

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht	
3a. Titel des Berichts		
3b. Titel der Publikation Fachlicher Abschlussbericht SO 188 Forschungsvorhaben 03G0188 A + B		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Spiess, Volkhard; Schwenk, Tilmann; Kudrass, Hermann-Rudolf		5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. Juli 2008
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))		6. Veröffentlichungsdatum März 2009
		7. Form der Publikation Broschüre
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fachbereich Geowissenschaften, Geophysik, Universität Bremen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen ^{*)} 03G0188A+B
		11a. Seitenzahl Bericht
		11b. Seitenzahl Publikation
		12. Literaturangaben
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Wissenschaften (BMBF) 53170 Bonn		14. Tabellen
		15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
<p>18. Kurzfassung</p> <p>Die seismische Vermessung für die IODP Bohrungen auf dem mittleren Turbiditätsfächer des Golfes von Bengalen wurden abgeschlossen, prozessiert und der IODP Datenbank zur weiteren Planung übergeben. Die auf dem oberen Fächer gewonnenen Daten wurden für die Beratung des Außenministeriums von Bangladesch zur Erweiterung der 200-sm Exklusiven Wirtschaftszone genutzt. Der Schelf Canyon Swatch of No Ground enthält eine 1,5 km-mächtige, wahrscheinlich holozäne Füllung aus gradierten Sturmlagen. Dieses sehr hoch auflösende Klimaarchiv soll mit Hilfe eines DFG Projektes zur Prozessierung der seismischen Daten erschlossen und ein entsprechender Bohrschlag erarbeitet werden. Die obersten 1,75 m der Canyonfüllung, die während der letzten 12 Jahre sedimentierten, bestehen aus gradierten Abfolgen. Die Ablagerung erfolgt nach detaillierten Korngrößenanalysen durch hyperpyknische Suspensionswolken, die bei Durchzug der tropischen Wirbelstürme erzeugt wurden.</p> <p>Die Auswertung der Parasound Profile ermöglichte es, die Akkumulationsraten im submarinen Delta für drei Perioden exakt zu bestimmen. Danach hat sich in den letzten 350 Jahren das Depozentrum nach Westen verschoben. Im Schnitt werden rund 22% der fluviatilen Suspensionsfracht im submarinen Delta akkumuliert, eine vergleichbare Menge wird im Schelfcanyon abgeführt. Dieses Material fehlt zur Stabilisierung des südlichen Deltas, das durch die Kombination von tektonischer Subsidenz, Kompaktion der mächtigen Holozänsedimente und steigendem Meeresspiegel extrem stark gefährdet ist. Als Konsequenz wird ein langfristiges Küstenmanagementplan gefordert, dessen Umsetzung helfen sollte, mehr Sediment in den eingedeichten Deltainseln zu fixieren.</p>		
19. Schlagwörter Golf von Bengalen, Tiefseeturbiditätsfächer, Sedimentbilanz, Sedimenttransport, Wirbelsturm, Sequenzstratigraphie, IODP		
20. Verlag		21. Preis

^{*)} Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report
3a. Report Title	
3b. Title of Publication Final report SO 188 Research project 03G0188A + B	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Spiess, Volkhard; Schwenk, Tilmann; Kudrass, Hermann-Rudolf	5. End of Project 31 of July 2008
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))	6. Publication Date March 2009
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Department of Geosciences (FB5) University of Bremen Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Stilleweg 2, 30655 Hannover	7. Form of Publication
	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 03G0188A+B
	11a. No. of Pages Report
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Wissenschaften (BMBF) 53170 Bonn	11b. No. of Pages Publication
	12. No. of References
	14. No. of Tables
16. Supplementary Notes	15. No. of Figures
	17. Presented at (Title, Place, Date)
18. Abstract The pre-site survey of the IODP drill sites on the middle turbidite fan of the Bengal Bay were completed, processed and delivered to the IODP Data Bank for further consideration. The Ministry of Foreign Affairs of Bangladesh was advised on the extension of their Exclusive Economic Zone beyond the 200 nautical mile limits. The shelf canyon contains a 1.5 km thick sequence containing probably a very high-resolution Holocene record of tropical cyclones and fluvial runoff. This highly valuable paleoclimatic record will be further developed by a DFG supported seismic evaluation project. The last 1,75 m sediment, which was deposited during the last 12 years near the canyon head, was mostly mobilized by tropical cyclones in the prodelta, transported by hyperpycnical flows into the canyon and finally deposited as graded sequence. Based on Parasound profiles, the sediment budget of the submarine prodelta was calculated for three periods indicating a westward shift of the depocenter since 350 years. About 22 % of the total suspended fluvial transport is deposited in the prodelta and about the same amount is assumed to be channelled into the canyon. This material is lost for the compensation of the combined effects of rapid tectonic subsidence, sedimentary compaction and increasing sea level. As a consequence a long-term coastal management plan is required to use a much higher amount of the fluvial freight to stabilize the diked islands of the southern delta.	
19. Keywords Bay of Bengal, deep-sea turbidite fan, sedimentary budget, sediment transport, tropical cyclone, sequence stratigraphy, IODP	
20. Publisher	21. Price

1. Einleitung:

Das System Himalaya-Bengal ist das größte Source-to-Sink System auf der Erde. Die Flüsse Ganges und Brahmaputra entwässern den Himalaya auf dessen Nord- sowie Südflanke und bringen somit die enorme Sedimentfracht von über einer Milliarde Tonnen jährlich in das Bengal Becken. Dieses Sediment wird rezent so verteilt, dass ca. ein Drittel im subaerischen Delta verbleiben, ein Drittel im submarinen Delta abgelagert wird und ein Drittel über einen Canyon in die Tiefsee mittels Turbiditströmen verbracht wird, wodurch der größte submarine Fächer auf der Erde aufgebaut wurde. Somit ist dieses System sehr gut geeignet, um auf verschiedensten Zeitskalen Transport- und Depositionsprozesse zu untersuchen, um letztlich die Geschichte von Klimavariationen, Meeresspiegelschwankungen und Tektonik sowie deren Wechselwirkungen im Raum des Himalajas zu studieren. Andererseits ist das Verständnis dieses Systems von höchster sozioökonomischer Relevanz, da das Ganges-Brahmaputra Delta eine der extrem dicht besiedelten Regionen der Erde ist, und im Moment eine empfindliche Balance zwischen Sedimentnachschub auf der einen Seite und der Subsidenz sowie dem Meeresspiegelanstieg auf der anderen Seite besteht, aber die Stabilität der Küstenlinie aufgrund anthropogener Eingriffe nur noch begrenzt gewährleistet ist leicht katastrophale Störungen entstehen können. Somit kann eine Untersuchung über die holozäne und rezente Entwicklung des submarinen Deltas sowie des Schelfbereichs inklusive Canyon wesentlich dazu beitragen, das Zusammenwirken der Faktoren zu analysieren und für die Zukunft zu verwenden.

Um die oben skizzierten Fragestellungen zu untersuchen, wurde im Juni/Juli 2006 die Expedition SO188, aufgeteilt in zwei Fahrtabschnitte, in Zusammenarbeit zwischen der Universität Bremen, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, sowie der Universität Kiel durchgeführt. Dabei wurden zwei verschiedene seismische Mehrkanalsysteme eingesetzt, eines davon speziell entwickelt für Flachwassereinsätze, sowie die schiffseigenen Systeme EM120 und Parasound benutzt. Zur geologischen Probennahme wurden Schwerelot und Vibrocorer verwendet. Der erste Fahrtabschnitt konzentrierte sich auf den Tiefseefächer und den Kontinentalhang, während der zweite Fahrtabschnitt den Schelf, den Canyon und den Übergang zum Kontinentalhang zum Ziel hatte (Abbildung 1).

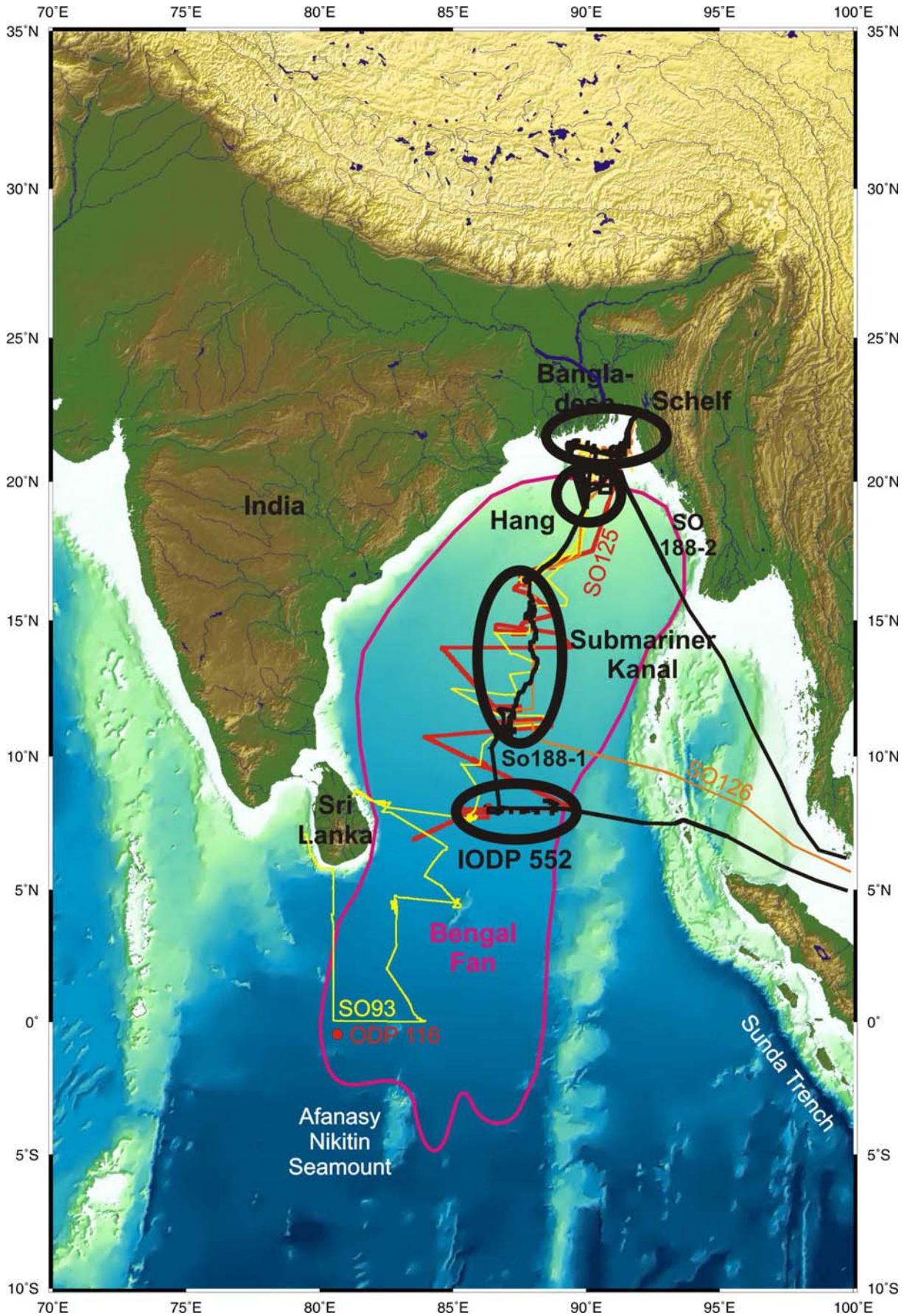


Abbildung 1: Karte der Arbeitsgebiete der SO 188 Fahrt. Eingezeichnet sind auch die Fahrtrouten der Fahrten SO 188, SO 126, SO 125 und SO 93.

Die Fahrt F.S. SONNE SO188 vom 06.06.2005 (Singapur) bis 31.07.2005 (Penang/Malaysia) mit Zwischenhafen Chittagong (Bangladesch) war die vierte Expedition in einer Folge von SONNE Expeditionen (SO-93: 1994, SO-125: 1997; SO-126: 1997) in den Golf von Bengalen. Die erste Expedition war entsprechend dem damals geringen Kenntnisstand der generellen Erkundung des Bengalfächers und –schelfs gewidmet. Auf dieser Fahrt wurden geologische Probennahmen durchgeführt und die schiffseigenen hydroakustischen Systeme verwendet. Auf den beiden letzten Expeditionen wurde zusätzlich die Bremer Mehrkanalseismik eingesetzt, um das Wissen über die Architektur des Tiefseefächers sowie des Schelfes zu erweitern.

Konsequenterweise konzentrierte sich die letzte Expedition SO188 auf folgende wissenschaftliche Ziele für den Fächer, den oberen Kontinentalhang und Schelf:

- Pre-Ste survey für den IODP Vorschlag 552 („Neogene and late Paleogene record of Himalayan orogeny and climate: a transect across the Middle Bengal Fan“, von C. France-Lanord, V. Spieß, P. Molnar und J. Curray)
- Struktur und Morphologie eines terminierenden Kanals und des aktiven Kanals auf dem mittleren Fächer
- Architektur des oberen Kontinentalhanges
- Paläoozeanographische Entwicklung der Monsunintensität
- Präzisierung der Sedimentbilanz im submarinen Delta
- Charakterisierung des Sedimenttransports durch Wirbelstürme
- Sequenzstratigraphie der Schelfsedimente
- Bestimmung von Subsidenzraten des Schelfes
- Sequenzstratigraphie des Schelfcanyons

Alle gesetzten Ziele konnten größtenteils bearbeitet werden. Beide seismische Systeme aus Bremen sowie das schiffseigene Parasound arbeiteten ohne größere Ausfälle. Allerdings gab es insbesondere auf dem ersten Abschnitt Probleme mit der Stabilität des Fächerlotes EM120, offensichtlich das Ergebnis eines „Upgrades“ während des vorhergehenden Werftaufenthaltes. Auch mussten auf Grund von plötzlich eintretendem schlechtem Wetter die seismischen Arbeiten am aktiven Kanal gegen Ende des ersten Abschnittes abgebrochen werden. Das schlechte Wetter

beeinflusste auch die Arbeiten am Kontinentalhang während des ersten Abschnittes. Am Beginn des zweiten Abschnittes gab es leider mehrfach zeitliche Verzögerungen im Hafen von Chittagong, die das Programm zeitlich einschränkten. Bedingt durch unvorhersehbar auftretende technische Probleme des Vibrohammers konnten einige Beprobungen nicht vollständig durchgeführt werden.

Die Expedition wurde in Kooperation mit dem bengalischen *Ministry of Foreign Affairs* durchgeführt, das wiederum unseren bisherigen Partner *Geological Survey of Bangladesh* und die *BAPEX (Bangladesh Agency for Petroleum Exploration)* als Kooperationspartner beauftragt hat. Das Interesse des bengalischen Außenministeriums zielte darauf, die Daten der Expedition und die Expertise der BGR für eine Erweiterung der 200-Seemeilenzone von Bangladesch zu nutzen. In Vorbereitung der Fahrt, vor Beginn und nach Abschluss der Fahrt sind daher intensive Beratungsgespräche mit verschiedenen Partnern der bengalischen Seerechtskommission geführt worden.

2. Projekt Bengal SO 188 Ablauf in tabellarischer Form

April 2004:

- erster Fahrtvorschlag eingereicht

Herbst 2004:

- revidierter Fahrtvorschlag eingereicht

Frühjahr 2005:

- Antrag positiv bewertet und in die Fahrtplanung von FS SONNE aufgenommen
- Vorbereitende Gespräche und Diskussionen mit dem Geologischen Dienst von Bangladesch, der wissenschaftlichen Partnerinstitution, Beratung des Außenministeriums in Bangladesch zu Fragen der 200-350 Seemeilenzone

Mai 2006:

- Zuwendungsbescheid BMBF
- Genehmigung der Forschungsarbeiten durch Regierung Bangladesch

06.06.2006 – 04.07.2006:

- Durchführung der Abschnitte SO 188-1 von Singapur nach Chittagong

06.07.2006 – 31.07.2006:

- Durchführung des Abschnittes SO 188-2 von Chittagong nach Penang/Malaysia mit erneutem Zwischenstop in Chittagong

Juli 2006:

- Übermittlung des ersten Datensatzes des pre-site surveys an die IODP Datenbank

Dezember 2006:

- Präsentation eines Übersichtsposters der Ausfahrt auf der AGU, San Francisco

Januar 2007:

- Übermittlung der restlichen Daten des pre-site surveys an die IODP Datenbank

Februar 2007:

- Vorstellung erster Ergebnisse auf dem SONNE-Statusseminar in Kiel

Dezember 2007:

- Arbeitstreffen mit Prof. Steve Goodbred (Vanderbilt University Nashville, USA) zum Ideen- und Datenaustausch sowie Verabredung weiterer Kooperationen
- Präsentation Ergebnisse (Kanal auf mittlerem Fächer, submarines Delta) auf der AGU, San Francisco

Januar 2008:

- Eingeladene Vorträge und Poster auf der Asian Delta Conference in Dhaka/Bangladesch (Teilnehmer: Schwenk, Kudrass)
- Übergabe der seismischen Daten der SO 188 an das Ministry of Foreign Affairs (siehe Protokoll in **Anlage 5**), Beratung des Außenministeriums von Bangladesch wegen Seerecht

31. Juli 2008:

- Projektende

Oktober 2008:

- Vorträge und Posterbeiträge auf der Asian Delta Conference in Shanghai (Teilnehmer: Palamenghi, Schwenk, Kudrass)

Dezember 2008:

- Präsentation der Arbeiten im Canyon auf der AGU, San Francisco

Februar 2009:

- Präsentation einer Übersicht der Ergebnisse des Projektes (Vortrag) sowie der Ergebnisse verschiedener Ziele (6 Poster) auf dem SONNE-Statusseminar in Bremerhaven

3. Personal

Universität Bremen:

Frau Luisa Palamenghi, die an der Expedition als Gast teilgenommen hat, war als DAAD Stipendiatin vom 01.09.2006 bis 28.02.2007 an der Universität Bremen und hat in dieser Zeit an dem Projekt mitgearbeitet. Vom 01.03.2007 bis 31.07.2007 war Frau Luisa Palamenghi im Projekt angestellt. Weiterhin war Herr Thomas Bartels vom 01.01.2007 bis 31.07.2007 an der Universität Bremen angestellt. Dr. Hanno Keil führte die Arbeiten von Herrn Bartels zum seismischen Datenprozessing fort.

BGR:

An der BGR wurde Frau Katrin Bergmann zum 15.08.2006 für 24 Monate als wissenschaftliche Projektmitarbeiterin eingestellt.

4. Präsentationen der Ergebnisse in Vorträgen und Postern auf Tagungen und Workshops

2006:

AGU Fall Meeting, San Francisco, USA:

T. Schwenk, V. Spieß, H.R. Kudrass, L. Palamenghi, L. Reinhard, C. Rühlemann, N. Fekete, F. Ding & C. France-Lanord, 2006, „Sedimentary structures on the Bengal Shelf and the upper continental slope of Bangladesh - First results of the RV Sonne cruise SO188-2“, Eos Trans. AGU, 87(52), Fall Meeting Suppl., Abstract OS23A1634. Poster.

2007:

Sonne Statusseminar, Kiel:

H. Kudrass, V. Spieß, T. Schwenk, K. Bergmann, L. Palamenghi „Glaziale und interglaziale Verteilung von Sediment im Ganges-Brahmaputra System – ein vom Meeresspiegel und Klima gesteuerter Prozess“

L. Palamenghi, K. Bergmann, H. R. Kudrass, L. Reinhardt, T. Schwenk, V. Spiess und SO-188-2 Teilnehmer, „Rekonstruktion von Meeresspiegelschwankungen am äußeren Schelf vor Bangladesch (Golf von Bengalen) mittels hoch auflösender seismischer Daten und Sedimentkerne“.

T. Schwenk, V. Spiess, T. Blanz, und Teilnehmer der Fahrt SO 188, „Pre-site survey für den IODP Vorschlag 552 im Rahmen der Sonne Fahrt 188-1“

K. Bergmann, L. Palamenghi, H. R. Kudrass, L. Reinhard, V. Spiess, T. Schwenk, „Sedimentationsprozesse im submarinen Ganges-Brahmaputra-Delta (Bangladesch, Golf von Bengalen)“

IODP Kolloquium, Potsdam:

Spieß,V., Schwenk, T., Bartels, T., Palamenghi, L., Kudrass, H. R., „Drilling the Himalaya-Bengal System – New seismic data from RV Sonne cruise SO188 for IODP pre-proposal 609“

The International Conference and the 97th Annual Meeting 2007 of the Geologische Vereinigung, Bremen, 1-5 October.

L. Palamenghi (1), K. Bergman (2), V. Spieß (1), H.R. Kudrass (2), T. Schwenk (1), L. Reinhard (2), 2007, „High resolution seismostratigraphic analysis of the development of the Ganges-Brahmaputra Delta System -First Results from the SO188-2 Cruise”

Bergmann, K., L. Palamenghi, H.R. Kudrass, L. Reinhardt, V. Spiess, T. Schwenk & I. Goroncy: “The submarine delta off Bangladesh: new ¹³⁷Cs-dating confirms the higher sediment transfer rates from land to sea”.

AGU Fall Meeting, San Francisco, USA:

Thomas Bartels, Tilmann Schwenk , Hanno Keil, Volkhard Spieß, 2007, “A Terminating Channel-Levee System on the Middle Bengal Fan”, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meeting Suppl., Abstract H41F-0837. Poster.

L. Palamenghi, K. Bergmann, T. Schwenk, L. Reinhard , V. Spiess, H.R. Kudrass: 2007, „Holocene Transgression on the Bengal Shelf and built up of the submarine Ganges-Brahmaputra-Mengha Prodelta”, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meeting Suppl., Abstract S23A-1117. Poster.

2008:

International Conference on DELTAS: Deltaic Gateways – Linking Source to Sink. Bangladesh venue, Dhaka, Bangladesh:

Kudrass, H.R., Spiess, V., Bergmann, K., Schwenk, T. & Palamenghi, L., “Variation of sediment distribution in the submarine delta of the Ganges-Brahmaputra - high and low sea level situations”.

T. Schwenk, L. Palamenghi, V. Spiess, H.-R. Kudrass, C. France-Lanord, 2008, “The build-up of the submarine Ganges-Brahmaputra delta revealed from high-resolution multichannel seismic and sediment echosounding data”.

T. Schwenk, V. Spiess, H.-R. Kudrass, C. France-Lanord, 2008, “Recent Seismic Surveys of Sedimentary Records of Himalayan Erosion and Sea Level changes in the Bay of Bengal – First Results of SO188 Cruise for a new IODP drilling proposal”.

SEPM Conference "Clinoform Sedimentary Deposits: The Processes Producing Them and The Stratigraphy Defining Them", Rock Springs, Wyoming, USA:

Luisa Palamenghi, Tilmann Schwenk, Volkhard Spiess & Hermann Kudrass, „High-resolution Seismostratigraphy of the Ganges-Brahmaputra Submarine Prodelta“

International Conference on Deltas) - Morphodynamics, Strata Architecture & Environmental Assessment. Shanghai & Qingdao venue, China:

Kudrass, H.R., Machalett, B., Palamenghi, L. & Fenner, J., „Cyclonic versus tidal mobilization and sedimentation in the submarine Ganges-Brahmaputra delta, Bangladesh“.

T. Schwenk., L. Palamenghi, V. Spieß, Kudrass, H.R., 2008, “The architecture of the submarine Ganges-Brahmaputra delta – results from high-resolution seismic and sediment echosounder surveys”.

Luisa Palamenghi, Tilmann Schwenk, Volkhard Spiess & Hermann Kudrass, „Multi-Scale seismostratigraphic analysis of the Ganges-Brahmaputra Submarine Prodelta“

AGU Fall Meeting, San Francisco, USA:

Luisa Palamenghi, Tilmann Schwenk, Hermann Kudrass, Volkhard Spiess, “Sedimentary Filling of the Submarine Canyon „Swatch of No Ground“, Bengal Shelf”

2009

Sonne Status Seminar, Bremerhaven:

Tilmann Schwenk, Hermann-Rudolf Kudrass, Volkhard Spieß, Luisa Palamenghi, Ralph Schneider, „Sedimentations- und Transportprozesse im Golf von Bengalen vom submarinen Delta bis zum Tiefseefächer – Ergebnisse der Fahrt SO188 1+2“

L. Palamenghi, T. Schwenk, V. Spiess, H.R. Kudrass, “High-resolution Seismostratigraphy of the Ganges-Brahmaputra Submarine Prodelta”

Volkhard Spieß, Hermann-Rudolf Kudrass, Christian France-Lanord, Tilmann Schwenk, Luisa Palamenghi, „Die Archivierung der Erosionsgeschichte des

Abschlussbericht „SO188 - Bengal SEA-Level“, Golf von Bengalen

Himalajas und der regionalen Meeresspiegelschwankungen in Sedimenten im nördlichen Golf von Bengalen - Ergebnisse der Sonne Fahrt 188 für ein neues IODP Drilling Proposal“

Tilman Schwenk, Volkhard Spiess, Thomas Bartels, Thomas Blanz und Christian France-Lanord , „Drilling the Bengal Fan - Pre-site survey für den IODP Vorschlag 552–Full3 (SO 188-1)“

Tilman Schwenk, Timo Schaper, Volkhard Spiess, Hanno Keil, „Morphologie und Architektur eines auf dem mittleren Bengal Fächer terminierenden submarinen Kanals“

H.R. Kudrass, B. Machalett, L. Pamalenghi, J. Fenner, U. Röhl, I. Goroncy, „Sturmsedimente im Schelfcanyon vor Bangladesch“

C. Rühlemann, Sander van der Kaars, „SO188-2: Abrupte Klimawechsel im Golf von Bengalen auf Dansgaard/Oeschger- Zeitskalen und die Toba- Eruption (70 ky BP)“

Tectonism and Sedimentation, Bonn

Palamenghi, L., Schwenk, T., Spiess, V. & Kudrass, H.R., “Major tectonic events of the last centuries recorded in the prodelta sediments of the Ganges-Brahmaputra”

5. Auswertearbeiten und Publikationen

Im Rahmen der beiden Abschnitte der Fahrt SO 188 wurde ein großer Datensatz hochauflösender seismischer Daten, hydroakustischer Daten sowie geologische Proben gesammelt, die es ermöglichen, gezielt Ergebnisse für das Projekt zu gewinnen, die aber auch das Potenzial haben, über das Projekt hinaus neue Anstöße für Forschungsarbeiten und Kooperationen zu geben. Im Einzelnen haben wir uns auf folgende Schwerpunkte konzentriert:

- Auswertung der Pre-site survey Daten für den IODP Vorschlag 552:

Die seismischen Daten, die im Gebiet des IODP Vorschlags 552 gesammelt wurden, sind zusammen mit den Parasound- und Bathymetriedaten sowie Kernbeschreibungen unmittelbar nach der Fahrt sowie im Januar 2007 an die IODP Datenbank übermittelt worden. Die hohe Qualität der Daten sowie die sehr zeitnahe Bereitstellung der Ergebnisse halfen mit, dass das Proposal mittlerweile sehr gut gerankt ist (siehe **Anlage 1**).

- Aufbau und Entwicklung des submarinen Ganges-Brahmaputra-Mengha Delta:

Während des zweiten Fahrtabschnittes wurde in zwei Arbeitsgebieten detailliert der Aufbau des submarinen Pro-Deltas mit seismo-akustischen Methoden vermessen, und durch verbindende Übersichtsprofile ergänzt. Zusammen mit den hydroakustischen Daten der Fahrten SO 93 und SO 126 ergibt sich ein sehr umfangreicher Datensatz, der es erlaubt, die Architektur und dynamische Entwicklung dieses großen Systems zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in einem Manuskript zusammengefasst, dessen Einreichung unmittelbar bevor steht (siehe **Anlage 2**).

- Morphologie und Struktur eines submarinen Kanals:

Mit einer „Verfolgungsfahrt“ wurde ein submariner Kanal, der auf dem mittleren Fächer terminiert, über eine Länge von über 600 km mit dem Fächerlot und dem Parasound System vermessen. Zusätzlich wurden im Bereich der Termination des Kanals seismische Daten erfasst. Dieser Datensatz wurde umfangreich aufgearbeitet, und im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden die morphologischen Parameter systematisch analysiert (siehe **Anlage 3**). Dieser Datensatz wird in Kooperation mit K.M. Straub von der Tulane University, New Orleans, benutzt, um

die Eigenschaften der Turbiditströme, die diesen Kanal aufgebaut haben, mittels numerischer Modellierung zu rekonstruieren.

- Sedimentationsprozesse (insbesondere sturminduzierte Ablagerungen) im Schelfcanyon „Swatch of No Ground“:

Ein großer Teil des Programms des zweiten Fahrtabschnittes konzentrierte sich darauf, im Schelfcanyon „Swatch on No Ground“ seismo-akustische Daten sowie geologische Proben zu sammeln. Die seismischen Datensätze zeigen eine mächtige sedimentäre Verfüllung des Canyons (mind. 1,5 km), die sich aus ungestörten Sedimenten sowie Rutschmassen und verfüllten Kanälen zusammensetzt. Sedimentologische Analysen eines Schwerelot-Kernes deuten darauf hin, dass die sturminduzierte Sedimentation der dominante Ablagerungsprozess im Canyon ist. Eine Weiterentwicklung dieser Analysen und ihre Publikation sind für die nähere Zukunft geplant.

- Abrupte Klimawechsel im Golf von Bengalen:

Mit dem Kern SO188-342KL vom Kontinentalhang aus dem nördlichen Golf von Bengalen, der eine Sedimentationsrate von durchschnittlich 10 cm/kyr aufweist, wurde ein Archiv gewonnen, das gut geeignet ist, die Auswirkungen abrupter globaler Klimaänderungen auf den Monsun-Niederschlag, den Eintrag der terrigenen Suspensionsfracht des Ganges-Brahmaputra und dessen Einfluss auf die Primärproduktion im nördlichen Golf abzuschätzen. Weiterhin ist der Ausbruch des Toba-Vulkans auf Sumatra vor ~70 ka gut dokumentiert. Hochauflösende Analysen dieses Kernes sind in eine Publikation von Williams et al. (2009) eingeflossen (siehe **Anlage 4**)

- Weiterentwicklung des IODP Vorschlags 609-pre:

Insgesamt wurden mehrere vielversprechende Ziele untersucht, die in die Weiterentwicklung des IODP Vorschlags 609pre („The Himalaya - Bengal System: Studying links between Land and Ocean, Climate and Tectonics, 'Source' and 'Sink' by a multiplatform approach for drilling in the Bay of Bengal“ by Volkhard Spiess, Christian France-Lanord, Peter Molnar, Joseph R Curray, Hermann Kudrass, Steve Kuehl, Steve Goodbred, Andre Revil) einfließen sollen. Bohrungen in Schelf, Canyon und Hang sollen dann nicht nur die holozäne und prä-holozäne Geschichte studieren, sondern auch, komplementär zum existierenden Proposal 552, einen wesentlichen Beitrag zur Fragestellung des Source-to-Sink Transfer der Partikel vom Himalaya zum Bengal Fächer leisten.

