

Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik  
Fachbereich Vermessung, Informatik und Mathematik

Diplomarbeit  
im Studiengang Vermessung und Geoinformatik

Analyse der physikalischen Eigenschaften von  
Multicorer-Sedimentproben aus dem Gebiet der Porcupine  
Bucht und deren Einfluss auf die akustische Rückstreuung

Andreas Winkler

Betreuender Prüfer: Prof. Dr.-Ing. M. Stober  
Zweiter Prüfer: Dr.-Ing. H. W. Schenke

Mai 2005

Erklärung:

Nachstehende Diplomarbeit wurde von mir zur Diplomprüfung 2005 selbst verfasst und ohne fremde Hilfe angefertigt. Die benützten Hilfsmittel und Literaturquellen sind am Schluß aufgeführt.

Bremerhaven, den 01. Juni 2005

.....  
Andreas Winkler

Gesehen:

.....  
1. Prüfer, Prof. Dr.-Ing. Manfred Stober  
Hochschule für Technik Stuttgart, Fachbereich Vermessung und Geoinformatik

.....  
2. Prüfer, Dr.-Ing. Hans-Werner Schenke  
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einführung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Untersuchungsgebiet</b>	<b>3</b>
2.1 Rockall-Porcupine Rand . . . . .	3
2.2 Porcupine Bucht . . . . .	4
2.3 Gollum Channel . . . . .	4
<b>3 Grundlagen der Hydroakustik</b>	<b>8</b>
3.1 Schwingungen . . . . .	8
3.2 Das logarithmische Maß Dezibel (dB) . . . . .	10
3.3 Eigenschaften des Wasserkörpers . . . . .	11
3.3.1 Dichteverhalten . . . . .	11
3.3.2 Vertikale Temperaturverteilung . . . . .	11
3.3.3 Horizontale und vertikale Salzgehaltverteilung . . . . .	12
3.4 Ausbreitung von Schall im Wasser . . . . .	12
3.4.1 Schallgeschwindigkeit . . . . .	12
3.4.2 Ausbreitungsverlust . . . . .	13
3.4.3 Dopplereffekt . . . . .	14
3.5 Schallausbreitung bei geschichteten Medien . . . . .	14
3.5.1 Brechung . . . . .	15
3.5.2 Reflexion . . . . .	16
3.5.3 Rauigkeit . . . . .	16
3.5.4 Streuung . . . . .	17
3.5.5 Impedanz . . . . .	17

<b>4</b>	<b>Messsysteme</b>	<b>19</b>
4.1	Fächerecholot HYDROSWEEP DS-2 . . . . .	19
4.1.1	Kreuzfächerprinzip . . . . .	21
4.1.2	Footprintgröße . . . . .	23
4.1.3	Strahlengang in der Wassersäule . . . . .	23
4.1.4	Beispielberechnung eines Strahlenganges . . . . .	25
4.1.5	Messung des Rückstreukoeffizienten . . . . .	27
4.2	Sedimentecholot PARASOUND . . . . .	27
4.3	CTD-Sonde . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Bathymetrie des Gollum Channels</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Geologie des Gollum Channels</b>	<b>34</b>
6.1	Entstehungsgeschichte . . . . .	34
6.1.1	Sedimentation . . . . .	35
6.1.2	Sedimenttransport . . . . .	36
6.1.3	Sedimentationsstruktur, Sedimentsrate und Strömungsverhältnisse . . . . .	38
6.2	Technische Ausrüstung für die geologische und sedimentologische Untersuchung . . . . .	39
6.2.1	Multicorer . . . . .	39
6.2.2	VICTOR 6000 . . . . .	39
6.3	Aufnahmen der Probeentnahmestellen . . . . .	41
6.3.1	Multicorer - Genauigkeitsbetrachtung . . . . .	41
6.3.2	Kanalboden - Genauigkeitsbetrachtung . . . . .	44
6.4	Parasound-Profile . . . . .	44
6.4.1	Aufzeichnung der Profile . . . . .	44
6.4.2	Darstellung der Profile und Probleme . . . . .	45
6.4.3	Analyse der Profile . . . . .	46
6.5	Sedimentologische Bearbeitung der Proben . . . . .	53
6.6	Shepard-Diagramm . . . . .	58
6.6.1	Analyse des Shepard-Diagramms . . . . .	60
6.6.2	Beschreibung der einzelnen Kerne . . . . .	60
6.6.3	Abschnittsweise Betrachtung . . . . .	61
6.6.4	Gesamtbeurteilung des Diagramms . . . . .	62
<b>7</b>	<b>Bearbeitung der Rückstreudaten</b>	<b>63</b>
7.1	Grundlagen der Rückstreuung . . . . .	63
7.2	Bearbeitungsablauf . . . . .	66
7.3	Gegenüberstellung der Messprofile ANT-XVII/4 und ARK-XIX/3 . . . . .	67
7.3.1	ANT-XVII/4 . . . . .	67
7.3.2	ARK-XIX/3 . . . . .	68
7.4	Einlesen in ArcMap und anschließende Bearbeitung mit GMT . . . . .	69

7.4.1	Kurzbeschreibung der verwendeten Programme . . . . .	70
7.4.2	Extrahierung der Werte mittels <i>clip</i> -Funktion . . . . .	71
7.5	Histogramm . . . . .	72
7.6	Analyse und Vergleich ANT-XVII/4 & ARK-XIX/3 . . . . .	74
7.6.1	Allgemeine Beschreibung der Diagramme . . . . .	74
7.6.2	Beschreibung des systematischen Fehlers . . . . .	76
7.6.3	Vergleich der Kanalabschnitte . . . . .	78
7.6.4	Vergleich der Multicorerstationen . . . . .	83
<b>8</b>	<b>Auswertung</b>	<b>88</b>
8.1	Einführung . . . . .	88
8.2	Auswertung und Zusammenhänge . . . . .	90
8.2.1	Zusammenhang von Oberfläche und Rückstreuung . . . . .	90
8.2.2	Zusammenhang von Kanalstruktur und Rückstreuung . . . . .	92
8.2.3	Zusammenhang von Sedimentproben und Rückstreuung . . . . .	95
8.3	Diskussion . . . . .	103
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>106</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>107</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>111</b>
<b>A</b>	<b>Datenblätter</b>	<b>113</b>
<b>B</b>	<b>Parasoundprofile</b>	<b>129</b>
<b>C</b>	<b>GMT</b>	<b>143</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Gollum Channel <i>gc1</i> mit Kanalabschnitt und Multicorerpositionen	1
2.1	Irland und der Kontinentalrand; die grüingefärbte Einbuchtung im Schelf (rot) südwestlich von Irland ist das Porcupine Becken . . . . .	4
2.2	Porcupine Becken, farblich abgehoben ist die ANT-XVII-Messung (Beyer, 2001) . . . . .	5
2.3	Untersuchungsgebiet mit Bezeichnung der umliegenden Kanäle; Darstellung im Rückstreumaß . . . . .	6
2.4	Gollum Channel <i>gc1</i> . . . . .	7
3.1	Schallausschlag, Schallschnelle und Schalldruck . . . . .	9
3.2	Reflexion und Brechung bei Schichtwechselln . . . . .	15
4.1	Meßprinzip des Fächerecholotes Hydrosweep DS-2 . . . . .	22
4.2	Footprint am Meeresboden . . . . .	24
4.3	Strahlengang im Wasser - Gegenüberstellung von wahren und theoretischem Strahlenverlauf . . . . .	24
4.4	CTD-Sonde . . . . .	29
4.5	Schallgeschwindigkeitsprofile aus CTD-Messungen der ARK-XIX-Expedition . . . . .	30
5.1	Gollum Channel <i>gc1</i> in 3D-Ansicht aus westlicher Richtung . . . . .	32
5.2	Neigungskarte des Gollum Channels <i>gc1</i> . Grün-gefärbten Bereiche: Neigungen zwischen 0 und 10 Grad, gelb- bis rot-gefärbten Flächen: Neigungen zwischen etwa 10 und 40 Grad . . . . .	33
6.1	Beispiel eines Rinnendeltas in der Tiefsee (Völker, 2005) . . . . .	35
6.2	Gradierung einer Turbiditlage (Völker, 2005) . . . . .	37
6.3	Multicorer an Deck des Forschungsschiffes Polarstern . . . . .	40
6.4	ROV VICTOR 6000 . . . . .	40
6.5	Bodenbilder der Beprobungspositionen von Multicorer und VICTOR	42
6.6	Vergleich eines Parasound-, DGM- und Centerbeamprofils . . . . .	47
6.7	Profil 03; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	49
6.8	Profil 04; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	49

6.9	Profil 05; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	50
6.10	Profil 07; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	51
6.11	Profil 09; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	51
6.12	Profil 11; Ausschnitt des Kanalbodens . . . . .	52
6.13	Übersicht des Beprobungsablaufes . . . . .	54
6.14	Shepard-Diagramm, Analyse der Bodenproben der Expedition ARK- XIX . . . . .	59
7.1	Abhängigkeit der Rückstreuung von Oberflächenbeschaffenheit und Impedanzkontrast . . . . .	64
7.2	Messablauf ANT-XVII . . . . .	68
7.3	Messablauf ARK-XIX . . . . .	69
7.4	ARK-XIX-Messung aufgeteilt in Backbord (rot)- und Steuerbordbe- ams(grün); 1000 m-Zonen um Multicorerstationen . . . . .	70
7.5	Histogramm-Vergleich der einzelnen Kanalabschnitte. Rechts-Achse: Beamnummer, Hoch-Achse: Anzahl der Messpunkte . . . . .	73
7.6	Einfallswinkel auf dem Meeresboden . . . . .	75
7.7	Einfallswinkel und Rückstreuung bei ebenem Boden . . . . .	75
7.8	Einfallswinkel und Rückstreuung bei rauher Oberfläche . . . . .	76
7.9	Vergleich der Kanalabschnitte mit einer Trendlinie 1. und 5. Grades . . . . .	77
7.10	Gollum Channel gc1 mit Kanalabschnitt und Multicorerpositionen . . . . .	78
7.11	Vergleich der ANT-XVII-Rückstreuwerte der einzelnen Kanalabschnit- te . . . . .	79
7.12	Vergleich der ARK-XIX-Rückstreuwerte der einzelnen Kanalabschnitte . . . . .	80
7.13	Vergleich der Rückstreuung in den einzelnen Kanalabschnitten . . . . .	81
7.14	Vergleich der Rückstreuung in den Bereichen der Multicorerstationen . . . . .	84
8.1	Kreuzkorrelation der Korngrößen . . . . .	96
B.1	Messablauf ANT-XVII . . . . .	129

# Tabellenverzeichnis

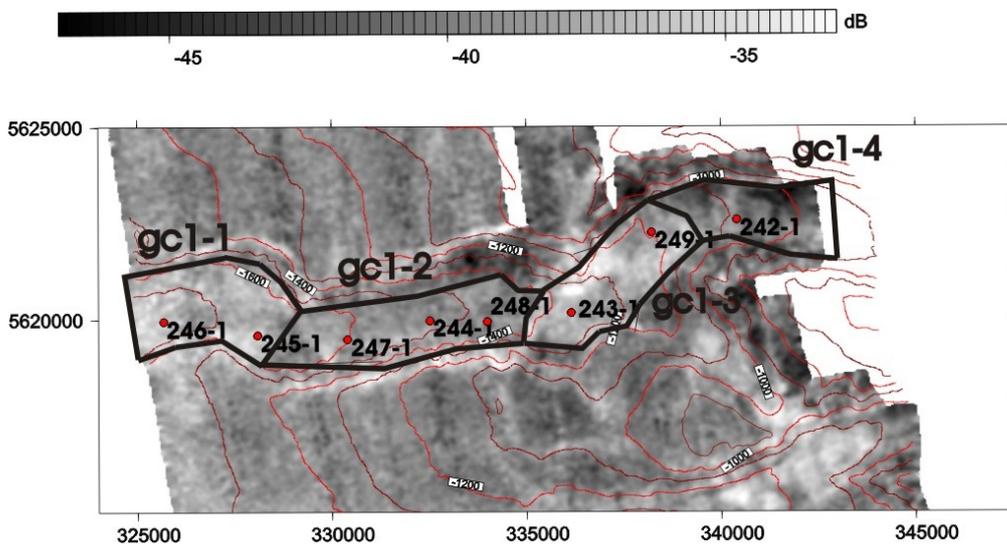
3.1	Kennwerte für Sedimentarten des Kontinentalen Randmeeres (Urban, 2002) . . . . .	18
4.1	Technische Spezifikationen des Hydrosweep DS-2 . . . . .	20
4.2	Strahlengang des Fächerecholotes, abhängig von Schallgeschwindigkeit und Winkel . . . . .	26
4.3	Technische Spezifikationen des Sedimentecholots PARASOUND . . . . .	28
6.1	Bildungsräume klastischer Sedimente . . . . .	38
6.2	Ergebnisse der Kernbearbeitung am Beispiel des Kerns 242-1 . . . . .	55
6.3	Endergebnisse des Kerns PS64/242-1 . . . . .	56
7.1	Abschnittsweise Gegenüberstellung der Funktion 5.Grades . . . . .	78
7.2	Gegenüberstellung der Rückstremessungen, abschnittsweise Betrachtung . . . . .	82
7.3	Gegenüberstellung der Rückstremessungen, stationsweise Betrachtung . . . . .	87
8.1	Auflistung der für die Analyse zur Verfügung stehenden Daten . . . . .	89
8.2	Zusammenhang PARASOUND-Profil, MUC-Station und Rückstreuung . . . . .	94
8.3	Schallgeschwindigkeiten im Sediment (Kontinentalrand) (Hamilton and Bachman, 1982) . . . . .	99
8.4	Beispielrechnung der akustischen Impedanz . . . . .	100
8.5	Beispielrechnung des akustischen Impedanzkontrastes . . . . .	102

# Abkürzungen

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AWI	Alfred-Wegener-Institut
CARIS	Computer Aided Resource Information System
CTD	Conductivity - Temperature - Density
DGM	Digitales Geländemodell
gc	Gollum Channel
GIS	Geographic Information System
GMT	Generic Mapping Tools
HYDROSWEEP-DS	Hydrographic Multibeam Sweeping Survey Echosounder - Deep Sea
MUC	Multicorer
Parasound	Parametric Echosounder
PFB	Preformed beam
ROV	Remotely Operated Vehicle
RV	Research Vessel
TVG	Time Varying Gain
VIC	VICTOR 6000 (Tauchroboter)

# 1 Einführung und Zielsetzung

Im Jahr 2000 wurden während der ANT-XVII-Expedition des Polar- und Forschungsschiffes POLARSTERN<sup>1</sup> im Seegebiet vor Irland in einem Canyon des Gollum Channel Systems Flächen mit markanter Rückstreuung entdeckt, die sich in vier Sektoren mit abwechselnd starker und schwacher Rückstreuung aufteilen (Abb. 1.1). Da der Schwerpunkt der damaligen Expedition mehr auf der Kartierung von Karbonathügeln lag, wurde erst drei Jahre später, während der Expedition ARK-XIX/3, eine genauere Untersuchung durchgeführt.



**Abbildung 1.1:** Gollum Channel gc1 mit Kanalabschnitt und Multicorerpositionen

Der hier untersuchte Canyon *gc1* liegt im Kontinentallhang der Porcupine Bucht. Das Kanalsystem entstand wohl während der letzten Eiszeit, als das Schelf über dem heutigen Meeresspiegel lag und große Flußsysteme bis an den Kontinentallhang reichten.

Die Visualisierung der akustischen Rückstreuung (engl. *backscatter*) ist ein häufiges Hilfsmittel zur Analyse der Oberflächenbeschaffenheit am Meeresboden. Da das Rückstreumaß eine physikalische Eigenschaft des Sediments ist, bestehen Abhängigkeiten von folgenden Parametern:

<sup>1</sup>Betreiber ist das Alfred-Wegener-Institut (AWI) für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven

- 
- Einfallswinkel des Schalls auf den Boden
  - Rauigkeit des Bodens
  - Impedanz des Bodens

Um der Rückstreuung näher auf den Grund zu gehen, wurden während der Expedition ARK-XIX Bodenproben mit Hilfe eines Multicorers im Bereich des Kanals entnommen. Zusätzlich wurden für die Bestimmung der Oberflächenrauigkeit Videoaufnahmen von den Beprobungsstellen aufgezeichnet. Um Rückschlüsse auf die Sedimentdicke ziehen zu können, wurden PARASOUND-Profile der Expedition ANT-XVII ausgewertet. Eine erste vorläufige Untersuchung kam zu dem Schluß, dass die Oberflächenbeschaffenheit wohl keinen Einfluß auf die Rückstreuung hat, da sich die einzelnen Abschnitte bezüglich der Rauigkeit nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Um der eigentlichen Ursache auf den Grund zu gehen, sollen verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt werden.

Dafür wird in den folgenden Kapiteln auf die Grundlagen der Hydroakustik und der Messsysteme eingegangen. Im ersten Hauptteil dieser Arbeit soll die Bearbeitung der Bodenproben, die Analyse der PARASOUND-Profile und der Meeresbodenoberfläche beschrieben werden. Der zweite Teil befaßt sich mit der Auswertung der Rückstreuwerte, die während beider Expeditionen vom Untersuchungsgebiet aufgezeichnet wurden.

In der Auswertung und Diskussion soll versucht werden, einen Zusammenhang zwischen Rückstreuung und Sedimenteigenschaften herzustellen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten und Messergebnisse stammen aus einem Canyon des Gollum Channel Systems. Dieses System liegt im südlichen Bereich des Porcupine Beckens südwestlich von Irland. Der hier untersuchte Canyon trägt intern die Bezeichnung **gc1** und ist der am deutlichsten ausgeprägte Canyon des ganzen Kanalsystems, sowohl was die Topologie als auch die charakteristische Rückstreuung betrifft. Die Existenz von Kanälen am westlichen Hang der Porcupine Bucht wurde erstmals 1962 von Brenot und Berthois vermutet. Seitdem wurde das Gebiet immer wieder untersucht und vermessen, zuletzt im Jahr 2003 (ARK-XIX/3).

In der vorliegenden Arbeit wird mit Daten aus einem Teilgebiet des mit EU-Mitteln finanzierten GEOMOUND-Projektes (GEOlogy of carbonate MOUNDS) gearbeitet. Im Rahmen dieses Projektes sollen Aufbau und Entstehung von *Carbonate Mounds* untersucht werden.

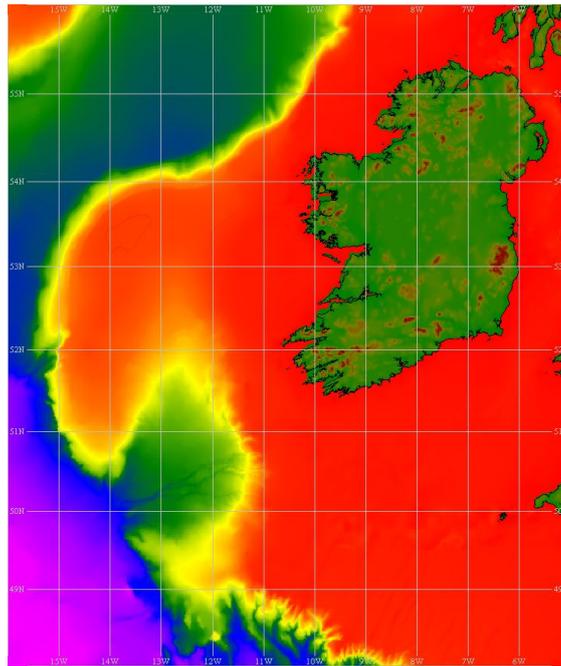
Ziel des Forschungsprojektes ist eine systematische Bestandsaufnahme der so genannten *giant mounds* in den ausgewählten Untersuchungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie<sup>1</sup>, der räumlichen und zeitlichen Verteilung und der chemischen Zusammensetzung der Karbonathügel. Hierfür werden Daten der freien Wirtschaft und im Rahmen des Projektes erfasste Daten verwendet. Das Alfred-Wegener-Institut hat innerhalb dieses Projektes die Aufgabe, eine lückenlose bathymetrische Kartengrundlage des Untersuchungsgebietes zu erstellen, wobei sich die Aktivitäten des AWI auf das Gebiet der Porcupine Bucht konzentrieren (Beyer, 2001).

### 2.1 Rockall-Porcupine Rand

Der Rockall-Porcupine Rand schließt den atlantischen Kontinentalrand zwischen dem Nordwesten Großbritanniens und Irland ein. Mit einer Länge zwischen 600 km und 1000 km und einer Breite von etwa 1200 km hat er eine ungewöhnlich große Ausdehnung (Abbildung 2.1) (Mienert and Weaver, 2003).

---

<sup>1</sup>griech., Lehre von der Form



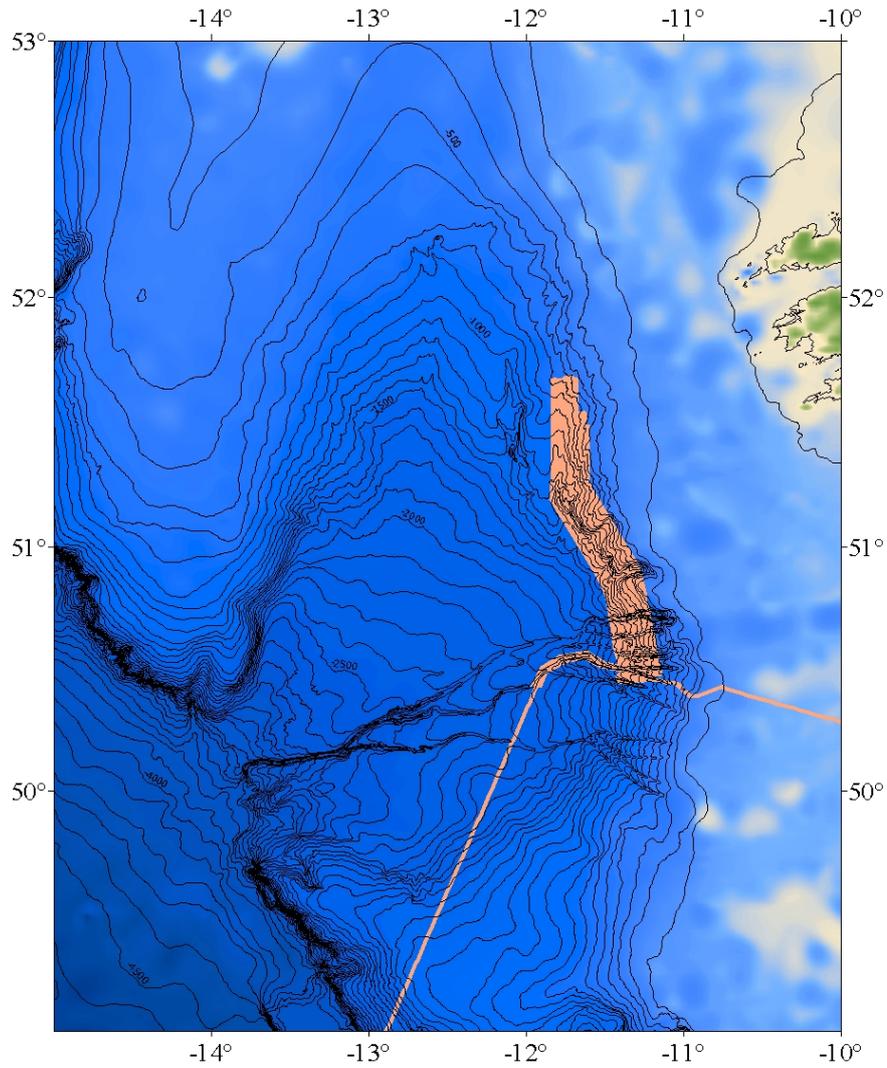
**Abbildung 2.1:** Irland und der Kontinentalrand; die grüngefärbte Einbuchtung im Schelf (rot) südwestlich von Irland ist das Porcupine Becken

## 2.2 Porcupine Bucht

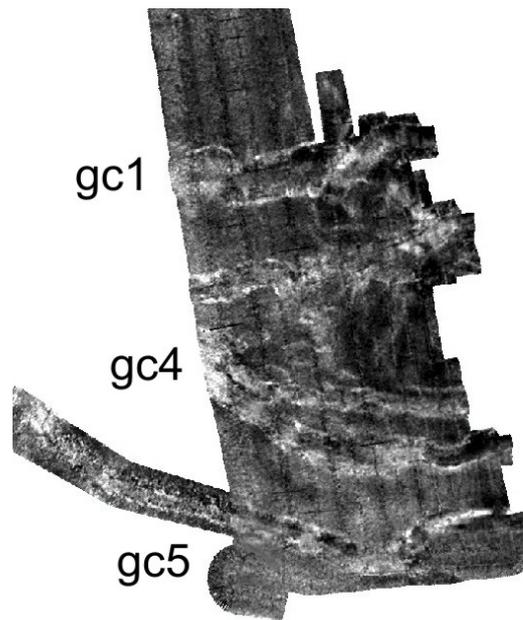
Die Porcupine Bucht liegt westlich der irischen Küste und ähnelt einer birnenförmigen Einbuchtung in Nord-Süd-Orientierung am Irischen Kontinentalhang. Sie ist ungefähr 150 km lang, 65 km breit und öffnet sich etwa 100 km weit nach Süden. Die Wassertiefen reichen von 250 m im Norden bis 3500 m im Süden. Die tieferliegende *basinale* Struktur ist auf drei Seiten von höher gelegenen flacheren Ebenen umgeben: dem Porcupine Rücken im Westen, dem Slyne Rücken im Norden und dem irischen Festlandschelf im Osten, an dessen Hang sich auch das Gollum Channel System befindet. Die Goban Spur bildet die südliche Grenze (DeMol *et al.*, 2002). Im Südwesten geht das Porcupine Becken in das Porcupine Tiefseebecken über (vgl. Abbildung 2.2).

## 2.3 Gollum Channel

Die Kanäle des Gollum Channel Systems liegen im östlichsten Bereich der Porcupine Bucht. Sie sind im Verhältnis zur Länge eng, erstrecken sich in Ost-West-Richtung und erreichen eine Tiefe von bis zu 400 m bei einer Breite der Sohle von bis zu 1500 m. Sie mäandern nur wenig und haben steile Seitenhänge mit Neigung



**Abbildung 2.2:** Porcupine Becken, farblich abgehoben ist die ANT-XVII-Messung (Beyer, 2001)



**Abbildung 2.3:** Untersuchungsgebiet mit Bezeichnung der umliegenden Kanäle; Darstellung im Rückstreumaß

gen bis zu  $25^\circ$ . Die Kanäle sind an den Seiten von terrassenartigen Ebenen flankiert und befinden sich an einem Hang mit 0,5 % Gefälle. Die insgesamt sechs Kanäle des Gollum Channel Systems münden in etwa 3000 m Tiefe in einen einzigen Kanal, der die Trübestrome in die südliche Porcupine Seebucht weiter transportiert. Datierungen der Turbidite<sup>2</sup> weisen darauf hin, daß die größte Aktivität während der letzten Eiszeit stattgefunden hat, wogegen für die letzten 10000 Jahren so gut wie keine Aktivitäten festzustellen sind (Mienert and Weaver, 2003).

Von den zahlreichen Kanälen dieses Systems wird in dieser Arbeit der Kanal mit der Bezeichnung gc1 genauer untersucht (vgl. Abbildung 2.4).

Eine genaue Beschreibung des Kanals erfolgt in Kapitel 6. In diesem Kapitel wird auf die Entstehungsgeschichte, die Topologie wie auch auf die Sedimentation und Strömung eingegangen.

---

<sup>2</sup>Abgelagerte Sedimente; siehe auch Kapitel 6.1.1

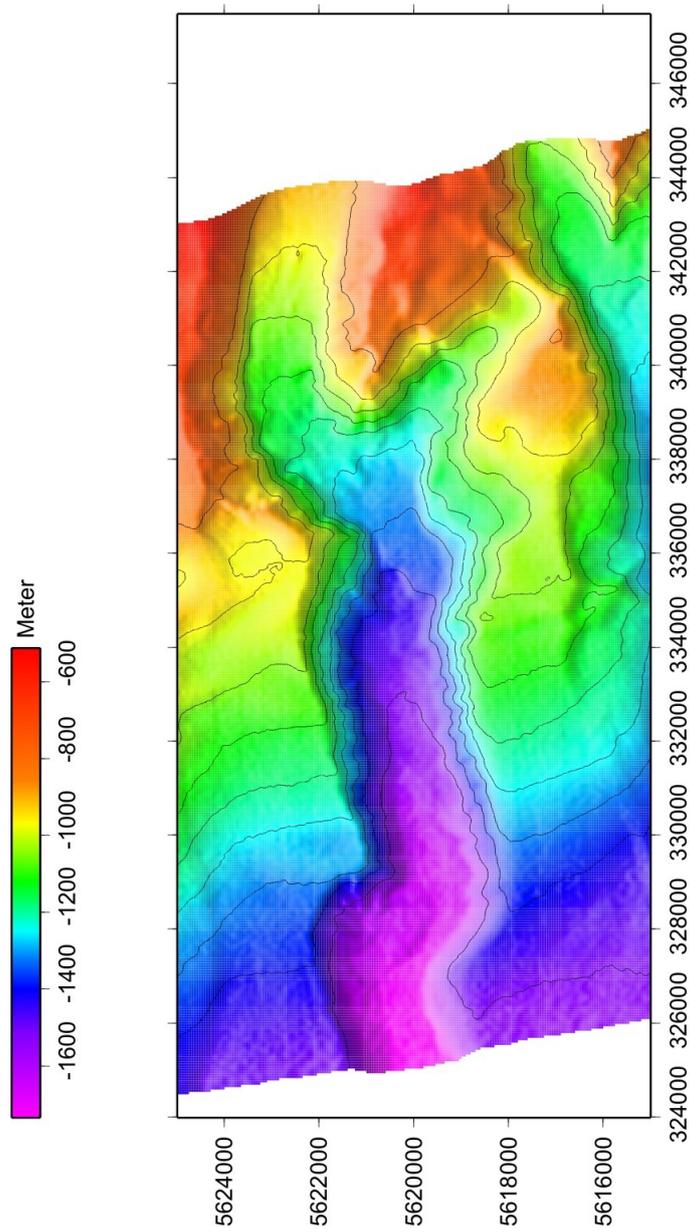


Abbildung 2.4: Gollum Channel *gc1*

# 3 Grundlagen der Hydroakustik

Von allen bekannten Wellenarten breiten sich Schallwellen in flüssigen Medien am besten aus; sie stellen sich im Wasser als Dichtestörung durch Druck- und Volumenänderung dar. Die Hydroakustik befasst sich mit der Ausbreitung von Schallwellen in flüssigen Medien, speziell im Wasserkörper der Meere und beschreibt die dabei auftretenden Phänomene. Beachtet werden müssen neben vielen Parallelen aus der Funk- und Schallortung besonders die Eigenheiten des Wassers als Ausbreitungsmedium wie beispielsweise ein hoher Einfluß des Dopplereffekts, Abhängigkeit der Schallwellen von Salzgehalt, Temperatur und Druck, der Einfluß von Umgebungsgereuschen usw. So bildet die Kenntnis der akustischen Schallerzeugung, Kenntnisse über die räumliche Ausbreitung von Schallwellen in Flüssigkeiten und die von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängige Verhalten wie Reflexion, Streuung und Impedanz die Grundlagen für eine praktische Anwendung von Echolotsystemen.

## 3.1 Schwingungen

Eine periodische Schwingungsform hat einen sinusförmigen Verlauf:

$$f(t) = A \cdot \cos(\omega t - \varphi_0) \quad (3.1.1)$$

Eine periodische Schwingung, die sich als Welle ausbreitet, ist periodisch in Zeit und Raum. Die *Wellenlänge*  $\lambda$  ist der Abstand zwischen benachbarten Punkten im Raum mit derselben Phase, wobei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Phase als *Phasengeschwindigkeit* beschrieben wird. Als *Dispersion* wird die Abhängigkeit der Phasengeschwindigkeit einer Welle von der Wellenlänge:  $c = c(\lambda)$  bezeichnet. Die Phasengeschwindigkeit des Wasserschalls verringert sich etwas mit abnehmender Wellenlänge.

Der **Schalldruck**  $p$  ist in der Akustik die wichtigste lineare Schallfeldgröße. Als Schalldruck bezeichnet man die von einer Schallwelle an einem bestimmten Punkt auftretende maximale Abweichung vom stationären Druck.

$$p = \frac{F}{A} \quad (3.1.2)$$

mit  $p$  = Schalldruck,  $F$  = Kraft,  $A$  = Fläche. Die Einheit des Drucks ist das **Pascal**

mit dem Einheitszeichen Pa.

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2} \quad (3.1.3)$$

Die Angabe eines Schalldruckwerts ohne die gleichzeitige Angabe der Mess-Entfernung ist wertlos. Als Messgröße für den Druck wird in der Akustik der Schalldruckpegel  $L_p$  in dB (siehe auch Kapitel 3.2) verwendet. Nicht zu verwechseln ist der Schalldruck  $p$  mit der Schallintensität  $I$ . Der Schalldruck  $p$  (Abb. 3.1) in m/s ist definiert als:

$$p = Z \cdot v = \frac{J}{v} = \sqrt{J \cdot Z} \quad (3.1.4)$$

mit Schallkennimpedanz  $Z$  in  $[N \cdot s/m^3]$ , Schallschnelle  $v$  in  $[m/s]$ , Schallintensität  $J$  in  $[W/m^2]$ .

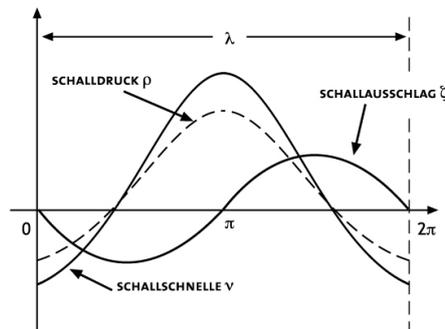


Abbildung 3.1: Schallausschlag, Schallschnelle und Schalldruck

Die **Schallschnelle  $n$**  ist die Wechselgeschwindigkeit, mit der die schwingenden Partikel des Schallübertragungsmediums um ihre Ruhelage oszillieren. Die Schnelle ist definiert als Schallausschlag pro Zeiteinheit. Nicht zu verwechseln ist die Schallschnelle mit der Schallgeschwindigkeit! Die Schallgeschwindigkeit gibt die Geschwindigkeit an, mit der sich die Schallenergie ausbreitet, die Schallschnelle stellt die Wechselgeschwindigkeit der Teilchen dar.

Die **Schallkennimpedanz  $Z_0$**  ist eine charakteristische Größe für das jeweilige Schallausbreitungsmedium, da das Verhältnis von Schalldruck zu Schallschnelle bei einer ebenen Schallwelle zu jedem Zeitpunkt und an jeder Stelle eines Raumes konstant ist. Für Wasser gilt bei  $T = 20^\circ\text{C}$ :  $1,44 \cdot 10^6 [Ns/m^3]$  Bei einer Kugelwelle ist das Verhältnis von Schalldruck und Schallschnelle nicht mehr überall konstant. Der Quotient wird dann als spezifische Schallimpedanz  $Z_S$  bezeichnet; sie hängt ab vom Verhältnis der Schallquellenentfernung  $r$  zur Wellenlängen  $\lambda$ .

Erst wenn gilt:  $r \gg \lambda$  wird die spezifische Schallimpedanz reell und identisch mit der Schallkennimpedanz  $Z_0$ . (www.matheboard.de, 2004)

Die **Schallintensität  $J$**  ist die Schalleistung, die durch eine senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehende Fläche strömt oder die pro Zeiteinheit (Sekunde) durch

ein Flächenelement hindurchtretende Schallenergie.

Es gilt auch: Schallintensität = Schalldruck · Schallschnelle.

$$J = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot v(t) dt \quad (3.1.5)$$

Die Einheit der Intensität ist  $W/m^2$ . Die Schallintensität ist eine quadratische Größe (Schallenergiegröße) und keine lineare Schallfeldgröße.

## 3.2 Das logarithmische Maß Dezibel (dB)

Das Dezibel<sup>1</sup> ist üblicherweise das logarithmische Verhältnis zweier elektrischer Größen (Spannung, Strom, Leistung). Es handelt sich um ein dimensionsloses Zahlenverhältnis.

In der Akustik sind Brüche über viele Größenordnungen relevant. Deshalb benutzt man in der Praxis den **Schallpegel L**, der eine Umrechnung des Schalldrucks bzw. der Schallintensität in ein logarithmisches Maß darstellt:

$$L = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3.2.1)$$

mit  $p$  = Schalldruck und  $I$  = Intensität.

Da der Schallpegel  $L$  eine logarithmische Größe ist, dürfen zur Berechnung des Gesamtschallpegels bei der Überlagerung von zwei Schallquellen nicht einfach Pegel  $L_1$  und  $L_2$  addiert werden. Vielmehr ist hier mit den physikalischen Größen  $p$  bzw.  $I$  zu rechnen.

Bezugsgrößen sind üblicherweise  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$  bzw.  $I_0 = 10^{-12} W/m^2$  (Hörschwelle bei 1 kHz) und 1 m für die Referenzentfernung  $R_0$ . Dieses logarithmische Maß hilft, Schall mit stark unterschiedlichen Intensitäten gleichzeitig auf einer Skala darzustellen. Es ist das Verhältnis zweier Schallfeldgrößen. Die Größe im Nenner ist eine festgelegte Bezugsgröße;  $L$  bezieht sich immer auf eine Frequenz<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup>Bel-Zeichen: dB nach BELL, ALEXANDER GRAHAM, brit.-amerik. Physiker, \*1847, †1922.

<sup>2</sup>Da  $\log_{10}10 = 1$  und  $\log_{10} 2 \approx 0,3$  ist, kann man sich als Faustregel merken:

+10dB bedeutet Verzehnfachung, +3dB bedeutet Verdoppelung der Leistung,

-10dB bedeutet ein Zehntel, -3dB die Hälfte der Leistung.

Andere Werte kann man hieraus abschätzen, zB +16dB = +10+3+3dB, also Leistung \*10\*2\*2;

+16dB ist somit das 40-fache. (www.matheboard.de, 2004)

## 3.3 Eigenschaften des Wasserkörpers

### 3.3.1 Dichteverhalten

Um zwei Körper verschiedener Stoffe miteinander vergleichen zu können, ist die Dichte  $\rho$  das aussagekräftigste Mittel. Die Dichte, auch als *volumenbezogene Masse* bezeichnet, ist das Verhältnis  $\rho = m/V$  mit  $m$  = Masse des Körpers,  $V$  = Volumen des Körpers. Üblicherweise ändert sich die Dichte eines Stoffes mit der Temperatur. Für Wasser gilt dies jedoch nicht in allen Temperaturbereichen. Bei 4°C hat reines Wasser ein Dichtemaximum.

$$\rho = 999,972 \frac{kg}{m^3} = 0,999972 \frac{kg}{dm^3} \quad (3.3.1)$$

Bei Temperaturen über bzw. niedriger 4°C wird die Dichte geringer, der Druck hat bei Wasser nur einen geringen Einfluß auf die Dichte. Wenn der Druck von 1 auf 100 bar erhöht wird (entspricht etwa 1000m Wassertiefe), ändert sich die Dichte nur um wenige Promil.

Der maßgebliche Unterschied zwischen reinem Wasser und Meerwasser ist der Salzgehalt. Der Salzgehalt  $S$  (salinity) wird in ‰ angegeben, wobei 1 ‰ einem Gramm Salze auf 1000 g Meerwasser entspricht. Mit zunehmenden Salzgehalt wird die Dichte größer. Häufig wird in der Meereskunde die Dichte mit dem Sigma-t-Wert ( $\sigma_t$ ) angegeben

$$\sigma_t = (\sigma - 1) \cdot 1000 \quad (3.3.2)$$

Der Sigma-t-Wert gibt an, um wieviel Gramm ein  $dm^3$  Meerwasser schwerer ist als ein  $dm^3$  reinen Wassers bei 4°C. Die Temperatur des Dichtemaximums fällt mit der Zunahme des Salzgehaltes.

### 3.3.2 Vertikale Temperaturverteilung

Meerwasser ist nur dann stabil geschichtet, wenn seine Dichte mit der Tiefe nicht abnimmt bzw. wenn die Temperatur mit der Tiefe abnimmt. Bei starker Erwärmung der obersten Schicht (durch Sonneneinstrahlung) wird die Dichte geringer und somit die Stabilität erhöht. Dadurch wird eine Umlagerung in größere Tiefen verhindert. Bei Seegang werden jedoch die obersten Schichten vermischt. Es entsteht dadurch eine oberflächennahe, warme Schicht, die als *mixed layer* bezeichnet wird. Sie ist gekennzeichnet durch eine geringe Temperaturänderungen bei zunehmender Tiefe. Wasserschichten, in denen sich die Temperatur im Verhältnis zur Tiefe besonders schnell ändert, werden *thermische Sprungschichten* oder *Thermokline* genannt. Die Oberflächenschicht ist von dem darunterliegenden, dickeren *mixed layer* durch eine Sprungschicht getrennt.

### 3.3.3 Horizontale und vertikale Salzgehaltverteilung

Der mittlere Salzgehalt der Ozeane beträgt  $35 \text{ ‰}$ . Trotz regionaler Besonderheiten des Wasserhaushaltes liegen die Schwankungen des Salzgehaltes nur zwischen  $33$  und  $37 \text{ ‰}$ . Im allgemeinen kann in den Ozeanen mit Zunahme der Tiefe eine geringfügige Abnahme des Salzgehaltes beobachtet werden. Trotz eines höheren Salzgehaltes in oberflächennahen Schichten bleibt das Wasser stabil geschichtet, da die mit der Tiefe abnehmende Temperatur einen größeren Einfluß auf die Dichte hat als die Abnahme des Salzanteils (Marineausbildung, 1990).

## 3.4 Ausbreitung von Schall im Wasser

Die Ausbreitung akustischer Schallsignale im Wasser ist ein komplizierter Vorgang, da die Schallgeschwindigkeit nicht konstant ist und sich vor allem mit der Tiefe ändert. Dies hat zur Folge, dass Schallwellen zum Boden oder zur Oberfläche hin gebrochen werden und auf Grund von örtlichen und zeitlichen Veränderungen physikalischer Bedingungen in der Wassersäule unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten haben.

### 3.4.1 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit im Meer liegt in der Regel zwischen  $1450$  und  $1540 \text{ m/s}$ . Änderungen der Temperatur, des Salzgehaltes und besonders der Tiefe haben einen großen Einfluß; der vertikale Gradient der Schallgeschwindigkeit ist etwa  $1000$  Mal größer als der horizontale (Urban, 2002).

Die Schallgeschwindigkeit läßt sich mit einer Näherungsformel von MEDWIN<sup>3</sup> bestimmen. Sie ist eine Funktion der Temperatur, des Salzgehaltes und der Tiefe:

$$\begin{aligned} \frac{c}{\text{ms}^{-1}} = & 1449,2 + 4,6 \frac{T}{\text{°C}} - 5,5 \cdot 10^{-2} \left( \frac{T}{\text{°C}} \right)^2 + 2,9 \cdot 10^{-4} \left( \frac{T}{\text{°C}} \right)^3 \\ & + \left[ 1,34 - 10^{-2} \left( \frac{T}{\text{°C}} \right) \right] \cdot \left[ \left( \frac{S}{\text{ppt}} \right) - 35 \right] + 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{z}{\text{m}} \end{aligned} \quad (3.4.1)$$

<sup>3</sup>1975 von Medwin veröffentlicht und nur für einen begrenzten Parameterbereich gültig. Eine genauere Formel ist die von LEROY 1969

mit  $T$  = Temperatur,  $S$  = Salzgehalt,  $z$  = Tiefe,  
 ppt = *part per thousand*, entspricht Promille  
 gültig für den Parameterbereich:  $0 \leq T \leq 35^\circ\text{C}$ ,  $0 \leq S \leq 45 \text{ ‰}$ ,  $0 \leq z \leq 1000\text{m}$   
 Als Standardbedingungen werden üblicherweise definiert:

Temperatur:  $T = 13^\circ\text{C}$   
 Dichte:  $\rho_0 = 1023,4\text{kg/m}^3$   
 Salzgehalt:  $S = 34,8 \text{ ‰}$   
 Tiefe:  $z = 10 \text{ m}$

Daraus ergibt sich mit der oben genannten Formel von MEDWIN für die

Schallgeschwindigkeit:  $1500 \text{ m/s}$   
 Schallkennimpedanz:  $Z_0 = \rho_0 \cdot c = 1,535 \cdot 10^6 \text{Ns/m}^3$

(Urban, 2002)<sup>4</sup>

### 3.4.2 Ausbreitungsverlust

Zu beachten ist der Ausbreitungsverlust im Meer, da die Schallausbreitung durch Grenzflächen und Inhomogenitäten gestört wird. Eine genaue Abschätzung des Ausbreitungsverlustes ist mit einfachen Mitteln nicht möglich. Berechnet werden kann aber die geometrische Schallabnahme. Sie liegt vor, wenn die Intensität mit der Potenz der Entfernung abnimmt. In einem homogenen, unendlich ausgedehnten Medium breiten sich Schallwellen als Kugelwellen aus. Für die Kugelwellenausbreitung nimmt die Intensität mit  $r^2$  ab. In Dezibel dargestellt:

$$10 \lg \left( \frac{I_s}{I} \right)_{ku} = 20 \lg \left( \frac{r}{r_0} \right) \quad (3.4.2)$$

Die Intensitäten  $I_s$  und  $I$  bei den Entfernungen  $r_0$  (Bezugsentfernung in der Nähe der Quelle) bzw.  $r$  ergeben sich aus der akustischen Leistung bezogen auf die durchstrahlte Fläche wie folgt:

$$I_s = \frac{P_a}{4\pi r_0^2}, I = \frac{P_a}{4\pi r^2} \quad (3.4.3)$$

---

<sup>4</sup>Für weitere Berechnungen der Wasserschallgeschwindigkeit gilt die Daumenregel:

Die Schallgeschwindigkeit erhöht sich um etwa 3 m/s pro °C, um 1 m/s per Anstieg des Salzgehaltes um 1 ‰ und um 1,6 m/s per 100m Wassertiefe.

$r_0$ :	Bezugsentfernung (= 1 m)
$P_a$ :	Akustische Leistung der Quelle
$I_s$ :	Intensität der Quelle im Abstand $r_0$
$I$ :	Intensität der Quelle im Abstand $r$

Bei der Ausbreitung einer akustischen Welle wird die gesamte Energie in Wärme umgewandelt. Diesen Vorgang nennt man *Absorption*. Interne Reibung und Wärmeableitung bewirken die Absorption in Flüssigkeiten, wobei beide Effekte unabhängig voneinander wirken. Bei Seewasser ist die Absorption wesentlich höher als bei reinem Wasser. Die Dämpfung hängt in diesem Fall neben der Frequenz auch vom Salzgehalt und dem hydrostatischen Druck ab (Urban, 2002).

### 3.4.3 Dopplereffekt

Bewegen sich Schallsender oder -empfänger relativ zueinander, so ändert sich die Frequenz des empfangenen Schalls. Diese Erscheinung nennt man *Dopplereffekt*. Als *Echoempfang* wird der Fall bezeichnet, wenn Sender und Empfänger am selben Ort sind und sich relativ zu einem reflektierenden Objekt bewegen. Nimmt man an, dass die Geschwindigkeit der Plattform im Verhältnis zur Schallgeschwindigkeit klein ist ( $\frac{v_S}{c}, \frac{v_R}{c} \ll 1$ ), erhält man die Näherung:

$$f_E = f_S \left[ 1 + \frac{2(v_S - v_R)}{c} \right] \quad (3.4.4)$$

Die Dopplerverschiebung beim Echoempfang beträgt:

$$\Delta f = \frac{2v}{c} \quad (3.4.5)$$

wobei  $v$  die Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Echoempfänger,  $f$  die Sendefrequenz und  $c$  die Schallgeschwindigkeit ist.

## 3.5 Schallausbreitung bei geschichteten Medien

Die *Strahlentheorie* beschreibt die Schallausbreitung in einem geschichteten Medium. Hierfür soll die Meeresumgebung als ein horizontal geschichtetes Medium betrachtet werden, das nur in vertikaler Richtung variiert, und die Schallgeschwindigkeiten sollen in den einzelnen Schichten konstant sein. Trifft eine ebene Welle auf eine unendlich ausgedehnte Grenzfläche, wird ein Teil der Schallenergie reflektiert, wobei der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist. Ein anderer Teil

der Schallenergie kann in das zweite Medium eindringen und wird in diesem Fall gebrochen (Abb. 3.2).

Der Meeresboden reflektiert, streut und absorbiert Schallenergie. Diese Vorgänge hängen von der Frequenz, der Beschaffenheit des Bodens und dem Auftreffwinkel der Schallwellen ab. Allgemein gilt, je tiefer die Frequenz der Schallwellen ist, desto mehr Schallenergie dringt in den Boden ein. Schallreflexion ist die durch eine Grenzfläche bewirkte räumliche Ablenkung der auftreffenden Schallenergie, sie geht in Streuung über, wenn die Grenzfläche nicht glatt, sondern rauh ist.

