier interessante geomorphologische Formen zu erwarten.

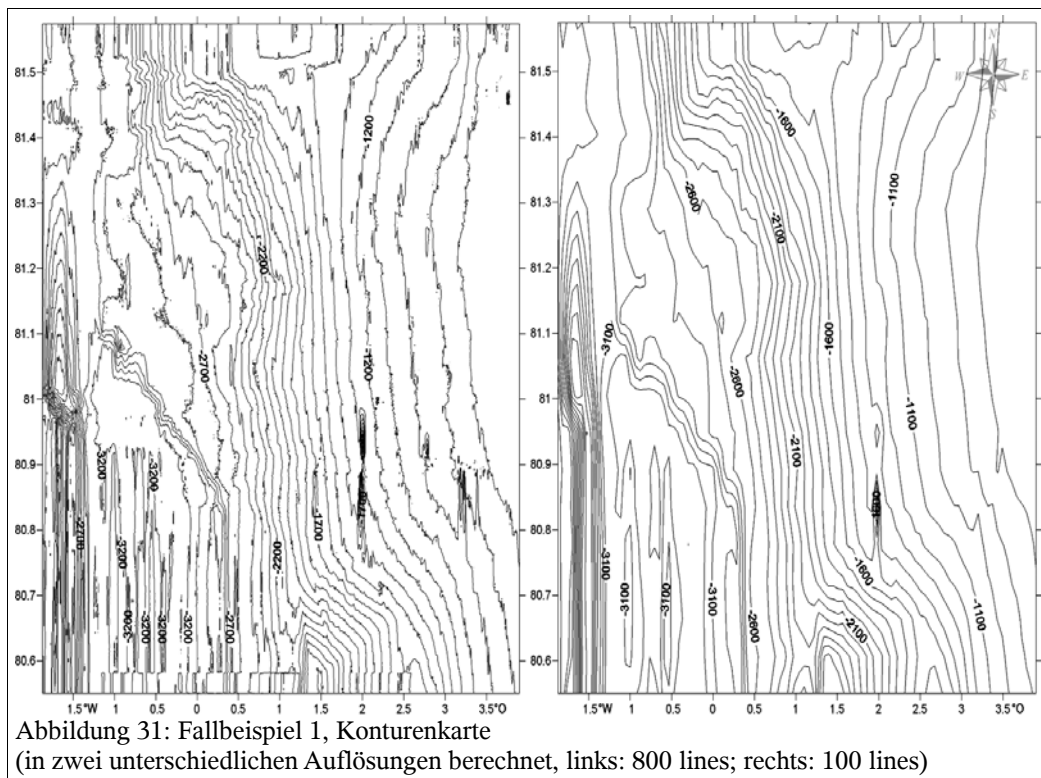
Das zweite Fallbeispiel umfasst in seiner Ausdehnung fast das gesamte Yermak-Plateau. Durch die Auswahl eines solch großen Gebietes können Teilbereiche des Plateaus miteinander verglichen und eventuelle Zusammenhänge bzw. Ähnlichkeiten zwischen diesen Bereichen erkannt werden.

Das dritte Fallbeispiel wurde aufgrund seiner speziellen Lage zwischen dem Yermak-Plateau im Nordwesten und dem Abfall des Spitzbergen-Schelfs zur Tiefsee im Südosten gewählt. Das Gebiet wird auch als Sophia-Becken bezeichnet und könnte wegen der extremen Hangneigung ein Ort von Rutschungen sein.

Die drei Fallbeispiele werden im folgenden jeweils in einer größeren Übersichtskarte dargestellt. Aus diesen wurden systematisch bestimmte

Einzelbereiche (Kartenausschnitte) ausgewählt, von denen wegen der spezifischen geomorphologischen Formen des Meeresbodens und ihrer Lage vermutet wurde, dass sie zur Klärung der Fragestellung dieser Arbeit beitragen könnten. Die Karte auf der die Lage der drei Fallbeispiele und der jeweiligen Kartenausschnitte eingezeichnet sind, ist zum besseren Überblick beim Lesen der Arbeit als herausnehmbare Kartenbeilage im A3-Format beigelegt (Anhang Teil 4).

### 5.1 Fallbeispiel 1



Das Fallbeispiel umfasst den Bereich von 80,5° bis 81,6°N und 2°W bis 4°O.

Ein Vergleich der Konturlinien des Fallbeispiels mit unterschiedliche berechneter Genauigkeit von 800 bzw. 100 Spalten (Abbildung 31) zeigt, dass die höhere Auflösung in diesem Fall nicht zu einem genaueren Bild der Reliefstruktur beiträgt, sondern vielmehr eine unüberschaubare Darstellung liefert. So wurden die grober berechneten Konturlinien über ein Farbraster gelegt, das die Höhen zusätzlich farblich visualisiert (Abbildung 32).

Die Betrachtung der südwestlichen Ecke der Karte lässt deutlich werden, wie stark eine Interpolation von Bereichen, die nicht bathymetrisch vermessen wurden, zu einer Verfälschung der Meeresbodentopographie führen kann. Die Tiefenlinien in Abbildung 32 haben einen Abstand von 100m.

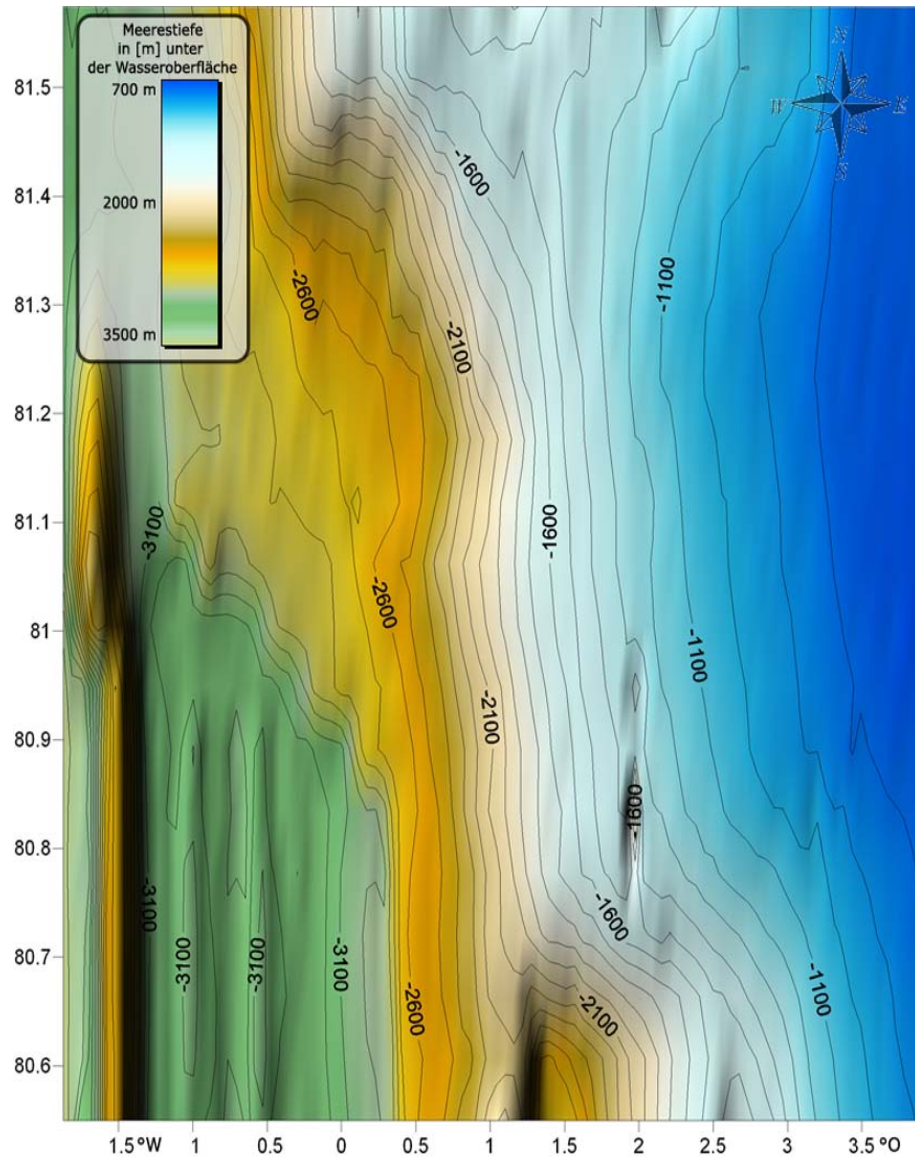


Abbildung 32: Fallbeispiel 1, Übersichtskarte

Die Tiefenlinien fallen in O-W-Richtung von 800m Tiefe bis maximal 3200 m Tiefe ab. Zwischen 4° und 2°O fällt das Yermak-Plateau von 800 m Tiefe langsam bis zu einer Tiefe von 3200 m ab. Um diesen Übergang näher betrachten zu können, wurde in diesem Bereich der erste Kartenausschnitt (Ausschnitt A) berechnet (Abbildung 33).

In westlicher Richtung scharen sich die Tiefenlinien dann von 2°O bis 0.5°O enger und es wird eine Tiefe von 2600 m erreicht. Dabei knicken sie im nördlichen Teil der Karte ab 81.4°N nach Westen hin, im südlichen Teil der Karte ab 80.85°N nach Osten hin ab, um dann jeweils wieder nach N bzw. S längenkreisparallel zu verlaufen. Westlich davon schließt sich ein größerer Bereich an, der nur langsam und in unregelmäßigen Tiefenlinien bis zu 2800 m Tiefe reicht.



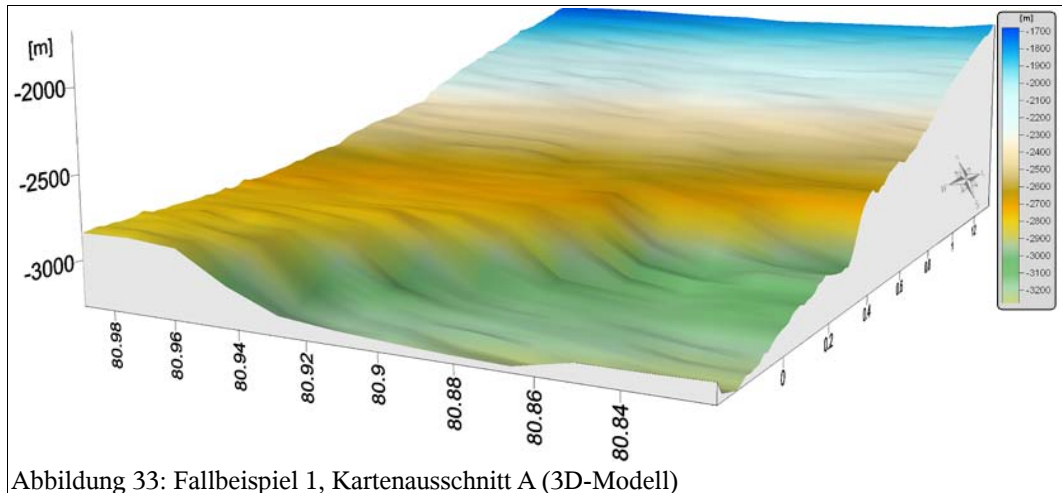


Abbildung 33: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt A (3D-Modell)

Auffällig ist im westlichen Teil der Karte ein nach Westen stark abfallender Bereich, der sich in NW-SO-Richtung von  $81.1^{\circ}\text{N}$  bis zum südlichen Rand der Karte erstreckt. Ein zweiter Kartenausschnitt (Ausschnitt B) wurde im nördlichen Bereich der Karte zwischen  $81.4^{\circ}$  bis  $81.5^{\circ}\text{N}$  und  $2^{\circ}\text{W}$  und  $0.8^{\circ}\text{O}$  ausgewählt, damit man die verschiedenen Tiefenübergänge besser erkennen kann (Kapitel 7.1).

Eine weitere Auffälligkeit befindet sich am westlichen Rand der Karte zwischen  $80.95^{\circ}$  und  $81.05^{\circ}\text{N}$ . Um dieses Gebiet detaillierter zu betrachten, wurde hier der dritte Kartenausschnitt gewählt (Ausschnitt C). In dem Gebiet scheint sich eine Schwelle in N-S-Richtung zu erheben, die von 3200 m Tiefe im Osten auf 2700 m ansteigt, um dann wieder nach Westen hin steil auf 3200 m abzufallen (Abbildung 34).

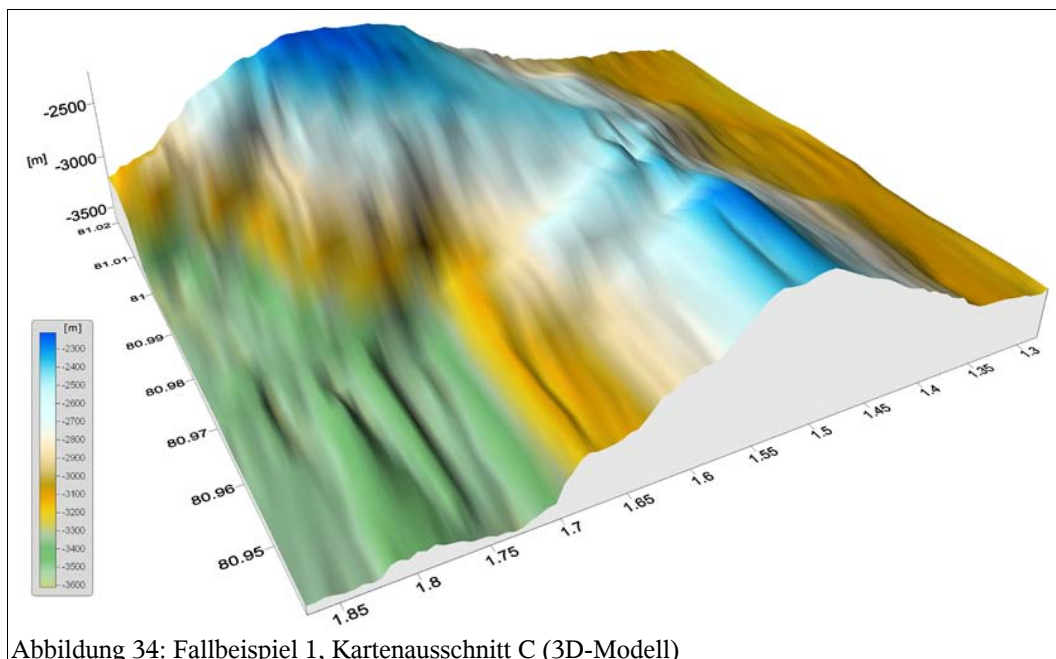
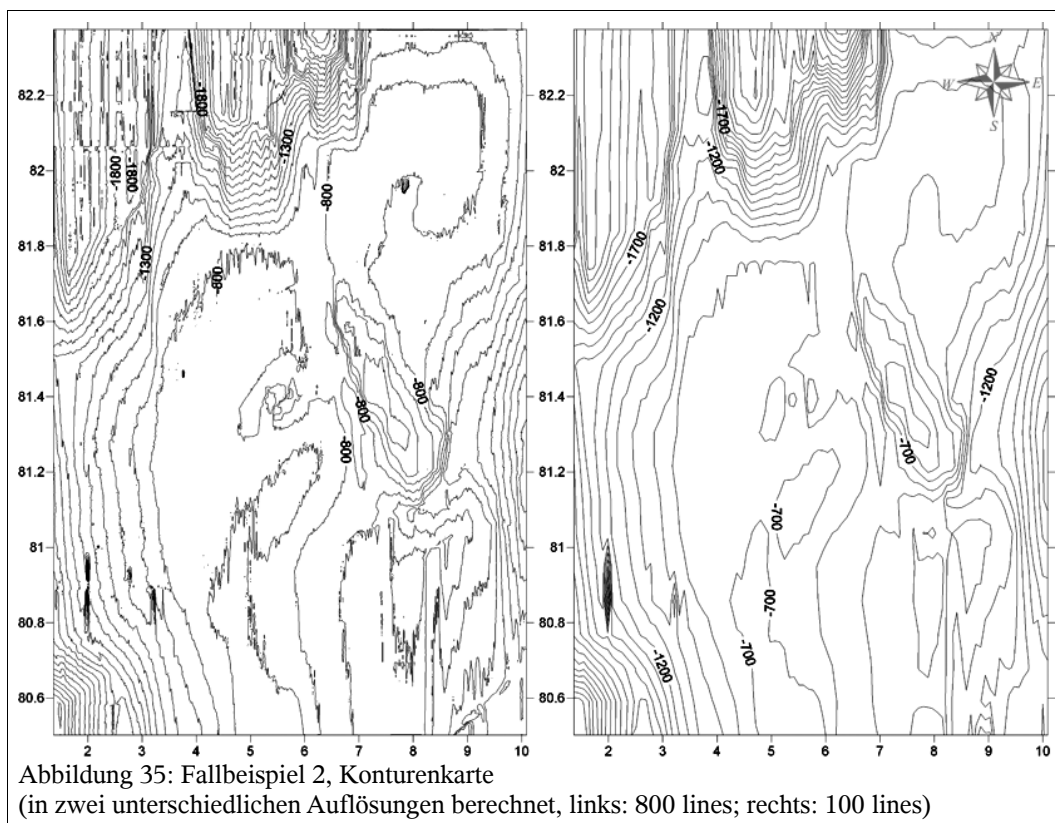


Abbildung 34: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt C (3D-Modell)

## 5.2 Fallbeispiel 2



Wie beim ersten Fallbeispiel wurde auch hier zunächst eine Übersichtskarte mit Konturlinien erstellt, die aufgrund ihrer großen räumlichen Ausdehnung im Vergleich zu den anderen Fallbeispielen die größten Datenlücken aufweist. Die linke Abbildung in Abbildung 35 zeigt eine Karte, die mit hoher Auflösung (800 lines-Raster) berechnet wurde; die rechte Abbildung die gleiche Karte mit geringerer Auflösung berechnet (100 lines). Hier kann man erkennen, dass die Interpolation der großen Datenlücken des Gebietes weniger problematisch zu sein scheint, weil das Yermak-Plateau im wesentlichen nicht stark reliefiert ist.

Die Übersichtskarte des Fallbeispiels reicht von  $80.5^{\circ}\text{N}$  bis  $82.4^{\circ}\text{N}$  und von  $10^{\circ}\text{O}$  bis  $0^{\circ}$ . Die Tiefenlinien zeichnen deutlich ein N-S gerichtetes bogenförmiges Plateau nach, das bei  $81.8^{\circ}\text{N}$  abknickt und weiter nach Nordosten verläuft. Die zentralen Bereiche des Plateau zwischen  $4^{\circ}$  und  $7^{\circ}\text{O}$  im südlichen Bereich und  $7^{\circ}$  und  $9^{\circ}\text{O}$  im nördlichen Bereich der Karte liegen in 700-800 m Tiefe. Insgesamt ist das Plateau nicht stark reliefiert (Abbildung 36).