5.1 Pre-Site Survey für den IODP Vorschlag 552

Der IODP Vorschlag 552 („Neogene and late Paleogene record of Himalayan orogeny and climate: a transect across the Middle Bengal Fan“, von C. France-Lanord, V. Spieß, P. Molnar und J. Curray) hat zum Ziel, einen Transekt von 6 Bohrungen verschiedener Tiefe im mittleren Bengal Fächer abzuteufen, um die neogene Erosionsgeschichte des Himalajas zu erfassen und somit letztlich sowohl die Tektonik des Himalajas als auch die Entwicklung des Monsuns sowie die Wechselwirkungen dieser beiden Ereignisse zu studieren. Da der Bengal Fächer aus vielen Channel-Levee System aufgebaut ist und somit die Deposition eine starke laterale Variabilität aufweist, wurde der Ansatz eines Transektes von Bohrungen gewählt, um möglichst viele dieser Systeme mit direkten terrestrischen Signalen, aber auch der Hintergrundablagerungen im Fächer, zu erfassen.

Im Rahmen der Sonne Fahrt 188-1 wurde ein Pre-site Survey durchgeführt, um diesen Vorschlag wie vom IODP gefordert durch weitere seismische Kreuz- und Parallelprofile zu unterstützen, um eine regionale Vorstellung der sedimentären Einheiten zu bekommen (siehe Abbildung 2). Zusätzlich Informationen über Bathymetrie und Sedimenteigenschaften waren ebenso verlangt. Basierend auf diesen Empfehlungen wurde ein Netz von Profilen über die vorgeschlagenen Bohrlokationen gelegt und an mehreren Positionen Schwerelotkerne gezogen. Ein besonderer Schwerpunkt wurde auf die Umgebung des tiefsten Bohrvorschlages gelegt, dessen Ziel es ist, durch eine möglichst vollständige und ungestörte Sektion die Basis des Fächers zu erreichen. Mit einem Raster von Kreuzprofilen wurde diese Basis in einer regionalen Skala erfasst, doch es zeigte sich, dass die ursprünglich gewählte Bohrlokation am besten geeignet ist. Auch über alle weiteren vorgeschlagenen Bohrlokationen wurden Kreuzprofile gelegt. Wo es aufgrund der Strukturen notwendig erschien, wurden auch weitere, kurze Parallelprofile abgefahren. Weiterhin wurde ein langes Profil parallel zum vorhanden Profil der SO125 Fahrt plaziert, dessen Abstand so gewählt wurde, dass eine vollständige bathymetrische Überdeckung erreicht wurde. Für alle vorgeschlagenen Lokationen stellte sich heraus, dass eine Verschiebung nicht sinnvoll erscheint.

Sämtliche seismische Daten sowie Parasound und Fächerlot Daten und Kernbeschreibungen wurden der IODP Datenbank im Juli 2006 und im Januar 2007 zur Verfügung gestellt. Die ausgewählten Sites wurden vom SSP (Site Survey Panel)

mit 1Aa klassifiziert. Mittlerweile ist der Vorschlag 552 von der DPG (Detailed Planning Group) „Asian Monsoon“ mit der höchsten Priorität eingestuft worden, was von dem SPC (Science Planning Committee) bestätigt wurde. **Im November 2008 wurde der Vorschlag 552 schließlich vom SSEP mit 4 Sternen bewertet. Somit hat dieser Vorschlag eine hohe Wahrscheinlichkeit, in den nächsten Jahren realisiert zu werden, wozu dieser pre-site survey einen wesentlichen Beitrag geleistet hat (siehe auch Anlage 1).**

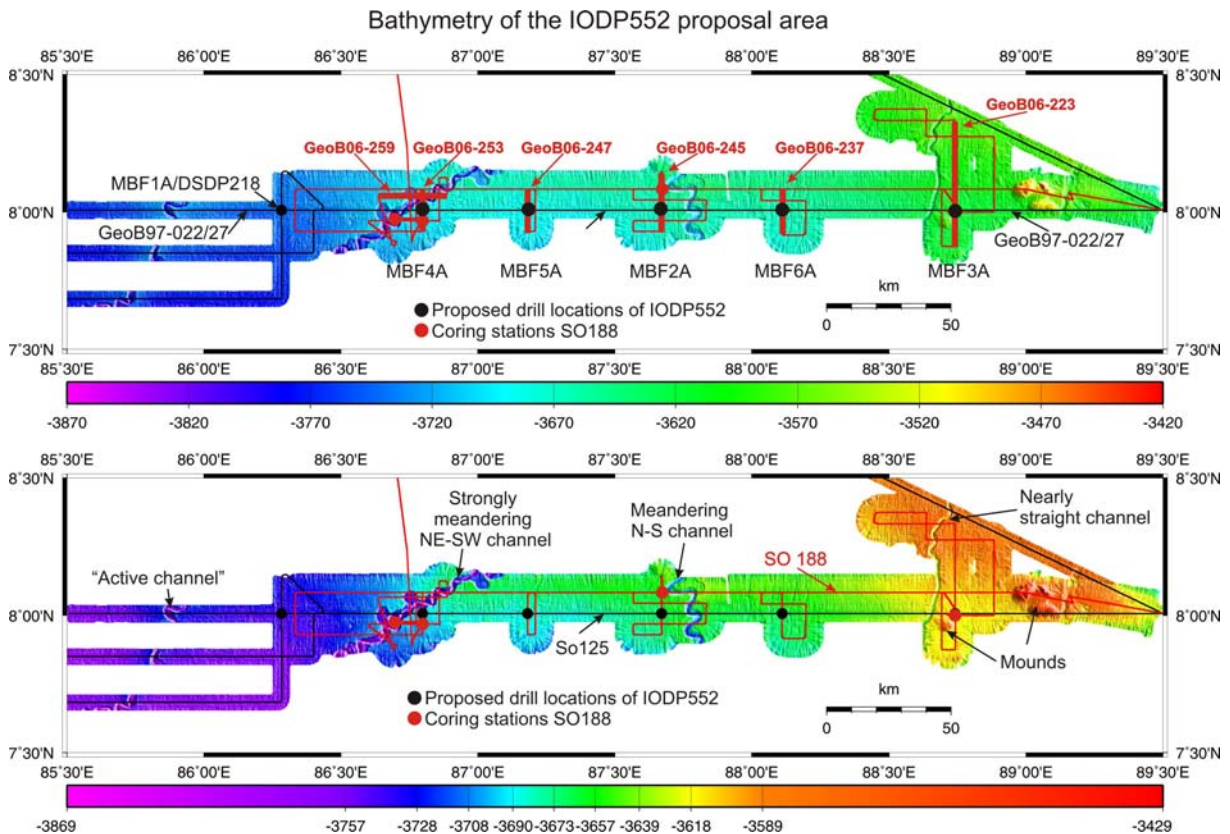


Abbildung 2: Bathymetrische Karte des Arbeitsgebietes „pre-site survey IODP proposal 552“. Eingezeichnet sind die vorgeschlagenen Positionen des Bohrproposals, die seismischen Linien, die auf SO 125 und jetzt auf SO 188 geschossen wurden, sowie die Positionen der Kernstationen während SO 188.

5.2 Architektur und Entwicklung des submarinen Ganges-Brahmaputra-Meghna Deltas

Auf dem zweiten Abschnitt der Fahrt SO 188 wurde das submarine Delta des Ganges-Brahmaputra-Meghna Flusssysteme intensiv vermessen, und zwar sowohl mit dem Bremer Flachwasser Mehrkanal Seismiksystem wie auch mit dem Parasound Sedimentecholot. Der Bremer Flachwasser-Streamer zeichnet sich dadurch aus, dass seine 48 Kanäle, die über eine Länge von 50 Metern verteilt sind, durch Einzelhydrophone realisiert werden, und es somit auch bei sehr flach einfallenden Schallwellen nicht zu destruktiven Interferenzen kommen kann.

Die Messungen konzentrierten sich auf zwei Arbeitsgebiete über dem Prodeltas, in denen jeweils sehr engmaschige Nord-Süd Profilnetze gefahren wurden, um kleinräumige Variationen hochauflösend abbilden zu können. Diese Arbeitsgebiete wurden mit langen West-Ost Profilen verbunden, um die Strukturen über die gesamte Erstreckung des submarinen Deltas zu kartieren. Zusätzlich zu den auf SO 188 gesammelten Daten standen auch Parasound Daten von der Fahrt SO 93 (1994) und SO 126 (1997) zur Verfügung, die einmal eine Verdichtung der Profile bedeuten, aber andererseits auch direkt ermöglichen, die sehr hohen Akkumulationsraten von bis zu 9 cm/yr direkt aus den akustischen Daten abzulesen. Alle verfügbaren Datensätze wurden mittels einer integrierten Interpretation analysiert. Diese Analyse ist als Manuskriptentwurf von Palamenghi et al. in **Anhang 2** angeführt, die wichtigsten Ergebnisse sollen hier kurz zusammengefasst werden.

Die seismischen Daten zeigen die typische sigmoidale Form eines progradierenden Deltas mit Topset, Foreset und Bottomset. Im Bereich des Foreset und Bottomset kann die Basis des Deltas gut identifiziert werden, während sie im Bereich des Topsets teilweise durch Gas maskiert ist. Die Basis repräsentiert offensichtlich die erosive „Maximum Flooding Surface“. In den langen West-Ost Profilen ist erkennbar, dass sich das submarine Delta im Westen über dem Niedrigstand-Delta des Ganges aufgebaut hat, während im Osten der Brahmaputra als Ästuar ausgebildet hatte.

Intern ist zu erkennen, dass sich die Struktur des Prodeltas vertikal in zwei Bereiche unterteilen lässt. Der flachere Bereich ist in der Seismik durch teilweise chaotisch erscheinende Ablagerungen charakterisiert. Diese Einheiten stellen sich in den Parasound Daten als transparente Zonen da, die als homogenisiertes Sediment interpretiert werden. Eine Kartierung zeigt, dass sich die transparenten Zonen jeweils

über das gesamte Prodelta erstrecken, und somit keine kleinräumigen Rutschungen oder ähnliches darstellen können, sondern dass nur schelfweite Ereignisse ein solches Ablagerungsmuster erzeugen können. Ein naheliegender Trigger für solch eine Homogenisierung von Sedimentmassen in diesem Gebiet sind Erdbeben. Diese Interpretation wird dadurch gestützt, dass im flacheren Bereich des Prodeltas vier derartige transparenten Zonen auftreten, und dass, bei Annahme von Sedimentationsraten von mehreren Zentimetern pro Jahr, dieses Tiefenstockwerk ungefähr die letzten 300 Jahre umfasst. In diesen letzten 300 Jahren gab es nun wiederum vier große Erdbeben in der Region, nämlich das 1762 Arakan Erdbeben, das 1897 Great India Erdbeben, das 1918 Srimangal Erdbeben und das 1950 Assam Erdbeben.

Somit kann man umgekehrt die transparenten Zonen in den Parasound Daten als Zeitmarken benutzen und für die letzten 300 Jahre Massenbilanzen erstellen (**Anlage 2**). Die Zahlen wurden für die beiden Detailarbeitsgebiete bestimmt und dann für die gesamte Prodelta Front hochgerechnet. Dabei zeigt sich, dass die Akkumulation im westlichen Teil des Prodeltas im wesentlichen konstant bleibt, während im östlichen Teil die Werte signifikant über die letzten 300 Jahre zurückgegangen sind. Dieser Rückgang in der Akkumulation deutet auf eine Reduktion des zugeführten Sedimentes hin.

Das submarine Delta ist nach diesen Ergebnissen ein wesentliches Depozentrum für die terrigene Fracht, die von den Flüssen Ganges und Brahmaputra aus dem Himalaya in das Delta von Bangladesch transportiert wird. Im Prodelta wird ein Anteil von etwa 22% der heutigen Suspensionsfracht abgelagert, und ein weiterer, nicht genau quantifizierbarer, aber größenordnungsmäßig vergleichbarer Anteil wird von Stürmen in den Swatch of No Ground eingetragen und dort akkumuliert. Damit fehlen signifikante Teile der Sedimentfracht zur Kompensation der Subsidenz des subaerischen Delta, die durch Kompaktion der mächtigen holozänen Sedimente, durch tektonischen Subduktionsstress und die Sedimentauflast verursacht wird. Bei dem prognostizierten Anstieg des Meeresspiegels verstärkt sich die ohnehin schon labile bis kritische Situation drastisch. In diesem Szenario kann das südliche Delta nur mit einem aufwändigen Küstenzonenmanagement stabilisiert werden, das darauf abzielen muss, möglichst viel Sediment aus den Flüssen auf den Inseln des Deltas zu fixieren. Leider verstärkt der staatlich und entwicklungspolitisch auch unterstützte Deichbau entlang der Ästuarie den seewärtigen Sedimenttransport in unverantwortlicher Weise.

5.3 Morphologie und Struktur eines submarinen Kanals

Ein wesentliches Strukturelement des Bengal-Fächers sind mächtige Channel-Levee Systeme, die durch Turbiditströme aufgebaut werden, die wiederum die Sedimente von einem tief eingeschnittenen Schelfcanyon Tiefseefächer transportierten. Somit ist der Bengal-Fächer optimal geeignet, die Architektur von Channel-Levee Systemen zu untersuchen, um Depositionsprozesse auf submarinen Fächern im Detail zu verstehen.

Während der Sonne Fahrt 188-1 wurde ein solches Channel-Levee System mit Hilfe hochauflösender Mehrkanalseismik, Parasound und Fächerlot EM120 im Detail erkundet, um die sich verändernde Architektur und Morphologie abzubilden. Das untersuchte System terminiert überraschenderweise auf dem mittleren Bengal Fächer und vereinigt sich nicht mit einem parallel verlaufenden Kanal, entgegen der veröffentlichten Kartierungen (siehe Abbildung 4). Die Bathymetrie zeigt deutlich, dass sich der Kanal in verschiedene Nebenarme aufteilt. Weitere, mittlerweile verfüllte Kanäle im Bereich der Terminierung zeigen, dass das Muster von Kanälen in diesem Bereich erheblich komplizierter ist als erwartet, und offensichtlich das Ergebnis von sukzessiven Erosions- und Verfüllungsereignissen darstellt.

Dieser Kanal wurde im weiteren Verlauf der Expedition über eine Distanz von 700 km nach Norden verfolgt, um sein Erscheinungsbild mit dem EM120 und Parasound zu dokumentieren. Diese Verfolgungsfahrt brachte die überraschende Erkenntnis, dass der terminierende Kanal nicht wie angenommen mit dem aktiven Kanal verbunden ist, sondern es wurden zwei Stellen detektiert, an denen der Kanal sein altes Bett verlassen hat und sich einen Weg westlich der alten Route gesucht hat. (siehe Abbildung 5). Diese Ereignisse sind wahrscheinlich das Ergebnis des Durchbrechens eines Levees durch Erosion, verursacht von Turbiditströmen. Im allgemeinen zeigt dieser Datensatz, dass das Muster von submarinen Kanälen wahrscheinlich erheblich komplizierter ist als auf Karten dargestellt, die oft auf sehr groben Messungen mit Single-beam Echoloten oder flachgeschleppten Sidescan Sonaren beruhen, die die hier detektierten Stellen gar nicht erfassen können. Dies bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass die laterale Verteilung von Sedimenten längs und quer zum Fächer komplexer sein könnte als bis jetzt bekannt oder angenommen.

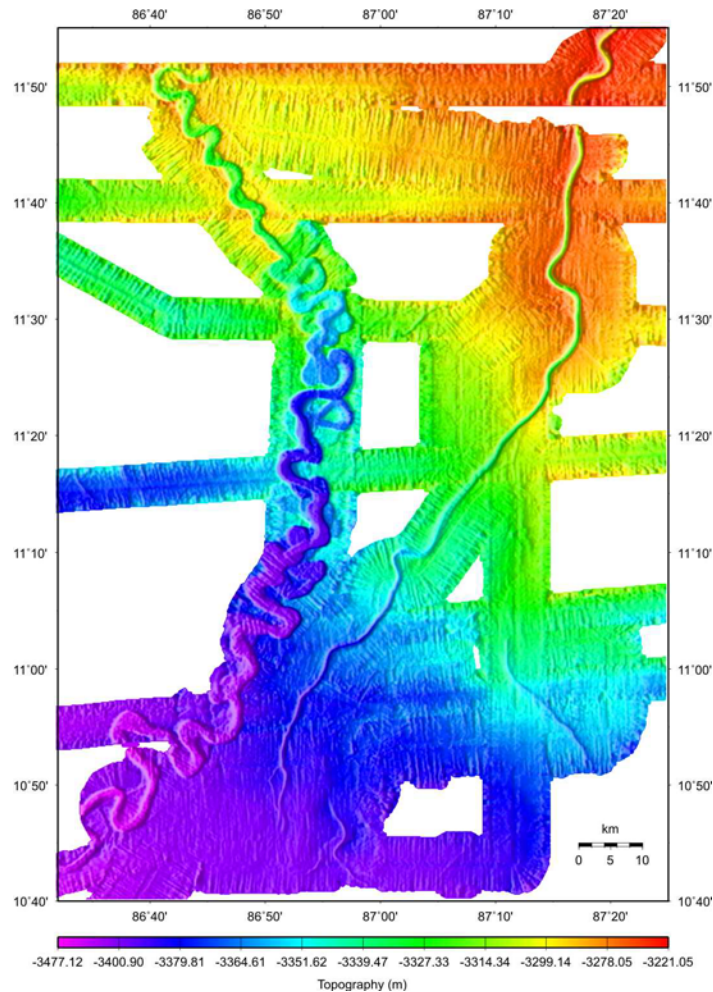


Abb. 4: Bathymetrische Karte des in mehreren Armen terminierenden submarinen Kanals auf dem mittleren Bengal Fächer. Links in der Karte ist ein vermutlich älteres System zu erkennen, das erheblich tiefer ist und auch eine höhere Sinuosität aufweist.

Die Bathymetrie-Daten des südlichsten Teils des submarinen Kanals, von der letzten Leveebruchstelle bis zur Termination, wurden aufwändig prozessiert. Dies war nötig, da wie schon erwähnt, die Datenqualität des EM120 ungewöhnlich schlecht war. Somit liegen jetzt bearbeitete Daten von einem submarinen Kanal von über 500 km vor. Dieser, nach unserem Kenntnisstand einmalige Datensatz von einem Kanal auf dem Bengalfächer, zeigt dessen signifikante Variationen in Form und Tiefe über die untersuchte Distanz. Im Rahmen einer Bachelorarbeit (siehe **Anlage 3**) wurden verschiedenste morphologische Parameter wie Relief, Thalweggradient, Flankenneigung, Sinuosität, Verfüllung und Höhe der Levees systematisch aus einer kombinierten Analyse von Fächerlotdaten und Parasound Daten ermittelt und in Beziehung zueinander gesetzt.

Dieser Datensatz wird in Kooperation mit K.M. Straub von der Tulane University, New Orleans benutzt, um die Eigenschaften der Turbiditströme, die diesen Kanal aufgebaut haben, mittels numerischer Modellierung zu rekonstruieren.

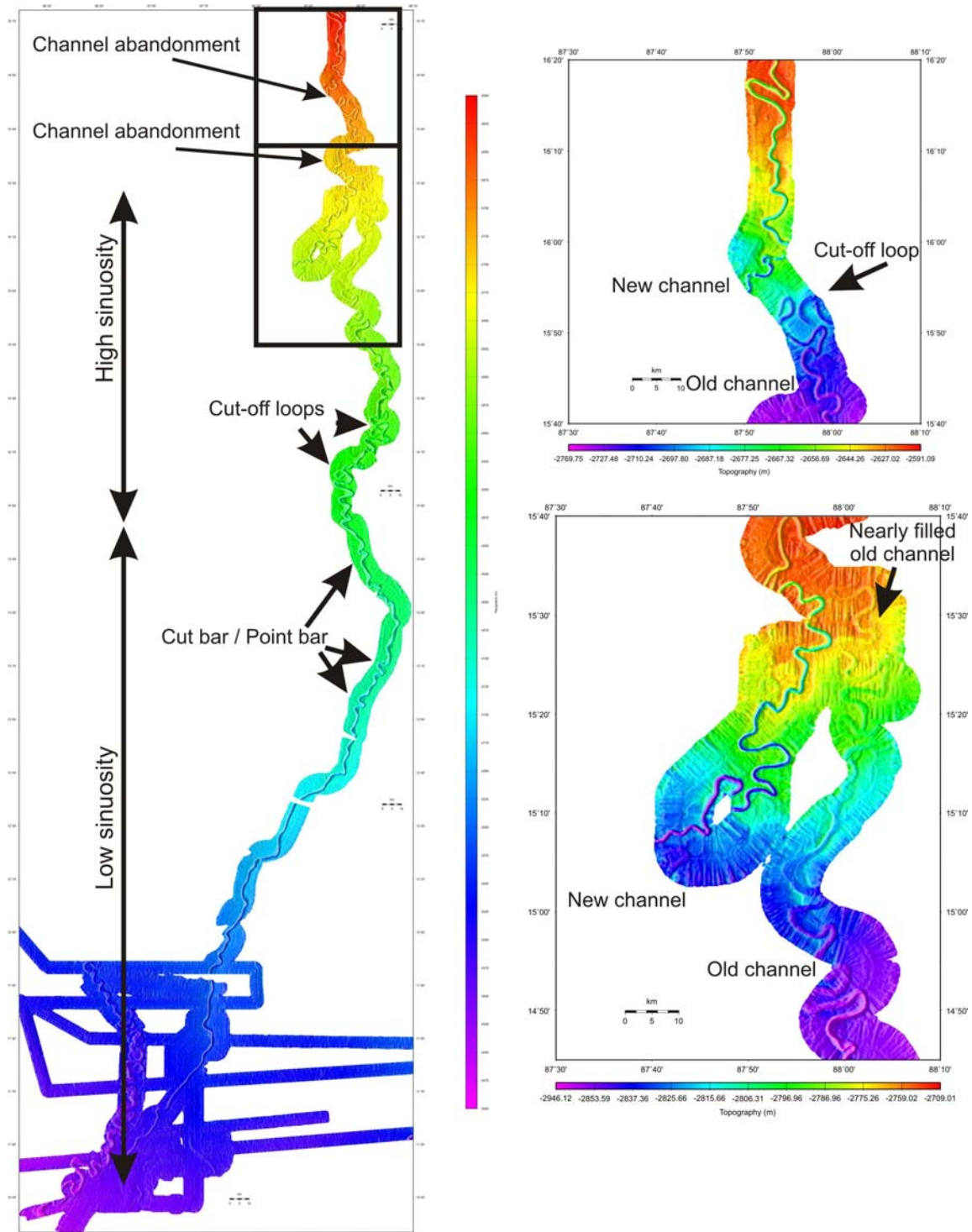


Abb. 5: Bathymetrische Karte des verfolgten submarinen Kanals. Die Lokationen, an denen das ursprüngliche Kanalbett verlassen wurde, sind als Vergrößerungen rechts abgebildet.

5.4 Sedimentationsprozesse im Schelfcanyon „Swatch of No Ground“

Tropische Wirbelstürme können enorme Sedimentmassen in flachem Wasser transportieren. Dies beruht auf ihrem hohen Energieeintrag ins Wasser, der durch die Turbulenz des Seegangs und spiralgig vom Zentrum des Sturmes auswärts drehende Strömungen bis in Wassertiefen von fast 100 m reicht. Die langsame Fortbewegung des Wirbels sorgt für lange und wechselnde Einwirkungen auf den Meeresboden, die sowohl in ihrer Intensität als auch Richtung wechseln. Der Abfluss der Wassermassen, die an der Küste meterhoch durch den Winddruck aufgestaut wurden und die aus den enormen Niederschlag stammen, transportiert nach der Passage des Sturmzentrums das mobilisierte Sediment über weite Strecken.

Die Küste von Bangladesch wird im Schnitt durch 1,5 Wirbelstürme im Jahr betroffen, wovon die Hälfte südlich Chittagong auf Land läuft. Besonders hohe Wirkung zeigen die Stürme, die im Delta enden oder sich längere Zeit parallel zur Küste im submarinen Delta bewegen. In den Vorschüttungskörper des Prodeltas sind diese Sturmereignisse nicht oder nur teilweise abgebildet. Dezimeter-mächtige, im Millimeterbereich laminierte Feinsandlagen in den Topsetbeds werden als Tempestite gedeutet, deren Material nach dem Sturm im ablaufenden Wasser transportiert und innerhalb kürzester Zeit abgelagert wurde. Die neuen Untersuchungen im dem Schelf Canyon Swatch of No Ground geben einen Hinweis, warum sich auf dem Schelf und in den Foresetbeds keine signifikanten Sturmlagen bilden können.

Diese Untersuchungen sind auf die jüngsten 1,75 m des Kerns SO188-336 KL fokussiert, der an der gleichen Stelle wie der bereits detailliert untersuchte Kern SO93-96 KL im Canyon in einer Wassertiefe von 270 m genommen wurde. Nach ¹³⁷Cs-Analysen sind die meist gradierten Feinsand-Silt-Ton-Abfolgen mit Raten von bis zu 45 cm pro Jahr abgesetzt worden (Kudrass et al. 1998). Die exzellente Korrelation der beiden Kerne erlaubt es, den Meeresboden zur Zeit der Probenahme des ersten Kerns vor 12 Jahren zu identifizieren. Die 1,75 m mächtige Sedimentfolge, die inzwischen mit deutlich geringerer Rate akkumuliert ist, wurde in 0,5 cm Schritten mit einer Laserkorngrößenbestimmung analysiert. Diese ermittelten Korngrößenverteilungen erlauben es viel besser als die ebenso genommenen Radio-graphien, das obere Ende der gradierten Lagen an der Grobsilt/Feinsilt-Relation zu bestimmen und somit die „normale“ Sedimentation im Canyon von den gradierten

Abfolgen abzugrenzen. Die 11 gradierten Folgen der letzten 12 Jahre entsprechen den 13 Zyklondurchgängen, etwa die Hälfte des akkumulierten Sediments wird, wahrscheinlich während des starken Abflusses im Sommermonsun, abgesetzt. Nach der schlechten Sortierung der untersten Abschnitte der gradierten Lagen, die neben dem auffälligen Feinsand in beträchtlichen Anteilen Silt und Ton (bis zu 85 %) enthalten, erfolgt die Ablagerung in dem Canyon nicht aus einer hypopyknischen Trübstoffwolke an der Meeresoberfläche, also nicht mit einer guten Korngrößen-trennung beim Absaigern der Partikel durch die 270 m Wassersäule, sondern weitgehend unsortiert aus einer bodennahen abfließenden hyperpyknischen Trübewolke, die in breiter Front dem südwärtigen Gefälle des Canyonbodens folgt. Der tief eingeschnittene Canyon scheint also die von den Zyklonen aufwirbelten Trübstoffwolken in die Tiefsee abzuleiten und damit von den Foresetbeds und dem Schelf abzuziehen. Dabei verlieren, wie die von 45 auf 22 cm pro Jahr abnehmenden Sedimentationsraten zeigen, die Trübstoffwolken so viel an Sediment, dass sich daraus möglicherweise keine schnellen Trübeströme entwickeln können.

Die gute Korrelation der historischen Zyklone mit den gradierten Lagen soll darüberhinaus für eine langfristige Abschätzung der holozänen Zykonfrequenz genutzt werden. Bei Sedimentationsraten von 20 bis 45 cm pro Jahr sind dazu Bohrungen notwendig, die nur anhand von gut ausgewerteten seismischen Profilen plaziert werden können. Der Antrag für diese Pre-site Survey Arbeiten wurde von der DFG im Rahmen des IODP-Schwerpunktprogramms bewilligt.

5.5 Abrupte Klimawechsel im Golf von Bengalen

Marine Klimazeitreihen aus dem Umfeld des asiatischen Monsuns gleichen stark den abrupten Temperaturänderungen (Dansgaard/Oeschger-Variationen), die in den grönländischen Eiskernen nachgewiesen wurden (Schulz et al., 1998; Kudrass et al., 2001; Wang et al., 2001). Generell ist ein starker Sommermonsun (starke SW-Winde, hoher Niederschlag, hohe Oberflächenwassertemperaturen) mit Warmphasen im Nordatlantik assoziiert und ein schwacher Monsun (schwacher Wind, geringer Niederschlag, niedrige SST) mit Kaltphasen. Während der Interstadiale herrschten also ähnliche Bedingungen wie im heutigen Nordsommer. Hingegen sorgte während der Stadiale vermutlich ein verstärktes sibirisches Hochdrucksystem, ähnlich dem heutigen Nordwinter, für kalte trockenen Winde, die vom Festland Richtung Indik und Westpazifik strömten.

Der Kern SO188-342KL (19°58.04'N, 90°02.03'E, 1256 m) wurde aus dem nördlichen Golf von Bengalen entnommen, ca. 200 km südlich der Mündung des Ganges und Brahmaputra, in einem Gebiet mit Sedimentationsraten von durchschnittlich 10 cm/kyr. Vorangegangene Untersuchungen am Parallelkern SO93-126KL (Kudrass et al., 2001) haben mit Hilfe der Sauerstoffisotopen-Verhältnisse planktischer Foraminiferen gezeigt, dass Zeiten verstärkter Niederschläge und verringerten Salzgehaltes mit Warmphasen im Nordatlantik einhergehen. Dieser Zusammenhang wird durch die hochauflösende Messung der Ti/Ca-Verhältnisse bestätigt. Da der Gehalt von Titan in marinen Sedimenten generell mit der Terrigenfraktion verbunden ist, stellt das Ti/Ca-Verhältnis einen Proxy für Schwankungen des terrigenen Flusseintrags dar. Maxima während der Interstadiale deuten auf eine verstärkte Erosion im Einzugsgebiet des Ganges-Brahmaputra, verbunden mit einer erhöhten Suspensionsfracht.