**Die Rauigkeit im Vergleich zur Wellenlänge bestimmt das Ausmaß der Schallstreuung.** Wenn die Rauigkeit sehr groß ist, kann ein Teil der einfallenden Schallenergie in die Einfallsrichtung zurückgestreut werden. Für die Erläuterung der einzelnen Fälle wird von einem homogenen, unendlich ausgedehnten Halbraum ausgegangen (Urban, 2002).

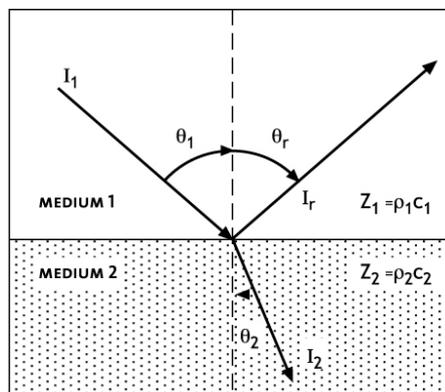


Abbildung 3.2: Reflexion und Brechung bei Schichtwechseln

### 3.5.1 Brechung

Der Brechungswinkel hängt vom Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten in den beiden Medien ab, wobei gilt: Schallwellen werden immer in das Gebiet geringerer Schallgeschwindigkeit gebrochen. Für diese Annahme müssen zwei Bedingungen eingehalten werden: 1) der akustische Druck  $p$  und 2) die Schallschnelle  $n$  senkrecht zur Grenzfläche müssen auf beiden Seiten der Grenzfläche gleich sein (Abb. 3.2).

Die Richtungsänderung des in das zweite Medium eingedrungenen Schalles hängt vom Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten und dem Brechungswinkel ab (*Snellius Gesetz*):

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (3.5.1)$$

$n$  wird Brechungszahl genannt.

### 3.5.2 Reflexion

Der Reflexionsgrad berechnet sich wie folgt:

$$\alpha_r = \left( \frac{m \cos \theta_1 - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}}{m \cos \theta_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}} \right)^2 \quad (3.5.2)$$

mit  $m = \frac{\rho_2}{\rho_1}$  Dichteverhältnis,  $n = \frac{c_1}{c_2}$  Brechungsindex.  $c_1, c_2$  sind die Schallgeschwindigkeiten und  $\rho_1, \rho_2$  die spezifischen Dichten im Wasser bzw. im Boden. Der Wert des Reflexionsgrades hängt von dem Dichteverhältnis  $m$  und der Brechungszahl  $n$  ab (siehe auch Abbildung 3.2). Zwei der häufiger vorkommenden Fälle sind hier aufgeführt:

1.  **$n > 1$  und  $m > 1$ :** Die Schallgeschwindigkeit ist im Sediment geringer als im Wasser, die Dichte des Sediments aber größer als die des Wassers. Dieser Fall tritt auf, wenn die oberste Sedimentschicht aus weichen, noch nicht verfestigten Ablagerungen besteht. Wird der Zähler zu Null, tritt der ganze Schall ins Sediment ein und die reflektierte Welle verschwindet. Für diesen Fall gilt:  

$$\sin \theta_1 = \sqrt{\frac{m^2 - n^2}{m^2 - 1}}$$
2.  **$n < 1$  und  $m > 1$ :** Die Schallgeschwindigkeit und die Dichte im Sediment sind höher als im Wasser. Ein solches Sediment ist vorhanden, wenn die obere Bodenschicht aus festem Sand besteht. Bei einem bestimmten Winkel kann die Totalreflexion<sup>5</sup> auftreten.

### 3.5.3 Rauigkeit

Für die Rauigkeit gilt nach *Rayleigh*:

$$R = 2 \cdot k \cdot h \cdot \cos \theta \quad (3.5.3)$$

mit  $k =$  Wellenzahl  $[\frac{1}{m}]$ ,  $h =$  Effektivwert der Rauigkeit (Wellenhöhe) [m],  $\theta =$  Einfallswinkel. Für  $R \gg 1$  gilt: hohe Rauigkeit, für Werte  $R \ll 1$  gilt: glatte Oberfläche.

Bei einer Frequenz von 15,5 kHz und einer genäherten Schallgeschwindigkeit von 1500 m/s ergibt sich mit  $\lambda = \frac{c}{f}$  eine Wellenlänge von 0,097 m. Als Wellenzahl erhält man mit  $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = 64,926 \frac{1}{m}$ . Eingesetzt in die Formel  $h = 6$  cm und mit  $\theta = 30^\circ$  zur Berechnung des Rayleigh-Parameters erhält man einen Wert  $R = 6,74$ . Für eine glatte Oberfläche (z.B.  $R = 0,5$ ) darf die Wellenhöhe  $h$  nicht mehr als  $h = 5$  mm betragen.

---

<sup>5</sup>Totalreflexion bedeutet: Für jeden Einfallswinkel  $\alpha > \alpha_g$  ( $\alpha_g = n_2/n_1 =$  *Grenzwinkel*) wird der einfallende Strahl nicht gebrochen, sondern reflektiert

### 3.5.4 Streuung

Wenn eine Schallwelle auf eine Grenzfläche oder einen Gegenstand im Meer auftrifft, tritt *Schallstreuung* ein. Ein Teil der einfallenden Schallenergie wird je nach Beschaffenheit der Inhomogenität in viele verschiedene Richtungen zurückgestreut.

Auf das Thema Streuung soll im Kapitel 7.1 ab Seite 63 detailliert eingegangen werden.

### 3.5.5 Impedanz

Die charakteristische Impedanz eines Mediums ist das Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit. Diese wichtige Eigenschaft bestimmt den Anteil der reflektierten Energie, wenn Schallenergie von einem Medium in ein anderes mit unterschiedlicher Impedanz eindringt.

Für die weitere Erläuterung der Impedanz wird folgendes festgelegt:  $\rho$  ist die Dichte und  $c$  die Geschwindigkeit im Wasser. Der Boden hat die Dichte  $\rho_1$  und die Bodenschallgeschwindigkeit  $c_1$ . Der Einfallswinkel im Wasser lautet  $\theta$ , der Winkel im Boden wird mit  $\theta_1$  bezeichnet.

Für die Impedanz  $Z_1$  im Boden gilt:

$$Z_1 = \frac{c_1 \cdot \rho_1}{\cos \theta} \quad (3.5.4)$$

Daraus ergibt sich wiederum für den Rückstreugrad, ausgedrückt durch Dichte, Schallgeschwindigkeit und Einfallswinkel:

$$R = \frac{\rho_1 c_1 \cos \theta - \rho c \cos \theta_1}{\rho_1 c_1 \cos \theta + \rho c \cos \theta_1} \quad (3.5.5)$$

(Hastrup, 1989)

In der Tabelle 3.1 sind Kennwerte für die Sedimentarten des Kontinentalen Randmeeres aufgelistet. Jedem Sedimenttyp ist eine relative Dichte, eine relative Schallgeschwindigkeit, ein Impedanzsprung sowie der Reflexionsgrad und das Transmissionsmaß zugeordnet.

Mit bekannten Werten für die Dichte, die Schallgeschwindigkeit und die Dicke der Sedimentschichten ließe sich theoretisch die weitere Ausbreitung im Schall berechnen.

Sedimenttyp	Relative Dichte	Rel. Schallgeschw.	Impedanzsprung	Reflexionsgrad	Transmissionsmaß
	$\rho_2/\rho_1 = m$	$c_2/c_1 = 1/n$	$Z_2/Z_1$	$\alpha_r$	$10\log(\alpha_1)/dB$
Grober Sand	1,99	1,20	2,38	0,16	-0,79
Feiner Sand	1,90	1,15	2,18	0,13	-0,64
Sehr feiner Sand	1,82	1,12	2,04	0,12	-0,54
Schlammiger Sand	1,74	1,08	1,88	0,09	-0,42
Sandiger Silt	1,74	1,08	1,88	0,09	-0,42
Silt	1,71	1,06	1,81	0,083	-0,38
Sand Silt Ton	1,56	1,03	1,61	0,055	-0,24
Toniger Silt	1,46	1,01	1,47	0,036	-0,16
Schlammiger Ton	1,39	0,994	1,38	0,025	-0,11

**Tabelle 3.1:** Kennwerte für Sedimentarten des Kontinentalen Randmeeres (Urban, 2002)

$c_1, c_2$  Schallgeschwindigkeiten im Wasser bzw. Boden,  $\rho_1, \rho_2$  relative Dichten im Wasser bzw. Boden. Reflexionsgrad und Transmissionsmaß gelten für den senkrechten Schalleinfall.

## 4 Messsysteme

Für nahezu alle Bereiche der Meeresforschung ist eine genaue Kenntnis der topographischen Verhältnisse am Meeresboden unabdingbar. Der Meeresboden ist die Grenzfläche, die die Hydrosphäre<sup>1</sup> als Raum begrenzt. Auf Grund der schlechten Erreichbarkeit (keine optische Verbindung) und mangelnder technischen Möglichkeiten konnten bis Anfang des 20. Jahrhunderts nur zeitlich sehr aufwendige und eingeschränkt genaue Einzelmessungen zu einer Bestimmung der Meeresbodentopographie beitragen. Erst durch die Erfindung des Echolotes durch A. Behm im Jahre 1913 wurden Tiefen mit hydroakustischen Wellen gemessen (Schenke, 1993). Die Entwicklung von Fächersonarsystemen begann 1961, zu diesem Zeitpunkt aber ausschließlich zu militärischen Zwecken. Im Jahr 1977 wurde das erste zivile System auf dem französischen Forschungsschiff JEAN CHARCOT installiert. 1980 bzw. 1982 wurden die deutschen Forschungsschiffe SONNE und POLARSTERN mit dem zivilen Fächerlot SEABEAM ausgerüstet. 1989 ersetzte das in Deutschland von der Bremer Firma Krupp Atlas Elektronik<sup>2</sup> entwickelte Tiefsee-Fächerlot HYDROSWEEP DS<sup>3</sup> auf der POLARSTERN das bestehende System.

### 4.1 Fächerecholot Hydrosweep DS-2

Ende 1997 wurde die bestehende Fächerlot-Anlage auf der POLARSTERN zum Nachfolgesystem HYDROSWEEP DS-2 ausgebaut. Es wurden die bereits vorhandenen Wandlereinrichtungen und Teile der Sende- und Empfangselektronik der Vorgängereinheit verwendet. Modernisiert wurden die Abläufe der Datengewinnung, -speicherung und -visualisierung. Erweitert wurde das System mit einem neu entwickelten Beamformer und einer leistungsfähigeren Signalverarbeitungseinheit (Christen, 1999). Ein weiterer Vorteil der neuen Version DS-2 ist die Aufzeichnung des Rückstreumaßes (backscatter strength).

Die wichtigsten technischen Merkmale sind in der Tabelle 4.1 aufgeführt.

---

<sup>1</sup>[gr.-nlat.], Wasserhülle der Erde (Meere, Binnengewässer, Grundwasser)

<sup>2</sup>heute ATLAS HYDROGRAPHIC GmbH

<sup>3</sup>Hydrographic Multibeam **S**weeping Survey Echosounder; DS steht für **D**eep **S**ea

<sup>5</sup>am Receiver; 2.3° am Transmitter

<sup>6</sup>ermittelt aus der Kreuzfächerkalibrierung

Hydrosweep DS-2	
Tiefenmessbereich	10m - 11000m
Impulsfrequenz	15.5 kHz
Bandbreite	$\pm 0.6$ kHz
Ausgangspegel	$> 210$ dB (10 - 100m) / $> 220$ dB (100 - 1000m) / $> 237$ dB ( $> 1000$ m)
Öffnungswinkel	$120^\circ$ ( $\rightarrow 4700$ m), $90^\circ$ ( $\rightarrow 8000$ m), $60^\circ$ ( $\rightarrow 11000$ m)
Refraktionskorrektur	CTD-Profile, Schallgeschwindigkeitssensor, Kreuzfächerkalibrierung
Anzahl der PFB	59
Öffnungswinkel eines PFB	$2.3^\circ$ , im Tiefsee-Messmodus (100-11000m) $\sim 20^\circ$ in Längsrichtung <sup>4</sup>
Genauigkeit	$< 1.0$ % der Wassertiefe
Auflösung	0.1m (10 - 999m), 1m ( $> 999$ m)
Standardabweichung	$< 0.3\%$ ( $45^\circ$ ), $< 0.5\%$ ( $60^\circ$ ), bei Tiefen $> 100$ m
Genauigkeit der mittleren Schallgeschwindigkeit	$0.5\%$ <sup>5</sup>

**Tabelle 4.1:** Technische Spezifikationen des Hydrosweep DS-2

Je nach Einstellung wird bei einem Öffnungswinkel von  $90^\circ$  ein Streifen von der doppelten Meerestiefe am Boden erfasst, bei einem Öffnungswinkel von  $120^\circ$  ein Streifen der 3,5fachen Wassertiefe. Im Normalfall wird mit einem Öffnungswinkel von  $90^\circ$  gemessen. Das Schallsignal wird im so genannten RDT-Modus (Rotational Directional Transmission) ausgesandt. Das bedeutet, dass das Schallsignal in drei Keulen aufgeteilt ( $-36^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+36^\circ$ ) und minimal zeitlich versetzt (1 ms) erzeugt wird. Dadurch wird eine höhere Signalstärke bei gleicher Flächenabdeckung garantiert. Im *survey mode* erfolgt die Ausstrahlung in der Reihenfolge Steuerbord, Zentrum, Backbord (im *calibration mode* Achtern, Zentrum, Voraus). Dabei sind alle Transmitter gegen Rollen und Stampfen stabilisiert. Der *transmission level* hängt von dem jeweiligen Tiefenniveau ab. Beim zentralen Strahl variiert die Intensität zwischen 211 dB (rel. 1  $\mu$ Pa, m) im Flachwassermodus und 236 dB (rel. 1  $\mu$ Pa, m) im Tiefwassermodus, wobei die äußeren Keulen um etwa 2 dB höher liegen. Die Länge des ausgesandten Impulses (nicht die Laufzeit!) liegt im Tiefseemodus beim zentralen Beam bei 11 ms, in den äußeren Sendekeulen ist der Impuls etwa doppelt so lang.

Der Spannungsübertragungsfaktor (*voltage response*) beim Empfang des Signals am Wandler beträgt

$$G_{up} = -175dB[rel.1V/\mu Pa]$$

Die Empfangseinrichtung ist in 4 x 72 Elementen angeordnet (siehe auch Abb. 4.1). Durch Anbringung einer gemittelten, zeitabhängigen Signalverstärkung (TVG = Time Varying Gain) wird der akustische Ausbreitungsverlust in der Wassersäule und am Meeresboden an den 72 Signalen korrigiert.

Das HYDROSWEEP DS-2 sendet drei einzelne, zeitlich minimal versetzte Schallimpulse als Keulen aus und nimmt das reflektierte Signal in 59 vorgeformten Beams wieder auf. Die vertikale Keule hat einen Öffnungswinkel von etwa 40°, die seitlichen Keulen einen Abstrahlwinkel von 30° und einen Öffnungswinkel von 25°. Das *Beamforming* ist ein Prozess der Signalsteuerung und -verarbeitung, der auf die vom Schwinger gesendeten und empfangenen Signale angewandt wird. Es werden gleichzeitig mehrere Strahlen zu bestimmten Richtungen geformt und derart gerichtet, dass die gesamte Fächerbreite durch einzelne, sich überlagernde Strahlen abgebildet wird. Jeder Strahl ist so von Nachbarstrahlen abgegrenzt, dass nur der von ihm eingeschlossene Sektor des Meeresbodens betrachtet wird. Diese so genannten Footprints (Abb.4.2) nehmen wegen desselben Öffnungswinkels aller Beams zum Fächerrand hin größere Ausmaße an. Siehe dazu auch Kapitel 4.1.2.

### 4.1.1 Kreuzfächerprinzip

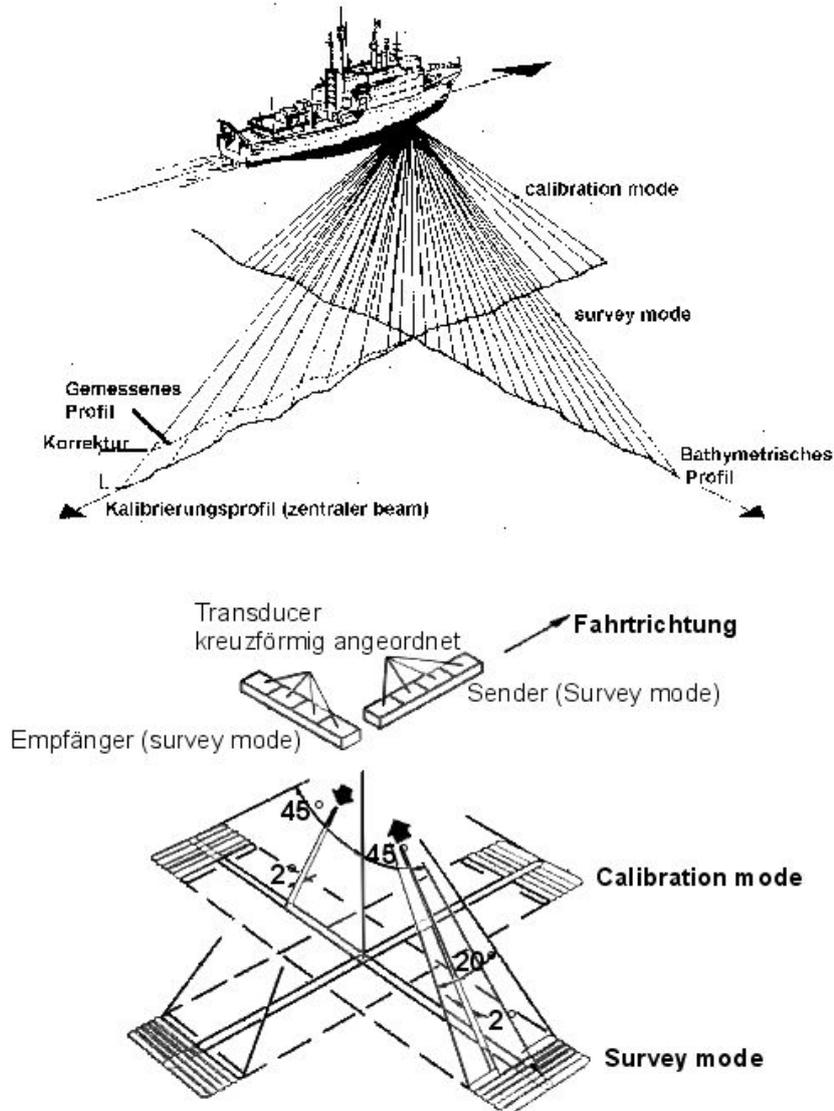
Da verschiedene Wassertiefen unterschiedliche Temperaturen und variierende Salzgehalte aufweisen, herrschen unterschiedliche Dichteverhältnisse im Wasser. Folglich breitet sich der Schall in den verschiedenen Wassertiefen unterschiedlich aus, das heißt, der Schall kann nicht linear durch die Wassersäule ausgesendet werden. Dadurch tritt keine gleichbleibende Wasserschallgeschwindigkeit während einer Schallmessung im Wasser auf. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, ist das HYDROSWEEP DS-2 in der Lage, zu jedem gemessenen Wert eine Wasserschallgeschwindigkeit zu ermitteln. Dazu wird die sogenannte *mittlere Wasserschallgeschwindigkeit*  $c_{mean}$  berechnet. Das Fächerecholot HYDROSWEEP DS-2 ermittelt dies durch eine sogenannte *Kreuzfächerkalibrierung* (Abb.4.1)

Bei einer Querkalibrierung wird der Fächer, der im normalen Messbetrieb quer zur Fahrtrichtung sendet, um 90° gedreht. So mißt der Fächer nun in Fahrtrichtung und ergibt das sogenannte Eichprofil.

In einem iterativen Prozess werden die äußeren Schallstrahlen mit den vorher gemessenen Vertikallotungen an der gleichen Stelle verglichen. Aus der Differenz der beiden Werte wird ein Korrekturfaktor errechnet, der dann an die Wassertiefen des Messprofils angebracht wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Wassergeschwindigkeit ist die Messung mit CTD-Sonden. Eine ausführliche Beschreibung erfolgt im Kapitel 4.3.

HYDROSWEEP DS: Kalibrierungsprozess, Transduceranordnung und Abstrahlungscharakteristik



59 Beams mit  $2,3^\circ \times 2,3^\circ$  Öffnungswinkel  
Frequenz: 15,5 kHz

Quelle: STN-Atlas Elektronik, Bremen

Abbildung 4.1: Meßprinzip des Fächerecholotes Hydrosweep DS-2

### 4.1.2 Footprintgröße

Im Folgenden soll die Footprintgröße [m] des Hydrosweep DS-2 bei einem Öffnungswinkel von  $2,3^\circ$  betrachtet werden.

Tiefe [m]	Einfallswinkel [°]		
	0	15	45
900	36,13	37,40	51,09
1000	40,14	54,56	56,77
1100	44,16	45,71	62,45
1200	48,17	49,87	68,12
1300	52,19	54,03	73,80
1400	56,20	58,18	79,48
1500	60,21	62,34	85,16
1600	64,23	66,49	90,51
1700	68,24	70,65	96,51
1800	72,26	74,81	102,19

Jeder Fächer wird rechnerisch in 59 PFB aufgeteilt. Bei einer Fächeröffnung von  $90^\circ$  ist dies die zweifache Wassertiefe. Unabhängig von der Wassertiefe bleibt die Anzahl der PFBs gleich, das bedeutet, dass die Größe der *footprints* mit der Tiefe zunimmt. Mit Zunahme der Winkelabstände vom Nadir des Fächers nehmen auch die negativen Einflüsse der Refraktion und Absorption auf Grund des längeren Strahlenganges in der Wassersäule zu, ungenaue  $c_{mean}$ -Werte wirken sich besonders negativ aus. Die rückgestreuten Signale sind schwächer und die Dauer des Echoimpulses pro PFB hält zudem wegen der größeren rückstreuenden Fläche länger an, was sich negativ auf die Laufzeitmessung auswirkt (Iffland, 2004).

### 4.1.3 Strahlengang in der Wassersäule

Ein akustisches Signal verläuft in der Wassersäule nicht linear, sondern ist der Refraktion unterworfen. Mit der Kenntnis von Laufzeit, Aussendewinkel und den Schallgeschwindigkeiten lässt sich der Strahlenverlauf nachvollziehen und die Tiefe bestimmen.

$$\text{Ablage} = 0,5 \cdot \text{Laufzeit} \cdot \sin(\text{theor. Aussendewinkel}) \cdot (c_{mean}^2 / c_{keel})$$

$$\text{Tiefe} = 0,5 \cdot \text{Laufzeit} \cdot c_{mean} \cdot \cos(\arcsin(\text{theor. Aussendewinkel}) \cdot (c_{mean} / c_{keel}))$$

Als Ablage wird in der Bathymetrie die laterale Distanz zwischen dem Fächerecholot und dem Bodenpunkt bezeichnet.

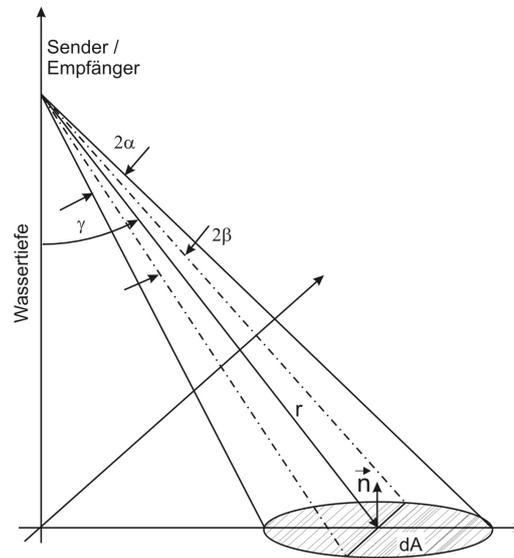


Abbildung 4.2: Footprint am Meeresboden

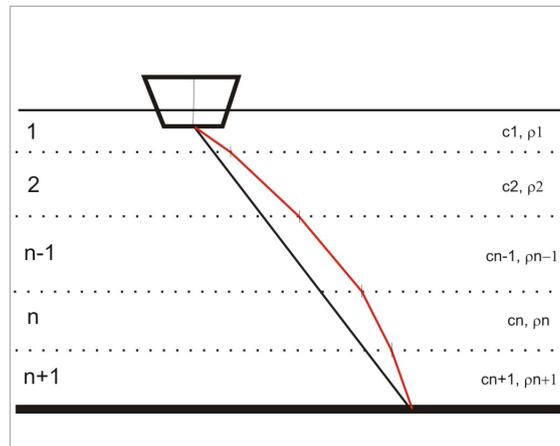


Abbildung 4.3: Strahlengang im Wasser - Gegenüberstellung von wahren und theoretischem Strahlenverlauf

Zur Berechnung der gesamten Ablage nach  $N$  Schichten:

$$\frac{\sin\alpha_1}{c_1} = p = \text{const.} \quad (4.1.1)$$

Mächtigkeit der Schicht  $i$  mit  $z_i$  als Tiefe des Schichtbeginns definiert als:

$$\Delta_i = z_{i+1} - z_i \quad (4.1.2)$$

ergibt sich als Ablage  $x$  nach  $N$  Schichten (Büchenschütz-Nothdurft, shed):

$$x = \sum_{i=1}^N \frac{c_i \cdot p \cdot \Delta_i}{\sqrt{1 - (c_i \cdot p)^2}} \quad (4.1.3)$$

und die Tiefe  $z$  als:

$$z = \sum_{i=1}^N \Delta_i \quad (4.1.4)$$

#### 4.1.4 Beispielberechnung eines Strahlenganges

Um eine Einschätzung der Lagegenauigkeit zu machen, soll ein Strahlengang nachgerechnet und beurteilt werden. Die Wasserschichten sind einer CTD-Messung (235-1) im Gebiet des Gollum Channel-Systems entnommen. Diese Messungen wurde während der Expedition ARK-XIX am 03.06.2003 südlich des Gollum Channels auf Position 50°35,05'N / 11°26,21'W durchgeführt.

Eine CTD-Sonde zeichnet normalerweise in kurzen zeitlichen Abständen über 1000 Datensätze (abhängig von der Wassertiefe) auf, die aus Temperatur, Salzgehalt und Druck (Tiefe) bestehen. Für die Näherungsrechnung wurden die Werte gerundet und so zusammengefasst, dass größere Änderungen und Sprünge jetzt als Schichtwechsel angenommen wurden. Die an Bord ausgewerteten Daten liegen jetzt nur noch mit der Tiefe und der zugehörigen Schallgeschwindigkeit vor.

Für einen Abstrahlwinkel von 15° ergibt sich mit den Werten der CTD-Messung eine Ablage von 397,3 m, bei 40° eine Ablage von 1243,8 m (Tabelle 4.2 mit  $\Delta d$  und Ablage in [m], Schallgeschwindigkeit  $v$  in [m/s], Einfallswinkel  $\alpha$  in [°], Laufzeit  $t$  in [s]). Um die errechnete Ablage mit den *footprint*-Koordinaten der HYDROSWEEP-Messung vergleichen zu können, müssen aus der Dux-Datei die Schallgeschwindigkeiten  $c_{mean}$  und  $c_{keel}$  zum Zeitpunkt der CTD-Messung entnommen werden. Mit einer einfachen Gleichung lässt sich dann die Ablage berechnen:

$$\text{Ablage} = 0,5 \cdot \text{Laufzeit} \cdot \sin(\text{theor. Aussendewinkel}) \cdot \frac{c_{mean}^2}{c_{keel}}$$

Die benötigte Laufzeit erhält man, indem aus den Schallgeschwindigkeiten, den

Tiefe (d)	v	$\alpha_1$	$Ablage_1$	$t_1$	$\alpha_2$	$Ablage_2$	$t_2$
25,5	1501,4	15,0000	6,833	0,0176	40,0000	21,397	0,0222
9	1501,5	15,0010	2,412	0,0062	40,0032	7,553	0,0078
68	1500,0	14,9857	18,202	0,0469	39,9552	56,968	0,0591
279	1498,5	14,9703	74,603	0,1927	39,9072	233,340	0,2427
12	1501,0	14,9959	3,214	0,0083	39,9872	10,065	0,0104
173	1500,8	14,9939	46,335	0,1193	39,9808	145,065	0,1504
148	1502,2	15,0082	39,679	0,1020	40,0256	124,299	0,1287
12	1502,0	15,0061	3,217	0,0083	40,0192	10,076	0,0104
8	1501,0	14,9959	2,143	0,0055	39,9872	6,710	0,0070
6	1501,2	14,9979	1,607	0,0041	39,9936	5,033	0,0052
33	1500,8	14,9939	8,839	0,0228	39,9808	27,671	0,0287
72	1502,0	15,0061	19,301	0,0496	40,0192	60,456	0,0626
248	1502,5	15,0112	66,503	0,1709	40,0352	208,356	0,2156
190	1502,2	15,0081	50,939	0,1309	40,0256	159,574	0,1652
20	1499,4	14,9796	5,351	0,0138	39,9360	16,744	0,0174
64	1499,4	14,9796	17,124	0,0442	39,9360	53,581	0,0557
14	1498,6	14,9714	3,744	0,0097	39,9104	11,712	0,0122
74	1497,7	14,9622	19,776	0,0511	39,8816	61,833	0,0644
28	1496,5	14,9499	7,476	0,0194	39,8433	23,365	0,0244
			397,298	1,0233		1243,798	1,2901

**Tabelle 4.2:** Strahlengang des Fächerecholotes, abhängig von Schallgeschwindigkeit und Winkel

Winkeln und der Schichtdicke die Schalllaufzeit berechnet wird. Die Schalllaufzeit ist nur ein Näherungswert, da die im Dux-Format vorliegende Laufzeit auf die Messung bis zur Meeresbodentiefe bezogen ist, die an der Position der CTD-Messung 1683 m beträgt (theoretisch fehlen 190 m in der CTD-Aufzeichnung). Mit der Schalllaufzeit und den aus dem Dux-Format bekannten Werten für  $c_{mean}$  und  $c_{keel}$  kann die tatsächliche Ablage berechnet werden.

Für den Abstrahlwinkel von  $15^\circ$  ergibt sich eine Ablage von 398,164 m und eine Differenz zum CTD-Wert von etwa 90 cm, für  $40^\circ$  eine Ablage von 1246,677 m und eine Differenz von 2,9 m. Die *footprint*-Größe beträgt bei  $15^\circ$  62,34 m, bei  $40^\circ$  85,16. Ein Unterschied von 0,9 m bzw. 2,9 m wirkt sich für die Messgenauigkeit nicht weiter aus. Daraus ergibt sich, dass die Kreuzfächerkalibrierung, zumindest in diesem Fall, hinreichend genau ist.

Da die Messung im selben Zeitraum und nur etwa 20 km südlich des Gollum Channels stattfand, kann man die Genauigkeit auf die Messungen im Gollum Channel übertragen.

#### 4.1.5 Messung des Rückstreukoeffizienten

Das Fächerecholotsystem HYDROSWEEP DS-2 verfügt über die Möglichkeit, aus den aufgezeichneten Amplituden die Intensität der rückgestreuten Signale zu berechnen. Der Rückstreugrad (-koeffizient)  $S$  stellt sich wie folgt dar:

$$S = \frac{I_{SC}}{I_{INC}} \quad (4.1.5)$$

mit  $I_{SC}$  = rückgestreute Schallintensität von einer Einheitsfläche von  $1 \text{ m}^2$  gemessen im Abstand von 1 m,  $I_{INC}$  = Schallintensität, die in die Einheitsfläche einfällt.

Da sich aus den Rückstreugraden Hinweise auf die Oberflächenbeschaffenheit ableiten lassen, spielen sie bei bathymetrischen Untersuchungen eine wichtige Rolle.

Auf die Rückstreuung wird im Kapitel 7 näher eingegangen.

## 4.2 Sedimentecholot Parasound

Das Sedimentecholot PARASOUND (PARAMetric EchoSOUNDer) ist ebenfalls ein Produkt der Firma ATLAS Hydrographics. Es bietet die Möglichkeit, den internen Aufbau des Meeresbodens sichtbar zu machen. Im Gegensatz zum HYDROSWEEP-System erstellt das PARASOUND-System kein flächendeckendes Modell, sondern eine punktuelle Analyse der Sedimentschichten im Meeresboden. Es kombiniert ein Tiefseevermessungslot (NBS - Narrow Beam Sounder) zur Bestimmung der

Wassertiefe mit einem Sedimentecholot (SBP - Sub Bottom Profiler), welches den parametrischen Effekt für die Erzeugung einer engen Abstrahlcharakteristik nutzt (Iffland, 2004).

Eine genaue Beschreibung der technischen Daten sind in der Tabelle 4.3 zu finden.

Parasound	
Tiefenmessbereich	10m - 15000m
Impulsfrequenz	Standard: 4 kHz möglich sind 2.5 - 5.5 kHz
Primärfrequenz	18 kHz
Sekundärfrequenz	variabel zwischen 20.5 und 23.5 kHz
Öffnungswinkel	4° bei Standardfrequenz
Eindringtiefe	10m - 200m
Footprint	7% der Wassertiefe

**Tabelle 4.3:** Technische Spezifikationen des Sedimentecholots PARASOUND

Das System basiert auf dem parametrischen Effekt, einer nicht linearen Wechselwirkung zweier hochfrequenter Schallwellen sehr hoher Amplitude. Werden diese gleichzeitig in die Wassersäule abgestrahlt, entsteht auch eine Schallwelle, deren Frequenz der Differenz der beiden abgestrahlten Frequenzen entspricht. Diese Sekundärfrequenz entsteht im engen Abstrahlkegel der hochfrequenten Signale und ist damit stärker gebündelt als bei direkter Abstrahlung. Vom PARASOUND System wird ein 18 kHz-Signal und zusätzlich ein zweites Signal mit Frequenzen zwischen 20,5 und 23,5 kHz ausgesendet, die in 0,5 kHz Schritten variiert werden können. Die daraus entstehenden Sekundärfrequenzen liegen zwischen 2,5 und 5,5 kHz. Die Sender (Transducer) für das PARASOUND-Sedimentecholot strahlen Signale in einem vergleichsweise engen Kegel von nur 4° Öffnungswinkel ab. Der dabei beschallte *Footprint* am Meeresboden beträgt etwa 7% der Wassertiefe, die laterale Auflösung des Systems ist entsprechend hoch. Ein Nachteil des engen Abstrahlkegels ist jedoch, dass bei Schichtneigungen von  $> 2^\circ$  keine Reflexionen vom Meeresboden mehr empfangen werden können.

Um diesen Effekt nicht zusätzlich zu verstärken, ist es wichtig, die Schiffsbewegung auszugleichen. Dadurch wird das akustische Sendesignal stets senkrecht nach unten abgestrahlt. Desweiteren bereinigt ein Hubkompensator die Hubbewegungen des Schiffes während des Sendens und Empfangens des Signales.

Für den Empfang der zurückkommenden Signale ist das Tiefenfenster ausschlaggebend. Es definiert die Verzögerung zwischen Sendezeitpunkt und dem Beginn der Seismogrammaufzeichnung. Das Tiefenfenster wird in Metern angegeben und über die normierte Wasserschallgeschwindigkeit von 1500 m/s in eine Zweiwegelaufzeit umgerechnet, wobei dem PARASOUND-System zur Orientierung die HYDRO-

SWEEP-Tiefe übermittelt wird. Dieses Tiefenfenster muß vom Bediener manuell nachgeführt werden (Iffland, 2004).

### 4.3 CTD-Sonde

Eine aufwendigere, aber genauere Möglichkeit zur Bestimmung der Wasserschallgeschwindigkeit ist die Messung mit CTD-Sonden (Conductivity, Temperature, Density)<sup>7</sup> (Abb.4.4). Dazu wird meist zusammen mit anderen Messinstrumenten die Messsonde an einer Winde befestigt und zu Wasser gelassen. In der Telemetrie-Einheit werden mit einem Drucksensor die aktuellen Wassertiefen registriert und zusammen mit den Ergebnissen der Wasseranalyse gespeichert.



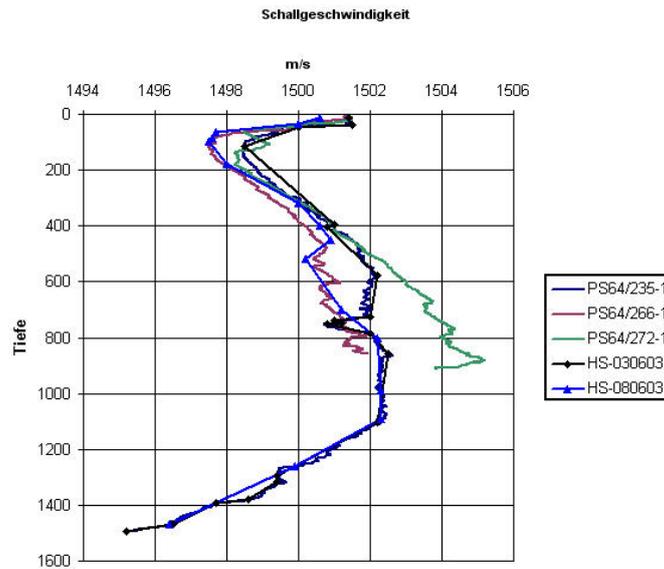
Abbildung 4.4: CTD-Sonde

Gemessen wird bis zu einer maximalen Tiefe von 2000 m, da sich ab dieser Tiefe Salzgehalt und Temperatur nicht mehr ändern und die Schallgeschwindigkeit nur noch druckabhängig ist. Sobald die Sonde an Deck ist, können die Daten ausgelesen und die Neuberechneten Wasserschallgeschwindigkeiten entweder sofort oder bei späterer Bearbeitung der HYDROSWEEP-Daten eingearbeitet werden.

Die Abbildung 4.5 zeigt derartige Wasserschallprofile, aufgezeichnet während der Expedition ARK-XIX im Gebiet des Porcupine Beckens.

---

<sup>7</sup>CTD = Leitfähigkeit, Temperatur, Dichte



**Abbildung 4.5:** Schallgeschwindigkeitsprofile aus CTD-Messungen der ARK-XIX-Expedition

Die Berechnung der Wasserschallgeschwindigkeit kann nach mehreren Formeln geschehen. Am häufigsten wird die von der UNESCO empfohlene Formel nach Chen & Millerno verwendet<sup>8</sup>.

Die übliche Vorgehensweise bei der Prozessierung von HYDROSWEEP-Daten sieht aber keine Verwendung der CTD-Ergebnisse vor. Die Schallgeschwindigkeitsbestimmung der Kreuzfächerkalibrierung ist für die Auswertung ausreichend genau.

<sup>8</sup>Die CTD-Messwerte in der Tabelle 4.2 dieser Arbeit wurden an Bord mit der speziellen Auswertesoftware ODV berechnet. Da die Werte in dieser Arbeit nur einer allgemeinen Einführung dienen, wird auf die umfangreiche Formel von Chen & Millerno nicht weiter eingegangen.

# 5 Bathymetrie des Gollum Channels

Der Gollum Channel ist einer von vielen Canyons im Kontinentalhang vor Irland. Ein ganzes System von Kanälen reicht vom Schelf bis hinab in die Tiefsee. Der hier untersuchte Canyon stellt in diesem System den mittleren Abschnitt im Bereich des Kontinentalhanges dar. Der Gollum Channel *gc1* als Zentrum der Untersuchung nimmt eine besondere Stellung ein. Sein ausgeprägter Verlauf und seine markante Rückstreuung machen ihn interessant für genauere Untersuchungen. Als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen soll in diesem Kapitel auf die Lage und Topographie des Gollum Channels *gc1* näher eingegangen werden.

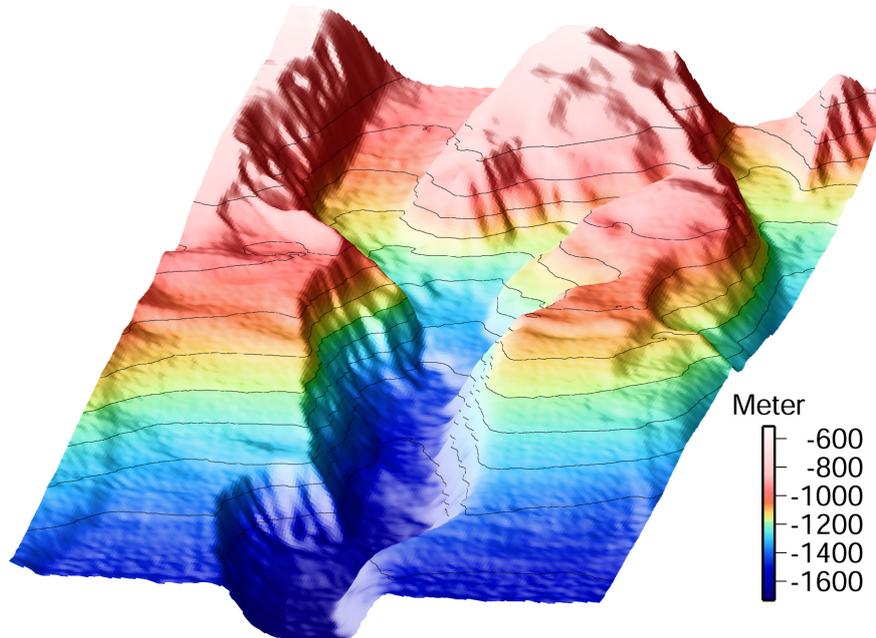
## Beschreibung der Topographie

Der untersuchte Kanalabschnitt des Kanals *gc1* liegt in einer Tiefe zwischen 900 m und 1700 m Tiefe und bildet damit den mittleren Abschnitt eines Kanals, der in seinem gesamten Verlauf vom Kontinentalschelf bis hinab zur Tiefsee reicht. Er weist im untersuchten Gebiet ein gleichmäßiges Gefälle von ca. 0,5% auf, ist ca 18 km lang und zwischen 1000 m und 2000 m breit. Innerhalb dieser kurzen Strecke ändert er mehrmals abrupt die Richtung und verläuft kurzzeitig nahezu längs der Tiefenlinien, um dann wieder in Ost-West-Richtung (hangabwärts) zu schwenken. Der mittlere Abschnitt (*gc1-2*) ist um etwa einen Kilometer nach Süden versetzt (siehe Abbildung 5.1). Betrachtet man den Kurvenverlauf genauer, so fällt einem im Bereich des Schwenks zurück auf westliche Richtung eine Einbuchtung auf, die von der Strömung zu stammen scheint. Solche Ausbuchtungen entstehen, wenn Strömungen auf ein Hindernis stoßen und von diesem abgelenkt werden. Diese Ausbuchtung liegt in der direkten Verlängerung des Kanalabschnittes *gc1-3*. In diesem Abschnitt (*gc1-3*) liegt auch ein Zufluss aus südöstlicher Richtung. Er ist schmaler und wesentlich kürzer als der Gollum Channel *gc1*.

Die steilen Flanken sind zwischen 100 m und 200 m hoch und haben eine Neigung von ca. 25°. Offensichtlich sind in den Kanälen selbst keine seitlich einfließenden Rinnen vorhanden. Die Terrassen zwischen den Kanälen des Gollum-Channel-Systems sind vergleichsweise schmal, was damit zu erklären ist, dass Abrutschungen

---

quer zur Kanalachse aber auch eine seitliche Wanderung der Kanäle in früheren Epochen stattgefunden haben.



**Abbildung 5.1:** Gollum Channel *gc1* in 3D-Ansicht aus westlicher Richtung

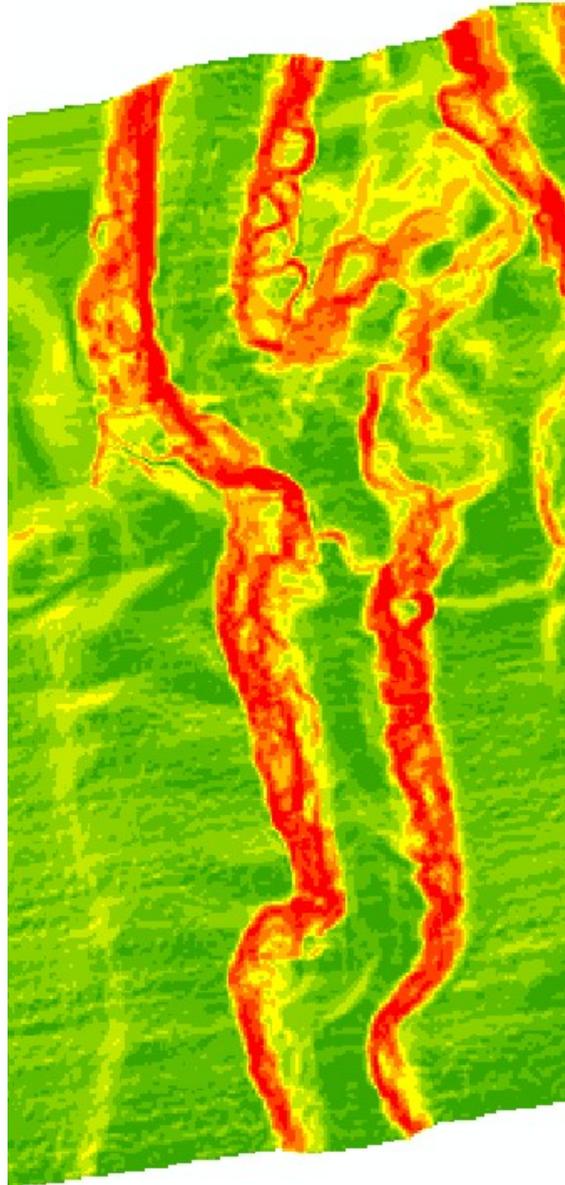
Berechnet man für den Gollum Channel *gc1* eine Neigungskarte<sup>1</sup>, so fällt einem sofort das gleichmäßige Gefälle des Kanals auf.

In der Darstellung bedeuten die grün-gefärbten Bereiche Neigungen zwischen 0 und 10 Grad, die gelb- bis rot-gefärbten Flächen stellen Bereiche mit Neigungen zwischen etwa 10 und 40 Grad dar. Gut zu erkennen ist, dass Kontinentallhang und Kanal dasselbe Gefälle haben. Einzig ein schmaler Streifen etwa in der Mitte des Kanals weist eine größere Neigung auf.

Ebenfalls deutlich zu erkennen sind die steilen Flanken, die den Kanal begrenzen. Im Bereich der Abschnitte *gc1-4* und *gc1-2* sind sie breiter, im untersten Abschnitt *gc1-1* scheinen die Flanken auszulaufen und der Kanalboden sich dem umgebenden Hang anzunähern. Der Kanalabschnitt *gc1-3* weitet sich in südöstlicher Richtung auf - hier mündet der Nebkanal in den Hauptkanal *gc1*.

---

<sup>1</sup>Die Geländeneigung (slope) lässt sich in ArcMap mit dem *3D Analyst* darstellen



**Abbildung 5.2:** Neigungskarte des Gollum Channels *gc1*. Grün-gefärbten Bereiche: Neigungen zwischen 0 und 10 Grad, gelb- bis rot-gefärbten Flächen: Neigungen zwischen etwa 10 und 40 Grad

# 6 Geologie des Gollum Channels

Um die Messergebnisse besser interpretieren zu können, müssen zuerst die Eigenheiten des Untersuchungsgebietes erläutert werden. Dabei spielen die Entstehungsbedingungen während der letzten Eiszeit eine wichtige Rolle. Ebenso wichtig ist es aber auch, sich ein Bild von den Strömungsverhältnissen und ihrer Bedeutung für die Sedimentation zu machen. Neben diesen grundlegenden Voraussetzungen für ein Verständnis der Entstehungsbedingungen des Untersuchungsgebietes soll in diesem Abschnitt vor allem auch auf die Bearbeitung und Interpretation der Sedimentproben eingegangen werden. Hierzu erfolgt eine Beschreibung der Arbeitsabläufe wie auch eine Interpretation mit Hilfe des Shepard-Diagramms.

## 6.1 Entstehungsgeschichte

Ablagerungen aus dem Mesozoikum (65-245 Mio. Jahre) und dem Känozoikum (0-65 Mio. Jahre) erreichen eine maximale Mächtigkeit von 10 km, die zu den Flanken und zum Norden hin ausdünt. Nachgewiesen sind auch Gesteine aus dem Jura und der Kreide. Bei den jüngeren und rezenten Sedimenten überwiegen pelagische und hemipelagische<sup>1</sup> Ablagerungen (DeMol *et al.* (2002), Press and Siever (2003)).