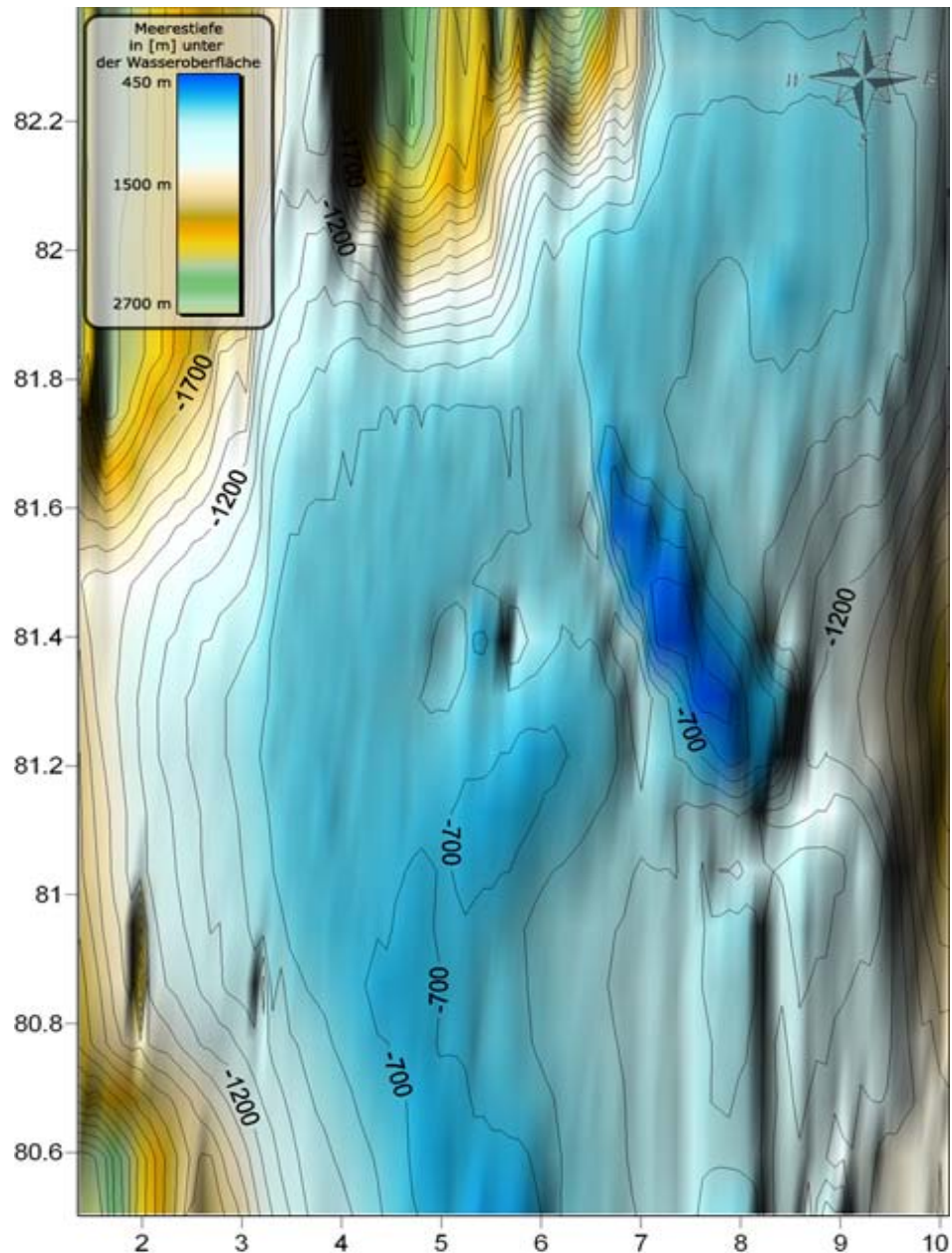
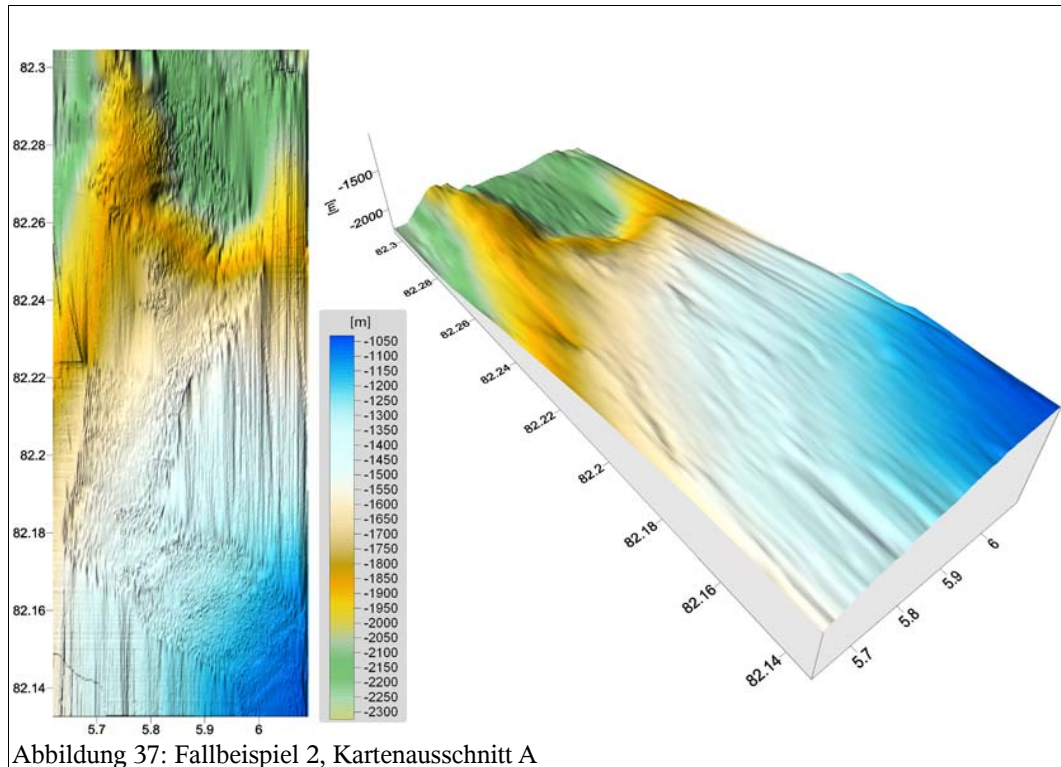


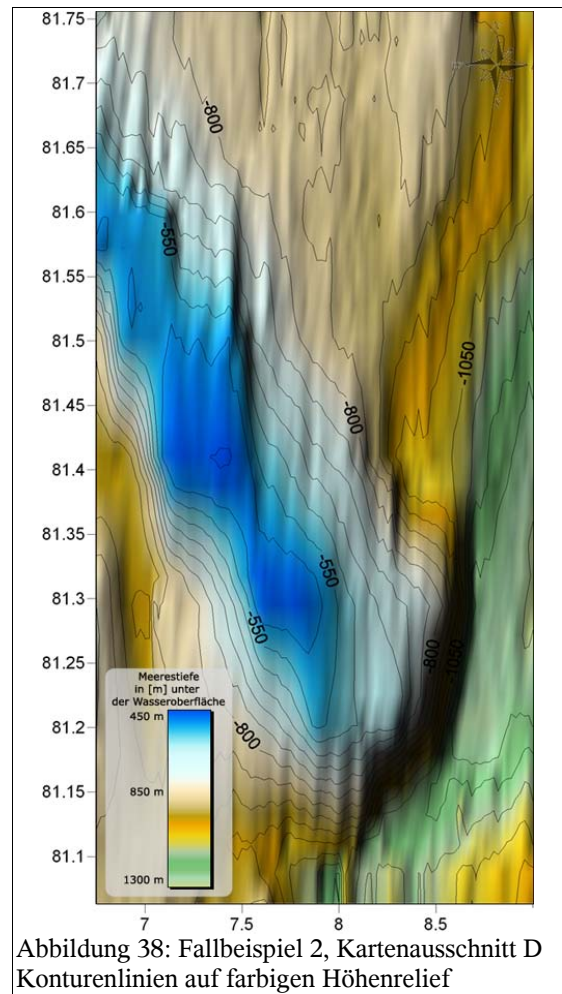
Abbildung 36: Fallbeispiel 2, Konturenlinien auf farbigen Höhenrelief

Es wurden drei kleine Ausschnitte ausgewählt, um auf dem relativ ebenen Gelände auch kleinräumige geomorphologische Formen ausmachen zu können: Kartenausschnitt A befindet sich im nördlichen Bereich des Plateaus zwischen  $82.14^{\circ}$  -  $82.3^{\circ}$ N und  $5.6^{\circ}$  -  $6.1^{\circ}$ O, Ausschnitt B liegt zwischen  $81.25^{\circ}$  -  $81.8^{\circ}$ N und  $3.5^{\circ}$  -  $3.7^{\circ}$ O, Ausschnitt C zwischen  $81^{\circ}$  -  $81.1^{\circ}$ N und  $6.95^{\circ}$  -  $7.5^{\circ}$ O.

In diesen Teilausschnitten sind deutlich lang gestreckte, rinnenförmige Vertiefungen von unterschiedlicher Länge und Breite zu erkennen, die vornehmlich parallel zueinander in N-S-Richtung verlaufen (Abbildungen der Kartenausschnitte B und C in Kapitel 7.2). Der Teilausschnitt A im Norden des Plateaus weist allerdings wesentlich weniger und kleinere bzw. flachere Rinnen auf (Abbildung 37).



Nach Westen und Osten der Übersichtskarte fallen die Tiefenlinien ab  $4^{\circ}\text{O}$  bzw.  $8^{\circ}\text{O}$  (im nördlichen Bereich ab  $9.5^{\circ}\text{O}$ ) eng geschart ab. Besonders im südwestlichen Bereich und im nordwestlichen Bereich sind die zunehmenden Tiefen deutlich sichtbar. Zwischen  $81.2^{\circ}$  bis  $81.7^{\circ}\text{N}$  und  $7^{\circ}$  bis  $8.5^{\circ}\text{O}$  erstreckt sich eine lang gestreckte Vollform, die in SO-NW-Richtung verläuft. Diese Vollform steigt von 700 m bis auf 500 m Tiefe an und ist im vierten Kartenausschnitt D als Konturenkarte (Abbildung 38) und als 3D-Modell (Abbildung in Kapitel 7.2) besonders gut zu erkennen.



### 5.3 Fallbeispiel 3

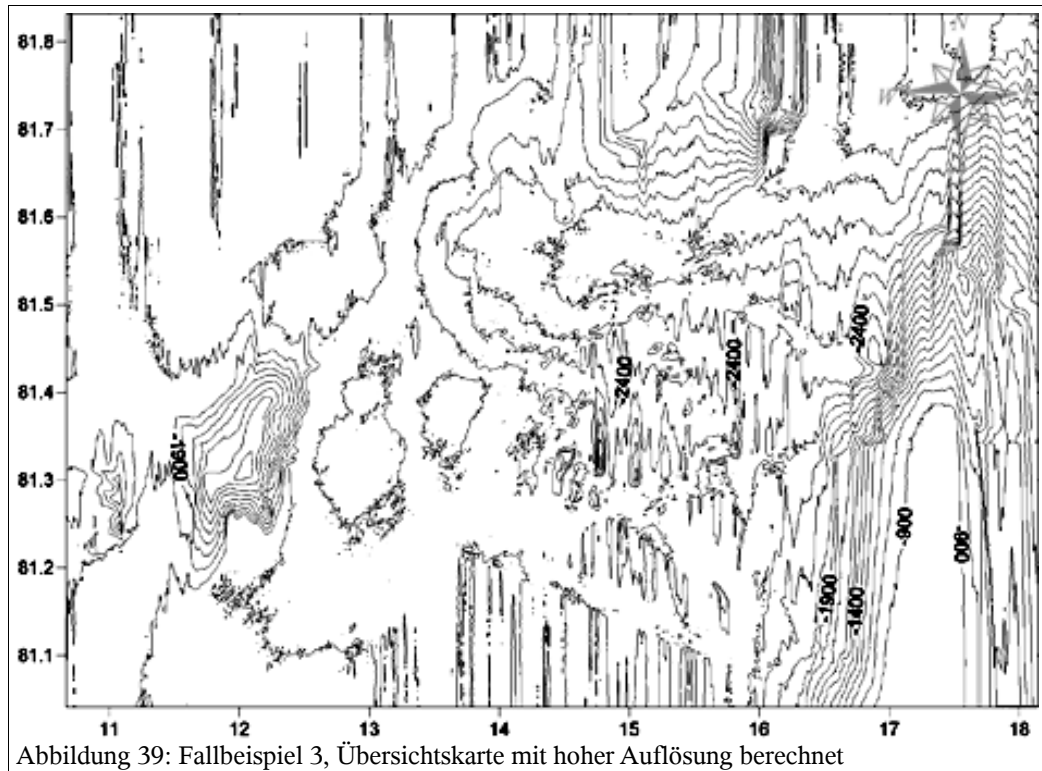


Abbildung 39: Fallbeispiel 3, Übersichtskarte mit hoher Auflösung berechnet

Wie bei den anderen beiden Beispielen wurde vom dritten Fallbeispiel zunächst eine Konturlinienkarte in verschiedenen Auflösungen und Darstellungen angefertigt. Die Karte wurde mit der Berechnung einer hohen Auflösung (800 lines) abgebildet, um das stark zergliederte Gebiet besser erkennen zu können. Vom südwestlichen Bereich bis zum Zentrum der Karte ergaben die vorhandenen Daten ein großflächig abgedecktes Gebiet. Da der Meeresboden hier jedoch schon auf den ersten Blick einen recht zergliederten Eindruck macht, könnten sich bei der Interpretation durch die anderen Bereiche, in denen es Datenlücken gibt, Probleme ergeben (Abbildung 39).

Das dritte Fallbeispiel liegt östlich vom Yermak-Plateau zwischen  $81^{\circ}$  -  $81.85^{\circ}$  N und  $10.5^{\circ}$  -  $18^{\circ}$  O. Die Topographie der Karte erscheint sehr zergliedert. Die Tiefen variieren stark und die Tiefenlinien verlaufen insgesamt sehr unregelmäßig. Im südöstlichen Bereich steigt das Gelände von 2400 m Tiefe steil auf 900 m an (Abbildung 40).

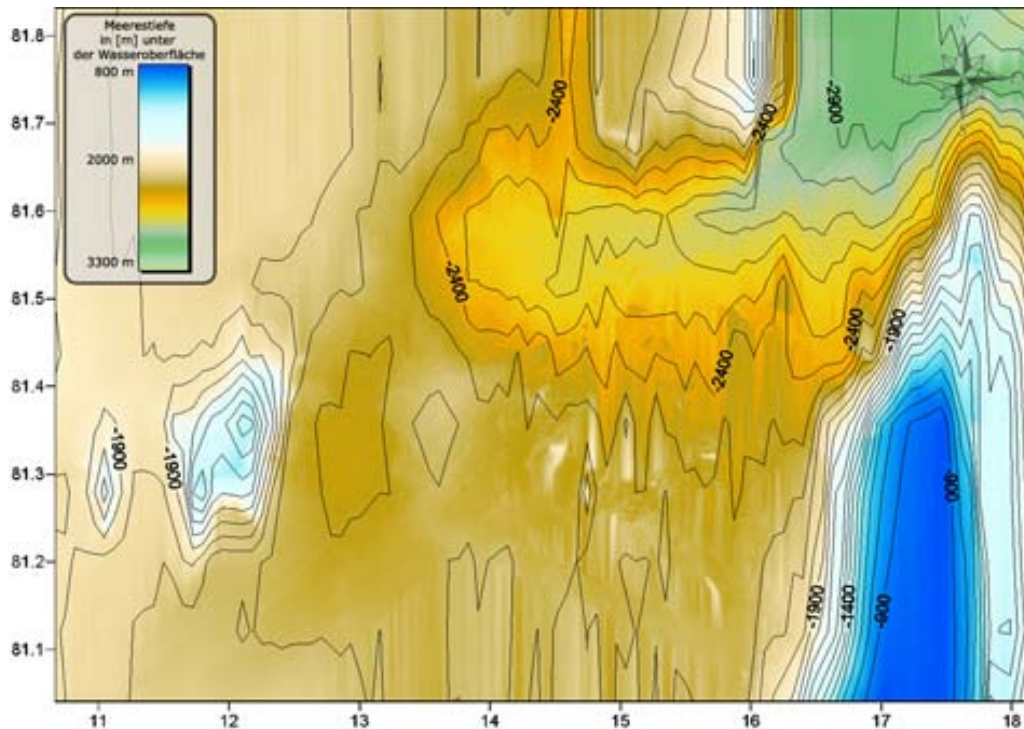


Abbildung 40: Fallbeispiel 3, Konturenlinien auf farbigem Höhenrelief

Der zentrale Bereich der Karte wird von einem stark zerfurchten Gelände mit einer durchschnittlichen Tiefe von 2400 m bestimmt, das in Richtung Nordwesten schwach ansteigt (Kartenausschnitt A, Abbildung 41). In dessen Zentrum befinden sich unregelmäßig gestreute und geformte brockenartige Erhebungen von unterschiedlicher Größe, sowie rinnenartige Strukturen, die von Nord nach Süd verlaufen (Kartenausschnitt B, vgl. Abbildung in Kapitel 7.3).