Die Konzentration von Chlorophyll-Abbauprodukten (Chlorinen) wird als Maß für die Änderungen der Paläoproduktivität genutzt. Die hochauflösende photospektrometrische Analyse zeigt, dass hohe Niederschläge, verstärkte Erosion und zunehmender terrigener Eintrag (hohe Ti/Ca-Verhältnisse) auf Dansgaard/Oeschger-Zeitskalen vorwiegend mit hohen Chlorin-Werten zusammenfallen. Dieser Zusammenhang deutet darauf hin, dass Nährstoffe, die während eines intensiven SW-Monsun mit der Suspensionsfracht eingetragen werden, die Primärproduktion im nördlichen Golf von Bengalen stimulieren. Der Kern zeigt außerdem deutliche

Schwankungen der Chlorin-Werte auf orbitalen Zeitskalen, die gegenläufig zu Änderungen der Kohlendioxid-Konzentration in Eiskernen der Antarktis variieren. Änderungen in der Produktivität des Ozeans und die damit verbundene Einbettung des organischen Kohlenstoffs im Sediment können in erheblichem Maß zu den beobachteten Schwankungen des atmosphärischen CO₂-Gehaltes beigetragen haben (Williams et al., **Anlage 4**).

Die klimatischen Änderungen im letzten Glazial spiegeln sich auch im vorwiegend terrestrischen Kohlenstoffisotopensignal der Fächersedimente wider, das vom letzten Glazial zum mittleren Holozän um 3 bis 4 % ins Negative verschoben erscheint. Die Isotopensignatur wird der Dominanz der C4-Pflanzen während des Glazials zugeschrieben (Galy 2007a), die trockenere Bedingungen an Land anzeigen. Dies verläuft konform mit den reduzierten Abflussmengen und der erhöhten Salinität, die sich in den Sedimenten am oberen Kontinental abzeichnen. Das terrigene Material bleibt auf Grund der hohen Sedimentationsraten erhalten und der Fächer ist somit weltweit gesehen eine wesentliche Kohlenstoffsenke (Galy et al., 2007b). Die Kombination der beiden Effekte von höherer mariner Produktivität und hohen Transferraten von organischem Kohlenstoff in die Fächersedimente könnte die Schwankungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration, wie sie im antarktischen Taylor Dome-Eiskern gemessen wurden, zumindest teilweise erklären.

Der Kern SO188-342KL enthält auch die Spuren eines weiteren außergewöhnlichen Klimaereignisses, der größten explosiven Vulkaneruption der vergangenen 2 Millionen Jahre, des Ausbruchs des Toba-Vulkans auf Sumatra vor ~70 ka. Asche aus Grönland-Eiskernen zeigt, dass die Toba-Eruption einen sechsjährigen vulkanischen Winter auslöste und den Beginn einer 1.800 Jahre andauernden Periode mit den kältesten Temperaturen während der vergangenen 125.000 Jahre einleitete (Zielinski et al., 1996). Um die klimatischen Auswirkungen dieses Ereignisses im Bereich des indischen Subkontinents zu untersuchen, haben wir die Pollen-Vergesellschaftung vor und nach dem Toba-Ereignis im Kern SO188-342KL analysiert. Die Toba-Aschenlage im Kern ist 1 cm mächtig, der untersuchte Bereich umfasst den Zeitraum von ca. 5.500 Jahren vor bis 3.500 Jahre nach der Eruption. Die Pollen-Vergesellschaftung deutet auf eine Vegetation hin, die vorwiegend aus Grasland und offenen Waldgebieten bestand. Eine signifikante Abnahme der Baum- und Strauch-Pollen nach der Toba-Eruption zeigt einen Wechsel zu trockeneren klimatischen Bedingungen an. Die deutliche Reduktion von *Stenochlaena palustris*,

einem Farn, der hauptsächlich im feuchten tropischen Flachland bis maximal 300 m über dem Meeresspiegel wächst, weist gleichzeitig auf kühlere Umweltbedingungen hin. Generell deutet der Wechsel von einer bewaldeten Fläche zu einer vorwiegend offeneren Vegetationsbedeckung und reduzierten Verbreitung von Farnen, besonders in den ersten 5-7 cm über der Toba-Asche, auf signifikant trockenere und kühlere klimatische Bedingungen für mindestens 1000 Jahre nach der Toba-Eruption.

Die Sedimentabfolge ist damit gut geeignet, die Auswirkungen abrupter globaler Klimaänderungen auf den Monsun-Niederschlag, den Eintrag der terrigenen Suspensionsfracht des Ganges-Brahmaputra und dessen Einfluss auf die Primärproduktion im nördlichen Golf abzuschätzen.

5.6 Weiterentwicklung des IODP Vorschlages 609pre

Das Ganges-Brahmaputra Flußsystem verbindet den Himalaya und das Tibet Plateau mit dem Golf von Bengalen und ermöglicht somit, die terrestrischen Klimabedingungen und Veränderungen unter dem Einfluss des Monsuns in den marinen Sedimenten zu studieren. Der Schelf vor Bangladesch, der Schelfcanyon „Swatch of No Ground“, der Kontinentalhang und der Tiefseefächer empfangen enorme Sedimentmengen, die auf verschiedenen Zeitskalen (jährliche auf dem Schelf, tausendjährige auf dem Hang und millionjährige auf dem Fächer) Transportprozesse, Erosionsbedingungen, Vegetation und Niederschlagsmengen dokumentieren.

Die Sonne Fahrt 188 hatte unter anderem das Ziel, sedimentäre Ablagerungen mit Mehrkanalseismik zu erkunden, die geeignet sind für hochauflösende Studien der terrestrischen Prozesse und der regionalen Meeresspiegelschwankungen. Ein wichtiger Fokus lag auf dem Schelfbereich einschließlich des Schelfcanyons und des oberen Kontinentalhanges. Die signifikante Subsidenz des Bengal Schelfs führt dazu, daß innerhalb der letzten Millionen Jahre kontinuierlich Ablagerungsraum zur Verfügung gestellt wurde. Dieser Prozess ist dokumentiert in den seismischen Linien, die über die Schelfkante geschossen wurden, und in den Tiefenlagen von oolitischen Strandrücken, die sich während des letzten Tiefstandes auf dem südlichen Schelf gebildet haben. Der Schelfcanyon Swatch of No Ground, der als temporäre Falle für Sedimente dient, die durch Tidenströme und Wirbelströme mobilisiert wurden, war ebenfalls das Ziel einer ausgedehnten seismischen Vermessung. Damit kann gezeigt werden, dass der Canyon eine mächtige sedimentäre Verfüllung aufweist, die eine hochauflösende Beprobung ermöglichen sollte. Schließlich wurden mehrere seismische Profile über den oberen Kontinentalhang gelegt, wo ein kontinuierliches Archiv für Meeresspiegelschwankungen und paläoozeanografische Veränderungen abgelagert wurde.

Insgesamt wurden somit mehrere vielversprechende Ziele untersucht, die in ein neues IODP Projekt beziehungsweise in die Weiterentwicklung des IODP proposals 603pre integriert werden sollen. Bohrungen in Schelf, Canyon und Hang sollen dann nicht nur die holozäne und pre-holozäne Geschichte studieren, sondern auch, als Komplementär zum existierenden Proposal 552, einen wesentlichen Beitrag zur

Fragestellung des Source-to-Sink Transfer der Partikel vom Himalaya zum Bengal Fächer leisten.

Die hier skizzierte Idee eines derartigen IODP Vorschlages wurde der community während der Delta Tagungen in Bangladesch und China vorgestellt und traf auf ein große Interesse. Insbesondere hat sich auch hier eine starke Zusammenarbeit mit Steve Goodbred (Vanderbilt University, Nashville) sowie Micheal Steckler und Nano Seeger (beide LDEO) ergeben, die eine große Bohrkampagne an Land in Bangladesch planen. Ein Kooperation beider Kampagnen im Rahmen eines gemeinsamen ICDP-IODP Projektes würde einen einmaligen onshore-offshore Transect hervorbringen.

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1

Review des SSP, Februar 2007
SPC Kommentar zum Report der DPG „Asian Monsoon“
SSEP Evaluation

Anlage 2

High-Resolution Seismostratigraphic Analysis
of the Late Glacial-Holocene Ganges-Brahmaputra Prodelta Front
L. Palamenghi^{a*}, T. Schwenk^a, H.R. Kudrass^b, V. Spiess^a.

Anlage 3

**Timo Schaper - Struktur und Morphologie eines submarinen Kanals im
Golf von Bengalen an Hand von Fächer- und Sedimentecholotdaten
(Bachelorarbeit Universität Bremen, FB Geowissenschaften)**

Anlage 4

Publikationen:

Williams, M.A.J., Ambrose, S. H., van der Kaars, S., Ruehlemann, C. ,
Chattopadhyaya, U., Pal, J., Chauhan, P.R., Guichard, F. & Bassinot,
F.(akzeptiert): Environmental impact of the Toba super-eruption in South Asia.-
Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.

Valier Galy, Louis Francois , Christian France-Lanord, Pierre Faure, Hermann
Kudrass, Fabien Palhol, Sunil K. Singh (2008): C4 plants decline in the
Himalayan basin since the Last Glacial Maximum, Quaternary Science
Reviews

Valier Galy, Olivier Beyssac, Christian France-Lanord, Timothy Eglinton
(2008): Recycling of Graphite During Himalayan Erosion: A Geological
Stabilization of Carbon in the Crust, Science, 322, 943-945.

Valier Galy, Christian France-Lanord, Olivier Beyssac, Pierre Faure, Hermann
Kudrass & Fabien Palhol (2008): Efficient organic carbon burial in the Bengal
fan sustained by the Himalayan erosional system.- Nature, 450, 407-410.

Anlage 5

Protokoll der Datenübergabe an Ministry of Foreign Affairs Bangladesh

Anlage 1

1. Review des SSP, Februar 2007
2. SPC Kommentar zum Report der DPG „Asian Monsoon“
3. SSEP Evaluation

Proposal No.	552-Full3
Short Title	Bengal Fan
Lead Proponent	Christian France-Lanord
SSP Watchdogs	Gilles Lericolais, Yoshikazu Yaguchi, Stanley Locker
SSP Proponent(s)	None
Review date	22 February 2007

SSP Review:

This proposal seeks to sample the Bengal fan along an E-W transect to address interactions among the growth of the Himalaya and Tibet, the development of the Asian monsoon, and the processes affecting the carbon cycle and global climate. Six sites have been proposed on an 8°N transect: MBF-1A to -6A.

MBF-1A and -2A plan to target Miocene to Pliocene successions to examine the development of the Asian monsoon with penetration depths of 900 m.

MBF-3A aims to reach pre-fan deposits with a penetration depth of 1,500 m.

MBF-4A, -5A and -6A with penetration depths of 300 m, aim to examine the possible depocenter migrations.

As specified in 552-PRL (November 2004), a new site survey was conducted in June and July 2006. Part of the new site survey data were submitted to the Data Bank in July 2006, and a related addendum (552-Add2) was submitted on July 24, 2006. As requested in a previous SSP review (February 2005), the proponents submitted multi-beam bathymetry, navigation data and MCS crossing lines at the proposed sites. This was completed by new navigation data, parasound profiler data and piston core descriptions provided to the Data Bank following the requirements specified by the SSP in July 2006. Again, the SSP appreciates the new data submission.

SSP Consensus:

New data from the last site survey have been now submitted to the Data Bank, including sub-bottom profiling and piston core data required for site characterization in the previous (July 2006) SSP review. Although the submitted bathymetry and 2D MCS cross line data clearly image the targets at each proposed site, 2D MCS grid lines near the sites would be useful, though not strictly required. The SSP welcomes the continued efforts by the proponents to fulfill the SSP requirements and encourages them to investigate the existence and availability of 3D seismic datasets within the energy industry. As already underlined by the previous SSP reviews, the site locations need to avoid overlapping with deep-sea channels, so any 3D seismic imagery would be a welcome supplement.

Site Characterization Completeness and Data Adequacy Classification:

Site	Classification	Latitude	Longitude
MBF-1A	1Aa	8° .42'	86° 17'
MBF-2A	1Aa	8° .42'	87° 40.25'
MBF-3A	1Aa	8° .42'	88° 44.5'
MBF-4A	1Aa	8° .42'	86° 47.9'
MBF-5A	1Aa	8° .42'	87° 10.9'
MBF-6A	1Aa	8° .42'	88° 6.6'

Completeness:

1A: All required data are in the Data Bank and have been reviewed by SSP.

Data Adequacy:

a: Data image the target adequately and there are no scientific concerns of drill site location and penetration.

For additional guidance proponents may contact the IODP-MI Science Coordinators <science@iodp-mi-sapporo.org>, panel watchdogs Gilles Lericolais <Gilles.Lericolais@ifremer.fr>, Yaguchi Yoshikazu <Yaguchi_yoshikazu@moeco.co.jp >, Stanley Locker <slocker@marine.usf.edu>, SSP chair Dale Sawyer <dale@rice.edu> or SSP vice-chair Yoshikazu Yaguchi <Yaguchi_yoshikazu@moeco.co.jp>. To submit data to the IODP Site Survey Data Bank, go to <http://ssdb.iodp.org/>.

IODP Science Planning Committee - Comments and Recommendations

Proposal: 552-Full3

Title: Neogene and late Paleogene record of Himalayan orogeny and climate: a transect across the Middle Bengal Fan

Lead Proponent: Christian France-Lanord

Date of SPC Review: 6 March 2008

SPC Watchdogs: Gregory Mountain, Hugh Jenkyns, Katsumi Marumo

The IODP Science Planning Committee (SPC) considered thirty-four mature and scientifically sound drilling proposals at its March 2008 meeting in Barcelona, Spain. These included new proposals to the SPC, proposals residing with the SPC, and unscheduled proposals that had previously been sent to the Operations Task Force (OTF). Since there was a large number of unscheduled proposals that have been residing with the OTF for several years, the SPC decided it was necessary to reevaluate those proposals along with the new proposals, in order to prioritize the science that should be done by the end of the current phase of IODP in 2013. Twenty-six proposals received a global scientific ranking, and thirteen will go forward in two distinct groups to the OTF for possible scheduling in fiscal year 2010 and beyond.

Proposal 552-Full3 was not ranked because it is currently being discussed with other related proposals in a detailed planning group (DPG) on Asian Monsoons.

The goals of this proposal are highly relevant to the Initial Science Plan (ISP) of the IODP, the strategy is clear, focused and realistic, and the SPC continues to be very supportive. The inclusion of survey data collected in summer 2006 has enabled the proponents to develop a drilling plan that will characterize the complexities of fan processes while also reaching targets in the valuable pre-18 Ma interval and hopefully to depths recording pre-fan deposition. Drilling will provide an important record of the Asian monsoon in a location complementary to that of other proposed monsoon-oriented drilling expeditions. Himalayan erosion (and subsequent deposition) may have global effects on the levels of atmospheric carbon dioxide and the geochemical cycles of minor and trace elements (e.g., rare earth elements). Consequently, chemical analysis of minor and trace elements in core samples from the Bengal Fan will provide a measure of their total flux to the world's oceans. The fluxes of minor and trace elements, in turn, may be balanced by their adsorption on the surface of suspended particulate matter in hydrothermal plumes generated at mid-ocean ridges. If so, Himalayan erosion history will be recorded in sediments far away from the Bengal Fan.

Proponents may contact the IODP-MI science coordinators <science@iodp-mi-sapporo.org>, SPC chair James Mori <mori@eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp> or SPC watchdogs, Gregory Mountain <gmtn@rci.rutgers.edu>, Hugh Jenkyns <Hugh.Jenkyns@earth.ox.ac.uk>, Katsumi Marumo <k.marumo@aist.go.jp> for additional guidance.

IODP SSEP PROPOSAL EVALUATION FORM

Proposal number	552-Full3 (including 552-Add2)
Proposal title	Neogene and late Paleogene record of Himalayan orogeny and climate: a transect across the Middle Bengal Fan
Contact proponent	Christian France-Lanord
Date of review	13 November, 2008
Recommendation	SSEP star grouping: four stars
Suggested drilling platform(s)	Non-riser
Link(s) to IODP Initial Science Plan	Environmental Change, Processes and Effects/Tectonically induced changes
Link(s) to other global research programs	None identified

Review by EDP

Review by STP

Science Steering and Evaluation Panel Comments

Comment from SPC Chair, Jim Mori:

The Science Planning Committee (SPC) is in the continuing process of evaluating all proposals that reside with the SPC and Operations Task Force (OTF). In the current Science Advisory Structure (SAS) process, proposals forwarded to the SPC are assigned a star grouping by the SSEP, which reflects the quality of the science. However, some older proposals (including yours) were forwarded from the SSEP to the SPC prior to the introduction of the star grouping system. To help facilitate proposal evaluations by the SPC, the SPC asked the SSEP to evaluate these older proposals at its November 2008 meeting in order to, where possible, assign a star grouping that is consistent with the current system.

The following review of your proposal reflects a current science evaluation by the SSEP based on the most recent version of your proposal, including any subsequent response letters and addenda.

SSEP Review:

The SSEP concurs with previous assessments by the SSEP and SPC that identified this proposal as highly relevant to the goals stated in the IODP Initial Science Plan (ISP). The strategy is clear, focused, realistic, and remains timely; the SSEP continues to be very supportive.

Specifically, the proposed research is highly relevant for our understanding of the linkages between Himalayan uplift, global element cycles, and climate. The Bengal Fan is an ideal location to address these relationships. With their previous work, the proponents have demonstrated how to extract crucial environmental information from sediments deposited at the Bengal Fan. The proposed drilling initiative will dramatically increase this information and has a high probability of success. Even though the proposal was initially submitted in the last decade, none of its content appears outdated. The proponents have done a superb job in

updating their proposal with pertinent information and have continued to publish new related results in high-profile journals of which post-cruise research strategies would undoubtedly benefit (e.g., Galy et al., Nature, 2007; Science, 2008).

The proposal addresses first-order research problems of global relevance that can only be addressed by scientific drilling; the project's results have a good chance to be incorporated in future geology textbooks. The panel strongly supports this proposal and assigns it a SSEP star grouping of four stars. The panel notes that attractive synergies could arise through the links to the proposed IODP drilling initiative at the Indus Fan (Proposal 595-Full3, Clift et al.).

Proponents may contact the IODP-MI science coordinators <science@iodp-mi-sapporo.org>, SSEP co-chairs Akira Ishiwatari <geoishw@cneas.tohoku.ac.jp>, Barbara John <bjohn@uwyo.edu> and Heiko Pälike <heiko@noc.soton.ac.uk>, or SPC chair Jim Mori <mori@eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp> for additional guidance.

Anlage 2

Manuskriptentwurf

High-Resolution Seismostratigraphic Analysis of the Late Glacial-Holocene Ganges-Brahmaputra Prodelta Front

L. Palamenghi^{a*}, T. Schwenk^a, H.R. Kudrass^b, V. Spiess^a.

a) Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, 28334 Bremen, Germany

b) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655
Hannover, Germany

High-Resolution Seismostratigraphic Analysis of the Late Glacial-Holocene Ganges-Brahmaputra Prodelta Front

L. Palamenghi^{a*}, T. Schwenk^a, H.R. Kudrass^b, V. Spiess^a.

a) Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, 28334 Bremen, Germany

b) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany

ABSTRACT

The Ganges-Brahmaputra prodelta acts as sink or temporary trap for sediments derived from Himalaya denudation. Around one third of the delivered sediment is deposited in the foreset beds of the prodelta front, whereas an equivalent amount is transported to a canyon deeply incised into the shelf, the Swatch of No Ground, from where they are episodically released to the deep sea Bengal Fan via turbidity current activity. The major transport is induced by tides or heavy storms in a SW monsoon driven ocean circulation. Results from a seismostratigraphic analysis of high-resolution multichannel seismic and Parasound data are here reported in order to reveal the architecture and evolution of the prodelta front on the Bengal Shelf. A multi-scale sediment budget calculation will be used to test the general assumptions on the source-to-sink system Himalaya-Bengal Basin-Bengal Fan. To better understand the mass balance between subaerial and submarine delta, the sedimentary sequence will be studied on a millennial to centennial to decadal time scale.

The sigmoidal cliniform prodelta wedge is actively prograding and onlapping an erosive discontinuity interpreted as a transgressive surface of erosion related to the late Pleistocene MWP1A event. The 3 % of the late Quaternary sediment discharge is sunk in the prodelta front. The internal architecture of the prodelta front can be subdivided into two major sub-units where the uppermost unit, sub-unit (2), is interpreted as foreset beds formed after the coalescence of Ganges with Brahmaputra. The foreset beds dipocentre is strongly depth-slope related and found between -30 m and -60 m coinciding with the highest accumulation rate estimated by thickness variation analysis executed on time series of seismic profiles. Acoustic facies reveals an alternation of regularly stratified sub-sequences and four well distinct acoustic transparent units, TUs, which extend laterally shelf wide in the prodelta front. The acoustic transparent units are interpreted as homogenized sediment liquefied by the cyclic load induced by the major earthquakes occurred in the last centuries. Assuming as constant value the subsidence rate, sediment input and mean sea level, it resulted that the prodelta front is experiencing a decrease in sediment supply confirmed by the volume accumulated in the last decade in the foreset beds. Natural and human induced factors could alter the actual equilibrium and such alteration could cause heavy consequences in the social and economic sphere of the coastal zone of the Bangladesh country which is only few metres above sea level and therefore very sensitive to changing. The record of the most severe earthquakes in the sedimentary sequence might be a useful tool to help in the risk assessments.

1. Introduction

2. Background

2.1 Location and Geological Settings

2.2 Oceanography and sedimentation

3. Material and Methods

3.1 Acquisition and processing of the Multi-Channel Seismic

3.2 Acquisition and elaboration of the Parasound echosounder data

3.3 Volumes calculations methodologies

4. Seismostratigraphic analysis of the prodelta front

4.1 Morphology of the Bengal Shelf

4.2 Seismic acoustic facies

4.3 Thickness variations for the last 12 years

4.3 Volumes calculations

5. Discussion

5.1 Defining the chronostratigraphic framework

5.1.1 Last Glacial Maximum

5.1.2 Late Glacial Period

5.1.3 Post Glacial Period

5.2 Interpretation of the sedimentary environment

5.3 Origin of the acoustic transparent units

5.4 Mass Balance

5.4.1 Last decade storage rate

6. Conclusions

Literature

Figures

1. Introduction

The offshore transport of suspended sediments from the Ganges-Brahmaputra Delta is driven by the monsoon ocean circulation and by tides regime (Coleman 1969; Barua, 1994; Kuehl et al., 1997). Accommodation for sediments is created by long term variables: the subsidence rate caused by the tectonic passive margin and the Quaternary sea level oscillations (Goodbred and Kuehl, 2000a; Hübsher and Spiess, 2005). As a result of the complex interactions between tectonic, hydrologic, atmospheric and oceanic factors the suspended sediment supply derived from the Himalaya denudation is thought to be equally distribute between the subaerial delta, the prodelta and a canyon from where they are released via episodic turbidity currents to the deep sea fan (Kuehl et al., 1997; Michels et al., 1998; Goodbred and Kuehl, 1999; Goodbred and Kuehl, 2000b).

During transition from Last Glacial Maximum to post glacial period, accelerated phases of sea level rise, monsoon intensification and sediment supply played a major role in the development of the delta complex (Umitsu, 1993; Goodbred and Kuehl, 2000a; Allison, 2003). The Anthropocenic stresses on the coastal areas of the lower delta plain might have affected the long term equilibrium. Natural forcing like superimposed cycles in the base sea level progression and monsoon variability, or human induced modifications as wetland conversion into cultivation and river embankments might be altering the sediment distribution in favour of one or another of the system compartment.

Assuming the deltaic system still in equilibrium and boundary conditions constant during the last centuries, a mass balance is experimentally calculated for the submarine delta in the active prograding region of the prodelta front. Using a seismostratigraphic approach to interpret the sedimentary deposit, mean annual storage rates will be compared to identify possible mass balance variations already happened or ongoing.

2. Background

2.1 Location and Geological Settings

The source-to-sink system of the Himalayas-Bengal Basin-Bengal Fan is driven by the rivers Ganges and Brahmaputra which transport the worldwide greatest flow of sediment to the ocean. The Ganges River originates in the western Himalayas and it drains the southern slopes of the mountain chain. The Brahmaputra has its source in central Tibet; it follows the northern slope of the Himalayas and, after a westward sharp bend in the Assam Basin, it enters the Bangladesh alluvial plain. The Ganges is primarily a meandering river transporting mainly silt-clay-sized material in suspension, while the Brahmaputra is primarily a braided river with a bed load consisting predominantly of fine sand and silt (Coleman 1969). The Brahmaputra and the Ganges, named Jamuna and Padma in the Bengali language, converge 190 km inshore the coastline of Bangladesh and join the Meghna which drains the adjacent Sylhet Basin. The Meghna gives the name to the estuary which lies at the north-eastern edge of the Bengal Bay (Figure 1). It is a tide dominated delta and is formed by four major channels. The total suspended sediment load, mainly transported during the summer monsoon flood periods, is estimated 1×10^9 t (Milliman and Syvitsky, 1992; WARPO, 1996).

Hydrodynamic conditions of the Bengal Shelf, the high sediment supply and the available accommodation favoured the development of a prodelta with a sigmoidal

clinoform structure. Seaward of the estuary, unusually wide and shallow sandy topset beds extend for 100 km from -10 m and -20 m. The prodelta front starts seawards of the -15 m bathymetric line. The roll-over point of the clinoform structure is encountered between -20 m and -30 m water depth. The foreset beds extend up to -80 m and grain size decreases to silty-clayey. The bottomsets are even finer grained and extend seaward from -80 m to a maximum of -100 m (Kuehl et al., 1997; Hübscher et al., 1998; Michels et al., 1998). A deeply incised canyon, the Swatch of No Ground, cuts the shelf up to the topset beds. The Swatch of No Ground acts as major conduit canalising turbidity currents to the Bengal Deep-Sea Fan (Curry et al., 1991; Schwenk et al., 2002).

The confluence of Ganges-Padma into Brahmaputra-Jamuna is very recent and represents the geomorphologic expression of major forcing agents on the Bengal Basin: tectonic and eustasy. The Bengal Basin is a forearc basin located at the juncture of three interacting plates: the Indian, Burmese and Tibetan (Eurasian) Plates. Most of the Bengal Basin is formed over the northeastern rim of the Indian Plate which is subducted to the north under the Eurasian Plate and to the east under the Burmese Plate (Figure 1). The Chittagong–Tripura Fold Belt with its north-south trending anticlines in the eastern basin is formed by the subduction-related collision (Alam et al. 2001). The deformation front lies at the foot of the fold belt and it crops out at the continental slope offshore of eastern Myanmar and is coming ashore at the Meghna estuary (Figure 1). The NNW ongoing subduction of the Indian plate beneath Asia is estimated by GPS measurement of 36 mmyr^{-1} (Socquet, A. et al., 2006; Cummins, 2007). This ongoing subduction results in frequent earthquakes (Steckler et al., 2008) which concentrate on the plate boundaries at the eastern margin due to the combined effects of northward movement along the transform fault and eastward movement into the subduction zone (Cummins, 2007).

Different locations in the basin show spatially variable tectonic subsidence rates. Estimations made on a series of cores and wells located in the alluvial plain in the central basin gives $1\text{--}4 \text{ mmyr}^{-1}$; peaks of $2\text{--}4 \text{ mmyr}^{-1}$ are found in the Sylhet Basin (Goodbred and Kuehl, 2000a). In the outer shelf, subsidence rate determined by a seismostratigraphic approach is in the order of $0,4 \text{ mmyr}^{-1}$ (Hübscher and Spiess, 2005).

The basin depocentre migrated numerous times seaward and landward during the Pleistocene sea level changes due to eustasy driven by Milankovitch cycles. The present day configuration of the delta is the result of the transgression following the Last Glacial Maximum sea level fall of approximately 118 m between 21 ky and 18 ky. Sea level curves from the Atlantic (Fairbanks, 1989; Bard et al., 1990), Pacific (Bard et al., 1996; Hanebuth et al., 2000, Yokohama et al., 2000) and Indian Ocean (Geyh et al., 1979; Camoin et al., 2004) report a short lowest lowstand, followed by a general transgression trend with episodes of accelerated sea level rise. Active growth of the channel–levee system on the deep sea fan occurred throughout sea-level rise and highstand with a distinct growth phase during a millennium long resumption of glacial condition, the Younger Dryas (Weber et al., 1997). Monsoon precipitations intensified at the transition from Pleistocene to Holocene (Gasse et al., 1991). In the middle Holocene, a higher sea level highstand than present one is registered in the tropical regions (Geyh et al., 1979; Lambeck et al., 2001). At that time Ganges's main course initiated an eastward migration, while the Brahmaputra was confined in the eastern region following a similar course to the present one joining the Meghna. The two rivers converged in historical times (Rennell 1786, Allison et al., 2003). Ganges eastward migration left behind a channel distributaries system where the large Sunderbans mangrove forest formed (Figure 1). After the confluence the Ganges–

Brahmaputra Delta experienced both shoreline accretion and aggradation of the lower delta plain surface. The shorelines of Ganges deltaic deposits formed during the mid-Holocene period west of the present active river mouths, has been eroded up to 3–4 km since 1840 (Allison, 1998).

2.2 Oceanography and Sedimentation

Oceanic surface circulation in the northern Bay of Bengal is driven by the seasonal migration of the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ). During the summer monsoon, the N-NW displacement of the ITCZ generates a SW wind inducing an anticlockwise surface current. Transport of humid air from the sea to the inland originates intense precipitations in the drainage area of the Ganges and Brahmaputra. Vice versa, during winter, the ITCZ moves in a more equatorial position and the resulting NE monsoon induces a weaker clockwise oceanic current and dry conditions onshore. Premonsoon periods, during spring and autumn, coincide with tropical cyclones formation. The basic circulation is nearly barotropic and water temperatures are highest in the Arabian Sea and in the Bay of Bengal setting the conditions for the warm core generation of tropical cyclones. Being pushed from the south by wind stress and funnelled by the triangular shape at the head of the bay, cyclones have landfall in the northern Orissa, West Bengal, Bangladesh and part of northern Myanmar often causing dramatic storm surge (Murty et al., 1992).

Equatorial wind variability rather than river run-off is responsible for a positive sea level anomaly of 0,1-0,25 m in the coastal region and 0,05-0,15 cm in the interior bay from May to September (Han and Webster, 2002).

Coastal waters respond to semi-diurnal tidal forcing. Maximum amplitudes of 5 m are registered in the eastern estuary. In the western channels lower amplitudes coincide with a net export of river waters. The Sunderban mangrove forest is tidally dominated with tide differences of about 2 m. The lower delta plain is less than 3 m above sea level and saline water from the Bay of Bengal penetrates 100 km or more inland along the distributary channels during the dry season (Figure 1). In the offshore region, amplitude decreases from 0,8 in the topset beds to 0,5 m in the foreset-bottomset (Murty and Henry, 1983). It becomes negligible in the outer shelf. Sea level anomalies and high tides can intensify the amplitude of the storm surge impact on the coast (As-Salek and Yasuda, 2001).