### Kontinentalrand

Das Kanalsystem liegt am Kontinentalrand südwestlich von Irland (siehe auch Abb. 2.1). Als Kontinentalrand wird der Teil des Meeresbodens bezeichnet, der von der Küstenlinie bis zum landseitigen Rand der Tiefsee-Ebene reicht. Er umfasst den Kontinentalschelf, den Kontinentalhang und den Kontinentalfuß. In der Abbildung 6.1 ist beispielhaft die Lage eines Rinnendeltas in der Tiefsee dargestellt, wie sie auch auf das Gollum Channel System zutrifft. Der untersuchte Bereich entspricht dem Mittelstück eines submarinen Canyons (1). Der Fächer, der sich in Kanäle auf dem Fächer(2), den inneren Fächer(3), mittleren Fächer(4) und äußeren Fächer(5) unterteilt, ist nicht Teil der Untersuchung.

Als Kontinentalschelf wird der Teil des flachabfallenden Meeresbodens bezeichnet, der sich bis zu einer Wassertiefe von ungefähr 200 Metern oder bis zur Oberkante

---

<sup>1</sup>pelagische Ablagerungen = Tiefseesedimente

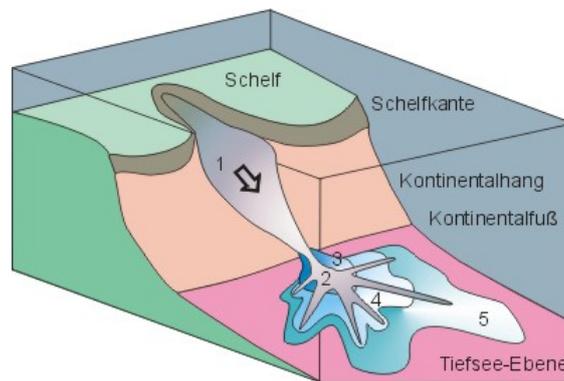


Abbildung 6.1: Beispiel eines Rinnendeltas in der Tiefsee (Völker, 2005)

des Kontinentalhangs erstreckt. Der Kontinentalhang stellt den Bereich des steilsten Abfalls zwischen Schelf und Kontinentalfuß dar. Das Gebiet, das vom Kontinentalhang bis zur Tiefsee-Ebene reicht, wird als Kontinentalfuß bezeichnet.

Ein Kontinentalrand wird als passiv bezeichnet, wenn keine Vulkane vorhanden sind und nur selten Erdbeben auftreten. Passive Kontinentalränder sind von Platten Grenzen weit entfernt. Die Schelfgebiete an solchen Grenzen bestehen im Wesentlichen aus horizontal bis schwach geneigt lagernden, mehrere Kilometer mächtige Flachwassersedimenten. Schelfgebiete an passiven Rändern sind breit (vor Irland ca. 100 km) und vergleichsweise eben. Als Folge von Meeresspiegelschwankungen können diese Gebiete auf Grund ihrer geringen Tiefe trockenfallen (Press and Siever, 2003).

### 6.1.1 Sedimentation

Während der Vereisung im Pleistozän (vor ca. 20000 Jahren) lagen die gesamten Schelfgebiete über dem Meeresspiegel (heutige Wassertiefen unter 100 m). Es entstand ein Großteil der heutigen morphologischen Erscheinungsformen. Wellen und Gezeitenströme haben aufgrund der großen Wassertiefe von Kontinentalhang und -fuß keinen Einfluß auf den Meeresboden. Deshalb lagern sich dort Sand, Silt und Ton ab, die über den Kontinentalschelf auf den Hang transportiert werden.

Submarine Canyons sind tief in den Kontinentalschelf und -hang eingeschnittene Täler. Da sie bis in mehreren tausend Meter Tiefe vorkommen können, sind Flüsse als einzige Ursache auszuschließen. Sand-, Silt- und Tonablagerungen auf dem Kontinentalhang und an dessen Fuß sprechen für einen aktiven Sedimenttransport in diesen tiefen Gewässern. Zur Zeit gelten Trübestrome als Ursache für die Entstehung der tieferen Teile des Canyons, auch wenn andere Strömungsarten wie etwa Gezeitenströme ebenfalls in Betracht gezogen werden. Suspensions- oder

Trübeströme transportieren ein Schlamm- und Wassergemisch, das über den Kontinentalhang hinab fließt. Auf Grund der durch den Sedimentanteil höheren Dichte fließt das Gemisch mit großer Geschwindigkeit über den Meeresboden.

Trübeströme können sowohl Sediment erodieren als auch transportieren. Diese Strömungen können sich mit erheblichen Geschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Stunde, abhängig vom Gefälle des Hanges und der Dichte der Strömung, bewegen. Trübeströme setzen ein, wenn gelegentliche Erdbeben oder auch Stürme Rutschungen des Sediments auslösen oder wenn die Stabilitätsgrenze durch zu große Sedimentmächtigkeiten am Rande des Schelfs oder auf dem Kontinentalhang überschritten wird. Diese trübe Schicht beginnt mit zunehmender Geschwindigkeit den Hang hinabzuffließen. Wenn der Suspensionsstrom den Fuß des Hanges erreicht, verringert sich die Strömungsgeschwindigkeit und ein Teil des gröberen, sandigen Sedimentmaterials beginnt sich abzusetzen. Submarine Fächer sind die Folge von mehreren übereinander abgelagerten Sedimentschichten. Viele Strömungen setzen sich bis zur Tiefsee-Ebene fort. Die dort abgelagerten Sedimente werden als Turbidite bezeichnet (Press and Siever, 2003).

Die Canyons scheinen zumindest in einigen Gebieten von den zahlreichen Flußmündungen herzurühren, die während des Pleistozäns (20000 - 600000 Jahre) existierten und große Mengen an Sediment direkt zur Schelfkante transportierten. Teile dieser Ladung fanden einen Weg in die Tiefsee, während der andere Teil zu den großen Sandbänken aufgehäuft wurden, die heute immer noch auf dem Schelf vorhanden sind (Kenyon *et al.*, 1987).

Wallace *et al.* (*et al.*, 1988) haben in Kernen der Tiefseeebene an der Mündung der Porcupine Bucht eine signifikante Abnahme der Sedimentationsrate von 13 cm/1000 Jahre während der letzten Eiszeit (vor ca. 20000 Jahren) auf 3,5 cm/1000 Jahre im Holozän (0-10000 Jahre) festgestellt. Einige Kanäle transportieren bis in die heutige Zeit Sedimente (Wheeler *et al.*, 1998). Der Gollum Channel löst sich in der Tiefsee-Ebene auf. Laut Rice *et al.* (Rice *et al.*, 1991) kann Sediment durch starke Meeresbodenströmungen in der Porcupine Tiefseeebene weiterverteilt worden sein (DeMol *et al.*, 2002).

Kleinere Kanäle weiter nördlich wurden ebenfalls untersucht. Sie entstanden wahrscheinlich durch glazio-fluviale Erosion auf dem westlichen irischen Schelf während der Eiszeitperiode, sind aber heute nicht mehr aktiv (Wheeler *et al.*, 1998). Der Einfluß der Eiszeit auf die Sedimentation wird auch durch die vorgefundenen Eisbergfurchen in 150 - 500 m Wassertiefe deutlich.

## 6.1.2 Sedimenttransport

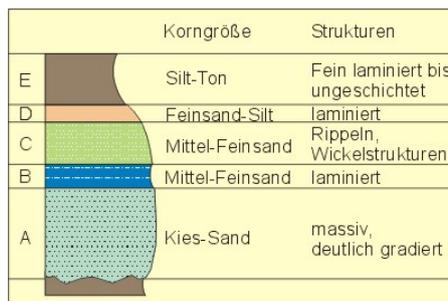
Im Regelfall wird Sediment der Schwerkraft folgend abwärts transportiert. Größtenteils geschieht dies in den Bewegungen fluider Phasen, sprich in Luft und Wasser.

Aber auch Gletscher produzieren und sedimentieren bei ihren Vorwärtsbewegungen klastisches <sup>2</sup> Material aller Korngrößen. Erst wenn Sedimentbestandteile den Meeresboden erreicht haben, ist der primäre Transport beendet. Dann beginnt die Sedimentation.

Die Sinkgeschwindigkeit ist proportional zur Dichte und Teilchengröße, folglich setzen sich größere Teilchen rascher ab (vgl. Abbildung 6.2). Da bei den meisten Mineralen in den Sedimenten von derselben Dichte (2,6 - 2,9 g/cm<sup>3</sup>) ausgegangen werden kann, wird die Korngröße als Maß für die Ablagerungsgeschwindigkeit herangezogen.

Allgemein werden Silt- und Tonsedimente in den Ozeanen in größerer Entfernung von der Küste abgelagert, nämlich dort, wo Strömungen zu schwach sind, um selbst feinste Bestandteile noch in Suspension zu halten.

Als Sortierung wird die Ablagerung der Sedimente durch Geschwindigkeitsänderungen in einer Strömung entsprechend ihrer Korngröße bezeichnet. Teilchen werden generell eher episodisch als kontinuierlich transportiert.



**Abbildung 6.2:** Gradierung einer Turbiditlage (Völker, 2005)

Die Ablagerungsräume des Kontinentalhangs liegen im tieferen Wasser am Rand der Kontinente, wo Sedimente vor allem durch Trübestrome abgelagert werden. Kontinentalschelf, Kontinentalrand und die Tiefsee gehören zu den klastischen Sedimentationsräumen, wo Material in Form von Sand, Silt und Ton abgelagert wird. Da das Ursprungsmaterial vom Festland stammt, werden die Sedimente auch als terrigene Sedimente bezeichnet (vgl. Tabelle 6.1).

<sup>2</sup>klastisch = Sedimente, deren Material aus der mechanischen Zerstörung bereits vorhandener, älterer Gesteine besteht und aus Gesteinsbruchstücken (Klasten) unterschiedlicher Korngröße besteht

Bildungsraum	Transport- und Ablagerungsmedium	Sedimente
Kontinentalschelf	Wellen, Gezeiten	Sand, Silt, Ton
Kontinentalhang	Meeresströmungen	Sand, Silt, Ton
Tiefsee	Meeresströmungen, Absinken	Silt, Ton

**Tabelle 6.1:** Bildungsräume klastischer Sedimente

### 6.1.3 Sedimentationsstruktur, Sedimentsrate und Strömungsverhältnisse

Zu den heutigen Strömungsverhältnissen in diesem Kanalsystem liegen nur wenige Informationen vor. Die hier aufgeführten Daten stammen aus Beobachtungen verschiedener Tauchgänge von Tudhope und Scoffin (Tudhope and Scoffin, 1995) im Jahre 1995. Sie sind daher nur als Richtwerte anzusehen und sind keine im Gollum Channel *gc1* selber gemessenen Werte.

In verschiedenen Tiefen wurden von Tudhope & Scoffin (Tudhope and Scoffin, 1995) folgende Strömungen beobachtet und anhand der Drift geschätzt:

Gezeitenströme:

480 - 950 m : 50 cm/s (0,138 km/h)

2630 - 2860 m : 7 cm/s (0,019 km/h)

Tudhope und Scoffin haben während ihrer Tauchgänge zahlreiche Strömungsrippel beobachtet. Rippenmarken sind wenige Zentimeter hohe, aus Sand oder Silt bestehende Dünen. Im hier untersuchten Kanalabschnitt sind zumindest auf den aufgezeichneten Videos der Multicorerstationen keine Rippel zu sehen. Dagegen sind einige Rippel auf dem VICTOR-Video zu erkennen, wenn auch nicht an den beprobten Stellen. Üblicherweise stehen Kämmen senkrecht zur Strömungsrichtung. Rippenmarken stellen aber ebenfalls charakteristische Sedimentstrukturen dar, die in rezenten<sup>3</sup> Sanden weit verbreitet sind. Entscheidend aber ist, dass Strömungsrippel am Meeresboden auf Gezeitenströmungen zurückzuführen sind (Press and Siever, 2003).

Die Schichtung oder Lagerung ist ein Kennzeichen von Sedimenten und wird als Sedimentstruktur bezeichnet. Parallele Schichten unterschiedlicher Korngröße kennzeichnen die aufeinanderfolgenden Oberflächen, die zur Zeit der Sedimentation gebildet wurden. In Sedimenten des Kontinentalhanges finden sich überwiegend gradierte Schichtungen, die durch sogenannte Trübestömungen abgelagert wurden. Kennzeichen der gradierten Schichtung (Vertikalsortierung) ist eine Abfolge von

---

<sup>3</sup>rezent = gegenwärtig abgelagert

grob nach fein, ausgehend von grobkörnigen Lagen an der Basis, die nach oben hin allmählich feinkörniger wird (siehe auch Abb. 6.2). Diese Schichten erreichen Mächtigkeiten zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern.

## 6.2 Technische Ausrüstung für die geologische und sedimentologische Untersuchung

Für die Entnahme der Sedimentproben sowie für die Videoaufzeichnung der Meeresbodenoberfläche wurden zwei verschiedene Systeme verwendet. Der Multicorer (MUC) wird an Bord der POLARSTERN vor allem von der Arbeitsgruppe Geologie regelmäßig benutzt, um Proben der obersten Sedimentschicht zu entnehmen. Das *Remotely Operated Vehicle* (ROV) VICTOR 6000 war während der Expedition ARK-XIX/3 an Bord und wurde von dem französischen Meeresforschungsinstitut IFREMER bedient.

Beide Systeme sollen in diesem Abschnitt beschrieben werden.

### 6.2.1 Multicorer

Der Multicorer ist ein Instrument zur Aufnahme von Sedimentproben aus größerer Wassertiefe. An einem Gestell sind je nach Art bis zu acht ca. 60 cm lange Plexiglasröhren befestigt (Abb.6.3). Aufgrund des Eigengewichts und der Sinkgeschwindigkeit werden die Röhren in die oberste Sedimentschicht gedrückt. Ein Schnappdeckelmechanismus verschließt beim Herausziehen automatisch die Röhren. Dadurch, dass mehrere Röhren von der selben Probeentnahmestelle vorliegen, können parallel unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt werden.

Während der Probeentnahmen im Gebiet des Gollum-Channels war am Gestell zusätzlich eine Kamera mit Scheinwerfern befestigt, um Aufnahmen der Meeresbodenoberfläche aufzuzeichnen. Diese Bilder werden ebenfalls zur Analyse des Kanals herangezogen (Kapitel 6.3).

### 6.2.2 VICTOR 6000

Während des Fahrtabschnittes ARK XIX/3 wurde das ROV <sup>4</sup> VICTOR 6000 (Abb. 6.4) des französischen Meeresforschungsinstituts IFREMER (*Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer*) mitgeführt. Mit Hilfe von VICTOR 6000 können Untersuchungen in großer Tiefe durchgeführt werden. Die Verbindung zwischen Tauchroboter und Kommandostation an Bord des Begleitschiffes wird mit

---

<sup>4</sup>ROV = Remotely Operated Vehicle



**Abbildung 6.3:** Multicorer an Deck des Forschungsschiffes Polarstern



**Abbildung 6.4:** ROV VICTOR 6000

Hilfe eines Kabels aufrechterhalten. Die Navigation erfolgt mit Kreiseln, einer Art akustisches Funkortungsverfahren.

Während der Tauchgänge im Gollum Channel wurden neben der Mikrobathymetrie-Messung auch Videoaufnahmen aufgezeichnet. Standbilder aus diesen Videos werden wie auch die Aufnahmen des MUCs zur Beschreibung der Oberfläche herangezogen.

## 6.3 Aufnahmen der Probeentnahmestellen

Während der Expedition ARK-XIX/3a wurden im Gebiet des Gollum Channels *gc1* mit Hilfe eines Multicorers Sedimentproben entnommen (ausführliche Beschreibung ab Seite 53). Am Gestell des Multicorers wurde eine Videokamera befestigt, um mit Hilfe der Aufnahmen der Entnahmestelle zusätzliche Informationen zur Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche zu haben. Von jedem Video einer MUC-Station wurde ein Standbild entnommen. In der Übersicht 6.5 sind diese Bilder einander gegenübergestellt.

Zusätzlich zu den Videoaufzeichnungen des Multicorers fanden im Gollum Channel Tauchgänge des ROV VICTOR 6000 statt. Aus den Videoaufzeichnungen der drei Tauchgänge wurden ebenfalls Standbilder entnommen. Da der ROV aber nicht genau über den Entnahmestellen geflogen ist, wurden Bilder anhand von Koordinaten ausgewählt, die den Beprobungspositionen am nächsten lagen. Dadurch stehen Vergleichsaufnahmen aus der näheren Umgebung zur Verfügung. Wegen der schlechten Sicht in diesen Tiefen und der Flughöhe des ROV konnten nur Bilder von drei Stationen verwendet werden.

### 6.3.1 Multicorer - Genauigkeitsbetrachtung

Ein etwas unsicherer Punkt dieser Analyse ist die Positionsgenauigkeit des MUC bzw. die Übereinstimmung der Schiffskoordinaten mit denen des Multicorers am Meeresboden. Interessant ist dieser Punkt, wenn man die Bodenproben und die Oberflächenbeschaffenheit mit den Rückstreuwerten vergleichen will.

Von dem Untersuchungsgebiet liegen keine genauen Strömungswerte vor. Die geschätzten Geschwindigkeiten im Kanal (Tudhope and Scoffin, 1995) sind relativ gering und spielen bei einem mehreren 100 kg schweren Beprobungsgerät sicherlich keine große Rolle. Im Bereich zwischen der Oberfläche und Meeresboden können aber sicherlich größere Strömungen auftreten. Ein Multicorer bietet aber keine große Angriffsfläche für Strömungen. Tatsache aber ist, dass bis jetzt keine genauen Untersuchungen zu diesem Problem stattgefunden haben. In dieser Arbeit gehe ich davon aus, dass die Positionsgenauigkeit des Multicorers im Bereich der vertikalen

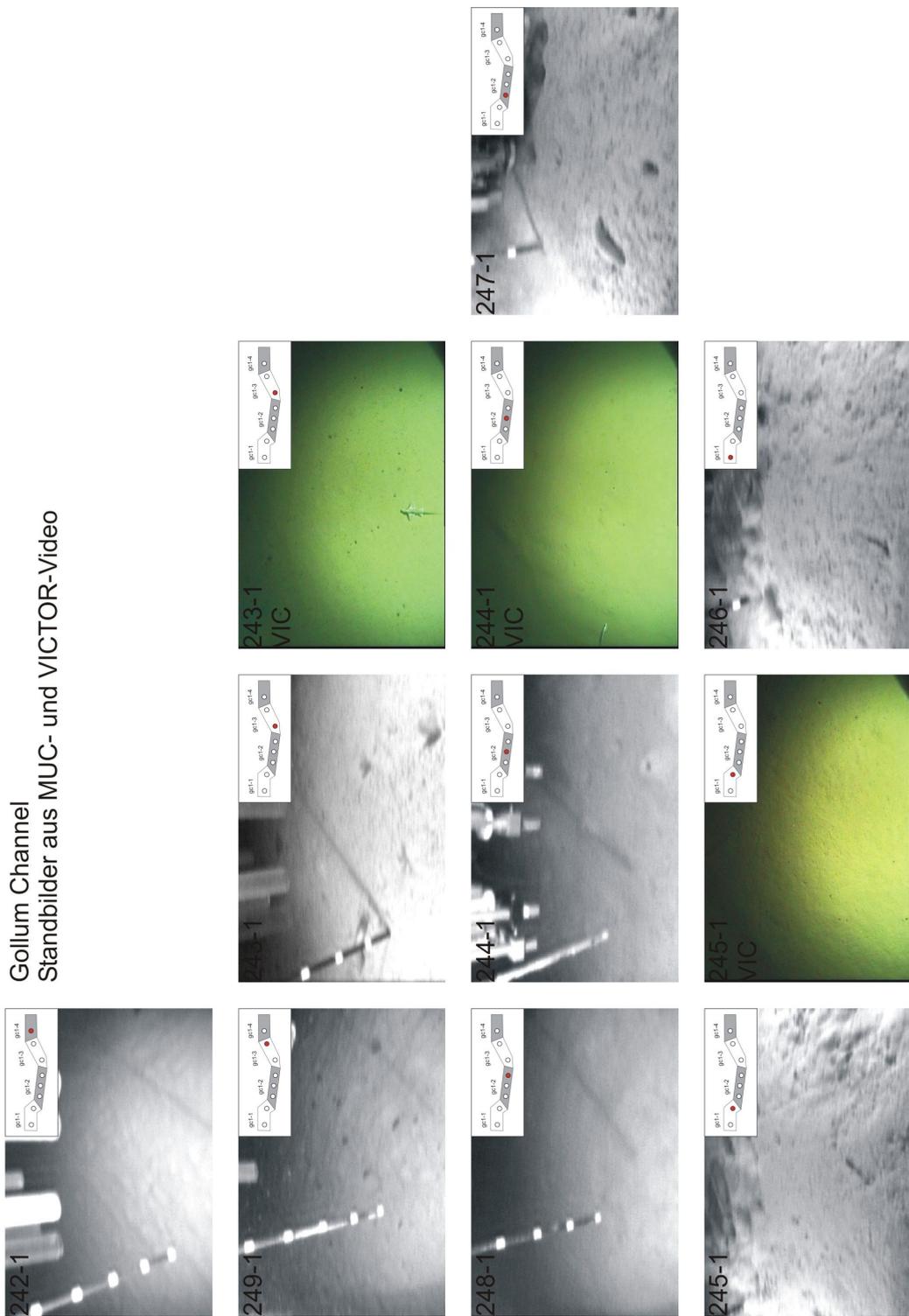


Abbildung 6.5: Bodenbilder der Beprobungspositionen von Multicorer und VICTOR

Bodenauflösung des Fächerecholotes Hydrosweep DS-2 liegt, nämlich im Bereich von 1-2 % der Wassertiefe (im Kanal also zwischen 10 m und 30 m)<sup>5</sup>.

Die Übersicht der Bodenbilder (Seite 42) ist wie folgt aufgebaut: jede Reihe entspricht einem Kanalabschnitt, beginnend vom oberen (westlichen) Ende des Kanals. Die Bilder einer Reihe entsprechen ebenfalls der Reihenfolge der MUC-Stationen. Wenn von einer Station ein MUC-Bild und ein VICTOR (VIC)-Bild vorhanden sind, so stehen diese nebeneinander (VIC-Bilder zeigen einen grünen Farbton).

Zur Veranschaulichung ist in der rechten oberen Ecke die Lage in einem Kanalabschnittslogo symbolisch dargestellt.

Die Beschreibung erfolgt stichwortartig anhand der Standbilder und unter Zuhilfenahme der kompletten Multicorer- und, wenn vorhanden, VICTOR-Videos.

#### **242-1**

Feinsandige, weiche Oberfläche mit einer leichten, gleichmäßig welligen Oberflächenstruktur. Es sind keine Löcher<sup>6</sup> vorhanden.

#### **249-1**

Feinsandige, weiche Oberfläche. Keine ausgeprägten Rippel zu erkennen, aber eine etwas welligere Struktur in der Umgebung. Die Oberfläche erscheint insgesamt etwas unruhiger. Vereinzelt Löcher zu sehen.

#### **243-1**

Sandig, ungleichmäßige Oberflächenstruktur, vereinzelt Löcher. Auf dem MUC-Bild sind keine Rippel zu erkennen. Auf dem VIC-Bild erscheint die Oberfläche gleichmäßiger, ebenfalls nur wenige Löcher zu sehen.

#### **248-1**

Feine, sehr glatte Oberfläche, weder Rippel noch Löcher zu sehen.

#### **244-1**

Feine, glatte Oberfläche. Sehr weicher Untergrund, was auch daraus zu schließen ist, dass die Kamera in den Boden eingesunken ist. Vereinzelt sind Löcher zu erkennen. Auf dem VIC-Bild erscheint die Oberfläche ebenfalls sehr gleichmäßig ohne Rippel oder Wellen.

#### **247-1**

Weiche, strukturierte Oberfläche, keine Rippel. Einige Löcher und kleine Unebenheiten sind zu erkennen. Der MUC ist bei der Entnahme schnell und tief eingesunken.

---

<sup>5</sup>vertikale Auflösung: Genauigkeit der gemessenen Wassertiefe. Nicht zu verwechseln mit der horizontalen Auflösung (Footprint, PFB-Abstand, Grid-zellengröße)

<sup>6</sup>Die Löcher stammen von Bioturbation durch Würmer und andere Kleinlebewesen an der Meeresbodenoberfläche

#### **245-1**

Sehr weiche, etwas unruhige Oberfläche. Keine Rippelstruktur erkennbar. Ebenfalls tiefes und schnelles Eindringen des Multicorers. Auf dem VIC-Bild scheint die Oberfläche welliger, aber gleichmäßiger geformt zu sein. Nur vereinzelt Löcher zu sehen.

#### **246-1**

Weiche, etwas unebene Oberfläche. Keine Rippel zu erkennen. Schnelle und tiefe Eindringung des MUC in den Boden.

### **6.3.2 Kanalboden - Genauigkeitsbetrachtung**

Zumindest was die Oberfläche angeht, so zeigen die Videos des ROV eine einheitliche Oberflächenbeschaffenheit in den untersuchten Kanalabschnitten. Wenn man sich das Zustandekommen der Kanalsedimente in Erinnerung ruft (Trübestrome, Sediementierung durch abgesunkenes Material), so kann man auch in größeren Abständen der Beprobungspositionen von ähnlichen Zusammensetzungen ausgehen. Veränderungen in den Korngrößen und der Dichte/Wassergehalt werden wohl nicht abrupt sondern gleichmäßig vonstatten gehen.

## **6.4 Parasound-Profile**

Die Fahrten über dem Kanal fanden zwischen dem 12.06.2000, 22:00 Uhr (Profil 1) und dem 17.06.2000, 05:00 Uhr (Profil 14) während der Expedition ANT-XVII statt (siehe auch Abb. 7.2). Es wurde mit dem westlichen Abschnitt begonnen, um den Kanal abwechselnd in 14 Profilen in Nord-Süd- und Süd-Nord-Richtung zu überfahren. Die erste Überfahrt (Profil 1) verlief über dem westlichen Ende des Kanals zwischen den MUC-Stationen 246-1 und 245-1 in S-N-Richtung, die letzte Überfahrt östlich des untersuchten Gebietes (Profil 14).

### **6.4.1 Aufzeichnung der Profile**

Begleitend zu den Fächerlotmessungen der Expedition ANT-XVII wurden im Bereich des Gollum Channels Messungen mit dem Sedimentecholot Parasound durchgeführt. Jedes der 14 Profile entspricht einer Aufzeichnungsdauer von ca. 20 Minuten. Anhand von Navigationsfiles der bathymetrischen Daten wurden aus den x- und y-Datensätzen und der Uhrzeit die Bereiche um den Canyon herausgefiltert. Die so deutlich reduzierte Datenmenge konnte mit der Software SeNT bearbeitet werden. SeNT ist ein an der Universität Bremen entwickeltes Programm zur

Bearbeitung von PS3-Dateien und zur Darstellung der Daten in Form von Seismogrammen.

Die Parasoundinformationen sind in dem sogenannten PS3-Format abgespeichert. In diesem binären Format liegen sämtliche für eine weitere Verarbeitung relevanten Daten vor. Die Auswahl eines Profilsabschnittes erfolgt über die Eingabe einer Start- und Endzeit. Ebenfalls kann über den Zeitrahmen aus den Headereinträgen der PS3-Dateien eine Position abgeleitet werden. Das Programm bietet verschiedene Darstellungsmöglichkeiten. Seismogramme können mit korrekter Abbildung der Position, also streckentreu, mit einer Skalierung auf der Zeitachse sowie über eine Festlegung auf eine bestimmte Pixelgröße dargestellt werden (Pixel pro Spur).

Es wurde eine streckentreue Darstellung ausgewählt, um einen besseren Vergleich aller Profile zu ermöglichen. Streckentreue Daten lassen sich besser georeferenzieren und können dadurch ohne Weiteres mit den aus dem DGM errechneten Profil verglichen werden. Alle weiteren Systemeinstellungen wurden übernommen.

Ein erster Einleseversuch schlug fehl, weil die Software Probleme mit dem Jahr-2000-Datumwechsel hatte, und alle Datensätze dadurch mit einem um einen Tag verschobenen Datum abgespeichert worden waren.

Nachdem alle Datensätze erfolgreich eingelesen werden konnten, wurden die Anfangs- und Endkoordinaten der Profile übernommen und als Start- und Endpunkte für die Berechnung der Querprofile aus dem vorliegenden Geländemodell verwendet. Im Graphikprogramm *CorelDraw* wurden die aus dem Geländemodell mit der Software GMT errechneten Querprofile über die Seismogramme gelegt. Da für die Untersuchung besonders der Kanalboden von Interesse ist, wurden diese Bereiche in jedem Profil zusätzlich vergrößert dargestellt.

## 6.4.2 Darstellung der Profile und Probleme

Um an den lückenhaften Stellen der Parasoundaufzeichnung den Hangverlauf zu verdeutlichen, wurden DGM-Profile über die Parasound-Profile gelegt. Dabei traten bei den Profilen teilweise erhebliche Differenzen mit bis zu 20 Metern auf. Ursache war der nicht ganz linear verlaufende Kurs des Schiffes. Bei geringer Fahrt kann der Einfluß von Wind und Strömung auf ein Schiff teilweise erheblich sein. Der Versatz wirkt sich deshalb in den unterschiedlichen Tiefenprofilen von Parasound und DGM aus. Deutlich erkennt man diese Unterschiede am Beispiel des Profils 02 (Abbildung 6.6). So sieht man am nördlichen Hang (linker Hang in der Abbildung) an zwei Stellen deutliche Unterschiede zwischendem DGM- und dem Centerbeam-Profil. Diese sind darauf zurückzuführen, dass der Navigations-Track und das aus dem DGM errechnete Profil nicht identisch sind. An dieser Stelle des Hanges treten zwei verschiedene Neigungen in zwei verschiedenen Richtungen auf - eine in südliche

und eine in westliche Richtung. Wird das Profil nur um wenige Meter nach Ost oder West versetzt, ergibt sich ein anderer Tiefenverlauf.

Behoben wurde dieses Problem indem aus den parallel verlaufenden Hydrosweepaufzeichnungen der mittlere Beam herausgerechnet und als xy-file mit Tiefeninformation abgespeichert wurde. Mit diesem Datensatz wurden neue Profile berechnet und ebenfalls in CorelDraw über die Parasoundprofile gelegt. Der Profilvergleich weist jetzt wesentlich geringere Unterschiede auf. Da beide Datensätze um den auf Grund des unterschiedlichen Einbauortes zustande kommenden Versatz bereinigt sind, müssen die jetzt noch vorhandenen Differenzen andere Ursachen haben<sup>7</sup>.

Eine Ursache kann der ungleich große *footprint* sein. Ein Tiefenmeßwert errechnet sich aus den interpolierten Echos eines bestimmten Empfangsbereichs. Differieren diese in der Größe, kann es zu unterschiedlichen Endwerten kommen. Außerdem verfügen beide Systeme über verschiedene Messgenauigkeiten. Beim Hydrosweep wird von einer Tiefenmessgenauigkeit von rund 1% der Wassertiefe ausgegangen, beim Parasound von etwa 0,2m + 0,1% der Wassertiefe. Es ist bekannt, dass Parasound und Hydrosweep an gleicher Position unterschiedliche Tiefenwerte des obersten Reflektors anzeigen. Besonders in Hangbereichen weichen die Werte voneinander ab. Ursache könnten die unterschiedlichen Arbeitsfrequenzen von 15,5 kHz (Hydrosweep) und 18-22 kHz (Parasound) sein.

Da die Tiefenlinien nur dazu da sind, um an den lückenhaften Stellen eine Vorstellung des Kanalverlaufes zu ermöglichen, sind die jetzt noch auftretenden Differenzen akzeptabel.

### 6.4.3 Analyse der Profile

Seismogramme kann man in verschiedene Echotypen unterteilen. Eine erste Unterteilung findet anhand der Qualität statt. So ordnet man die eine Gruppe den *deutlichen* ("distinct"), die andere den *undeutlichen* ("indistinct") Signaltypen zu. Des Weiteren lassen sich Seismogramme in drei Klassen unterteilen: Klasse I - Seismogramme bilden den Meeresboden durch ein scharf abgegrenztes Echo ab. Diese Klasse läßt sich erneut unterteilen in Echos mit (Ia) oder ohne (Ib) weitere Reflektoren innerhalb der Sedimentsäule.

Die zweite und dritte Klasse beinhaltet die undeutlichen Echos. Die Klasse II stellt die Gruppe der kontinuierlich ausgedehnten, die Klasse III die Gruppe der hyperbolischen Echosignale dar. Die Klasse II läßt sich in zwei, die Klasse III in sechs weitere Unterklassen unterteilen (Iffland, 2004), (Spieß, 1993).

Allgemein gilt, dass starke Reflexionen an dunkler gefärbten Pixeln zu erkennen sind. Je dicker die Pixel sind, desto stärker ist die Reflexion bzw. um so höher ist

---

<sup>7</sup>Die Wandler der unterschiedlichen Echolotsysteme der POLARSTERN befinden sich aus technischen Gründen an verschiedenen Stellen des Rumpfes

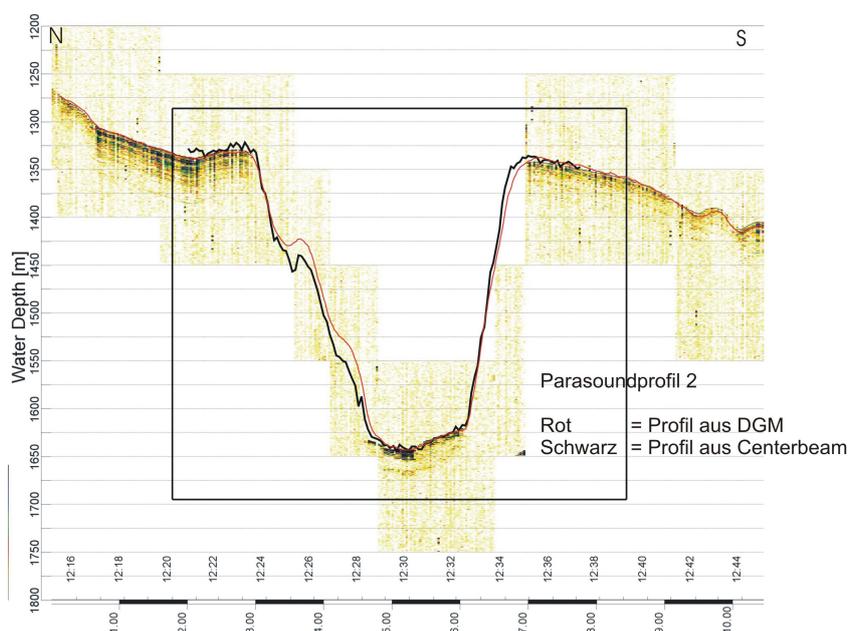


Abbildung 6.6: Vergleich eines Parasound-, DGM- und Centerbeamprofils

die Impedanz<sup>8</sup>. Die erkennbaren Schichten bedeuten einen Wechsel von akustischen Impedanzen. Diese treten in Bereichen auf, in denen zwei Schichten mit unterschiedlichen Sedimentschallgeschwindigkeiten übereinander liegen, beispielsweise an der Grenzschicht zwischen Wasser (1500 m/s) und oberster Sedimentschicht (z.B. 1836 m/s für *grober Sand*)<sup>9</sup>. Ein starker Reflektor tritt bei grobem Material wie Silt und Sand bzw. bei verfestigtem Material auf.

Wenn keine Messwerte vorliegen, kann das verschiedene Ursachen haben:

1. Der Hang ist zu steil (mehr als zwei Grad),
2. Auf Grund einer sehr rauhen Oberfläche werden die Strahlen gestreut bevor sie eindringen können,
3. Es erfolgt eine Eindringung, aber keine Reflexion aufgrund fehlender Kontraste (transparent), da
  - a) alles aus gleichem Material besteht,
  - b) verschiedenes Material gemischt vorkommt, also akustisch homogen ist,
  - c) Gas im Sediment auftritt, das Schallwellen nicht durchdringen können,

<sup>8</sup>Impedanz ist das Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit, vgl. auch Kapitel 8.4

<sup>9</sup>Durchschnittsgeschwindigkeit bei grobkörnigen Sand des Kontinentalhanges. Laborwerte nach Hamilton, 1982(Hamilton and Bachman, 1982)

4. Versäumnis des Wachgängers - das Tiefenfenster wurde nicht manuell nachgeführt.

Besonders am Kanalrand, dem sog. *Levee*, sind oftmals mehrere Schichten zu erkennen. Diese stammen von Sedimentwolken, die ein Trübestrom hinter sich herzieht. Diese Sedimentschichten liegen am Kanalrand enger beisammen und laufen auf der Ebene des Kontinentalhanges aus. Je weiter sie vom Kanal sind, desto mächtiger werden sie. Diese Sedimente sind lockerer geschichtet (enthalten einen hohen Wasseranteil), so dass deshalb eine tiefere Eindringung der Sedimentecholotstrahlen vorliegt, die in diesen Schichten zwischen 50 m und 60 m betragen kann (Vergleiche Abb. 6.6).

Von den 14 Profilen liegen sechs direkt über oder in unmittelbarer Nähe von Multicorerstationen. Da hier besonders der Kanalboden von Interesse ist, sind diese Profile auf diesen Abschnitt reduziert. Die vollständigen Profile und alle nicht aufgeführten Bodenausschnitte finden sich im Anhang dieser Arbeit.

Um die relevanten Parasoundinformationen zu verdeutlichen, ist in den Abbildungen der ursprüngliche Kanalboden mit einer roten Linie nachgezeichnet. Des Weiteren sind in den Abbildungen Schichten von besonderer Bedeutung mit dünneren schwarzen Linien hervorgehoben. Jedes Profil wird in einem kurzen Absatz einzeln erläutert. Aus Platzgründen sind im Hauptteil dieser Arbeit nur diejenigen Profile abgebildet, die sich in unmittelbarer Nähe von Multicorerstationen befinden.

**Profil 01:**

Zu erkennen sind mindestens drei Rutschungen. Der ursprüngliche Kanalboden ist als unterster Reflektor noch auszumachen. Der oberste Reflektor ist stark ausgeprägt, was bedeutet, dass die oberste Schicht wahrscheinlich fest ist und aus grobkörnigen Material besteht.

**Profil 02:**

In der obersten Sedimentschicht des Canyonbodens liegt eine Rinne jüngerer Datums. Der Boden ist ca. 10 m tief eingeschnitten und mit festerem Material aufgefüllt.

**Profil 03:**

In diesem Profil ist der Canyonboden nicht ausgeprägt. Wenn aber selbst am Wechsel zwischen Wasser und oberster Sedimentschicht kein klarer Impedanzkontrast zu erkennen ist, hat der schwache Reflektor wohl eine geometrische Ursache. Der ursprüngliche Canyonboden ist ebenfalls nicht zu erkennen (Vgl. Abbildung 6.7).

**Profil 04:**

Der ursprüngliche Kanalboden ist nur schwach auszumachen. Umso deutlicher dagegen erkennt man zwei übereinander liegende Schichten auf der rechten Seite. In dem starken Reflektor der obersten Kanalschicht ist eine nicht gefüllte Rinne zu sehen (siehe Abb. 6.8).

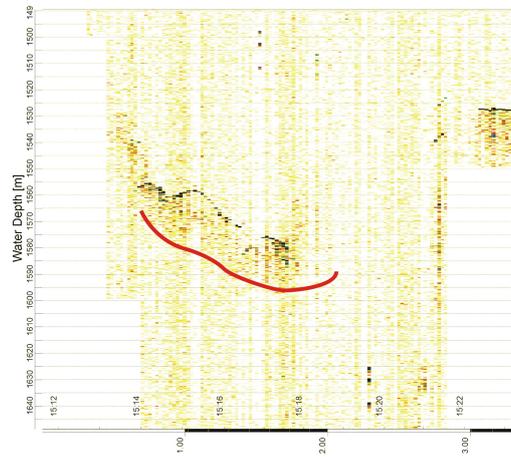


Abbildung 6.7: Profil 03; Ausschnitt des Kanalbodens

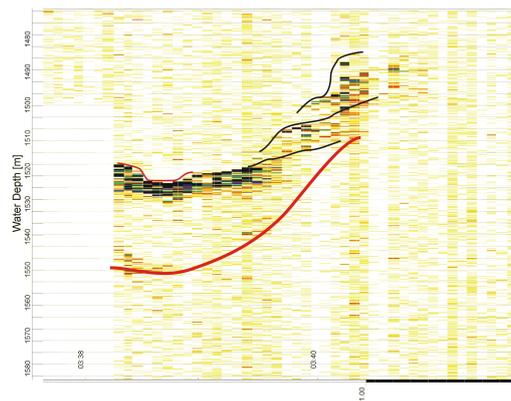
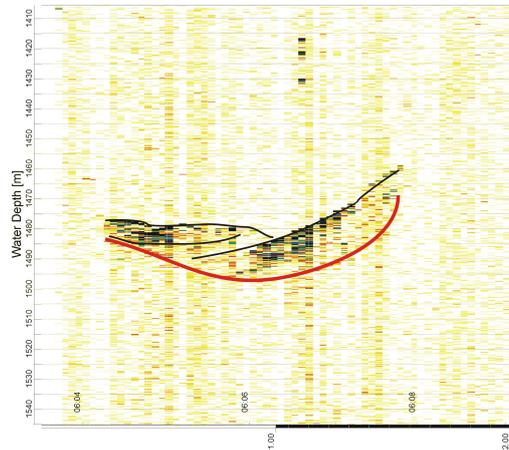


Abbildung 6.8: Profil 04; Ausschnitt des Kanalbodens

**Profil 05:**

In diesem Bodenprofil (siehe Abb. 6.9) sind zwei Rutschungen zu beobachten. Die eine Rutschung, im Bild rechts, ist früheren Datums, da sich eine zweite Schicht deutlich auf der ersten abgesetzt hat.



**Abbildung 6.9:** Profil 05; Ausschnitt des Kanalbodens

**Profil 06:**

In der Canyonmitte ist ein deutlicher Reflektor zu sehen. Die Eindringung ist aber nicht hoch. Am rechten Hang sind zwei Abstufungen auszumachen, die aber wegen der Hangneigung nicht ausgeprägt sind.

**Profil 07:**

Es ist ein deutlicher Bodenreflektor vorhanden. Die leichte Schrägneigung des Bodens ist ein typisches Merkmal von Rinnen. Im rechten Bereich beträgt die Eindringung bis zu 40 m, im linken Rand verlieren sich die Schallwellen im Sediment, so dass nur eine Eindringung von etwa 5 m erreicht wird (Abbildung 6.10).

**Profil 08:**

Der erste Reflektor deutet auf festes Material hin. Im mittleren Bereich ist die ursprüngliche Rinne deutlich auszumachen. Am linken Hang ist ein ca. 30 m hoher Hügel zu erkennen, der auch von der Bathymetrie erfasst wurde. Der rechte Bereich des Kanals scheint von einer Rutschung überdeckt zu sein, jedenfalls liegt eine Sedimentschicht über den Ausläufern der Bodenschicht der Kanalmitte.

**Profil 09:**

In diesem Profil (vgl. Abbildung 6.11) sind deutlich vier Rutschungen zu erkennen. Das oberste auf der rechten Seite stammt mit großer Wahrscheinlichkeit von einer Rutschung. Der untere Bereich scheint weggespült zu sein, was ein Hinweis auf Strömungen in diesem Kanal wäre. Unter dieser Schicht sind zwei weitere zu erkennen, die ebenfalls von der rechten Hangseite ausgehen. Die Ursprungsrinne ist mit einer ca. 15 m dicken Sedimentschicht aufgefüllt.

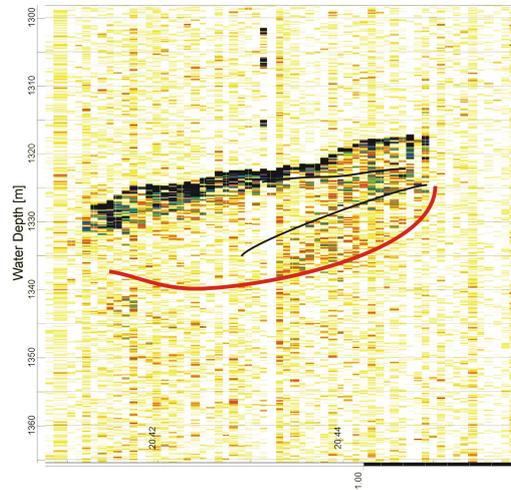


Abbildung 6.10: Profil 07; Ausschnitt des Kanalbodens

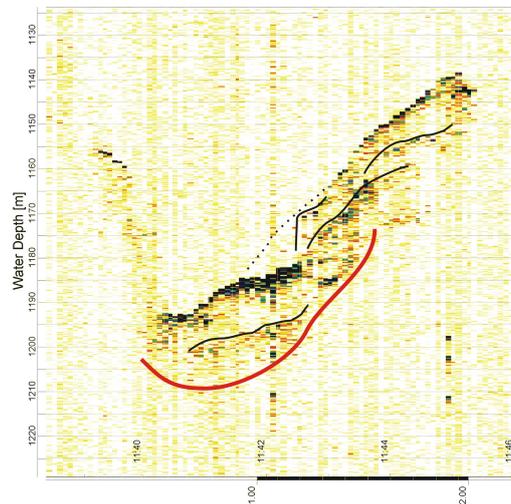


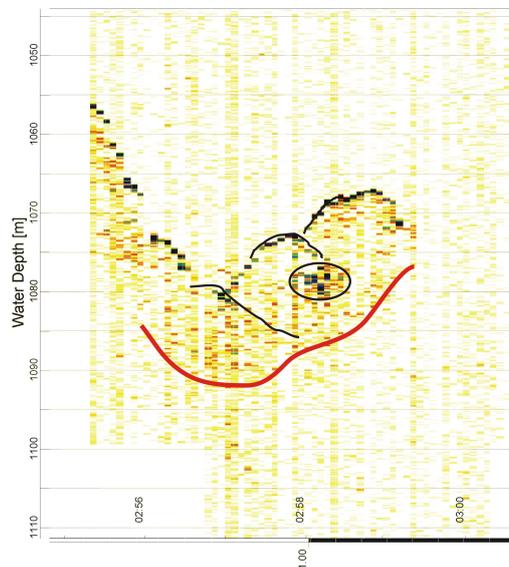
Abbildung 6.11: Profil 09; Ausschnitt des Kanalbodens

**Profil 10:**

Zu erkennen ist die ursprüngliche Rinne. Sie ist mit zwei Schichten gegenläufiger Neigung aufgefüllt.

**Profil 11:**

Die Rinne ist mit einer zehn Metern dicken Sedimentschicht gefüllt. Mehrere Aufschüttungen überlagern sich, was wohl zu dem starken Reflektor in zehn Meter Tiefe führt. Dies wäre dann eines der bekannten technischen Unzulänglichkeiten des Parasoundsystems, welches eng mit dem Öffnungswinkel von  $4^\circ$  zusammenhängt (Spieß, 1993). Eine eiförmige Einlagerung höherer Dichte kann deswegen trotzdem nicht ausgeschlossen werden (Abb. 6.12).



**Abbildung 6.12:** Profil 11; Ausschnitt des Kanalbodens

**Profil 12:**

In den Bereichen flacherer Neigung sind deutliche Reflektoren auszumachen. Der ursprüngliche Kanalverlauf ist zu erkennen.

**Profil 13:**

Die ursprüngliche Rinne ist gut zu sehen. In der Mitte ist ein zehn Meter hoher Hügel zu erkennen, der aber, wohl auch wegen seiner parabolischen Form, keine starke Reflexion aufweist. Der linke Hang fällt durch seinen ersten, deutlichen Reflektor auf. Die untere Hälfte des rechten Hanges scheint durch Strömungen weggespült zu sein.

**Profil 14:**

Das Profil 14 fällt durch seine deutliche Schichtung auf, von denen drei als Hauptschicht ausgemacht werden können. Die unterste Schicht (I) liegt ca. 25 m unter

dem Kanalboden. Die zweite Schicht (II) ist dünner, aber durch den starken Impedanzkontrast klar von der obersten Schicht abgetrennt. Die oberste Schicht (III) kann wiederum in zwei Schichten unterteilt werden. Die Deckschicht (IIIb) wird von zwei Rinnen eingeschnitten, wovon die im mittleren Abschnitt gelegene noch nicht mit Sediment aufgefüllt ist und deshalb wohl relativ neuen Ursprungs ist.

## 6.5 Sedimentologische Bearbeitung der Proben

Grundlage für alle weiteren Betrachtungen ist die Analyse der obersten Schicht des Meeresbodens. Die Bearbeitung der auf der Expedition ARK XIX-3a gezogenen Bodenproben erwies sich als sehr zeitaufwendig. Allein der erste Arbeitsschritt, die Bestimmung des Wassergehalts der Gesamtprobe und das anschließende Sieben des Sandes nahm fast 2,5 Monate in Anspruch. Die einzelnen Arbeitsschritte sollen hier kurz aufgeführt und erläutert werden (siehe auch Abbildung 6.13).