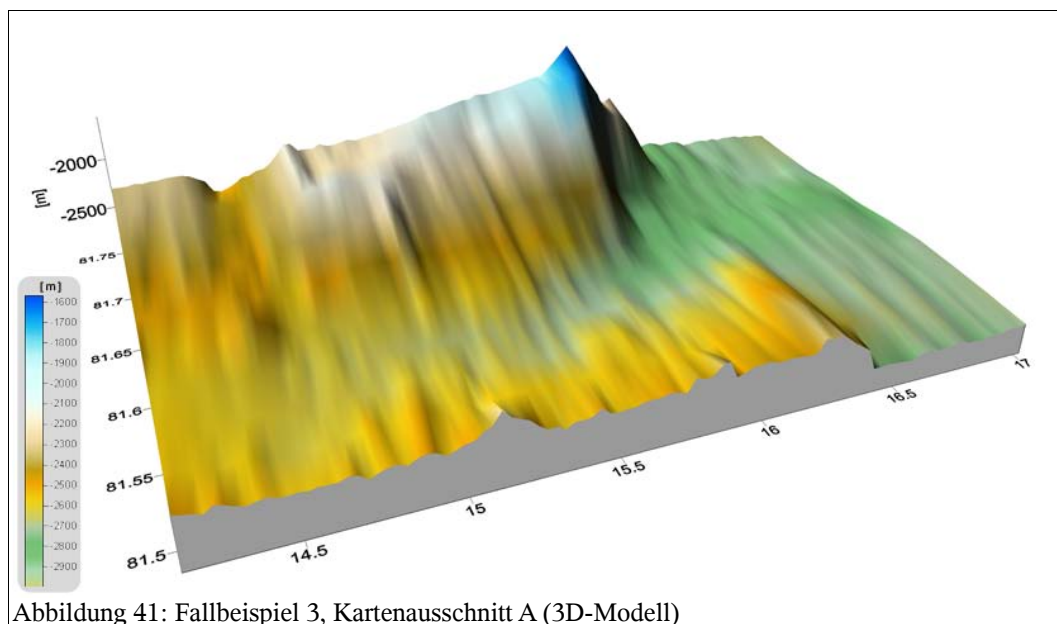
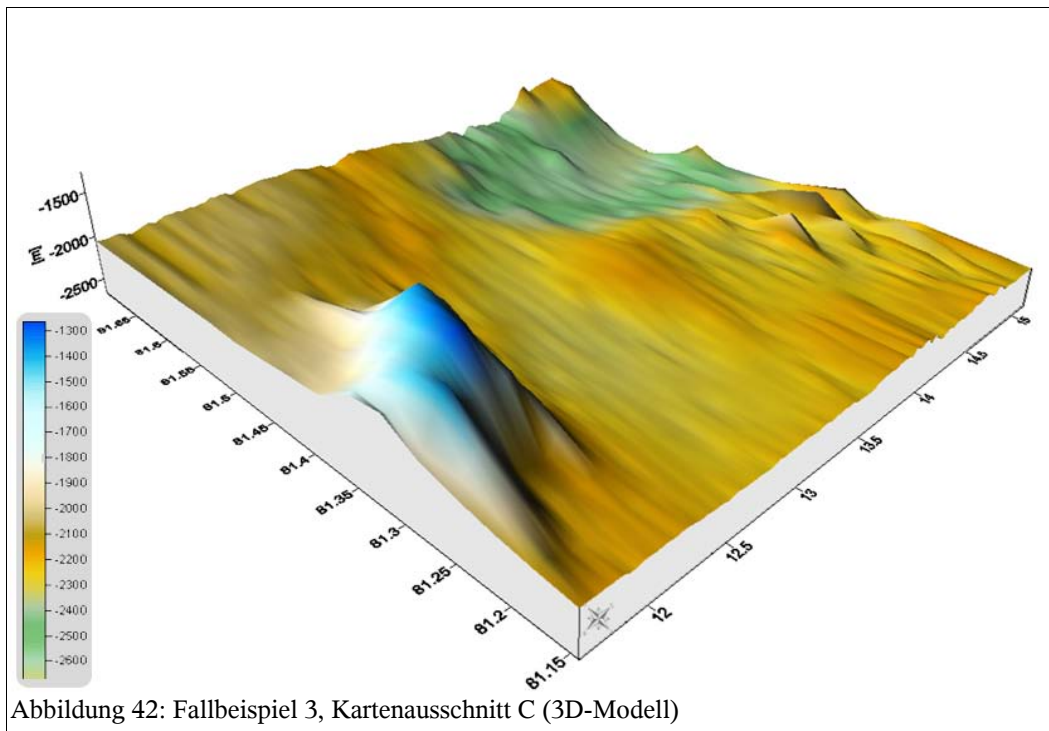


Abbildung 41: Fallbeispiel 3, Kartenausschnitt A (3D-Modell)

Zwischen 81.2° bis 81.4°N und 11.5 bis 12.5°O erhebt sich aus einer Tiefe von 1900 m eine hügelartige unregelmäßig runde Formation bis auf 1400 m Tiefe, die

auf den Kartenausschnitten C (Abbildung 42) und D (vgl. Abbildung in Kapitel 7.3) näher betrachtet wird.



## IV. DISKUSSION

### 6 Fallbeispiele

Anhand der erstellten Karten und der Integration von exemplarischen Parasoundprofilen der Region kann der Autor in Bezug auf die der Arbeit zugrunde liegenden Fragestellung folgende Interpretationen ausführen.

Die Parasoundprofile, die in die Interpretation der Fallbeispiele B und C integriert sind, wurden dem Autor freundlicherweise von Dipl.-Geologe Daniel Winkelmann, Doktorand am AWI Bremerhaven, zur Verfügung gestellt.

#### 6.1 Fallbeispiel 1

Die Übersichtskarte zeigt zwei verschiedene Arten von Tiefenübergängen am Meeresboden: Zum einen Übergang vom Plateaufirst bis zum Plateausockel (Abbildung 43), und zum anderen den Übergang vom Plateausockel zur Tiefsee. Im Fall des ausgesuchten Beispiels ist hier ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Der Übergang vom Plateau zum Plateausockel verläuft in diesem Bereich des Plateau nicht so steil und abrupt wie beim Übergang des Plateausockels zur Tiefsee.

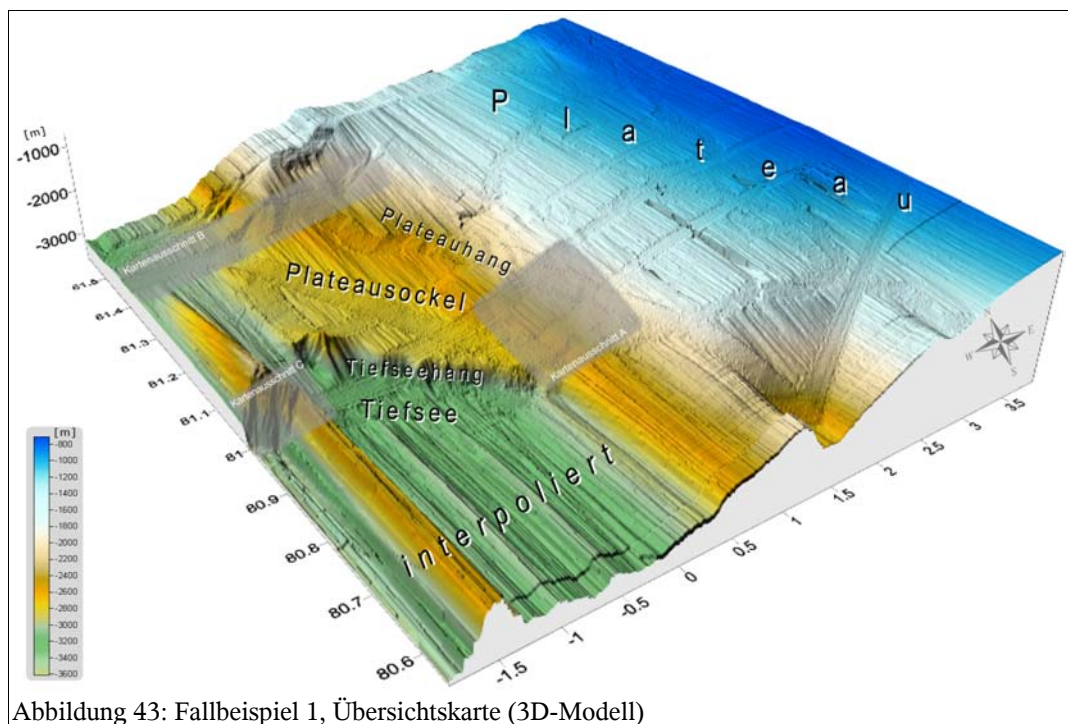


Abbildung 43: Fallbeispiel 1, Übersichtskarte (3D-Modell)



Die beiden Kartenausschnitte A (vgl. Abbildung in Kapitel 6.1) und B (Abbildung 44) verdeutlichen diesen Unterschied. Bei dem großen, westlich vom Plateau gelegenen Bereich, der nur sehr langsam tiefer geht, könnte es sich dementsprechend um den Plateausockel handeln.

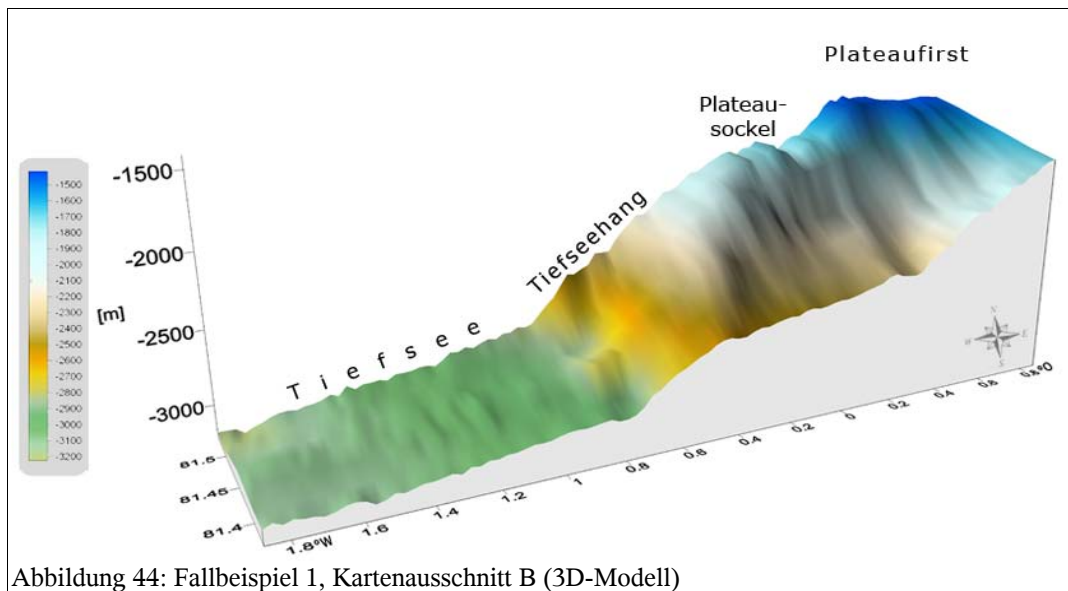


Abbildung 44: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt B (3D-Modell)

Die unterschiedlichen Tiefenübergänge lassen sich mit den Übergängen an Kontinentalschelfen vergleichen (vgl. Kapitel 3.1). In diesem Zusammenhang wäre ein Vergleich von mehreren submarinen Plateaus interessant, um zu untersuchen, ob sich die Übergänge der Plateaus in die umgebenen Gebiete ähneln oder grundsätzliche Unterschiede aufweisen. Das ist im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht zu leisten, zumal hier ein Überblick anstelle vertiefender Fragestellungen behandelt werden soll.

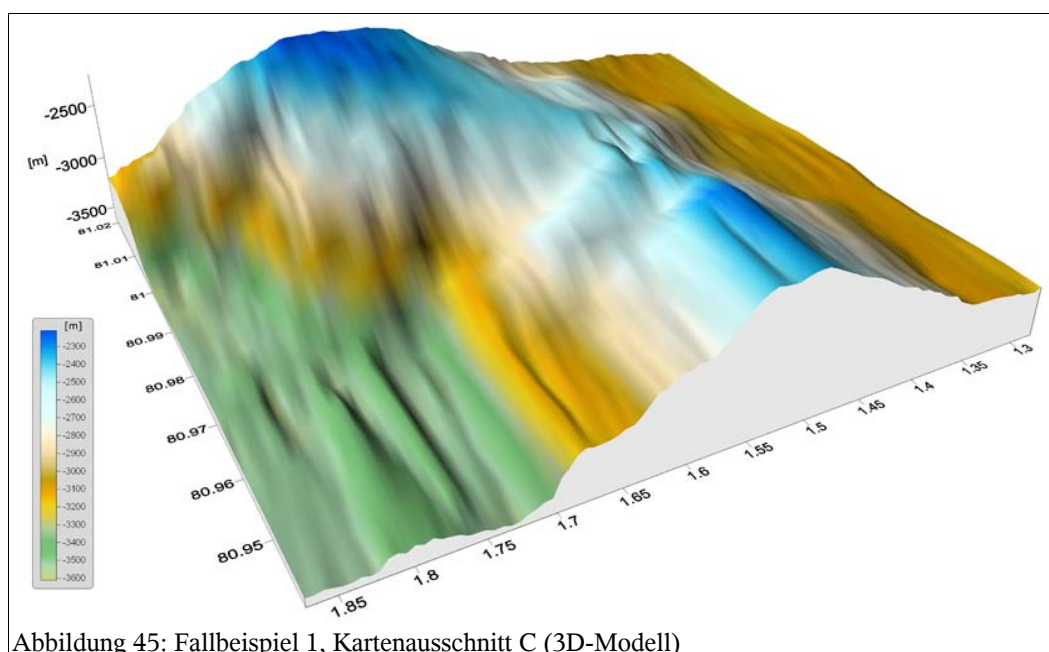


Abbildung 45: Fallbeispiel 1, Kartenausschnitt C (3D-Modell)

Die erkennbare Schwelle im westlichen Bereich der Karte (Abbildung 45), die dann in einem extrem steilen Hang in die Tiefsee übergeht, könnte eventuell den Übergang von kontinentaler zu ozeanischer Kruste markieren.

Die These verschiedener Autoren (EIKEN 1994; MEDOW & JOKAT 2003; RITZMANN & JOKAT 2003; WEIGELT 1998), dass die Sedimente im nördlichen und westlichen Bereich des Plateaus auf ozeanischer Kruste aufliegen und im südlichen Bereich auf kontinentaler Kruste, kann durch die Ergebnisse dieser Arbeit nicht geklärt werden.

## 6.2 Fallbeispiel 2

Fallbeispiel 2 zeigt in der Übersichtskarte nahezu das gesamte Yermak-Plateau (Abbildung 46).

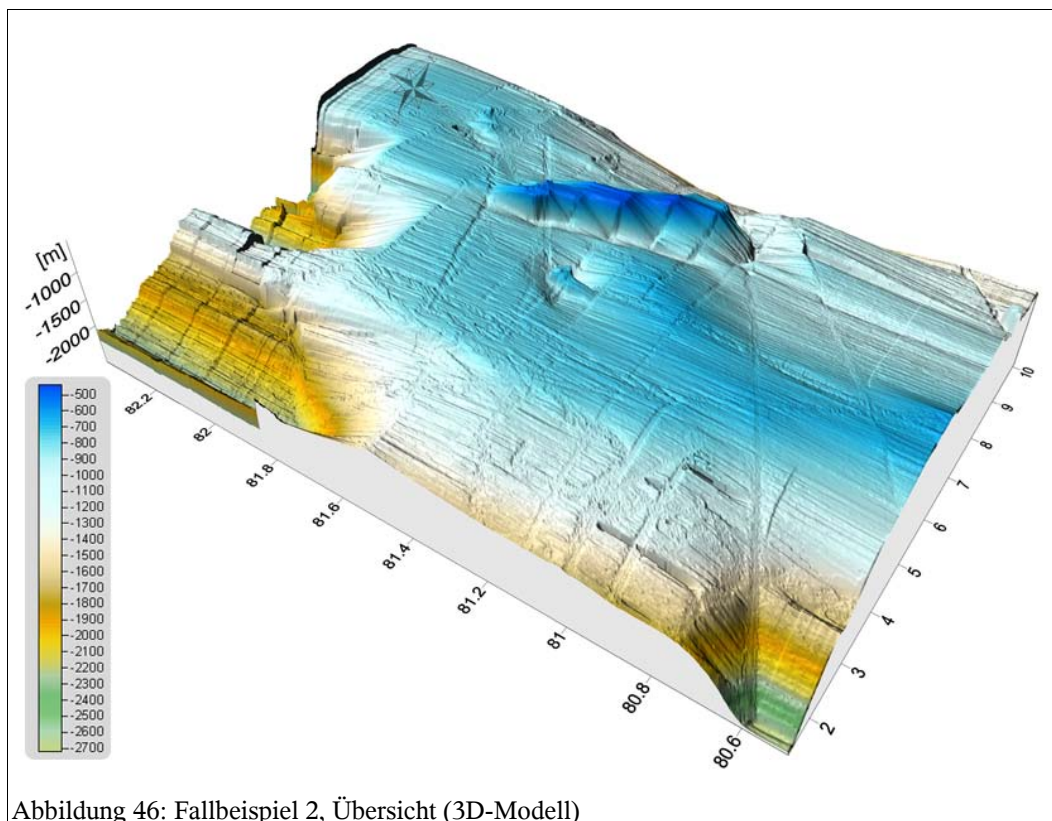


Abbildung 46: Fallbeispiel 2, Übersicht (3D-Modell)

Bei den zahlreichen rinnen artigen Vertiefungen, die auf den Kartenausschnitten A-C zu erkennen sind, handelt es sich vermutlich um Eisbergpflugspuren, die in der Vergangenheit von auf Grund gelaufenen Eisbergen hinterlassen wurden. Sie könnten auch von einem Eisschild verursacht worden sein, der auf dem Yermak-Plateau auflag. Die Existenz von solch großen Eismassen im Bereich des Yermak-Plateaus scheint somit als erwiesen. Während

im nördlichen Bereich des Plateaus bisher nur vereinzelte Eisbergpflugspuren entdeckt wurden (VOGT ET AL. 1994), konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass sich dort auch in größeren Gebieten Eisbergpflugspuren befinden (Kartenausschnitt A, Abbildung Kapitel 6.1).

Auffällig ist jedoch, dass die Rillen im nördlichen Bereich des Plateau wesentlich flacher erscheinen und insgesamt nicht so zahlreich vertreten sind. Im westlichen Teil des Plateaus kann man die Eisbergpflugspuren hingegen sehr gut erkennen. Der

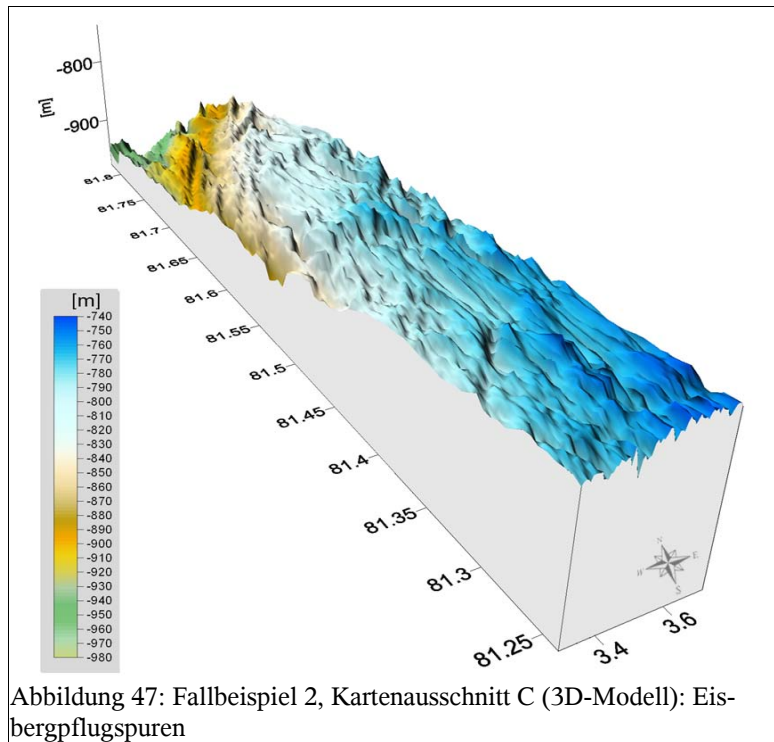


Abbildung 47: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt C (3D-Modell): Eisbergpflugspuren

gesamte Meeresboden ist von ihnen durchzogen (Abbildung 47).