Profiles of temperature, salinity and oxygen indicate a strong water mass stratification (Berner et al., 2003). Low salinity and temperate water originated by river run-off lies on top of warmer, saline and oxygen-poor water. Methane anomaly concentrations are found in the water column at -20 m and below -60 m water depth. The Swatch of No Ground is filled with anoxic water (Berner et al., 2003).

Maximum discharge peaks of water and sediments are reached during the summer monsoon. The Ganges normally reaches its maximum discharge during the later part of August or beginning of September, while the Brahmaputra displays two or three peaks in June, end of July-August and early September (Coleman, 1969).

Tides are an important agent of lateral transport and resuspension. Suspended sediment concentration is higher during spring tides and lower during neap tides. The main transport vector is directed westward along the shelf toward the Swatch of No Ground (Kuehl, 1989; Barua, 1994). Remobilization and transport of sediments, however, is also significantly caused by the passages of the tropical cyclones. An 11 m core collected at the head of the canyon in a water depth of 270 m on the upstream levee of the main bottom channel, records all the cyclones crossing the shelf from 1969 to 1993 as graded sequences (Kudrass et al., 1998). Sedimentation

rates estimated by ^{210}Pb and ^{137}Cs gamma spectrometry, reach 5 cmyr^{-1} to 10 cmyr^{-1} at the foreset beds where about 20 % of the total riverine sediment load is deposited causing an annual progradation of the subaqueous delta of 15 myr^{-1} (Michels et al., 1998; Suckow et al., 2001). Sedimentation rate at the bottomset is estimated less than $0,3\text{ cmyr}^{-1}$ (Kuehl et al., 1997). According to dated boreholes collected on the subaerial deltaic plain, $\sim 8.5\text{E}+12\text{ m}^3$ of sediments have been accumulated since ca. 11 ky BP, taken as timing of earliest deltaic development (Goodbred and Kuehl, 2000b).

3. Material and Methods

The R/V SONNE Expedition SO188 (BENGAL SEA LEVEL) is the fourth cruise to the Bay of Bengal. Previous cruises took place in 1993-1994 (SO93) and 1996-1997 (SO 125 and SO 126). During the second Leg of SO188 Expedition the shelf area was extensively covered with EW regional line and NS crossing transect from a water depth of 15 m down to the shelf break.

3.1 Acquisition and processing of the MCS

Multichannel Seismic (MCS) data acquisition adopted new and more complete techniques in order to obtain high lateral resolution of the sedimentary deposits in shallow water depth. In the shelf region (-15 m to -130 m), acquisition was performed with a GI Gun (TMSODERA, France) with reduced chamber volumes of 2x0.4 l (100–500 Hz) and an especially designed shallow water streamer 50 m long with 48 single hydrophones 1 m spacing. The signal was digitalized by a NI6052E 16 bit AD-Converters connected to a 32 channel multiplexer (NI-SCXI1102-C) with onboard pre-amplification and anti-alias filter. Seismic data were recorded with MaMucs acquisition software developed by the Bremen University with a nearly continuous recording (sampling rate of 125 μ s, trigger every 4 s, recording 3 s) and data stored in demultiplexed SEG-Y to hard disk. The data was processed with the Vista 6.0 seismic processing software package using normal processing steps. After velocity analysis and normal move out (NMO) correction, traces were stacked adopting means in common midpoint (CMP) with a bin radius of 5 m and 5 m binning distance. Each CMP was geo-referenced using DGPS positions recorded during navigation. Before migration, a manual post-processing static correction was adopted to remove noise induced by oceanic waves. Displaying and interpretation of the MCS was executed with the commercial software package Kingdom Suite 8.0.

3.2 Acquisition and elaboration of the Parasound echosounder data

Parasound echosounder system DS-2 designed by ATLAS Hydrographic is installed on board and was running 24 h. The system utilizes the parametric effect generating sufficiently high primary amplitudes (4 kHz) by two sound waves of high energy emitted simultaneously at different frequencies (18 kHz and 22 kHz). Seismograms were sampled at a frequency of 40 kHz, with a registration length of 133 ms or 266 ms for a depth window of ~100 m or ~200 m, respectively. The data were stored by ParaDigMa in the *.ps3 format (Spiess, 1993). Conversion in SEG-Y standard format of the data set of the three cruises has been manually executed adopting self written softwares developed by the Bremen University. Once transformed into SEG-Y standard format also Parasound profiles were loaded in the already mentioned interpretation software.

Vertical resolution of 0.4 m is almost in the same order of magnitude of the error induced by tidal range on the middle shelf (± 0.5 m) to sum to the interannual sea level variability (± 0.15 m). The maximum error associated to water depth measures of Parasound is of ± 0.65 m. Time-depth conversion with a standard velocity of 1500 ms^{-1} was executed to experimentally calculate the accumulation rate. Indirect methods of calculation of accumulation rate in high sediment supply region have been performed by comparison of bathymetric charts (Giosan et al., 2006; Wei et al., 2007). Comparing the three different data sets it emerged that in the foreset beds the clinoform deposits had visibly prograded. Especially where surveys were overlapping,

this evidence suggested the possibility to estimate the accumulation rate by dividing the newly deposited sediment by the time elapsed between the two surveys. To avoid the errors associated to tide and interannual sea level variability, instead of the differences in water depth, was employed the absolute value of the thickness differences. Such methodology was not applied when the thickness differences was below the Parasound resolution.

3.3 Volumes calculations methodologies

The data collected during the three expeditions are used for some quantitative measurements. Volumes have been experimentally estimated by three procedures:

1. Calculated between prominent reflections in two local grids. The horizons picked have been gridded to create isopach maps using a gradient projection algorithm. The increment values of 150 m equivalent to 5" of latitude and the maximum projection distance of 450 m are the best fit spatial distribution of the data. The gradient projection method will produce questionable results if the sample distribution is too sparse. As only the 40 % of the prodelta front has been accordingly covered by seismic survey only two areas in the eastern and western prodelta front where retained suitable for volumes calculations. These areas were more intensively surveyed resulting 75 % and the 83 % coverage.. They are referred as Egrid and Wgrid (Figure 2). Volumes are calculated in m³ and transformed in tons using an average bulk density of 1,67 tm⁻³ from sediment cores of the foreset beds (Michels at al., 1998). The error due to the newly accumulated sediments for the Egrid and Wgrid results from the bathymetric changes of the seafloor in the 12 yr elapsed between three surveys (see Chapt. 5.4.1).

2. Extending the grids results to the entire prodelta front. The Egrid and Wgrid are assumed to be representative for the eastern and western prodelta front. Prodelt front volumes are calculated for two bigger polygon blocks, Eblock and Wblock, covering the entire prodelta front (Figure 2) between -20 m and -80 m, using the following approximation by proportion:

$(Wblock\ Area / Wgrid\ Area) * Wgrid\ volume_i + (Eblock\ Area / Egrid\ Area) * Egrid\ volume_i$

Uncertainties on the regional volumes derive from the assumption, that the investigated grids may not be representative for their respective blocks. This aspect will be discussed in Chapt 5.4.

3. Calculation accretion during the last 12 yr. See Chapt. 5.4.1

4.1 Morphology of the Bengal Shelf

In the stratigraphic sequence on the Bengal Shelf, typical cross sections of the prodelta front is defined by an upper boundary represented by the modern seafloor and a very pronounced horizontal to sub-horizontal lower boundary (Figures 3A, 3B, 4A and 4B).

The seafloor has been mapped in the Parasound profiles of SO93, SO126 and SO188 all over the shelf (Figure 2). Seaward of the -15 m bathymetric line, the seafloor has a clinof orm sigmoidal surface. The margin of the topset beds is encountered at -20 m and runs parallel to the shelf break. Between -20 m and -30 m the slope angle increases from 0.06° to 0.1°. The steeper gradient of the foreset beds, 0.2° with peaks of 0.3°, starts at -30 m and terminates at around -60 m. The -70 m bathymetric line is parallel to the shelf break.

Further offshore, the outer shelf consists of a peneplain composed by two terraces. The deeper terrace is wider on the western shelf and extends from -130 m to -100 m. It is almost flat with the exception of a series of oolitic beach barriers of Late Pleistocene age (Wiedecke et al., 1998). The second terrace lies between -100 m and -70 m mostly in the eastern region; here bathymetric lines define a slightly elevated area.

The seafloor has generally a smooth surface and morphological elevations are only present in the outermost regions of the shelf. To the east, at the margin of the prodelta front, a series of ridges, 5 km large and 4 m high, are aligned in NS direction (Figures 5D1 and 5D2). To the west, the bottomset beds prograde directly into the head of the Swatch of No Ground. The eastern canyon rim changes from smooth prograding deposits episodically disturbed by fields of mud waves in the north (Figure 5A) to sharp fault related borders in the south. In the western margin of the canyon, the seafloor deepens abruptly.

The lower boundary of the prodelta front is identified by using the Parasound and MCS profiles. This major regional discontinuity can be traced along the entire bottomset beds (Figure 5). The horizon starts at the edge of the canyon -95 m deep at 15-20 mbsf (Figure 5A). In the central shelf between -90 m and -80 m, the discontinuity truncates channels and levees at 15-10 mbsf. From west to east several groups of cut-and-fill structures can be clearly distinguished; V-shaped channels with different trough depth characterize each group (Figures 5B and 5C). The major regional discontinuity becomes shallower in the eastern shelf until it is exposed as the seafloor itself showing a series of U-shaped channels and bars structures (Figures 5D1 and 5D2). In the NS profiles (Figures 3A and 4A) the major regional discontinuity appears beneath the topset beds and merges with the seafloor on the outer shelf in the uppermost terrace. The multiple reflection and acoustic blanking due to the presence of shallow gas below the topset beds is masking the horizon. Only in the western shelf is possible to trace it further inland where it is recovered at a depth of -75 m at 50-60 mbsf (Figure 4A).

4.2 Seismic acoustic facies

The main parameters to define types of seismic acoustic facies are the strength of the reflections, their continuity, inclination, polarity, distance and angle with respect to their neighbouring reflections.

In the prodelta front two main acoustic facies can be identified by the MCS profiles: normally stratified and complex stratified. The normally stratified prograding facies is a layered sequence which has a slightly aggrading to prograding trend. It is found in

a low gradient wedge thinning eastward above the major regional discontinuity (Figures 3A and 4A). Sediments showing this seismic facies are defined as sub-unit (1). In the Egrid and Wgrid, the sub-unit (1) has the maximum thickness at the transition between topset and foreset beds. Sub-unit (1) in the Wgrid is about 50 m thick and 25 m in the Egrid. Internal reflections of sub-unit (1) downlap on the middle shelf in the bottomset beds and in the distal tale of the prodelta front. In the Egrid, sub-unit (1) fills a U-shaped channel through (Figure 3B).

Above sub-unit (1), the stratigraphic sequence shows a prograding facies complex stratified composed of layered reflections with frequent amplitude changes and ambiguous later continuity (Figure 3A and 4A). Comparison with Parasound and MCS profiles clearly shows that the complex pattern is due to the alternation of normally stratified sub-sequence and acoustically transparent units (Figures 3B and 4B). Four main acoustic transparent units, Transparent Units 1-4 (TUs), can be traced almost along the entire prodelta front (Figures 3C and 4C). TU1, TU2 and TU4 are spread across the foreset beds while the TU3 is a much thinner unit strictly localized above TU2 without normally stratified sub-sequence in between. In the MCS the upper boundary of the TUs often presents amplitude negative polarity. In the Parasound profiles it is mostly regular with sub-horizontal or slightly seaward inclined surfaces. The lower boundary shows concordant prograding angles alternated to irregular surfaces rounded or squared but there are no clear evidences for erosion or hiatus with respect to the layers below. In cross sections the seaward termination of TUs is often vertically sharp, or thins until it is almost imperceptible. The lower boundary of TU1 is used as an internal conformity to divide sub-unit (1) from sub-unit (2) (Figures 3C and 4C). In sub-unit (1) there are also reflections with a negative polarity indicating a similar structure as sub-unit (2) but no of cross check with the echosounder data or ground-truth avoids interpreting them univocally.

The isopachs of sub-unit (2) identify the sedimentary depocentre in the foreset beds between -30 m and -60 m (Figure 6). Sub-unit (2) reaches a maximum thickness of 20-25 m both in the Egrid and Wgrid which corresponds to the depth interval of -40 m and -50 m and to maximum slope angle of the clinoform structure (Figures 3C, 4C and 6).

In the transition between topset-foreset beds, bright spots in the MCS and signal loss in the Parasound profiles indicate the presence of free shallow gas in the sediments (Figures 3A, 3B, 4A and 4B). The gas becomes less abundant moving to the west along the prodelta front. Its presence increases again in the northern edge of the canyon and along the western rim where strong sub-seafloor anomalies mask the deeper reflections.

On the outer shelf the Parasound profiles have a poor signal penetration with the exception of cut-and-fill structures while the MCS shows widespread chaotic acoustic facies as well as filled V- and U-shape channels. On the middle-eastern outer shelf a prograding facies complex stratified is encountered very similar to the sub-unit (2). The upper boundary of this relict unit is the sea floor and the lower boundary a deeper discontinuity that cuts oblique dipping layers. Internal normally stratified sub-sequence of the relict unit outcrops at the surface and presents evident truncation.

4.3 Thickness variations for the last 12 years

In the time interval between the three surveys in 1993, 1996, and 2006 new sediments have accumulated in the prodelta front. In the foreset beds this accretion can be measured in the Parasound profiles. However, a minimum of 40 cm of accumulation is necessary to be detected on the Parasound profiles. Accumulation

rates were determined as a thickness variation analysis at the crossing points between NS transect of SO188 profiles (Jul.'06) with EW SO93 (Feb.'94) and SO126 profiles (Dec.'96) (Figure 6). Accumulation rates were calculated by using the difference of the thickness from the seafloor to the upper boundary of TU1 due to the irregular surface of the lower conformity boundary. The accumulation rates for the last 12 yr or 10 yr obtained by this approach are identical or very close to those ones determined in cores (Suckow et al.2001) for the last 60 yr (Figures 3C and 4C). The maximum values coincide with the steepest part of the foreset beds.

During the SO93 survey in the Egrid, TU4 is exposed at the sea floor (Michels et al., 1998, Figure 4, profile 2). The SO188 profile (Figure 4) indicate a microscale prograding geometry of the newly deposited sediment developing in two phases. The sub-horizontal upper boundary of TU4 accommodated the first aggrading sediments and, when the slope gradient is smoothed, the normally stratified pattern continues. Tips of the seaward terminations are almost preserved and progressively buried.

4.4 Volumes calculations

Volumes in Egrid and Wgrid have been calculated for sub-unit (1)+(2), sub-unit (1), sub-unit (2), TU1, TU2 and TU4 (Table 1). Volumes in Eblock and Wblock (Table 2) are calculated in the same latitudinal boundaries as for the grids. The two blocks extend longitudinally from 89° 40' E, the canyon margin, to 91° 40' E the eastern border of the prodelta where no clinof orm deposits are found. Constraining surfaces of sub-unit (1)+(2) volume are the seafloor and the major discontinuity representing the base of the prodelta front sediments. Volume of sub-unit (1) is calculated between the conformity boundary and the regional discontinuity. Sub-unit (1) contains one order of magnitude more sediment in the Wblock than the Eblock. On the contrary, the volumes in sub-unit (2), calculated between the seafloor and the conformity boundary, are comparable in both grids.. It is important to notice that the 20 % of the sediment mass in sub-unit (2) is constituted by the acoustic transparent units. Maximum isopachs of TU1 are up to 7 m in the Wgrid (Figure 7A) while in the Egrid they do not exceed 6 m (Figure 7B). TU1 represent the 14 % in the Egrid and the 8 % in the Wgrid due to the thicker prograding normally stratified sub-sequence in between the TU2-3 and TU4 units. Maximum thickness of TU2 is in the order of 5 m and in both grids represent the 6-7 % of the volume of sub-unit (2). The uppermost TU4 with an average thickness of 3 to 4 m is thicker in the Egrid than in the Wgrid. Moving westward in the Wblock TU4 thins until it almost disappears near the canyon margin. In planar view the TUs seaward end are digitate lobes (Fig 7). TU1 extends more seawards, up to a -80 m water depth, than the other TUs.. TU2 extends until the transition from foreset to bottomset beds and TU4 terminates even landward in the middle of the foreset beds.

5. Discussion

5.1 Defining the chronostratigraphic framework

The base of the late Quaternary sequence in the alluvial and deltaic plain is marked by lowstand lateritic layers at about 50 m below surface and depths of the paleochannel in the order of 80 m (Goodbread and Kuehl, 2000b). During post glacial period sea-level changes, its growing rate and sediment supply are the most important factors controlling the evolution of depositional systems at and offshore the river mouth. Sea level curves and seismostratigraphic sequences are correlated by the identification of system tracts. Each system tract, low-stand, transgressive or high-stand, corresponds to a position of the coastline and is identified by different stacking patterns. A High-stand System Tract is characterized by an increasingly progradational stacking pattern and is interpreted generally as to be deposited during a relative sea level high-stand. Geometrically is defined as the package of layers comprehended by the sequence boundary and the maximum flooding surface (MFS) (Posamentier et al., 1988). The MFS represents the landwardmost position of the coastline and transition between retrogradational to aggradational trends. Marine flooding surfaces are planar and exhibit only very minor topographic relief (Van Wagoner et al., 1988). Commonly a marine flooding surface has a correlative surface on the coastal plain that can be identified by updip from the surface itself (Van Wagoner, 1988). The sequence boundary is the present day seafloor while it will be tested the hypothesis that the surface defined by the major regional discontinuity recovered on the middle-outer shelf representing the base of the modern prodelta front corresponds to the seaward extension of the late Quaternary high-stand sequence.

5.1.1 Last Glacial Maximum

Between 21.0 ky and 19.0 ky, the terminal phase of the Last Glacial Period, sea level rose very slow from 116 m to 114 m (Hanebuth et al., 2000). According to the isotopic composition of sediments from the continental slope, the flux of Himalayan material is temporarily stopped or diverted. The sediment source is replaced with an additional input derived by the erosion of the Indo-Burman range through the drainage of the Arakan coast (Pierson-Wickmann et al., 2001). The shift in the source area may be explained by recent coupled ocean-atmosphere models, which simulate the migration of the ITCZ and its associated precipitation (Chiang and Bitz 2005; Broccoli et al., 2006; Stoll et al., 2007). Boundary conditions, in particular the presence of northern hemisphere ice sheets, reduced penetration of SW monsoon in the northernmost reaches of the Ganges-Brahmaputra and upper Irrawaddy basin and consequently the glacial runoff and transport capacity of these rivers decreased. On the Bengal Shelf this time frame corresponded to the maximum regression of the coastline due to the lowering of sea level. Cut-and-fill structures are present on the outer eastern shelf (Hübsher et al., 1998, Figure 3) at km scale. The width of such channels is comparable with present day Brahmaputra one supporting the hypothesis that it reached the eastern shelf margin. Sea level lowering might have also shift the anticlockwise currents induced by monsoons along the continental margin causing the transport of the clays with the Arakan signature to the slope. On the central-western shelf, the V-shape channels truncated by the major discontinuity are interpreted as a meandering distributaries system (Figures 5B and 5C). Maximum paleochannel depth in the range of -130 m in the thoughts of the western meandering

channels can attributed the distributaries system to the LGM phase which corresponds to the seismostratigraphic sequence Low-stand System Tract (Figures 5B and 5C). The channels cannot be followed further offshore on the outer shelf. They were probably or connected with the canyon or just terminated on the central-western shelf. The sediment bypass of the western outer shelf is confirmed by the 21 ky shoreline identified by the presence of the oolitic beach barriers that do not support the presence of a deltaic system discharging in the vicinity (Wiedecke et al., 1999). The western meandering system and their distributaries could have been formed partially by the Ganges but also by minor rivers now tributary of the Ganges-Brahmaputra deltaic system. If the Ganges was directly connected with the canyon (Curry, 1991) is still not fully proved.

5.1.2 Late Glacial Period

Between 19.0 ky and 14.6 ky, sea level moderately rose from 114 m to 96 m at a rate of 0.41 m per 100 yr (Hanebuth et al., 2000). During the intense phase of transgression world wide registered by sea level curves from 14.6 ky to 14.3 ky, Melt Water Pulse 1A (Faibanks, 1989), mean sea level rose from -96 m to -80 m (Hanebuth et al., 2000). As wave base shifts toward the continent during early rise of relative sea level a transgressive surfaces of erosion (TSE) forms (Huq et al., 1988). The lower terrace on the outer western shelf with the lithified oolitic beach barriers was flooded in the earliest phase of transgression. Water fluxes might have also come via the deep incised canyon and formed the mud waves at the northern edge (Figure 5A). This means that the western distributaries system was probably already in transgression at the onset of the MWP 1A.

Cores from the upper terrace on the eastern outer shelf contain several decimetres of sandy mud with abundant shell debris, occasionally containing lateritic gravel (-94 m) and brittle mud with signs of lateritic weathering (-81 m) (Michels et al., 1998).

The late Quaternary sequence in the Khulna region at depths of -10 m to -45 m consists of oxidized stiff silty clays underlying up to 10 m of weathered, iron-stained, heavy-mineral-deficient sands. Dated wood at and just below the top of this sequence has an age of 14 ky BP (Umitsu, 1993; Goodbread and Kuehl 2000a). The major discontinuity representing the base of the prodelta front can be therefore interpreted as a diachronous transgressive surface of erosion correlated to the late Quaternary sequence onshore, dated 14 ky BP and related to MWP1A transgressive event.

If the paleochannel depths on the eastern shelf around -81 m to -85 m are rebounded by an average subsidence rate of 0.4 mmyr^{-1} (Hübscher and Spiess, 2005), it results that the eastern shelf was still subaerially exposed because the through depth is above mean sea level at that time (Figures 5D1 and 5D2). The aspect ratio (width vs depth) of the integer U-channels-bars in the eastern shelf compared with the truncated V-channels-levees on the central-western shelf suggests a braided more than a meandering regime. In analogy with the present day assessment, such geomorphologic features are attributed to the Brahmaputra River and interpreted as the retrogradational estuary formed under the transgressive trend of the late glacial period (Figures 5D1 and 5D2). The morphological height at the margin with the Hatia Thought (Figures 5D1 and 5D2) can be further interpreted as sand waves that typically form in the Brahmaputra fluvial beds during flood periods (Coleman, 1969).

5.1.3 Post Glacial Period

Sea level continued to rise in the early post glacial period. Especially the flooding of the shelf was accelerated from -58 m to -43 m during the MWP 1B at 11.3 ky (Fairbanks, 1989; Bard, 1990).

The sub-unit (1) lies on top of the regional discontinuity interpreted as a TSE formed around 14 ky (Figure 3, 4 and 5). The aggrading-prograding internal architecture suggests a transition from a retrogradational to an aggradational system. Therefore the TSE satisfies one of the two conditions for being the MFS but doesn't correspond to the landward most position of the shoreline.

Despite the rising sea level, the Ganges-Brahmaputra delta system began to grow at about 11 ky to 10 ky with the deposition of intertidal, mangrove, and nearshore sediments (Goodbred and Kuehl, 2000a). The growth of the high-stand delta started earlier due the post glacial intensification of the monsoon which drastically increased the supply of terrigenous sediment (Weber et al, 1997; Goodbred and Kuehl 2000b). World's modern deltas initiation was promoted by a deceleration of sea level rise after about 8-7 ky (Stanley and Warne, 1994; Hori and Saito, 2007) but such deceleration changed instead the Ganges-Brahmaputra delta from an aggradational to a progradational system (Umitsu, 1993).

In the Sylhet Basin, very rapid infilling (2 cmyr^{-1}) ensued from 7,5 ky to 6 ky simultaneously with the mid-Holocene sea level high-stand. Actually the Brahmaputra River switched to its eastern course and drained into this large, subsiding basin causing maximum transgression to occur 1-2 ky later in the east Bengal in contrast with the progradation of the western Bengal coastline (Goodbred and Kuehl, 2000a). Delta growth after 5 ky largely occurred in east Bengal near the modern river mouth estuary and in the coastal area of the Sunderbans following the Ganges eastward migration from the Hoogly to the Meghna Estuary (Allison et al., 2003).

5.2 Interpretation of the sedimentary environment

The late Quaternary stratigraphic sequence onshore is divided in two main units: a lower unit between 70 m and 40 m deposited from 11 ky to 7 ky and an uppermost 20 m thick unit deposited after 7 ky (Goodbred and Kuehl, 2000b). The submarine delta started to form 7 ky ago (Goodbred and Kuehl, 1999; Goodbred and Kuehl, 2000b). The aggrading-prograding normally stratified facies of sub-unit (1) is interpreted as a mixed body of distal bottomset beds below and incoming foreset beds above. Age attributed to the regional discontinuity compared to time given to prodelta initiation suggests a depositional hiatus. The hiatus between the discontinuity and sub-unit (1) cannot be dated and therefore is not possible to infer when the bottomset beds of the modern delta precisely reached the prodelta front region. Sub-unit (1) is significantly thicker in the western sector than in the eastern one. There are two possible explanations for this difference: sediment supply was higher in the western shelf and the river mouth in the eastern region was different than present day one. The bottomset beds in sub-unit (1) may represent the Ganges submarine distal deposits during its eastward migration that followed the decoupling with the region at the head of the canyon and led to the confluence with Brahmaputra. According to onshore dating such migration started around 5 ky ago and proceeded until 0.2 ky (Allison et al., 2003). Simultaneously Brahmaputra was mainly prograding in the Meghna estuary region and contributing significantly less to offshore prodelta formation. Therefore sub-unit (1) could have been deposited after 7 ky and approximately

between 5 ky to 2 ky ago and can be interpreted as part of the earliest offshore prodelta deposits.

Sub-unit (2) is homogeneously distributed along the prodelta front region and the prograding complex stratified facies corresponds to progradational foreset beds. The rollover point coincides with methane anomalies in the water column along the slope and marks the transition between topset and foreset beds (Figure 3C). The likely source of the methane in the surface water is methanogenic bacteria associated with the decay of organic debris or living as symbionts in the guts of zooplankton. The water masses stratification could have led to an accumulation effect at 20 m for settling organic particles due to the density changes and associated reduced settling velocities (Berner et al., 2003).

Mean grain size decreases with increasing depth and graded sequences are usually deposited from suspensions of different grain size where larger particles settle first. Depocentre location between -30 m and -60 m has a marked slope dependency. In the equilibrium profile the $h_{0.01}$ parameter is reached at -40m (Friedrichs and Wright, 2004). Beyond this critical depth gravity flows may be self-sustaining via auto suspension (Wright et al., 2001). Hyperpycnal layers can be created and supported by wave and resuspension induced by tidal currents within relatively thin near bed layers moving downwards under gravity influence. Such hyperpycnal layers deposit sediments in response to a decrease in bottom orbital velocities, bed slope or both (Friedrichs and Wright, 2004).

The cores collected in the prodelta front consist of interbedded silt-clay units and fining upwards sand-silt units showing a sharp basal contact (Michels et al., 1998). The fine grained muddy sediments partly bioturbated are interpreted as resuspension induced by tidal current. The laminated graded sand-silt sequences, occasionally showing laminations, ripples and cross bedding are interpreted as wave induced storm layers (Michels et al., 1998).

The distinction between different transport processes highlight different depositional timing. The tidal induced deposits could be concentrated during flood periods while the graded deposits storm induced may occur mostly during pre- and postmonsoon seasons. The dry seasons could be instead a phase of sediment starving.

Signal of the Parasound system offshore -30 m penetrates easily the clinoform beds due to the fine grained nature of the sediments (Figures 3B and 4B). Below the TSE and on the outer shelf loss of signal penetration indicates sand enrichment in the deposits. On the eastern outer shelf, low reliefs in combination with truncated cut-and-fill structures are typical of the Transgressive System Tract (Hübscher et al., 1998; Hübscher and Spiess, 2005). The prograding facies complex stratified on the middle-eastern outer shelf in analogy with present day condition is interpreted as a relict shelf margin clinoform structure belonging to the Low-stand System Tract.

5.3 Origin of the acoustic transparent units

Oversteeping, seismic or storm-wave loading, rapid sediment accumulation accompanied with underconsolidation and gas charging might trigger slope destabilization (Friedrichs and Wright, 2004; Sultan et al., 2006; Wolinsky and Pratson, 2007). The formation of the acoustic transparent units could be caused by one or a combination of these processes.

The TUs do not show any internal reflections due to their uniform matrix (Kuehl et al., 2005) but are characterized by rapid change in thickness, a staircase structure and sheet-like and lobate seaward terminations. The absence of coherent reflections inside the TUs cannot be explained by a massive sand layer as there's no Parasound

signal absorption and the underlying sediments are well recorded. The origin of the homogeneous matrix must be than caused by a downslope flow or by in situ homogenization. A huge downslope flow would have left a scar in the slope profile that is not visible in the seismic images. In the second case it is postulated an in-situ phenomenon where already deposited sediments are altered by the homogenizing factor.

Not only sands but also sensitive clays have the tendency to change from a relatively stiff condition to a liquid mass when they are disturbed (Sultan et al., 2006). Liquefaction flows occur when loosely packed sediment collapses under environmental conditions such as cyclic loading. The grains temporarily lose most contact with one another, and the particle weight is transferred to pore fluid, producing excess pore-water pressure. As a consequence the material may flow downslope under the influence of gravity or spread laterally (Lee et al., 2007). Unusually high P-wave velocities have been measured in the sediments in concomitance with the TUs (Spiess et al., 1998), which indicates a lower porosity possibly caused by dewatering due to liquefaction and release of pore water during flow and consolidation.

Consequently, the TU1-4 transparent units are interpreted as prograding normally stratified foreset beds homogenized by in-situ liquefaction to which followed a short subsequent downslope flow forming the staircase structure and lobate ends.

The cyclic loading that produced the liquefaction flow can be caused by earthquakes or storm waves. Because of the influence of strong cyclones in the Bay of Bengal, it is tempting to speculate that large wind-driven waves could trigger the liquefaction flows. However, major cyclones influence the area about once a year (Michels et al., 1998; Kuehl et al., 2005) whereas only four TUs have been observed with a lateral continuity comprehending the entire prodelta front. This different frequency excludes storm waves as the trigger for the TUs. Furthermore the wave would have mainly affected the topset beds and not the entire prodelta front which is mostly below wave base.

Assuming the liquefaction flows locally constrained to the prodelta front, if the thickness of the stratigraphic sequence of sub-unit (2) in the depocentre region (Figures 6) is divided by the accumulation rate obtained by the thickness variation analysis, it results a mean age of 250-300 yr depending if it is chosen the upper (Figure 8) or the lower boundary of TU1. This time interval coincides with the last phase of deltaic development like we can observe in present day conditions with the Ganges and Brahmaputra coalescent discharging into the Meghna Estuary (Rennell 1786, Allison et al., 2003).