An Bord wurden mit dem Multicorer mehrere Kerne pro Station gleichzeitig gezogen. Der Multicorer ist ein Gerät, an dem mehrere Röhren befestigt sind, die sich beim Auftreffen auf den Meeresboden auf Grund des Eigengewichts in die obere Sedimentschicht bohren. Durch eine mechanische Einrichtung werden die Proben eingeschlossen und wieder an Bord transportiert. Anschließend werden die Kerne bearbeitet. Die ersten 10 cm der Probe werden in Zentimeterstücken, der Rest des Kernes in zwei Zentimeter langen Segmenten in einzelne vorgewogene Tüten verpackt und bei 4°C gelagert. Als Referenz wird für jede Station ein kompletter Kern eingefroren und gelagert.

Am Alfred-Wegener-Institut (AWI) werden die Einzelproben gewogen. Nach der Bestimmung des Nassgewichts werden die Proben gefriergetrocknet, wieder gewogen und anschließend geteilt. Die eine Hälfte wird gemahlen, mit der zweiten Hälfte wird die Korngrößenanalyse durchgeführt. Die Probe wird im Becherglas auf 1/1000 Gramm genau gewogen, mit Wasser und einer 15%-igen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung aufgefüllt und 24 Stunden im Rüttler gelassen, um für eine sichere Oxidation des organischen Materials im Sediment zu sorgen. Der Vorgang des Nasssiebens trennt die Bestandteile, die größer als 63  $\mu\text{m}$  sind von der Restprobe. Teilchen, die größer als 63  $\mu\text{m}$  sind, werden als Sand bezeichnet und in vorgewogenen Schälchen im Trockenschrank getrocknet und gewogen. Der Silt-Ton-Anteil der Probe wird in Becher gefüllt, in denen sich die Sedimente auf dem Boden absetzen sollen. Nach etwa einer Woche wird der Silt-Ton-Bodensatz in 100 ml-Becher umgefüllt.

Die weitere Bearbeitung des Silt-Ton-Anteils erfolgt im Sedigraphen: dieses Gerät misst anhand der Sinkgeschwindigkeit der Proben den Anteil von Silt und Ton. Gemessen wird mit einem Röntgenstrahl, der durch eine Meßkammer läuft und durch den die Korngrößen, auf Grund der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten der einzelnen Probenbestandteile, bestimmt werden können. Um eine saubere

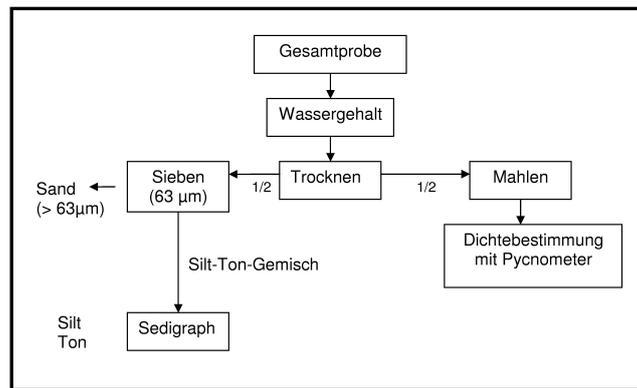


Abbildung 6.13: Übersicht des Beprobungsablaufes

Messung gewährleisten zu können, muß regelmäßig die Kammer mit Wasser durchgespült und alle zwei Tage mit reinem Wasser die so genannte *baseline*<sup>10</sup> bestimmt werden. Vor Beginn der Arbeit werden Tüten beschriftet und zusammen mit einem Becherglas gewogen. Das Leergewicht (Tara) wird benötigt, um am Ende eine Gewichtsbestimmung mit der Trockenprobe durchzuführen. Die Proben werden in den Rührgefäß gefüllt und dann gegebenenfalls mit Wasser verdünnt, bis die Lösung eine Konzentration von 90 kcounts/min<sup>11</sup> hat. Dann wird die Analyse gestartet. Die Probe läuft durch ein Fenster und wird dabei vom Röntgenstrahl beleuchtet. Das Ergebnis der Analyse ist eine Kurve, die den Verlauf der Dichteanteile von Silt und Ton in Prozent angibt. Anschließend wird das Gerät mit destilliertem Wasser durchspült. Zu Beginn der nächsten Probe wird mit *drain and load*<sup>12</sup> der Mixer geleert. Die Proben werden anschließend in den Trockenschrank gestellt, um am Ende das Trockengewicht der Probe bestimmen zu können.

Zur Bestimmung der Trockendichte werden die gemahlten Einzelproben in geeichte Behälter gefüllt und gewogen. In den drei zu Verfügung stehenden Pycnometern werden dann die Dichten gemessen. Die Messung läuft folgendermaßen ab: die geeichten Behälter werden mit dem Probenmaterial gefüllt und im Pycnometer luftdicht verschlossen. Da die Masse bekannt ist, muß nur noch das Volumen bestimmt werden. Dafür wird der Behälter mit Helium aufgefüllt. Die Menge des Gases ergibt in Bezug auf das bekannte Volumen des geeichten Bechers das Volumen der Probe und zusammen mit der Masse die gesuchte Trockendichte.

<sup>10</sup>Die *baseline* ist der Referenzwert für die Messung. Er liegt bei etwa 130 kcounts/min.

<sup>11</sup>Die Abschwächung des Röntgenstrahls wird mit kcounts/min beschrieben, counts ist die Anzahl der Strahlung.

<sup>12</sup>Mit dem Befehl *drain and load* wird der Sedigraph gereinigt und mit frischem Wasser gefüllt.

Nr.	Kern	Tiefe [cm]	Sand (Ne)	Netto [g]	Gesamt [g]	Sand [%]	Silt/Ton [%]	Silt [%]	Ton [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]
150	PS64/242-1	0-1	7,2355	6,8012	14,0367	51,5	48,5	76,3	23,7	51,5	37,0	11,5
151		1-2	9,6235	6,3545	15,9780	60,2	39,8	76,1	23,9	60,2	30,3	9,5
152		2-3	9,9891	5,0956	15,0847	66,2	33,8	73,8	26,2	66,2	24,9	8,9
153		4-4	10,7288	4,3002	15,0290	71,4	28,6	74,1	25,9	71,4	21,2	7,4
154		4-5	12,8109	5,9808	18,7917	68,2	31,8	71,5	28,5	68,2	22,8	9,1
155		5-6	12,4448	5,9059	18,3507	67,8	32,2	74,5	25,5	67,8	24,0	8,2
156		6-7	11,4015	6,1728	17,5743	64,9	35,1	74,8	25,2	64,9	26,3	8,9
157		7-8	12,0541	6,6766	18,7307	64,4	35,6	74,3	25,7	64,4	26,5	9,2
158		8-9	12,6632	5,7015	18,3647	69,0	31,0	74,3	25,7	69,0	23,1	8,0
159		9-10	12,1466	5,6618	17,8084	68,2	31,8	75,6	24,4	68,2	24,0	7,8

**Tabelle 6.2:** Ergebnisse der Kernbearbeitung am Beispiel des Kerns 242-1

Nr.	Kern	Tiefe [cm]	H <sub>2</sub> O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm <sup>3</sup> ]	WBD [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosität [%]
150	PS64/242-1	0-1	42,0	51,5	37,0	11,5	2,643	1,569	66,717
151		1-2	35,7	60,2	30,3	9,5	2,656	1,657	60,444
152		2-3	33,1	66,2	24,9	8,9	2,659	1,721	57,696
153		3-4	30,7	71,4	21,2	7,4	2,654	1,764	54,882
154		4-5	30,6	68,2	22,8	9,1	2,658	1,769	54,742
155		5-6	30,4	67,8	24,0	8,2	2,658	1,772	54,540
156		6-7	30,0	64,9	26,3	8,9	2,655	1,779	54,032
157		7-8	29,1	64,4	26,5	9,2	2,660	1,799	52,926
158		8-9	29,4	69,0	23,1	8,0	2,661	1,793	53,295
159		9-10	30,0	68,2	24,0	7,8	2,657	1,780	54,003

**Tabelle 6.3:** Endergebnisse des Kerns PS64/242-1

Erläuterung der Spaltenüberschriften in den Tabellen 6.2 und 6.3:

Nr	:lfd Probennummer
Kern	:Kernbezeichnung (Stationsnummer Polarstern)
Tiefe	:Tiefe der Probe in cm
Sand(Ne)	:Gewicht nach dem Sieben
Netto	:Silt-Ton-Gewicht
Gesamt	:Sand + Silt/Ton
Sand[%]	:Sandanteil auf Gesamtprobe
Silt/Ton	:Silt/Ton-Anteil auf Gesamtprobe
Silt[%]	:Anteil im Silt/Ton-Gemisch
Ton[%]	:s.o.
Sand[%], Silt[%], Ton[%]	:Anteil bezogen auf Gesamtprobe
H <sub>2</sub> O	:Wassergehalt in [%] des Nassgewichts
DBD	:Trockendichte der Gesamtprobe
WBD	:Feuchtdichte der Probe
Porosität	:Porosität der Probe

Die Tabellen 6.2 und 6.3 zeigen die Ergebnisse aus den einzelnen Bearbeitungsschritten der geologischen Untersuchung. Zur Erläuterung des Ablaufes werden die Daten des Kerns PS64/242-1 herangezogen.

In Tabelle 6.2 sind die reinen Messergebnisse aus den Untersuchungen dargestellt. Die ersten drei Spalten beinhalten allgemeine Informationen zur Probe wie die laufende Probennummer, die Kernbezeichnung und die Tiefenangabe der Probe in Zentimeter. Die Angabe Sand (Ne) ist das Gewicht des gesiebten Sandes, Netto das Gewicht des getrockneten Silt-Ton-Gemisches. Die sechste Spalte ist das Gesamtgewicht der Probe, zusammengesetzt aus Sand (Ne) und Netto, wobei hier durch den Spülvorgang mit destilliertem Wasser schon das Meersalz aus der Probe gewaschen wurde. Die Spalten Sand (%) und Silt/Ton (%) geben den Prozentanteil bezogen auf das Gesamtgewicht an. Die Angaben Silt (%) und Ton (%) sind die Ergebnisse der Messung mit dem Sedigraphen. Die letzten drei Spalten Sand (%), Silt (%) und Ton (%) geben den jeweiligen Prozentanteil bezogen auf das Gesamtgewicht der Probe an.

Tabelle 6.3 stellt die endgültige Auswertung dar. Aufgeführt sind neben dem Wassergehalt und der Korngröße (Sand, Silt, Ton) auch die Trocken- und Feuchtdichte sowie die Porosität. Der Wassergehalt in Prozent berechnet sich aus dem Gewicht der Probe vor und nach dem Trocknen, die Angaben Sand (%), Silt (%) und Ton (%) wurden aus Tabelle 1 übernommen. Die Ergebnisse DBD (%) - Trockendichte, WBD (%) - Feuchtdichte und Porosität (%) basieren auf den Messungen mit dem Pycnometer und wurden mit den in diesem Kapitel erläuterten Formeln berechnet.

Da beim Sieben durch den Spülvorgang mit destilliertem Wasser das Meersalz entfernt wurde, treten kleine Gewichtsunterschiede bei der Kontrolle auf. Die Prozentanteile von Sand, Silt und Ton beziehen sich daher in der endgültigen Darstellung auf das Gewicht der Gesamtprobe ohne Salz.

**Für die Darstellung der Daten und auch für weitere Berechnungen sind besonders die Korngröße und die Dichte von entscheidender Bedeutung, da sie Einfluß auf das Verhalten von Schallwellen im Sediment haben (Urban, 2002).**

Die Messung der Dichte erfolgt im Pycnometer. Bei der Dichte wird unterschieden zwischen der Trocken- und der Feuchtdichte. Die Trockendichte (TD) ist das Ergebnis der Pycnometermessung und berücksichtigt nur das Volumen und die Masse der getrockneten und gemahlten Probe. Das Ergebnis ist allerdings für eine Berechnung unbrauchbar und muss somit zuerst in die Feuchtdichte umgerechnet werden. Hierfür gibt es Formeln, die auch den Salzanteil berücksichtigen:

$$WBD = 100 / ((100 - WGH) / TD - WGH * 3,5 / (96,5 * 2,1) + WGH * 100 / (96,5 * 1,024))$$

Die Porosität (in %) wird wie folgt berechnet, wobei WBD = wet bulk density (Feuchtdichte,  $[g/cm^3]$ ), TD = Trockendichte (grain density),  $[g/cm^3]$  und WGH = Wassergehalt in % ist:

$$POR = 100 * (WGH * 100 / (96,5 * 1,024)) / ((100 - WGH) / TD - WGH * 3,5 / (96,5 * 2,1) + WGH * 100 / (96,5 * 1,024))$$

## 6.6 Shepard-Diagramm

Ein Dreiecksdiagramm kann im Gegensatz zu einem x-y-Diagramm Daten mit drei Koordinaten darstellen. Jede Seite besitzt eine Werteskala von 0 - 100%. Beim Shepard-Diagramm sind dies Sand, Silt und Ton; die drei Ecken stellen jeweils 100% dar. Je nach Anteil (in Prozent) errechnet sich damit eine Position im Dreiecksdiagramm. Es ist somit ein geeignetes Hilfsmittel für eine optische Korngrößenklassifizierung.

Die einzelnen Kerne sind in der Graphik farblich unterschiedlich dargestellt. Der unterste Kanalabschnitt (gc1-1) ist in Rot-, der nächste in Grün-, der zweitoberste in Blau-Tönen und die Sedimentproben aus dem obersten (gc1-4) Abschnitt in Gelb. Die farbliche Abstufung innerhalb eines Kanalabschnittes erfolgt von unten nach oben (Tiefenmetern) von dunklen zu helleren Farbtönen (Abbildung 6.14 auf der nächsten Seite).

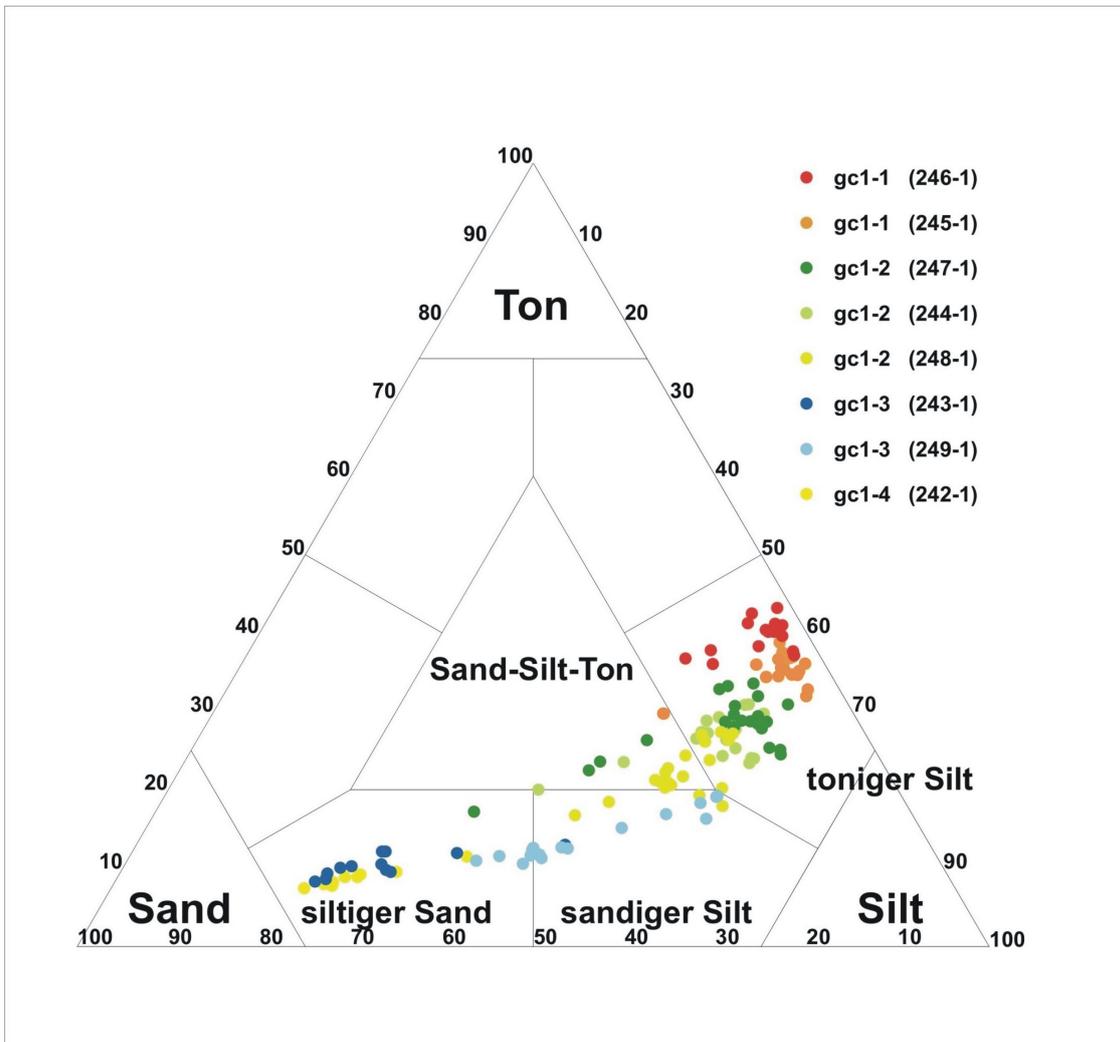


Abbildung 6.14: Shepard-Diagramm, Analyse der Bodenproben der Expedition ARK-XIX

### 6.6.1 Analyse des Shepard-Diagramms

In der Bewertung der Proben soll hier wie folgt vorgegangen werden: Zuerst werden die Proben kernweise im Abschnitt 6.6.2 besprochen, dann abschnittsweise mit den benachbarten Kernen (Abschnitt 6.6.3) und abschließend im Abschnitt 6.6.4 die gesamten Proben bezogen auf den Kanalverlauf. Die Genauigkeit der Werte ist für die Aufgabe ausreichend. Aufgrund der Projektion kommt es zu minimalen Verzerrungen der wirklichen Koordinaten (Aitchinson-Analyse), da hier aber nur der grobe Verlauf betrachtet werden soll, können diese Verzerrungen vernachlässigt werden.

### 6.6.2 Beschreibung der einzelnen Kerne

Begonnen wird mit Kern 246-1. Er liegt in Abschnitt *gc1-1*, der sich am unteren Ende des Gollum-Channels befindet.

#### 246-1 (*gc1-1*)

Die einzelnen Proben des Kerns 246-1 können alle als *toniger Silt* klassifiziert werden. Das bedeutet, dass der Silt-Anteil mit etwas unter 60 Prozent höher als der Ton-Anteil (etwa 40%) ist. Der Sand-Anteil liegt bei etwa fünf Prozent. In der Graphik können deutlich drei Ausreißer erkannt werden. Diese Proben liegen im Tiefenbereich von 15 - 20 cm. Das Verhältnis Ton-Silt entspricht dem der Anhäufung. Nur der Sand-Anteil liegt deutlich höher, nämlich zwischen 10 und 15 Prozent.

#### 245-1 (*gc1-1*)

Die Proben des Kerns 245-1 können ebenfalls als *toniger Silt* klassifiziert werden. Das Verhältnis Silt-Ton liegt bei etwa 60 zu 35; der Sand-Anteil ist etwas kleiner als fünf Prozent. Allein die Probe 210 (lfd. Nr.) aus 25 cm-Kerntiefe fällt aus dem Rahmen. Hier weicht die Sand-Silt-Ton-Verteilung deutlich ab: 20 % Sand, 50 % Silt und 30 % Ton und kann somit als *Sand-Silt-Ton* bezeichnet werden. Ob es sich um eine Fehlmessung oder um die oberste Probe einer neuen Sedimentschicht handelt, kann nachträglich nicht mehr geprüft werden.

#### 247-1 (*gc1-2*)

Der Schwerpunkt des Kerns PS64/247-1 liegt beim *tonigen Silt*. Bis in eine Tiefe von 20 cm liegt das Verhältnis Sand-Silt-Ton bei ungefähr 15 zu 60 zu 25 Prozent, wobei für Sand eine leicht zunehmende, für Silt eine abnehmende und für Ton eine konstante Tendenz zu erkennen ist. Beim Silt ist im oberen Bereich des Kerns ein Anstieg von 62 % auf 65 % zu verzeichnen, an gleicher Stelle sinkt der Tonanteil von 31 % auf 24 %. Der Bereich zwischen 21 cm und 28 cm fällt durch eine vom Durchschnitt abgesetzte Einstufung auf. Drei der vier Ausreißer sind als *Sand-Silt-Tone* zu klassifizieren, die Probe 245 in 25 cm Tiefe gar als *siltiger Sand*.

#### **244-1 (gc1-2)**

Der Großteil der Proben des Kerns 244-1 liegt im Feld des *tonigen Silts*. Als Schwerpunkt kann das Verhältnis 18 zu 57 zu 25 angegeben werden. Lediglich zwei Proben im Bereich zwischen 19 und 22 cm können als *Sand-Silt-Ton* bzw. als *sandiger Silt* klassifiziert werden.

#### **248-1 (gc1-2)**

Die Proben des Kerns 248-1 verteilen sich über die Einstufungen *toniger Silt*, *Sand-Silt-Ton* und *sandiger Silt*. Der errechnete Schwerpunkt liegt im Bereich *Sand-Silt-Ton* bei 25 zu 53 zu 22 Prozent. Die oberen drei Zentimeter haben den höchsten Silt-Anteil (etwa 60 %), eine Schicht zwischen 13 cm und 16 cm den höchsten Sand-Anteil (34 - 38 %). Im Vergleich zu anderen Proben entsteht hier erstmals der Eindruck einer in die Länge gezogenen Verteilung.

#### **243-1 (gc1-3)**

Der Schwerpunkt des Kerns PS64/243-1 liegt beim *siltigen Sand* (65 zu 25 zu 10). Es ist eine gestreckte Verteilung zu erkennen, die besonders durch die oberen beiden Zentimeter hervorgehoben wird. Die oberste Probe muß als *sandiger Silt* klassifiziert werden, der zweite Zentimeter schon als *siltiger Sand*.

#### **249-1 (gc1-3)**

Die Proben des Kerns 249-1 verteilen sich über die Klassifizierungen *siltiger Sand*, *sandiger Silt* bis zum *tonigen Silt*. Ausreißer sind nicht erkennbar, den Schwerpunkt kann man im Grenzbereich von *siltiger Sand* und *sandiger Silt* ansiedeln. Der obere Bereich des Kerns (0 - 3 cm) liegt im *sandigen Silt* an der Grenze zum *tonigen Silt* und verschiebt sich bis zum unteren Ende des Kerns in den Bereich des *siltigen Sands*.

#### **242-1 (gc1-4)**

Der Kern PS64/242-1 liegt ausschließlich im Bereich des *siltigen Sands*. Schwerpunkt ist das Verhältnis 68 zu 25 zu 7. Außerhalb der Messreihe liegen die Probe 150 (0 - 1 cm), ihr Sand-Silt-Ton-Verhältnis beträgt 51 zu 37 zu 12, und die Probe 151 (1 - 2 cm) mit dem Verhältnis 60 zu 30 zu 10.

### **6.6.3 Abschnittsweise Betrachtung**

Abschnitt *gc1-1*:

Bei den Proben 246-1 und 245-1 des Kanalabschnittes *gc1-1* kann eine Häufung der Korngrößen beim Verhältnis 5 zu 60 zu 35 ausgemacht werden. Abgesehen von einer optisch deutlich als Ausreißer zu erkennenden Probe (210, 25 cm - 26 cm) liegen alle Werte im Bereich des *tonigen Silts*.

Abschnitt *gc1-2*:

Die Proben der Kerne 247-1, 244-1 und 248-1 verteilen sich über die Einstufungen *toniger Silt*, *Sand-Silt-Ton* bis zum *sandigen Silt* und *siltigen Sand*. Hier ist eine

deutliche Streckung zu erkennen, d.h. der Sandgehalt nimmt in Richtung oberer Kanalabschnitte zu. Der Schwerpunkt ist dennoch klar im Bereich des *tonigen Silts* festzumachen

Abschnitt *gc1-3*:

Auffallend ist die langgestreckte Verteilung der einzelnen Proben des Abschnittes *gc1-3*. Die Proben des Kerns 243-1 schließen direkt an die des Kerns 249-1 an und erreichen dadurch eine Ausbreitung, die sich über die beiden Klassifizierungsstufen *sandiger Silt* und *siltiger Sand* erstreckt.

Abschnitt *gc1-4*:

Die Proben des Kerns 242-1 liegen ausschließlich im Bereich *siltiger Sand*. Der Abschnitt *gc1-4* fällt durch den hohen Sandanteil in den Proben auf. Sie bestehen, die oberste Probe ausgenommen, durchweg aus über 60 % Sand.

#### 6.6.4 Gesamtbeurteilung des Diagramms

Anhand der Probenverteilung ist der Verlauf des Kanals deutlich zu erkennen. Die Proben verteilen sich entlang einer Kurve vom *siltigen Sand* über *sandigen Silt* bis zum *tonigen Silt* (vom oberen zum unteren Ende des Kanalverlaufes). Der hohe Sandanteil (in der Probe 242-1, oberes Kanalende) nimmt kontinuierlich zum unteren Ende des Kanals ab. Die Werte reichen von 70 % bis hinunter zu 2 %. Die Silt-Anteile bewegen sich zwischen 20 % und 70 %, die des Tons zwischen 5 % und 45 % (Näherungswerte). Auffallend ist eine Häufung der Meßwerte in den Bereichen *siltiger Sand* und *toniger Silt*. Sie bilden sozusagen die zwei Zentren der Korngrößenverteilung, wobei das Größere beim *tonigen Silt* liegt. Natürlich muß dabei beachtet werden, dass fünf der acht Proben in der unteren Hälfte entnommen wurden. Teilt man das Diagramm in zwei Bereiche, nämlich in einen Bereich höherer Sandanteile (*siltiger Sand* und *sandiger Silt*) und in einen Bereich *Sand-Silt-Ton* und *toniger Silt*, so erkennt man eine Probenverteilung von 2/3 zu 1/3 zu Gunsten der ton- und silthaltigen Proben. Dieses Ergebnis wiederum entspricht auch schon eher der Verteilung der Probenentnahmestellen im Kanalverlauf.

# 7 Bearbeitung der Rückstreudaten

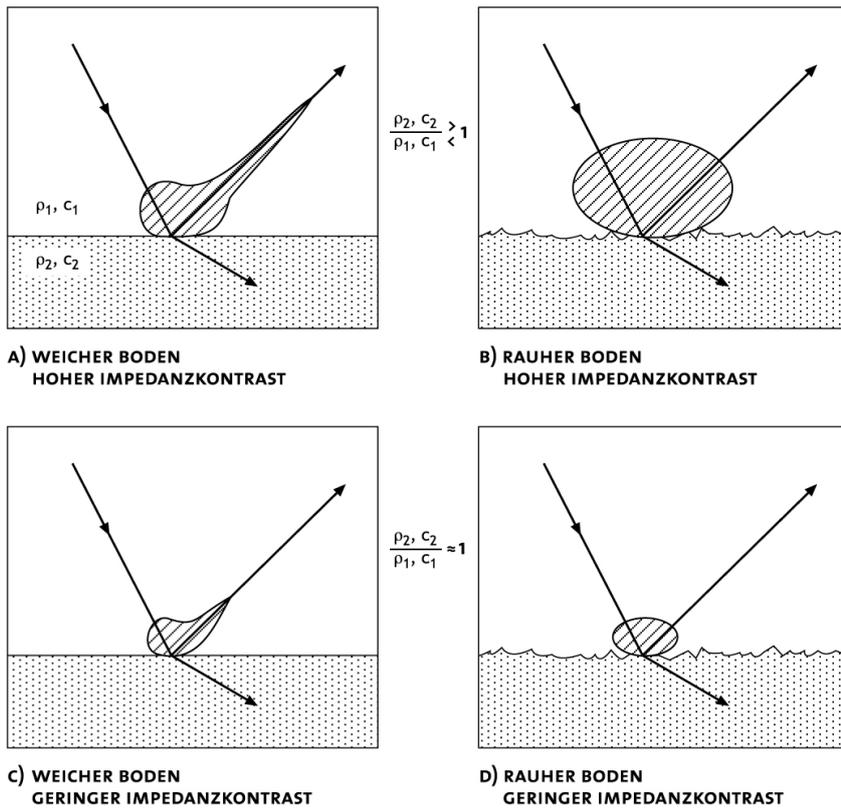
## 7.1 Grundlagen der Rückstreuung

Die Reflexionseigenschaft des Meeresbodens läßt sich durch das Rückstreumaß beschreiben. Aus den Berechnungen des Rückstreumaßes lassen sich dann Aussagen über die Bodeneigenschaften machen, die verantwortlich für die Größe und Art der Rückstreuung sind.

Das vom Boden zurückgestreute Signal wird über den als Empfänger geschalteten Wandler empfangen. Der HYDROSWEEEP-Beamformer errechnet 59 PFB (*preformed beams*) aus den verstärkten Empfangssignalen des Empfangswandlers. Im Anschluß an die Richtungsbildung werden die Signale zur Verbesserung des Signal-Stör-Verhältnisses gefiltert und stehen als digitalisierte Hüllkurvensignale zur weiteren Signalauswertung zur Verfügung. Für jeden einzelnen PFB wird die Tiefe und der Effektivwert des Echos berechnet. Die Intensität des rückgestreuten Echos läßt sich durch Summenbildung über den zeitlichen Verlauf der Empfangshüllkurve berechnen. Das Auswertefenster entspricht dem Zeitintervall zwischen den -6 dB Punkten relativ zum gemessenen Maximum der Empfangsspannung. Da alle Anlagenparameter wie Operation/Transmission Mode, Sendeintensität, Schalllaufzeit, mittlere Schallgeschwindigkeit, Tiefe usw. bekannt sind, kann das Bodenrückstreumaß des beschallten Bodenelements aus dem Empfangsecho abgeleitet werden. Diese Größe ist eine physikalische Eigenschaft des Sediments. Sie ist u.a. von den folgenden Parametern abhängig:

- Einfallswinkel des Schalls auf dem Boden relativ zur Normalen  $n$  auf dem Boden
- Rauigkeit des Bodens
- akustische Impedanz des Bodens

(siehe Abb. 7.1) (zitiert aus (Atlas-Elektronik, 1993))



**Abbildung 7.1:** Abhängigkeit der Rückstreuung von Oberflächenbeschaffenheit und Impedanzkontrast

Das Rückstreumaß  $S$  (*backscatter-strength*) ist der Rückstreuegrad ausgedrückt in Dezibel und definiert als der Logarithmus von rückgestreuter zu einfallender Intensität bezogen auf den Meeresboden. Bezug ist eine Einheitsfläche von  $1 \text{ m}^2$ , gemessen in einem Abstand von  $1 \text{ m}$ .

$$S = 10 \log \frac{I_{SC}}{I_{INC}} \quad (7.1.1)$$

mit  $I_{SC}$  = rückgestreute Schallintensität von einer Einheitsfläche von  $1 \text{ m}^2$  gemessen im Abstand von  $1 \text{ m}$ ,  $I_{INC}$  = Schallintensität, die in die Einheitsfläche einfällt.

Die Bestimmung der Meeresbodenparameter wie das Bodenrückstreumaß kann anhand des Amplitudenverlaufs der Echos erfolgen. Die dazu zusätzlich erforderlichen Parameter wie effektiver Signalpegel und Anlagenparameter zur Zeit der Signalmessung liegen als Aufzeichnung während des Empfangsmoments vor.

Abhängig vom Orientierungswinkel des Schallstrahles sowie der ortsabhängigen Bodenneigung ergibt sich für jeden Schallstrahl eine andere Meßfläche (*footprint*), die rechnerisch berücksichtigt werden muß.

Im Meßvorgang wird ein Schallimpuls der Dauer  $t$  mit dem maximalen Schalldruckpegel  $p_0$  ausgesandt. Die vom beschallten Meeresboden rückgestreute akustische Energie wird vom Empfänger innerhalb des Raumwinkелеlementes ( $2\alpha \cdot 2\delta$ ) erfaßt (siehe auch Abb. 4.2). In einer einfachen Näherung, unter der Annahme ebener Wellen und einer schwachen Rückstreuung, kann die am Empfänger erfaßte rückgestreute Energie formuliert werden als:

a) Intensität ebener Wellen

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (7.1.2)$$

b) Energie ebener Wellen

$$W = \int dt \int dA \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (7.1.3)$$

c) Energie am Empfängerort

$$W_{RCV} = \int dt \int dA \frac{p_{RCV}^2}{\rho \cdot c} \quad (7.1.4)$$

mit  $p_{RCV}$  = Empfangsschalldruck am Ort des Empfängers,  $\rho$  = Dichte in  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $c$  = Schallgeschwindigkeit in  $[\text{m}/\text{s}]$ .

Der am Empfängerort auftretende momentane Empfangsschalldruck läßt sich unter der Annahme sphärischer Wellenausbreitung formulieren als Funktion des am Meeresboden im Referenzabstand  $1 \text{ m}$  auftretende Streufeldschalldruck  $p_{sc}$ . Unter

Einbeziehung des Referenzabstandes 1 m wird die Entfernung  $r$  dimensionslos (rel. 1m).

Somit gilt für die Empfangsschallenergie am Ort des Empfängers für eine ebene Welle mit dem Schalldruck  $p_{RCV}$

$$W_{RCV} = \int dt \int dA \frac{p_{sc}^2}{\rho \cdot c} \cdot \left(\frac{1}{r_2}\right)^2 \quad (7.1.5)$$

mit  $\rho =$  Dichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $r_2 =$  Entfernung zw. Empfangswandler und Boden [].

Der Rückstreukoeffizient ist abhängig von dem Einfallswinkel, der gegen die lokale Flächennormale bestimmt wird, d.h. die lokale Meeresbodentopographie muß bei allen Kalibrierungen zur Berechnung des wahren Einfallswinkels berücksichtigt werden. Da die Abweichung der lokalen Flächennormalen gegen die Schwerkraftnormale erst durch zwei Winkel (längs und quer zur Fahrtrichtung) eindeutig bestimmt ist, muß das lokale Untersuchungsgebiet zunächst vollständig vom Fächerecholot überlaufen worden sein, um dann aus dem vorliegenden bathymetrischen Datensatz die Flächenneigung bestimmen zu können (Atlas-Elektronik, 1993).

Der Reflexionsgrad ausgedrückt mit Dichte  $\rho$ , Schallgeschwindigkeit  $\alpha$  und Einfallswinkel  $\theta$  lautet:

$$R = \frac{\rho_1 \alpha_1 \cos \theta - \rho \alpha \cos \theta_1}{\rho_1 \alpha_1 \cos \theta + \rho \alpha \cos \theta_1} \quad (7.1.6)$$

bzw. ausgedrückt mit der Impedanz  $Z = \frac{\alpha \rho}{\cos \theta}$  ergibt sich für den Rückstreugrad:

$$R = \frac{(Z_1/Z) \cos \theta - 1}{(Z_1/Z) \cos \theta + 1} \quad (7.1.7)$$

## 7.2 Bearbeitungsablauf

Bei der Fächerlotmessung werden sämtliche Meßwerte in eine Dux-Datei<sup>1</sup> geschrieben. In diesem Dateiformat liegen zusätzlich zu der Position und der Zeit auch Amplitude und Laufzeit der einzelnen Beam-Echos vor. Die empfangenen Signale werden vorverstärkt, der Energieverlust, der während der Übertragung entsteht, mit Hilfe der zeitabhängigen Verstärkung (TVG = Time Varying Gain) berücksichtigt und um die Zeitverzögerung, die beim Senden entsteht, korrigiert<sup>2</sup>. Die

---

<sup>1</sup>Das Dux-Format ist ein von der Firma ATLAS entwickeltes Format von Echolotdaten.

<sup>2</sup>Die minimale Verzögerung entsteht durch das zeitversetzte Senden in drei Sendekeulen.

59 Strahlen werden in eine Effektivwechselspannung umgewandelt, wobei ein 6dB großes Fenster um jede Amplitudenspitze gelegt wird.

Mit der Software *NRGCOR* werden die Amplitudenwerte zu Rückstreuwerten umgerechnet. Die dazu benötigten Systemeinstellungen wie Pulslänge, Sendepiegel usw. sind im Dux-Format gespeichert und stehen so für die Berechnung zu Verfügung. Die elektrische Spannung wird in einen akustischen Pegel unter Verwendung der Eingangsspannung umgewandelt. Vereinfacht lässt sich sagen, dass das Echo im Wandler eine Spannung erzeugt, die die Echostärke widerspiegelt.

Der nächste Schritt der Software ist die geometrische Korrektur. Mit Hilfe der fächerweise aufgezeichneten bathymetrischen Daten wird die Geländeneigung und damit auch der wahre Einfallswinkel der PFBs berechnet.

Der dritte wichtige Schritt ist die Berechnung der Fläche, die von jedem der 59 PFBs beschallt wird.

Damit aus den Rückstreuwerten eine Karte erstellt werden kann, muß die Winkelabhängigkeit entfernt werden. Ziel der Normierung ist es so zu tun, als ob alle PFBs senkrecht auf die Meeresbodenoberfläche aufgetroffen wären, wie es der Centerbeam bei idealisierter Oberfläche tun würde. Da dieser Rechenschritt in der Atlas-Software nicht vorgesehen ist, geschieht dies extern unter Berücksichtigung eines zuvor berechneten Geländemodells des Untersuchungsgebietes. Anschließend wird aus diesen normierten Messwerten ein 50m-Grid berechnet. Daten im Umkreis von 75 m eines jeden Gridpunktes werden benutzt, um einen Zellenpunkt zu berechnen. Diese Einstellung entspricht der größten Fläche eines *footprints* im Kanal. Danach kann die Rückstreu-Grauwertskala als Klassifizierungswerkzeug der lokalen Meeresbodenänderung benutzt werden (Beyer *et al.*, 2002).

## 7.3 Gegenüberstellung der Messprofile ANT-XVII/4 und ARK-XIX/3

In diesem Kapitel sollen die Messprofile der beiden Expeditionen ANT-XVII/4 und ARK-XIX/3 gegenübergestellt werden. Beide Fahrten unterscheiden sich vor allem in der Aufzeichnungsrichtung (relative Lage zum Kanalverlauf) und in der Überdeckung (Überlappung der äußeren Beams).

### 7.3.1 ANT-XVII/4

Ziel der Expedition war eine Vermessung von Karbonathügeln am Kontinentalrand im Rahmen des europäischen GEOMOUND-Projektes. Um eine gleichmäßige

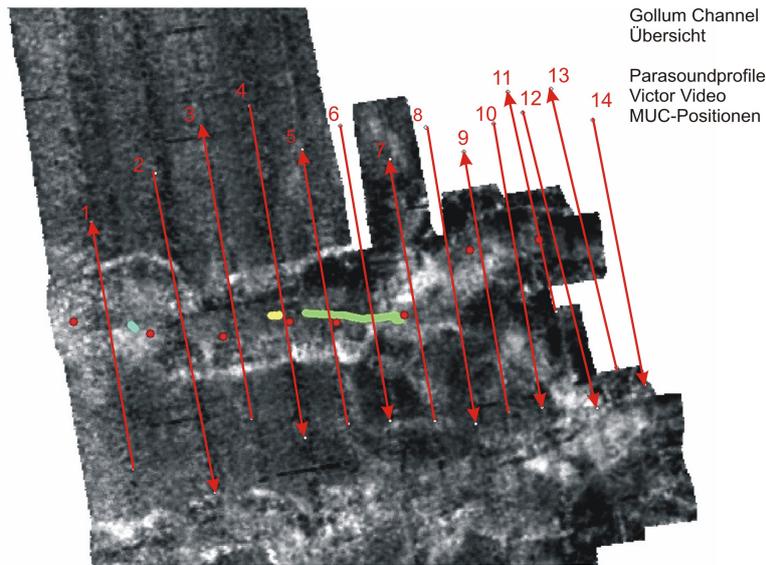


Abbildung 7.2: Messablauf ANT-XVII

Überdeckung am Hang zu gewährleisten, wurden die Messprofile hangparallel angelegt. Da der Öffnungswinkel konstant  $90^\circ$  beträgt, ändert sich die Fächerbreite mit der Tiefe. Mit einer Messung parallel zum Hang wurde sichergestellt, dass sich die Fächerbreiten je Profil gleichmäßig vergrößern, was nicht der Fall ist, wenn orthogonal zum Hang gemessen worden wäre.

Die Messung der ANT-XVII-Expedition erfolgte in 14 Profilen quer zum Kanal (Abb. 7.2). Das bedeutet, dass die Fächerausrichtung längs des Kanals lag, also jeder Fächer entweder nur den ganzen Hang oder nur den Boden des Canyons abdeckte. Durch die relativ eng beieinanderliegenden Profile ist eine Mehrfachüberdeckung gewährleistet. Damit ist sichergestellt, dass jeder Bodenpunkt von verschiedenen Richtungen aus beschallt wird, also von gleich vielen Backbord- und Steuerbord-PFBs des Echolotes getroffen wird.

### 7.3.2 ARK-XIX/3

Ein Teilziel der Expedition war die bathymetrische Gebietserweiterung im Bereich des Gollum Channels. So wurde mit einem hangparallelen Profil die Messungen der ANT-XVII/4-Expedition nach Westen erweitert. Des Weiteren sollten Sedimentproben für eine Analyse der Rückstreuungen entnommen werden und mit einer zweiten Messung der Rückstreuung eine Validierung der Rückstreuwerte der ANT-XVII/4-Expedition erfolgen.

Die Aufzeichnungen während der ARK-XIX/3 Expedition erfolgten zwei Messprofilen entlang des Gollum Channels (siehe Abb. 7.3) bzw. während der kurzen

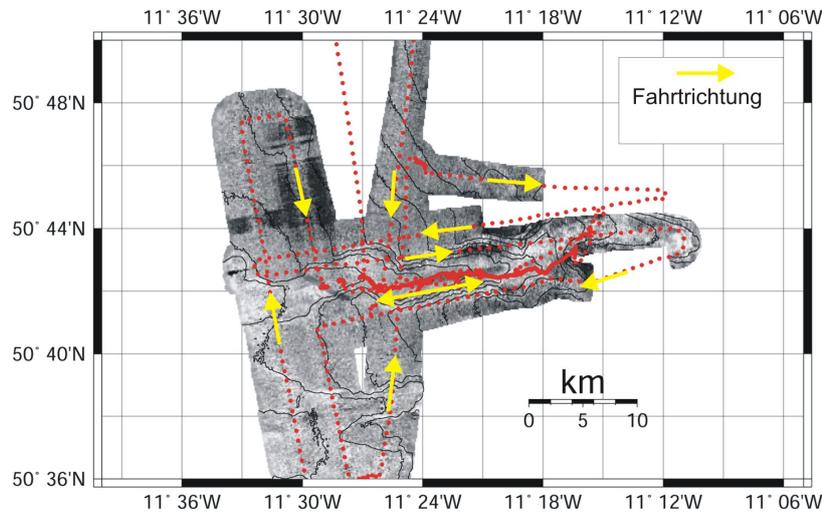


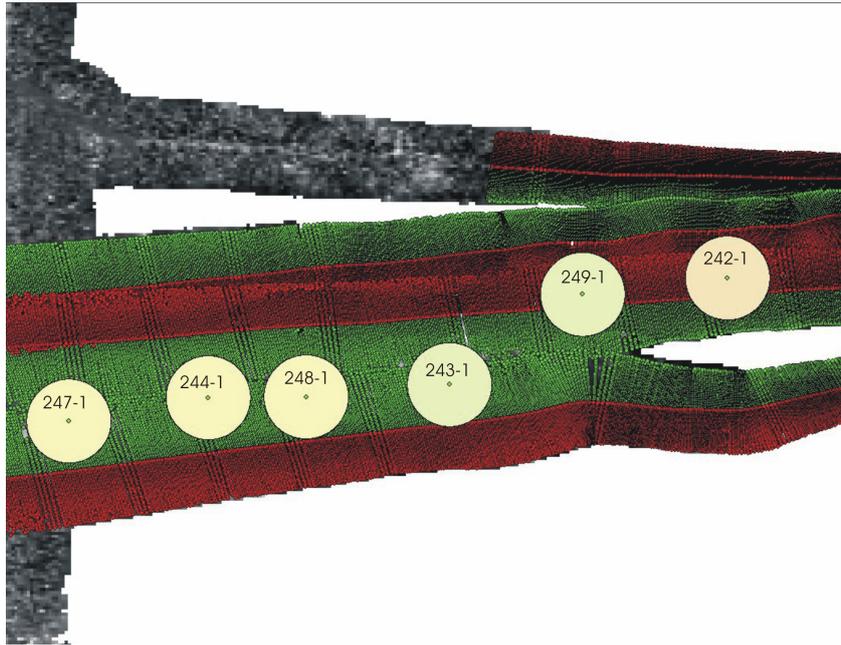
Abbildung 7.3: Messablauf ARK-XIX

Fahrtabschnitte zwischen den einzelnen Beprobungsstationen. Das hatte zur Folge, dass im Gegensatz zur ANT-XVII-Expedition nicht nur der Kanal, sondern auch die Kanalwände abgedeckt wurden. Eine größere Überlappung der Profile kam zumindest im mittleren Kanalabschnitt nicht zustande. Vielmehr ist es so, dass in Bereichen einiger MUC-Positionen nur die äußersten Beams des Steuerbordfächers liegen (vgl. Abbildung 7.4). Gerade die äußeren Beams weisen in den Rückstreuwerten eine hohe Streuung auf, die auf den extrem flachen Einfallswinkel<sup>3</sup> zurückzuführen sind.

## 7.4 Einlesen in ArcMap und anschließende Bearbeitung mit GMT

Das Dux-Format wird nach Bearbeitung mit der Software *XMBScat* um die Rückstreuwerte und den zugehörigen Einfallswinkel ergänzt. Mit dem am AWI entwickelten Programm *dux2data* können die gewünschten Informationen ausgelesen und gespeichert werden. Üblicherweise sind dies Position, Beamnummer, Rückstreuwert und Winkel. Diese Daten können als Textdatei in ArcMap eingelesen werden.

<sup>3</sup>Einfallswinkel (zum Lot): Der Centerbeam hat einen kleinen Einfallswinkel, die Außenbeams haben einen großen Einfallswinkel.



**Abbildung 7.4:** ARK-XIX-Messung aufgeteilt in Backbord (rot)- und Steuerbordbeams(grün); 1000 m-Zonen um Multicorerstationen

### 7.4.1 Kurzbeschreibung der verwendeten Programme

Für ein besseres Verständnis soll in diesem Abschnitt kurz auf die zwei wichtigsten Programme für die weitere Verarbeitung der Daten eingegangen werden. Da sie lediglich Hilfsmittel und nicht Mittelpunkt der Arbeit sind, wird auf eine tiefgehende Erklärung verzichtet und auf die frei verfügbare Fachliteratur verwiesen.

#### ArcMap

ArcMap ist ein Modul des Geoinformationssystems ArcGis der Firma ESRI. ArcMap ist speziell für die Darstellung von raumbezogenen Daten entwickelt worden. Es lassen sich Grids berechnen und in verschiedenen Variationen darstellen. Es können beliebige Informationen ausgelesen und spezielle Abfragen durchgeführt werden. Wie alle Geoinformationssysteme (GIS) bietet es den entscheidenden Vorteil, Koordinaten und Grids mit verschiedenem Datum (Geographisch, UTM, Gauß-Krüger u.a.) gemeinsam darzustellen.

ArcMap wurde in dieser Arbeit dazu verwendet, Rückstreuinformationen zu visualisieren und ausgewählte Informationen als *attribute tables* auszugeben. Besonders die *clip*-Funktion wurde in Anspruch genommen (siehe Kapitel 7.4.2).

## GMT - Generic Mapping Tool

GMT wurde an der *School of Ocean and Earth Science and Technology* der Universität von Hawai'i entwickelt. Mit Hilfe dieses Programmes sollten geophysikalische Daten leichter und besser bearbeitet und dargestellt werden können. GMT wurde für die Verwendung auf *UNIX*-Workstations programmiert und ist daher eine befehlszeilenorientierte Software. Das Prinzip der Programmierung soll mit einem Befehl zur Erstellung eines Kartenrahmens mit Netzgitter erläutert werden:

```
psbasemap -R-20:00/30:00/77:00/83:00 -Jm2 -Ba2g1/a0.5g0.25 -K -O » $OUT
```

*psbasemap* ist der GMT-Befehl für die Erstellung eines Kartenrahmens, *-R* sind die Kartengrenzen, in diesem Fall von 20°W bis 30°O und 77°S bis 83°. *-Jm* legt eine Mercator-Projektion fest und in *-B* sind die Optionen für die Netzgitter und Beschriftung festgelegt; *a* steht für die Beschriftung, *g* für die Gridgröße. *-K* und *-O* besagen, dass noch weitere Befehle folgen. Mit *\$OUT* legt man die Ausgabedatei fest. Das Ausgabeformat ist üblicherweise das *postscript*-Format.