Auch das Parasoundprofil aus dem westlichen Bereich des Yermak-Plateaus zeigt deutlich die Einkerbungen der Eisbergpflugspuren in das vorhandene Sediment. Einige erreichen Tiefen von fast 20 m und belegen dadurch, dass es sich bei den verursachenden Eisbergen um sehr große Exemplare gehandelt haben muss (Abbildung 48)

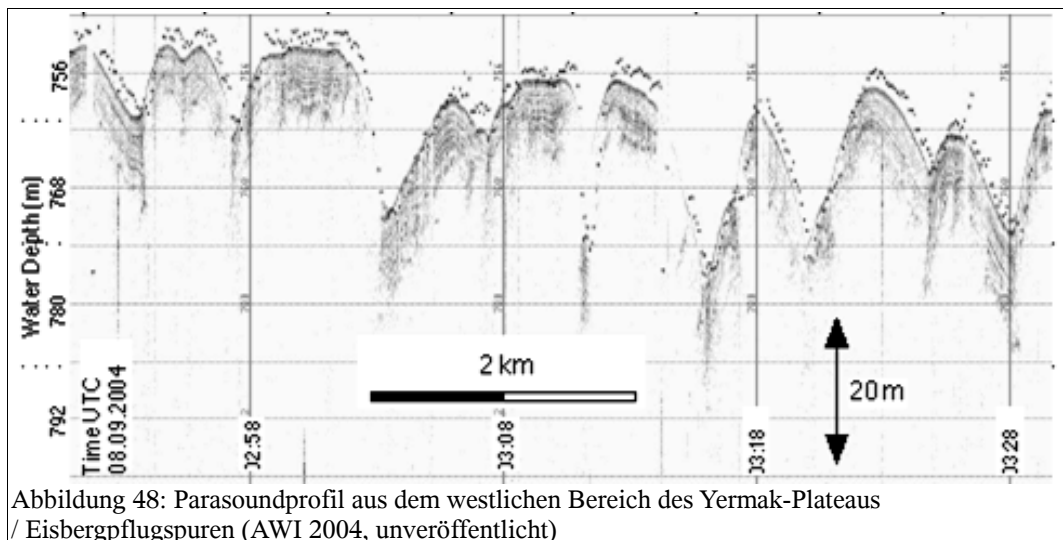
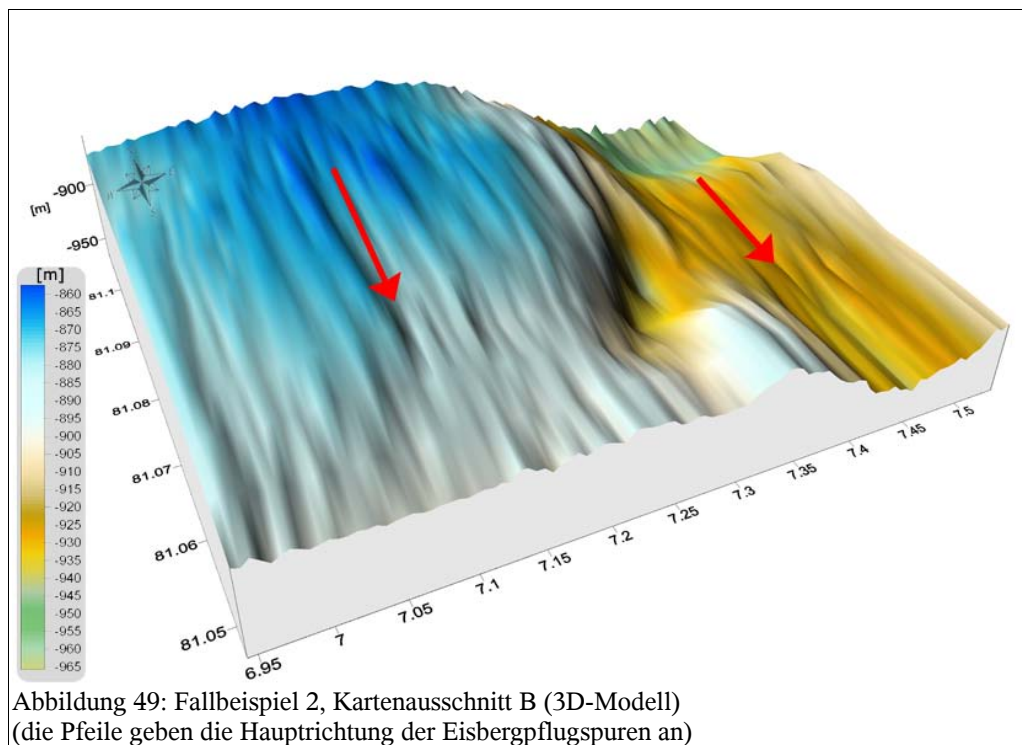


Abbildung 48: Parasoundprofil aus dem westlichen Bereich des Yermak-Plateaus / Eisbergpflugspuren (AWI 2004, unveröffentlicht)

Wie in Kapitel 3.3 ausgeführt, ist es möglich, durch den Verlauf der Pflugspuren die Richtung des zu ihrer Entstehungszeit dort vorherrschenden Eisdriftes festzustellen. Da die Pflugspuren überwiegend eine N-S-Ausrichtung aufweisen, kann man davon ausgehen, dass sich die Eismassen in einer N-S-Richtung, dem Verlauf des Plateaus folgend, über das Plateau bewegten (Abbildung 49).



Der Nachweis der zahlreichen Eisbergpflugspuren im Rahmen dieser Arbeit stützt also die These, dass in der Vergangenheit massive Eisschilde oder zumindest Eisberge existierten, die bis auf den Grund des Plateaus Spuren hinterließen (FLOWER 1997; GROSSWALD & HUGHES 1999; HARLAND 1997; POLYAK ET AL. 2001; VOGT ET AL. 1994).

Die lang gestreckte Erhebung im Osten des Plateaus in Kartenausschnitt D, könnte ein Teil vom Grundgebirge des Plateaus sein, der nicht bzw. nur teilweise von Sediment bedeckt ist (Abbildung 50). Vor allem die Form lässt darauf schließen, dass es sich um Grundgebirge und nicht um eine Formation vulkanischen Ursprungs handelt. Der Autor vermutet, dass es sich dabei auf die bei EIKEN 1994 und WEIGELT 1998 erwähnte Sverdrup-Bank handelt, die nicht von Sedimenten überlagert ist. Die Tatsache, dass es auf dem Plateau einen Aufschluss von Grundgebirge gibt, stützt die These, dass das Plateau von mächtigen Sedimentschichten bedeckt ist, die das restliche Grundgebirge verdecken.

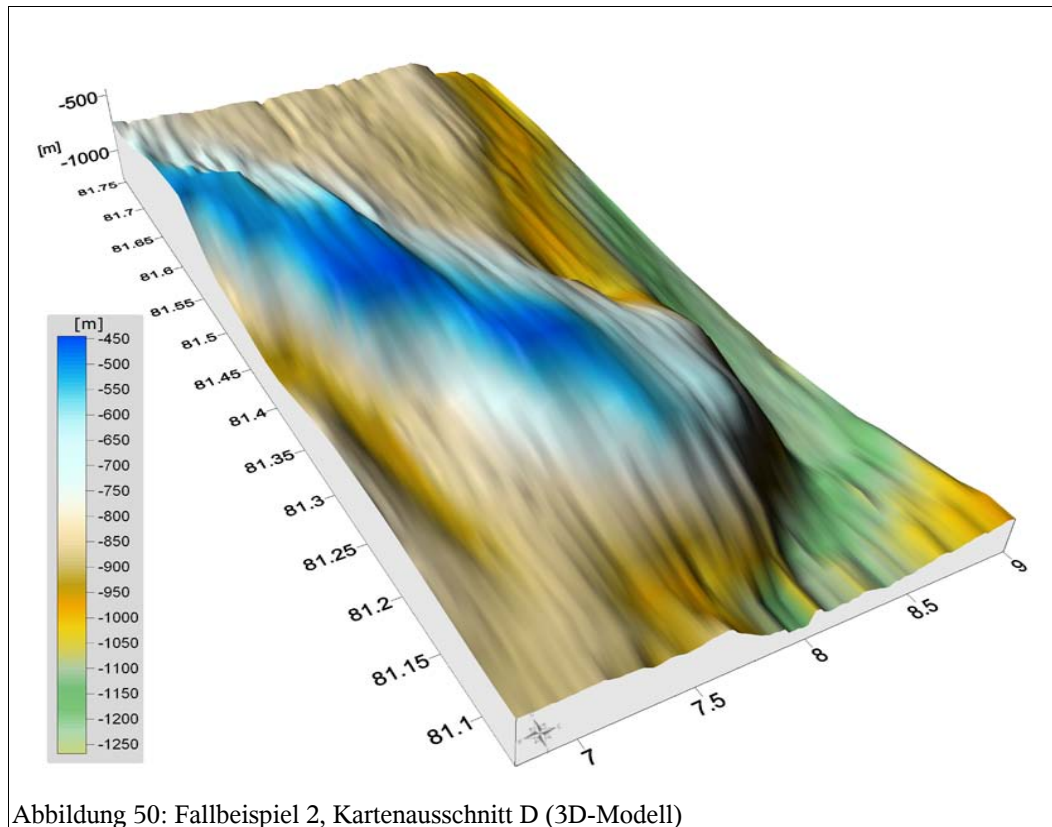


Abbildung 50: Fallbeispiel 2, Kartenausschnitt D (3D-Modell)

Auch die in dieser Arbeit ausgeführten Untersuchungen der Meeresbodentopographie konnten keine Hinweise auf die frühere Theorie, der nördliche Teil des Yermak-Plateau sei durch vulkanische Aktivitäten entstanden, bringen. Es konnten keine oberflächlichen geomorphologischen Formen entdeckt werden, die vulkanische Prozesse belegen könnten. Deshalb schließt sich der Verfasser dieser Arbeit den Ausführungen der Autoren an, die eine vulkanische Aktivität im nördlichen Bereich des Plateaus für unwahrscheinlich halten (EIKEN 1994; MEDOW & JOKAT 2003; RITZMANN & JOKAT 2003; WEIGELT 1998).

### 6.3 Fallbeispiel 3

Beim dritten Fallbeispiel handelt es sich um ein submarines Becken, das zwischen dem südöstlichen Hang des Yermak-Plateaus und dem Kontinentallhang des Schelfgebietes von Spitzbergen liegt (Abbildung 51).

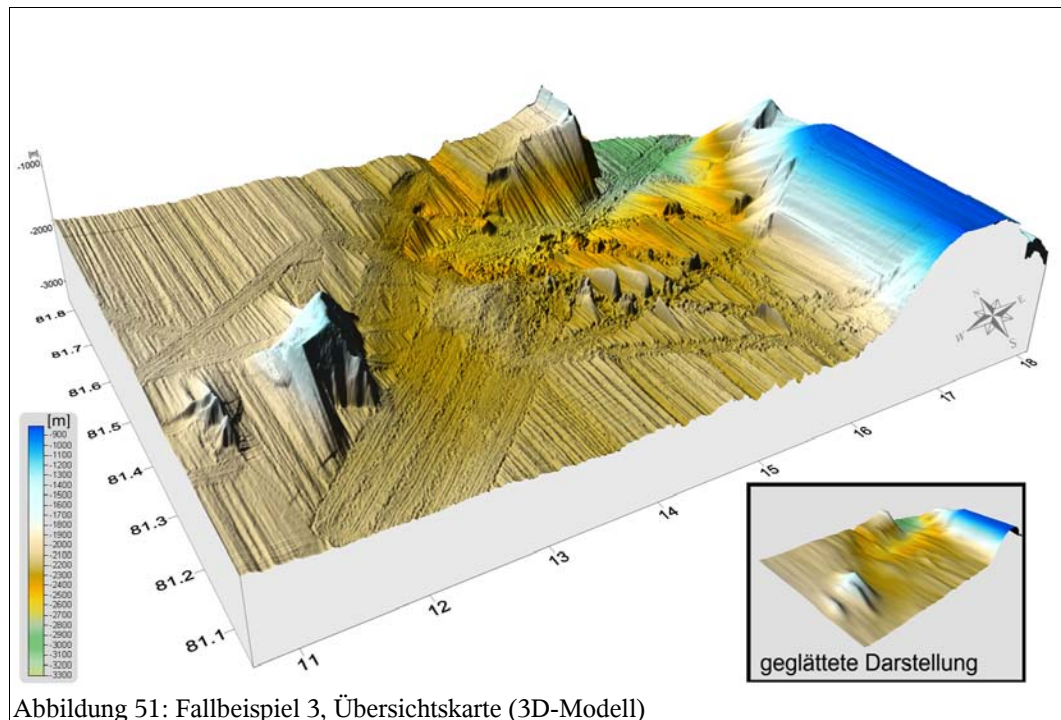


Abbildung 51: Fallbeispiel 3, Übersichtskarte (3D-Modell)

Durch die steile Topographie rund um das Becken liegt es nahe, dass sich hier in der Vergangenheit, aber auch in der Gegenwart, großflächige Rutschungen der umliegenden Hänge ereigneten. Um diese These zu bekräftigen ist es notwendig, zumindest die Sedimentschichtung des Beckens zu kennen. Daher wird ergänzend ein Parasoundprofil mit in die Interpretation einbezogen (Abbildung 52).

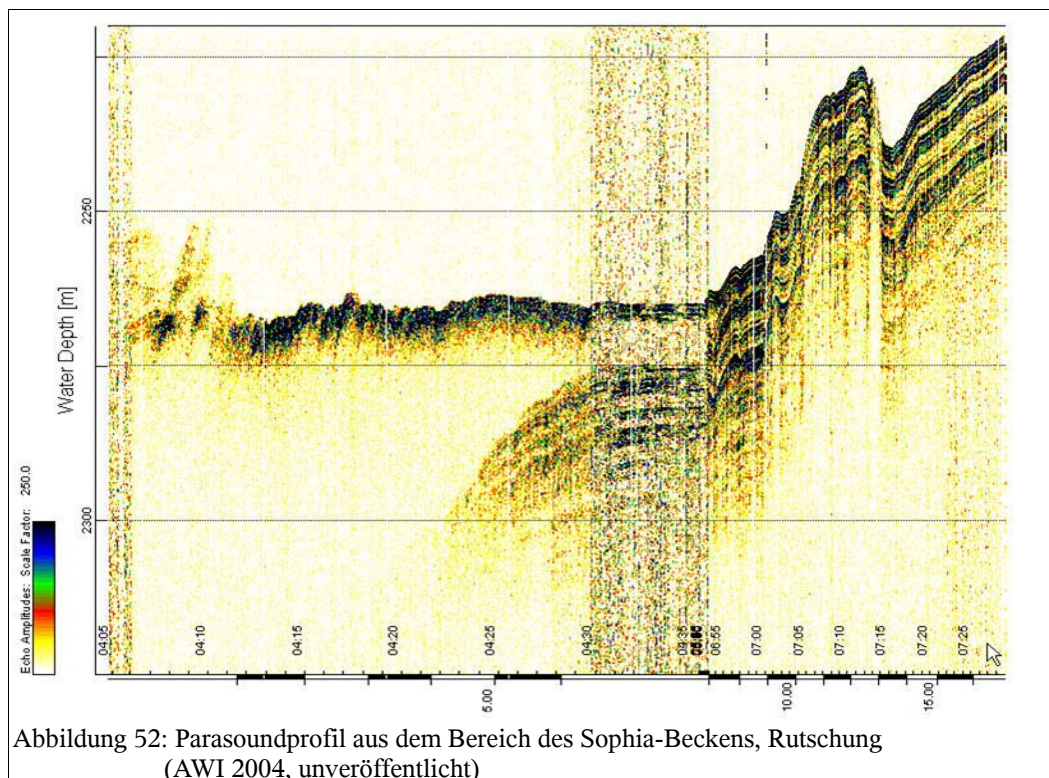


Abbildung 52: Parasoundprofil aus dem Bereich des Sophia-Beckens, Rutschung (AWI 2004, unveröffentlicht)

Die im Profil erkennbare extreme Sedimentmächtigkeit haben bereits GEISSLER & JOKAT (2004) an geophysikalischen Sedimentprofilen von bis zu 9 km Mächtigkeit als Hinweis für eine Massenrutschung im Sophia-Becken angeführt.

Außerdem zeigt sich die Überlagerung eines Hangbereiches mit neuen Sedimenten. Dies führt zu der Annahme, dass es sich bei dem Sedimentmaterial um umgelagertes Material aus einer Rutschung handelt, das im Becken zur Ablagerung von Turbidit geführt hat. Die Ausführungen von KNIES ET AL. (2002) und RUIKKA & STRAND (2002) zur Ablagerung von Turbiditen im Arktischen Ozean können durch die Ausführungen dieser Arbeit sehr wahrscheinlich auf das Yermak-Plateau, zumindest aber auf das Sophia-Becken übertragen werden.

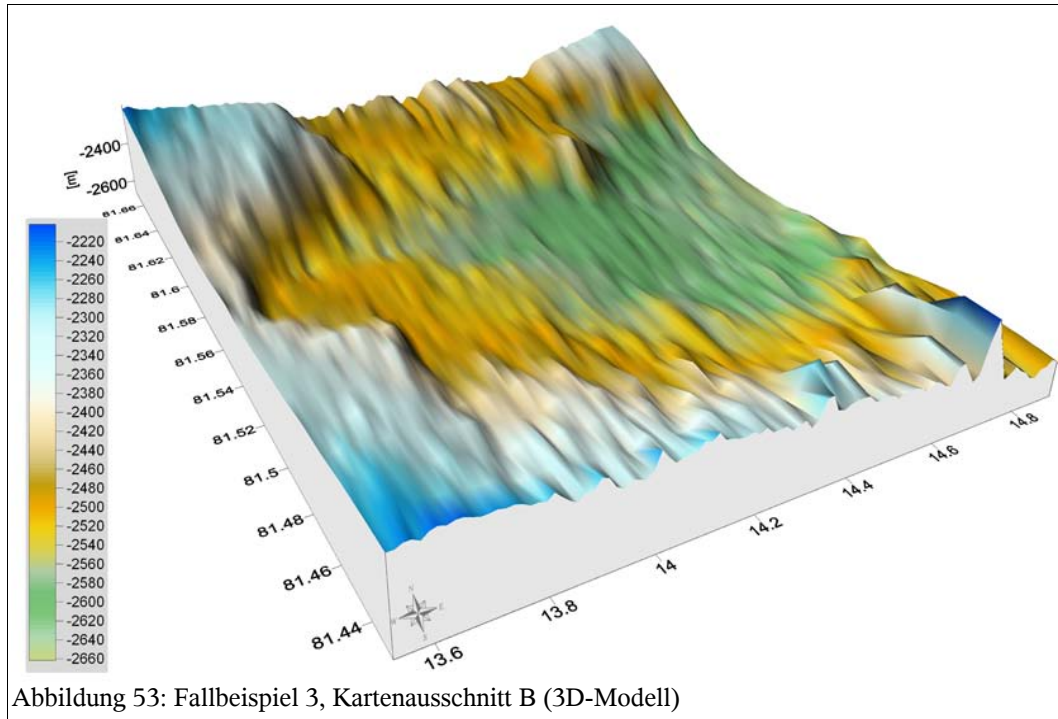
Um jedoch eine eindeutige Aussage über den Ursprung und die Beschaffenheit der Rutschung treffen zu können, müssen Sedimentprofile untersucht werden, die die Schichtung des Sedimentmaterial zeigen. Solche Profile, die während der Fahrt ARK XX/3 genommen wurden, werden zur Zeit im Rahmen einer Doktorarbeit am AWI eingehender untersucht.