Numerous earthquakes events occurred during the last 300 yr in the plate boundary region of the eastern margin, but only few had a magnitude that exceeded the Richter's magnitude 8: in 1762, 1897 and 1950 (Steckler et al, 2008). The approximate timing of the TUs by using the sedimentation rates of the foreset beds fits with that of the intense earthquakes. Thus earthquakes are assumed to have triggered the liquefaction flows in the foreset beds that were exposed as seafloor at that time producing the TUs.

The confined region in the foreset beds is due to the steeper gradient, to high water content, to gas presence and to the high sediment supply which causes under-consolidation. TU1 can be than associated with the mega-trust Arakan Earthquake in 1762 (8.8 magnitude as worst scenario in Cummins, 2007), TU2 with the Great India Earthquake (8.7 magnitude) in 1897 and TU4 with the Assam Earthquake (8.4 magnitude) in 1950. The minor event of TU3 present right above TU2 without normally stratified sediments in between could be associated to the Srimangal

earthquake in 1918 in the Sylhet Basin, which had a minor magnitude of 7.6. The sediments of the prodelta front contain a record of the most severe earthquakes and an additional seismic and drilling survey may help to reconstruct the earthquake recurrence rate for risk assessments.

5.4 Mass Balance

The post glacial fill volume of the Bengal Basin has been calculated in the order of $8.5 \pm 0.9 \text{E}12 \text{ m}^3$ (Goodbred and Kuehl, 2000b). Mean annual storage rate of $2.3 \text{E}10^9 \text{ tyr}^{-1}$ between 11-7 ky indicates that the Ganges and Brahmaputra rivers delivered more than double amount their present load during early Holocene. The post 7 ky fill volume of $3.5 \pm 0.4 \text{E}12 \text{ m}^3$ was deposited with almost the same rate as the present day (Goodbred and Kuehl, 1999; Goodbred and Kuehl, 2000b). The sediment volume calculated in the prodelta front represents the 3% of the post 7 ky volume (Table 2). Estimation of the mean annual storage rate in the prodelta front for the entire stratigraphic sequence is meaning less due to the uncertainties deriving from the precise initiation of the deposition of sub-unit (1). On the other hand, if we divide the volume of the uppermost sub-unit (2) by the time it was approximately deposited we obtain a value of mean annual storage rate of $1.45 \text{E}+08 \text{ m}^3$ equivalent to $2.42 \text{E}+08 \text{ tyr}^{-1}$ and correspondent to the 24% of the present day suspended sediment river load. Such value is coherent with the first estimation of $1.31 \text{E}+08 \text{ m}^3$ for the last 60 yr based on dated cores (Michels et al., 1998). The convergence of both estimations with totally different approaches strengthens their reliability. The two areas which were more intensively investigated in the prodelta front, Egrid and Wgrid, have than been reasonably used as representative areas for the entire prodelta front. Once this has been ascertained, the sub-unit (2) volume could be divided in smaller part using the upper boundary of the TUs as time marker horizons. The year of the earthquake events dates the upper boundary of each TU. The volumes have been obtained from the isopachs maps of the deposits between the upper boundaries of TU1-TU2, TU2-TU4 and TU4-seafloor. The volumes were divided by the time passed between the earthquakes. The volume estimation for the uppermost section relies on the gridding of the seafloor which has an error of about 12 yr resulting in a 20% error in the calculation of the storage rate for the last 56 yr. The mean annual storage rate in the prodelta front region between 1762-1897 was the 22 % of the total river input. Between 1897-1950 it decreases to the 18 % and further decreased from 1950 to 2006 to the 11-17 % of the total river load (Table 3).

The decrease of mean annual storage rate in the foreset beds since the convergence of Ganges with Brahmaputra is due to a progressively minor contribution of sediments transported to the eastern prodelta front. Mean annual storage rate in the east significantly decrease through time. Instead the western prodelta front maintained a constant mean annual storage rate over the entire period.

There is indeed evidence for an increase in extreme highwater levels worldwide in the period since 1975, and that the variations in extremes in this period are related to changes in regional climate (Woodworth, 2004). Monsoon precipitation had decreased in Himalayas, northeast India, Nepal and Bangladesh over the last century (Duan et al., 2006). Sea level changes and sediment supply reduction might be responsible for the variation in sediment supply to the prodelta front. The constant contribution to the western prodelta front could be an erosional effect supported by the westward directed flux of sediments induced by the monsoon circulation which carries the progressive dismantling material of the mid-Holocene Ganges deltaic

deposits (Allison, 1998) in addition to the suspended sediment flux deriving from the active delta.

5.4.1 Last decade storage rate

The high frequency of cyclones during the '70 associated with a decrease of the monsoon intensity (Wu, 2005) is followed by an increased intensity of the storm events in the nineties and twenties (Kudrass et al., 1998). The graded beds in the 96KL core collected in the Swatch of No Ground are closely correlated with the passage of each cyclone (Kudrass et al., 1998). Storm passages might be responsible for an intensified resuspension of sediments in the tidal flats of the coastal areas and in the topset deposits resulting in a strengthened direct transport to the canyon. The close correspondence is actually not found in the foreset beds (Michels et al., 1998) where dominant sediment input appears to be derived by the tidal induced transport during the flood peaks represented by the silty-clay sequence rather than the occasional silty-sand graded sequence storm related. Despite landslides following the Assam Earthquake released millions of tons of debris from the Himalaya Mountains, which is still clogging the rivers and estuaries (Murty, 1992), the sediment contribution in the Meghna estuary to the suspended sediment flux did not report significant variations. No reliable information is available on the bed load transport.

To further constrain the error associated to the gridding of the seafloor and the reduced sediment contribution to the foreset beds, the volume of the recently deposited sediment in the foreset beds was determined. In a very simple conceptual model, the added thickness during the last 12-10 yr was used to calculate the areas of a multi-polygon where the bases are constituted by the across distance in profile GeoB06-444 and -462. The areas like this obtained were multiplied by the longitudinal extend of the Egrid and Wgrid, and calculated by proportion for the entire prodelta front (see Chapt. 3.3). The multi-polygon construction and the resulted mean annual storage rates are illustrated in Figure 8. The volume yearly deposited in the foreset beds in the prodelta front is $8,28E+07 \text{ m}^3\text{yr}^{-1}$ equivalent to annual storage rate of $1,38E+08 \text{ ty}^{-1}$. The percentage on the total suspended sediment dropped to the 14 % in the last 10-12 yr, confirming the already discussed decreasing trend.

6. Conclusions

.....
Over the last decades, together with natural stresses, the increased human impact on the land uses, like the transformation into cultivation of the mangroves forested area in the Meghna Estuary and in the Kuhlina region and the rivers embankment had probably trapped sediments onshore. The mass balance is altered like the sediment distribution between the three compartment represented by the floodplain, the submarine prodelta and the canyon. Feeding the prodelta with sediments can contribute to maintain the coastal stability through the progressive seaward translation of the delta front region that has a mitigating effect on the impact in the coastal areas of tide, storm and tsunami waves. The transport of sediment in the Swatch of No Ground canyon might only generate the initiation of turbidity currents that will definitively sink the sediments in the Deep Sea Fan.

Literature:

- Alam, M., Alam, M. M., Curray, J. R., Chowdhury, M. L. R., Gani, M. R. 2003.** An overview of the sedimentary geology of the Bengal Basin in relation to the regional tectonic framework and basin-fill history". *Sedimentary Geology* 155, 179–208.
- Allison, M.A., 1998.** Historical changes in the Ganges–Brahmaputra delta front. *Journal of Coastal Research* 14, 1269– 1275.
- Allison, M.A., Khan, S.R., Goodbred Jr, S.L., Kuehl, S.A, 2003.** Stratigraphic evolution of the late Holocene Ganges–Brahmaputra lower delta plain. *Sedimentary Geology* 155, 317–342.
- As-Salek, J.A. and Yasuda, T., 2001.** Tide–Surge Interaction in the Meghna Estuary: Most Severe Conditions. *American Meteorological Society* 31, 3059-3072.
- Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G., 1990.** U–Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea level during the past 130,000 years. *Nature* 346, 456–458.
- Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L.F., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F., 1996.** Deglacial sea level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge. *Nature* 382, 241– 244.
- Barua, D.K., Kuehl, S.A., Miller, R.L., Moore, R.S., 1994.** Suspended sediment distribution and residual transport in the coastal ocean off the Ganges–Brahmaputra River mouth. *Marine Geology* 120, 41– 61.
- Berner, U., Poggenburg, J., Faber, E., Quadfasel, D. & Frische, A, 2003.** Methane in ocean waters of the Bay of Bengal: Its sources and exchange with the atmosphere. *Deep sea Res. II* 50, 925–950.
- Broccoli A.J., Dahl K.A., and Stouffer R.J., 2006.** Response of the ITCZ to Northern Hemisphere cooling. *Geophysical Research Letters*, vol. 33.
- Camoin, G.F., Montaggioni, L.F., Braithwaite, C.J.R., 2004.** Late glacial to post glacial sea levels in the Western Indian Ocean. *Marine Geology* 206, 119– 146
- Chiang, J. C. H., and Bitz, C. M., 2005.** Influence of high latitude ice cover on the marine Intertropical Convergence Zone. *Clim. Dyn.* 25 (5), 477–496
- Coleman, J.M., 1969.** Brahmaputra river: channel processes and sedimentation. *Sediment. Geol.* 3, 129–239.
- Cummins, P. R., 2007.** The potential for giant tsunamigenic earthquakes in the northern Bay of Bengal. *Nature* 449, 75-78.
- Curray, J.R., 1994.** Sediment volume and mass beneath the Bay of Bengal. *Earth and Planetary Science Letters* 125, 371–383.
- Duan, K., Yao, T., and Thompson, L. G., 2006.** Response of monsoon precipitation in the Himalayas to global warming. *J. Geoph. Res.* 111, D19110.
- Fairbanks, R.G., 1989.** A 17,000 years glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342, 637–642.
- Friedrichs, C.T., Wright, L.D., 2004.** Gravity-driven sediment transport on the continental shelf: implications for equilibrium profiles near river mouths. *Coastal Engineering* 51, 795– 811.
- Geyh, M.A., Kudrass, H.-R., Streif, H., 1979.** Sea-level changes during the late Pleistocene and Holocene in the Strait of Malacca. *Nature* 278, 441–443.
- Gasse, F., Arnold, M., Fontes, J.C., Fort, M., Gilbert, E., Huc, A., Bingyan, L., Yuanfang, L., Qing, L., Melieres, F., Van Campo, E., Fubao, W. and Qingsong, Z., 1991.** A 13,000-year climate record from western Tibet. *Nature* 353, 742-745.

- Giosan, L., Constantinescu, S., Clift, P. D., Tabrez, A. R., Danish, M., Inam, A., 2006.** Recent morphodynamics of the Indus delta shore and shelf. *Continental Shelf Research* 26,1668–1684.
- Goodbred Jr., S.L., Kuehl, S.A., 1999.** Holocene and modern sediment budgets for Ganges–Brahmaputra river: evidence for highstand dispersal to floodplain, shelf, and deep-sea depocenters. *Geology* 27, 559–562.
- Goodbred, S.L., Kuehl, S.A., 2000a.** Late Quaternary evolution of the Ganges–Brahmaputra River delta: significance of high sediment discharge and tectonic processes on margin sequence development. *Sedimentary Geology* 133, 227– 248.
- Goodbred, S.L., Kuehl, S.A., 2000b.** Enormous Ganges–Brahmaputra sediment load during strengthened early Holocene monsoon. *Geology* 28,1083-1086.
- Han, W., and Webster, P.J., 2002.** Forcing Mechanisms of Sea Level Interannual Variability in the Bay of Bengal. *Journal of Physical Oceanography*, 216-239.
- Hanebuth, T., Statterger, K., Grootes P. M., 2000.** Rapid Flooding of the Sunda Shelf: A Late-Glacial Sea-Level Record. *Science*, 288, 1033-1035.
- Hori, K., and Saito, Y., 2007.** An early Holocene sea-level jump and delta initiation. *Geophys. Res. Lett.* 34.
- Hubscher, C., Breitzke, M., Michels, K., Kudraß, H., Spieß, V., Wiedicke, M., 1998.** Late Quaternary seismic stratigraphy of the eastern Bengal Shelf. *Mar. Geophys. Res.* 20 (1), 57– 71.
- Hubscher, C., Spieß V., 2005.** Forced regression systems tracts on the Bengal Shelf. *Marine Geology* 219, 207–218
- Haq, B. U., Hardenbol, J., and Vail, P. R., 1988.** Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level change. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner (Editors), *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*. SEPM Spec. Publ. 42, 71-108.
- Kudrass, H.R., Michels, K.H., Wiedicke, M., Suckow, A., 1998.** Cyclones and tides as feeders of a submarine canyon off Bangladesh. *Geology* 26, 715–718.
- Kuehl, S.A., Hariu, T.M., Moore, W.S., 1989.** Shelf sedimentation off the Ganges–Brahmaputra river system: evidence for sediment bypassing to the Bengal fan. *Geology* 17, 1132–1135.
- Kuehl, S.A., Levy, B.M., Moore, W.S., Allison, M.A., 1997.** Subaqueous delta of the Ganges–Brahmaputra river system. *Marine Geology* 144, 81–96.
- Kuehl, S.A., Allison, M.A., Goodbred, S.L., Kudrass, H.R., 2005.** The Ganges-Brahmaputra Delta. In: Giosan, L. and Bhattacharya, J.P., (Editors) *River Deltas—Concepts, Models, and Examples*. SEPM Special Publication No. 83.
- Lambeck, K, and Chappell, J., 2001.** Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle *Science* 292, 679-686.
- Lee, H.J., Locat, J., Desgagnes, P., Parsons, J.D., McAdoo, B.G., Orange, D. L., Puig, P., Wong, F.L., Dartnell, P., and Boulanger, E., 2007.** Submarine Mass Movements on Continental Margins. In: Nittrouer, C.A., Austin, J.A., Field, M.E., Kravitz, J.H., Syvitski, J.P.M., and Wiberg, P.L. (editors), *Continental-Margin Sedimentation: from Sediment Transport to Sequence Stratigraphy*, IAS special publication 37, Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 213-275.
- Michels, K.H., Kudrass, H.R., Hubscher, C., Suckow, A., Wiedicke, M., 1998.** The submarine delta of the Ganges – Brahmaputra: cyclone-dominated sedimentation patterns. *Marine Geology* 149, 133–154.
- Milliman, J.D., Syvitski, J.P.M., 1992.** Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology* 100, 525– 544.

- Mitchum, R.M., 1977.** Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, Part 11. Glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: C.E. Payton (Editor), Seismic Stratigraphy-Applications To Hydrocarbon Exploration. Am. Assoc. Pet. Geol., Spec. Publ. 26, 205-212.
- Murty, T. S. and Henry, R. F., 1983.** Tides in the Bay of Bengal. J. Geophys. Res. 88.
- Murty, T. S., and El-Sabh, M., 1992.** Mitigating the Effects of Storm Surges Generated by Tropical Cyclones: A Proposal. Natural Hazards 6, 251-273.
- Pierson-Wickmann, A.-C., Reisberg, L., France-Lanord, C. & Kudrass, H., 2001.** Os-Sr-Nd results from sediments in the Bay of Bengal: Implications for sediment transport and the marine Os record. Paleocceanography 16, 435–444.
- Posamentier, H.W., Jervey, M.T. and Vail, P.R., 1988.** Eustatic controls on elastic deposition, I. Conceptual framework. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner (Editors), Sea-Level Changes: An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ. 42, 110-124.
- Rennell, J., 1786.** F.R.S., late Surveyor Genl. in Bengal. London: printed for Wm. Faden, Geogr. to the King, Charing Cross.
- Schwenk, T., Spiess, V., Breitzke, M. & Hubscher, C., 2005.** The architecture and evolution of the Middle Bengal Fan in vicinity of the active channel-levee system imaged by high-resolution seismic data. Mar. Petrol. Geol. 22, 637–656.
- Socquet, A., Vigny, C., Chamot-Rooke, N., Simons, W., Rangin, C., Ambrosius, B., 2006.** India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar determined by GPS. J. Geophys. Res. 111, B05-406.
- Spieß, V., 1993.** Digitale Sedimentteichographie — Neue Wege zu einer hochauflösenden Akustostratigraphie. Ber. Fachbereich Geowiss. Univ. Bremen 35, 1–199.
- Spieß, V., 1998.** Spieß, V. and scientific shipboard party, 1998. Report and preliminary results of *R/V Sonne* cruise 125, Cochin—Chittagong, 17.10.–17.11.97. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 123, Bremen, 128 pp.
- Stanley, D. J., and Warne, A. G., (1994).** Worldwide initiation of Holocene deltas by deceleration of sea-level rise. Science 265, 228–231.
- Steckler, M. S., Akhter, S. H., Seeber, L., 2008.** Collision of the Ganges–Brahmaputra Delta with the Burma Arc: Implications for earthquake hazard. Earth and Planetary Science Letters 273, 367–378.
- Stoll, H.M., Vance, D. and Arevalos, A., (2007).** Records of the Nd isotope composition of seawater from the Bay of Bengal : implications for the impact of the Northern Hemisphere cooling on ITCZ movement . Earth and Planetary Science Letters 255, 213-228.
- Suckow, A., Morgenstern, U., and Kudrass, H.R., 2001.** Absolute dating of recent sediments in the cyclone-influenced shelf area off Bangladesh: comparison of gamma spectrometric (¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra) radiocarbon and ³²Si ages. Radiocarbon 43, 917–927.
- Sultan, N., Cochonat, P, Canals, M., Cattaneo, A., Dennielou, B., Hafliadason, H., Laberg, J.S., Long, D., Mienert, J., Trincardi, F., Urgeles, R., Vorren, T.O., Wilson, C., 2006.** Triggering mechanisms of slope instability processes and sediment failures on continental margins: a geotechnical approach. Marine Geology 213, 291– 321.
- Umitsu, M., 1993.** Late Quaternary sedimentary environments and landforms in the Ganges delta. Sedimentary Geology 83, 177– 186.

- Vail, P.R., Mitchum, R.M., Jr., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson, S., III., Sangree, J.B., Bubbs, J.N., and Hatlelid, W.G., 1977.** Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In Payton, C.E. (Editor). Seismic stratigraphy. Applications to hydrocarbon exploration, AAPG Mem. 26, 49-212.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S., Hardenbol, J., 1988.** An overview of sequence stratigraphy and key definitions. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagoner (Editors), Sea-Level Changes: An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ. 42, 39–45.
- WARPO, Water Resources Planning Organization, 1996.** RSP. Spatial Representation and Analysis of Hydraulic and Morphological Data (Report No. FAP 24, Dhaka, Bangladesh).
- Weber, M. E., Wiedicke, M. H., Kudrass, H. R., Hübscher, C. & Erlenkeuser, H. 1997.** Active growth of the Bengal Fan during sea-level rise and highstand. *Geology* 25, 315–318.
- Wei, T., Chen, Z., Duan, L., Gu, J., Saito, Y., Zhang, W., Wang, Y., Kanai, Y., 2007.** Sedimentation rates in relation to sedimentary processes of the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71, 37-46
- Wiedicke, M., Kudrass, H.-R., Hübscher, C., 1999.** Oolitic beach barriers of the last glacial sea-level lowstand at the outer Bengal shelf. *Marine Geology* 157, 7–18.
- Wright, L.D., Friedrichs, C.T., Kim, S.-C., Scully, M.E., 2001.** The effects of ambient currents and waves on the behavior of turbid hyperpycnal plumes on continental shelves. *Marine Geology* 175, 25– 45.
- Wolinsky, M. A., and Pratson, L. F., 2007.** Overpressure and slope stability in prograding clinoforms: Implications for marine morphodynamics. *Journ. Geoph. Res.*, 112, F04011.
- Woodworth, P.L., and Blackman, D.L., 2004.** Evidence for Systematic Changes in Extreme High Waters since the Mid-1970s. *Journal of climate* 17, 1190-1197.
- Wu, B., 2005.** Weakening of Indian Summer Monsoon in Recent Decades. *Advances in Atmospheric Sciences*, 22-1, 21-29.
- Yokoyama, Y., Lambeck, K., De Deckker, P., Johnston, P., Fifield, L. K., 2000.** Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature* 406, 713-716.

Figures

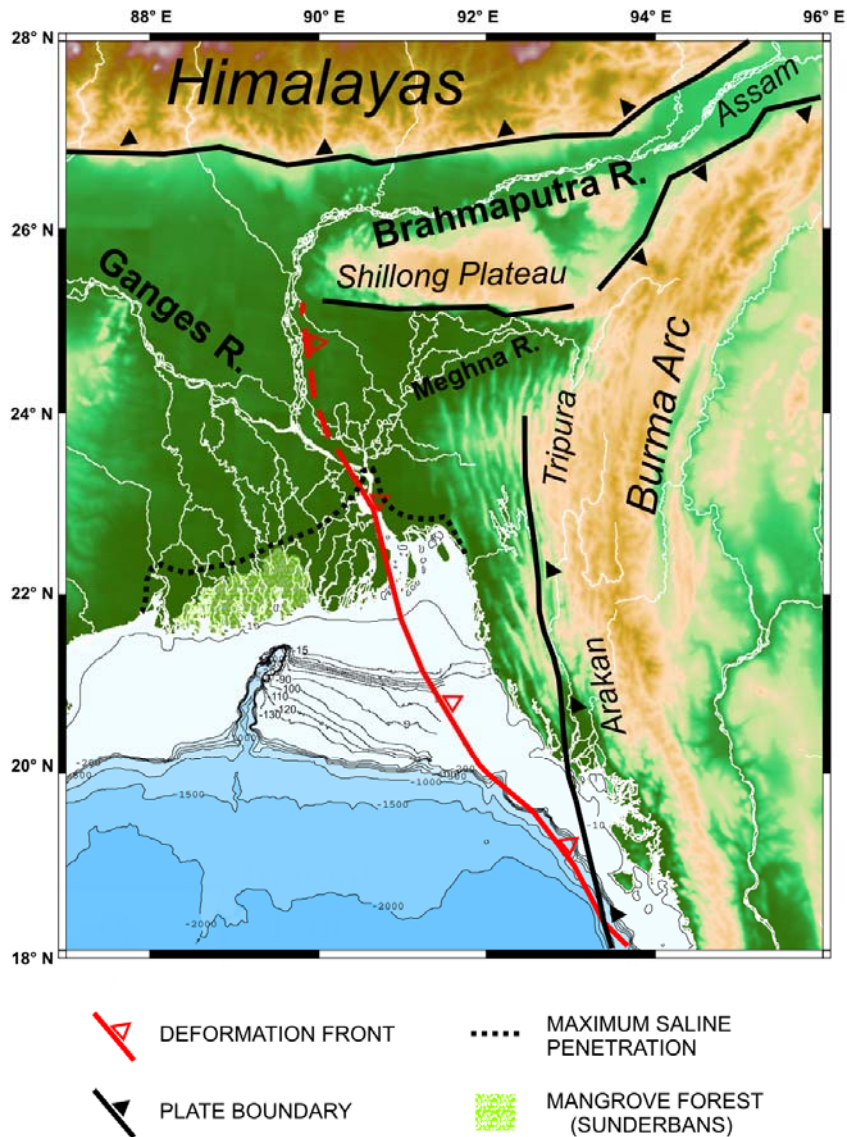


Figure 1. Map of the Bengal Basin showing the Ganges–Brahmaputra Delta with highlighted the tide influenced region (modified from Allison et al., 2003) and the major tectonic features affecting the region: the plate boundary (line with full triangles) and the deformation front (line with empty triangles) (modified from Cummins, 2007 and Steckler et al, 2008). Bathymetric lines from -15 m to -130 m are gridded from the SO93, SO126 and SO188 Parasound profiles with five seconds resolution (~150 m); the others are plotted from the GEBCO One Minute Grid.

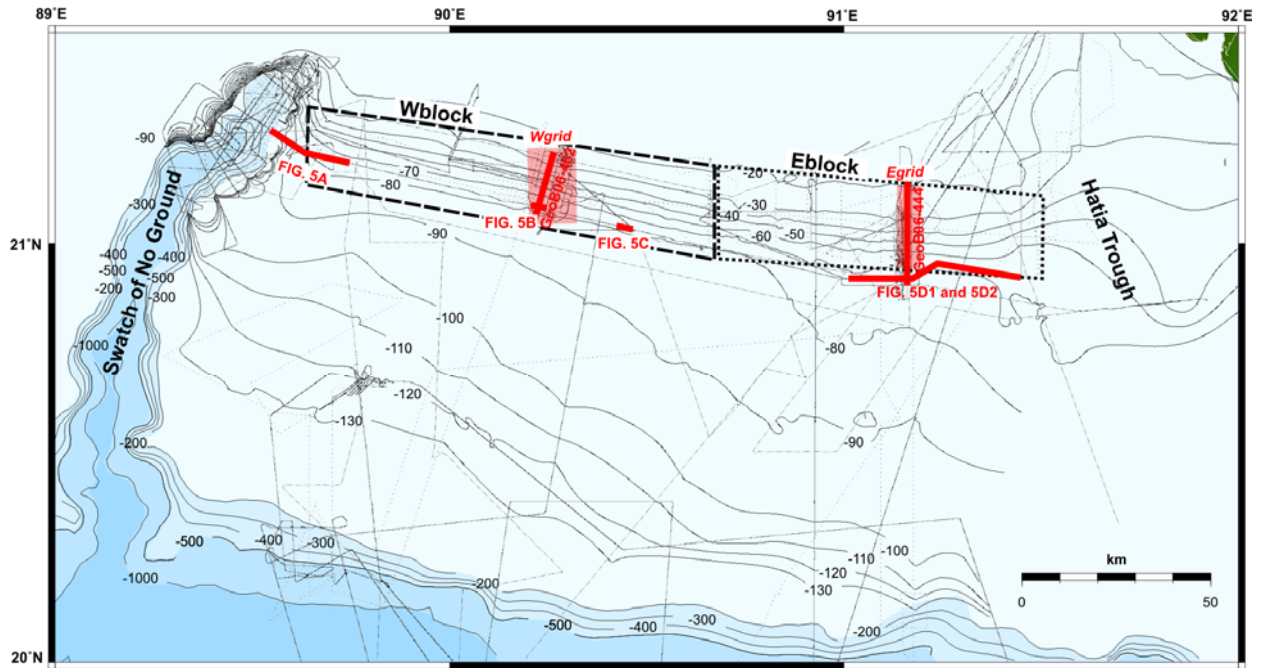


Figure 2. Bathymetric map on the Bengal Shelf of the prodelta front to the shelf break. Seismic profiles, Egrid and Wgrid, Eblock and Wblok location are also indicated. Cruise track of SO93 is a dot and dashed line, SO126 is a dotted line and SO188 is a continuous line. Bathymetric lines from -15 m to -130 m are gridded from the SO93, SO126 and SO188 Parasound profiles with five seconds resolution (~150 m) ; the others are plotted from the GEBCO One Minute Grid.

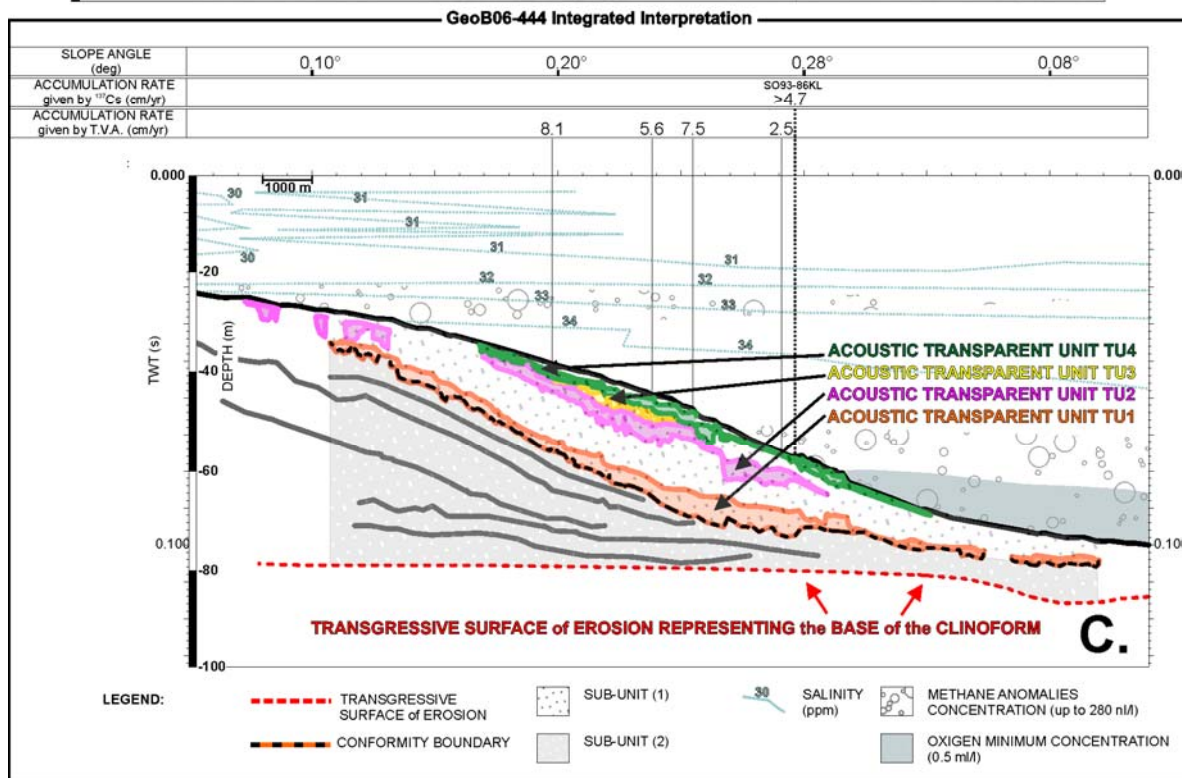
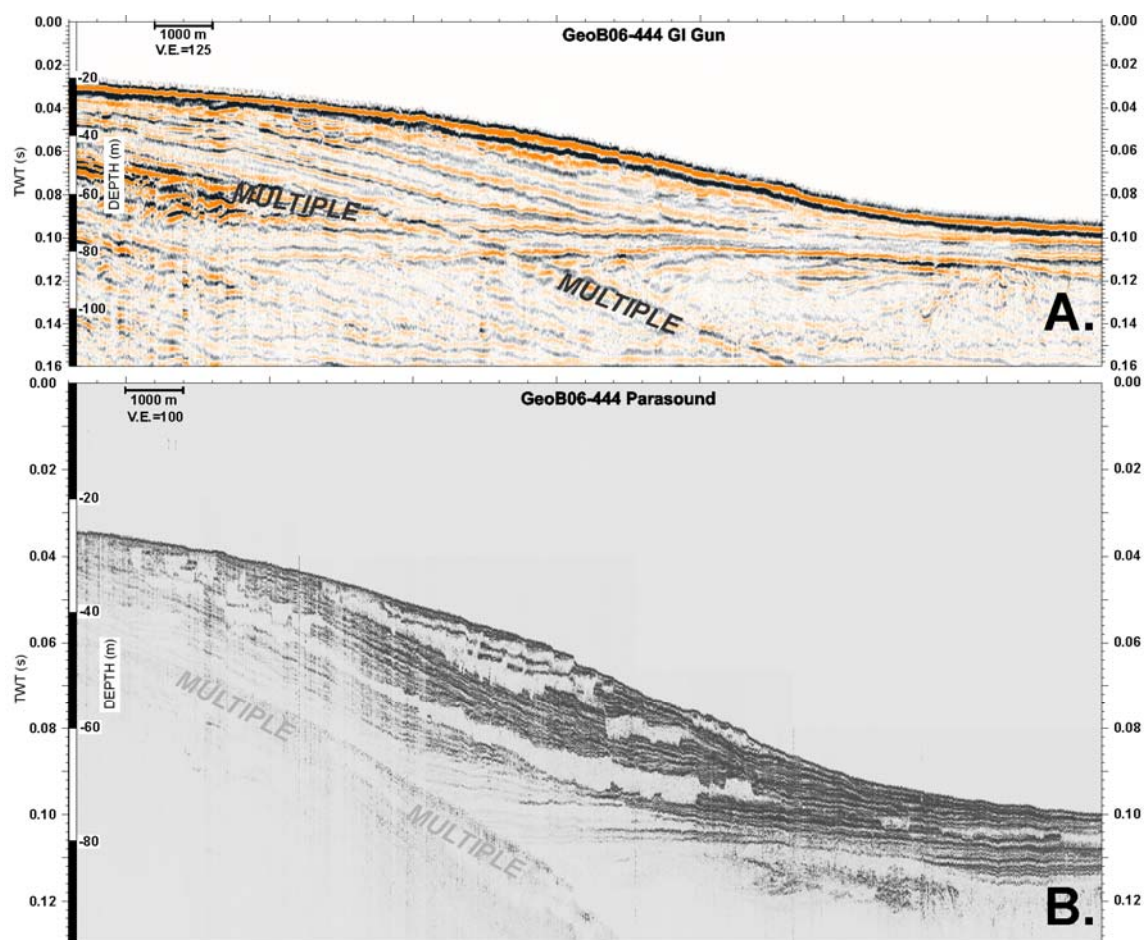


Figure 3. NS seismic sections of Profile GeoB06-444 from the Egrid imaged by (A) GI Gun data, (B) Parasound echosounder and (C) interpreted (see Figure 2 for profile and grid locations and Figure 6A for cores and T.V.A., Thickness Variation Analysis, locations). CTD oceanographic stations were taken across the profile during SO93 cruise (modified from Berner et al., 2003).