Da die Daten nur in XY- bzw. XYZ-Koordinaten vorliegen müssen, eignet sich GMT für eine schnelle Visualisierung der Daten als Diagramm, Karte oder 3D-Geländemodell.

Im Anhang C finden sich einige für diese Arbeit geschriebene GMT-Skripte.

### 7.4.2 Extrahierung der Werte mittels *clip*-Funktion

Im einem ersten Vergleich der Rückstreuwerte beider Expeditionen fällt auf, dass die in den Daten der Expedition ANT-XVII deutlich erkennbaren Unterschiede in den vier Sektoren im Datensatz der ARK-XIX-Expedition nicht so klar zum Vorschein kommen. Um für die Abweichungen eine Erklärung zu finden, sollen in diesem Abschnitt die Rückstreuwerte beider Expeditionen näher untersucht werden. Um vergleichbare Messwerte zu erhalten, wurden zwei Auswahlverfahren gewählt. Zum Einen sollen die Rückstreuwerte abschnittsweise (*gc1-1* - *gc1-4*), zum Anderen die Multicorerstationen miteinander verglichen werden.

Um die Messwerte abschnittsweise vergleichen zu können, wurden die vier identifizierten Kanalabschnitte als Polygonfläche festgelegt und als Shape-File gespeichert. Für das zweite Verfahren wurde um jede MUC-Station eine 1000 m große Pufferzone gelegt. Die Zonen waren nötig, weil sonst aufgrund der Tiefe und der Auflösung des Fächerlotes nicht genügend Messwerte vorliegen würden. Außerdem wurden die Pufferzonen so gewählt, dass sie noch innerhalb des Kanalbodens liegen.

Mit dem Verschneiden entstehen neue Shape-Files, deren Attribut-Tabellen ausgelesen werden können. Die für die Diagramme notwendigen Daten, Winkel und Rückstreuwerte, werden in eine Textdatei geschrieben und mit GMT dargestellt.

## 7.5 Histogramm

Der Kanal wurde in den Expeditionen ANT-XVII und ARK-XIX in verschiedenen Richtungen überfahren, während der Expedition ANT-XVII in Querrichtung und während der Expedition ARK-XIX in Längsrichtung. Da im Gegensatz zur ANT-XVII-Messung nur zwei parallele Profile im oberen und drei im mittleren Bereich des Kanals liegen, ist eine gleichmäßige Überdeckung nicht gewährleistet. Das hat zur Folge, dass in den vier Sektoren und in den acht Pufferzonen um die Multicorer-Stationen die Verteilung der Beam-Nummern unterschiedlich ist. Während in den Sektoren der ANT-Expedition meist ein ausgeglichenes Vorkommen aller Beams festzustellen ist, überwiegen in den Messungen der ARK-Expedition je nach Lage im Kanal entweder die Backbord- oder Steuerbordbeams (Abb. 7.5).

Die Messung der Tiefen erfolgt durch eine Aufteilung der Echos in 59 PFBs (Vergleiche Kapitel Meßsysteme). Die Beams werden von Backbord nach Steuerbord von 1 bis 59 durchnummeriert, Beams mit den Zahlenwerten 1 - 29 liegen an Backbord, die Beams mit den Nummern 30 - 59 an Steuerbord-Seite<sup>4</sup> des Fächers.

Um die Verteilung der Beams besser vergleichen zu können, wurden aus den Dux-Datensätzen die Beamnummern in eine Datei ausgelesen und in GMT graphisch mit dem Befehl *pshistogram* dargestellt.

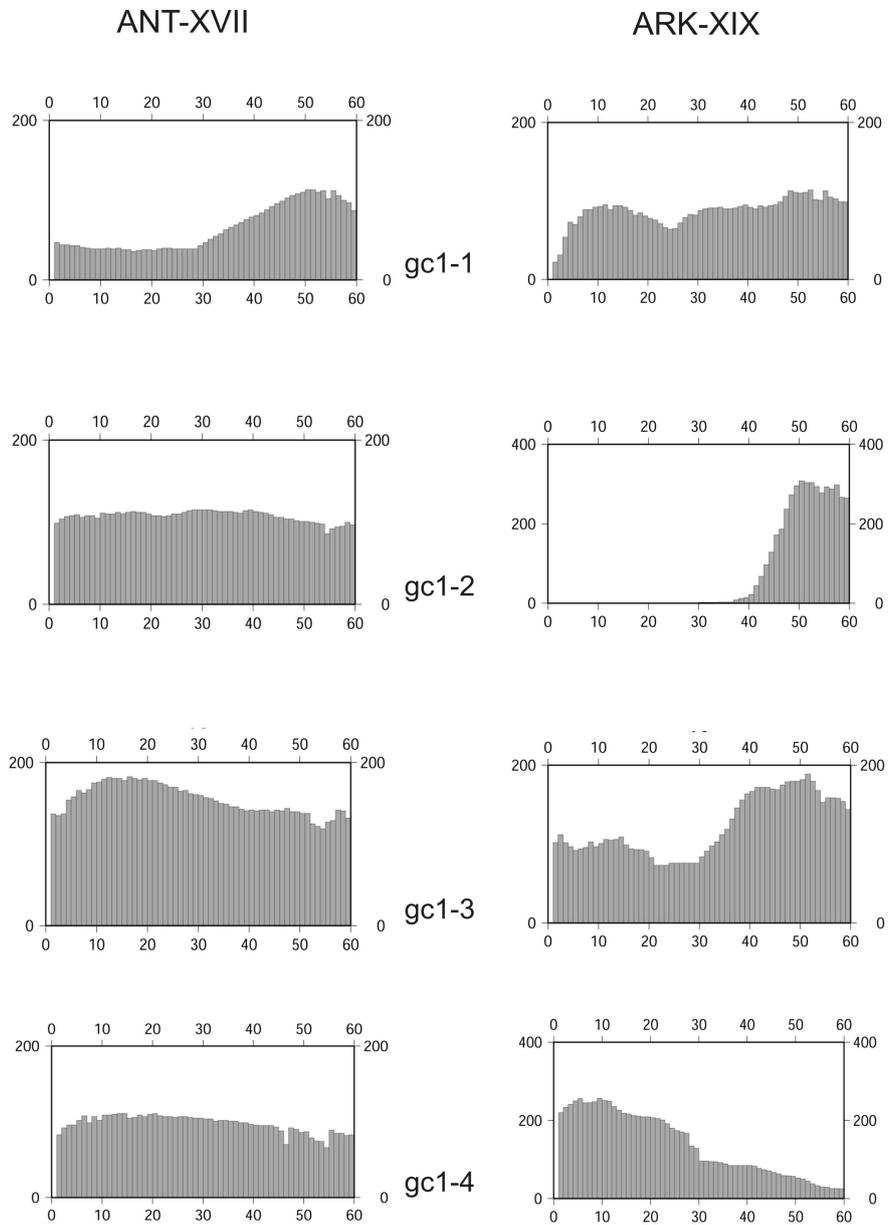
(Hinweis: in der Abb. 7.5 ist die Reihenfolge im Vergleich zu den anderen Gegenüberstellungen umgekehrt - der unterste Kanalabschnitt *gc1-1* steht an oberster Stelle.)

Vergleicht man die einzelnen Kanalabschnitte, so lässt sich Folgendes festhalten: in einem Kanalabschnitt trifft jeder Beam durchschnittlich 100 mal ein. Die Messungen der Expedition ANT-XVII verteilen sich gleichmäßig auf die vier Sektoren. Lediglich im Kanalabschnitt *gc1-1* überwiegen die Steuerbord-Beams. Der Grund dafür ist die Lage des Sektors im Kanal und die Anzahl der Profile. Die Messungen des Profils 01 liegen vollständig im Kanalabschnitt *gc1-1*, vom Profil 02 lediglich die Messungen der Steuerbordseite.

Anders sieht es dagegen mit den Messergebnissen der Expedition ARK-XIX aus. Hier weisen drei der vier Kanalabschnitte eine ungleichmäßige Beamverteilung auf.

---

<sup>4</sup>Die Beamnummern werden im Dux-Format vergeben, die Einteilung nach Backbord und Steuerbord orientiert sich an der Auswerte-Software CARIS HIPS/SIPS.



**Abbildung 7.5:** Histogramm-Vergleich der einzelnen Kanalabschnitte. Rechts-Achse: Beamnummer, Hoch-Achse: Anzahl der Messpunkte

Im obersten Kanalabschnitt *gc1-4* überwiegen die Backbordbeams, im zweiten Sektor verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Steuerbord. Der Abschnitt *gc1-3* stellt das Extrem dar. Hier treten ausschließlich Steuerbordbeams auf. Wie auch in der Abbildung 7.4 zu erkennen, laufen die Profile gegenläufig am Canyonrand entlang, so dass der Canyonboden nur von den Beams der Steuerbordseite abgedeckt wird. Im Sektor *gc1-1* liegt wieder eine gleichmäßige Verteilung vor.

## 7.6 Analyse und Vergleich ANT-XVII/4 & ARK-XIX/3

Für die Analyse wurden die in ArcMap ausgelesenen Rückstreuwerte mit GMT weiterverarbeitet. Da beispielsweise je Sektor bis zu 9120 gemessene Werte vorliegen können, wurden die Rückstreuwerte mit den zugehörigen Einfallswinkeln mit dem am AWI entwickelten Programm *binning* zusammengefasst und auf ganzzahlige Grade gerundet. Durch eine Zuordnung eines Rückstreuwertes je Grad Einfallswinkel wird der Datensatz übersichtlicher und bietet eine besserer Interpretationsgrundlage.

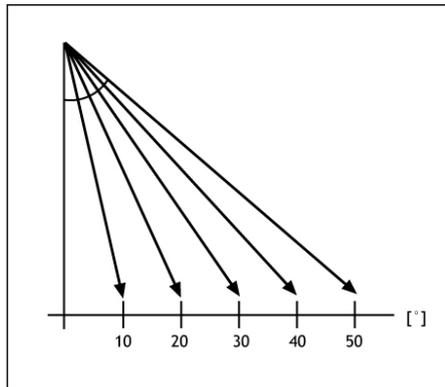
Aus diesen Werten lässt sich mit dem GMT-Befehl *trend1d* eine Trendlinie beliebigen Grades rechnen. Als Erstes wurde ein Polynom 1. Grades gewählt. Das Ergebnis ist eine ausgleichende Gerade, die die Einfallswinkelabhängigkeit der Rückstreuwerte beschreibt.

### 7.6.1 Allgemeine Beschreibung der Diagramme

Die Diagramme stellen den Zusammenhang zwischen der Rückstreuintensität und dem Einfallswinkel dar. Ausgehend von einem Öffnungswinkel des Fächerecholotes von  $90^\circ$  ergibt sich ein Messbereich von  $2 \cdot 0 - 45^\circ$  des Einfallswinkels bezogen auf die Flächennormale (Abb. 7.6). Die Diagramme sind wie folgt aufgebaut:

Auf der x-Achse sind die Winkel zwischen  $0^\circ$  (senkrechter Einfall) bis  $60^\circ$  (flacher Einfallswinkel) abgetragen. Der dargestellte Messbereich ist auf  $10 - 45^\circ$  beschränkt. Zwischen  $0 - 10^\circ$  sowie bei Einfallswinkeln größer  $45^\circ$  treten erhebliche Streuungen auf, im Messbereich  $> 45^\circ$  liegen außerdem nur wenige Messungen vor. Da bei einem beinahe senkrechten Einfall stets Rückstreuung auftritt, ist das Ergebnis nur bedingt aussagekräftig. Messungen größer  $45^\circ$  liegen außerhalb des eigentlichen Öffnungsbereiches des Fächerecholotes, das bei einem normalen Modus mit einem  $90^\circ$ -Fächer misst.

Auf der y-Achse sind die Rückstreuverluste in Dezibel abgetragen. Die Skala reicht von  $-30$  dB bis  $-50$  dB, in diesem Bereich liegen die gemessenen Rückstreuwerte.  $-30$  dB bedeuteten ein relativ geringen Verlust der Energie, also eine hohe



**Abbildung 7.6:** Einfallswinkel auf dem Meeresboden

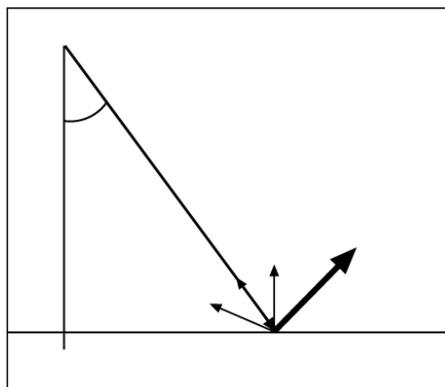
Rückstreuung. -60 dB bedeutet einen hohen Energieverlust, es wird nur eine schwache Rückstreuung gemessen.

Jedem Grad Einfallswinkel ist ein dB-Wert zugeordnet, der sich aus den bis zu über tausend einzelnen Rückstreuwerten je Messausschnitt mittels des Programmes *binning* errechnet wurde.

Die Trendlinien stellen das Verhältnis von Rückstreuung zum Einfallswinkel dar. Je flacher der Einfallswinkel ist ( $\approx 45^\circ$ ), desto geringer ist die Rückstreuung. Geht man erst einmal davon aus, dass die Rückstreuung allein von der Oberfläche abhängig ist, so gilt folgendes:

Je steiler die Neigung ( $-0,34 \text{ dB}/^\circ$ ), desto glatter ist der Oberfläche (Abb. 7.7).

Je flacher die Neigung ( $-0,18 \text{ dB}/^\circ$ ), desto rauher ist die Oberfläche, da bei großem Einfallswinkel verhältnismäßig viel zurückgestreut wird (Abb. 7.8).



**Abbildung 7.7:** Einfallswinkel und Rückstreuung bei ebenem Boden

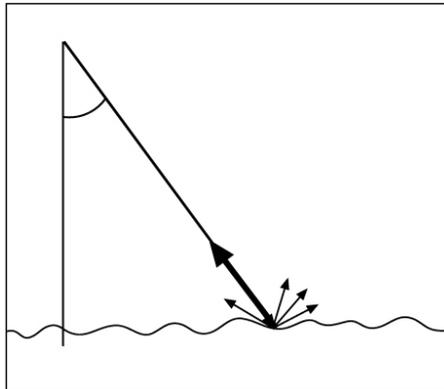


Abbildung 7.8: Einfallswinkel und Rückstreuung bei rauher Oberfläche

## 7.6.2 Beschreibung des systematischen Fehlers

Vergleicht man nun die Messwerte mit der Trendlinie (Abb. 7.9), so kann man zu dem Schluß kommen, dass die Werte in einer Cosinus-förmigen Kurve um die Gerade herum liegen. Eine solche Cosinus-Funktion könnte verschiedene Ursachen haben.

Zum einen liegt eine Verbindung mit der Berechnung der Meßwerte nahe. Wie auch in der Formel 7.1 zu sehen ist, enthält die allgemeine Formel zur Errechnung des Rückstreugrades eine Cosinus-Funktion. Zum Anderen wäre ein systematischer Fehler software-technischen Ursprungs in den Messungen nicht auszuschließen. Dieser Effekt ist bekannt aus unbereinigten bathymetrischen Messungen. Ihn könnte man als "Traktorspur" beschreiben.

Um diesen Effekt näher zu untersuchen, wurde statt eines Polynom 1. Grades ein Polynom 5. Grades berechnet. Damit kann eine Kurve erzeugt werden, die sich viel eher der Lage der Messwerte anpasst. Wie in der Abbildung 7.9 zu erkennen ist, weisen die Polynome aber keinen übereinstimmenden Verlauf aus.

Da das Programm GMT nur das Polynom berechnet und die zur graphischen Abbildung nötigen Koordinaten, nicht aber die entsprechende Funktion ausgibt, mußte ein anderer Weg gewählt werden. Um die Funktion zu erhalten, wurde ein am AWI entwickeltes Programm verwendet, das mit Hilfe der Matrizenrechnung die gewünschten Funktionen 5. Grades ausgibt. Eine solche Funktion 5. Grades lautet:

$$f(x) = a_0 \cdot x^0 + a_1 \cdot x^1 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4 + a_5 \cdot x^5 \quad (7.6.1)$$

Berechnet man alle vier Kanalabschnitte pro Expedition, so erhält man die in Tabelle 7.1 aufgeführten Ergebnisse.

Auch aus diesen Zahlenwerten ergibt sich kein übereinstimmendes Bild, wie es bei einem systematischen Fehler zu erwarten wäre.

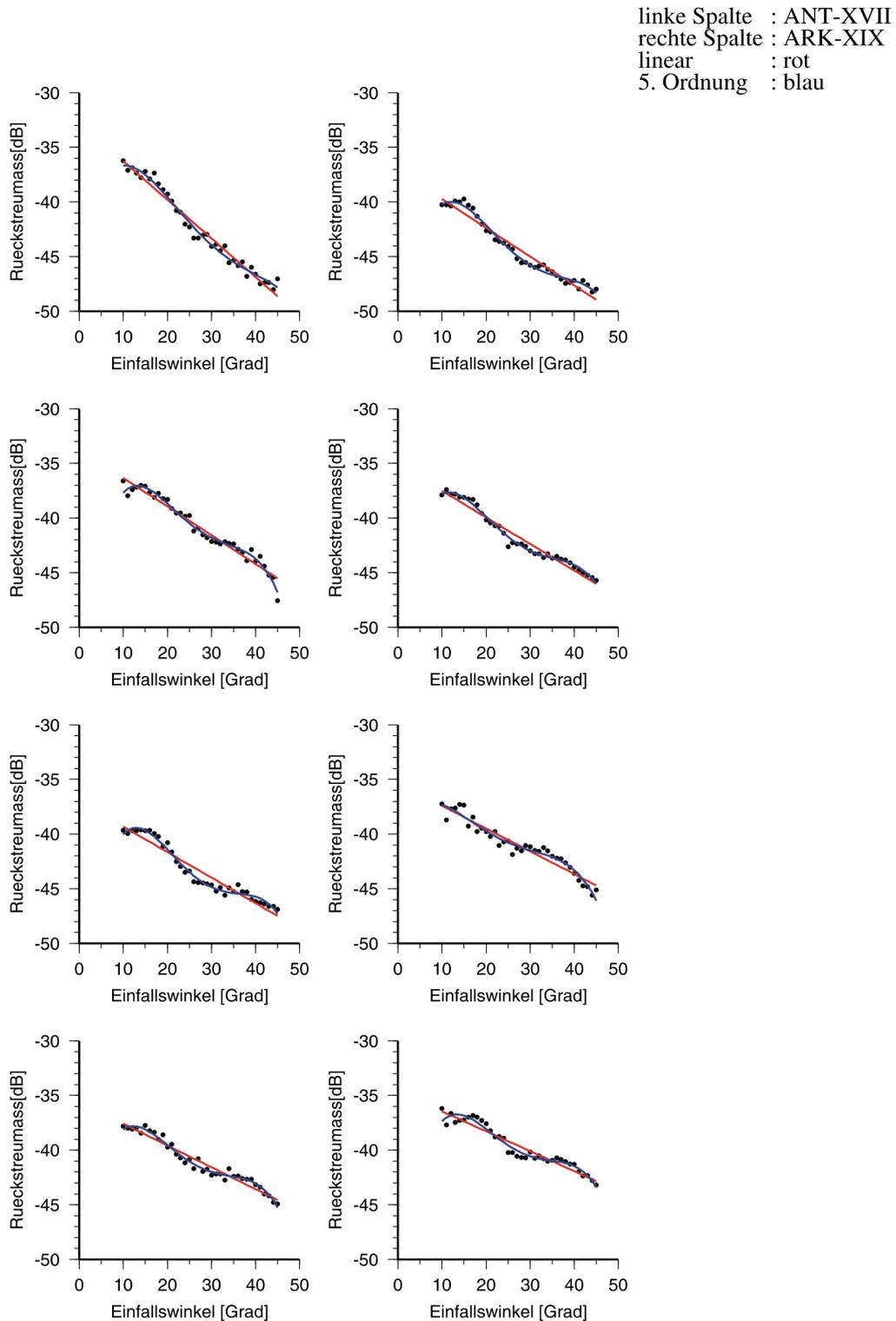


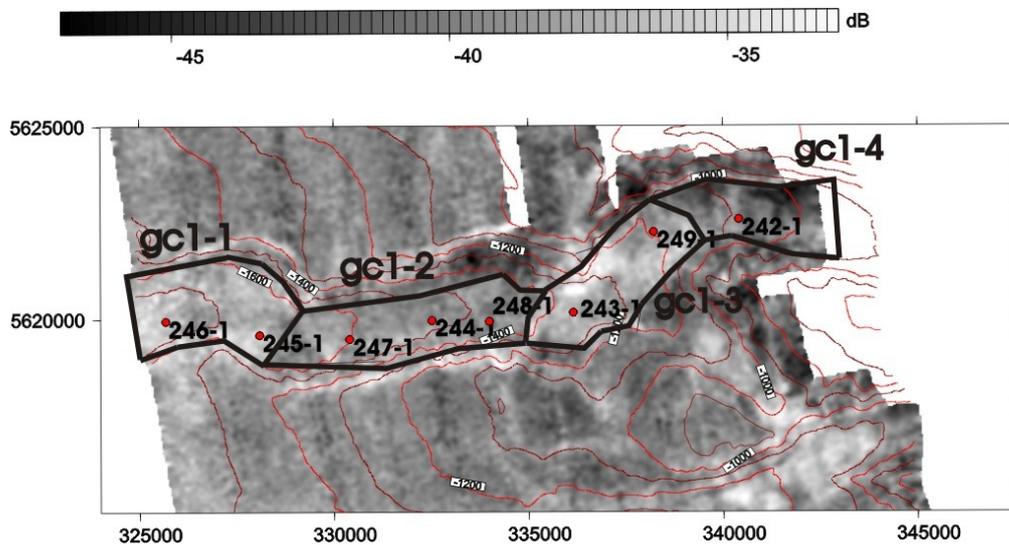
Abbildung 7.9: Vergleich der Kanalabschnitte mit einer Trendlinie 1. und 5. Grades

Expedition /Abschnitt	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
ANT, gc1-1						
ANT, gc1-2	-69,3158	+6,2676	-0,4647	+0,0150	-0,0002	+1,2219·10 <sup>-6</sup>
ANT, gc1-3	-60,6932	+5,1299	-0,4019	+0,0136	-0,0002	+1,2488·10 <sup>-6</sup>
ANT, gc1-4	-73,5808	+7,4232	-0,5886	+0,0209	-0,0004	+2,2872·10 <sup>-6</sup>
ARK, gc1-1	-40,3708	+0,3001	+0,0346	-0,0044	+0,0001	-1,3072·10 <sup>-6</sup>
ARK, gc1-2	-74,8956	+8,8741	-0,7682	+0,0301	-0,0006	+3,8124·10 <sup>-6</sup>
ARK, gc1-3	-30,1345	-2,1696	+0,2532	-0,0135	+0,0003	-2,6832·10 <sup>-6</sup>
ARK, gc1-4	-58,9183	+5,1326	-0,4190	+0,0149	-0,0003	+1,6951·10 <sup>-6</sup>

**Tabelle 7.1:** Abschnittsweise Gegenüberstellung der Funktion 5.Grades

Die Abweichungen von der ausgleichenden Geraden scheinen also eine andere Ursache zu haben. Eine schlüssige Erklärung für den Verlauf der Diagramme konnte in der kurzen, zur Verfügung stehenden Zeit nicht gefunden werden. Da die Cosinusförmige Abweichung verhältnismäßig gering ist, wird auf eine tiefergehende Berechnung und Analyse im Rahmen dieser Arbeit verzichtet und lediglich darauf hingewiesen.

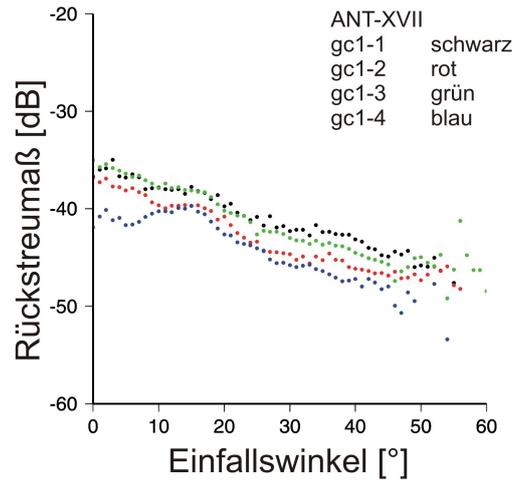
### 7.6.3 Vergleich der Kanalabschnitte



**Abbildung 7.10:** Gollum Channel gc1 mit Kanalabschnitt und Multicorerpositionen

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurden die vier Kanalabschnitte nach Expeditionen getrennt in je einem Diagramm zusammengefasst und zur besseren Unter-

scheidung in vier verschiedenen Farben dargestellt. Vom oberen Ende (*gc1-4*) zum unteren (*gc1-1*) in der farblichen Reihenfolge blau, grün, rot und schwarz. In der Darstellung der ANT-XVII-Expedition (Abb. 7.11) wie auch in der Darstellung der ARK-XIX-Expedition fallen besonders die Streuungen im Bereich  $> 45^\circ$  auf. Im Diagramm der ANT-XVII-Messungen liegen die Kurven der Abschnitte *gc1-1* und *gc1-3* über denen der Abschnitte *gc1-2* und *gc1-4*. Wie auch in der Abbildung 7.10 zu erkennen ist, sind dies die Bereiche höherer Rückstreuung.

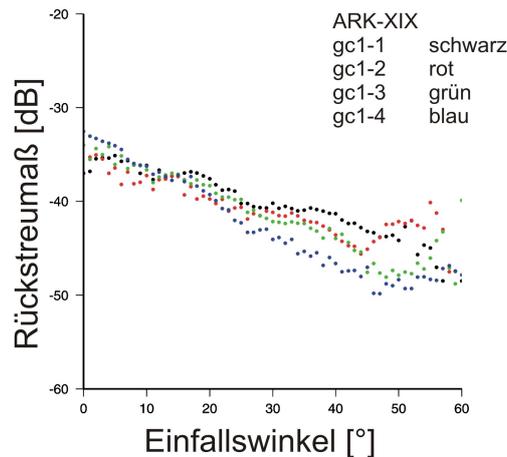


**Abbildung 7.11:** Vergleich der ANT-XVII-Rückstreuwerte der einzelnen Kanalabschnitte

Dagegen fällt bei dem Diagramm der Expedition ARK-XIX (Abb. 7.12) auf, dass zwar die berechneten Mittelwerte der Rückstreuungsmaße mit denen der Expedition ANT-XVII übereinstimmen, die Kurven aber nicht so verlaufen, wie es nach den Berechnungen zu erwarten gewesen wäre. Allgemein liegen die Kurven der ARK-XIX-Messungen dichter beieinander, an einigen Stellen sogar übereinander. Die Kurven von *gc1-1* (schwarz) und von *gc1-3* (grün) liegen aber nicht über denen der beiden anderen Abschnitte.

Für den weiteren Vergleich der Kanalabschnitte werden die Diagramme der Abbildung 7.13 herangezogen. In dieser Abbildung sind die Abschnitte untereinander angeordnet. Die beiden Expeditionen unterscheiden sich in den Symbolen der Messwerte (ANT : Punkte; ARK: Dreiecke) und in der Farbe der Trendlinie (ANT: rot; ARK: grün). Rechts der Diagramme sind für jeden Kanalabschnitt die relevanten Messwerte aufgeführt. *Mittel* ist der Durchschnittsrückstreuwert berechnet aus allen Messwerten; *slope* ist die Neigung der Trendlinie berechnet aus den Messwerten des dargestellten Bereiches (zwischen  $10$  und  $45^\circ$ ). *AnzBC* ist die Anzahl aller Rückstreuwerte, die mittels der *clip*-Funktion in ArcMap ausgelesen wurden.

Die Rückstreuwerte beider Expeditionen werden abschnittsweise miteinander verglichen. Der Einfluß der Beamnummer (Vgl. Kapitel 7.5 - Histogramm) spiegelt sich



**Abbildung 7.12:** Vergleich der ARK-XIX-Rückstreuwerte der einzelnen Kanalabschnitte

nicht in den Rückstreuwerten der Abschnitte wieder. Vergleicht man beispielsweise die Kurven des Abschnitts *gc1-2* mit denen des Abschnitts *gc1-3*, so erkennt man keinen Unterschied im Verlauf der Trendlinie. Dabei besteht im Abschnitt *gc1-2* die Messung der ARK-XIX-Expedition ausschließlich aus Steuerbord-Messwerten, wogegen die drei übrigen Trendlinien aus gleichmäßig über Backbord und Steuerbord verteilten Messwerten berechnet sind.

**gc1-4:**

Der Mittelwert bei den Rückstremessungen liegt bei der ersten Messung bei -43,46 dB, bei der zweiten Messung bei -41,64 dB. Damit ergibt sich ein Unterschied von -1,82 dB mit der die Signale der ARK-Messung stärker empfangen werden. Die ANT-Trendlinie hat eine Neigung von  $-0,26 \text{ dB}/^\circ$ , die ARK-Linie verläuft etwas flacher. Beide Messungen weisen eine hohe Reflexion bei steilen Einfallswinkel auf; die Signale der ARK-Messung werden auch noch bei flacheren Einfallswinkel stärker reflektiert. Der Rückstreuwert liegt bei den äußersten Beams der ANT-Messung bei -48 dB; bei gleichem Einfallswinkel liegt der Wert der ARK-Messung bei -44 dB.

**gc1-3:**

Die Mittelwerte beider Expeditionen liegen mit -40,72 dB (ANT) und -40,93 (ARK) dicht zusammen. Beide Trendlinien liegen eng beieinander und verlaufen nahezu parallel. Mit  $-0,24$  bzw.  $-0,26 \text{ dB}/^\circ$  haben sie eine ähnliche Steigung. Dennoch ist auch hier die etwas stärkere Rückstreuung der ARK-Expedition zu erkennen.

**gc1-2:**

Die normierten Mittelwerte im Abschnitt liegen mit -42,28 dB bzw. -42,24 dB wiederum dicht beieinander. Es ist aus den Werten beider Expeditionen ersichtlich, dass dieser Kanalabschnitt schwächer reflektierend ist. Die Trendlinien haben eine Neigung von  $-0,23$  bzw.  $0,20 \text{ dB}/^\circ$ . Auch hier ist die akustische Rückstreuung der

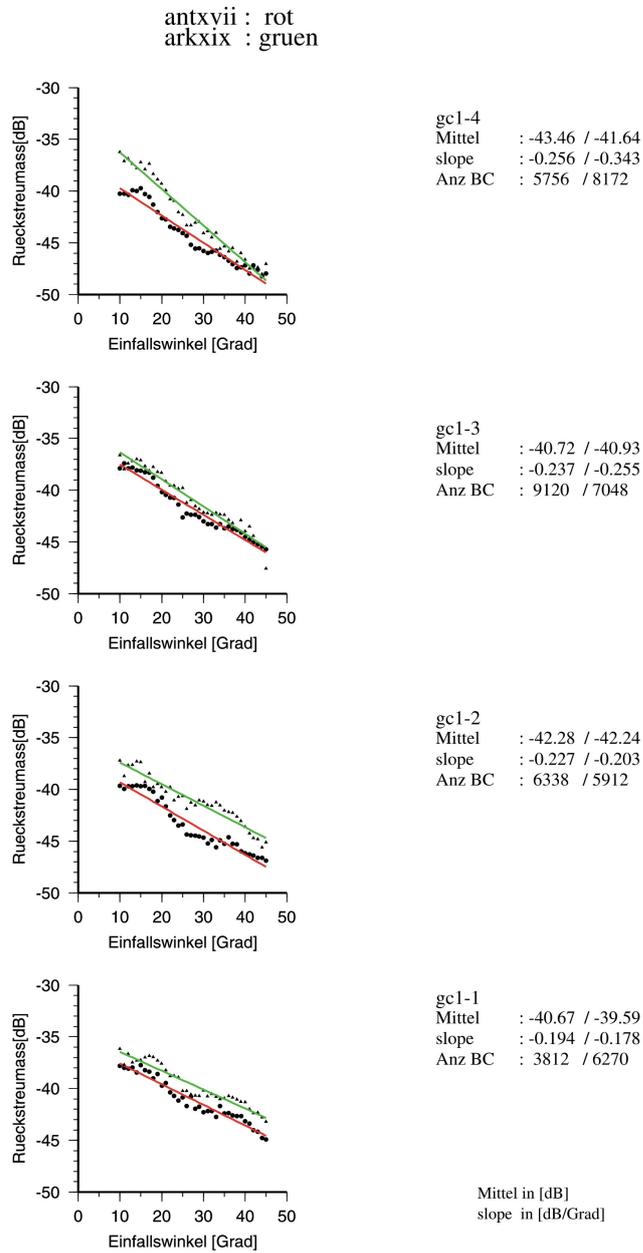


Abbildung 7.13: Vergleich der Rückstreuung in den einzelnen Kanalabschnitten

ersten ANT-Expedition schwächer.

**gc1-1:**

Der unterste Kanalabschnitt ist wieder ein stärker rückstreuender Abschnitt. Die Mittelwerte liegen hier bei -40,67 dB bzw. -39,59 dB. Die Trendlinien verlaufen ebenfalls nahezu parallel mit Neigungen von -0,19 und -0,18 dB/°. Wie schon im Kanalabschnitt *gc1-3* liegen auch hier die Trendlinien dichter beieinander.

Abschnitt	Expedition	Mittel [dB]	slope [dB/°]	AnzBC
gc1-4	ANT	-43,46	-0,256	5756
gc1-4	ARK	-41,64	-0,343	8172
gc1-3	ANT	-40,72	-0,237	9120
gc1-3	ARK	-40,93	-0,255	7048
gc1-2	ANT	-42,28	-0,227	6338
gc1-2	ARK	-42,24	-0,203	5912
gc1-1	ANT	-40,67	-0,194	3812
gc1-1	ARK	-39,59	-0,178	6270

**Tabelle 7.2:** Gegenüberstellung der Rückstremessungen, abschnittsweise Betrachtung

In der Tabelle 7.2 sind alle Werte nochmals gegenübergestellt. Allgemein lässt sich festhalten, dass die Messungen der ARK-XIX-Expedition aus stärkeren Rückstreuwerten bestehen. Daraus kann man schließen, dass der Energieverlust im Vergleich zur ANT-XVII-Messung geringer ist. Abgesehen von den Trendlinien des Abschnittes *gc1-4* verlaufen alle Trendlinien nahezu parallel. Da sich das Verhältnis Einfallswinkel - Rückstreuung ähnelt, kann man daraus schließen, dass der Untergrund vergleichbar ist, ob nun bei der Oberflächenbeschaffenheit - Stichwort Rauigkeit - oder bei der Auswirkung der Sedimenteigenschaften auf die akustische Rückstreuung. Darüber hinaus ist eine deutlich höhere Intensität der Rückstreuung der ARK-XIX-Expedition festzustellen. Nachträglich kann aber nicht mehr überprüft werden, ob während dieser Fahrt mit anderen Systemparametern gemessen wurde, die Ausrichtung des Fächerecholotes (ANT-XVII: Messprofile quer zum Kanal; ARK-XIX: Messprofile entlang des Kanales) daher einen Einfluß auf die akustische Rückstreuung hat, oder ob die Unterschiede auf eine zeitliche Variabilität zurückzuführen sind. Für die Gegenüberstellung der Systemparameter fehlen die Wachprotokolle des Fahrtabschnittes ARK-XIX/3a.

Desweiteren fällt auf, dass die Trendlinien in Abschnitten mit stärkerer Rückstreuung dichter nebeneinander verlaufen.

## 7.6.4 Vergleich der Multicorerstationen

Für die Auswertung der Multicorer-Stationen liegen wesentlich weniger Messwerte vor als bei den vier Sektoren des vorherigen Abschnittes. Die Anzahl schwankt zwischen 830 (246-1/ANT) und 3484 (242-1/ANT) Messwerten. Ein wichtiger Unterschied bei der Untersuchung der Multicorer-Stationen ist der Umstand, dass viele Pufferzonen um die MUC-Positionen der ARK-Expedition nur von den äußeren Strahlen der Steuerbord-Fächers beleuchtet wurden (siehe auch Abschnitt 7.5 und Abbildung 7.4). Vor allem die MUC-Stationen in den beiden mittleren Kanalabschnitten enthalten bei den Messungen der ARK-Expedition nur STB-Beams. Bei der ANT-XVII-Expedition kam es auf Grund der anderen Profillegung zu einer gleichmäßigeren Überdeckung. Betrachtet man die Gegenüberstellung der ANT-XVII-Expedition mit der ARK-XIX-Expedition (Abbildung 7.14), so fällt die unterschiedliche Beamverteilung nicht auf. Auffallend dagegen ist, dass nicht alle Trendlinien parallel zueinander verlaufen. Die Geraden der MUC-Stationen 249-1, 243-1 und 245-1 kreuzen sich. Sieht man von der Station 249-1 ab, so liegt dennoch überall die Trendlinie der ARK-XIX-Expedition über der der ersten Fahrt.

**Bei einer genaueren Untersuchung der Rückstreuwerte einzelner MUC-Stationen läßt sich feststellen, dass die Werte nicht immer der Einteilung der vier Sektoren entsprechen. Da die Rückstreuung in den vier Kanalabschnitten nicht einheitlich ist, können die Mittelwerte von einzelnen MUC-Stationen aus dem Rahmen fallen und vom Mittelwert des Kanalabschnittes abweichen.**

Bei der Beurteilung der MUC-Stationen werden auch die Ergebnisse der entsprechenden Kanalabschnitte mit einbezogen. Damit kann gleich überprüft werden, ob der Bereich um die Multicorer-Position den ganzen Abschnitt repräsentiert.

### 242-1

Die gemittelten Multicorer-Rückstreuwerte beider Expeditionen in der 242-1-Zone liegen zwischen den Mittelwerten des Kanalabschnittes. Der MUC-Mittelwert der ANT-Expedition liegt mit -42,85 dB unter dem Wert des ANT-Abschnittes. Mit -41,73 dB liegt die ARK-MUC-Messung aber im Bereich der (ARK-)Abschnittsmessung (-41,64 dB). Eine ähnliche Übereinstimmung findet sich bei den slope-Werten. Beide Neigungen weichen von der jeweiligen Abschnittsmessung leicht ab. Bei der ANT-Messung ist die Neigung etwas steiler, bei der ARK-Messung etwas flacher als in der dazugehörigen Neigung des Kanalabschnittes. Die Geraden laufen aufeinander zu und würden sich bei einem Einfallswinkel von etwa 50 ° schneiden.

### 249-1

Die Messungen der ANT-Expedition ergeben folgendes Bild: Die Mittelwerte im Bereich des Multicorers 249-1 stimmen mit denen des Kanalabschnittes überein. -40,55 dB stehen -40,72 dB aus dem ANT-Abschnitt gegenüber. Eine große Abweichung gibt es dagegen in den Werten der ARK-Expedition. Der MUC-Mittelwert

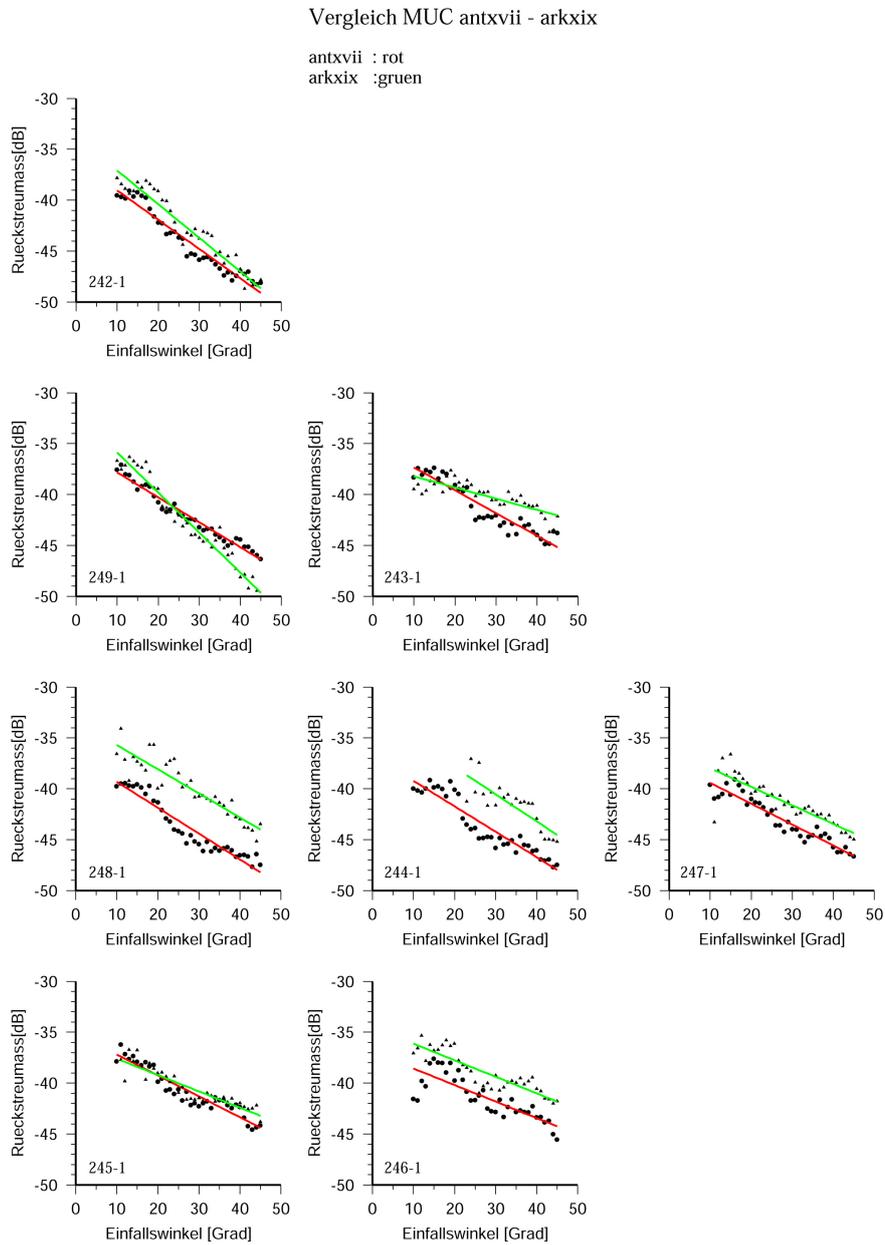


Abbildung 7.14: Vergleich der Rückstreuung in den Bereichen der Multicorerstationen

beträgt -42,30 dB, die Messung des Abschnittes ergab 2003 einen Mittelwert von -40,93 dB. Das bedeutet, dass der Abschnitt im Mittel stärker rückstreuend ist, als die Zone um die MUC-Station 249-1. Bei den Neigungen stimmen die Messungen der ANT-Expedition in der Zone mit denen des Abschnittes überein. Beide Geraden weisen eine Neigung von  $-0,24 \text{ dB/}^\circ$  auf. Eine große Differenz tritt dagegen bei den Messungen der ARK-Expedition auf. Die Neigung in der Pufferzone beträgt  $-0,38 \text{ dB/}^\circ$ , im gesamten Kanalabschnitt  $-0,26 \text{ dB/}^\circ$ . Die Geraden kreuzen sich bei einem Einfallswinkel von  $25^\circ$ .

#### **243-1**

Beide Rückstremittelwerte der MUC-Messung liegen dicht beieinander und unter den Mittelwerten der Kanalabschnittsmessung. Das bedeutet, dass die Bereiche um die Beprobungsstationen stärker rückstreuend sind als der Durchschnitt. Mit -40,10 dB (ANT) bzw. -40,21 dB (ARK) ist der Ausbreitungsverlust geringer als bei der abschnittsweisen Messung mit -40,72 dB bzw. -40,93 dB. Auch im Bereich des Multicorers 243-1 verlaufen die Geraden nicht parallel. Die Messung der ARK-Expedition ist wesentlich flacher ( $-0,11 \text{ dB/}^\circ$ ) als die Gerade der ANT-Expedition ( $-0,22 \text{ dB/}^\circ$ ). Die Mittelwerte der Abschnittsmessung betragen -0,24 bzw. -0,26  $\text{dB/}^\circ$ .

#### **248-1**

Im Bereich des Multicorers 248-1 ergibt sich ein anderes Bild. Die ANT-MUC-Messung liegt im Gegensatz zur ARK-MUC-Messung über dem Kanalabschnittsmittelwert der gleichen Expedition. Mit -42,66 dB ist die Rückstreuung schwächer als im Durchschnitt (-42,28 dB). Bei der Expedition ARK-XIX weist die Zone um den Multicorer eine stärkere Rückstreuung als der Abschnitt auf (-41,76 dB zu -42,24 dB). In der Pufferzone um die Station 248-1 verlaufen die Geraden nahezu parallel ( $-0,25$  und  $-0,23 \text{ dB/}^\circ$ ). Sie haben aber eine etwas größere Neigung als die Geraden des gesamten Kanalabschnittes ( $-0,23$  bzw.  $-0,20 \text{ dB/}^\circ$ ).

#### **244-1**

In der Pufferzone um den Multicorerentnahmestelle 244-1 liegen die Mittelwerte beider Expeditionen über den Abschnittsmittelwerten. Die Rückstreuung ist also in der 1000m-Zone schwächer als über den ganzen Abschnitt gemittelt. Die Abweichungen liegen etwa im selben Größenbereich (-42,69 zu -42,28 dB bzw. -42,52 zu -42,24 dB), wobei die Mittelwerte im Kanalabschnitt bei beiden Expeditionen nahezu dieselben sind. Die Beprobungsstelle 244-1 ähnelt der des Multicorers 248-1. Beide Geraden sind steiler als die des gesamten Abschnittes ( $-0,24 \text{ dB/}^\circ$  (ANT) zu  $-0,23 \text{ dB/}^\circ$  und  $-0,26 \text{ dB/}^\circ$  (ARK) zu  $-0,20 \text{ dB/}^\circ$ ).

#### **247-1**

Die Schallstrahlen der ANT-Messung werden im Bereich der Pufferzone stärker zurückgestreut als im gesamten Kanalabschnitt (-41,91 dB zu -42,28 dB). Bei der ARK-Messung ist es genau umgekehrt. Hier ist die Rückstreuung in der Zone um die Beprobungsstation schwächer (-42,42 dB) als im Kanalabschnitt (-42,24 dB).

Die Geraden der MUC-Positionen sind in den Messungen beider Fahrten flacher ( $-0,20 / -0,18 \text{ dB}/^\circ$ ) als die des gesamten Kanalabschnitts ( $-0,23 / -0,20 \text{ dB}/^\circ$ ). Dennoch liegen die Neigungswerte dicht beieinander.

#### 245-1

In der Zone um die Beprobungsstation 245-1 liegen die Rückstreuwerte beider Expeditionen sehr dicht beieinander ( $-41,38 \text{ dB}$  und  $-41,35 \text{ dB}$ ). Im Vergleich zum Kanalabschnitt liegen die Werte aber auch deutlich über dem Durchschnitt ( $-40,67 \text{ dB}$  bzw.  $-39,59 \text{ dB}$ ). Die Geraden beider Expeditionen haben mit Neigungen von  $-0,20$  bzw.  $-0,16 \text{ dB}/^\circ$  ein geringes Gefälle. Sie weichen nur wenig von den Werten des Kanalabschnittes ab ( $-0,19$  bzw.  $-0,18 \text{ dB}/^\circ$ ).

#### 246-1

Bei der Multicorerstation 246-1 sieht es wieder anders aus. Die Rückstreuwerte in der Pufferzone weichen von dem Abschnittsmittelwert ab. Die Rückstreuung um die Beprobungsstation ( $-41,44 \text{ dB}$ ) während der ANT-Messung liegt über dem Mittelwert des ganzen Sektors ( $-40,67 \text{ dB}$ ). Die Rückstreuung in der ARK-Messung ist wesentlich intensiver. Sie hat mit  $-38,72 \text{ dB}$  die stärkste Rückstreuung. Auch die Rückstreuung im Kanalabschnitt mit  $-39,59 \text{ dB}$  ist außerordentlich intensiv. Die Geraden beider MUC-Stationen verlaufen parallel ( $-0,16 \text{ dB}/^\circ$ ) und flacher als die Geraden des gesamten Kanalabschnittes ( $-0,19$  bzw.  $-0,18 \text{ dB}/^\circ$ ).

In der Tabelle 7.3 sind die Messwerte der Bereiche um die Multicorer-Stationen beider Expeditionen gegenübergestellt.