Bei den unregelmäßigen „Brocken“ im Zentrum des Beckens, die man in der Konturenkarte oder der Übersichtskarte erkennt, könnte es sich um durch die Rutschungsmasse mitgerissene Gesteinsbrocken handeln. In der hochaufgelösten Konturenkarte scheint der Meeresboden dort regelrecht übersät mit unregelmäßig geformten Brocken.

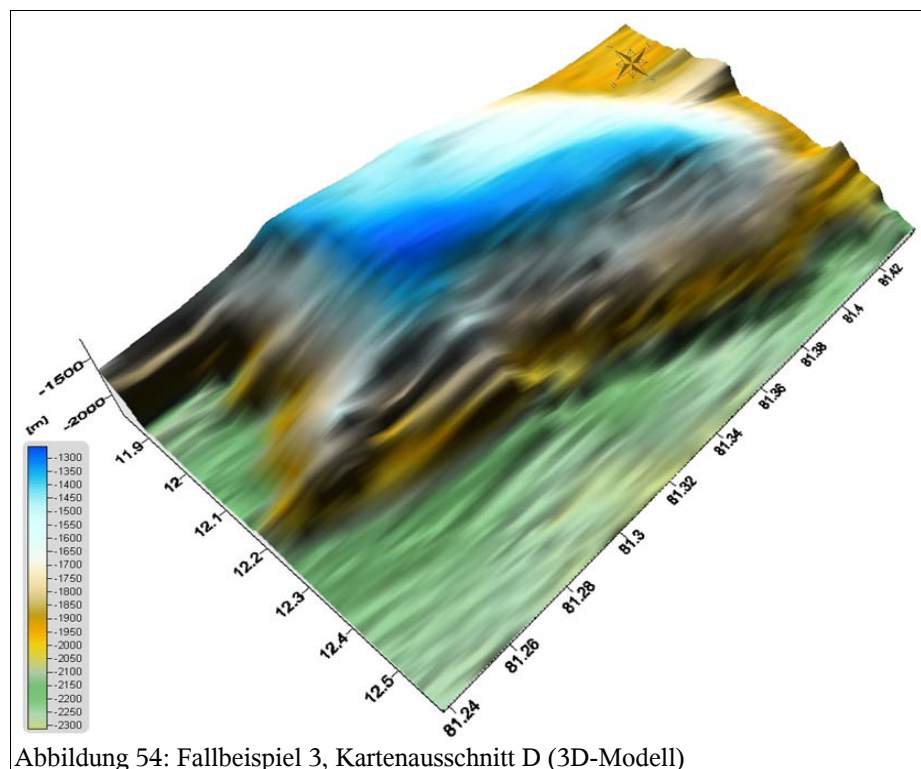
Eine mögliche Ursache für die Entstehung der Rutschungen im Sophiabecken kann man mit der Entstehung der Eisbergpflugspuren in Verbindung bringen. Es wäre möglich, dass die Sedimente, die sich während der Warmzeiten auf dem Yermak-Plateau ablagerten, in Kaltzeiten von den Eismassen über das Plateau geschoben wurden und die Plateauhänge herabrutschten. Gleichzeitig könnten sich solche Rutschungen auch am Kontinenthang von Spitzbergen, also im östlichen Bereich des Beckens, ereignet haben.

Kartenausschnitt B zeigt den rinnenförmigen nördlichen flach abfallenden Ausgang des Becken und verdeutlicht durch die starke Hangneigung im Nordwesten des Ausschnitts das große Potential für Rutschungen und Suspensionsströme (Abbildung 53).

Bei den Erhebungen im südwestlichen Bereich der Übersichtskarte handelt es sich wahrscheinlich um so genannte Tiefseehügel (eng.: *seamount*). Tiefseehügel sind meist vulkanischen Ursprungs und heben sich deutlich vom umgebenden Meeresboden ab. Die rundliche Form und die Höhe der Erhebungen von 300 m



bzw. 600 m über der Umgebung lässt auf eine vulkanisch entstandene Form schließen. Die Kartenausschnitte C (Abbildung in Kapitel 6.3) und D (Abbildung 54) verdeutlichen noch einmal den starken Anstieg des östlichen und größeren der beiden Tiefseehügel aus der flachen Umgebung und lassen eine relativ gleichmäßige Form erkennen. Falls es sich tatsächlich um Tiefseehügel vulkanischen Ursprungs handelt, würde das bedeuten, dass zumindest die





südöstliche Umgebung des Yermak-Plateaus in der Vergangenheit von vulkanischen Prozessen geprägt wurde.

## **7 Allgemeine Erkenntnisse**

Die Bathymetrie konnte im Rahmen dieser Arbeit dazu beitragen, dass relevante Gebiete ausgewiesen wurden, an denen vertiefende geomorphologische Arbeiten zur weiteren Erforschung der komplexen Thematik durchgeführt werden sollten.

### **7.1 Geomorphologische Erkenntnisse**

Es konnten mehrere geomorphologische Erkenntnisse gewonnen werden, die Überlegungen anderer Arbeiten zur Thematik bestätigen und unterstützen bzw. beweisen.

Der Übergang von kontinentaler zu ozeanischer Kruste im Bereich des westlichen Plateausockels des Yermak-Plateaus durch die Existenz einer Tiefseeschwelle ist wahrscheinlich (vgl. Kapitel 7.3).

Im nördlicheren Bereich des Plateaus existieren weniger und flachere Eisbergflugspuren als im südlichen Bereich des Plateaus, diese sind aber deutlich zu erkennen.

Durch die gemeinsame Existenz von Eisbergflugspuren und von Turbiditen gibt es konkrete Hinweise auf ein bestimmtes Ablagerungsschema, wie z.B. das Ablagern der Sedimente in Warmzeiten und das Abtragen in Kaltzeiten.

Der hauptsächliche Verlauf der Eisbergflugspuren von Nord nach Süd lässt auf einen Eisdrift der Eismassen, die die Eisbergflugspuren verursachten, in derselben Richtung schließen.

Im Bereich der Sverdrup-Bank besteht das Yermak-Plateau aus Grundgebirge, das von mächtigen Sedimentschichten überlagert ist.

Es gibt keine Hinweise auf vulkanische Aktivitäten im nördlichen Bereich des Plateaus. Dagegen lässt die Existenz von Tiefseehügeln im Bereich des Sophia-Beckens zumindest auf vulkanische Aktivitäten in der Umgebung des Yermak-Plateaus schließen.

## **7.2 Technische Erkenntnisse**

Für die gesamte Forschung im Bereich der Geomorphologie des Meeresbodens ist es unerlässlich, systematisch lückenlose und hochauflösende Daten aufzunehmen, da es durch die Interpolation zu ungenauen oder sogar falschen Interpretationen kommen kann. Kleinere Lücken in der Datenaufnahme können durch den Algorithmus nach der statistischen Kriging-Methode gut und zuverlässig abgedeckt werden, während größere Lücken (vor allem in den Randbereichen der großräumigen Darstellungen der Beispielgebiete) durch diesen Algorithmus nur unzureichend berechnet werden.

Eine genauere Interpretation z.B. bezüglich des Alters der Eisbergpflugspuren ist nur mit bathymetrischen Daten nicht möglich. Durch die Kombination der bathymetrischen Daten mit Parasound-Daten wurden zwar schon weitere Interpretationsmöglichkeiten eröffnet, aber auch diese Kombination reicht noch nicht aus, um aussagekräftige Interpretationen für eine Region zu machen. In Bezug auf die Eisbergpflugspuren ist es z. B. notwendig, die genauen Abmessungen jeder einzelnen Spur zu untersuchen und anschließend Bodenproben zu nehmen.

In der Praxis findet der Ablauf submariner Forschung zwar in der richtigen Reihenfolge statt – so wird zunächst ein durch die Bathymetrie schon vorher als interessant ausgewiesenes Gebiet angelaufen, die Parasoundprofile werden nach potentiellen Standorten für geologische Bohrungen untersucht und anschließend wird die Bohrung durchgeführt.) Aber durch die nur lückenhafte Kenntnis über die Topographie der Umgebung der Bohrungsstandorte, die häufig aufgrund der anderen Expeditionsschwerpunkte nicht flächendeckend vermessen wird, kommt es bei der späteren Interpretation häufig zu Problemen. Für eine vollständige geomorphologische Interpretation ist es deshalb unerlässlich, das gesamte Gebiet systematisch bathymetrisch in einem möglichst engen Raster zu erfassen.

## **8 Verbesserungsvorschläge**

Bathymetrische Karten sind in der Bearbeitung von geomorphologischen Fragestellungen von grundlegender Bedeutung. Deshalb wäre es sowohl wünschenswert als auch sinnvoll, wenn der bathymetrischen Arbeit mehr Bedeutung zugemessen würde. In der praktischen Anwendung würde dies nicht nur bedeuten, während der Datenaufnahme und -aufbereitung qualifiziertes

Personal in ausreichender Menge bereit zu stellen, sondern vor allem einen Schwerpunkt auf die Kartenerstellung zu legen, damit die vielen gesammelten Daten schnell und vollständig für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen verwendet werden können.

Der Einsatz bathymetrischer Methoden wird häufig sehr technisch orientiert angegangen und drängt dabei die inhaltlichen Schwerpunkte in den Hintergrund, die mit dieser Methode verknüpft sind. Anhand der Struktur der Datenaufnahme kann man bereits klar erkennen, dass die bathymetrische Datenaufnahme häufig als zweitrangig betrachtet wird und oft „nur“ als Grundlage für geophysikalische und geologische Untersuchungen angesehen wird und so nur in deren Auftrag geschieht. Dadurch treten jedoch Fragestellungen anderer wissenschaftlicher Disziplinen in den Hintergrund. Durch die interdisziplinäre Sicht von Geographen könnten hier bereits im Vorfeld einer Expedition ganzheitliche Ansätze für Forschungsziele formuliert und geplant werden. Für den Bereich des Yermak-Plateaus wäre z.B. vorstellbar, dass nicht nur geologische und geophysikalische, also entwicklungsgeschichtliche Forschungen, sondern auch biologische, chemische, klimatologische etc. Forschungen zu einem Gesamtbild miteinander verknüpft werden könnten. Zu wünschen ist, dass der Bathymetrie auch in der Interdisziplinarität der Forschungsbereiche ein höherer Stellenwert eingeräumt werden wird.

Eine denkbare Möglichkeit, die aus der vorliegenden Arbeit ableitet, wäre das Besetzen von bestimmten Schlüsselpositionen im AWI mit Wissenschaftlern, die die Chancen und die Herausforderung von Interdisziplinarität erkennen und umsetzen. Die Aufgabe dieser Wissenschaftler würde hauptsächlich darin bestehen, als Bindeglied zwischen den einzelnen Fachbereichen des AWI, aber auch externer internationaler Institute, eine stärkere Vernetzung untereinander zu fördern und letztendlich auch zu dokumentieren. Mit ihrer breit gefächerten und auf das Erkennen von Zusammenhängen ausgerichtete Ausbildung wären Geographen besonders für diese Aufgabe geeignet.

## **9 Diskussion der Herangehensweise**

In Bezug auf die Auswahl und die Anzahl der Fallbeispiele wäre es ergänzend sinnvoll gewesen, anstelle von drei Fallbeispielen nur eines herauszusuchen und eingehender in der Kombination mit anderen Methoden und Daten zu untersuchen. Andererseits standen dem Autor aufgrund des begrenzten Umfang

einer Diplomarbeit keine anderen Methoden außer den begleitenden Parasoundprofilen zur Verfügung. Die feststehende Expeditionsplanung mit den Forschungsschwerpunkten Geophysik und Geologie ließ zudem keine systematische und flächendeckende bathymetrische Vermessung zu. Das gezielte Untersuchen von bestimmten Bereichen war aus diesem Grund gar nicht möglich.

Bei der Erstellung von bathymetrischen Karten werden vorhandene Datenlücken oft mit den IBCAO-Daten unterlegt, so dass großflächige Interpolationen vermieden werden. Der Autor hat sich jedoch im Vorfeld bewusst dagegen entschieden, weil durch das sichtbare Problem von großflächigen Interpolationen deutlich werden sollte, wie wichtig systematische und flächendeckende bathymetrische Vermessungen für jegliche geomorphologische Interpretationen sind. Außerdem erschien die sehr starke Generalisierung der IBCAO-Karte für die Betrachtung kleinräumiger Gebiete als zu ungenau.

In der Interpretation der Ergebnisse wurde deutlich, dass die bathymetrischen Daten zwar durch ihre genaue Aussage über die Topographie des Meeresbodens zu wissenschaftlichen Erkenntnissen führen, diese aber grundlegender Natur sind. Letztendlich können anhand der bathymetrischen Vermessungen nur eindeutige Aussagen zur Topographie des Meeresboden, jedoch keine zusammenhängenden Aussagen zur Geomorphologie der Oberflächenformen gemacht werden. Zur vollständigen Interpretation einer submarinen Region müssen dementsprechend noch andere Methoden wie das angesprochene Sedimentecholot und die Beprobung des Meeresboden hinzugezogen werden.

## V. FAZIT

### 10 Zusammenfassung

Während der Expedition ARK XX/3 des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung mit dem Forschungseisbrecher Polarstern im August und September 2004 wurden im Bereich des Yermak-Plateau neue bathymetrische Daten mit dem Fächerecholotsystem Hydrosweep DS-2 aufgenommen, die im Rahmen dieser Arbeit aufbereitet und zu unterschiedlichen Karten und 3D Modellen verarbeitet wurden. Nach der Auswahl von drei Fallbeispielen wurden die entstandenen Karten im Hinblick auf die geomorphologische Entwicklung des Yermak-Plateaus und seiner Umgebung untersucht. Dafür wurden die geomorphologischen Formen, die auf den Karten sichtbar waren, näher betrachtet und in Verbindung mit Sedimentprofilen, die ebenfalls während der Expedition mit dem Sedimentecholot Parasound aufgenommen wurden, im Hinblick auf ihre Entstehung interpretiert.

Die folgenden geomorphologischen Erkenntnisse konnten erarbeitet werden: Der Übergang von kontinentaler zu ozeanischer Kruste im Bereich des westlichen Plateausockel des Yermak-Plateaus ist als wahrscheinlich anzusehen; Eisbergflugspuren konnten in allen Kartenausschnitten auf dem Yermak-Plateau nachgewiesen werden und könnten durch ihren hauptsächlichlichen Verlauf von Nord nach Süd einen Hinweis auf die Richtung der Eisdrift der Eismassen, die die Eisbergflugspuren verursachten, liefern; durch die gemeinsame Existenz von Eisbergflugspuren und von Turbiditen an den Plateauhängen kann die Annahme abgeleitet werden, dass dort ein bestimmtes Ablagerungsschema der Sedimente dominierte - in diesem Fall das Ablagern der Sedimente in Warmzeiten und ihr Abtragen in Kaltzeiten; die Existenz von Tiefseehügeln im Bereich des Sophia-Beckens lässt auf vulkanische Aktivitäten in der Umgebung des Yermak-Plateaus schließen, jedoch gibt es keine Hinweise auf vulkanische Aktivitäten im nördlichen Bereich des Plateaus.

Die Bathymetrie konnte also im Rahmen der Arbeit auch dazu beitragen, relevante Gebiete auszuweisen, an denen vertiefende geomorphologische Arbeiten durchgeführt werden sollten. Dazu ist es unerlässlich, in Zukunft flächendeckende und systematische bathymetrische Vermessungen durchzuführen, da die daraus erstellten Karten die Voraussetzung aller marinen wissenschaftlichen Arbeiten darstellen.

## 11 Ausblick

Die Landoberfläche der Erde ist mittlerweile v.a. durch den Einsatz von Satelliten flächendeckend und nahezu metergenau vermessen. Am Meeresboden, der mit 71% immerhin den größten Teil der Erde einnimmt (LEIER 2002), gibt es hingegen noch große Lücken und Ungenauigkeiten, die es zu vermessen und zu kartieren gilt. Die in dieser Arbeit verwendeten Daten sind als Grundlage von weiteren vertiefenden Untersuchungen viel versprechend. Gerade deshalb ist es für die offenen Fragestellungen der Region um das Yermak-Plateau unerlässlich, in Zukunft systematische und flächendeckende Vermessungen mit hochauflösenden Echolotsystemen durchzuführen.

Die Eisbergflugspuren im Bereich des Yermak-Plateaus könnten wie in anderen Fällen (LEMKE 2004) als Beispiel durch eine genauere Erforschung Auskünfte über das Ausmaß der zu ihrer Entstehungszeit vorherrschenden Vereisung geben. Eine solche Untersuchung auf der Grundlage einer systematischen bathymetrischen Vermessung wäre ein sinnvolles Unterfangen für die Zukunft, da man anhand dieser Daten nicht nur Klimarekonstruktionen, sondern auch Klimamodelle erstellen kann, die einen Ausblick auf die Klimabedingungen der Zukunft liefern könnten.

Eine sinnvolle Verknüpfung von GIS-Daten, bathymetrischen Tiefendaten und Parasoundprofilen würde eine Möglichkeit bieten, großflächige dreidimensionale Sedimentmodelle zu erstellen, die mit absoluten Tiefenangaben korreliert sind und dadurch zu einem besseren Verständnis von Sedimentationsbedingungen und -vorgängen auf dem Yermak-Plateau führen.

Das Erstellen des wissenschaftlichen Gesamtbildes einer gesamten Region wie z.B. dem Yermak-Plateau in regelmäßigen Intervallen, könnte den jeweils aktuellen Stand aller Forschungsrichtungen zusammenfassen und wäre gerade im Hinblick auf die zur Zeit verstärkt geforderte (und geförderte) Interdisziplinarität von großem Wert.

Durch ein genaueres Wissen kann man ein größeres Verständnis der Prozesse ober- und unterhalb der Erdoberfläche erreichen, was gerade für die Vorhersage von Naturereignissen wie z.B. Erdbeben, Überschwemmungen und Unwettern, von großer Bedeutung ist. Zudem wird der Erforschung der Polargebiete eine Schlüsselrolle in der Klimaforschung zugesprochen.

Durch die Vermittlung neuer Erkenntnisse, könnte ein nachhaltiges Denken bzw. ein „Langfristdenken“ (SEIBOLD 2004: 149) vieler Menschen gefördert werden.