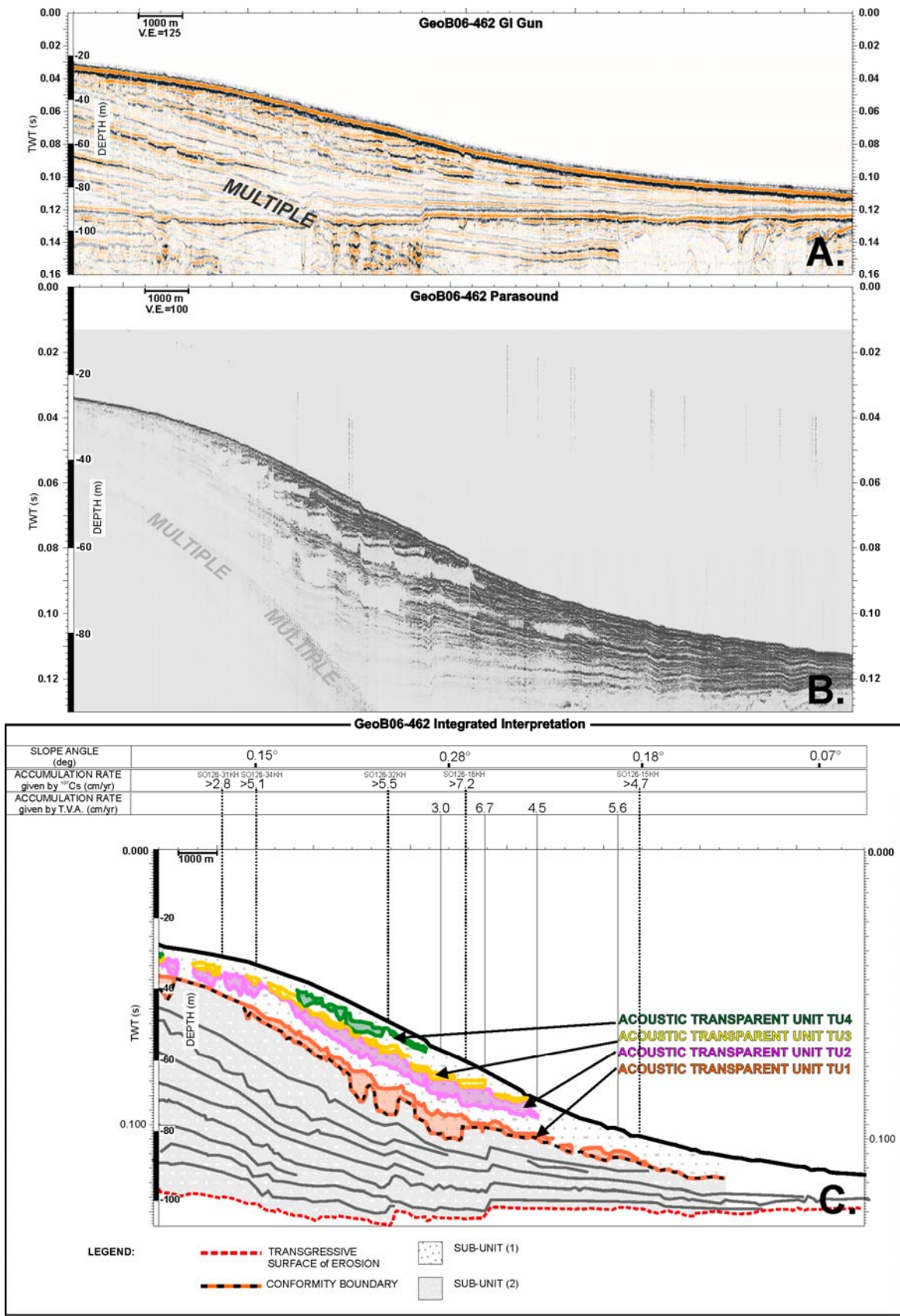


Figure 4. NS seismic sections of Profile GeoB06-462 from the Wgrid imaged by (A) GI Gun data, (B) Parasound echosounder and (C) interpreted (see Figure 2 for profile and grid locations and Figure 6B for cores and T.V.A., Thickness Variation Analysis, locations).

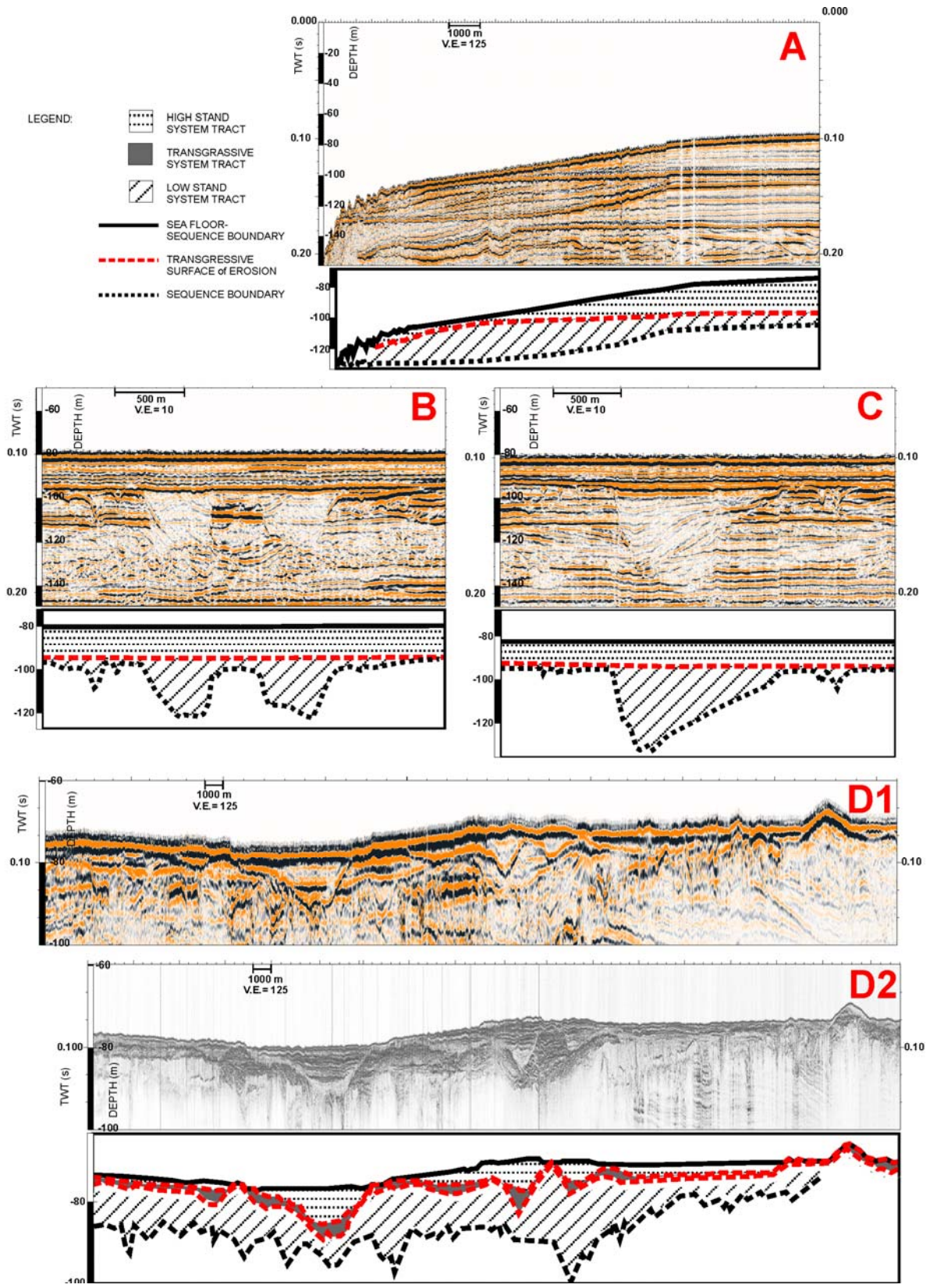


Figure 5. Selected examples of EW seismic sections with main line drawing imaged by GI Gun data: (A) at eastern canyon margin; (B and C) in the western-central shelf; (D1) in eastern shelf (D2) compared to Parasound data resolution (see Figure 2 for locations).

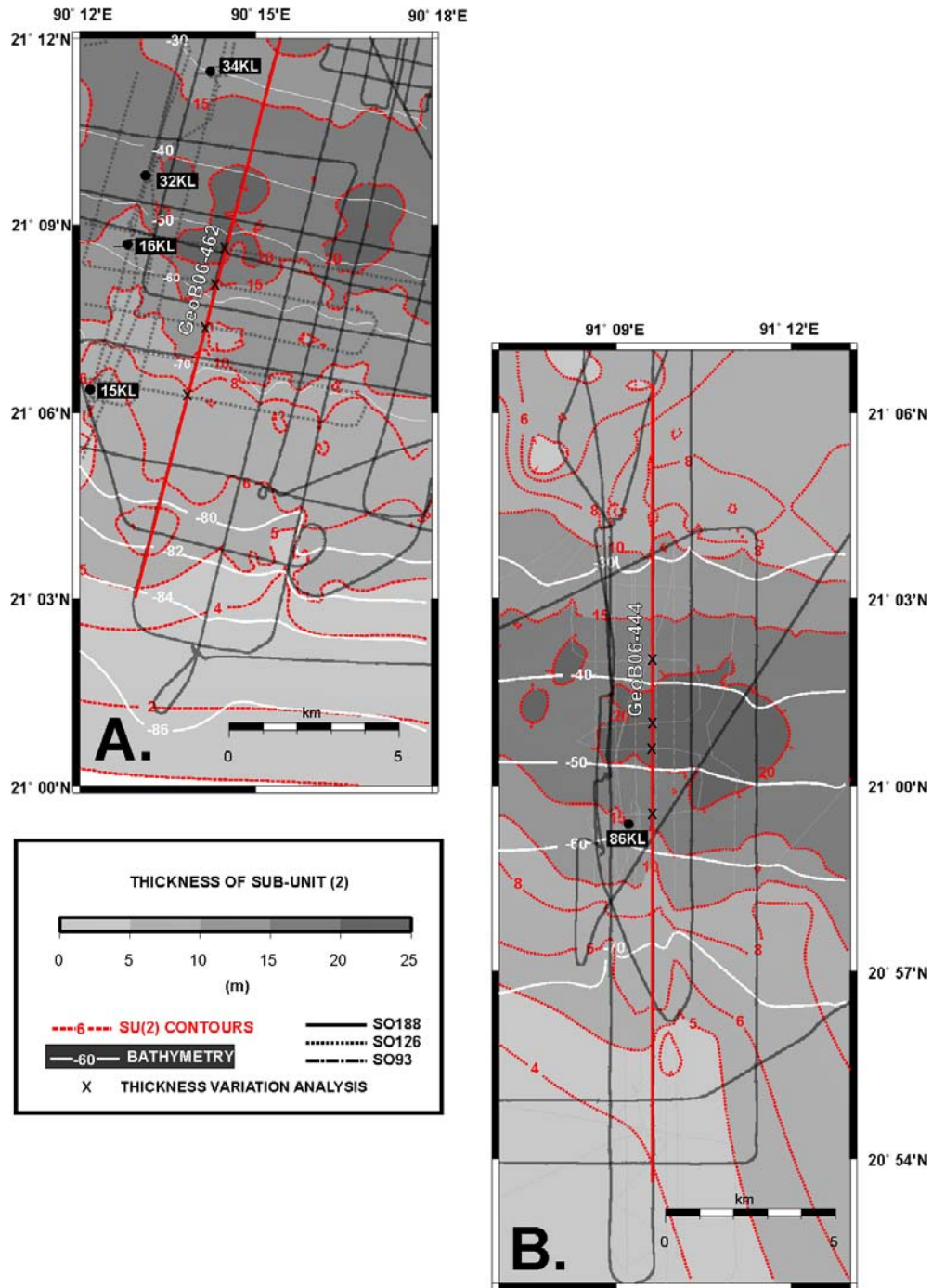


Figure 6. Isopach map of sub-unit (2), in Wgrid (A) and Egrid (B) (see Figure 2 for locations). Cruise track of SO93 is a dot and dashed line, SO126 is a dotted line and SO188 is a continuous line. Bathymetric lines are gridded from the SO93, SO126 and SO188 Parasound profiles. Dated cores locations from SO93 and SO126 in also indicated. The “X” indicates the crossing points where the TVA, thickness variation analysis, have been executed.

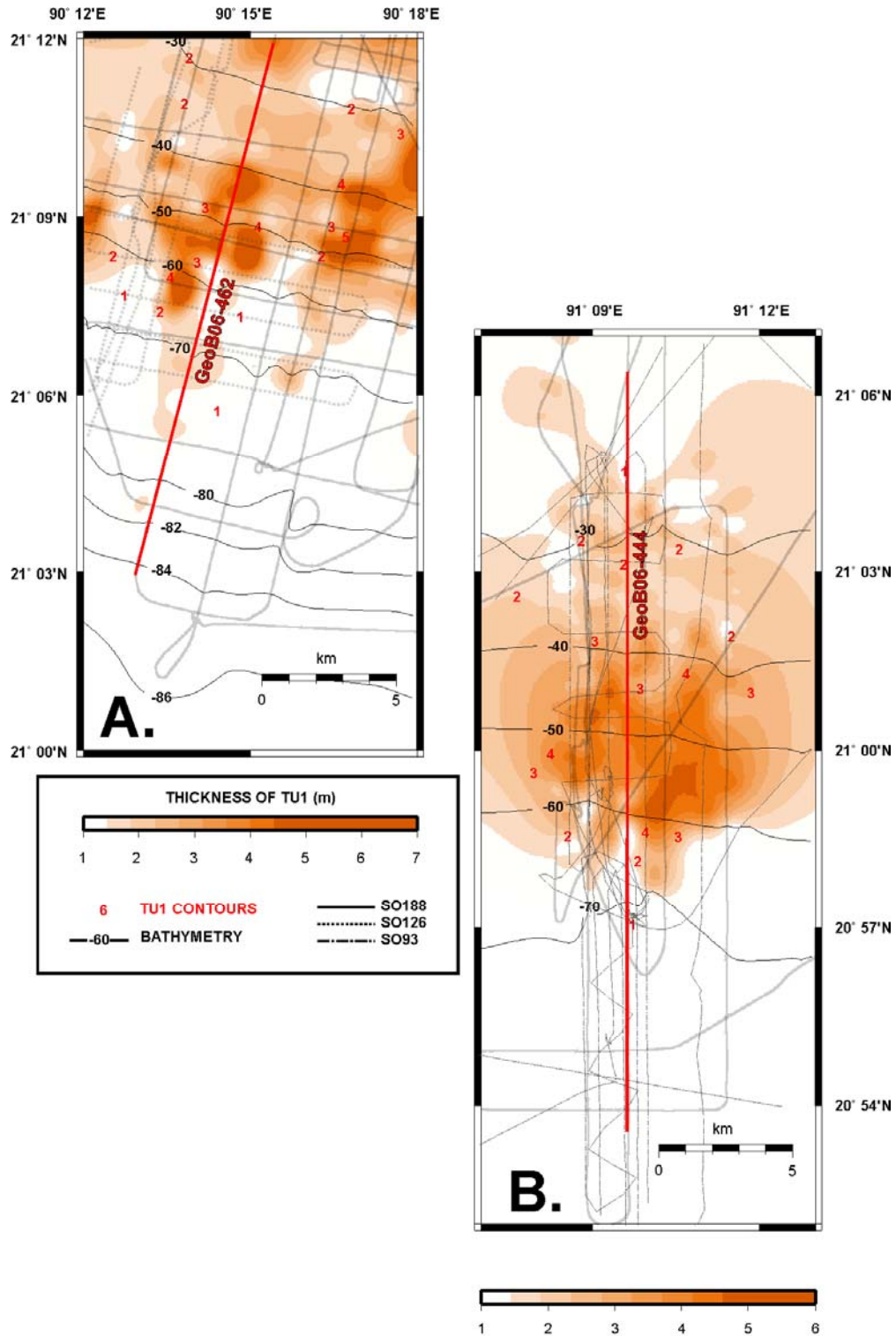


Figure 7. Isopach map of the Transparent Unit 1, TU1, in Wgrid (A) and Egrid (B) (see Figure 2 for locations). Cruise track of SO93 is a dot and dashed line, SO126 is a dotted line and SO188 is a continuous line. Bathymetric lines are gridded from the SO93, SO126 and SO188 Parasound profiles.

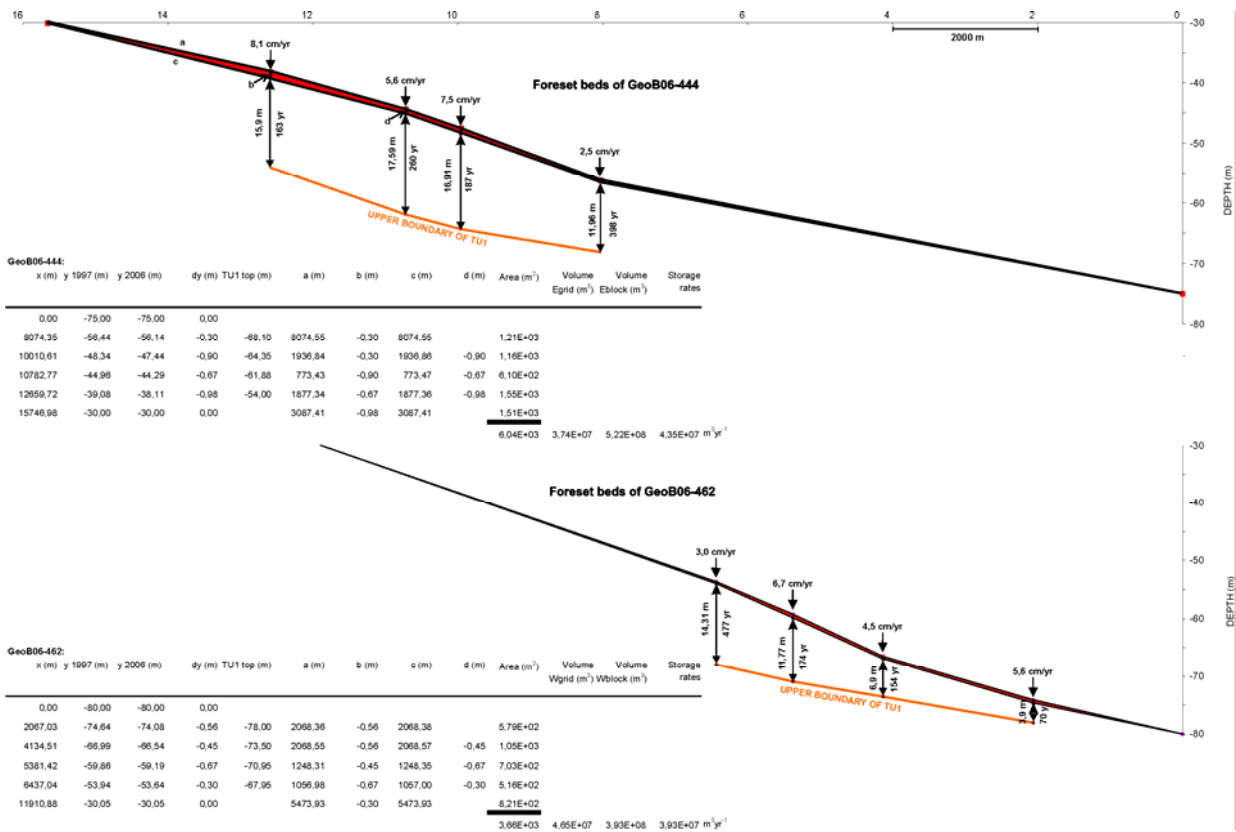


Figure 8. Conceptual model for age reconstruction. The mean age of sub-unit (2) has been calculated from the surface to the upper boundary of TU1 in the Egrid for the GeoB06-444 profile and Wgrid for the GeoB06-462 profile (see Figure 2 for locations). The unit has been divided by the accumulation rates obtained by the thickness variation analysis (see Figure 6 for locations). The thickness of the newly deposited sediments has become the height (b and d sides) for the construction of a multi-polygon where the base (a and c sides) is the length of the foreset beds to calculate the area. Volumes in the Egrid and Wgrid (see Figures 2 for locations) are obtained by multiplying for the longitudinal extension. Eblock and Wblock (see Figures 2 for locations) volumes of the newly deposited sediments are calculated by proportion (See Chapt 3.3).

Anlage 3

Bachelorarbeit am Fachbereich Geowissenschaften der Universität
Bremen

Struktur und Morphologie eines submarinen Kanals im Golf von Bengalen an Hand von Fächer- und Sedimentecholotdaten

Timo Schaper

Struktur und Morphologie eines
submarinen Channels in der Bucht von
Bengalen anhand von Fächer- und
Sedimentecholot.

Bachelorarbeit
am Fachbereich Geowissenschaften
der Universität Bremen

Vorgelegt von
Timo Schaper

1. Betreuer: Dr. Tilmann Schwenk
2. Betreuer: Prof. Dr. Tilo von Dobeneck

Erklärung gem. § 23 Abs. 9 AT der Bachelor-PO der Universität Bremen

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtliche oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Weiterhin erkläre ich, dass die Bachelorarbeit in unveränderter Fassung der Öffentlichkeit **zur Verfügung** / **nicht zur Verfügung*** gestellt werden kann.

*Zutreffendes bitte markieren

Ort/Datum: _____

Unterschrift: _____

Inhaltsverzeichnis:

1.	Kurzfassung	4
2.	Einleitung.....	5
3.	Material und Methoden.....	8
3.1.	Multibeam System EM 120	11
3.2.	Fledermaus & DMagic	11
3.2.1.	DMagic.....	11
3.2.2.	Fledermaus.....	13
3.3.	Sedimentfächerecholot Parasound.....	15
3.4.	SeNT.....	16
4.	Ergebnisse.....	17
4.1.	Fledermaus.....	17
4.1.1.	Bathymetrie.....	17
4.1.2.	Relief.....	18
4.1.3.	Breite	19
4.1.4.	Hangneigung und Gleithang.....	20
4.1.5.	Gefälle.....	21
4.1.6.	Sinuosität.....	22
4.2.	SeNT.....	22
5.	Diskussion.....	33
5.1.	Sinuosität im Vergleich zum Gefälle.....	33
5.2.	Vergleich von Sinuosität, Prallhang, Relief und Breite.....	34
5.3.	Vergleich Bathymetrie und Parasound.....	36
5.4.	Vergleich Amazonas Channel	37
5.5.	Vergleich Zaire Channel.....	38
6.	Schlussfolgerungen.....	39
7.	Danksagung	41
8.	Literaturliste:	42
9.	Anhang.....	46
9.1.	Daten zur Sinuosität	46
9.2.	Daten zum Gefälle	49
9.3.	Daten für Relief, Breite und Hänge	52

1. Kurzfassung

Der Bengalfächer ist der größte Tiefseefächer der Welt. Diese Arbeit widmet sich einem inaktiven Channel, welcher in diesem Gebiet liegt und an den einzigen aktiven Channel grenzt. Es wurden Fächerecholot- und Sedimentecholotdaten benutzt um Bathymetrie, Relief, Breite, Hangneigungen, Gefälle, Sinuosität, Leveemächtigkeiten und Verfüllungen des Channels zu bestimmen und untereinander zu vergleichen. Dabei wurde festgestellt, dass der Channel in drei wesentliche Abschnitte geteilt werden kann, die unterschiedlichen Trends folgen. Festgestellt wurde, dass das Relief, die Breite und die Hangneigungen erst zunehmen, dann gleichbleiben und zum Channelende wieder abnehmen. Die Sinuosität nimmt mit dem Channelverlauf nach Süden ab und das Gefälle zu. Die Leveemächtigkeiten betragen auch im unteren Teil des Fächers noch bis zu 30m, was deutlich mehr ist, als die Mächtigkeiten im Amazonas Channel. Die Verfüllung des Channels scheint durch abgezweigte Turbiditeströme aus dem aktiven Channel entstanden zu sein. Am Abrisspunkt gab es zusätzlich Verfüllungen durch Overspill aus dem aktiven Channel. Das geringe Relief am Channelanfang ist schon während der aktiven Zeit entstanden und nicht durch spätere Verfüllungen.

2. Einleitung

Zuerst beschrieben wurde der Bengalfächer von Dietz (1953). Bis Anfang der 70er Jahre trug er noch den Namen Ganges Kegel (Ganges Cone). Erst Curray und Moore (1971) haben ihm nach ihrer Erforschung und Beschreibung den Namen Bengalfächer (Bengalfan) gegeben.

Der Bengalfächer selber ist im Westen durch den östlichen Kontinentalrand von Indien begrenzt. Der nördliche Rand ist der Kontinentalhang von Bangladesch. Im Osten stellen der Sundagraben, sowie der Akkretionskeil der Sundasubduktionszone die Grenzen des Fächers dar (Curray, Emmel, Moore, 2003). Er erstreckt sich über eine Länge von 3000km von 20° N bis 9° S. Dabei ist er 1430km breit bei 15°N und 830km bei 6°N (Emmel und Curray, 1985). Die Gesamtfläche des Fächers beträgt $3 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (Emmel und Curray, 1985). Durch refraktionsseismische Daten wurde festgestellt, dass die Sedimente die nach der Kollision in der Nähe der Schelfkante entstanden sind, eine Mächtigkeit von 16km haben (Brune et al., 1992). Der Fächer hat ein ungefähres Volumen von $12.5 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ und eine ungefähre Masse von $2.88 \cdot 10^{16} \text{ t}$ (inklusive Nicobar-Fächer und Teile des Ganges-Brahmaputra Delta) (Curray, 1994). Dieses Fächersystem wird in zwei Hauptfächer unterteilt. Den Nicobar-Fächer und den Bengalfächer (Curray und Moore 1971).

Im Paläozän und Eozän kam es zur Kollision der indischen mit der eurasischen Platte (Alam, Curray, Chowdhury und Gani, 2003; Curray, Emmel, Moore und Raitt, 1982; Curry und Moore, 1974; Lee & Lawver, 1995). Durch diese Kollision, die noch heute andauert, kam es zur Auffaltung des Himalaya Gebirges. Über den Ganges und den Brahmaputra, zwei riesige Flüsse, liefert dieses Gebirge große Mengen Sediment über das Gangesdelta in das Becken bzw. in die Bucht von Bengalen. Dort kommt es dadurch zur Ausbildung des größten submarinen Fächers der Welt (Curray, Emmel, Moore, 2003). Im Gegensatz zu Modellen der allgemeinen Sediment-Stratigraphie zeigt der Bengalfächer ein aktives Wachstum während des letzten Meeresspiegelanstiegs und dem heutigen Meeresspiegelhöchststandes (Weber et al., 1997). Der Sedimenteintrag durch die beiden Flüsse erreicht heute $1-2 \cdot 10^9 \text{ t/yr}$. Dies ist der höchste Sedimenteintrag im Vergleich zu allen anderen Flüssen auf der Welt (Miliman und Meade, 1983). Diese enormen Massen von Sediment verteilen sich über den landwertigen Bereich des Deltas, den submarinen Teil und den Tiefseefächer (Schwenk et al., 2003). Dabei verteilen sich in den letzten 7000 Jahren die Sedimente zu jeweils 1/3 in die unterschiedlichen Ablagerungsräume (Googbred und Kuehl, 2000). Aktuell gehen ungefähr 20% der Sedimentfracht in den submarinen Fächer ein und 35-50% werden im Tiefseefächer abgelagert (Michels et al., 1998).