Wie schon bei der Betrachtung der vier Sektoren lässt sich auch hier feststellen, dass die Rückstreuung der ARK-XIX-Expedition intensiver ist. In der Gegenüberstellung beider Messungen fällt auf, dass der Verlauf der ausgeglichenen Geraden nicht überall parallel ist - in drei Diagrammen schneiden sich die Geraden der ANT-XVII- und der ARK-XIX-Messung. Besonders die Geraden der Multicorer-Messungen aus schwächer rückstreuenden Sektoren verlaufen parallel, wogegen die Geraden aus stärker reflektierenden Sektoren dazu neigen, sich zu kreuzen. Die Mittelwerte der Multicorer-Stationen liegen in den meisten Fällen in derselben Größenordnung wie die der Abschnittsmessung. Abweichungen sind auf die Lage der Beprobungsstationen im Sektor zurückzuführen, da die Rückstreuung im Sektor nicht einheitlich ist, sondern über den Kanalabschnitt verteilt gemittelt wurde.

Interessanter ist hier die Neigung der ausgleichenden Geraden, da sie den Zusammenhang zwischen Rückstreuung und Oberflächenbeschaffenheit darstellen. In den ersten beiden Sektoren des Kanals (*gc1-4* und *gc1-3*) verlaufen die Geraden der ARK-Messung flacher als die Geraden der ANT-Messung. In den unteren Sektoren ändert sich das Verhältnis und die Geraden der ARK-Messung verlaufen steiler. Vergleicht man die Neigungen der Multicorer-Stationen mit denen der Abschnittsmessung, fällt auf, dass sie nicht wie erwartet dasselbe Verhältnis Rückstreuung in dB zu Einfallswinkel haben. Auch hier lässt sich das wohl auf die Lage im Kanal zurückführen.

Station	Expedition	Mittel [dB]	slope [dB/°]	AnzBC
242-1	ANT	-42,85	-0,280	3484
242-1	ARK	-41,73	-0,322	2784
249-1	ANT	-40,55	-0,240	3424
249-1	ARK	-42,30	-0,383	2582
243-1	ANT	-40,10	-0,218	2155
243-1	ARK	-40,21	-0,107	1797
248-1	ANT	-42,66	-0,247	1727
248-1	ARK	-41,76	-0,231	1422
244-1	ANT	-42,69	-0,243	1444
244-1	ARK	-42,52	-0,255	1236
247-1	ANT	-41,91	-0,200	1660
247-1	ARK	-42,42	-0,177	2077
245-1	ANT	-41,38	-0,200	1361
245-1	ARK	-41,35	-0,155	1822
246-1	ANT	-41,44	-0,158	836
246-1	ARK	-38,72	-0,158	1253

**Tabelle 7.3:** Gegenüberstellung der Rückstremessungen, stationsweise Betrachtung

Tatsache ist, dass in die Rückstreuung innerhalb der vier Kanalabschnitte nicht einheitlich ist. Einiger der Multicorer-Stationen liegen in Bereichen der Kanalabschnitte, die vom Mittelwert der akustischen Rückstreuung abweichen. Verdeutlichen kann man dieses Problem anhand der Station 249-1. Diese Station liegt im stärker rückstreuenden Abschnitt *gc1-3*. Die genaue Position der Probenentnahmestelle befindet sich in einem Bereich, der etwas schwächer rückstreuend zu sein scheint. Der Mittelwert der ANT-XVII-Messung im Bereich des MUCs stimmt mit dem Mittelwert des gesamten Abschnittes überein, wogegen der Mittelwert der ARK-XIX-Messung abweicht. In den überwiegenden Fällen stimmen Mittelwert und Neigung in den Bereichen der Multicorer-Stationen mit den werten aus den Kanalabschnitten überein.

# 8 Auswertung

In diesem Kapitel soll der Zusammenhang zwischen den Rückstreuwerten und den physikalischen Eigenschaften der Sedimentproben gefunden werden. Das Rückstreumaß ist eine physikalische Eigenschaft des Sediments und es bestehen Abhängigkeiten von Einfallswinkel des Schalls auf den Meeresboden, der Rauigkeit und der Impedanz des Bodens. Bevor ein Zusammenhang mit den Sedimenteigenschaften hergestellt werden kann, muß ausgeschlossen werden, dass die Oberflächenbeschaffenheit sowie die Sedimentschichtung im Kanal einen direkten Einfluß auf die akustische Rückstreuung haben. Dies erfolgt anhand einer Gegenüberstellung der Bodenbilder und der PARASOUND-Profile mit den Rückstreuwerten der Kanalabschnitte bzw. der Bereiche um die Multicorerstationen.

Im ersten Abschnitt wird eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Daten gegeben. Der zweite Teil beinhaltet die Gegenüberstellung dieser Daten mit den Rückstreuwerten. Im Anschluß findet die Diskussion der Ergebnisse statt.

## 8.1 Einführung

Für diese Auswertung stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Daten zur Verfügung. Basierend auf topographischen Informationen wie dem Geländemodell und der Neigungskarte, bilden die Rückstreuwerte die Voraussetzung aller Betrachtungen. Sie sollen mit den Videoaufzeichnungen der Meeresbodenoberfläche verglichen werden. Um sich eine Vorstellung der Schichtung innerhalb des Kanals zu machen, werden die PARASOUND-Profile herangezogen. Die Seismogramme ermöglichen einen mehreren Meter tiefen Einblick in den Kanal als es mit anderen Erfassungsmethoden (Multicorer, Fächerecholot) möglich wäre. Einige dieser seismographischen Profile liegen direkt über Multicorer-Stationen. Die wichtigste Datengrundlage für diese Arbeit sind aber die Sedimentproben der acht Multicorer-Stationen. Anhand der Bestimmung von Korngrößen, Wassergehalt und Dichte soll die Verbindung mit den unterschiedlichen Rückstreuungen im Gollum Channel *gc1* hergestellt werden.

In der Tabelle 8.1 sind die zu jeder Beprobungsstation verfügbaren Daten aufgelistet. Für jede Station sind je ein Kern- und ein Bodenbild vorhanden, für drei Stationen zusätzlich noch eine Aufnahme des ROVs VICTOR 6000. Sechs PARASOUND-Profile laufen direkt über oder nahe an Multicorer-Stationen vorbei.

MUC	Kern-pic	MUC-pic	VIC-pic	Parasound
242	x	x	-	x
249	x	x	-	x
243	x	x	x	x
248	x	x	-	x
244	x	x	x	x
247	x	x	-	x
245	x	x	x	-
246	x	x	-	-

**Tabelle 8.1:** Auflistung der für die Analyse zur Verfügung stehenden Daten

Ein wichtiger Punkt ist die Eindringtiefe der Echolotstrahlen in den Meeresboden. Nach Guillon & Lurton kann die Eindringtiefe bei niederfrequenten Fächerecholotsystemen einige Meter betragen (Guillon and Lurton, 2001). Die rückgestreuten Signale werden dabei stark von der akustischen Eindringung in die oberste Sedimentschicht sowie von den rückgestreuten Signalen tiefergelegener Schichten beeinflusst. Die genaue Eindringtiefe kann aber nicht exakt bestimmt werden und wird im Allgemeinen durch eine Kombination eines klassischen Rückstreumodells mit einer theoretischen Schallausbreitung in fluiden geschichteten Medien modelliert.

Für diese Arbeit liegen nur Sedimentproben der obersten 30 Zentimeter vor. Ob die markante Rückstreuung auf Schichtungen in Tiefen von über 30 Zentimeter zurückzuführen ist, kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht abschliessend überprüft werden. Für die erste Klärung dieses Sachverhaltes werden die PARASOUND-Informationen herangezogen und die Seismogramme auf markante Schichtungen hin analysiert.

Wichtig für die weitere Auswertung ist die Verteilung der Multicorer-Stationen im Kanal (Siehe auch Abb. 7.10 im Kapitel 1). Der Kanal wurde in vier Sektoren unterschiedlicher Rückstreuung aufgeteilt. Der oberste (östlichste) Sektor *gc1-4* ist schwächer, die Abschnitte *gc1-3* und *gc1-1* sind stärker rückstreuend. Der Sektor *gc1-2* ist, wie der oberste, als schwach rückstreuend einzustufen. Über diese vier Abschnitte verteilen sich acht Multicorer-Stationen. Eine Station (242-1) liegt im Sektor *gc1-4*, zwei im Sektor *gc1-3* (249-1, 243-1), drei liegen im Abschnitt *gc1-2* (248-1, 244-1, 247-1) und wiederum zwei Multicorer-Stationen liegen im untersten Sektor *gc1-1*.

Die Auswertung folgt dem Kanalverlauf vom oberen, östlichen zum unteren, westlichen Ende. Sämtliche verwendeten Daten sind in vorangegangenen Kapiteln erläutert worden bzw. finden sich im Anhang in den Datenblättern der Multicorer-Stationen (Anhang A).

## 8.2 Auswertung und Zusammenhänge

Die Auswertung erfolgt in der Reihenfolge Oberfläche - Parasound - Sedimentproben. Die Oberfläche ist der oberste Reflektor des Meeresbodens und entscheidend für das Hauptecho. Das PARASOUND-Signal kann Aufschluß geben, ob Sedimentschichten unterhalb des Meeresbodens einen Einfluß auf die unterschiedliche Rückstreuung haben können. Die Sedimentproben sind entscheidend, da sie die akustischen Signale aufnehmen, reflektieren, streuen und brechen.

### 8.2.1 Zusammenhang von Oberfläche und Rückstreuung

Für die Beurteilung der Oberfläche werden die Multicorer- und VICTOR-Bilder herangezogen; die acht Multicorer-Stationen werden entsprechend ihrer Lage im Kanal einem der vier Kanalabschnitten zugeordnet.

Die Struktur an der Oberfläche des Meeresbodens ist in den meisten Fällen auf Strömungen im Kanal zurückzuführen. Da kein aktiver Sedimenttransport in letzter Zeit beobachtet wurde, ist die Oberflächenstruktur nur mit der Gezeitenströmung zu erklären, die aber, wie Tudhope & Scoffin beobachtet haben, nur gering ist. Eine ausgeprägte Rippelstruktur ist im Gollum Channel nicht auszumachen. Da Trübestrome wie auch Gezeitenströme im ganzen Kanal auftreten würden, kann eine annähernd gleiche Oberfläche in den untersuchten Bereichen erwartet werden.

Für die Auswertung werden die gemittelten Rückstreuwerte beider Expeditionen herangezogen. Vor allem die Neigung der ausgleichenden Geraden soll betrachtet werden, da sie den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Rückstreuung beschreibt. Je rauher die Oberfläche im Verhältnis zur Wellenlänge ist, desto höher ist die Rückstreuung. Wie im Kapitel 3.5.3 beschrieben, sind Oberflächen mit einer Bodenwellenhöhe größer fünf Millimeter für das Fächerecholot HYDROSWEEP mit seiner Frequenz von 15,5 kHz als rau einzustufen.

Die Oberfläche des Kanalbodens wird zum Einen anhand des optischen Eindrucks und zum Zweiten anhand der Neigungen der ausgleichenden Geraden beschrieben.

#### Beschreibung der Oberfläche anhand des optischen Eindrucks

**gc1-4 & gc1-2** (schwach rückstreuend; Stationen 242-1/248-1/244-1/247-1)

Die Oberflächen der schwach rückstreuenden Bereiche scheinen in ihrer Struktur weicher und ebener zu sein. In drei von vier Aufnahmen (Ausnahme: 247-1) sind so gut wie keine Löcher (Bioturbation) zu erkennen. Im Bereich des MUCs 244-1 scheint die oberste Sedimentschicht besonders weich zu sein, da hier der Multicorer samt Kamera eingesunken ist. Auch die Oberflächen von 242-1 und 248-1 vermitteln einen weichen Eindruck. Die Aufnahme der Station 247-1 zeigt dagegen einige

Löcher und eine allgemein etwas unruhigere Oberfläche. Aber auch hier ist bei der Beprobung der Multicorer schnell und tief eingesunken.

**gc1-3 & gc1-1** (stark rückstreuend; Stationen 249-1/243-1/245-1/246-1)

Die stärker rückstreuenden Bereiche erscheinen in den Bodenaufnahmen etwas unruhiger und welliger. In den meisten Bildern sind Löcher zuerkennen sowie eine etwas rauhere Oberfläche. Die VIC-Aufnahme in der Nähe der Station 243-1 zeigt dagegen eine glatte Oberfläche ohne Löcher. Die Oberflächenstruktur des Bereichs 245-1 scheint, ebenfalls in der VIC-Aufnahme, gleichmäßiger zu sein und zeigt keine so raue Oberfläche wie die MUC-Bilder. Nimmt man die Videoaufzeichnung der Station 246-1 hinzu, so dringt auch in diesem Bereich des Kanals der Multicorer schnell und tief in den Meeresboden ein.

Fasst man die vier Abschnitte in zwei Bereiche unterschiedlich intensiver Rückstreuung zusammen, so lassen sich bei genauer Betrachtung der Oberflächenstruktur einige Unterschiede festmachen. Die Oberfläche der schwächer rückstreuenden Sektoren ist glatter und einheitlicher, die Struktur in den stärker rückstreuenden Bereichen rauher, und sie besitzt mehr Löcher. Schätzt man die Höhen der einzelnen Oberflächenstrukturen ab, so können, zumindest in den Bildausschnitten, keine großen Höhendifferenzen festgestellt werden. Auch die Tiefe und Schnelligkeit der Eindringung des Multicorers unterscheidet sich in den beiden Bereichen nicht wesentlich.

### **Beschreibung der Oberfläche anhand der Neigungen der ausgleichenden Geraden**

**gc1-4:** 242-1: -0,280/-0,322 [ $dB/^\circ$ ]

Die Neigung der ausgleichenden Geraden ist relativ steil. Das bedeutet, dass bei flacheren Einfallswinkeln weniger zurückgestreut wird. Man kann aus der Neigung auf eine glattere Oberfläche schließen, auf der Aufnahme des Bodens um die MUC-Station 242-1 ist aber eine leicht wellige Oberflächenstruktur zu erkennen.

**gc1-3:** 249-1: -0,240/-0,383 [ $dB/^\circ$ ]; 243-1: -0,218/-0,107 [ $dB/^\circ$ ]

Die Neigung im Bereich 249-1 ist steiler als die Neigung der Geraden im Bereich 243-1. Das entspricht in etwa den Aufnahmen des Multicorers. Die Oberfläche 249-1 ist etwas glatter als die der Station 243-1. Die VICTOR-Aufnahme zeigt in der Nähe der Station 243-1 eine glatte Oberfläche. Dennoch können die extrem hohen Abweichungen der ARK-XIX-Messung nicht erklärt werden.

**gc1-2:** 248-1: -0,247/-0,231 [ $dB/^\circ$ ]; 244-1: -0,243/-0,255 [ $dB/^\circ$ ]; 247-1: -0,200/-0,177 [ $dB/^\circ$ ]

Die Neigungen der Stationen 248-1 und 244-1 sind steiler als die der Station 247-1. Sie stimmen damit auch in diesem Kanalabschnitt mit den Multicoreraufnahmen

überein. Die Stationen 248-1 und 244-1 zeigen eine relativ glatte Oberfläche, die Station 247-1 eine deutlich rauhere. Die Differenzen der Neigungswerte sind in sich stimmig, liegen aber eher im Bereich der Neigungswerte des Abschnittes *gc1-3*, der stärker rückstreuend als der Abschnitt *gc1-2* ist.

**gc1-1:** 245-1: -0,200/-0,155 [dB/°]; 246-1: -0,158/-0,158 [dB/°]

Die besonders flachen Neigungen der ausgleichenden Geraden deuten auf eine rauhere Oberfläche hin. Dies trifft auf beide Bereiche um die Beprobungsstation zu, wie eine Auswertung der MUC-Bilder deutlich macht. Die Differenz der Geradenneigungen der Stationen 245-1 und 246-1 lässt sich aus den MUC-Bildern nicht erklären. Die VICTOR-Aufnahme zeigt dagegen im Bereich der MUC-Station 245-1 eine gleichmäßige, ebene Oberfläche.

Bei der Gegenüberstellung der Bodenaufnahmen mit den Rückstreuwerten sind einige Übereinstimmungen zu erkennen. Die stärker rückstreuenden Abschnitte des Kanals besitzen eine etwas rauhere Oberfläche als die schwach rückstreuenden Sektoren, die ausgleichenden Geraden verlaufen dementsprechend. Das trifft aber nicht auf alle Multicorer-Stationen zu. Differenzen treten vor allem zwischen den MUC-Bildern und den Aufnahmen des ROVs VICTOR 6000 auf. Da die Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit relativ gering sind, muß für die unterschiedlichen Rückstreuintensitäten in den vier Sektoren eine andere Ursache gesucht werden. Die Rauigkeit der Oberfläche ist sicherlich ein erstes Untersuchungskriterium, dennoch müssen für ein besseres Verständnis auch die anderen Daten herangezogen werden.

## 8.2.2 Zusammenhang von Kanalstruktur und Rückstreuung

Da nur Sedimentproben der oberen 30 Zentimeter vorliegen, muß mit Hilfe des Sedimentecholotes PARASOUND der Kanal auf tieferliegende Sedimentschichten hin untersucht werden. Von besonderem Interesse ist der ursprüngliche Kanalboden. Er begrenzt das Untersuchungsgebiet nach unten und ist in den meisten Seismogrammen noch deutlich zu erkennen. Ebenfalls interessant sind weitere Sedimentschichten im aufgefüllten Bereich des Kanals. Diese Schichten entstanden nicht aufgrund gleichmäßiger Sedimentation durch Trübestrome sondern durch seitliche Rutschungen.

Die 14 Profile der PARASOUND-Messung verteilen sich wie folgt über die vier Kanalabschnitte:

gc1-4 : 10, 11, 12, 13 (,14)  
gc1-3 : 6, 7, 8, 9  
gc1-2 : 2, 3, 4, 5  
gc1-1 : 1

Ordnet man die PARASOUND-Profile den zwei Bereichen mit starker bzw. schwacher Rückstreuung zu, ergibt sich folgende Verteilung:

stark : 1, 6, 7, 8, 9  
schwach : 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13 (,14)

Die folgende Beschreibung bezieht sich auch auf die Erläuterungen aus Kapitel 6.4. Die vollständigen Profile finden sich im Anhang B. Zuerst werden die Profile im Bereich starker Rückstreuung betrachtet.

Die Sedimentmächtigkeit zwischen ursprünglichem Kanalverlauf und aktuellem Kanalboden schwankt zwischen 7 m im Abschnitt *gc1-1* am unteren Ende und 15 - 22 m im mittleren Sektor. In drei Profilen sind seitliche Rutschungen zu erkennen, die in Tiefen zwischen 3 m und 12 m liegen. Im Profil 01 sind das im mittleren Bereich des Kanals zwei Schichten mit jeweils 3,5 m Mächtigkeit, am nördlichen Rand drei Schichten mit Mächtigkeiten zwischen 2 m und 6 m. Im Profil 06 im Abschnitt *gc1-3* ist keine Schichtungen erkennbar. Profil 07 weist am nördlichen Rand drei Schichten mit 5 m Mächtigkeit auf. Im mittleren Bereich des Kanalbodens ist die erste erkennbare Schicht in einer Tiefe von 12 m. Im mittleren Kanalbereich des Profils 08 ist keine Schichtung im Seismogramm zu sehen. Der Kanalausschnitt im Profil 09 zeigt einige Rutschungen an der nördlichen Hangseite. Eine Schicht im mittleren Bereich der Grabenschulter liegt in 10 m Tiefe, mehrere 5 m mächtige Schichten überlagern sie am nördlichen Hang.

Die Mächtigkeiten der Sedimente in den schwächer rückstreuenden Bereichen liegen zwischen 18 m und 28 m. Im Profil 02 ist im mittleren Bereich des Kanalbodens eine aufgefüllte Rinne jüngerer Datums zu erkennen. Das Material ist fester und zeigt deshalb deutlichere Reflektoren. Eine zweite Schicht tritt in einer Tiefe von 8 Metern auf. In den Profilen 03 und 04 sind im mittleren Kanalbereich keine Sedimentschichten zu erkennen. Am südlichen Hang des Profils 04 laufen zwei Schichten aus, deren unteren Enden aber durch Strömungen fortgespült zu sein scheinen. Im Profil 05 liegt der ursprüngliche Kanalboden in einer Tiefe von etwa 18 Metern. Eine Rutschung, von der nördlichen Seite kommend (in 15 m Tiefe), wird von zwei je 5 Metern dicken Schichten, die vom südlichen Hang stammen, überlagert. Im obersten Sektor *gc1-1* liegt der ursprüngliche Kanalboden zwischen 18 und 22 Metern. Eine Schicht in 12 Metern Tiefe teilt die Sedimente des Profils 10 in der Mitte. Die untere scheint vom südlichen Hang zu kommen, wogegen die obere vom nördlichen Hang stammt. Diese ist im Seismogramm dunkler gefärbt, was auf eine feste Sedimentierung schließen lässt. Im Profil 11 ist eine schrägliegende Sedimentschicht zu erkennen. Sie ist die direkte Verlängerung des Südhanges. Im nördlichen Bereich des Kanalbodens ist in etwa 5 Meter Tiefe ein ovales Objekt zu sehen. Hier könnte es sich um eine Einlagerung höherer Dichte (Geröll?) handeln. Im Profil 12 ist keine Schichtung erkennbar, wogegen im Profil 13 eine Schicht in etwa 8 Metern

Tiefe verläuft. Auffällig ist eine 10 Meter hohe parabelförmige Anhäufung in der Mitte des Kanals. Der Kanalboden im Bereich der südlichen Hangseite zeigt einen deutlichen Reflektor.

Die Rückstreuwerte der einzelnen Kanalabschnitte erlauben keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Profile. Die Sedimentmächtigkeit über dem ursprünglichen Kanalboden ist in allen Abschnitten vergleichbar. Sedimentschichten durch seitliche Rutschungen treten ebenfalls überall auf. Auch der Erstreflektor ist in beiden Kanalabschnitten ähnlich intensiv. Abweichungen lassen sich keinem bestimmten Abschnitt zuordnen.

Interessant ist die Lage der Profile 03, 04, 05, 07, 09 und 11. Diese liegen direkt über oder unmittelbar neben einer MUC-Station. Sollte es einen direkten Zusammenhang zwischen dem vertikalen Kanalaufbau und der akustischen Rückstreuung geben, so könnte er am ehesten bei diesen sechs Profilen entdeckt werden.

Profil	Station	dB (ANT/ARK)	Intensität	Kanalboden	Schichtung
03	247-1	-41,91 / -42,42	schwach	25 m	keine Schichtung
04	244-1	-42,69 / -42,52	schwach	25 m	Schichtung südl.
05	248-1	-42,66 / -41,76	schwach	18 m	Schichtung
07	243-1	-40,10 / -40,21	stark	15 m	Schichtung nördl.
09	249-1	-40,55 / -42,30	stark	20 m	Schichtung nördl.
11	242-1	-42,85 / -41,73	schwach	18 m	keine Schichtung Einschluß (5 m )

**Tabelle 8.2:** Zusammenhang PARASOUND-Profil, MUC-Station und Rückstreuung

In der Tabelle 8.2 sind alle relevanten Ergebnisse zusammengestellt. Die Rückstreuwerte [dB] sind die Mittelwerte aus den Bereichen um die Multicorer-Stationen. Hier lässt sich, zumindest zwischen der Kanalseite der auftretenden Rutschungen und den Rückstreuwerten ein Zusammenhang erkennen. Ansonsten scheint es keine eindeutigen Zusammenhänge zu geben. Vergleicht man alle Datensätze, so finden sich auch einige Profile aus schwächer rückstreuenden Abschnitten mit Rutschungen auf der nördlichen Hangseite (z.B. Profil 13). Ebenfalls kann die Aufzeichnungsrichtung keine Rolle spielen, auch wenn in diesem Fall die Profile 07 und 09 beide in S-N-Richtung aufgezeichnet wurden. Der ursprüngliche Kanalboden ist in den zwei stärker rückstreuenden Profilen mit 15 m bzw. 20 m nicht so stark überdeckt, wie beispielsweise im Profil 03 oder 04. Da die Überdeckung in den Profilen 05 und 11 beidesmal 18 m beträgt, kann dies also auch nicht die alleinige Ursache für die Rückstreudifferenzen sein.

### 8.2.3 Zusammenhang von Sedimentproben und Rückstreuung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass besonders die Oberflächenbeschaffenheit Einfluss auf die akustische Rückstreuung hat. Es wurde aber auch gezeigt, dass sie nicht die alleinige Ursache für die Unterschiede in den vier Kanalabschnitten darstellt. In der Fachliteratur ((Guillon and Lurton, 2001) et. al) wurde auf die Eindringung von Schallsignalen in den Meeresboden hingewiesen. Mit den zur Verfügung stehenden Sedimentproben soll ein Zusammenhang zwischen akustischer Rückstreuung und den Sedimenteigenschaften wie Korngröße, Dichte, Wassergehalt und vorallem Impedanzkontrast hergestellt werden.

Da die akustische Impedanz einer von mehreren ursächlichen Faktoren der Rückstreuung darstellt, soll eine beispielhafte Rechnung durchgeführt werden. Besonderer Augenmerk gilt aber ebenfalls der Dichte und dem Wassergehalt.

Zuerst muß das Zustandekommen der Sedimente im Kanal betrachtet werden. Wie in Kapitel 6 beschrieben, sind die Kanäle des Gollum Channel Systems auf Trübestrome zurückzuführen. Die Sand-, Silt- und Tonablagerungen sprechen für einen aktiven Sedimenttransport. Diese Sedimente stammen von Flussmündungen, die während der letzten Eiszeit bis an den Rand des Kontinentalhanges reichten. Da die Sinkgeschwindigkeit der Sedimentbestandteile proportional zur Dichte und Teilchengröße ist, setzten sich die schwereren Bestandteile des Wasser-Schlamm-Gemisches am ehesten ab. Wie auch schon im Abschnitt 6.6 gezeigt, entspricht die tatsächliche Korngrößenverteilung dem erwarteten Verlauf. Berücksichtigt werden muß, dass sich der untersuchte Kanal im Mittelstück des gesamten Kanalverlaufes vom Schelfrand bis zum Kontinentalfuß befindet.

Eventuell vorkommende Gezeitenströme haben für die Sedimentverteilung aufgrund ihrer geringen Geschwindigkeit und Stärke keinen nachweislichen Einfluß. Da die eigentliche Eindringung nicht abgeschätzt werden kann, werde ich mich bei der weiteren Untersuchung, auch wegen des vorliegenden Probenmaterials, auf die oberste Schicht beschränken. Für diese Deckschicht sind Korngröße, Dichte und Wassergehalt bekannt. Mit der Überführung der Korngrößen in das Shepard-Diagramm, kann die Verteilung in Bezug auf den Kanalverlauf besser beurteilt werden.

Anhand von Korrelationen wird versucht, Zusammenhänge zwischen den Untersuchungsergebnissen der sedimentologischen Beprobung und der akustischen Rückstreuung herzustellen. Als erstes werden die Korngrößen unter Verwendung des Shepard-Diagrammes analysiert. Anschließend wird die Dichteverteilung betrachtet um im nächsten Schritt den Einfluß des Wassergehaltes zu beurteilen.

### Einfluß der Korngröße

Um den Einfluß der Korngröße auf die akustische Rückstreuung zu überprüfen, werden die Ergebnisse der im Abschnitt 6.6 vorgenommenen Korngrößen-Einteilung in der Tabelle 8.1 gegenübergestellt. Jeder beprobten Schicht ist so ein Wert zugeordnet.

	gc1-1 246		gc1-1 245		gc1-2 247		gc1-2 244		gc1-2 248		gc1-3 243		gc1-3 249		gc1-4 242
0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	toniger Silt	0-1	siltiger Sand
1-2	toniger Silt	1-2	toniger Silt	1-2	toniger Silt	1-2	toniger Silt	1-2	toniger Silt	1-2	siltiger Sand	1-2	toniger Silt	1-2	siltiger Sand
2-3	toniger Silt	2-3	toniger Silt	2-3	toniger Silt	2-3	toniger Silt	2-3	Sand-Silt-Ton	2-3	siltiger Sand	2-3	toniger Silt	2-3	siltiger Sand
3-4	toniger Silt	3-4	toniger Silt	3-4	toniger Silt	3-4	toniger Silt	3-4	Sand-Silt-Ton	3-4	siltiger Sand	3-4	toniger Silt	3-4	siltiger Sand
4-5	toniger Silt	4-5	toniger Silt	4-5	toniger Silt	4-5	toniger Silt	4-5	Sand-Silt-Ton	4-5	siltiger Sand	4-5	toniger Silt	4-5	siltiger Sand
5-6	Silt	5-6	toniger Silt	5-6	toniger Silt	5-6	toniger Silt	5-6	Sand-Silt-Ton	5-6	siltiger Sand	5-6	toniger Silt	5-6	siltiger Sand
6-7	toniger Silt	6-7	toniger Silt	6-7	toniger Silt	6-7	toniger Silt	6-7	Sand-Silt-Ton	6-7	siltiger Sand	6-7	toniger Silt	6-7	siltiger Sand
7-8	toniger Silt	7-8	toniger Silt	7-8	toniger Silt	7-8	toniger Silt	7-8	Sand-Silt-Ton	7-8	siltiger Sand	7-8	toniger Silt	7-8	siltiger Sand
9-10	toniger Silt	9-10	toniger Silt	9-10	toniger Silt	9-10	toniger Silt	9-10	Sand-Silt-Ton	9-10	siltiger Sand	9-10	toniger Silt	9-10	siltiger Sand
11-12	toniger Silt	11-12	toniger Silt	11-12	toniger Silt	11-12	toniger Silt	11-12	Sand-Silt-Ton	11-12	siltiger Sand	11-12	toniger Silt	11-12	siltiger Sand
13-14	toniger Silt	13-14	toniger Silt	13-14	toniger Silt	13-14	toniger Silt	13-14	toniger Silt	13-14	siltiger Sand	13-14	toniger Silt	13-14	siltiger Sand
15-16	toniger Silt	15-16	toniger Silt	15-16	toniger Silt	15-16	toniger Silt	15-16	toniger Silt	15-16	siltiger Sand	15-16	toniger Silt	15-16	siltiger Sand
17-18	toniger Silt	17-18	toniger Silt	17-18	toniger Silt	17-18	toniger Silt	17-18	Sand-Silt-Ton	17-18	siltiger Sand	17-18	toniger Silt	17-18	siltiger Sand
19-20	toniger Silt	19-20	toniger Silt	19-20	toniger Silt	19-20	Sand-Silt-Ton	19-20	Sand-Silt-Ton	19-20	siltiger Sand	19-20	toniger Silt	19-20	siltiger Sand
21-22	toniger Silt	21-22	toniger Silt	21-22	Sand-Silt-Ton	21-22	Sand-Silt-Ton	21-22	toniger Silt	21-22	siltiger Sand	21-22	toniger Silt	21-22	siltiger Sand
23-24	toniger Silt	23-24	toniger Silt	23-24	Sand-Silt-Ton	23-24	toniger Silt	23-24	toniger Silt	23-24	siltiger Sand	23-24	toniger Silt	23-24	siltiger Sand
25-26	toniger Silt	25-26	toniger Silt	25-26	siltiger Sand	25-26	toniger Silt	25-26	toniger Silt	25-26	siltiger Sand	25-26	toniger Silt	25-26	siltiger Sand
				27-28	Sand-Silt-Ton	27-28	toniger Silt	27-28	toniger Silt	27-28	siltiger Sand	27-28	toniger Silt	27-28	siltiger Sand
				29-30	Sand-Silt-Ton	29-30	toniger Silt	29-30	toniger Silt	29-30	siltiger Sand	29-30	toniger Silt	29-30	siltiger Sand
				31-32	toniger Silt	31-32	toniger Silt	31-32	toniger Silt	31-32	siltiger Sand	31-32	toniger Silt	31-32	siltiger Sand
				33-34	toniger Silt	33-34	toniger Silt	33-34	toniger Silt	33-34	siltiger Sand	33-34	toniger Silt	33-34	siltiger Sand

Abbildung 8.1: Kreuzkorrelation der Korngrößen

Um herauszufinden, ob ein Zusammenhang zwischen Korngröße und akustischer Rückstreuung besteht, werden die Mittelwerte und die Neigungen der ausgleichenden Geraden mit der Schichtung nach Shepard verglichen.

Bei der ersten Beurteilung der Werte konnte kein Nachweis für einen Zusammenhang von Korngröße und Rückstreuintensität gefunden werden. Die schwach rückstreuenden Abschnitte *gc1-4* und *gc1-2* unterscheiden sich nach ihrer Korngröße deutlich voneinander. Während der oberste Kanalsektor ausschliesslich aus Sedimenten der Korngrößenklasse *siltiger Sand* besteht, setzt sich der Sektor *gc1-2* aus den Korngrößen *sandiger Silt*, *Sand-Silt-Ton* und *toniger Silt* zusammen. Die stärker rückstreuenden Abschnitte *gc1-3* und *gc1-1* haben eine vergleichbare Zusammensetzung. Im weiter oben gelegenen Sektor *gc1-3* bestehen die oberen Zentimeter aus *sandigem Silt* bzw. *siltigem Sand*. Der unterste Abschnitt *gc1-1* besteht, wie auch der danebenliegende schwächer rückstreuende Sektor *gc1-2*, überwiegend aus *tonigem Silt*.

Die Abstufung gleicht der klassischen Sedimentierungsabfolge in einem Rutschungskanal. In beiden Abschnitten ist ein Zusammenhang zwischen Korngröße und Rückstreuung nicht festzustellen.

Auch die Neigung der ausgleichenden Geraden wird offensichtlich nicht von der Änderung der Korngröße beeinflusst. Geht man von einer etwas steileren Neigung der Geraden in den schwächer rückstreuenden Abschnitten aus, so gilt dasselbe wie bei dem Vergleich der Mittelwerte: es sind keine Übereinstimmungen zu finden.

Die Neigungen der Stationen 246-1, 245-1, 247-1 und 244-1 liegen in einer Größenordnung (-0,158 - -0,255). Aber auch die Station 243-1 weist eine vergleichbare Neigung auf. Hier liegt aber eine komplett andere Korngrößenverteilung vor (überwiegend *siltiger Sand*, im Vgl. zu überwiegend *toniger Silt*).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass kein Zusammenhang zwischen den Korngrößen der oberen 30 Zentimetern und der akustischen Rückstreuung gefunden wurde.

### **Einfluß von Feuchtdichte und Porosität**

Feuchtdichte und Porosität werden durch die Korngröße bedingt. Diese wiederum ist abhängig von Sedimentart und dem Sedimentationsprozess. In diesem Fall handelt es sich um Sedimente eiszeitlicher Flüsse (vgl. Kapitel 6), wobei das feinste Material am weitesten vom Kontinentalhang weg mitgeführt wurde.

Das Verhältnis der Feuchtdichten in den Beprobungsstationen spiegelt den Verlauf der Korngrößen wieder. Es ist auch hier kein Zusammenhang mit der Rückstreuung zu erkennen. Im obersten Abschnitt liegt eine Feuchtdichte von  $1,7 \text{ g/cm}^3$  vor, im untersten Abschnitt *gc1-1* eine Dichte von  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . Die Verbindung Dichte - Porosität ist ebenfalls in der Tabelle wiederzuerkennen. Der oberste Abschnitt *gc1-4* hat eine Porosität von 56,3% die im Kanalverlauf auf 78,4% im untersten Sektor zunimmt. In den Proben der einzelnen Multicorer-Stationen sind keine Auffälligkeiten zu erkennen.

### **Einfluß des Wassergehaltes**

Der Wassergehalt ist von der Porosität des Probenmaterials und somit auch von der Korngröße abhängig. Der Wassergehalt, angegeben in Prozent, steigt von 42% der ersten Beprobungsstation (242-1) auf 73% im Kern 246-1 im untersten Kanalabschnitt. Innerhalb eines Kerns sinkt der Wassergehalt. Das hängt mit der Masse zusammen, die auf den unteren Schichten lastet und so das Wasser verdrängt.

Weder in der prozentualen Höhe des Wassergehaltes aller Proben noch in den Differenzen innerhalb eines Kernes ist ein Zusammenhang zur Rückstreuung zu erkennen.

## Impedanz und Rückstreugrad

Die Impedanz ist neben dem Einfallswinkel der Echolotstrahlen auf den Meeresboden und der Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche die dritte Einflußgröße auf die akustische Rückstreuung. Die charakteristische Impedanz eines Mediums ist das Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit. Diese wichtige Eigenschaft bestimmt den Anteil der reflektierten Energie, wenn Schallenergie von einem Medium in ein anderes mit unterschiedlicher Impedanz eindringt (siehe auch Kapitel 8.4).

Die akustische Impedanz  $Z$  berechnet sich wie folgt:

$$Z_1 = \frac{c \cdot \rho}{\cos\theta} \quad (8.2.1)$$

mit  $c$  = Schallgeschwindigkeit,  $\rho$  = Dichte,  $\theta$  = Einfallswinkel. Daraus ergibt sich wiederum für den Rückstreugrad, ausgedrückt durch Dichte, Schallgeschwindigkeit und Einfallswinkel:

$$R = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (8.2.2)$$

Der Strahlenverlauf im Sediment errechnet sich nach dem Snellius'schen Gesetz. Laut dieses Gesetzes hängt die Richtungsänderung des in das zweite Medium eingedrungenen Schalles vom Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten und dem Brechungswinkel ab:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (8.2.3)$$

Für eine beispielhafte Berechnung der Impedanz müssen einige Werte aus der Fachliteratur entnommen werden. Die in der Tabelle 8.3 dargestellten Werte stammen aus der Veröffentlichung von Hamilton - *Sound velocity and related properties of marine sediments (1982)*(Hamilton and Bachman, 1982). Die Sedimentproben wurden am Kontinentalrand eines anderen Seegebietes entnommen, so dass beispielsweise die Dichte und die Porosität nicht vollständig mit den Werten der Gollum Channel-Sedimentproben übereinstimmen. Die hier verwendeten Messergebnisse sind unter Laborbedingung gemessene Richtwerte. Eigene Messwerte von Sedimentschallgeschwindigkeiten liegen nicht vor. Sie hätten direkt bei der Entnahme an Bord bestimmt werden müssen<sup>1</sup>.

Da mir keine genauen Informationen vorliegen, gehe ich in der Berechnung von einer genäherten Dichte des Wassers von  $1,034 \text{ kg/m}^3$  und einer genäherten Schallgeschwindigkeit im Wasser von  $1496 \text{ m/s}$  aus.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mit einem Durchmesser von 6 cm waren die gezogenen Multicorer-Kerne zu klein für die Kernmeßbank. Des Weiteren hätte die im Verhältnis zum Kerndurchmesser dicke Plexiglasröhre die Meßgenauigkeit verfälscht.

<sup>2</sup>CTD-Messung ARK-XIX/3: in 1400 Metern Wassertiefe:  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $35,1 \text{ }^\circ\text{/}\text{oo}$ ,  $v = 1496 \text{ m/s}$ ,  $\rho_{\text{Wasser}}$

Für die Berechnung liegen die Dichte und die Korngrößen vor. Von *Hamilton* wurden die der Korngröße zugehörige Schallgeschwindigkeit übernommen. Damit sind die errechneten Impedanzwerte und Rückstreugrade der Tabelle 8.4 als Näherungswerte anzusehen. Hier gilt es vor allem, den Sprung zwischen den einzelnen Schichten zu verdeutlichen.

Sediment	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosität [%]	Schallgeschw. [m/s]
grober Sand	2,034	38,6	1836
feiner Sand	1,962	44,5	1759
siltiger Sand	1,783	54,2	1658
sandiger Silt	1,769	54,7	1644
Silt	1,740	56,2	1615
Sand-Silt-Ton	1,575	66,3	1582
toniger Silt	1,489	71,6	1546
siltiger Ton	1,480	73,0	1517

**Tabelle 8.3:** Schallgeschwindigkeiten im Sediment (Kontinentalrand) (Hamilton and Bachman, 1982)

Für die Berechnung wurde ein Einfallswinkel von 10° angenommen, da dies dem Winkel der Rückstreunormierung mit der Software *NRGCOR* entspricht. Der Brechungswinkel des Strahls wird größer, sobald er in die ersten Sedimentschicht eindringt. Die Impedanz erhöht sich von 1570,73 auf etwa 2043 bis 2596 [ $\frac{kg}{s \cdot m^2}$ ]; die Grenzschicht zwischen Wasser und Meeresboden ergibt einen hohen Rückstreugrad. Innerhalb des Bodens sind Unterschiede zwischen den einzelnen Sedimentschichten zu erkennen.

Betrachtet man die unterschiedlichen Schichten anhand der Schallgeschwindigkeit, so ist folgendes festzustellen: Bei Zunahme der Geschwindigkeit beim Schichtwechsel ergibt sich ein positiver Rückstreugrad, bei Geschwindigkeitsabnahme, ein negativer (eine Ausnahme bei Kern 248-1).

Die Schichtdicke hat keinen Einfluß auf den Rückstreugrad bzw. auf die Impedanz. Der Intensitätsverlust innerhalb des Sedimentes wird in genauen Analysen (siehe Fachliteratur) separat berücksichtigt.

---

= 1,034 kg/m<sup>3</sup>.

Station	Korngröße	Dicke [cm]	$c$ [m/s]	Dichte [g/m <sup>3</sup> ]	Winkel $\theta$ [°]	Impedanz Z	Rück- streugrad
249-1 stark	Wasser		1496	1,03	10,00	1570,73	0,246
	sandiger Silt	10	1644	1,55	11,00	2595,89	0,051
	siltiger Sand	14	1658	1,70	11,10	2872,33	
246-1 stark	Wasser		1496	1,03	10,00	1570,73	0,131
	toniger Silt	5	1546	1,30	10,34	2042,98	0,056
	Silt	1	1615	1,39	10,80	2285,33	-0,019
	toniger Silt	20	1546	1,40	10,34	2200,13	
	Wasser		1496	1,03	10,00	1570,73	0,208
	sandiger Silt	2	1644	1,43	11,00	2394,92	0,017
248-1 schwach	Sand-Silt-Ton	10	1582	1,54	10,58	2478,41	0,039
	sandiger Silt	4	1644	1,60	11,00	2679,63	-0,036
	Sand-Silt-Ton	4	1582	1,55	10,58	2494,51	-0,005
	toniger Silt	12	1546	1,57	10,34	2467,29	
247-1 schwach	Wasser		1496	1,03	10,00	1570,73	0,170
	toniger Silt	20	1546	1,41	10,34	2215,85	0,062
	Sand-Silt-Ton	4	1582	1,56	10,58	2510,60	0,052
	siltiger Sand	2	1658	1,65	11,10	2787,85	-0,049
	Sand-Silt-Ton	2	1582	1,57	10,58	2526,70	-0,009
	toniger Silt	6	1546	1,58	10,34	2483,00	

**Tabelle 8.4:** Beispielrechnung der akustischen Impedanz

## Impedanzkontrast

Am besten lässt sich das Verhältnis der Sedimentschichten mit dem Impedanzkontrast ausdrücken. Er berechnet sich wie folgt:

$$\frac{\rho_2 \cdot c_2}{\rho_1 \cdot c_1} \quad (8.2.4)$$

Nach (Urlick, 1983) gilt ein hoher Impedanzkontrast für ein Verhältnis  $\geq 1$ , ein geringer Impedanzkontrast für  $\approx 1$ . Der Bereich um den Wert 1 als maßgebliches Verhältnis des Impedanzkontrastes ist eng gefasst. Vergleichswerte aus der internationalen Wissenschaft habe ich keine gefunden, deshalb habe ich einen Bereich zwischen 0,9 und 1,1 als den Bereich geringen Kontrastes festgelegt.

Der Tabelle 8.5 werden die Wasserschallgeschwindigkeiten und die Dichten des Wassers entsprechend ihrer Tiefe zur Berechnung des Impedanzkontrastes zu Grunde gelegt. Diese Werte wurden der CTD-Messung 235-1 entnommen, die während der Expedition ARK-XIX/3 zeitgleich mit der Multicorerbeprobung in der Nähe des Gollum Channels *gc1* stattfand und daher für die Berechnung herangezogen werden kann.

Der Impedanzkontrast ist in der obersten Schicht aller Kanalabschnitte am höchsten. Teilt man die Multicorer-Stationen wieder in die zwei unterschiedlich stark rückstreuende Kategorien, fällt auf, dass bei stärker rückstreuenden Abschnitten der Impedanzkontrast in den oberern Schichten hoch ist, bei den schwächer rückstreuenden Abschnitten geringer. Ausnahmen sind die Stationen 247-1 (schwach) und 246-1 (stark). Bei Station 247-1 ist der Impedanzkontrast bis in eine Tiefe von 26 Zentimeter hoch, bei der Station 246-1 wird er nach sechs Zentimetern gering. Betrachtet man aber in der Abbildung 7.10 die genaue Lage der Beprobungsstation, erkennt man, dass die Station 247-1 in einem Bereich des Kanalabschnittes liegt, der stärker rückstreut als die umliegende Region.

Wie erwartet ist bei der Betrachtung des Impedanzkontrastes die Übereinstimmung mit der Einteilung in die verschiedenen rückstreuenden Sektoren. Die Sedimentkontraste in den oberen Zentimetern der Multicorer-Proben wären somit neben der Oberflächenbeschaffenheit eine weitere Erklärung für die Unterschiede der akustischen Rückstreuung in den Kanalabschnitten. Es wäre noch interessant herauszufinden, wie sich der Impedanzkontrast mit der Tiefe weiterentwickelt. Unter den gegebenen Voraussetzungen kann nicht bestätigt werden, ob es sich um eine zufällige Übereinstimmung handelt, oder ob die oberen Zentimeter einen tatsächlichen Einfluß auf die Rückstreuung besitzen. Was aber auf jeden Fall berücksichtigt werden muß, ist, dass hier mit Näherungswerten aus der Literatur gerechnet wurde und nicht mit den wahren Schallgeschwindigkeiten in dem Sediment des Untersuchungsgebietes. Eine endgültige Klärung dieser Frage kann es erst geben, wenn neue Sedimentproben für die Schalluntersuchung vorliegen bzw. die Schallgeschwindig-

Station	Korngröße	Dicke [cm]	$c$ [m/s]	Dichte [g/m <sup>3</sup> ]	Impedanz- kontrast	Bemerkung																																																																																																																																									
242-1 schwach	Wasser	10	1502	1,032	1,70	hoher																																																																																																																																									
	siltiger Sand		1658	1,59			249-1 stark	Wasser	10	1501	1,033	1,64	hoher	sandiger Silt	1644	1,55	siltiger Sand	14	1658	1,70	243-1 stark	Wasser	1	1499	1,034	1,52	hoher	sandiger Silt	1644	1,43	siltiger Sand	13	1658	1,88	248-1 schwach	Wasser	2	1496	1,035	1,52	hoher	sandiger Silt	1644	1,43	Sand-Silt-Ton	10	1582	1,54	1,04	sandiger Silt	4	1644	1,60	0,93	Sand-Silt-Ton	4	1582	1,55	0,99	toniger Silt	12	1546	1,57		244-1 schwach	Wasser	18	1496	1,035	1,50	hoher	toniger Silt	1546	1,50	1,08	Sand-Silt-Ton	4	1582	1,58	1,04	toniger Silt	10	1546	1,68		247-1 schwach	Wasser	20	1496	1,035	1,41	hoher	toniger Silt	1546	1,41	1,13	Sand-Silt-Ton	4	1582	1,56	1,11	siltiger Sand	2	1658	1,65	0,91	Sand-Silt-Ton	2	1582	1,57	0,98	toniger Silt	6	1546	1,58		245-1 stark	Wasser	26	1496	1,036	1,38	hoher	toniger Silt	1546	1,38	246-1 stark	Wasser	5	1496	1,036	1,30	hoher	toniger Silt	1546	1,30	1,12	Silt	1	1615	1,39	0,96	toniger Silt
249-1 stark	Wasser	10	1501	1,033	1,64	hoher																																																																																																																																									
	sandiger Silt		1644	1,55																																																																																																																																											
	siltiger Sand		14	1658			1,70																																																																																																																																								
243-1 stark	Wasser	1	1499	1,034	1,52	hoher																																																																																																																																									
	sandiger Silt		1644	1,43																																																																																																																																											
	siltiger Sand		13	1658			1,88																																																																																																																																								
248-1 schwach	Wasser	2	1496	1,035	1,52	hoher																																																																																																																																									
	sandiger Silt		1644	1,43																																																																																																																																											
	Sand-Silt-Ton		10	1582			1,54	1,04																																																																																																																																							
	sandiger Silt		4	1644			1,60	0,93																																																																																																																																							
	Sand-Silt-Ton		4	1582			1,55	0,99																																																																																																																																							
toniger Silt	12	1546	1,57																																																																																																																																												
244-1 schwach	Wasser	18	1496	1,035	1,50	hoher																																																																																																																																									
	toniger Silt		1546	1,50			1,08																																																																																																																																								
	Sand-Silt-Ton		4	1582			1,58	1,04																																																																																																																																							
	toniger Silt		10	1546			1,68																																																																																																																																								
247-1 schwach	Wasser	20	1496	1,035	1,41	hoher																																																																																																																																									
	toniger Silt		1546	1,41			1,13																																																																																																																																								
	Sand-Silt-Ton		4	1582			1,56	1,11																																																																																																																																							
	siltiger Sand		2	1658			1,65	0,91																																																																																																																																							
	Sand-Silt-Ton		2	1582			1,57	0,98																																																																																																																																							
	toniger Silt		6	1546			1,58																																																																																																																																								
245-1 stark	Wasser	26	1496	1,036	1,38	hoher																																																																																																																																									
	toniger Silt		1546	1,38																																																																																																																																											
246-1 stark	Wasser	5	1496	1,036	1,30	hoher																																																																																																																																									
	toniger Silt		1546	1,30			1,12																																																																																																																																								
	Silt		1	1615			1,39	0,96																																																																																																																																							
	toniger Silt		20	1546			1,40																																																																																																																																								

**Tabelle 8.5:** Beispielrechnung des akustischen Impedanzkontrastes

keiten vor Ort im Sediment gemessen werden.