Detaillierte Erkenntnisse über die geomorphologische Geschichte der Erde und über ihre Zukunft lassen sich auch weiterhin nur mit Hilfe von hochauflösenden, im Falle der marinen Forschung bathymetrischen Karten gewinnen, denn Karten sind die Grundlage aller geomorphologischen Betrachtungen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Allerton, S. und C. J. MacLeod (1998): Fault-controlled magma transport through the mantle lithosphere at slow-spreading ridges. - In: Mills, R. A. und K. Harrison (Hrsg.): *Modern Ocean Floor Processes and the Geological Report*. London: 29-42.
- Armstrong, M. (1998): *Basic Linear Geostatics*. - Berlin.
- Barnes, P., G. Fleischer, J. V. Gardner und K. Lee (2003): Bathymetry and selected perspective views of 6 reef and coastal areas in Northern Lake Michigan. - Open File Report, U.S. Geological Survey. Menlo Park.
- Bergmann, U. (1995): Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften. - Dissertation. Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen.
- Birgel, D. (2003a): Distribution, composition, flux and variability of organic carbon in Fram Strait/ Yermak Plateau (Arctic Ocean) and (palaeo) environmental significance. - *Berichte zur Polar- und Meeresforschung* 463. Bremerhaven.
- Birgel, D. (2003b): Northern Fram Strait and Yermak Plateau: Late Quaternary variability and burial of organic carbon and palaeoceanographic implications. - In: Stein, R. und R. MacDonald (Hrsg.): *The Organic Carbon Cycle of the Arctic Ocean*. New York: 279-295.
- Birgel, D., R. Stein und J. Hefter (2004): Aliphatic lipids in recent sediments of the Fram Strait/Yermak Plateau (Arctic Ocean): composition, sources and transport processes. - In: *Marine Chemistry* 88: 127– 160.
- Bischof, J. F. und D. A. Darby (1997): Mid- to Late Pleistocene Ice Drift in the Western Arctic Ocean: Evidence for a Different Circulation in the Past. - In: *Science* 277: 74-78.
- Bleil, U., G. Wefer, P. J. Müller und J. Pätzold (1990): Fram-Straße: Hydrobiologische und geowissenschaftliche Schlüsselregion für Nordwesteuropa - Studium des modernen Ablagerungsmilieus und Bestimmung des Krustenaufbaus und der tektonischen Entwicklung. - Bremen.
- Boebel, T. (2000): Flugzeuggestützte Topographie- und Schweremessung: Meßsystem und Anwendung auf die Region Framstraße, Spitsbergen und Nordostgrönland. - *Berichte zur Polarforschung* 366. Bremerhaven.
- Bonatti, E. (1994): Der Erdmantel unter den Ozeanen. - In: *Spektrum der Wis-*



- senschaft Sonderband Ozeane und Kontinente: 114-122.
- Broecker, W., G. Bond, H. Heinrich und L. Labeyrie (1992): Evidence for Massive Discharges of Icebergs into the North Atlantic Ocean during the Last Glacial Period. - In: Nature 360: 245-249.
  - Büchschütz-Nothdurft, O. (2002): Entwicklung eines Ausgleichsalgorithmus zur Verbesserung der Kreuzfächerkalibrierung des Fächerecholotes HYDROS-WEEP DS-2. - Diplomarbeit. Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, Hannover.
  - Butman, B., W. W. Danforth, S. C. Knowles, B. May und L. Serrett (2002): Sea floor topography and backscatter intensity of the historic area remediation site (HARS), offshore of New York, based on multibeam surveys conducted in 1996, 1998, and 2000. - Open File Report, U.S. Geological Survey. Massachusetts.
  - Carbotte, S. M. und D. S. Scheirer (2004): Variability of ocean crustal structure created along the global mid-ocean ridge. - In: Davis, E. E. und H. Elderfield (Hrsg.): Hydrogeology of the Oceanic Lithosphere. Cambridge: 59-107.
  - Carlson, P. R., et al. (2002): Multibeam Bathymetry and Selected Perspective Views of Main Part of Glacier Bay, Alaska. - Open File Report, U.S. Geological Survey. Menlo Park.
  - Chakraborty, B., H. W. Schenke, V. Kodagali und R. Hagen (2001): Analysis of multibeam-Hydrosweep echo peaks for seabed characterization. - In: Geo-Marine Letters 20: 174-181.
  - Childs, J. R., N. P. Snyder und M. A. Hampton (2002): Bathymetric and geophysical surveys of Englebright Lake, Yuba-Nevada Counties, California. - Open File Report, U.S. Geological Survey. Menlo Park.
  - Cisewski, B., G. Budéus und G. Krause (2003): Absolute transport estimates of total and individual water masses in the northern Greenland Sea derived from hydrographic and acoustic Doppler current profiler measurements. - In: Journal of Geophysical Research 108: 14-33.
  - Clarke, J. E. H., J. D. Beaudoin und J. V. Gardner (2002): Bathymetry and acoustic backscatter of selected areas of the outer continental shelf, northwestern Gulf of Mexico. - Open File Report, U.S. Geological Survey. Menlo Park.

- Cochran, J. R., G. J. Kurras, M. H. Edwards und B. J. Coakley (2003): The Gakkel Ridge: Crustal Accretion at Extremely Slow Spreading Rates. - In: Journal of Geophysical Research 108: 1-22.
- Darby, D. A., A. S. Naidu, T. C. Mowatt und G. Jones (1989): Sediment Composition and Sedimentary Processes in the Arctic Ocean. - In: Herman, Y. (Hrsg.): The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology. New York: 657-720.
- Davis, J. C. (2003): Statistics and Data Analysis in Geology. Dritte und erweiterte Ausgabe. - New York.
- Davis, N. (2000): Arctic Oceanography, Sea Ice and Climate. - In: Nuttall, M. und T. V. Callaghan (Hrsg.): The Arctic: environment, people, policy. Amsterdam: 97-116.
- Domrös, M., et al. (2005): Naturkatastrophe im Indischen Ozean. - In: Geographische Rundschau 57 (4): 4-17.
- Eiken, O. (1994): Seismic Atlas of Western Svalbard - A selection of regional seismic transects. - Meddelelser 130. Oslo.
- Elverhoi, A., J. Dowdeswell, S. Funders, J. Mangerud und R. Stein (1998): Glacial and Oceanic History of the Polar North Atlantic Margins: An Overview. - In: Quaternary science reviews 17: 1-10.
- Engen, O., O. Eldholm und H. Bungum (2002): The Arctic Plate Boundary: Seismotectonics at Ultra-slow Spreading. - Tagungsergebnisse: Norsk Geologisk Forening 4th European ODP Forum. Tromsø.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute (Hrsg.) (1999): ArcView GIS 3.2. - CD-ROM. Redlands, California.
- Field, M. E., P. S. Chavez, K. R. Evans und S. A. Cochran (2001): New Mapping Techniques help assess the Health of Hawaii's Coral Reefs. - Fact Sheet, U.S. Geological Survey. Santa Cruz.
- Flacke, W. und B. Kraus (2003): Koordinatensysteme in ArcGIS. Praxis der Transformationen und Projektionen. - Halmstad.
- Flower, B. P. (1997): Overconsolidated section on the Yermak Plateau, Arctic Ocean: Ice sheet grounding prior to ca. 660 ka? - In: Geology 25: 147-150.
- Gardner, J. V., P. Dartnell, H. Gibbons und D. MacMillan (2000): Exposing the Sea Floor: High-Resolution Multibeam Mapping along the U.S. Pacific Coast. - Fact Sheet, U.S. Geological Survey. Menlo Park.

- Geissler, W., und W. H. Jokat (2004): A geophysical study of the northern Svalbard continental margin. - In: *Geophysical Journal International* 158: 50-66.
- Geoforschungszentrum Potsdam und National Oceanic and Atmospheric Administration (Hrsg.) (2005): Sumatra-Beben vom 26.12.2004: Tsunami-Ausbreitung. <http://www.gfz-potsdam.de/news/recent/archive/20041226/images/Downloads/Sumatra-20041226-Tsunami-Wave-Propagation-Time-de-TIF.zip> - Zugriffsdatum: 11.03.2005.
- Gerdes, R. und F. Kauker (2000): Veränderlichkeit des Nordatlantischen Stroms und Vorhersagbarkeit von Variabilität im Europäischen Nordmeer und im Nordpolarmeer. - Bremerhaven.
- Gierloff-Emden, H.-G. (1986): Bathymetry-Topography of the ocean floor. - In: Landolt-Börnstein-Verlag (Hrsg.): *Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology - New Series Group 5: Geophysics. Oceanography. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology 3 (A): Geophysics.* Berlin: 26-48.
- Gierloff-Emden, H.-G. (1999): Radar-Altimetrie von Satelliten zur Erforschung des Reliefs des Meeresbodens. - *Münchener Geographische Abhandlungen* 50 (Reihe A). München.
- Goldfinger, C. (2000): Active Tectonics: Data Acquisition and Analysis with Marine GIS. - In: Wright, D. J. und D. J. Bartlett (Hrsg.): *Marine and Coastal Geographical Information Systems.* London: 237-254.
- Gràcia, E., L. M. Parson und D. Bideau (1998): Volcano-tectonic variability along segment of the Mid-Atlantic Ridge between Azores platform and Hayes fracture zone: evidence from submersible and high-resolution sidescan sonar data. - In: Mills, R. A. und K. Harrison (Hrsg.): *Modern Ocean Floor Processes and the Geological Record.* London: 1-16.
- Gràcia, E. und J. Danobeitia (2002): High-Resolution Imaging of Active faults in the SW Iberian Margin: Implications for Earthquake and Tsunami Hazard Assessment. - *Tagungsergebnisse: Norsk Geologisk Forening 4th European ODP Program.* Tromsø.
- Grant, J. R. und R. Schreiber (1990): Modern Swathe Sounding and Sub-Bottom Profiling Technology for Research Applications: The ATLAS Hydrosweep and Parasound Systems. - In: *Marine Geophysical Researches* 12: 9-19.

- Grosswald, M. G. und T. J. Hughes (1999): The case for an Ice Shelf in the Pleistocene Arctic Ocean. - In: *Polar Geography* 23: 23-54.
- Gutberlet, M. und H. W. Schenke (1989): Hydrosweep - A new era in high precision bathymetric surveying in deep and shallow water. - In: *Marine Geodesy* 13: 1-23.
- Hagen, R. A., B. Chakraborty und H. W. Schenke (1995): Backscatter data from the Hydrosweep Multibeam System: First results. - Hamburg.
- Harland, W. B. (1997): Scabbard's geological frame. - In: Harland, W. B. (Hrsg.): *The Geology of Svalbard*. London: 23-44.
- Harms, H., R. Matuschek und V. Mellert (1998): Akustische Messverfahren zur Detektion von auf den Meeresboden abgesunkenen dünnen Schadstoffschichten. - In: *Fortschritte der Akustik* 24: 614-615.
- Haug, G. H. und R. Tiedemann (2002): Ocean Gateways and Climate. - Tagungsergebnisse: Norsk Geologisk Forening 4th European ODP Forum. Tromsø.
- Hibler, W. D. (1989): Arctic Ice-Ocean Dynamics. - In: Herman, Y. (Hrsg.): *The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. New York: 47-92.
- Hirschberger, F. (2003): Apport de la bathymétrie et de la géomorphologie à la géodynamique des mers de l'Est-indonésien. - In: *Bulletin Société géologique de France* 174: 545-560.
- International Arctic Science Committee and NOAA National Geophysical Data Center (Hrsg.) (2004): *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean*. <http://www.bgdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/ibcaoversion1.html> - Zugriffsdatum: 20.03.2003.
- Jakobsson, M. (2000): *Mapping the Arctic Ocean: Bathymetry and Pleistocene Paleogeography*. - Dissertation. Department of Geology and Geochemistry, Stockholm University, Stockholm.
- Jung, T. und M. Hilmer (2001): The Link between the North Atlantic Oscillation and Arctic Sea Ice Export through Fram Strait. - In: *Journal of Climate* 14: 3932-3943.
- Kelletat, D. (1999): *Physische Geographie der Meere und Küsten*. 2. Auflage. - Stuttgart.
- Kilburn, C. R. J. und M. C. Solana (2002): The Dynamics of Giant Submarine

- Landslides. - Tagungsergebnisse: Norsk Geologisk Forening 4th European ODP Forum. Tromsø.
- Klenke, M. und H. W. Schenke (2003): A new bathymetric model for the central Fram Strait. - In: *Marine Geophysical Researches* 23: 367-378.
  - Knies, J., J. Matthiessen, C. Vogt und R. Stein (2002): Evidence of 'Mid-Pliocene (~3 Ma) global warmth' in the eastern Arctic Ocean and implications for the Svalbard / Barents Sea ice sheet during the late Pliocene and early Pleistocene (~3-1.7 Ma). - In: *Boreas* 31: 82-93.
  - Kostylev, V. E., et al. (2001): Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. - In: *Marine Ecology Progress Series* 219: 121-137.
  - Kristoffersen, Y. (1990): On the tectonic evolution and the paleoceanographic significance of the Fram Strait Gateway. - In: Bleil, U. und J. Thiede (Hrsg.): *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Dordrecht: 63-76.
  - Leier, M. (Hrsg.) (2002): *Weltatlas der Ozeane*. 2. Ausgabe. - München.
  - Lemke, P. (2004): Variabilität der Meereisdecken in den Polargebieten. - In: Thiede, J., et al. (Hrsg.): *Geowissenschaften und die Zukunft*. Stuttgart: 112-118.
  - Levitan, M. A., E. E. Musatov und M. V. Burtman (2002): History of sedimentation on the Yermak Plateau during the Recent 190 ka. - In: *Lithology and Mineral Resources* 37: 493-502.
  - Lindström, M. (2000): The geological development of the Arctic. - In: Nuttall, M. und T. V. Callaghan (Hrsg.): *The Arctic: Environment, People, Policy*. Amsterdam: 3-25.
  - Lurton, X. (2002): *An Introduction to Underwater Acoustics*. - Berlin/Chichester.
  - McAdoo, B. G. (2000): Mapping Submarine Slope Failures. - In: Wright, D. J. und D. J. Bartlett (Hrsg.): *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. London: 189-204.
  - McGonigal, D. und L. Woodworth (2003): *Die Welt der Antarktis und der Arktis*. - Bielefeld.
  - Medow, A. und W. Jokat (2003): Yermak Plateau: New Geophysical Data from its northern part. - *Geophysical Research Abstracts*, Katlenburg-Lindau.

- Medwin, H. und C. S. Clay (1998): Fundamentals of Acoustical Oceanography. - Boston.
- Melville, G. E. und J. K. Melville (2004): Assessing Historical Bathymetry: Kingsmere Lake Revisited. - In: Lake and Reservoir Management 20: 141-147.
- Meredith, M., et al. (2001): Freshwater fluxes through the western Fram Strait. - In: Geophysical Research Letters 28: 1615-1618.
- Meusburger, P., E. Brunotte, H. Gebhardt, M. Meurer und J. Nipper (Hrsg.) (2001): Lexikon der Geographie. - Heidelberg/Berlin.
- Michael, P. J., et al. (2003): Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean. - In: Nature 423: 956-961.
- National Geographic Society Cartographic Division (Hrsg.) (1990): World ocean floors. Arctic Ocean. - In: National Geographic 1990 (1): Kartenbeilage.
- Niemann, S. (2003): Parasound. - In: Jokat, W. und G. Krause (Hrsg.): Die Expedition ANTARKTIS XIX mit FS Polarstern 2001/2002. Bremerhaven: 59-62.
- Orange, D. L., J. Yun, N. Maher, J. Barry und G. Greene (2002): Tracking California seafloor seeps with bathymetry, backscatter and ROVs. - In: Continental Shelf Research 22: 2273-2290.
- Pike, J. M. und F. L. Beiboer (2001): A comparison between algorithms for the computation of the speed of sound in seawater. - The Hydrographic Society Special Publications 34. Plymouth.
- Pinet, P. R. (1999): Invitation to Oceanography. 2nd Edition. - Sudbury.
- Polyak, L., M. H. Edwards, B. J. Coakley und M. Jakobsson (2001): Ice shelves in the Pleistocene Arctic Ocean inferred from glaciogenic deep-sea bedforms. - In: Nature 410: 453-457.
- Prange, M. (2003): Einfluss arktischer Süßwasserquellen auf die Zirkulation im Nordmeer und im Nordatlantik in einem prognostischen Ozean-Meereis-Modell. - Berichte zur Polar- und Meeresforschung 468. Bremerhaven.
- Press, F. und R. Siever (1998): Understanding earth. - New York.
- Ritzmann, O. und W. Jokat (2003): Crustal structure of northwestern Svalbard and the adjacent Yermak Plateau: Evidence for Oligocene simple shear rifting and non-volcanic break-up. - In: Geophysical Journal International 152: 139-159.
- Ritzmann, O., et al. (2004): A deep seismic transect from Hovgard Ridge to

- northwestern Svalbard across the continental-ocean transition: A sheared margin study. - In: *Geophysical Journal International* 157: 683-702.
- Rudels, B., et al. (2000): Water mass distribution in Fram Strait and over Yermak Plateau in summer 1997. - In: *Annales Geophysicae* 18: 687-705.
  - Ruikka, M. und K. Strand (2002): Clay Minerals in response to the Pleistocene climate change on the Yermak Plateau. - In: *Polar Record* 38: 241-248.
  - Schenke, H. W. (1990): Die Fächersonaranlage Hydrosweep - ein neues System zur flächenhaften Vermessung des Meeresbodens. - In: *Die Geowissenschaften - Forschung und Praxis* 6: 161-169.
  - Schenke, H.-W. (1992): GPS und Fächersonarmessungen mit Hydrosweep auf FS "POLARSTERN". - In: *Zeitschrift für Vermessungswesen* 8/9: 599-616.
  - Schenke, H. W. (1993): Fächersonarmessungen für geowissenschaftliche Untersuchungen. - In: *Zeitschrift für Vermessungswesen* 118 (4): 171-187.
  - Sclater, J. G. und C. Tapscott (1987): Die Geschichte des Atlantik. - In: *Spektrum der Wissenschaft Sonderband Ozeane und Kontinente*: 118-131.
  - Seibold, E. (2004): Vorhersagen in den Geowissenschaften. - In: Thiede, J., et al. (Hrsg.): *Geowissenschaften und die Zukunft*. Stuttgart: 147-149.
  - Seibold, E. und W. H. Berger (1996): *The Sea Floor - An Introduction to Marine Geology*. - Berlin/Heidelberg.
  - Siegert, M. J., J. A. Dowdeswell, J.-I. Svendsen und A. Elverhoi (2005): Das Ende der letzten Eiszeit. - In: *Spektrum der Wissenschaft* 2005 (5): 60-67.
  - Stanley, S. M. (1994): *Historische Geologie: eine Einführung in die Geschichte der Erde und des Lebens*. - Heidelberg/Berlin/Oxford.
  - Tessensohn, F. (2001): Intra-Continental Fold Belts, Case 1, West Spitsbergen. - *Geologisches Jahrbuch* 91. Hannover.
  - Urban, H. G. (2002): *Handbuch der Wasserschalltechnik*. - Bremen.
  - Vinje, T., N. Nordlund und A. Kvambekk (1998): Monitoring ice thickness in Fram Strait. - In: *Journal of Geophysical Research* 103: 10437-10450.
  - Vogt, P. R., K. Crane und E. Sundvor (1994): Deep Pleistocene iceberg plowmarks on the Yermak Plateau: Sidescan and 3.5 kHz evidence for thick calving ice fronts and a possible marine ice sheet in the Arctic Ocean. - In: *Geology* 22: 403-406.
  - Völker, D. (2005): *Meeresgeologie im Internet - Fächersonare*. <http://www.meeresgeo-online.de/inhalt/faecherecholote.php?js=1&sg=12> - Zugriffsdatum:

15.4.2005.