Der Bengalfächer ist einer der größten schlickführenden Fächer auf der Erde die sich an passiven Kontinentalrändern befinden. (Schwenk et al., 2003). Die Motivation für die Erforschung des Fächers liegt vor allem an seinem hohen Potenzial an Kohlenwasserstoff und seinem Wert als geschichtlicher Klimaspeicher auf kurzen, aber auch langen Zeitskalen (Bouma, 2001; Richards et al., 1998).

Die wichtigsten Faktoren, die die Fächerarchitektur beeinflussen sind Tektonik, Klima, der Sedimenteintrag und die Meeresspiegelschwankungen (Bouma, 2000; Richards et al., 1998). Alle Faktoren sind untereinander gekoppelt. So können z.B. tektonische Hebungen den Meeresspiegel verändern, welches wiederum zu einer Veränderung des Sedimenteintrages führen kann.

Sowohl Bouma (2000,2001), als auch Richards et al. (1998) entwickelten verschiedene Modelle von submarinen Fächern und gliederten das System des Fächers ganz allgemein in drei Haupttypen. Der obere Fächer wird dominiert durch eine einzelne große Channel-LeVee-Struktur, welche verbunden ist mit einem großen submarinen Canyon. Weiter hangabwärts ist der mittlere Fächer dadurch charakterisiert, dass die Channel-LeVee-Strukturen anfangen zu mäandrieren. Im unteren Fächer laufen die Kanäle in sogenannten Depositionsloben aus. Allerdings ist bei diesen Modellen darauf hinzuweisen, dass sie lediglich generelle, aber nicht exakte charakteristische Eigenschaften eines individuellen Fächers beschreiben (Richards et al., 1998).

Auch heute ist es noch schwer, die Entwicklung der Sinuosität und der Reservoir Architektur von Tiefseefächern zu verstehen, weil es an Datensätzen von 3-D Seismik und hochauflösender 2-D Seismik fehlt (Kolla et al, 2001).

Channel-LeVee-Systeme sind bekannt als größtes strukturelles Merkmal eines großen submarinen Fächers wie den Amazonasfächer (Damuth et al., 1988; Pirmez und Flood, 1995), den Mississippifächer (Twichell et al., 1991; Weimer, 1991), den Indienfächer (Kenyon et al., 1995; Kolla und Schwab, 1995) und den Bengalfächer (Emmel und Curray, 1985). Leveestrukturen in einem Channel werden durch gleichzeitige Erosion von Sedimenten im Channel und der anschließenden Ablagerungen auf dem Uferwall und darüber hinaus während eines Turbiditestromes gebildet (Imran et al., 1998). Der Aufbau der Channel-LeVee-Systeme steht dabei im engen Zusammenhang mit der Art der Turbiditeströme die durch den Channel hindurch strömen. Große Turbiditeströme, die eine Mächtigkeit haben die viel größer als das Relief des Channels ist und deren Breite ebenfalls größer ist, verursachen massives überlaufen von Sedimenten in Gebiete weit über den Channel hinaus. Kleinere kanalisierte Turbiditeströme überspülen lediglich an mäandrierenden Punkten den Channel und verursachen dagegen auch nur eine Ablagerung der Sedimente über kleinräumigere Gebiete (Hiscott et al., 1997; McHugh und Ryan, 2000; Peakall et al., 2000; Piper und Normak, 1983).

Die Eigenschaft der Channels zu mäandrieren wird hauptsächlich durch den Gradienten des Meeresbodens beeinflusst, aber auch durch die Frequenz und den Typ des Sediments des Turbiditestromes. Änderungen in diesen Eigenschaften veranlassen den Channel zu mäandrieren, sodass sich der Turbiditestrom mit seiner Sedimentfracht im Gleichgewicht befindet (Flood et al., 1991; Pirmez und Flood, 1995; Weimer, 1991). Durch einen Vergleich der Gradienten des Meeresbodens und der Sinuosität von verschiedenen Channels schlussfolgerten Clark et al. (1992), dass die Channelsinuosität mit abnehmenden Gradienten steigt. Allerdings nur bis zu einem

bestimmten Sinuositätsmaximum. Im Umkehrschluss nimmt die Sinuosität wieder ab, wenn der Gradient steigt. Diese Aussage scheint ein eindeutiger Parameter für Fächer zu sein, die nicht tektonisch kontrolliert werden (Clark et al., 1992).

In der nun folgenden Arbeit wird ein inaktiver Channel des Bengalfächers anhand von Fächerecholotdaten auf sein Relief, Bathymetrie, Sinuosität, Gefälle, Breite und Hangneigung untersucht. Als Ergänzung wird anhand von Sedimentfächerecholotdaten versucht die Leveestrukturen darzustellen, sowie eventuelle Verfüllungen nachzuweisen, welche durch Overspill oder abbrechen der Hänge entstanden sein könnten. Diese Daten sollen schon vorhandene Daten aus dem Gebiet des Bengalfächers von Curray, Emmel, Moore (2003) und Schwenk et al. (2003) ergänzen und mit Daten verschiedener Channel anderer Tiefseefächer wie den Zairefächer (Babonneau et al., 2002) und Amazonasfächer (Pirmez und Imran, 2003) verglichen werden.

3. Material und Methoden

Die Daten für den zu untersuchenden Channel stammen von der Sonnefahrt 188. Diese startete am 06.06.2008 in Singapur (Singapur) und endete am 04.07.2006 in Chittagong (Bangladesch). Zusätzlich

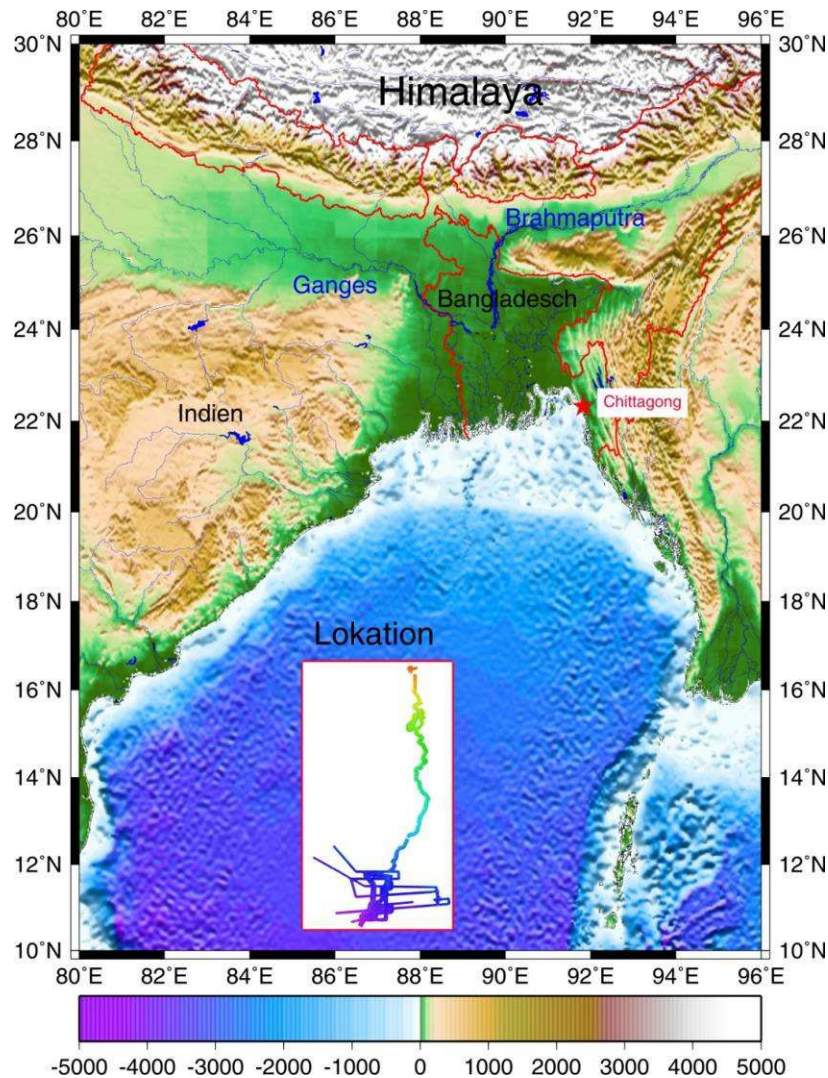


Abbildung 1: Karte des Untersuchungsgebietes. Anhand der bathymetrischen Karte ist zu erkennen, wo sich das Gebiet aus dem die Daten stammen befindet. Eine ausführliche bathymetrische Karte ist in Abbildung 2 zu finden. Die Abbildung wurde mit dem `jens.prektopo.world.grd` aus GMT erstellt.

wurden noch Daten von den Sonnefahrten 125 und 93 verwendet.

Das Untersuchungsgebiet hat die Eckkoordinaten $16.6^\circ \text{ N} / 85.25^\circ \text{ E}$, $16.6^\circ \text{ N} / 88.75^\circ \text{ E}$, $10.5^\circ \text{ N} / 85.25^\circ \text{ E}$, $10.5^\circ \text{ N} / 88.75^\circ \text{ E}$.

In Abbildung 1 ist zu erkennen, wo sich die Lokation im Verhältnis zu Bangladesch und den beiden Flüssen (Ganges und Brahmaputra), die für den hohen Sedimenteintrag verantwortlich sind, befindet.

Die Lokation ist eine verkleinerte bathymetrische Karte des Untersuchungsgebietes und ist unter Abbildung 2 auch als Detailkarte mit

Cruise Track zu finden. Die linke Karte in Abbildung 2 zeigt einen nachgezeichneten

Verlauf des Teils des Channels, welcher untersucht wurde. Dieser Teil hat eine Gesamtlänge von 770km und erstreckt sich von Nord nach Süd über 518km. Die schwarzen Sterne markieren die Punkte an denen die Sedimentecholotdaten ergänzend hinzugezogen wurden.

Abbildung 3 zeigt nochmal genau den Übergang vom aktiven Channel zum inaktiven Channel. Der Anfang dieses Bereiches ließ sich nicht eindeutig mit Fledermaus bearbeiten, da die Auflösung zu schlecht war. Es wurde aber versucht den Bereich mit Parasound zu bewerten.

Für die Untersuchung des Bengalfächers wurde das Sedimentfächerecholot Parasound benutzt, sowie das Multibeam System EM 120. Beide Systeme und Methoden werden im Folgenden erklärt. Die technischen Daten sind dem Fahrtbericht entnommen.

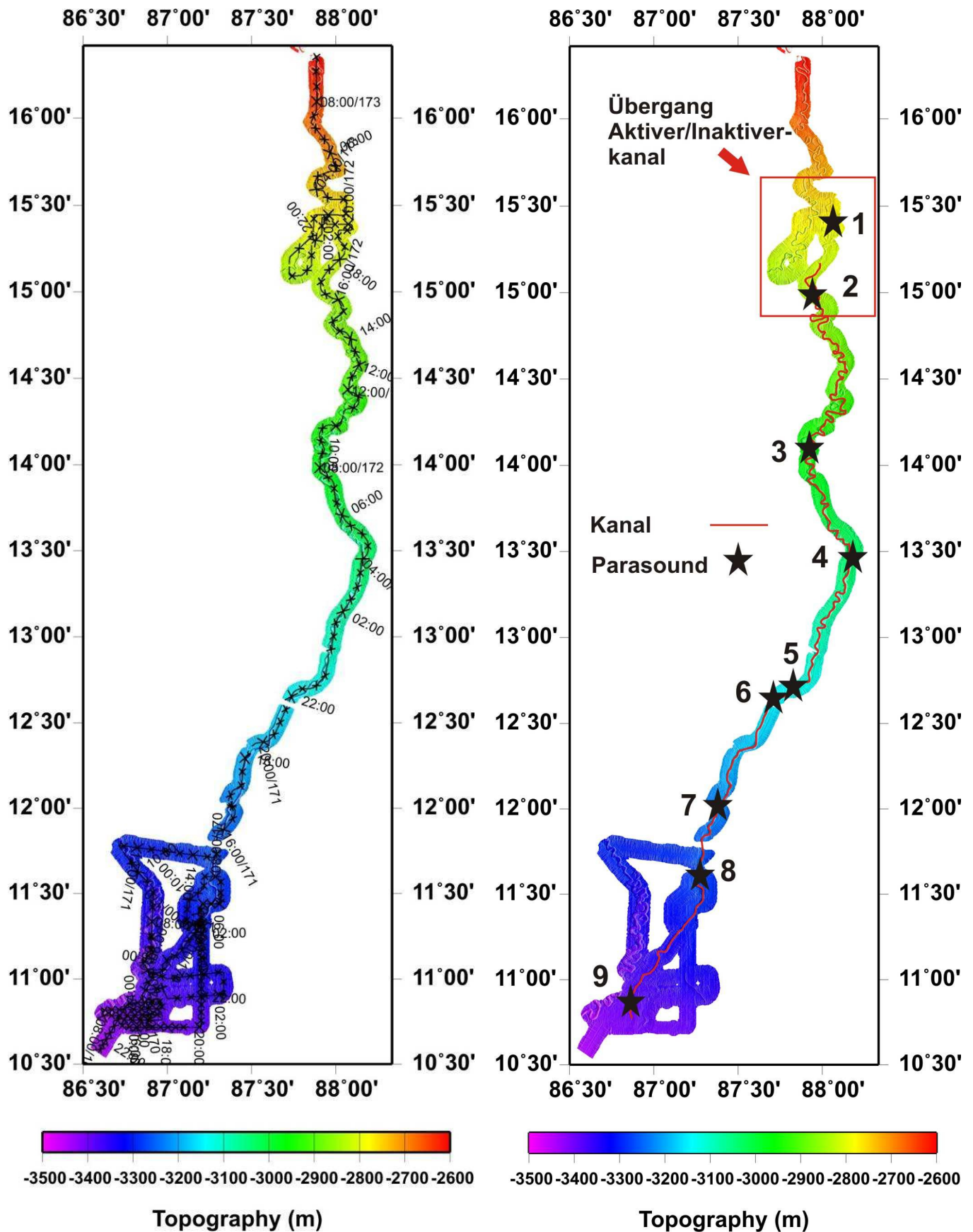


Abbildung 2: Links ist die bathymetrische Karte mit dem Cruise Tack zu sehen. Rechts ist dieselbe Karte mit dem nachgezeichneten Channel, sowie die Punkte an denen der Channel mit Sedimentecholot untersucht wurde dargestellt. Die Zahlen markieren die Profilnummer. Beide Karten wurden mit GMT und den Daten der Sonnefahrt 188 erstellt.

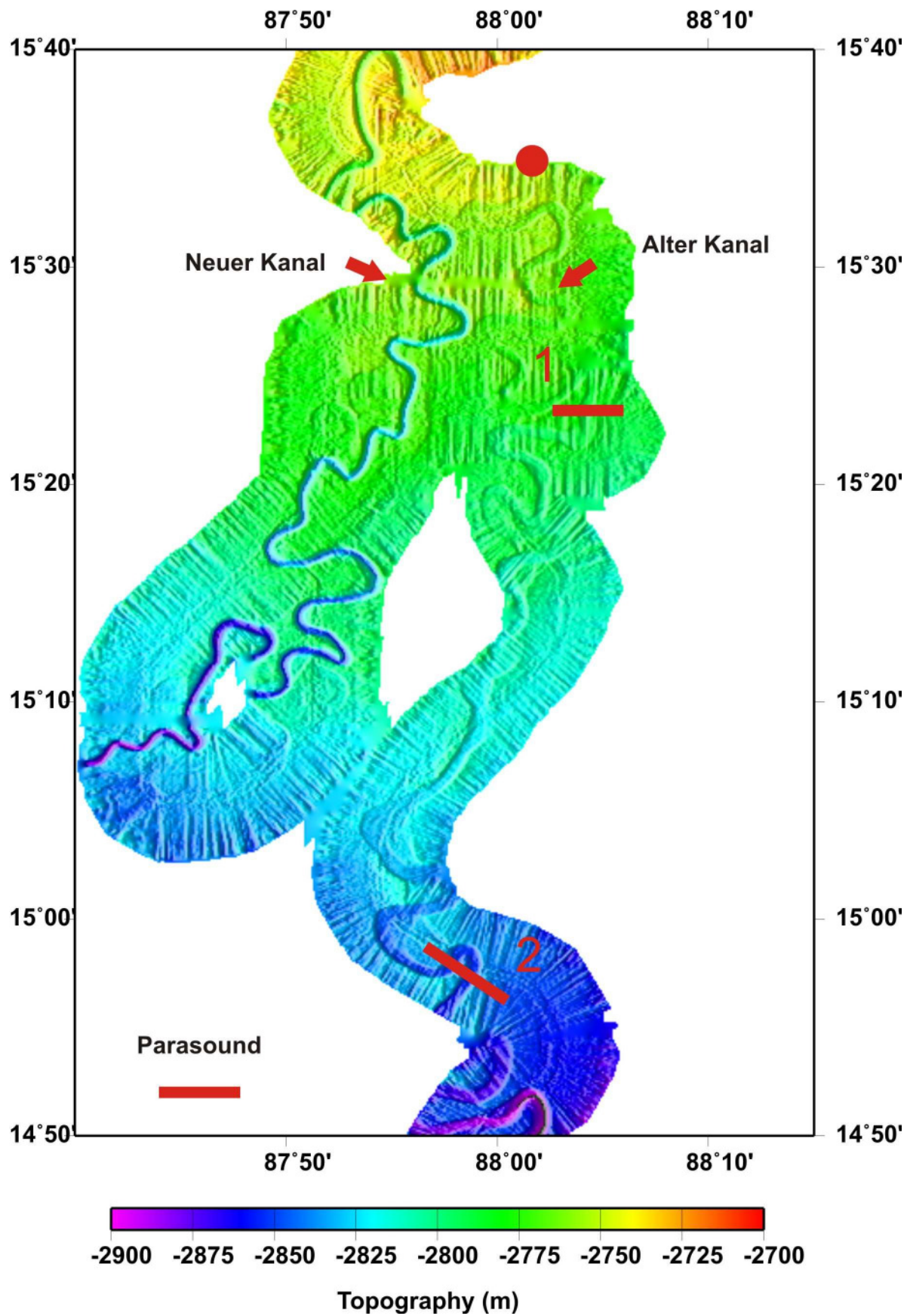


Abbildung 3: Detailkarte(GMT) in den Bereich, wo der inaktive und der aktive Channel sich trennen. Zu erkennen ist, dass die bathymetrischen Daten leider nicht den genauen Punkt an dem die Channel sich trennen eingefangen haben. Mit roten Linien sind wieder die Plätze gekennzeichnet an denen die Untersuchungen mit Sedimentecholotdaten ergänzt wurden. Die Zahlen sind die Profildatennummern.

3.1. Multibeam System EM 120

Für die bathymetrische Kartierung wurde das Tiefsee Multi Beam Fächerecholot EM120 (Simrad) benutzt. Das System ermöglicht eine genaue bathymetrische Vermessung. Die grundlegende Komponente des Systems sind zwei lineare Transducer-Anlagen, die in der sogenannten Mills-Cross Konfiguration mit zwei separaten Einheiten für das Senden und Empfangen arbeiten. Das Sonar hat eine nominelle Frequenz von 12kHz mit einem Abstrahlwinkel von 150° und 191 Beams (Strahlen) pro Ping. Das Abstrahlsignal erfolgt dabei in einen tatsächlichen Winkel von 150° quer zur Fahrtrichtung und 1° zur Fahrtrichtung. Die Antwort erfolgt mit 191 Beams und 2° quer zur Fahrtrichtung bzw. 20° entlang der Fahrtrichtung. Die tatsächliche Abtastrate des Meeresbodens entspricht dabei in der Regel dem 6 fachen der Wassertiefe. Dies ist aber abhängig von der Struktur des Bodens. Für Tiefenmessungen werden 191 isolierte Werte, senkrecht zur Fahrtrichtung, für jeden Ping gesammelt. Mit Hilfe der 2-Weg-Laufzeit und dem Winkel des Beams lässt sich nun, für jeden Punkt (Beam), die Wassertiefe berechnen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es auch in der Wassersäule unterschiedliche Schalgeschwindigkeiten gibt, welches auf Temperatur- und Salzunterschiede zurückzuführen ist. Deswegen muss man mit einem sogenannten Wasserschallprofil arbeiten, welches für das jeweilige Messgebiet charakteristisch ist. Eine Kombination der Amplitude (für die zentralen Beams) und der Phase (für die schrägeren Beams) wird benutzt um eine Messgenauigkeit zu erreichen, die unabhängig von dem Winkel ist. Neben den Tiefenwerten bietet das EM 120 auch Backscatter und pseudo Sidescanbilder, welche aber für diese Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. An Bord wurden die Daten auf Festplatten gespeichert und Back Ups auf DVDs angelegt.

Während der Sonnefahrt 188-1 arbeitete das EM 120 System sehr unzuverlässig und der Computer stürzte in regelmäßigen Abständen ab. Die Qualität der Daten waren ungewöhnlich schlecht. Vor allem der zentrale Part der Daten war gestört und die Amplitude verstärkt. Vermutlich wurden die Fehler durch ein Software Update hervorgerufen, welches während der Zeit in der Werft installiert wurde. In seiner Zeit als Hiwi konnte der Autor die Datenfehler bereinigen, sodass sie keinen direkten Einfluss mehr auf die Arbeit nahmen.

3.2. Fledermaus & DMagic

3.2.1. DMagic

Das Programm Fledermaus wird von der Firma Interactive Visualization Systems (IVS 3D) entwickelt und dient dem Erstellen von 3D Simulationen und Präsentationen. Außerdem kann man eingeladene Daten mit Hilfe von verschiedenen Analysetools bearbeiten und erforschen.

Fledermaus diente für diese Bachelorarbeit in erster Linie dafür die vorhandenen bathymetrischen Daten in ein 3D-Modell zu konvertieren, um anschließend Daten wie Hangneigung, Breite, Relief und Bathymetrie des Channels zu berechnen.

Der erste Schritt war es mit Hilfe des Programms GMT ein Grid von den vorher von Fehlern gesäuberten Daten zu erstellen. Dieses Grid konnte anschließend mit Hilfe von GMT als Postscriptfile (PS) geplottet werden. Dies erlaubte eine 2D Ansicht der Daten (Abbildung 2 und 3).

Diese Daten, mit denen das 2D Profil erstellt wurde, wurden nun in Fledermaus eingeladen bzw. in das Hilfsprogramm DMagic, welches in Fledermaus enthalten ist. Mit Hilfe der Programmoberfläche aus Abbildung 4 konnten man nun diverse Richtlinien für die 3D-Projektion festlegen.

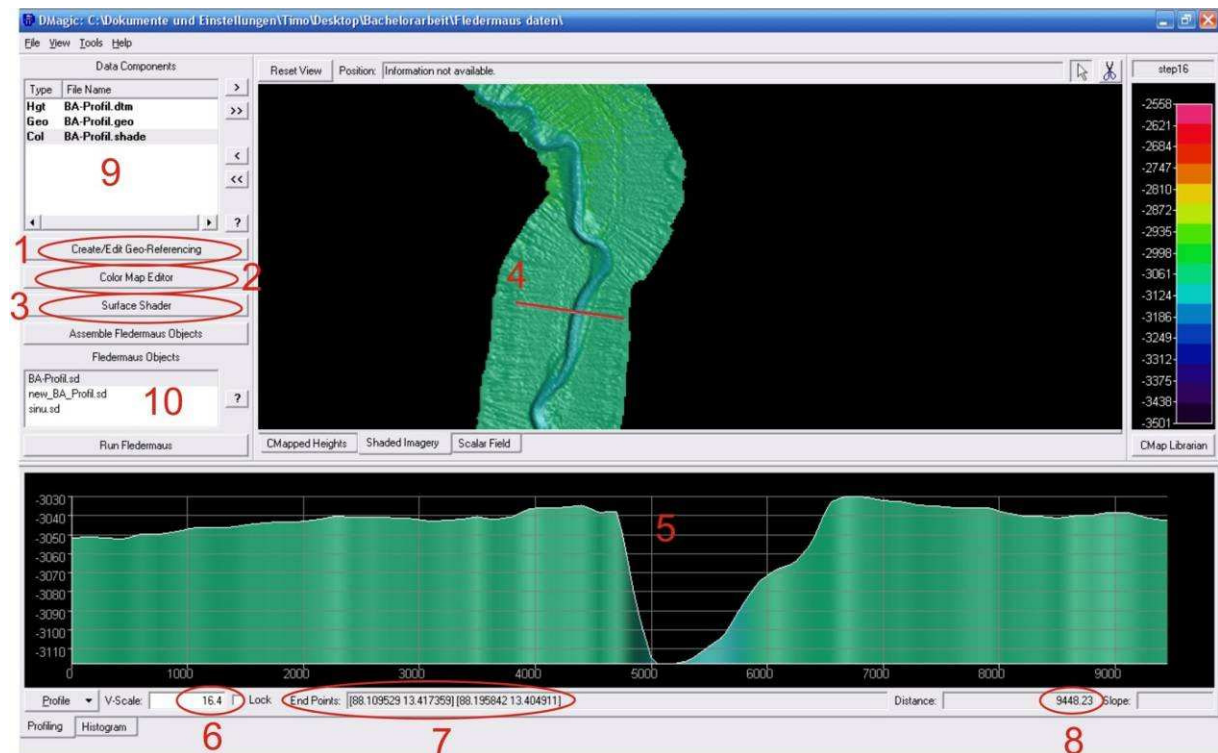


Abbildung 4: Benutzeroberfläche von DMagic. Rot markiert sind die wichtigen Punkte, welche zur Bearbeitung der bathymetrischen Karte gebraucht werden. Die Funktionen sind in der nachstehenden Auflistung beschrieben.

1. **Create/Edit Geo Referencing:** Sofern von dem Programm selber noch nicht die richtigen Eckkoordinaten ausgelesen wurden, konnte man diese hier einstellen, sowie festlegen ob man mit Lat/Long oder UTM Koordinaten arbeitet. Für diese Arbeit wurde das Lat/Long System verwendet.
2. **Color Map Editor:** Mit Hilfe dieses Tools konnte man für die Karte manuell eine Farbtabelle erstellen, sofern die automatische nicht ausreichte um den Channel scharf genug darzustellen.
3. **Surface Shader:** Unter diesem Punkt kann man die Stärke, sowie Winkel der Beleuchtung ändern. Dadurch kommen die Schatten besser zur Geltung und das Relief wird deutlicher dargestellt. Dieser Punkt gliedert sich in vier wesentliche Regler. Der Ambient-Regler regelt die Stärke der Beleuchtung. Je höher hier die Beleuchtung gestellt wird, desto stärker werden die Schatten. Der Specular-Regler erzeugt eine Art Glanz, durch welchen die Strukturen des Meeresbodens deutlicher erscheinen. Der

Soft-Shader-Regler kontrolliert die Schärfe der Schattenkanten und der Regler für Vertical Scale kontrolliert den Grad der vertikalen Überhöhung.

4. Hauptfenster: Das Hauptfenster zeigt die aktuelle bathymetrische Karte die gerade von Fledermaus bearbeitet wird. Hält man die rechte Maustaste gedrückt, kann man ein Profil (roter Strich) über die Karte ziehen durch den ein 2-D Profil im Profilfenster erscheint. Rechts neben dem Hauptfenster befindet sich die Farbskala mit den entsprechenden topografischen Werten.

5. Profilfenster: Das Profilfenster zeigt ein aktuelles Querprofil. In diesem Fall liegt es über den Channel. Man kann hier die vertikale Überhöhung (6), die Endkoordinaten (7) und die gesamte Distanz (8) des aktuellen Profils ablesen.

9. Datenfenster: Hier sind die aktuellen bearbeiteten Daten zu finden, d. h. die bathymetrische Karte, die Georeferenzdatei, die Farbeinstellungen und die Einstellungen für die Schatten

10. Fledermaus Objekte: Hat man die für seine Karte vernünftigen Einstellungen gefunden, kann man nun auf die Schaltfläche „Assemble Fledermaus Object“ klicken und es wird ein entsprechendes File für Fledermaus erstellt. Dieses ist dann in der Liste unter „Fledermaus Objects“ zu finden. Markiert man ein File und starte es mit „Run Fledermaus“ gelangt man zum eigentlichen Haupttool.

3.2.2. Fledermaus

Auch in Fledermaus gibt es wieder das Hauptfenster das die bathymetrische Karte zeigt, sowie das Profilfenster, welches das aktuelle Profil zeigt. Die Hauptnavigation findet über die rechte Navigationsleiste des Programms statt (Abbildung 5).