## 8.3 Diskussion

Im Allgemeinen kann man die Multicorer-Stationen als repräsentative Ausschnitte der Kanalsektoren betrachten. Die in einigen Fällen auftretenden Differenzen zwischen den Multicorer-Werten und den Werten der gesamten Kanalabschnitte sind klein und werden bei der Beschreibung der Rückstreuwerte berücksichtigt. Die Rückstreuwerte sind nicht einheitlich und weisen eine gewisse Bandbreite auf. Die Lage der Multicorer-Stationen entspricht also nicht immer dem exakten Mittelwert des entsprechenden Kanalabschnittes.

Betrachtet man die Abhängigkeit der akustischen Rückstreuung von der Oberflächenbeschaffenheit, so sind einige Übereinstimmungen zu erkennen. Bei den Abschnitten des Kanalbodens, die stärker rückstreuen, scheint die Oberfläche des Kanalbodens etwas rauher zu sein und es treten vermehrt Löcher durch Bioturbation auf. Bei den schwächer rückstreuenden Sektoren ist die Oberfläche einheitlicher und glatter. Es treten aber zwischen diesen Abschnitten keine großen Höhendifferenzen auf. Die Rauigkeit liegt im unteren Zentimeterbereich. Dies reicht aber aus, um von der Wellenlänge des HYDROSWEEP-Schallsignals erfasst zu werden, so dass man es als rauh einstufen kann.

Um einen Einfluß von tieferliegenden Sedimentschichten auszuschließen, wurde der vertikale Aufbau des Kanals anhand von PARASOUND-Profilen überprüft. Zwischen den zwei verschieden intensiv rückstreuenden Abschnitten gibt es aber keine Unterschiede hinsichtlich auftretender Schichtungen. Die Überdeckung des ursprünglichen Kanalbodens schwankt in allen Bereichen zwischen 15 und 25 Metern. Seitliche Rutschungen treten ebenfalls in allen vier Sektoren auf. Hierbei muß allerdings berücksichtigt werden, dass aufgrund der technischen Rahmenbedingungen nur Teile des horizontalen Kanalbodens beschallt wurden und eine tiefere Schalleindringung in den Meeresboden wegen der Strahlgeometrie des PARASOUND-Systems nicht möglich war.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit galt dem Einfluß der Sedimenteigenschaften auf die akustische Rückstreuung. Hier wurde der Einfluß der Korngröße, der Dichte, der Porosität und des Wassergehaltes untersucht.

Bei der Betrachtung der Korngrößen fällt unter Hinzunahme des Shepard-Diagramms ein kontinuierlicher Verlauf von großen zu kleinen Sedimentbestandteilen im Golum Channel *gc1* auf. Die Verteilung innerhalb des Diagrammes entspricht dem Sedimentierungsprozess eines Rutschungskanals. In der Korngrößenverteilung ist kein Hinweis auf Übereinstimmungen in den zwei Bereichen unterschiedlicher Rückstreuintensität zu finden. Weder bei den schwach noch bei den stärker rückstreuenden

Abschnitten ließ sich ein Zusammenhang zur Korngröße herstellen. Dagegen ließen sich aber bei den Korngrößen der beiden oberen Sektoren und bei den beiden unteren Sektoren Übereinstimmungen feststellen.

Auch der Verlauf der Dichtewerte und der Porositätsanteile entspricht dem, was von einem klassischen Rutschungskanal erwartet wird. Hier sind ebenfalls keine Übereinstimmungen in den beiden gleich rückstreuenden Bereichen zu erkennen.

Der prozentuale Wassergehalt hängt von der Korngröße und der Porosität ab. Gerade beim Wassergehalt war im Voraus ein Zusammenhang mit der akustischen Rückstreuung erwartet worden. Aber auch hier ist nichts Auffälliges festzustellen.

Die akustische Impedanz ist neben der Oberflächenbeschaffenheit und des Einfallswinkels die dritte wichtige Einflussgröße auf die akustische Rückstreuung. Da aus technischen Gründen keine eigene Schallgeschwindigkeitsbestimmung in den Multicorer-Kernen vorgenommen werden konnte, musste für die Berechnung des Impedanzkontrastes auf Näherungswerte der Fachliteratur zurückgegriffen werden. Die verwendeten Proben stammen aus anderen Seegebieten und wurden unter Laborbedingungen untersucht. Die Schallgeschwindigkeiten sind deshalb als Richtwerte zu betrachten.

Bei dieser Berechnung, die als Beispiel dient, ist ein großer Sprung in der obersten Schicht, dem Übergang von Wasser zu Sediment, festzustellen. Der Rückstreugrad errechnet sich aus dem Verhältnis der Impedanz zweier nebeneinanderliegender Schichten. Abhängig von der spezifischen Schallgeschwindigkeit einer Sedimentschicht, ergibt sich ein positiver (langsam -> schnell) oder ein negativer (schnell -> langsam) Rückstreugrad. Aber auch hier ist keine Übereinstimmung zwischen der Impedanz oder dem Rückstreugrad mit der akustischen Rückstreuung zu finden.

Eine Änderung der Rückstreuung konnte auch im Impedanzkontrast der untersuchten Sedimente wiedergefunden werden. Hier weisen die stärker rückstreuenden Abschnitte in den oberen Bereichen der Sedimentproben einen hohen Impedanzkontrast auf, die oberen Sedimentschichten schwächer rückstreuender Abschnitte einen geringen Impedanzkontrast. Die Grenzschicht zwischen Wasser und Sediment zeigt immer einen hohen Kontrast. Inwiefern ausschließlich diese dünne Sedimentschicht die akustische Rückstreuung beeinflusst, konnte nicht abschließend geklärt werden, die Übereinstimmung ist aber auf jeden Fall auffällig. Das Ergebnis wurde mit den theoretischen Werten der Fachliteratur erzielt. Geht man jedoch von einem ähnlichen Werteverhältnis der tatsächlichen Proben aus, so kann das Resultat wohl auch auf den Gollum Channel übertragen werden.

Die Übereinstimmung des Impedanzkontrastes mit den Rückstreuwerten ist groß. Dennoch ist der einzige in dieser Arbeit gefundene nachweisliche Zusammenhang zwischen akustischer Rückstreuung und den Eigenschaften des Kanals die Oberflächenbeschaffenheit. Die Differenzen an der Grenzschicht von Wasser und Meeresboden haben sicherlich einen nicht unerheblichen Einfluss auf die markanten

Unterschiede in der Rückstreuung. Für diese These kann ich mich aber nur auf die wenigen vorliegenden Aufnahmen des Multicorers beziehen. Die Oberflächenbeschaffenheit, soweit man sie erkennen kann, weicht in den Standbildern des ROVs VICTOR in einigen Bereichen von denen des Multicorers ab. Die Auflösung der MUC-Bilder erschien mir aber besser, so dass ich mich bei dieser Einschätzung auf das Bildmaterial des Multicorers stütze.

Auf jeden Fall muß berücksichtigt werden, dass nur Sedimentproben der obersten 30 Zentimeter vorliegen. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass akustische Schallsignale einige Meter in den Meeresboden eindringen können. Zwar habe ich versucht diesen Mangel auszugleichen, indem ich die PARASOUND-Profile herangezogen habe um so zumindest markante Schichtwechsel zu erkennen, eine Auswertung von Sedimentproben kann dies aber nicht ersetzen.

Die gefundenen Übereinstimmungen in den Ergebnissen des akustischen Impedanzkontrastes basiert auf theoretischen Sedimentschallgeschwindigkeitsmessungen, die der Fachliteratur entnommen wurden. Der so gefundene Zusammenhang zwischen dem Impedanzkontrast der Sedimentproben und der akustischen Rückstreuung zeigt sich in einem hohen Kontrast bei stark rückstreuenden Kanalabschnitten und in einem geringeren Impedanzkontrast in schwächer rückstreuenden Sektoren.

## 9 Ausblick

Die Mehrzahl der in dieser Arbeit verwendeten Daten wurden in den knapp vier Monaten für die Diplomarbeit zur Verfügung stehenden Zeit ausgewertet und analysiert. Einige der angesprochenen Themengebiete konnten deshalb lediglich fachlich angeschnitten werden. Um sich beispielsweise in das komplexe Gebiet der akustischen Rückstreuung einzuarbeiten, bedarf es viel mehr Zeit. Auch das umfangreiche Themengebiet der Sedimentechographie konnte nur kurz behandelt werden. So wurden in einigen Fällen bereits bestehende technische Systeme und Softwareprogramme angewandt, ohne tiefer auf die dahinterstehende theoretische Grundlagen eingehen zu können.

Für eine genauere Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche und der zu bildende Sedimente und der Rückstreuung müssen wesentlich mehr Informationen vorliegen. Eine gleichmäßigere Verteilung von Multicorer-Stationen innerhalb des Kanals wäre nötig und vorhandene Sedimentproben von außerhalb als Referenz für die Kanaldaten müssen noch einbezogen werden. Vor allem reichen Sedimentproben der oberen 30 Zentimeter nicht aus, um den Einfluss der Sedimenteigenschaften nachweisen zu können. Empfehlenswert wären Proben aus den oberen ein bis zwei Metern des Kanalbodens.

Um den Einfluß der Oberfläche auf die Rückstreuung zu klären, ist neben den Videoaufzeichnungen eine höherauflösende Bathymetrie sinnvoll. Diese Daten liegen in Form der Mikrobathymetrie des ROVs VICTOR 6000 bereits vor. Sie wurden ebenfalls während der Expedition ARK-XIX/3 in mehreren kleinen Meßprofilen innerhalb des Kanals an einigen Stellen aufgezeichnet. Aus Zeitgründen konnte diese aufwendige Bearbeitung aber noch nicht realisiert werden. Eine hochauflösende Karte des Gollum Channels *gc1* sollte der nächste Schritt der Untersuchung sein.

Des Weiteren sollte versucht werden, ob man mit Hilfe der Zeitspanne der akustischen Echos auf die Eindringtiefe in das Sediment schließen kann.

In der Fachliteratur sind bereits vielversprechende Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen beschrieben worden. Um die dort gesammelten Erfahrungen nutzen zu können, ist mehr Zeit erforderlich, als im Rahmen einer Diplomarbeit zur Verfügung steht.

# 10 Zusammenfassung

Das Gollum Channel System mit dem untersuchten Kanal *gc1* liegt in der Porcupine Bucht südwestlich vor Irland. Während der ersten Messung im Jahr 2000 (ANT-XVII/4) fielen vier Kanalabschnitte mit markanten Rückstreuungen ins Auge. Diese Bereiche weisen eine abwechselnd starke und schwache Rückstreuintensität auf. Da der Schwerpunkt der Expedition ANT-XVII/4 auf der Erforschung der *carbonate mounds* lag, wurde eine genauere Untersuchung des Kanals während der Expedition ARK-XIX/3 (2003) nachgeholt. Mit dieser zweiten Messung wurden die vier unterschiedlich rückstreuenden Sektoren bestätigt. Zusätzlich wurden Sedimentproben entnommen und Videos der Meeresbodenoberfläche aufgezeichnet.

Die vier Abschnitte des Gollum Channels *gc1* wurden von unten nach oben (von West nach Ost) mit *gc1-1* bis *gc1-4* bezeichnet. Die Abschnitte *gc1-1* und *gc1-3* sind stärker rückstreuend, die Abschnitte *gc1-2* und *gc1-4* schwächer rückstreuend.

Zu Beginn der Diplomarbeit wurde von einem relativ großen Einfluss der Sedimenteigenschaften auf die akustische Rückstreuung ausgegangen, da eine erste visuelle Beurteilung der vorliegenden Daten (insbesondere der Multicorer-Videos) auf eine einheitliche Oberflächenbeschaffenheit im Gollum Channel *gc1* hinwies. Aufgrund dieses ersten Eindrucks wurde das Thema meiner Arbeit gewählt.

In den knapp vier Monaten, die mir für meine Diplomarbeit zur Verfügung standen, konnte ich auf eine abgeschlossene Bearbeitung der Sedimentproben zurückgreifen<sup>1</sup>. Für den weiteren Ablauf war nun eine Bearbeitung der Rückstreuwerte der Expeditionen ANT-XVII/4 und ARK-XIX/3 und eine Nachbearbeitung der Videos von Multicorer und VICTOR 6000 erforderlich. Außerdem mussten die PARASOUND-Daten eingelesen und die Kanalabschnitte extrahiert werden.

Eine genaue Analyse der Sedimentproben war die Grundlage aller weitergehenden Betrachtungen. Als zweiter Schritt erfolgte eine Bearbeitung der vorliegenden bathymetrischen Daten, insbesondere der akustischen Rückstreuwerte. Hier wurden die Messungen beider Expeditionen gegenübergestellt und besonders die Unterschiede der vier Kanalabschnitte sowie die Bereiche um die acht Multicorer-Stationen untersucht. Bevor ein Zusammenhang mit den Sedimenteigenschaften

---

<sup>1</sup>Die Bearbeitung der Sedimentproben führte ich während meines Praxissemesters am AWI im Wintersemester 2003/2004 durch. Zu diesem Zeitpunkt war eine grundlegende Untersuchung des Kanals *gc1* nicht angedacht. Die Sedimentproben sollten lediglich bearbeitet und archiviert werden.

---

hergestellt werden konnte, wurde die Oberflächenbeschaffenheit des Kanalbodens sowie die Schichtung im Kanal überprüft. Dies geschah durch eine genaue Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit mittels der aufgezeichneten Bodenvideos sowie einer Analyse der PARASOUND-Profile, die während der ersten Expedition ANT-XVII/4 aufgezeichnet wurden.

Die Auswertung der akustischen Rückstreuung erfolgte in mehreren Schritten. Sämtliche bathymetrischen Informationen liegen im sogenannten Dux-Format vor. In diesem Datensatz sind auch alle relevanten Werte für die Berechnung der akustischen Rückstreuung aufgezeichnet, wie beispielsweise Sendeintensität, Schalllaufzeit und Amplitude. Um vergleichbare Werte zu erhalten, wurden die berechneten Rückstreuwerte um den Einfallswinkel auf die wahre Geländeoberfläche korrigiert, so dass nun eine normierte Rückstreuung als Ergebnis vorliegt. Da die Genauigkeit und auch die Intensität akustischer Signale vom Auftreffwinkel und von der Beamnummer<sup>2</sup> abhängen, muss die Richtung der Messprofile beider Expeditionen miteinander verglichen werden. Die Profile der Expedition ANT-XVII/4 verlaufen quer zum Kanal mit einer guten Überdeckung, die Profile der Expedition ARK-XIX/3 hingegen verlaufen längs des Kanals. An einigen Stellen wird der Meeresboden nur von den äußeren Beams des Fächerecholotes beschallt. Um die Verteilung der PFBs besser darstellen zu können, wurden die Rückstreudaten in das Geoinformationssystem ArcGis eingelesen und dargestellt. Die vier Kanalabschnitte wurden als Begrenzungspolygon festgelegt und die acht Multicorer-Stationen mit jeweils einer 1000m-Pufferzone umgeben. Polygone wie Pufferzonen wurden mit den Rückstreuwerten verschnitten. Die dadurch entstandenen Wertetabellen wurden ausgelesen und im Programm GMT graphisch nach Backbord- und Steuerbordbeams anhand ihrer Beamnummer dargestellt. Aus den in ArcMap extrahierten Daten (durch Verschneidung) lassen sich in GMT Diagramme erstellen. Von besonderem Interesse ist das Verhältnis vom Einfallswinkel zur Rückstreuung. Beide Informationen sind in den *Attribut-Tabellen* des GIS abgespeichert. Mit Hilfe der Software GMT lassen sich die Rückstreuinformationen zusammenfassen und als ausgleichende Gerade darstellen. So können die vier Sektoren einander gegenübergestellt und verglichen werden. Dasselbe wird auch mit den Bereichen um die Multicorer-Stationen gemacht. Stellt man die Diagramme mit ihren ausgleichenden Geraden gegenüber, so können die verschiedenen Bereiche des Gollum Channels *gc1* beschrieben werden. Aus den vorliegenden zusammengefassten Datensätzen können die Mittelwerte sowie die Neigungen der ausgleichenden Geraden berechnet werden. Werden diese Ergebnisse in einer Tabelle gegenübergestellt, kann ein Zusammenhang zwischen den Kanalabschnitten, den Bereichen um die Multicorer-Stationen und ihrer Lage im Kanal beschrieben werden. Abschließend wurden die beiden Expeditionen gegenübergestellt. Hier zeigten sich kleine Unterschiede in der Intensität der rückgestreuten Strahlen. Die Neigung, also der Zusammenhang von Rückstreuung, Ein-

---

<sup>2</sup>Bei einem Öffnungswinkel des Echolotes von 90° und 59 *Preformed Beams* (PFB) ist der Einfallswinkel der äußeren Strahlen auf den Meeresboden sehr flach.

---

fallswinkel und Oberflächenbeschaffenheit, war in den meisten Fällen sehr ähnlich.

Bevor ein Zusammenhang zwischen der akustischen Rückstreuung und den Sedimenteigenschaften hergestellt werden konnte, musste der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit und dem vertikalen Kanalaufbau des Gollum Channels bestimmt werden.

Dazu wurde eine genaue Beschreibung der Videostandbilder mit den Rückstreuintensitäten der zugehörigen Multicorer-Stationen verglichen. Hier entdeckte ich gewisse Übereinstimmungen der Oberflächenbeschaffenheit mit der Rückstreuung. In den Bereichen schwächerer Rückstreuung ist die Oberfläche glatter und einheitlicher, wogegen in den Bereichen stärkerer Rückstreuung die Oberfläche rauher und uneinheitlicher ist und vermehrt Löcher durch Bioturbation auftreten.

Bei der Beurteilung der PARASOUND-Profile ist mir kein Zusammenhang zwischen vertikaler Schichtung und akustischer Rückstreuung aufgefallen. Die Überdeckung des ursprünglichen Kanalbodens schwankt in allen Bereichen des Kanals zwischen 15 und 25 Metern, seitliche Rutschungen kommen ebenfalls in den meisten Sektoren vor.

Für die Beurteilung des Einflusses der Sedimenteigenschaften auf die akustische Rückstreuung wurden die Ergebnisse der sedimentologischen Beprobung herangezogen. Es wurden nacheinander die Korngröße, die Dichte, die Porosität und der Wassergehalt der Gesamtprobe mit der Rückstreuung verglichen.

Die Verteilung der Korngrößen in den acht Beprobungsstellen entspricht der klassischen Verteilung eines Rutschungskanals. Größere Sedimentteilchen setzen sich zuerst ab, leichtere Bestandteile vermehrt im unteren Bereich des Kanals. Zwischen den Kanalabschnitten ähnlicher Rückstreuintensität ist in ihrer Korngrößenverteilung kein Zusammenhang erkennbar. Die Sedimentierung innerhalb der Abschnitte *gc1-4* und *gc1-3* bzw. *gc1-2* und *gc1-1* ähneln sich mehr als die Abschnitte mit starker bzw. schwacher Rückstreuung. Dasselbe gilt auch für die Dichte, Porosität und Wassergehalt. Der prozentuale Anteil in den Proben entspricht den geologischen Erwartungen. Da die prozentualen Anteile von der Korngröße abhängen, ist auch hier kein Zusammenhang mit der Rückstreuung festzustellen.

Die Impedanz ist neben dem Einfallswinkel der Strahlen und der Rauigkeit der Oberfläche der dritte wichtige Faktor für die akustische Rückstreuung. Da mir nur die Dichte der Sedimentproben bekannt war, musste ich für die Bestimmung des Impedanzkontrastes Schallgeschwindigkeitswerte aus der Fachliteratur (Hamilton, 1982) übernehmen. Das Ergebnis der Berechnung ist eine große Übereinstimmung des Kontrastes mit der Rückstreuung. In Bereichen stärkerer Rückstreuung ist der Impedanzkontrast etwas höher, und umgekehrt. Da mir nur wenige Oberflächenproben zur Verfügung standen und der Kontrast mit Beispielwerten durchgerechnet wurde, kann ich einen Zusammenhang nicht endgültig bestätigen. Ich gehe aber davon aus, dass dieser Zusammenhang besteht.

---

Um eine Verbindung der Sedimenteigenschaften mit der akustischen Rückstreuung herzustellen, müssen vor allem tiefergehende Sedimentproben analysiert werden. Für diese Arbeit lagen nur Proben aus den oberen 30 Zentimetern vor, die bei einer Eindringtiefe akustischer Signale von einigen Metern nicht ausreichend sind. Auch sollte für eine weitere Betrachtung eine hochauflösende Bathymetrie herangezogen werden, um die Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit eventuell bestätigen zu können. Diese Informationen liegen in Form der Mikrobathymetrie des ROVs VICTOR 6000 vor und müssen noch bearbeitet werden.

# Literaturverzeichnis

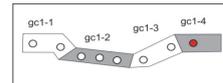
- Atlas-Elektronik (1993). Lastenheft für die entwicklung eines softwarepaketes zur berechnung der bodenstreumaßverteilung (backscatter-koeffizient). Technical report, Atlas Elektronik GmbH, Bremen, Germany.
- Büchschütz-Nothdurft, O. (1999 (unpublished)). *Entwicklung eines Ausgleichsalgorithmus' zur Verbesserung der Kreuzfächerkalibrierung des Fächercholotes HYDROSWEEP DS-2*. Master's thesis, Universität Hannover, Germany.
- Beyer, A. (2001). Hochauflösende bathymetrie am europäischen kontinentallhang. pages 1–7. Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.
- Beyer, A., Chakraborty, B., and Schenke, H. (2002). Multi-beam backscatter data to characterize the mound and channel provinces of the porcupine seabight - northeast atlantic margin.
- Christen, S. (1999). *Aufbearbeitung, Visualisierung und Interpretation einer bathymetrischen Vermessung im Süd Sandwich Tiefseeegraben*. Master's thesis, Fachhochschule Hamburg, Germany. unveröffentlicht.
- DeMol, B., Rensbergen, V., and Pillen, S. (2002). Large deep-water coral banks in the porcupine basin, southwest of ireland. *Marine Geology*, (188), 193–231.
- et al., H. W. (1988). Active diagenetic formation of metal-rich layers in n.e. atlantic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, pages 1557–1569.
- Guillon, L. and Lurton, X. (2001). Backscattering from buried sediment layers: The equivalent input backscattering strength model. *J. Acoust. Soc. Am.*, **109**(1), 122 – 132.
- Hamilton, E. and Bachman, R. (1982). Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, **72**, 1891–1904.
- Hastrup, O. (1989). Acoustic bottom reflectivity. Technical Report SR-115, SACLANT (Supreme Allied Commander Atlantic) Undersea Research Center, La Spezia, Italy.

- Iffland, A. (2004). *Aufbereitung und Visualisierung einer bathymetrischen Vermessung in Verbindung mit Seismogrammen der Sedimentechographie*. Master's thesis, HAW Hamburg. unveröffentlicht.
- Kenyon, N., Belderson, R., and Stride, A. (1987). Channels, canyons and slump folds on the continental slope between south-west ireland and spain. *Oceanol. Acta*, 1978, 1, 3, pages 369–380.
- Marineausbildung, M. (1990). *Buchprogramm für den programmierten Unterricht in Fach Geophysik - Meereskunde*. Marineamt Marineausbildung, Marineortungsschule, Bremerhaven.
- Mienert, J. and Weaver, P. (2003). *European Margin Sediment Dynamics*. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, Deutschland.
- Press, F. and Siever, R. (2003). *Allgemeine Geologie - Einführung in das System Erde*. Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier GmbH, München, 3. edition.
- Rice, A., Billet, D., and Thurston, M. (1991). The institute of oceanographic sciences biology programme in the porcupine seabight: background and general introduction. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 71, pages 281–310.
- Schenke, H. (1993). Fächersonarmessungen für geowissenschaftliche untersuchungen. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, (4), 171–187.
- Spieß, V. (1993). *Digitale Sedimentechographie - Neue Wege zu einer hochauflösenden Akustostratigraphie*. unveröffentlichte dissertation, Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften.
- Tudhope, A. and Scoffin, T. (1995). Processes of sedimentation in gollum channel, porcupine seabight: submersible observations and sediment analyses. *Transactions of the Royal Society of Edinborough: Earth Sciences*, 86, pages 49–55.
- Urban, H. (2002). *Handbuch der Wasserschalltechnik*. STN Atlas Elektronik GmbH, Bremen, Deutschland, 2. edition.
- Urick, R. (1983). *Principles of Underwater Sound*. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 3. edition.
- Völker, D. (2005). Meeresgeologie im internet - online-nachschlagewerk zur meeresforschung. URL: <http://www.meeresgeo-online.de> (15.04.2005). FU-Berlin.
- Wheeler, A., Limonov, A., and Kenyon, N. (1998). Orectech sidescan sonar data of the northern porcupine seabight. *UNESCO IOC 52*, pages 40–54.
- [www.matheboard.de](http://www.matheboard.de) (2004). Suchstichwort dezibel. URL: <http://www.matheboard.de> (09.11.2004).

# A Datenblätter



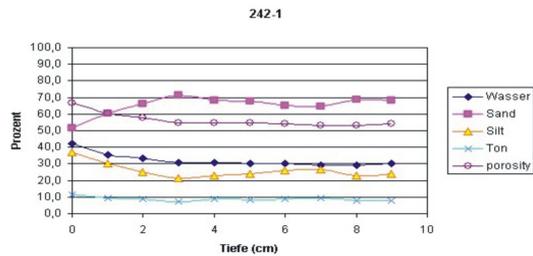
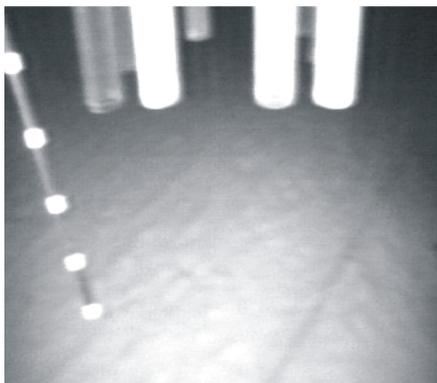
PS64/242-1  
gc1-4



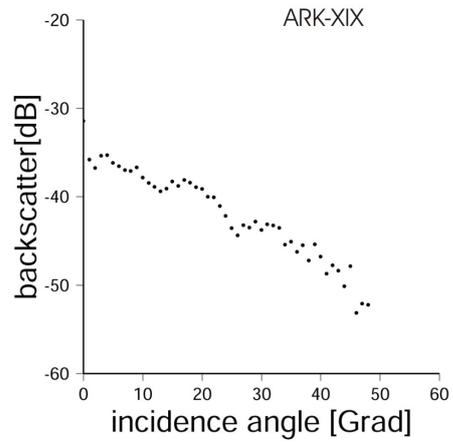
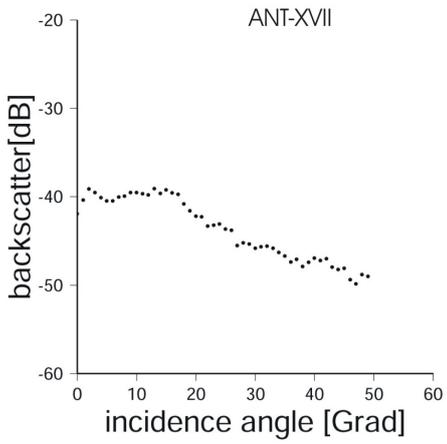
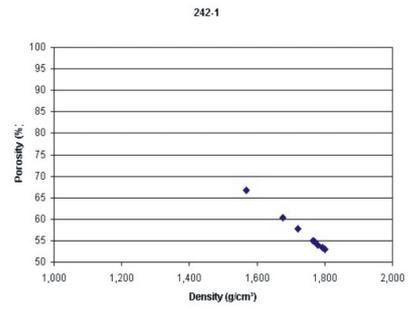
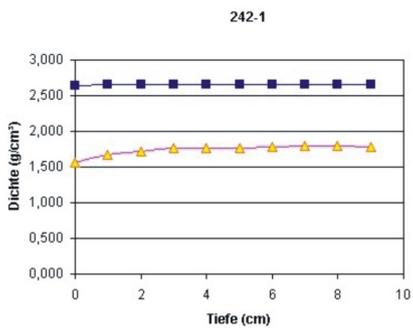
50° 43,99' N      011° 15,69' W  
WT 1092 m

Kernbeschreibung:

Die Probe PS64/242-1 reicht nur 10cm in die Tiefe. Der Sandanteil liegt an der Oberfläche bei 52%, nimmt auf 71% in 4cm Tiefe zu und bewegt sich bis 10cm Tiefe zwischen 64% und 69%. Die Kurve des Silt-Anteils läuft nahezu gespiegelt. Beginnend mit 37% nimmt sie bis zur Tiefe von 4cm auf 21% ab um sich in den letzten cm zwischen 22% und 26% zu bewegen. Der Ton-Anteil schwankt in der ganzen Probe zwischen 7% und 12%, wobei der höchste Wert an der Oberfläche erreicht wird.

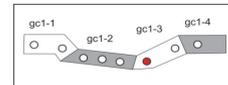


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm³]	WBD [g/cm³]	Porosity [%]
150	PS64/242-1	0-1	42,0	51,5	37,0	11,5	2,643	1,589	66,717
151		1-2	35,7	60,2	30,3	9,5	2,656	1,675	60,444
152		2-3	33,1	66,2	24,9	8,9	2,659	1,721	57,696
153		3-4	30,7	71,4	21,2	7,4	2,654	1,764	54,882
154		4-5	30,6	68,2	22,8	9,1	2,658	1,769	54,742
155		5-6	30,4	67,8	24,0	8,2	2,658	1,772	54,540
156		6-7	30,0	64,9	26,3	8,9	2,655	1,779	54,032
157		7-8	29,1	64,4	26,5	9,2	2,660	1,799	52,926
158		8-9	29,4	69,0	23,1	8,0	2,661	1,793	53,295
159		9-10	30,0	68,2	24,0	7,8	2,657	1,780	54,003





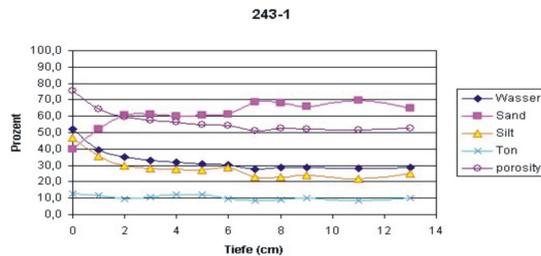
**PS64/243-1**  
gc1-3



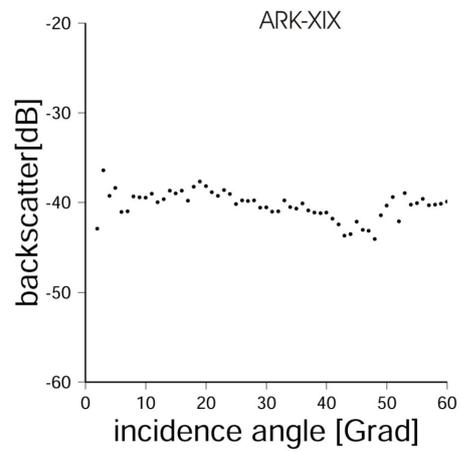
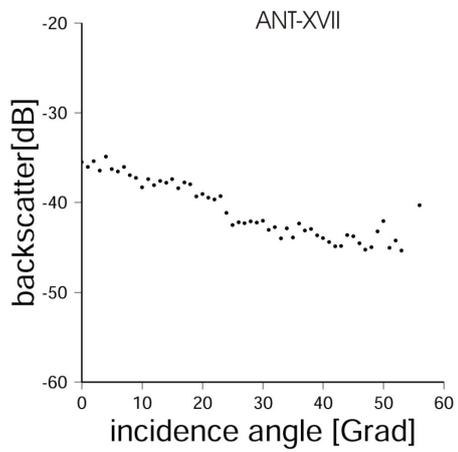
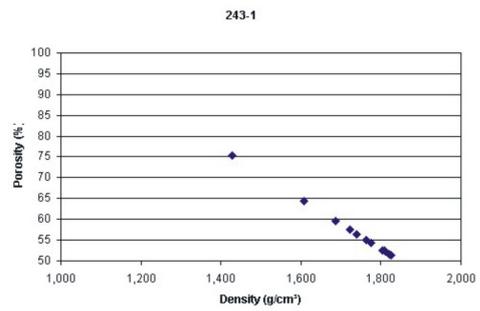
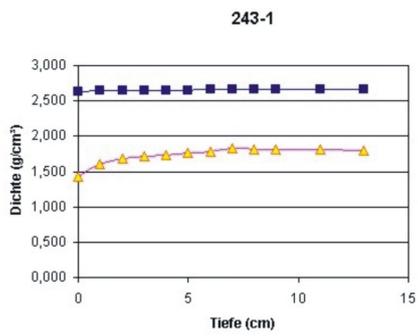
50° 42,62' N      11° 19,24' W  
WT 1341 m

Kernbeschreibung:

Wie schon in den vorangegangenen Proben verlaufen auch bei der Probe PS64/243-1 die Kurven von Sand und Silt gegenläufig. Der Sand-Anteil liegt bei 40% an der Oberfläche, nimmt auf 61% in 3cm Tiefe zu und bewegt sich bis zum unteren Ende des Kerns in 15cm Tiefe zwischen 60% und 70%. Der Silt-Anteil liegt an der Oberfläche bei 47% und nimmt auf etwa 30% in 3cm Tiefe ab, und bewegt sich in den letzten cm zwischen 22% und 29%. Auffallend ist eine Spreizung der Sand- und Silt-Kurve ab einer Tiefe von 6cm. Der Sand-Anteil steigt hier von 61% auf 68%, der Silt-Anteil fällt von 29% auf 23%. Der Ton-Anteil hat auch in dieser Probe einen nahezu konstanten Kurvenverlauf um die 10% (Schwankungen zwischen 8% und 13%).

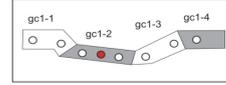


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm³]	WBD [g/cm³]	Porosity [%]
160	PS64/243-1	0-1	52,1	40,0	47,0	13,0	2,636	1,429	75,308
161		1-2	39,6	52,4	35,7	12,0	2,650	1,608	64,429
162		2-3	34,9	60,9	29,6	9,5	2,652	1,687	59,609
163		3-4	33,0	61,4	28,1	10,5	2,654	1,722	57,507
164		4-5	32,1	60,1	27,8	12,1	2,655	1,739	56,486
165		5-6	30,8	60,6	27,3	12,1	2,655	1,763	55,009
166		6-7	30,2	61,3	29,0	9,8	2,658	1,776	54,283
167		7-8	27,7	68,4	23,0	8,6	2,661	1,826	51,274
168		8-9	28,6	67,9	22,8	9,3	2,664	1,810	52,399
169		9-10	28,5	66,1	23,9	10,0	2,662	1,812	52,219
170		11-12	28,0	69,8	21,9	8,3	2,657	1,820	51,584
171		13-14	28,8	64,8	25,0	10,2	2,659	1,804	52,618





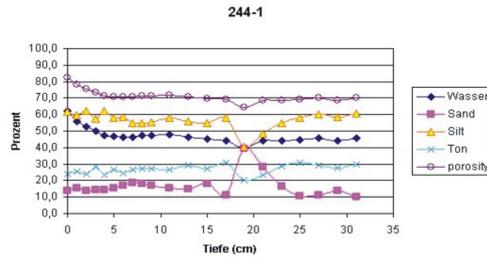
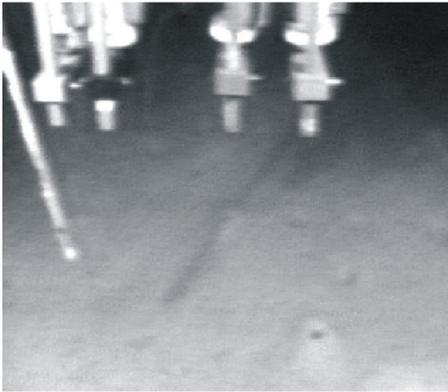
**PS64/244-1**  
gc1-2



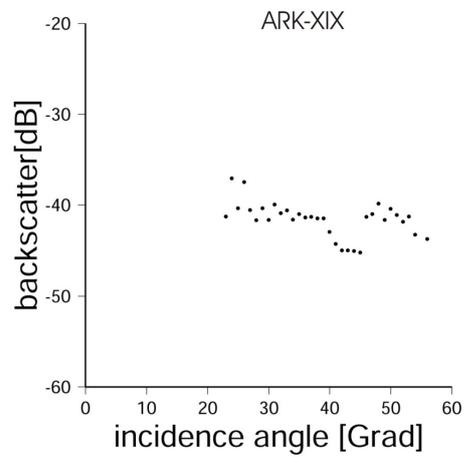
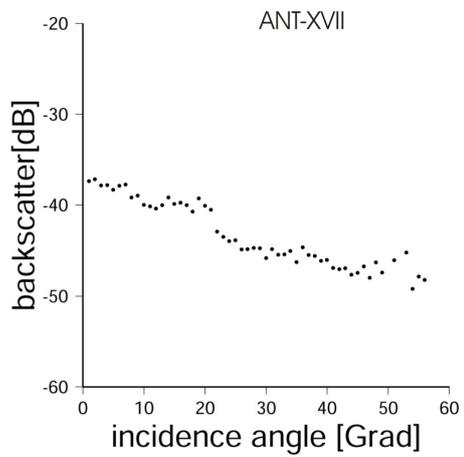
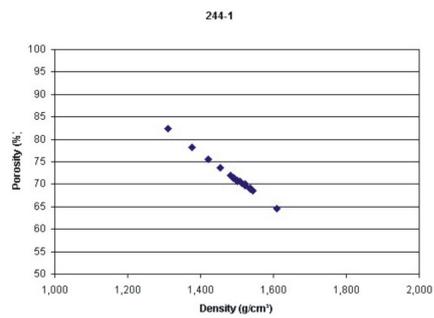
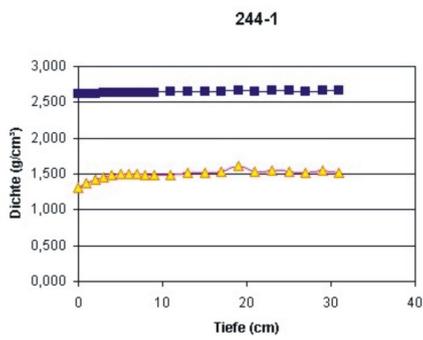
50° 42,45' N      11°22,32' W  
WT 1522 m

**Kernbeschreibung:**

Im Gegensatz zu den bisherigen Proben verlaufen bei PS64/244-1 (33cm Länge) alle drei Kurven bis in eine Tiefe von 15cm nahezu parallel: Sand um 15%, Silt um 67% und Ton um 25%. In einer Tiefe von 19cm haben die Sand- wie auch die Silt-Kurve eine Spitze. Der Sand-Anteil nimmt von 11% auf 40% zu, um anschließend langsam wieder auf ein Niveau von etwa 12% zu fallen. An gleicher Stelle (19cm) hat die Silt-Kurve einen deutlichen Einbruch (von 58% auf 41%) um danach wieder langsam anzusteigen. Der Ton-Anteil verhält sich wie der Silt-Anteil, nur dass der Einbruch mit 11% (von 31% auf 20%) geringer ausfällt.

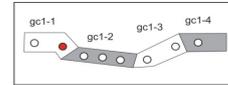


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm <sup>3</sup> ]	WBD [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosity [%]
172	PS64/244-1	0-1	62,1	14,0	61,9	24,1	2,613	1,311	82,391
173		1-2	56,1	15,2	59,5	25,3	2,614	1,378	78,191
174		2-3	52,5	13,8	62,3	24,0	2,625	1,422	75,547
175		3-4	50,1	14,2	57,5	28,2	2,627	1,453	73,620
176		4-5	47,3	14,6	62,0	23,4	2,635	1,491	71,413
177		5-6	46,6	15,6	58,0	26,4	2,633	1,501	70,779
178		6-7	46,5	17,1	58,6	24,3	2,634	1,502	70,705
179		7-8	46,5	18,8	54,6	26,5	2,635	1,502	70,719
180		8-9	47,3	17,9	54,8	27,4	2,638	1,491	71,445
181		9-10	47,4	17,2	55,5	27,2	2,632	1,490	71,446
182		11-12	48,0	15,5	58,1	26,4	2,641	1,483	72,017
183		13-14	46,2	15,0	55,8	29,2	2,649	1,508	70,589
184		15-16	45,2	17,9	54,9	27,2	2,647	1,522	69,682
185		17-18	44,4	11,4	57,8	30,8	2,652	1,536	68,962
186		19-20	39,7	39,5	40,6	20,0	2,658	1,609	64,599
187		21-22	44,3	28,3	48,2	23,5	2,650	1,537	68,867
188		23-24	43,9	16,6	54,6	28,8	2,658	1,544	68,599
189		25-26	44,5	10,9	58,2	30,9	2,660	1,536	69,125
190		27-28	45,8	11,1	59,9	29,0	2,648	1,514	70,235
191		29-30	44,2	13,9	58,4	27,7	2,660	1,540	68,830
192		31-32	45,5	9,9	60,4	29,7	2,666	1,522	70,103





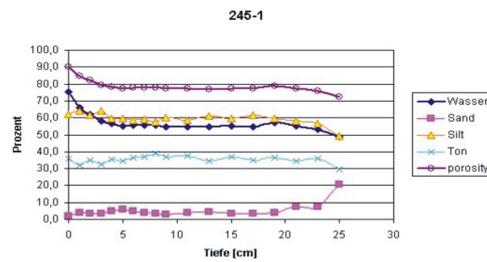
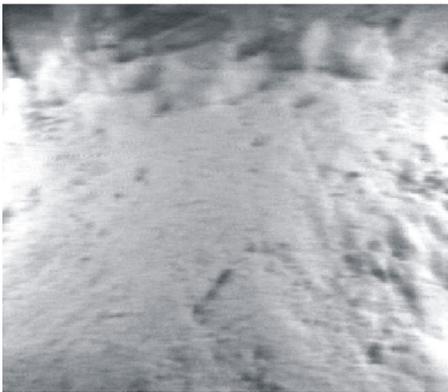
**PS64/245-1**  
gc1-1



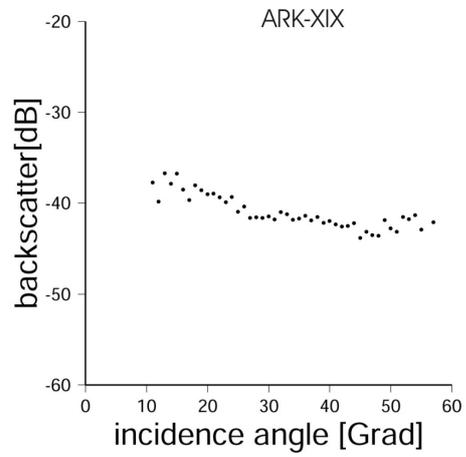
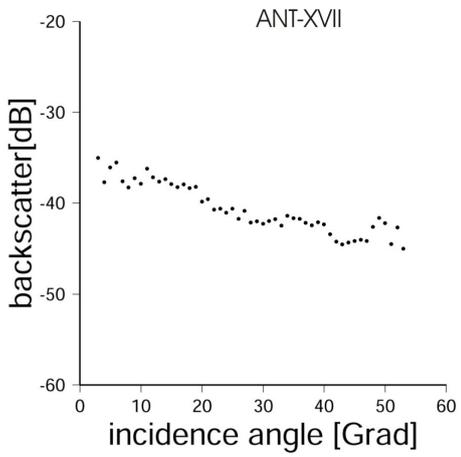
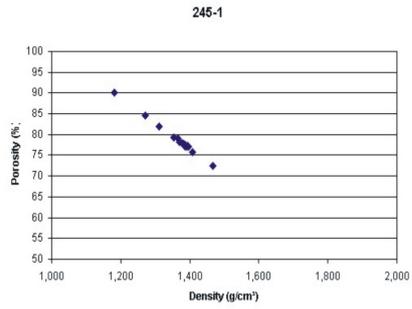
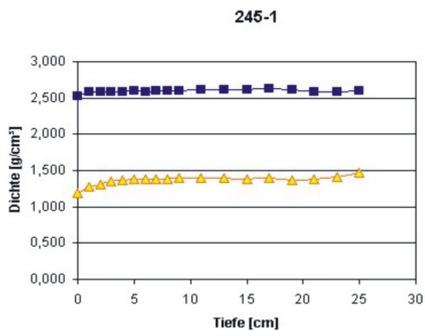
50° 42,17' N      11°26,07' W  
WT 1674 m

**Kernbeschreibung:**

Die Kurven der Probe PS64/245-1 (25cm Länge) haben durchweg einen parallelen Verlauf. Der Sand-Anteil bewegt sich zwischen 2% und 6%, der des Silts liegt zwischen 64% und 60%, und der Ton-Anteil liegt bei 35%. Erst ab einer Tiefe von 19cm bewegt sich die Sand-Kurve auf 21%, die Silt-Kurve fällt auf 50% ab und die Ton-Kurve hat ebenfalls einen leichten Fall auf 30%.

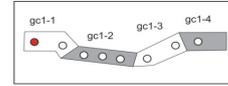


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm³]	WBD [g/cm³]	Porosity [%]
193	PS64/245-1	0-1	75,3	2,1	61,9	36,0	2,530	1,181	90,034
194		1-2	65,8	4,0	64,0	32,0	2,586	1,271	84,617
195		2-3	61,8	3,7	61,6	34,8	2,584	1,311	82,046
196		3-4	57,9	3,5	63,8	32,7	2,583	1,353	79,286
197		4-5	56,5	4,9	59,5	35,6	2,587	1,370	78,272
198		5-6	55,0	5,9	59,7	34,5	2,598	1,388	77,260
199		6-7	55,9	4,8	58,7	36,6	2,591	1,377	77,873
200		7-8	55,6	4,0	59,0	36,9	2,598	1,382	77,704
201		8-9	55,5	3,6	57,7	38,8	2,597	1,382	77,865
202		9-10	54,8	3,1	60,0	36,9	2,600	1,391	77,110
203		11-12	54,6	3,9	58,5	37,6	2,619	1,395	77,146
204		13-14	54,5	4,2	61,1	34,7	2,618	1,397	77,039
205		15-16	55,2	3,4	59,8	36,8	2,607	1,387	77,502
206		17-18	54,7	3,2	61,6	35,1	2,624	1,395	77,266
207		19-20	57,2	4,2	59,4	36,4	2,616	1,365	78,986
208		21-22	55,0	7,2	58,4	34,4	2,577	1,386	77,098
209		23-24	53,2	7,5	56,5	36,0	2,590	1,408	75,869
210		25-26	48,8	20,8	49,5	29,7	2,603	1,466	72,402





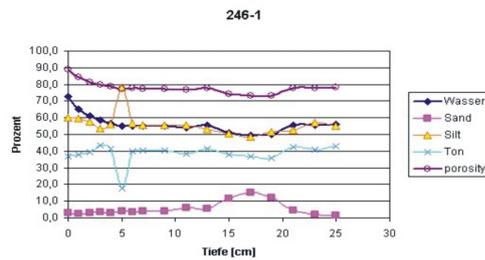
**PS64/246-1**  
gc1-1



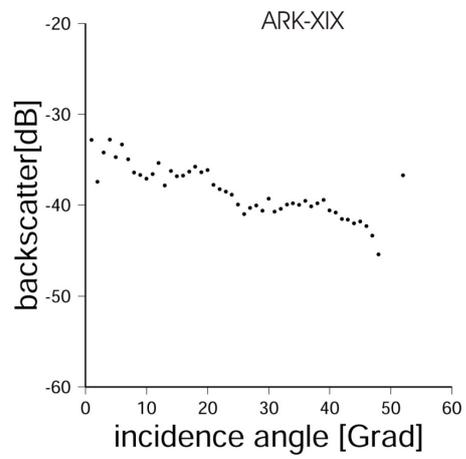
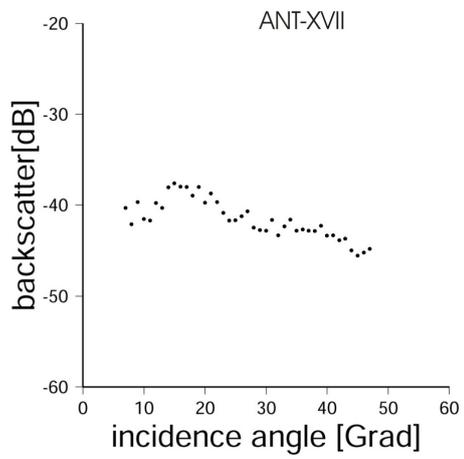
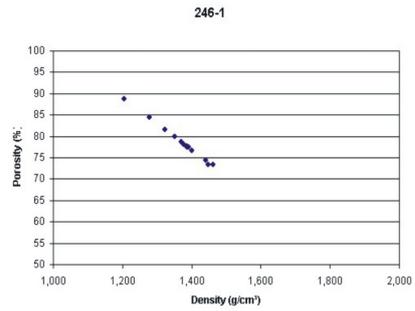
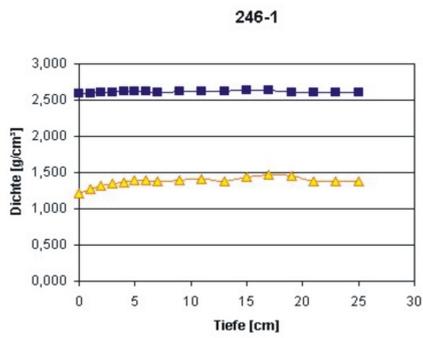
50° 42,32' N      11°28,13' W  
WT 1730 m

Kernbeschreibung:

Der Verlauf in der Probe PS64/246-1 ähnelt dem der Probe 245-1. Auffallend ist der Ausreißer in der Tiefe von 5cm in der Silt- und Ton-Kurve. Der Sand-Anteil steigt stetig von 3% auf 6% in 13cm Tiefe. Dann steigt die Kurve auf 15% in 17cm an um wieder in einem sinusförmigen Verlauf auf 2% abzunehmen. Silt und Ton haben einen nahezu parallelen Verlauf. Der Startwert beim Silt liegt bei 60%, der des Tons bei 37%. In 5cm Tiefe hat die Silt-Kurve einen Ausreißer auf 78%, die des Tons einen Einbruch auf 18%.