- Walter, R. (2003): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. - Berlin.
- Weber, J. R. (1989): Physiography and Bathymetry of the Arctic Ocean Seafloor. - In: Herman, Y. (Hrsg.): The Arctic Seas: Climatology, Oceanography, Geology and Biology. New York: 797-828.
- Weigelt, E. (1998): The crustal structure and sedimentary cover of the Eurasian Basin, Arctic Ocean. - Berichte zur Polarforschung 261. Bremerhaven:
- Weinrebe, W. und C. Kopp (1998): Submarine morphology imaged by high resolution bathymetry. - Tagungsergebnisse: 23rd General Assembly of the European Geophysical Society. Nizza.
- Wikimedia Foundation Inc. (Hrsg.) (2005): Mittelatlantischer Rücken.  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Mittelatlantischer\\_R%C3%BCcken](http://de.wikipedia.org/wiki/Mittelatlantischer_R%C3%BCcken) - Zugriffsdatum: 23.4.2005.



## DANKSAGUNG

Danke,

für die Vergabe und Betreuung dieser Arbeit: PD Reinhard Zeese, Dr. H.-W. Schenke;

für die hilfreichen inhaltlichen Korrekturen: Daniel Winkelmann, Andreas Winkler;

für die Unterstützung und das „Frag einfach nach, wenn Du was wissen willst“:  
Arbeitsgruppe Bathymetrie;

für das Ablenken und die germanistischen Ergüsse: Sebastian;

für die Kindheit und das Selbstvertrauen: Mama und Papa;

für alles: Benjamin und PSL.

## ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

---

Köln, den 1. Mai 2005

**ANHANG****Teil 1: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 1****Data Source**

Source Data File Name: Q:\GIS\Diplomspots\spot1\_data.txt  
 X Column: A  
 Y Column: B  
 Z Column: C

**Data Counts**

Active Data: 3556849  
 Original Data: 3590690  
 Excluded Data: 0  
 Deleted Duplicates: 33841  
 Retained Duplicates: 32502  
 Artificial Data: 0  
 Superseded Data: 0

**Univariate Statistics**

	X	Y	Z
Minimum:	-1.871146	80.549831	-3655
25%-tile:	1.287719	80.933599	-1745
Median:	2.482108	81.10008	-1095
75%-tile:	3.215484	81.296468	-833
Maximum:	3.899765	81.574303	-563
Midrange:	1.0143095	81.062067	-2109
Range:	5.770911	1.024472	3092
Interquartile Range:	1.927765	0.362869	912
Median Abs. Deviation:	0.820766	0.182804999999999	305
Mean:	2.1195913187544	81.121038597148	-1384.8471042768
Trim Mean (10%):	2.2255080175817	81.122169776495	-1324.4964867478
Standard Deviation:	1.4148397510683	0.23461626246754	718.7331520581
Variance:	2.001771521203	0.055044790614237	516577.34386737
Coef. of Variation:			-1
Coef. of Skewness:			-1.2103321952275

**Inter-Variable Correlation**

	X	Y	Z
X:	1.000	0.078	0.959
Y:		1.000	0.156
Z:			1.000

**Inter-Variable Covariance**

	X	Y	Z
X:	2.001771521203	0.025973129168153	975.34612266856
Y:		0.055044790614237	26.377133330247
Z:			516577.34386737

**Planar Regression:  $Z = AX+BY+C$** **Fitted Parameters**

	A	B	C
Parameter Value:	483.98704129082	250.82256063959	-22757.68845806
Standard Error:	0.07318978630905	0.44136675689337	35.792474329994

**Inter-Parameter Correlations**

	A	B	C
A:	1.000	0.078	0.074
B:		1.000	1.000
C:			1.000

**ANOVA Table**

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	1702559984866.2	851279992433.11	2.2457E+007
Residual:	3556846	134827624091.96	37906.511581315	
Total:	3556848	1837387608958.2		

Coefficient of Multiple Determination ( $R^2$ ): 0.92661993395699**Nearest Neighbor Statistics**

	Separation	Delta Z
Minimum:	9.9999999747524E-007	0
25%-tile:	7.316419889618E-005	1
Median:	0.00021828421839335	3
75%-tile:	0.00041132590483725	6
Maximum:	0.0095954155720334	1188
Midrange:	0.0047982077860154	594
Range:	0.0095944155720359	1188
Interquartile Range:	0.00033816170594107	5
Median Abs. Deviation:	0.00015874431580987	2
Mean:	0.00029179807724972	5.032775639337
Trim Mean (10%):	0.00026166778625294	4.0327437042452
Standard Deviation:	0.00028502998842923	12.295898603737
Variance:	8.1242094303967E-008	151.18912247339
Coef. of Variation:	0.97680557430576	2.4431644652765
Coef. of Skewness:	2.0704002106439	36.050369019894
Root Mean Square:	0.0004079071122089	13.286005912599
Mean Square:	1.663882121906E-007	176.51795310962

**Complete Spatial Randomness**

Lambda:	601618.18984155
Clark and Evans:	0.45266081480505
Skellam:	2237117.5800957

**Exclusion Filtering**

Exclusion Filter String: Not In Use

**Duplicate Filtering**

Duplicate Points to Keep:	First
X Duplicate Tolerance:	6.8E-007
Y Duplicate Tolerance:	1.2E-007

Deleted Duplicates:	33841
Retained Duplicates:	32502
Artificial Data:	0

X	Y	Z	ID	Status
-1.871071	81.020092	-3204	1394561	Retained
-1.871071	81.020092	-3204	1394564	Deleted
-1.870984	80.998555	-3591	1405531	Retained
-1.870984	80.998555	-3591	1405590	Deleted
-1.870919	80.995963	-3591	1394833	Retained
-1.870919	80.995963	-3591	1394871	Deleted
-1.87052	81.000251	-3597	1394550	Retained
-1.87052	81.000251	-3597	1394552	Deleted
-1.87047	81.003891	-3538	1395691	Retained
-1.87047	81.003891	-3538	1395970	Deleted
-1.870002	80.978177	-3566	1394541	Retained
-1.870002	80.978177	-3566	1394543	Deleted
-1.869919	80.990435	-3547	1428605	Retained
-1.869919	80.990435	-3547	1428664	Deleted
-1.869657	80.99016	-3528	1428723	Retained
-1.869657	80.99016	-3528	1428900	Deleted
-1.8696	81.004893	-3475	1396017	Retained
-1.8696	81.004893	-3475	1396189	Deleted
-1.869529	80.994783	-3605	1394983	Retained
-1.869529	80.994783	-3605	1395020	Deleted
-1.869393	80.999297	-3596	1404236	Retained
-1.869393	80.999297	-3596	1404295	Deleted
-1.868952	80.999095	-3563	1403941	Retained
-1.868952	80.999095	-3563	1404000	Deleted
-1.868865	80.999067	-3573	1404354	Retained
-1.868865	80.999067	-3573	1404472	Deleted
-1.868765	81.008846	-3309	1395542	Retained
-1.868765	81.008846	-3309	1395593	Deleted
-1.86874	81.021514	-3208	1394560	Retained
-1.86874	81.021514	-3208	1394563	Deleted
-1.868692	80.999635	-3549	1402114	Retained
-1.868692	80.999635	-3549	1402231	Deleted
-1.868666	80.996556	-3613	1395131	Retained
-1.868666	80.996556	-3613	1395169	Deleted
-1.868623	81.010015	-3302	1396224	Retained
-1.868623	81.010015	-3302	1396330	Deleted
-1.86838	80.990315	-3574	1425540	Retained
-1.86838	80.990315	-3574	1425656	Deleted
-1.868027	80.998547	-3561	1405649	Retained
-1.868027	80.998547	-3561	1405826	Deleted
-1.8678	81.020268	-3193	1396382	Retained
-1.8678	81.020268	-3193	1396557	Deleted
-1.867682	80.993544	-3584	1394621	Retained
-1.867682	80.993544	-3584	1394832	Deleted
-1.867533	80.991084	-3562	1428959	Retained
-1.867533	80.991084	-3562	1429195	Deleted
-1.867419	80.995307	-3625	1395057	Retained
-1.867419	80.995307	-3625	1395094	Deleted
-1.86741	80.981363	-3559	1425150	Retained
-1.86741	80.981363	-3559	1425371	Deleted
-1.867179	80.995334	-3605	1394834	Retained

-1.867179	80.995334	-3605	1394872	Deleted
-1.866887	80.998283	-3614	1408774	Retained
-1.866887	80.998283	-3614	1408833	Deleted
-1.866779	80.985438	-3522	1401177	Retained
-1.866779	80.985438	-3522	1401261	Deleted
-1.866648	80.998953	-3585	1405944	Retained
-1.866648	80.998953	-3585	1406003	Deleted
-1.866516	80.980494	-3576	1398237	Retained
-1.866516	80.980494	-3576	1398468	Deleted
-1.866225	81.02305	-3216	1394559	Retained
-1.866225	81.02305	-3216	1394562	Deleted
-1.866132	80.99164	-3571	1428487	Retained
-1.866132	80.99164	-3571	1428546	Deleted
-1.865852	80.998607	-3575	1406887	Retained
-1.865852	80.998607	-3575	1406946	Deleted
-1.865783	80.981892	-3545	1424380	Retained
-1.865783	80.981892	-3545	1424435	Deleted
-1.865775	80.998479	-3597	1408184	Retained
-1.865775	80.998479	-3597	1408302	Deleted
-1.865517	80.981564	-3523	1424490	Retained
-1.865517	80.981564	-3523	1424545	Deleted
-1.865378	80.99853	-3559	1406769	Retained
-1.865378	80.99853	-3559	1406828	Deleted
-1.865024	80.998242	-3575	1408361	Retained
-1.865024	80.998242	-3575	1408715	Deleted
-1.864949	81.003251	-3527	1395692	Retained
-1.864949	81.003251	-3527	1395971	Deleted
-1.864919	80.994284	-3608	1394984	Retained
-1.864919	80.994284	-3608	1395021	Deleted
-1.864913	80.99766	-3575	1409895	Retained
-1.864913	80.99766	-3575	1409954	Deleted
-1.864866	80.981987	-3538	1424930	Retained
-1.864866	80.981987	-3538	1425040	Deleted
-1.864836	80.982287	-3553	1424765	Retained
-1.864836	80.982287	-3553	1424875	Deleted
-1.864722	80.999386	-3511	1402880	Retained
-1.864722	80.999386	-3511	1402998	Deleted
-1.864583	80.997743	-3583	1410013	Retained
-1.864583	80.997743	-3583	1410072	Deleted
-1.864527	80.998011	-3571	1409010	Retained
-1.864527	80.998011	-3571	1409128	Deleted
-1.864469	80.998165	-3591	1409187	Retained
-1.864469	80.998165	-3591	1409482	Deleted
-1.864436	81.000727	-3570	1401631	Retained
-1.864436	81.000727	-3570	1401843	Deleted
-1.864226	80.995963	-3604	1395132	Retained
-1.864226	80.995963	-3604	1395170	Deleted
-1.864146	81.020042	-3195	1395207	Retained
-1.864146	81.020042	-3195	1395266	Deleted

**Breakline Filtering**

Breakline Filtering: Not In Use

**Gridding Rules**Gridding Method: Kriging  
Kriging Type: PointPolynomial Drift Order: 0  
Kriging std. deviation grid: no**Semi-Variogram Model**Component Type: Linear  
Anisotropy Angle: 0  
Anisotropy Ratio: 1  
Variogram Slope: 1**Search Parameters**Search Ellipse Radius #1: 2.93  
Search Ellipse Radius #2: 2.93  
Search Ellipse Angle: 0Number of Search Sectors: 4  
Maximum Data Per Sector: 16  
Maximum Empty Sectors: 3Minimum Data: 8  
Maximum Data: 64**Output Grid**Grid File Name: Q:\GIS\Diplomspots\spot1\_data.grd  
Grid Size: 19 rows x 100 columns  
Total Nodes: 1900  
Filled Nodes: 1900  
Blanked Nodes: 0**Grid Geometry**X Minimum: -1.871146  
X Maximum: 3.899765  
X Spacing: 0.05829203030303Y Minimum: 80.549831  
Y Maximum: 81.574303  
Y Spacing: 0.0569151111111111**Grid Statistics**Z Minimum: -3558.3675249328  
Z 25%-tile: -2835.8230179887  
Z Median: -1934.3315073507  
Z 75%-tile: -1144.2521162909  
Z Maximum: -712.12643442736Z Midrange: -2135.2469796801  
Z Range: 2846.2410905054  
Z Interquartile Range: 1691.5709016978  
Z Median Abs. Deviation: 841.63423131695Z Mean: -1992.2633053341  
Z Trim Mean (10%): -1986.63002308  
Z Standard Deviation: 871.44425902977  
Z Variance: 759415.09659594Z Coef. of Variation: -1  
Z Coef. of Skewness: -0.064252436109573Z Root Mean Square: 2174.517917695  
Z Mean Square: 4728528.1743766

## Teil 2: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 2

### Data Source

Source Data File Name: Q:\GIS\Diplomspots\spot2\_data.txt  
 X Column: A  
 Y Column: B  
 Z Column: C

### Data Counts

Active Data: 9019614  
 Original Data: 9069257  
 Excluded Data: 0  
 Deleted Duplicates: 49643  
 Retained Duplicates: 40450  
 Artificial Data: 0  
 Superseded Data: 0

### Univariate Statistics

	X	Y	Z
Minimum:	1.367212	80.501985	-2724
25%-tile:	3.379556	81.095535	-991
Median:	4.949317	81.37788	-807
75%-tile:	6.865277	81.608953	-755
Maximum:	10.085855	82.374695	-103
Midrange:	5.7265335	81.43834	-1413.5
Range:	8.718643	1.87271	2621
Interquartile Range:	3.485721	0.513418	236
Median Abs. Deviation:	1.684584	0.275012	81
Mean:	5.1835107224584	81.365491778662	-
906.1018112305			
Trim Mean (10%):	5.1275092528942	81.364784540182	-
873.90095980932			
Standard Deviation:	2.1884230241913	0.37866086975597	
294.20741053076			
Variance:	4.7891953328107	0.14338405428435	
86558.000411214			
Coef. of Variation:			-1
Coef. of Skewness:			-
2.263297963102			

### Inter-Variable Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	0.384	0.247
Y:		1.000	-0.007
Z:			1.000

### Inter-Variable Covariance

	X	Y	Z
X:	4.7891953328107	0.31802312484643	159.12027164747
Y:		0.14338405428435	-0.74622127069762
Z:			86558.000411214

Planar Regression:  $Z = AX + BY + C$



**Fitted Parameters**

	A	B	C
Parameter Value:	39.36881123205	-92.523634519082	
6418.0605574125			
Standard Error:	0.046668754348832	0.26971621705061	
21.854099546268			

**Inter-Parameter Correlations**

	A	B	C
A:	1.000	0.384	0.374
B:		1.000	1.000
C:			1.000

**ANOVA Table**

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	57124995042.506	28562497521.253	3.5603E+005
Residual:	9019611	723594757278.45	80224.608054432	
Total:	9019613	780719752320.95		

Coefficient of Multiple Determination (R<sup>2</sup>): 0.073169655145374**Nearest Neighbor Statistics**

	Separation	Delta Z
Minimum:	9.9999999747524E-007	0
25%-tile:	0.00011727318534387	1
Median:	0.00023452291998601	2
75%-tile:	0.00036055512754402	4
Maximum:	0.0064751976803811	1188
Midrange:	0.0032380988401893	594
Range:	0.0064741976803836	1188
Interquartile Range:	0.00024328194220015	3
Median Abs. Deviation:	0.00012124008809905	1
Mean:	0.00025828259064921	3.2036207979632
Trim Mean (10%):	0.00024352414181458	2.6397031703987
Standard Deviation:	0.00019451966311936	7.9246786215434
Variance:	3.7837899340069E-008	62.800531254747
Coef. of Variation:	0.75312727284646	2.4736631209854
Coef. of Skewness:	1.6432627552943	58.934753699838
Root Mean Square:	0.00032333851606711	8.5477317150062
Mean Square:	1.0454779597248E-007	73.063717471723

**Complete Spatial Randomness**

Lambda:	552418.89826738
Clark and Evans:	0.38393649267158
Skellam:	3273039.3711891

**Exclusion Filtering**

Exclusion Filter String: Not In Use

**Duplicate Filtering**

Duplicate Points to Keep:	First
X Duplicate Tolerance:	1E-006
Y Duplicate Tolerance:	2.2E-007

Deleted Duplicates:	49643
Retained Duplicates:	40450
Artificial Data:	0

X	Y	Z	ID	Status
1.37625	81.221069	-1598	667356	Retained
1.37625	81.221069	-1596	667382	Deleted
1.407667	81.501328	-1371	5142825	Retained
1.407667	81.501328	-1371	5150147	Deleted
1.409898	81.501775	-1372	5142826	Retained
1.409898	81.501775	-1372	5150148	Deleted
1.411877	81.502171	-1377	5142827	Retained
1.411878	81.502171	-1377	5150149	Deleted
1.412273	81.500738	-1379	5142773	Retained
1.412273	81.500738	-1379	5150095	Deleted
1.413857	81.502567	-1382	5142828	Retained
1.413857	81.502567	-1382	5150150	Deleted
1.414355	81.500516	-1377	5142721	Retained
1.414355	81.500516	-1377	5150043	Deleted
1.41441	81.501205	-1379	5142774	Retained
1.41441	81.501205	-1379	5150096	Deleted
1.415873	81.50297	-1381	5142829	Retained
1.415873	81.50297	-1381	5150151	Deleted
1.41602	81.500435	-1383	5141774	Retained
1.41602	81.500435	-1383	5149117	Deleted
1.416057	81.50044	-1367	5142669	Retained
1.416057	81.50044	-1367	5149991	Deleted
1.416411	81.501643	-1381	5142775	Retained
1.416411	81.501643	-1381	5150097	Deleted
1.416764	81.500251	-1383	5142617	Retained
1.416764	81.500251	-1383	5149939	Deleted
1.416836	81.500609	-1363	5141819	Retained
1.416836	81.500609	-1363	5149161	Deleted
1.416932	81.501102	-1359	5142722	Retained
1.416932	81.501102	-1359	5150044	Deleted
1.417307	81.500282	-1365	5141730	Retained
1.417307	81.500282	-1365	5149073	Deleted
1.417601	81.499771	-1367	5141519	Retained
1.417601	81.499771	-1367	5148862	Deleted
1.417673	81.50333	-1387	5142830	Retained
1.417673	81.50333	-1387	5150152	Deleted
1.418011	81.499672	-1376	5141625	Retained
1.418011	81.499672	-1376	5148968	Deleted
1.418222	81.499733	-1365	5141572	Retained
1.418222	81.499733	-1365	5148915	Deleted
1.418295	81.500215	-1368	5142565	Retained
1.418295	81.500215	-1368	5149887	Deleted
1.418441	81.500206	-1372	5141864	Retained
1.418441	81.500206	-1372	5149205	Deleted
1.418446	81.502088	-1377	5142776	Retained
1.418446	81.502088	-1377	5150098	Deleted
1.418749	81.501514	-1365	5142723	Retained
1.418749	81.501514	-1365	5150045	Deleted
1.418985	81.499627	-1365	5141678	Retained
1.418985	81.499627	-1365	5149021	Deleted
1.419222	81.500815	-1367	5142618	Retained