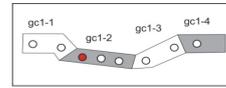


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm <sup>3</sup> ]	WBD [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosity [%]
211	PS64/246-1	0-1	72,7	2,8	60,1	37,1	2,585	1,206	88,796
212		1-2	65,2	2,7	59,7	37,7	2,597	1,277	84,346
213		2-3	60,9	2,8	57,5	39,6	2,605	1,323	81,538
214		3-4	58,4	3,3	53,5	43,2	2,610	1,351	79,844
215		4-5	56,8	2,8	56,0	41,2	2,615	1,370	78,696
216		5-6	55,1	3,9	78,4	17,7	2,615	1,389	77,506
217		6-7	55,2	3,5	56,3	40,1	2,617	1,388	77,552
218		7-8	55,2	4,1	55,7	40,2	2,600	1,386	77,444
219		9-10	54,9	4,3	55,3	40,4	2,623	1,393	77,374
220		11-12	54,0	6,1	55,6	38,3	2,615	1,402	76,670
221		13-14	55,4	5,8	52,9	41,3	2,616	1,386	77,682
222		15-16	51,0	11,8	50,5	37,8	2,631	1,441	74,454
223		17-18	49,5	14,9	48,3	36,8	2,640	1,462	73,292
224		19-20	50,1	12,3	51,7	36,0	2,599	1,448	73,462
225		21-22	55,5	4,7	52,8	42,5	2,609	1,384	77,723
226		23-24	55,4	2,2	56,8	41,0	2,603	1,385	77,594
227		25-26	56,0	1,6	55,2	43,2	2,604	1,377	78,090





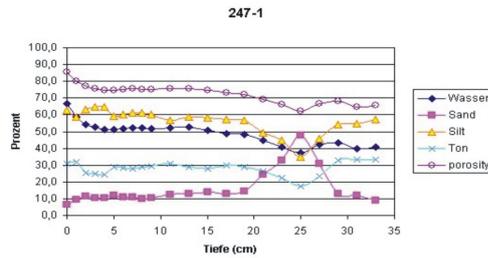
**PS64/247-1**  
gc1-2



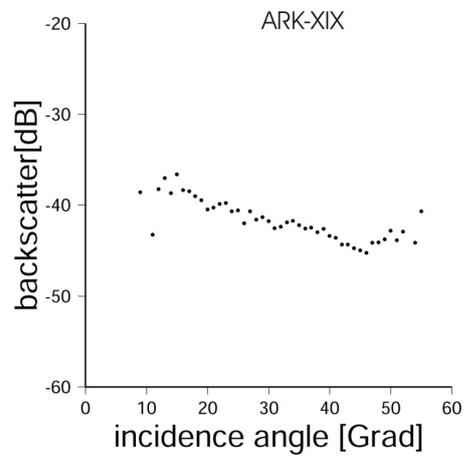
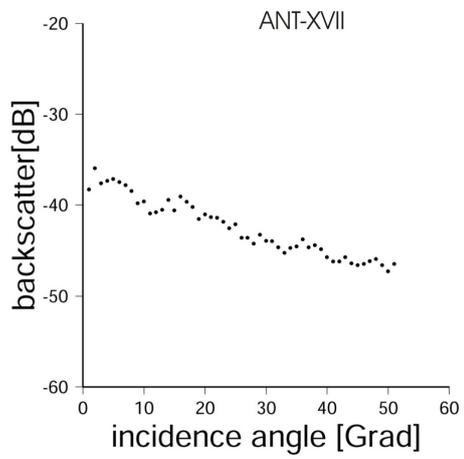
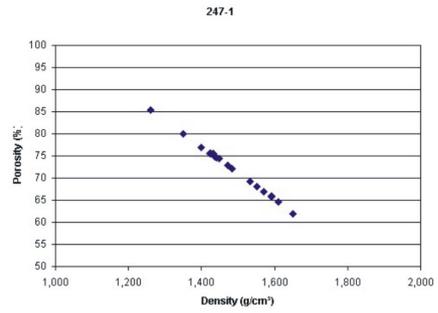
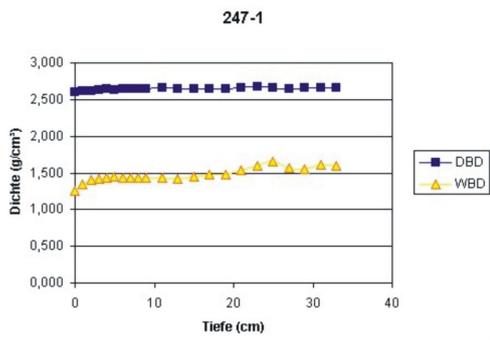
50° 42,15' N      11°24,10' W  
WT 1603 m

**Kernbeschreibung:**

Ähnlich zur vorangegangenen Probe, verlaufen auch bei PS64/247-1 (33cm Kernlänge) die Kurven. Der Sand-Anteil liegt bei 7% an der Oberfläche, nimmt bis in eine Tiefe von 19cm auf 15% zu um dann steil auf 48% (25cm) anzusteigen. In den letzten 8cm fällt der Wert wieder auf 9% ab. Der Silt-Anteil liegt an der Oberfläche bei 63%, nimmt auf 57% in 19cm ab und fällt bei 25cm auf 35% um dann in den letzten cm wieder stetig auf 58% zu steigen. Der Ton-Anteil liegt bei 31%, hat im Bereich zwischen 2cm und 4cm einen kleinen Abfall um 6%-Punkte und erreicht ebenfalls in einer Tiefe von 25cm seinen unteren Wendepunkt (17%) um anschließend wieder auf 34% anzusteigen.

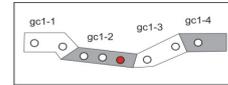


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm³]	WBD [g/cm³]	Porosity [%]
228	PS64/247-1	0-1	66,9	6,6	62,5	30,9	2,595	1,261	85,359
229		1-2	58,5	9,4	58,7	31,9	2,620	1,350	79,987
230		2-3	54,3	11,4	63,3	25,3	2,620	1,400	76,880
231		3-4	52,5	10,4	64,5	25,1	2,627	1,422	75,584
232		4-5	51,4	10,6	64,9	24,5	2,639	1,437	74,818
233		5-6	51,1	11,8	59,5	28,8	2,636	1,441	74,553
234		6-7	51,6	11,1	60,4	28,4	2,642	1,435	75,000
235		7-8	52,1	11,0	61,1	27,9	2,645	1,430	75,378
236		8-9	52,1	10,0	61,3	28,7	2,639	1,429	75,355
237		9-10	51,8	10,6	60,0	29,4	2,649	1,434	75,183
238		11-12	52,2	12,5	56,8	30,7	2,664	1,431	75,620
239		13-14	52,5	12,7	58,5	28,8	2,638	1,424	75,671
240		15-16	50,8	14,0	58,0	28,0	2,650	1,447	74,393
241		17-18	49,0	13,1	57,2	29,6	2,653	1,472	72,941
242		19-20	48,0	14,6	56,7	28,7	2,651	1,484	72,123
243		21-22	44,7	24,4	49,3	26,3	2,656	1,532	69,289
244		23-24	40,9	32,7	44,8	22,5	2,673	1,592	65,952
245		25-26	37,1	47,9	34,9	17,2	2,657	1,650	62,007
246		27-28	42,1	30,8	45,6	23,6	2,651	1,570	66,865
247		29-30	43,4	13,2	54,0	32,8	2,659	1,552	68,114
248		31-32	39,7	12,1	54,7	33,2	2,665	1,610	64,675
249		33-34	40,9	9,1	57,4	33,6	2,664	1,591	65,806





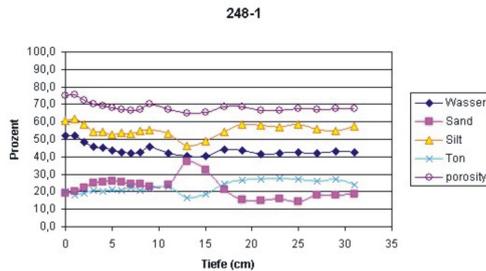
**PS64/248-1**  
gc1-2



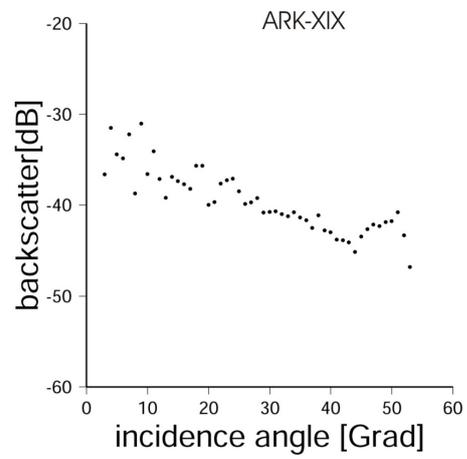
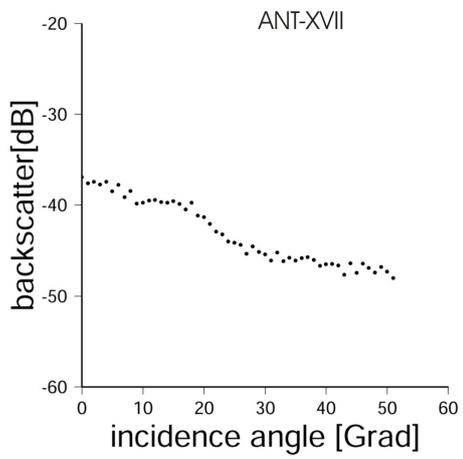
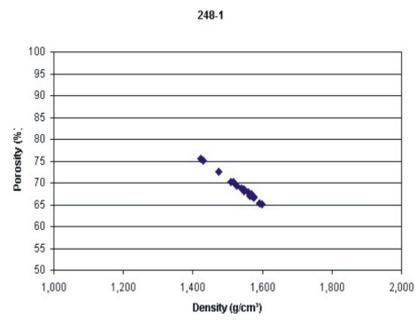
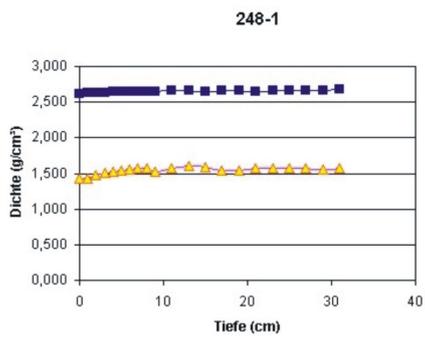
50° 42,46' N      11°21,07' W  
WT 1479 m

**Kernbeschreibung:**

Auch bei der Probe PS64/248-1 haben die Sand- und die Silt-Kurve einen symmetrischen Verlauf. Bei allen drei Kurven (Sand, Silt, Ton) ist in einer Tiefe von 13cm ein deutlicher Einbruch im Verlauf zu erkennen. Der Sand-Anteil liegt bei 19% an der Oberfläche, hat bis zu einer Tiefe von 5cm zunehmende Tendenz (26%), fällt dann leicht auf 23% ab um dann in einem markanten Anstieg einen Wert von 37% zu erreichen. Danach fällt der Sand-Anteil langsam erneut auf 15% (19cm) ab um sich bis zum Kernende in 33cm Tiefe zwischen 15% und 19% zu bewegen. Der Silt-Anteil liegt an der Oberfläche bei 61% und bewegt sich, von dem erwähnten Einbruch in 13cm Tiefe (46%) abgesehen in einem Bereich zwischen 50% und 58%. Wie auch in den vorangegangenen Proben bewegt sich auch hier der Ton-Anteil auf gleichem Niveau (zwischen 18% und 27%). In der Tiefe von 13cm fällt aber auch hier der Ton-Anteil um 6%-Punkte von 23% auf 17%.

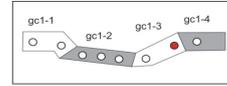


Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm³]	WBD [g/cm³]	Porosity [%]
250	PS64/248-1	0-1	51,9	19,2	60,6	20,2	2,617	1,429	75,012
251		1-2	52,4	20,2	61,8	17,9	2,625	1,423	75,468
252		2-3	48,6	22,1	58,6	19,3	2,635	1,474	72,453
253		3-4	45,9	24,8	54,3	20,9	2,632	1,510	70,186
254		4-5	45,0	25,4	54,3	20,3	2,643	1,526	69,404
255		5-6	43,5	26,0	52,8	21,2	2,647	1,548	68,107
256		6-7	42,5	25,5	53,5	21,0	2,642	1,562	67,126
257		7-8	41,8	24,4	53,4	22,2	2,655	1,575	66,614
258		8-9	42,3	24,6	54,8	20,6	2,654	1,567	67,089
259		9-10	45,7	22,7	55,6	21,7	2,651	1,516	70,152
260		11-12	42,2	23,8	53,4	22,8	2,660	1,569	67,048
261		13-14	40,3	37,1	46,2	16,7	2,658	1,600	65,158
262		15-16	40,6	32,5	49,1	18,4	2,646	1,592	65,389
263		17-18	44,2	21,1	54,5	24,4	2,657	1,540	68,815
264		19-20	43,8	15,3	58,2	26,4	2,660	1,546	68,475
265		21-22	41,7	15,0	58,0	26,9	2,651	1,575	66,495
266		23-24	41,9	15,7	56,9	27,4	2,663	1,575	66,752
267		25-26	42,4	14,5	58,3	27,2	2,668	1,568	67,313
268		27-28	42,2	18,1	55,8	26,1	2,655	1,569	67,002
269		29-30	43,0	18,0	55,0	27,0	2,665	1,559	67,785
270		31-32	42,5	18,7	57,5	23,8	2,671	1,567	67,430





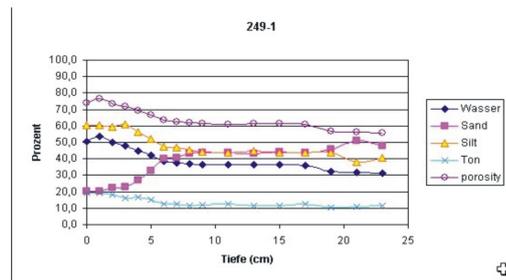
**PS64/249-1**  
gc1-3



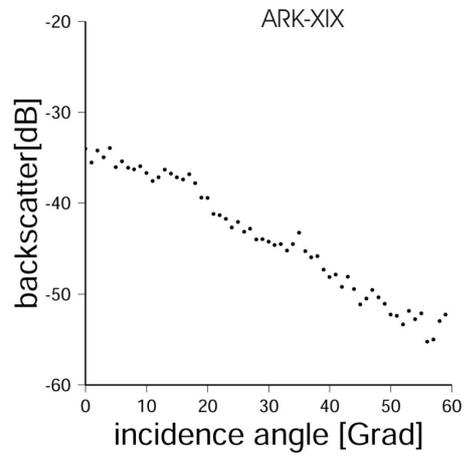
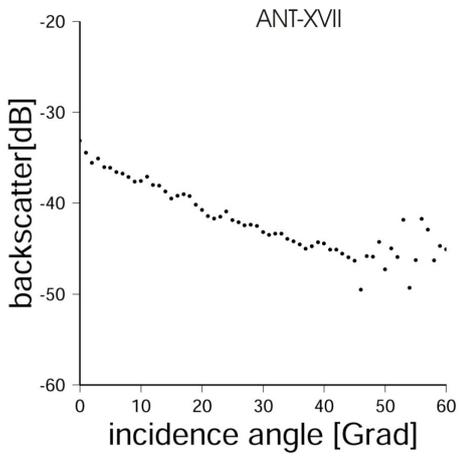
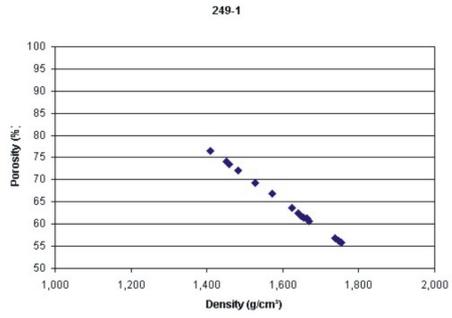
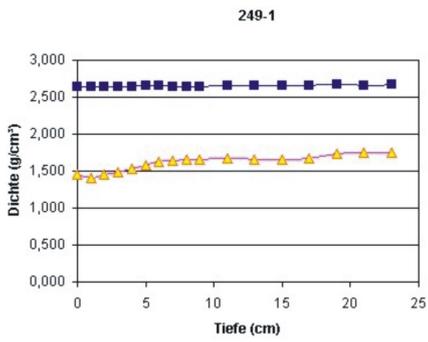
50° 43,78' N      11°17,54' W  
WT 1191 m

**Kernbeschreibung:**

Die Probe PS64/249-1 reicht 24cm in die Tiefe. Wie bei der Probe zuvor (PS64/242-1) verlaufen auch hier die Kurven des Sand- und des Silt-Anteils nahezu spiegel-erkehrt. Im Gegensatz zur Probe 242-1 ist der Silt-Anteil an der Oberfläche höher. Auffallend ist hier der starke Abfall (Silt) bzw. Anstieg (Sand) der Kurven. Der Sand-Anteil liegt an der Oberfläche bei 20% und nimmt auf 40% in der Tiefe von 6cm zu um sich bis in die Tiefe von 24cm nur unwesentlich zu ändern (Werte zwischen 40% und 45%). Erst am tiefen Ende der Probe steigt der Sand-Anteil auf 51% an. Der Beginn der Silt-Kurve liegt bei 61%, nimmt bis zur Tiefe von 6cm auf 45% ab und liegt bis zum Ende um die 45%. Erst der letzte Abschnitt (die letzten 6cm) zeigt noch mal eine kleine Abnahme auf 38%. Der Anteil des Tons liegt an der Oberfläche bei 19% nimmt in den ersten 8cm auf 11% ab und bewegt sich bis zum Ende um die 12%.



Nr.	Kern	Tiefe	H2O [%]	Sand [%]	Silt [%]	Ton [%]	DBD [g/cm <sup>3</sup> ]	WBD [g/cm <sup>3</sup> ]	Porosity [%]
272	PS64/249-1	0-1	50,4	20,3	60,6	19,1	2,644	1,451	74,049
273		1-2	53,7	20,2	60,6	19,2	2,633	1,408	76,562
274		2-3	49,8	22,5	59,2	18,3	2,635	1,458	73,468
275		3-4	48,0	22,9	60,8	16,3	2,639	1,483	71,994
276		4-5	44,9	27,0	56,2	16,9	2,643	1,527	69,338
277		5-6	42,0	32,7	52,1	15,1	2,653	1,571	66,799
278		6-7	38,8	40,0	47,6	12,5	2,658	1,623	63,892
279		7-8	37,5	40,6	46,8	12,7	2,648	1,641	62,364
280		8-9	37,1	43,5	45,3	11,3	2,648	1,649	61,899
281		9-10	36,7	43,8	44,3	11,9	2,648	1,656	61,460
282		11-12	36,2	43,7	43,8	12,6	2,652	1,665	60,991
283		13-14	36,5	43,5	44,8	11,7	2,656	1,661	61,327
284		15-16	36,4	44,5	43,9	11,6	2,658	1,663	61,208
285		17-18	35,9	44,0	43,7	12,3	2,654	1,670	60,718
286		19-20	32,3	45,9	43,6	10,6	2,666	1,738	56,836
287		21-22	31,7	50,8	38,3	10,9	2,663	1,748	56,144
288		23-24	31,5	47,9	40,5	11,6	2,665	1,754	55,833



# B Parasoundprofile

Profilübersicht

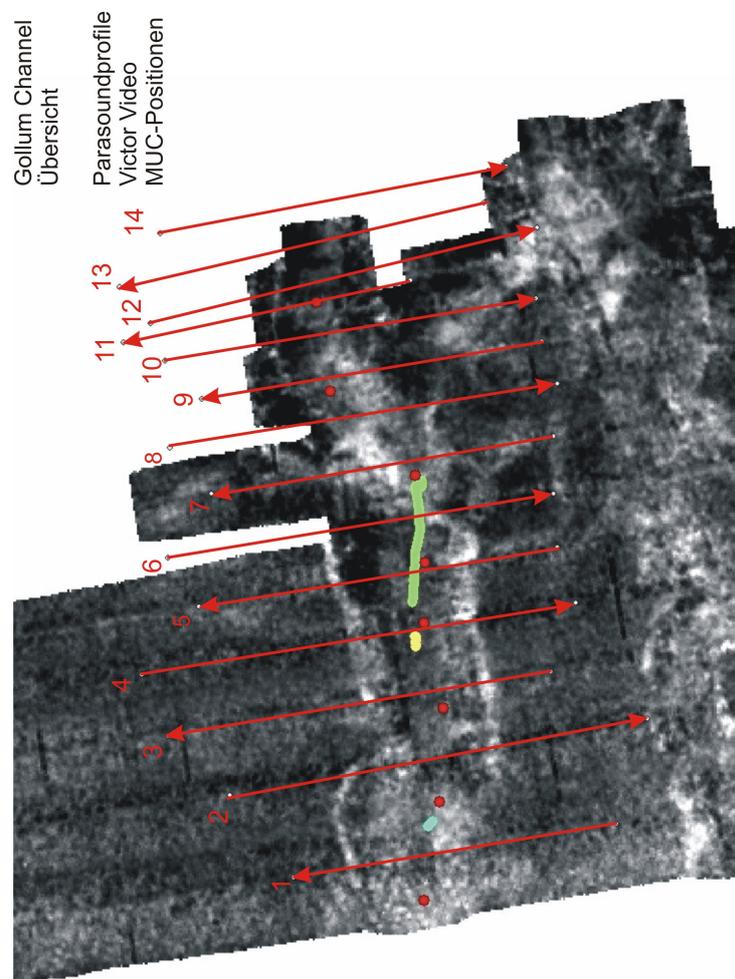
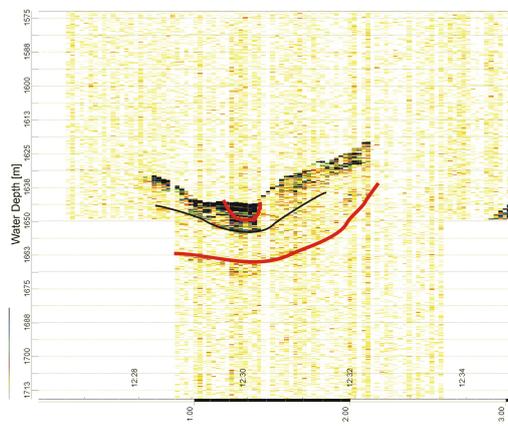
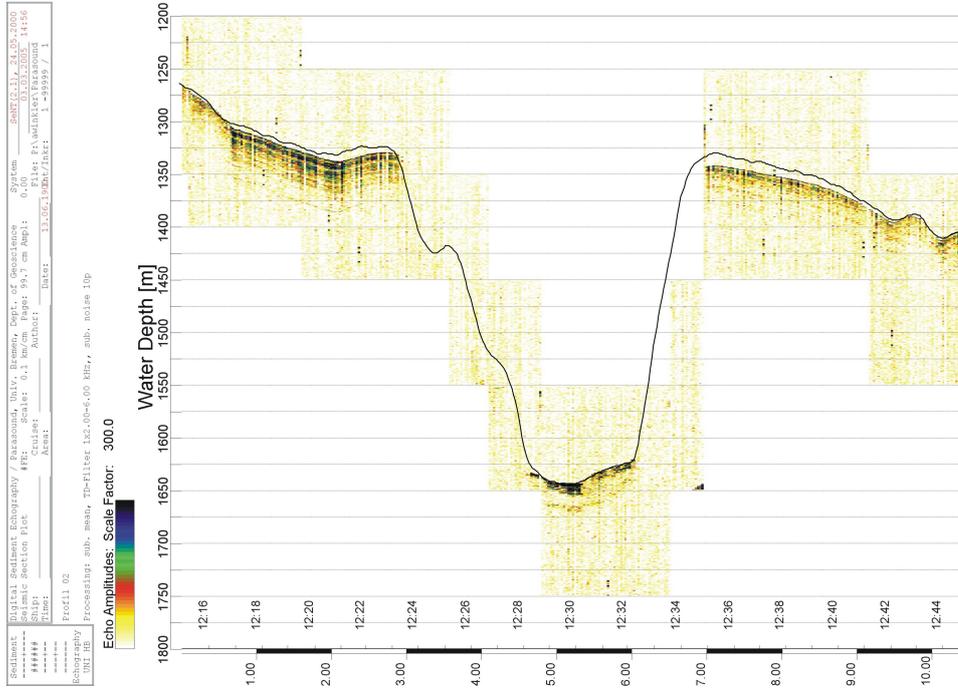


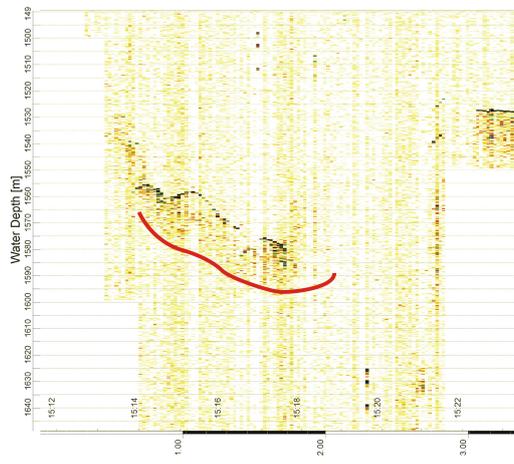
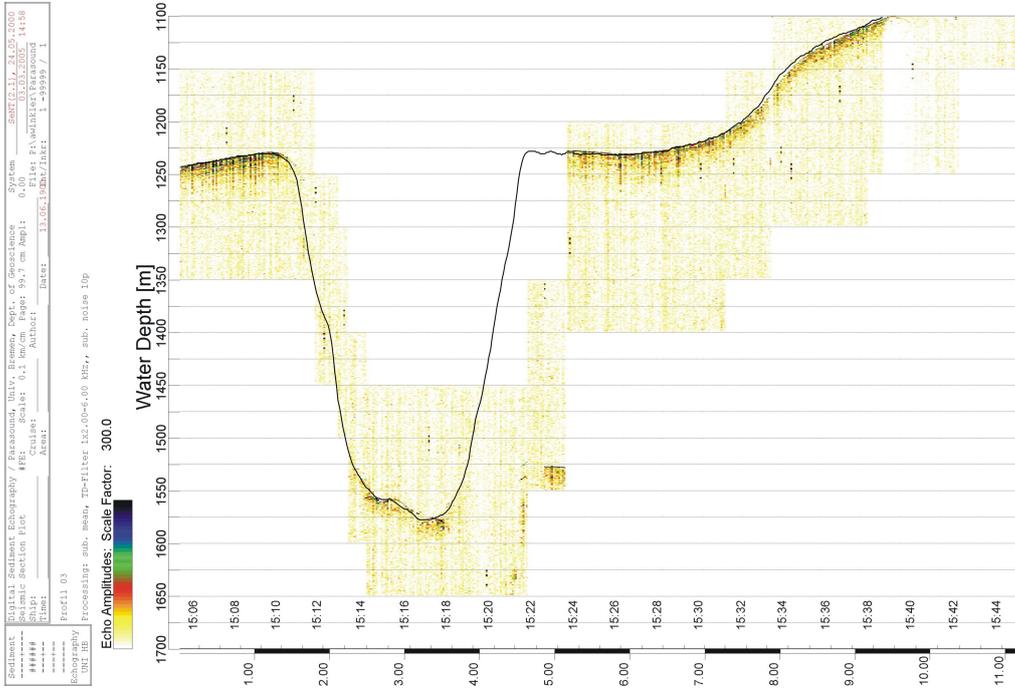
Abbildung B.1: Messablauf ANT-XVII



# Profil 02



# Profil 03



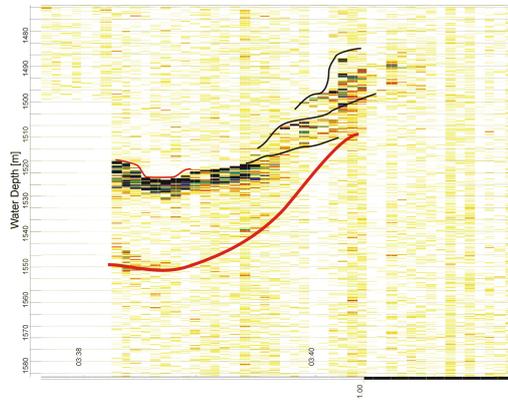
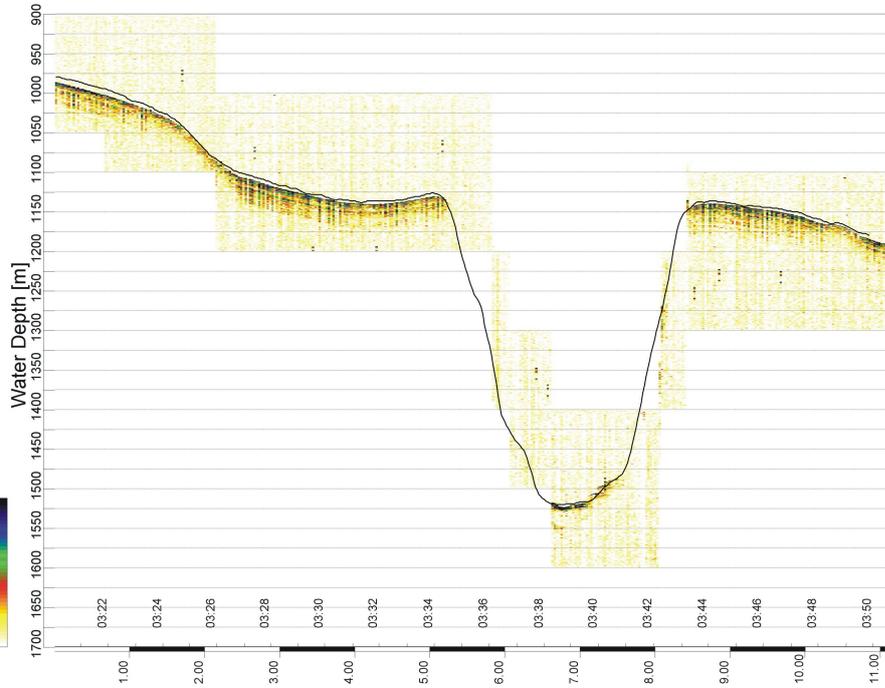
# Profil 04

Sediment: Digital Sediment EchoSounding / Parameters: Univ. Bremen, Dept. of Geosciences System: SART 2.11, 24.05.2000  
 #BE: Scale: 0.1 km/cm Range: 99.7 cm Ampl: 0.00 C:\S.X.2000  
 \*\*\*\*\* Schematic Section Plot: \*\*\*\*\*  
 Ship: M/S "F. V. AMBROGIUS" 44:59  
 Cruise: 11.02.03/BEA Date: 11.02.03/BEA 1:39:59 / 1

Profil 04

UNL HE Processing: sub. mean, TD-Filter 1x2.00-6.00 kHz, sub. noise 10p

Echo Amplitudes: Scale Factor: 3000.0

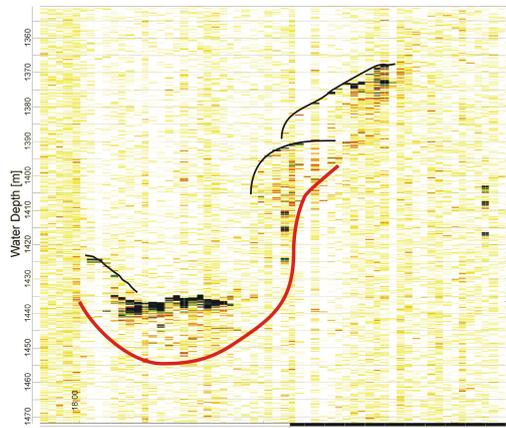
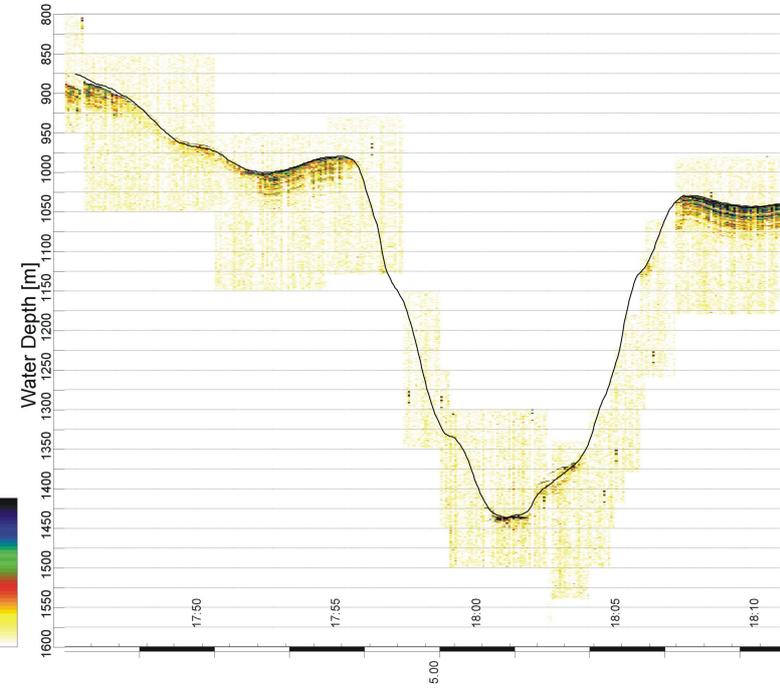




# Profil 06

Sediment: Digital Sediment Echography / Parameters, Univ. Bremen, Dept. of Geosciences System: SMT 2.1v, 24.05.2000  
 Schematic Section Plot: #BE: Scale: 0.1 km/cm Page: 99.7 cm Angl: 0.00 C:\EX-2000\15102  
 Ship: Cruise: 15102 Date: 14.05.2000 Author: J. W. W. / J.  
 Station: 15102 Date: 14.05.2000  
 Profile: Profil 06  
 Processing: sub. mean, TD-Filter 1x2.0x6.00 kHz, sub. noise 10p  
 Unit: HE  
 Sediment: Digital Sediment Echography / Parameters, Univ. Bremen, Dept. of Geosciences System: SMT 2.1v, 24.05.2000  
 Schematic Section Plot: #BE: Scale: 0.1 km/cm Page: 99.7 cm Angl: 0.00 C:\EX-2000\15102  
 Ship: Cruise: 15102 Date: 14.05.2000 Author: J. W. W. / J.  
 Station: 15102 Date: 14.05.2000  
 Profile: Profil 06  
 Processing: sub. mean, TD-Filter 1x2.0x6.00 kHz, sub. noise 10p  
 Unit: HE

Echo Amplitudes: Scale Factor: 300.0







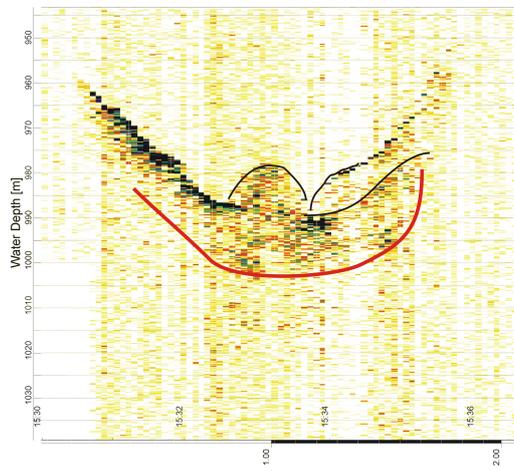
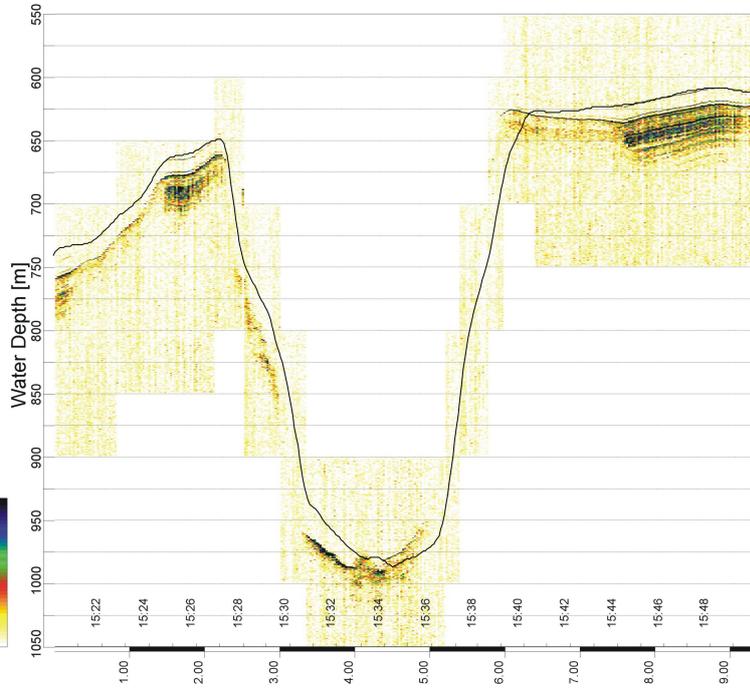




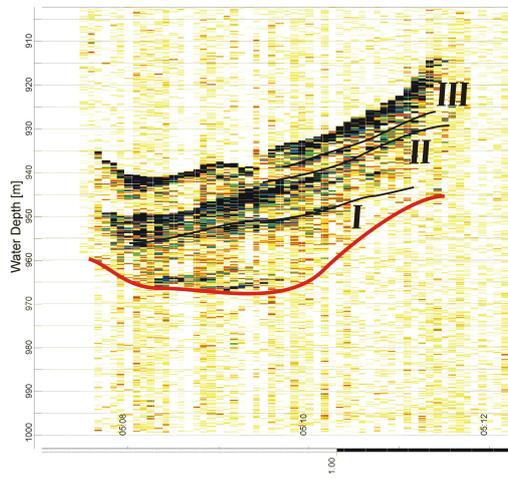
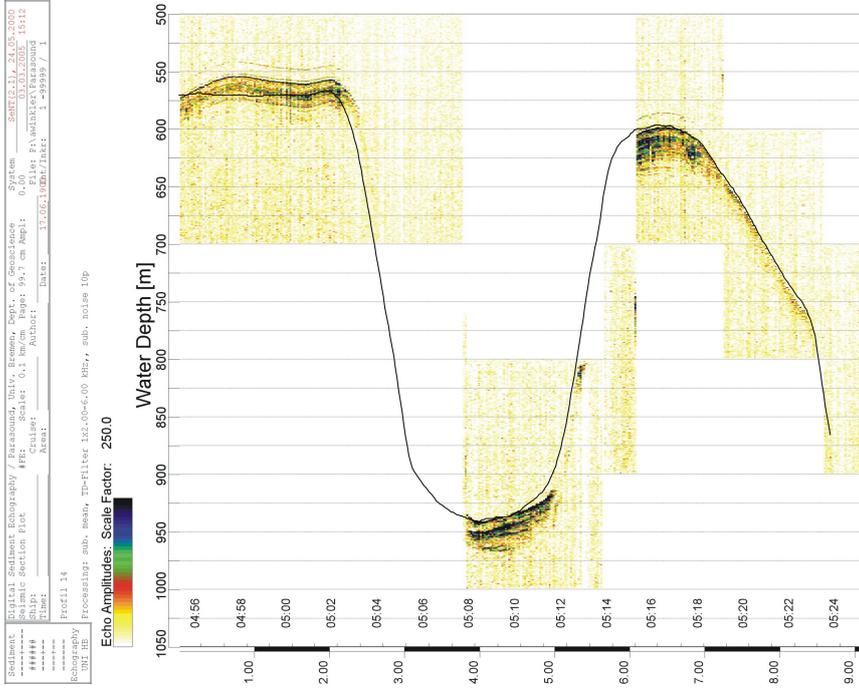


# Profil 13

Sediment: Digital Sediment Echography / Parasound, Univ. Bremen, Dept. of Geosciences System: SBE12+1v.24.05.2000  
 Schematic Section Plot: #BE: Scale: 0.1 km/cm Range: 99.7 cm Angl: 0.00 C: 03.03.2002 15:11  
 Ship: Author: Date: 15.03.2002 15:11  
 Station: 1533/1534/1538  
 Profile 13  
 Processing: sub. mean, ID-Filter 1x2.00-6.00 kHz, sub. noise 10p  
 Echo Amplitudes: Scale Factor: 3000.0



# Profil 14



# C GMT

In diesem Teil finden sich einige der für diese Arbeit geschriebenen GMT-Skripte

- Berechnet aus den aus ArcMap exportierten Rückstreuwerten + Winkel mittels "binning" ganzgradige Winkel und gibt diese als Diagramm aus.

```
! /bin/csh -f
```

```
# aus ArcMap exportierte .txt-Tabelle  
# Umbenennen txt->dat und Komma->Punkt  
# Winkel mit negativem Vorzeichen, da sonst Spalte in ArcMap als Datum  
# eingelesen... ändern mit awk!  
# Eingangsdatei: 245.bsct.dat -> Vorzeichen (angle) geändert  
# binning: interpoliert Werte und gibt Mittelwert aus
```

```
set NR=247
```

```
awk 'print($4*-1, $5)' $NR.bsct.txt > $NR.bsct.dat  
ne $NR.bsct.dat&  
binning $NR.bsct.dat $NR.bin.xy 1 1 -V
```

```
psxy ark-gc12.xy -R0/60/-60/20WS -JX10 -Sc0.1 -Go/0/0 -Ba10:"incidence  
angle [Grad]"/a10:"backscatter[dB]":WS > arkxix-gc12.ps
```

```
gv arkxix-gc12.ps&
```

- Stellt die mittels "binning" zusammengefassten Daten als Punkte und mittels "trend1d" errechnete ausgleichende Gerade gemeinsam in einem Diagramm dar. In diesem Skript werden die Daten der ANT-XVII-Expedition um die Multicorerer-Stationen dargestellt.

```
! /bin/csh -f
```

```
# antxvii - MUC-Stationen
# Einfallswinkel-Rueckstreuung; mit Trendlinie (komplett /10-45 Grad)
# binning-Koordinaten plus Trendlinie (slope)
# trend1d ant242clip.xy -Fxm -N2 > ant242trend.xy
#
```

```
gmtset PAGE_ORIENTATION = portrait
gmtset ANOT_FONT_SIZE = 10p
gmtset LABEL_FONT_SIZE = 10p
```

```
#
#links, ganz unten
# 245-1
set PosX = -X2
set PosY = -Y2
#psxy ant245trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K >! ant-MUC-trend.ps
psxy ant245clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstreumass[dB]":WS -V -K >!
ant-MUC-trend.ps
psxy ant245trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
#Mitte, ganz unten
# 246-1
set PosX = -X6.5
set PosY = -Y0
#psxy ant246trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant246clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstreumass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant246trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

---

```
#
# links, zweites von unten
# 248-1
set PosX = -X-6.5
set PosY = -Y6.5
#psxy ant248trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant248clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant248trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
# Mitte, zweites von unten
# 244-1
set PosX = -X6.5
set PosY = -Y0
#psxy ant244trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant244clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant244trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
# rechts, zweites von unten
# 247-1
set PosX = -X6.5
set PosY = -Y0
#psxy ant247trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant247clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant247trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
#
# links, drittes von unten
# 249-1
set PosX = -X-13
```

---

```
set PosY = -Y6.5
#psxy ant249trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant249clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremmass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant249trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
# Mitte, drittes von unten
# 243-1
set PosX = -X6.5
set PosY = -Y0
#psxy ant243trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant243clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremmass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant243trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
#
#links, oben
# 242-1
set PosX = -X-6.5
set PosY = -Y6.5
#psxy ant242trend.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -W5/0/255/0
-M -V -K -O » ant-MUC-trend.ps
psxy ant242clip45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -Sc0.1 -G0/0/0
-Ba10f5:"Einfallswinkel [Grad]"/:a5f1:"Rueckstremmass[dB]":WS -V -K -O »
ant-MUC-trend.ps
psxy ant242trend45.xy -R0/50/-50/30WS -JX4.5 -W5/255/0/0 -M -V -K -O
» ant-MUC-trend.ps
```

```
#
# Ueberschrift
set PosX = -X5
set PosY = -Y-5
pstext -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -N -V -K -O «EOF» ant-
MUC-trend.ps
1 1 16 0 4 LT antxvii
```

---

EOF

```
# MUC-Station
set PosX = -X-5
set PosY = -Y-5
pstext -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -N -V -K -O «EOF» ant-
MUC-trend.ps
3 -3 10 0 4 LT 242-1
3 -32 10 0 4 LT 249-1
75 -32 10 0 4 LT 243-1
3 -61 10 0 4 LT 248-1
75 -61 10 0 4 LT 244-1
147 -61 10 0 4 LT 247-1
3 -90 10 0 4 LT 245-1
75 -90 10 0 4 LT 246-1
EOF
```

```
# Werte-Tabelle
psbasemap -JX8c/5.5c -R0/1/0/1 -G255 -Bwesn -X8 -Y9 -K -O » ant-MUC-
trend.ps
```

```
set PosX = -X-12
set PosY = -Y-6.5
pstext -R0/50/-50/30WS -JX4.5 $PosX $PosY -N -V -O «EOF» ant-MUC-
trend.ps
140 2 10 0 4 LT Station
180 2 10 0 4 LT slope [dB/Grad]
205 2 10 0 4 LT Anz BC
160 2 10 0 4 LT Mittel [dB]
```

```
140 -0 10 0 4 LT 242-1
180 -0 10 0 4 LT -0.280
205 -0 10 0 4 LT 3484
160 -0 10 0 4 LT -42.85
```

```
140 -3 10 0 4 LT 249-1
180 -3 10 0 4 LT -0.240
205 -3 10 0 4 LT 3424
160 -3 10 0 4 LT -40.55
```

---

140 -5 10 0 4 LT 243-1  
180 -5 10 0 4 LT -0.218  
205 -5 10 0 4 LT 2155  
160 -5 10 0 4 LT -40.10

140 -8 10 0 4 LT 248-1  
180 -8 10 0 4 LT -0.247  
205 -8 10 0 4 LT 1727  
160 -8 10 0 4 LT -42.66

140 -10 10 0 4 LT 244-1  
180 -10 10 0 4 LT -0.243  
205 -10 10 0 4 LT 1444  
160 -10 10 0 4 LT -42.69

140 -12 10 0 4 LT 247-1  
180 -12 10 0 4 LT -0.200  
205 -12 10 0 4 LT 1660  
160 -12 10 0 4 LT -41.91

140 -15 10 0 4 LT 245-1  
180 -15 10 0 4 LT -0.200  
205 -15 10 0 4 LT 1361  
160 -15 10 0 4 LT -41.38

140 -17 10 0 4 LT 246-1  
180 -17 10 0 4 LT -0.158  
205 -17 10 0 4 LT 836  
160 -17 10 0 4 LT -41.44

EOF

gv ant-MUC-trend.ps&