1.419222	81.500815	-1367	5149940	Deleted
1.419299	81.500838	-1381	5141820	Retained
1.419299	81.500838	-1381	5149162	Deleted
1.419481	81.499914	-1388	5142513	Retained
1.419481	81.499914	-1388	5149835	Deleted
1.419954	81.500788	-1366	5141775	Retained
1.419954	81.500788	-1366	5149118	Deleted
1.420055	81.501359	-1368	5142671	Retained
1.420055	81.501359	-1368	5149993	Deleted
1.420236	81.501852	-1382	5142724	Retained
1.420236	81.501852	-1382	5150046	Deleted
1.420244	81.502481	-1379	5142777	Retained
1.420244	81.502481	-1379	5150099	Deleted
1.420381	81.500698	-1367	5142566	Retained
1.420381	81.500698	-1367	5149888	Deleted
1.420784	81.49999	-1373	5141520	Retained
1.420784	81.49999	-1373	5148863	Deleted
1.420926	81.500608	-1356	5141731	Retained
1.420926	81.500608	-1356	5149074	Deleted
1.421057	81.501237	-1372	5142619	Retained
1.421057	81.501237	-1372	5149941	Deleted
1.421309	81.504057	-1386	5142832	Retained
1.421309	81.504057	-1386	5150153	Deleted
1.421384	81.499872	-1371	5142460	Retained
1.421385	81.499872	-1371	5149783	Deleted
1.421476	81.500533	-1373	5141865	Retained
1.421476	81.500533	-1373	5149206	Deleted
1.421628	81.50172	-1381	5142672	Retained
1.421628	81.50172	-1381	5149994	Deleted
1.421911	81.500003	-1358	5141573	Retained
1.421911	81.500003	-1358	5148916	Deleted
1.421986	81.499603	-1373	5141917	Retained
1.421986	81.499603	-1373	5149257	Deleted
1.422091	81.499987	-1359	5141626	Retained
1.42209	81.499987	-1359	5148969	Deleted
1.422108	81.501098	-1375	5142567	Retained
1.422108	81.501098	-1375	5149889	Deleted
1.422152	81.502287	-1377	5142725	Retained
1.422152	81.502287	-1377	5150047	Deleted
1.422173	81.500552	-1362	5142514	Retained
1.422173	81.500552	-1362	5149836	Deleted
1.422212	81.502911	-1373	5142778	Retained
1.422212	81.502911	-1373	5150100	Deleted
1.422266	81.499896	-1366	5141679	Retained
1.422266	81.499896	-1366	5149022	Deleted
1.422295	81.499771	-1371	5142407	Retained
1.422295	81.499771	-1371	5149731	Deleted
1.422532	81.501137	-1376	5141821	Retained
1.422532	81.501137	-1376	5149163	Deleted

**Breakline Filtering**

Breakline Filtering: Not In Use

**Gridding Rules**Gridding Method: Kriging  
Kriging Type: PointPolynomial Drift Order: 0  
Kriging std. deviation grid: no**Semi-Variogram Model**Component Type: Linear  
Anisotropy Angle: 0  
Anisotropy Ratio: 1  
Variogram Slope: 1**Search Parameters**Search Ellipse Radius #1: 4.46  
Search Ellipse Radius #2: 4.46  
Search Ellipse Angle: 0Number of Search Sectors: 4  
Maximum Data Per Sector: 16  
Maximum Empty Sectors: 3Minimum Data: 8  
Maximum Data: 64**Output Grid**Grid File Name: Q:\GIS \Diplomspots\spot2\_data.grd  
Grid Size: 22 rows x 100 columns  
Total Nodes: 2200  
Filled Nodes: 2200  
Blanked Nodes: 0**Grid Geometry**X Minimum: 1.367212  
X Maximum: 10.085855  
X Spacing: 0.088067101010101Y Minimum: 80.501985  
Y Maximum: 82.374695  
Y Spacing: 0.0891766666666667**Grid Statistics**Z Minimum: -2693.3030023222  
Z 25%-tile: -1326.4719436594  
Z Median: -926.88415427665  
Z 75%-tile: -786.30158179322  
Z Maximum: -441.27276945115Z Midrange: -1567.2878858867  
Z Range: 2252.030232871  
Z Interquartile Range: 540.17036186621  
Z Median Abs. Deviation: 174.78361983912Z Mean: -1116.008077758  
Z Trim Mean (10%): -1078.3091099769  
Z Standard Deviation: 450.90874450446  
Z Variance: 203318.69587059Z Coef. of Variation: -1  
Z Coef. of Skewness: -1.2798321686186Z Root Mean Square: 1203.6580600369  
Z Mean Square: 1448792.7254918

### Teil 3: Surfer Gridding Report Fallbeispiel 3

#### Data Source

Source Data File Name: Q:\GIS\Diplomspots\spot3\_data.txt  
 X Column: A  
 Y Column: B  
 Z Column: C

#### Data Counts

Active Data: 1941674  
 Original Data: 1955072  
 Excluded Data: 0  
 Deleted Duplicates: 13398  
 Retained Duplicates: 11237  
 Artificial Data: 0  
 Superseded Data: 0

#### Univariate Statistics

	X	Y	Z
Minimum:	10.667105	81.041145	-3330
25%-tile:	12.505894	81.242716	-2286
Median:	13.278912	81.389178	-2220
75%-tile:	14.33773	81.54923	-2068
Maximum:	18.140222	81.831899	-805
Midrange:	14.4036635	81.436522	-2067.5
Range:	7.473117	0.79075400000001	2525
Interquartile Range:	1.831836	0.306513999999999	218
Median Abs. Deviation:	0.954944	0.155987	81
Mean:	13.542829761602	81.396613365315	-2140.2468524582
Trim Mean (10%):	13.480717053989	81.394344268428	-2156.1777582706
Standard Deviation:	1.5882345173765	0.18983541643268	364.12316896445
Variance:	2.5224888821862	0.036037485332169	132585.68217671
Coef. of Variation:			-1
Coef. of Skewness:			1.0807756695509

#### Inter-Variable Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	0.222	-0.290
Y:		1.000	-0.284
Z:			1.000

#### Inter-Variable Covariance

	X	Y	Z
X:	2.5224888821862	0.067002962887335	-167.85251514834
Y:		0.036037485332169	-19.597860116829
Z:			132585.68217671

#### Planar Regression: $Z = AX + BY + C$

##### Fitted Parameters

	A	B	C
Parameter Value:	-54.803922848612	-441.92415357881	34573.082810489
Standard Error:	0.15697347192251	1.3132991391837	106.44613112836

**Inter-Parameter Correlations**

	A	B	C
A:	1.000	0.222	0.203
B:		1.000	1.000
C:			1.000

**ANOVA Table**

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	34677801082.82	17338900541.41	1.5113E+005
Residual:	1941671	222760370772.07	114726.11517197	
Total:	1941673	257438171854.89		

Coefficient of Multiple Determination (R<sup>2</sup>): 0.13470341570934**Nearest Neighbor Statistics**

	Separation	Delta Z
Minimum:	9.9999999747524E-007	0
25%-tile:	8.2861329942786E-005	2
Median:	0.00053006603362053	5
75%-tile:	0.00088292695055068	10
Maximum:	0.0056121077145813	144
Midrange:	0.0028065538572894	72
Range:	0.0056111077145838	144
Interquartile Range:	0.00080006562060789	8
Median Abs. Deviation:	0.00040522213108984	3
Mean:	0.00056619270559588	7.0572258782885
Trim Mean (10%):	0.00053748334956012	6.2060734485908
Standard Deviation:	0.00047206254802062	7.3090331427196
Variance:	2.2284304924372E-007	53.421965481373
Coef. of Variation:	0.8337489044897	1.0356807715629
Coef. of Skewness:	0.62179396374587	2.3559782232079
Root Mean Square:	0.0007371683858615	10.160039496891
Mean Square:	5.4341722911365E-007	103.22640257839

**Complete Spatial Randomness**

Lambda:	328573.95557559
Clark and Evans:	0.64909884096424
Skellam:	2178325.2386106

**Exclusion Filtering**

Exclusion Filter String: Not In Use

**Duplicate Filtering**

Duplicate Points to Keep: First  
 X Duplicate Tolerance: 8.9E-007  
 Y Duplicate Tolerance: 9.4E-008

Deleted Duplicates: 13398  
 Retained Duplicates: 11237  
 Artificial Data: 0

X	Y	Z	ID	Status
11.985194	81.315262	-1319	1081443	Retained
11.985194	81.315262	-1319	1081495	Deleted
11.994611	81.316047	-1320	1066998	Retained
11.994611	81.316047	-1319	1067051	Deleted
11.99542	81.315934	-1301	1066207	Retained
11.99542	81.315934	-1300	1066258	Deleted
11.996118	81.316194	-1302	1069261	Retained
11.996118	81.316194	-1302	1069310	Deleted
11.997114	81.315839	-1322	1052643	Retained
11.997114	81.315839	-1321	1052696	Deleted
11.997872	81.316481	-1301	1072104	Retained
11.997872	81.316481	-1301	1072157	Deleted
11.998627	81.315837	-1302	1069107	Retained
11.998627	81.315837	-1302	1069159	Deleted
11.998897	81.315844	-1298	1069262	Retained
11.998897	81.315844	-1298	1069311	Deleted
12.00028	81.315327	-1306	1066576	Retained
12.00028	81.315327	-1305	1066629	Deleted
12.00035	81.315325	-1302	1066947	Retained
12.00035	81.315325	-1303	1067106	Deleted
12.000427	81.31612	-1298	1072105	Retained
12.000427	81.31612	-1299	1072158	Deleted
12.000515	81.316132	-1299	1071999	Retained
12.000515	81.316132	-1299	1072052	Deleted
12.000623	81.315291	-1294	1067053	Retained
12.000623	81.315291	-1294	1067158	Deleted
12.001202	81.315535	-1302	1069460	Retained
12.001202	81.315535	-1301	1069511	Deleted
12.001584	81.315507	-1293	1069263	Retained
12.001584	81.315507	-1293	1069410	Deleted
12.001587	81.316435	-1306	1073822	Retained
12.001587	81.316435	-1307	1073874	Deleted
12.002511	81.315047	-1313	1066577	Retained
12.002511	81.315047	-1313	1066630	Deleted
12.002778	81.314817	-1298	1065104	Retained
12.002778	81.314817	-1298	1065157	Deleted
12.003537	81.315165	-1299	1053491	Retained
12.003537	81.315165	-1298	1053543	Deleted
12.003861	81.31522	-1296	1069264	Retained
12.003861	81.31522	-1296	1069313	Deleted
12.00396	81.316074	-1304	1073668	Retained
12.00396	81.316074	-1303	1073771	Deleted
12.003975	81.316071	-1305	1073201	Retained
12.003975	81.316071	-1305	1073253	Deleted
12.005359	81.314696	-1293	1066949	Retained
12.005359	81.314696	-1293	1067160	Deleted
12.006014	81.31493	-1299	1069010	Retained
12.006014	81.31493	-1300	1069665	Deleted
12.006601	81.315676	-1290	1073721	Retained
12.006601	81.315676	-1289	1073772	Deleted
12.006848	81.315819	-1304	1057433	Retained

12.006848	81.315819	-1303	1057485	Deleted
12.007342	81.314259	-1297	1065265	Retained
12.007342	81.314259	-1296	1065317	Deleted
12.007545	81.314421	-1294	1066950	Retained
12.007545	81.314421	-1295	1067056	Deleted
12.0082	81.314552	-1286	1071272	Retained
12.0082	81.314552	-1286	1071323	Deleted
12.008317	81.314644	-1296	1069463	Retained
12.008317	81.314644	-1296	1069514	Deleted
12.008439	81.314511	-1289	1053228	Retained
12.008439	81.314511	-1290	1053281	Deleted
12.008546	81.315385	-1296	1073825	Retained
12.008546	81.315385	-1296	1073929	Deleted
12.00966	81.314148	-1298	1066580	Retained
12.00966	81.314148	-1298	1066633	Deleted
12.009821	81.314134	-1289	1067004	Retained
12.009821	81.314134	-1289	1067162	Deleted
12.009821	81.314134	-1289	1067057	Deleted
12.010056	81.314316	-1296	1071273	Retained
12.010056	81.314316	-1295	1071324	Deleted
12.01017	81.314219	-1296	1052331	Retained
12.01017	81.314219	-1296	1052384	Deleted
12.010683	81.315062	-1292	1073878	Retained
12.010683	81.315062	-1292	1073930	Deleted
12.010948	81.31423	-1283	1053494	Retained
12.010948	81.31423	-1283	1053546	Deleted
12.011706	81.313708	-1290	1065267	Retained
12.011706	81.313708	-1290	1065319	Deleted
12.011787	81.315169	-1294	1057016	Retained
12.011787	81.315169	-1293	1057803	Deleted
12.011825	81.313882	-1292	1067111	Retained
12.011825	81.313882	-1292	1067163	Deleted
12.011846	81.313873	-1293	1066581	Retained
12.011846	81.313873	-1292	1066634	Deleted
12.012007	81.31386	-1285	1067005	Retained
12.012007	81.31386	-1285	1067058	Deleted
12.012119	81.315187	-1288	1057592	Retained
12.012119	81.315187	-1288	1057644	Deleted
12.012611	81.314771	-1294	1073879	Retained
12.012611	81.314771	-1294	1073931	Deleted
12.012679	81.314759	-1291	1073724	Retained
12.012679	81.314759	-1291	1073775	Deleted
12.013714	81.314244	-1287	1072111	Retained
12.013714	81.314244	-1287	1072164	Deleted
12.013737	81.313642	-1295	1066953	Retained
12.013737	81.313642	-1296	1067059	Deleted
12.013737	81.313642	-1295	1067006	Deleted
12.013781	81.314252	-1287	1072005	Retained
12.013781	81.314252	-1287	1072058	Deleted



**Breakline Filtering**

Breakline Filtering: Not In Use

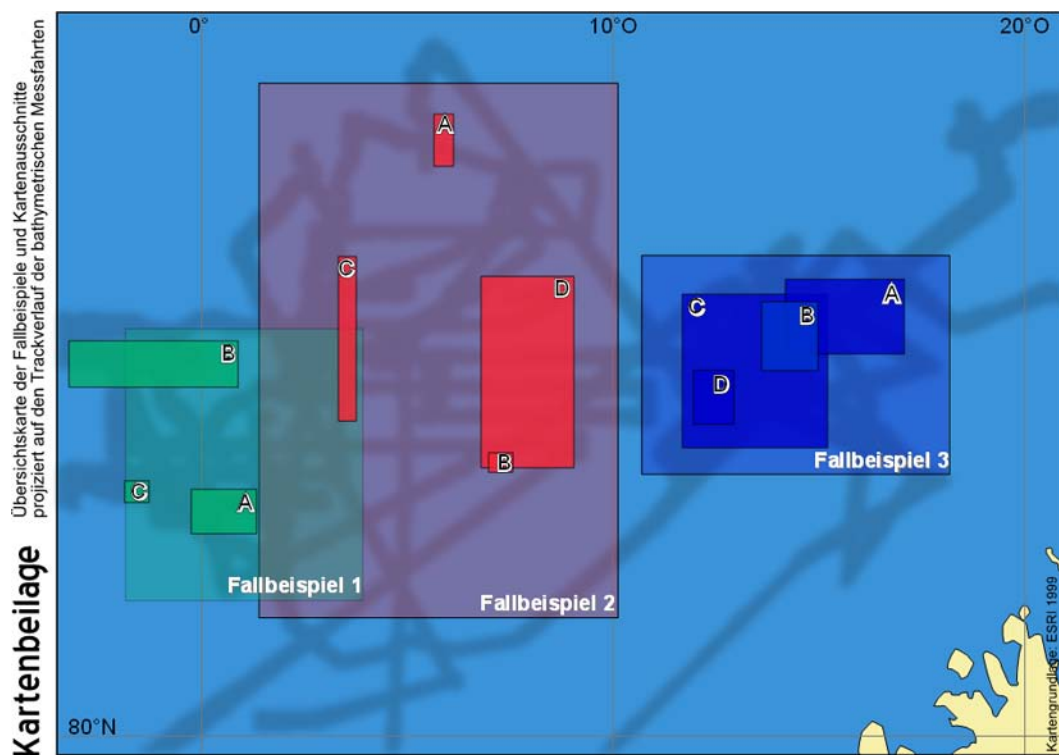
**Gridding Rules**Gridding Method: Kriging  
Kriging Type: PointPolynomial Drift Order: 0  
Kriging std. deviation grid: no**Semi-Variogram Model**Component Type: Linear  
Anisotropy Angle: 0  
Anisotropy Ratio: 1  
Variogram Slope: 1**Search Parameters**Search Ellipse Radius #1: 3.76  
Search Ellipse Radius #2: 3.76  
Search Ellipse Angle: 0Number of Search Sectors: 4  
Maximum Data Per Sector: 16  
Maximum Empty Sectors: 3Minimum Data: 8  
Maximum Data: 64**Output Grid**Grid File Name: Q:\GIS\Diplomspots\spot3\_data.grd  
Grid Size: 11 rows x 100 columns  
Total Nodes: 1100  
Filled Nodes: 1100  
Blanked Nodes: 0**Grid Geometry**X Minimum: 10.66710499  
X Maximum: 18.14022201  
X Spacing: 0.07548603050505Y Minimum: 81.041145  
Y Maximum: 81.83189901  
Y Spacing: 0.079075401**Grid Statistics**Z Minimum: -3300.185558192  
Z 25%-tile: -2308.3090016951  
Z Median: -2190.3448224307  
Z 75%-tile: -2010.7739967795  
Z Maximum: -811.63935416844Z Midrange: -2055.9124561802  
Z Range: 2488.5462040235  
Z Interquartile Range: 297.53500491555  
Z Median Abs. Deviation: 150.89517954409Z Mean: -2132.3114088759  
Z Trim Mean (10%): -2152.1000618512  
Z Standard Deviation: 435.98481775252  
Z Variance: 190082.7613107Z Coef. of Variation: -1  
Z Coef. of Skewness: 0.85219239643752Z Root Mean Square: 2176.4270504046  
Z Mean Square: 4736834.7057328

#### Teil 4: Kartenbeilage - Übersichtskarte der Fallbeispiele

Übersicht der Fallbeispielgebiete sowie der gewählten Detailausschnitte innerhalb der Fallbeispiele. Im Hintergrund sind die Tracks der bathymetrischen Datenaufnahme zu erkennen.

**Die Kartenbeilage befindet sich am Ende der Arbeit  
im hinteren Umschlagblatt.**

Verkleinerte Voransicht:



# Kartenbeilage

Übersichtskarte der Fallbeispiele und Kartenausschnitte projiziert auf den Trackverlauf der bathymetrischen Messfahrten