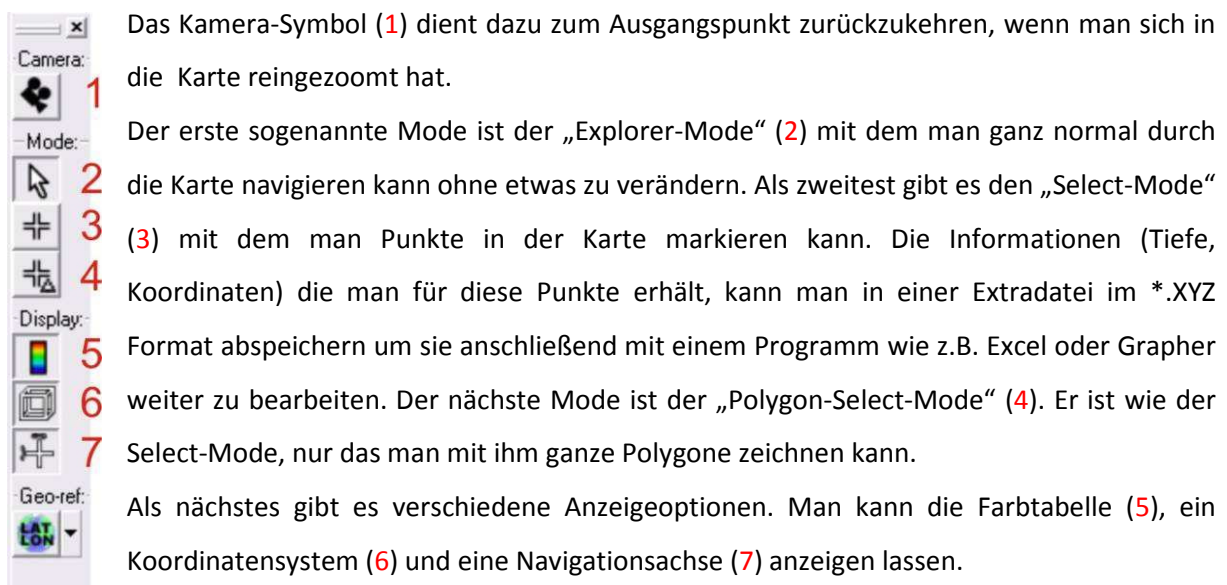


Abbildung 5: Symbolleiste von Fledermaus

Bevor man nun damit beginnen konnte die eigentlichen Daten, wie Bathymetrie des Channels, Hangneigung, Relief, Sinuosität, Breite und Gefälle zu ermitteln, musste man sich überlegen in

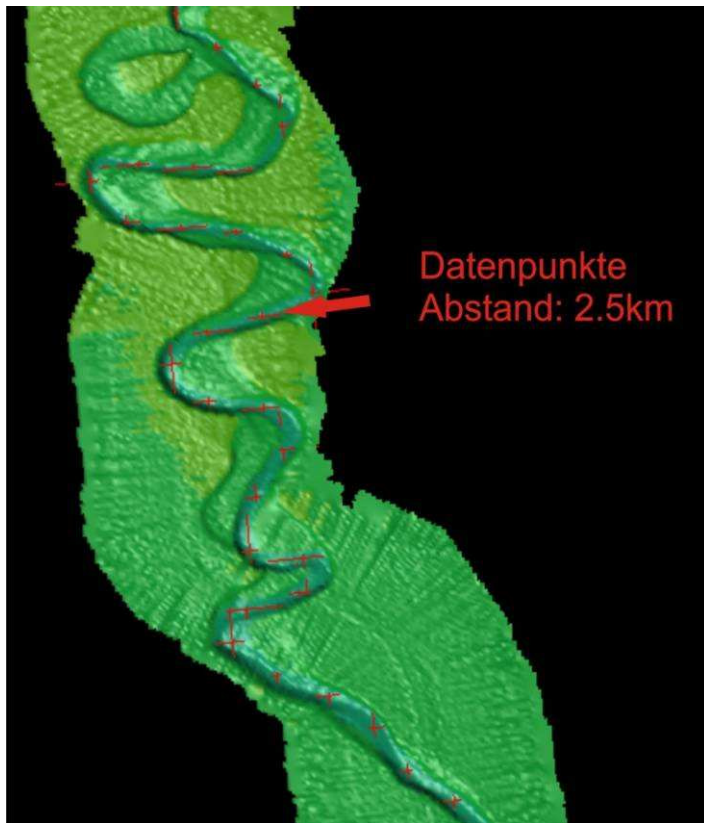


Abbildung 6: Teilausschnitt zu besserer Darstellung für die Lage der Datenpunkte im Profil (Abstand: 2.5km). Die roten Kreuze sind die Datenpunkte.

welchen Abständen man den inaktiven Channel abtastet. Es wurde sich für eine Abtastrate von 2.5km bei einer gesamt Channellänge von 770km entschieden. Das heißt alle 2.5km wurde ein Profil senkrecht über den Channel gezogen und ausgewertet. Die Abstände wurden mit Hilfe des Profiltools, welches eine Distanz von Anfangspunkt bis Endpunkt misst, abgemessen. Dadurch konnte alle 2.5km mit dem „Select-Mode“ von Fledermaus ein Punkt gesetzt werden. So entstand eine neue Ebene in dem Objekt, wie man in Abbildung 6 an den roten Kreuzen sehen kann. Diese Datenpunkte wurden nun in ein XYZ File exportiert, wodurch

man die Tiefenwerte für das bathymetrische Channelprofil zu den passenden Koordinaten hatte.

Als nächstes wurde Schritt für Schritt ein Querprofil über jedem Datenpunkt gelegt.

In Abbildung 7 ist ein solches Querprofil zu sehen. Während sich die Breite und die Hangneigung einfach durch entlangfahren mit der Maus über das Programm errechnen ließen, musste man um das Relief zu errechnen einen Punkt außerhalb des Channels wählen. Idealerweise direkt am Rand. Diesen muss man dann von einem Punkt abziehen, welchen man in der Talsohle wählt. Für den Gleithang wurde nur die Hangneigung bis zum eigentlichen Gleithang einbezogen.

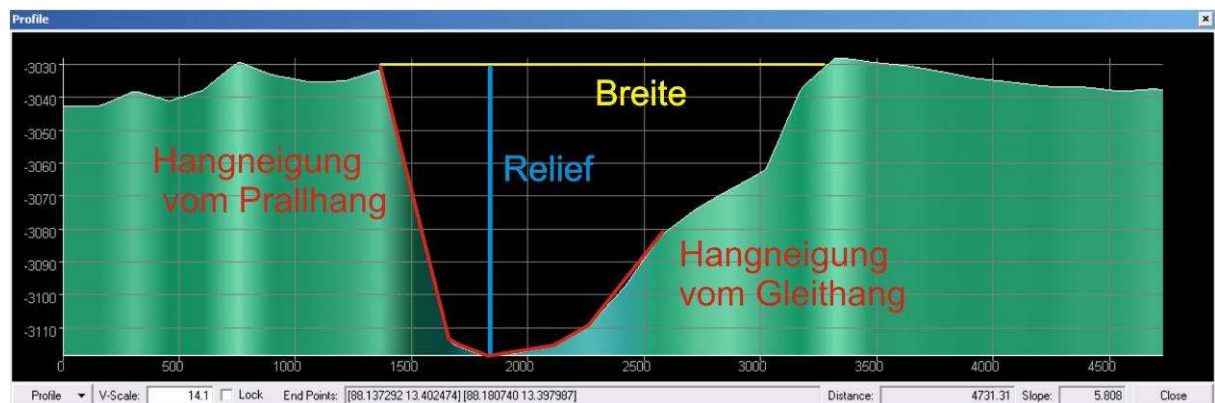


Abbildung 7: Beispiel für ein Querprofil und die Daten (Breite, Relief und Hangneigung) die über das Programm errechnet wurden.

Die Sinuosität wurde berechnet aus dem Talweg der Kurve dividiert durch den direkten Weg von Wendepunkt zu Wendepunkt.

$$\text{Sinuosität} = \frac{\text{Talweg}}{\text{direkte Strecke}}$$

Zum markieren der Wendepunkte wurde der „Select-Mode“ von Fledermaus benutzt. Mit dem Tool, welches das Querprofil erzeugt, wurden die Distanzen berechnet. Die Daten für die Sinuosität sind im Anhang (Tabelle 2) zu finden.

Das Gefälle wurde ebenfalls zwischen den einzelnen Punkten berechnet. Es gilt:

$$\text{Gefälle} = \frac{\text{Differenz der Tiefe zwischen Punkt A \& B}}{\text{Strecke zwischen Punkt A \& B}}$$

Die Daten für das Gefälle wurden extra in Fledermaus gepickt um wirklich die Talsohle zu finden und sind im Anhang (Tabelle 3) zu finden. Sowohl die gemessenen, als auch die errechneten Werte sind in der Tabelle mit den Daten des bathymetrischen Profils für den Channel ergänzt worden. Diese Tabelle ist ebenfalls im Anhang zu finden (Tabelle 4).

3.3. Sedimentfächerecholot Parasound

Als Sedimentecholot wurde das permanent installierte System Parasound benutzt. Das System nutzt den parametrischen Effekt, welcher eine zusätzliche Frequenz durch das Zusammenspiel von nicht linearen Wellen mit Finiten Amplituden erzeugt. Wenn zwei Schallwellen hoher Energie gleichzeitig emittiert werden, aber eine unterschiedliche Frequenz haben (hier: 18kHz und z.B. 22kHz), wird eine zusätzliche Frequenz von 4kHz erzeugt, mit ausreichend großen primären Amplituden. Das neue Signal wird in einen schmalen Kegel von 4° mit hoch energetischen Wellen ausgesendet. Der resultierende Footprint ist mit 7% der Wassertiefe sehr viel kleiner als konventionelle Systeme und sowohl die vertikale als auch die laterale Auflösung ist deutlich besser.

Die unter dem Schiffsrumpf befestigte Transducer-Apperatur hat 128 Elemente auf einer Fläche von 1m². Man braucht mindestens 70 kW an Strom um den Wirkungsgrad des parametrischen Effekts zu erreichen. Das Sedimentecholot hat eine Eindringtiefe von 20-150m, die abhängig von Material und Hangneigung ist. Die Auflösung liegt im Dezimeterbereich.

Während der Fahrt stellte sich heraus, dass mit der benutzen Konfiguration nur jeder zweite Schuss empfangen werden konnte. Die Seismogramme wurden mit einer Frequenz von 40kHz gesampelt. Die Sempelrate betrug 266ms. Das Quellsignal war eine sinusförmige Elementarwelle mit einer Frequenz von 4kHz für eine Periode. Die Daten wurden in PS3 Format gespeichert. Für diese Arbeit wurden die Daten mit Hilfe des Programms SeNT, entwickelt von Dr. H. Keil (Universität Bremen), bearbeitet und untersucht.

3.4. SeNT

Bei der Untersuchung der Daten ging es darum herauszufinden an welcher Trackposition der Channel gekreuzt wurde, um möglichst ein Profil zu haben, welches senkrecht über den Channel verläuft. Die Aufzeichnungszeiten dieser Profile wurden mit Hilfe der bathymetrischen Karte herausgesucht und in die Karte eingetragen (Abbildungen 2 & 3). Es wurden insgesamt 9 Profile gewählt.

Damit konnte man die Daten in das Programm SeNT einladen. Dazu musste man als aller erstes mit dem „CPS-File Composer“ ein sogenanntes CPS-File erstellen, welches eine Liste der PS3 Daten enthielt. Nur durch so ein File weiß das Programm wie es mit den Daten umgehen muss. Über die Funktion „Profile/View“ konnte man nun verschiedene Parameter für die Ansicht des Profils einstellen. Hierfür wählt man zuerst das entsprechende CPS-File aus und trifft erste Einstellungen über die Zeit oder Samples die angezeigt werden sollen. Desweiteren kann man sowohl die horizontale Achse (Zeit & Entfernung), als auch die vertikale Achse (Tiefe) variieren, ein anderes Farbschema verwenden, Backscatter oder Sidescan Daten anzeigen lassen und Processing Einstellungen (Noise, Filter) treffen.

Als Processingwerte wurde ein Clippingwert von 250 mV gewählt. Als Noise wurde der Bereich der ersten 10 Pixel angegeben, da dort die Reflexion der Wassersäule drinsteckt. Die Einstellung des Time Domain Filters betrug 2-5kHz.

Mit Hilfe der fertigen Profile wurden dann Levees und Channelverfüllungen interpretiert. Beide Strukturen wurden mit Corel Draw für die Ergebnisdarstellung und anschließende Diskussion grafisch unterlegt.

4. Ergebnisse

Zur grafischen Darstellung der Ergebnisse wurden im Fall der Daten aus Fledermaus Diagramme mit Grapher erstellt in denen die Sinuosität, die Breite, die Hangneigung, die Bathymetrie, das Relief und das Gefälle über die Erstreckung des Talwegs von Nord nach Süd, d.h. von Channelanfang bis zum Ende aufgetragen wurden.

Für SeNT wurden 9 charakteristische Profile ausgewählt und grafisch mit Erläuterungen dargestellt.

4.1. Fledermaus

Es gab Insgesamt 306 Profile für Breite, Bathymetrie, Hangneigung und Relief. Davon waren 20 Profile unbrauchbar, da die Daten innerhalb dieser Profile für die Auswertung und die bathymetrische Karte interpoliert wurden und damit nur geringen Bezug zur Realität haben.

4.1.1. Bathymetrie

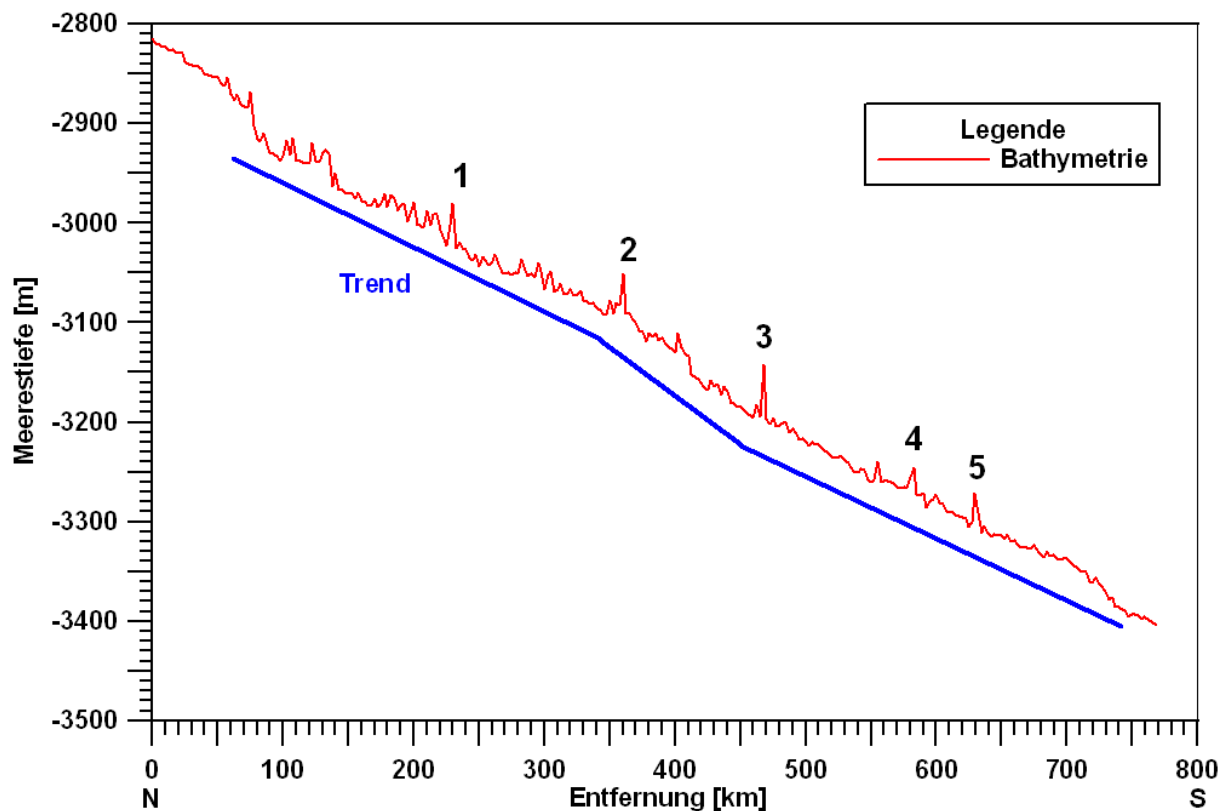


Abbildung 8: Bathymetrie. Die blaue Linie markiert den Trend. Aufgetragen ist die Veränderung der Tiefe über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

Die Abbildung 8 zeigt den bathymetrischen Verlauf des Channels entlang der Channelachse. Das Profil durch den Channel geht vom nördlichsten Punkt (15.1871687° N/ 87.9858611° E) bis zum südlichsten Punkt (10.7974265° N/ 86.8580535° E). Zu erkennen ist, dass die Wassertiefe des

Channels zum Süden hin zunimmt. Dies konnte man auch schon anhand der Topografie der bathymetrischen Karte erkennen. Die Wassertiefe erreicht im Channel ein Minimum von 2814.29m und ein Maximum von 3402.58m unterhalb des Meeresspiegels. Der Trend zeigt, dass der Channel im mittleren Teil schneller an Tiefe gewinnt als im übrigen Bereich. Die Ausreißer 1-5 könnten daher resultieren, dass nicht genau die Talsohle gepickt wurde. Das der Channel tatsächlich nochmal so deutlich an Tiefe abnimmt ist eher unwahrscheinlich.

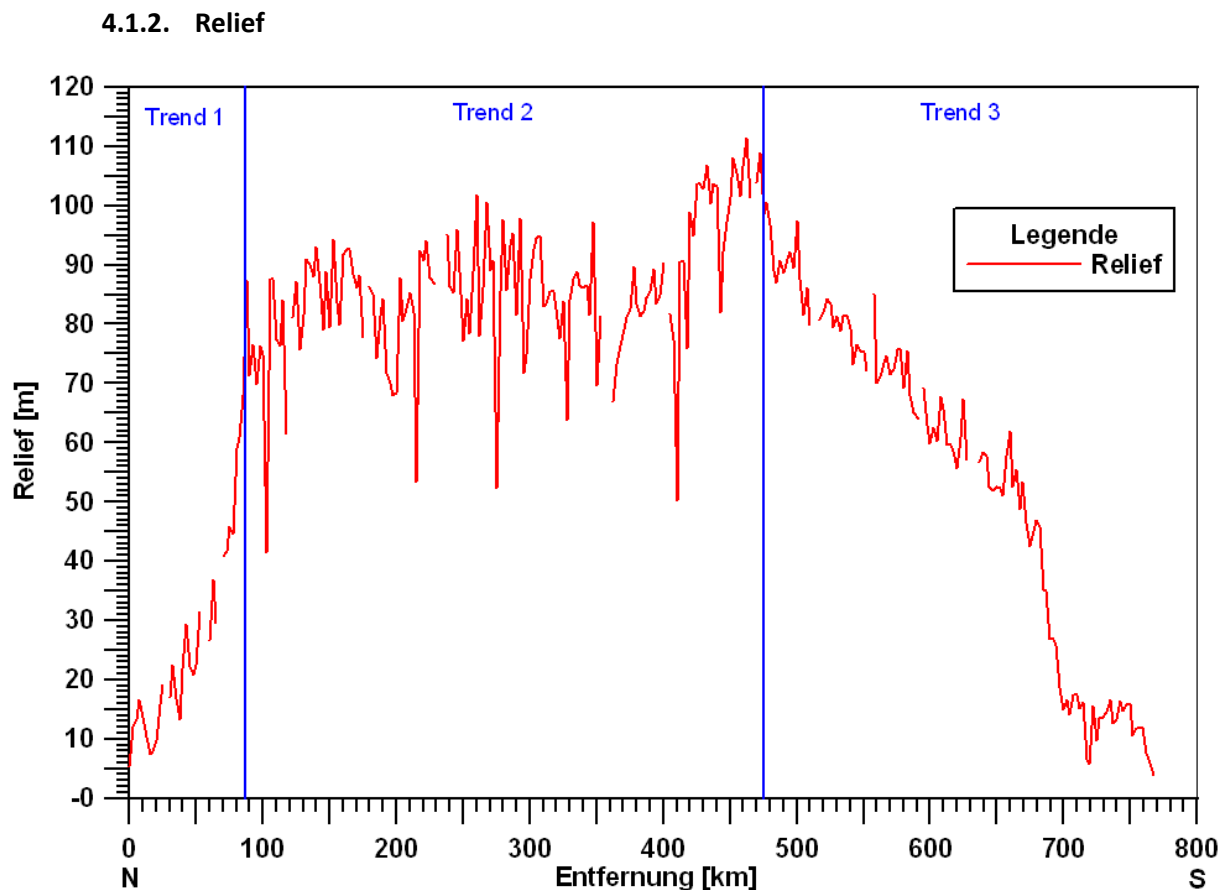


Abbildung 9: Relief. Die blauen Balken markieren die Trendänderungen. Aufgetragen ist die Veränderung des Reliefs über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

Das Relief des Channels (Abbildung 9) lässt sich in 3 Trends gliedern. Der erste Trend geht vom Anfang des Channels bis ca. 87.5 km südlich des Talwegs hangabwärts. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass das Relief von 5.36m auf 87.36m zunimmt. Das entspricht einer Zunahme von 0.94m/km. Der zweite Trend ist relativ konstant mit einer Zunahme des Reliefs nach Süden von 0.03m/km über die Strecke von Kilometer 87.5 bis 475. Der letzte Trend ist zwischen Kilometer 475 und dem Ende des Channels im Süden zu erkennen. Hier nimmt die Tiefe des Channels bis auf 4.19m (Minimum) wieder deutlich ab. Das sind 0.32m/km. Im Zweiten Trend sind außerdem 4 markante Ausreißer zu erkennen bei dem das Relief auf ca. 40-55m abnimmt. Das Maximum liegt bei 108.92m. Über den gesamten Channel haben wir ein durchschnittliches Relief von 66.7m.

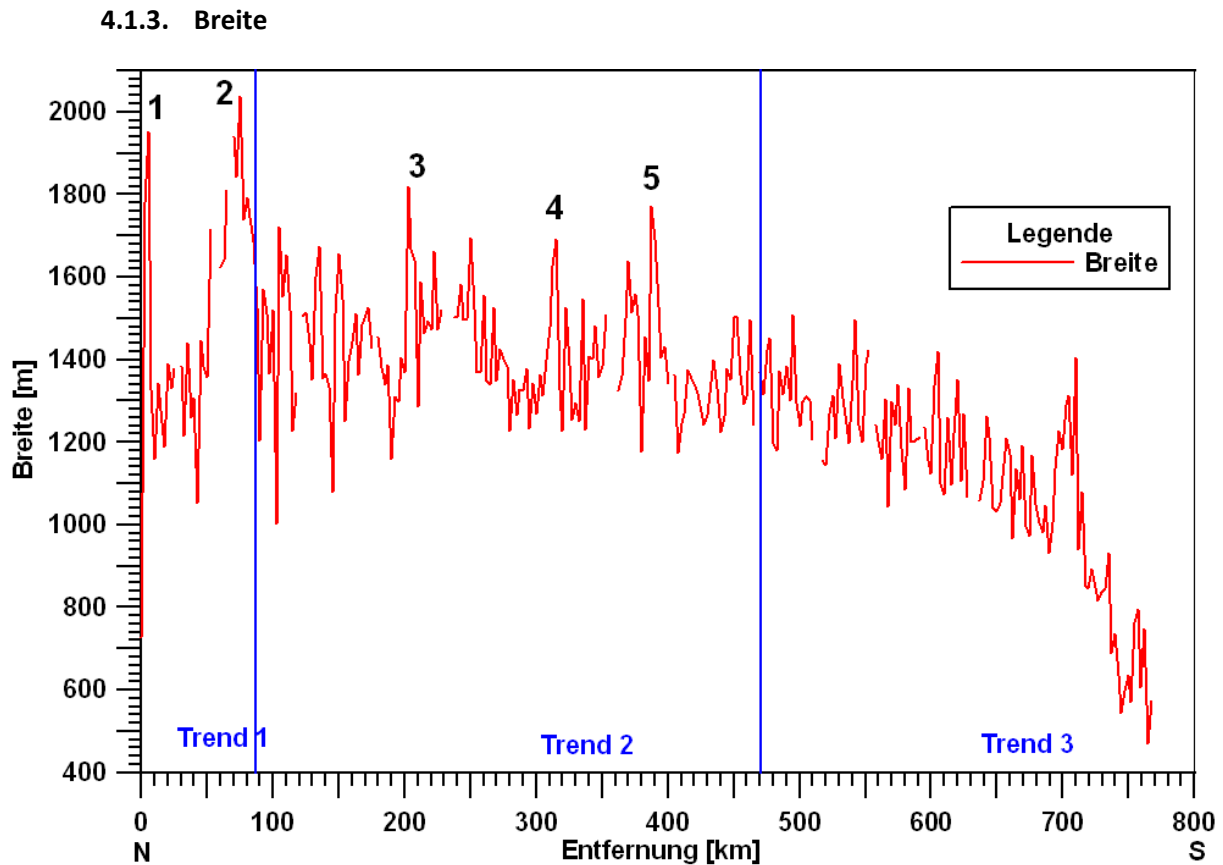


Abbildung 10: Breite. Die blauen Balken markieren die Trendänderungen. Aufgetragen ist die Veränderung der Breite über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

Bei der Breite des Channels (Abbildung 10) sind drei wesentliche Trends zu erkennen. Trend 1 geht vom Anfang des Channels bis 87.5 km. Dieser Trend zeigt eine Zunahme der Channelbreite von anfangs 1328.2m auf 1526.3m. Danach folgt eine langsame Verringerung der Breite bis auf 1368.1m (470km). Der dritte Trend kennzeichnet sich dadurch, dass die Breite des Channels immer schneller abnimmt bis am Ende ein Minimum von 471m erreicht wird. Dahinter war der Channel in den Daten nicht mehr genau auszumachen. In den Daten sind viele Ausreißer (1-5) zu finden, an denen der Channel deutlich an Breite gewinnt. Maximal bis 2036.7m (Ausreißer 2). Ausreißer 1 könnte entstanden sein, weil es sich am Anfang des Channels als schwierig erwies ein Profil senkrecht zum Channel zu legen. Desweiteren gab es in den Daten immer wieder Stationen, in denen es einen sehr großen Gleithang in den Profilen gab, woher die großen Variationen resultieren könnten. Die durchschnittliche Channelbreite beträgt 1307m.

4.1.4. Hangneigung und Gleithang

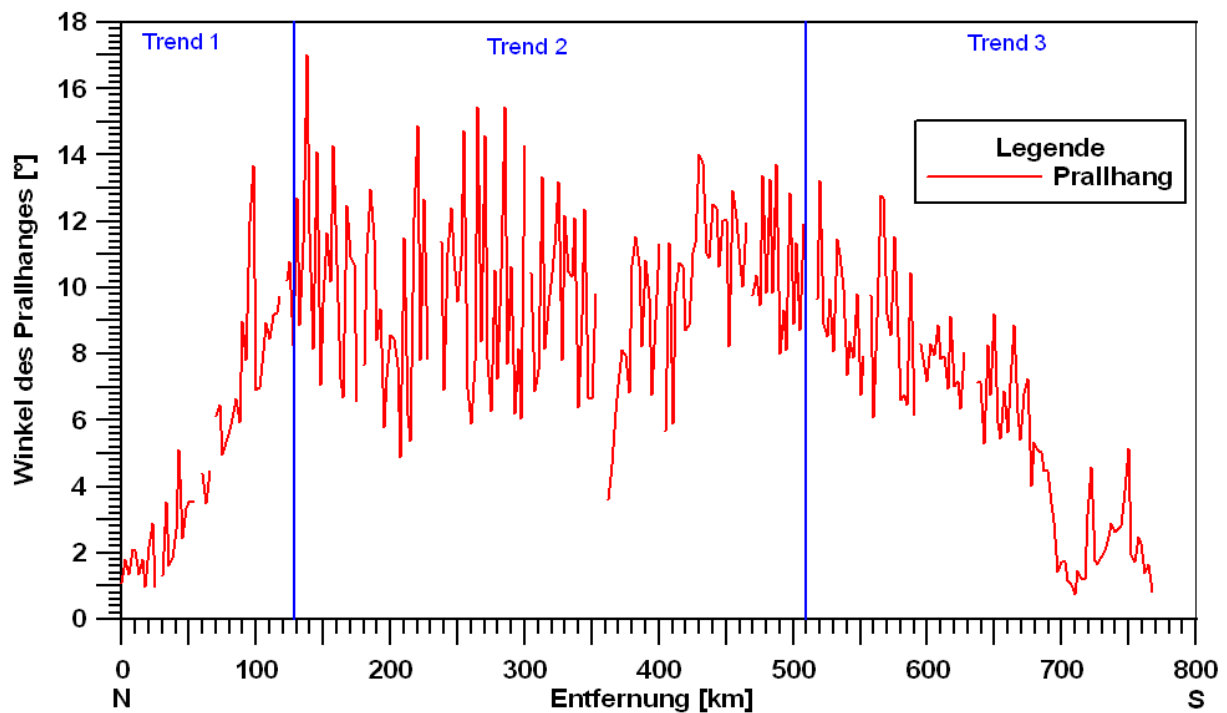


Abbildung 11: Prallhang. Die blauen Balken markieren die Trendänderungen. Aufgetragen ist die Veränderung vom Prallhangwinkel über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

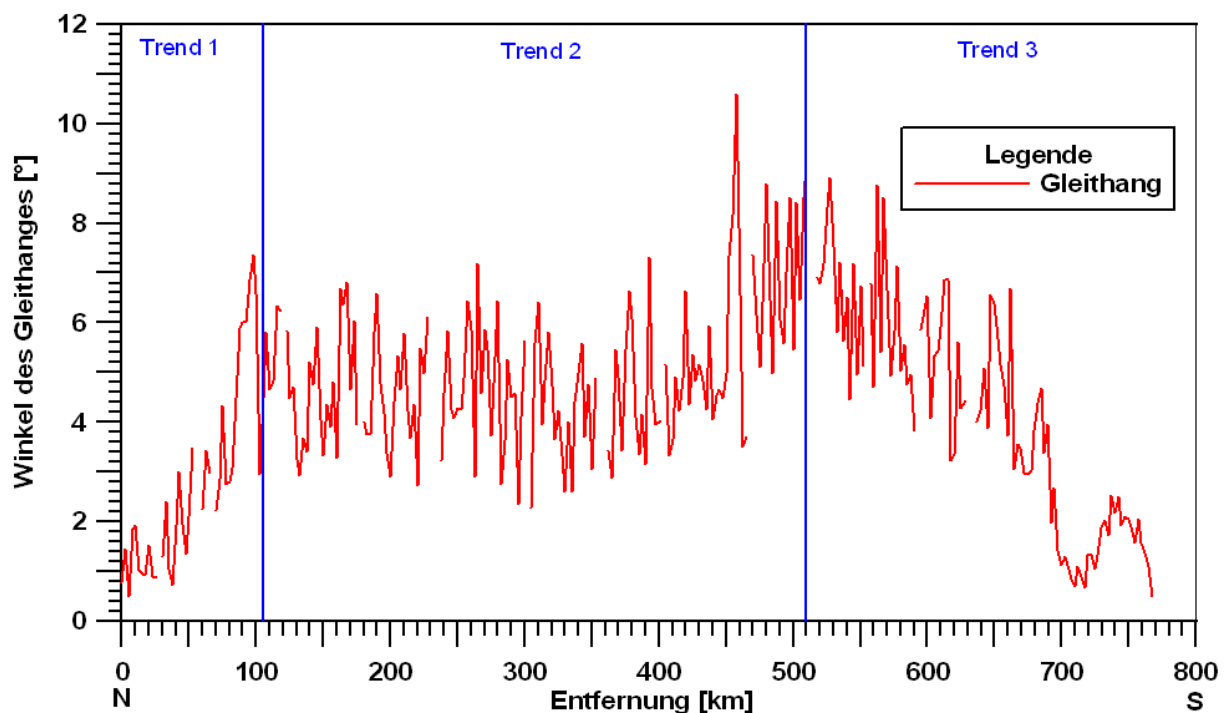


Abbildung 12: Gleithang. Die blauen Balken markieren die Trendänderungen. Aufgetragen ist die Veränderung vom Gleithangwinkel über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

In Abbildung 11 ist der Winkel des Prallhanges zu erkennen. Dieser nimmt nach Süden bis 130km von 1.09° auf 12.70° zu (Trend 1). Danach schwankt der Winkel zwischen 4° und 17°, folgt ansonsten aber

einen gleichbleibenden Trend bis 507.5km (11.92°). Anschließend verringert sich der Winkel wieder bis zum Ende des Channels auf 0.85°. Im Durchschnitt beträgt der Winkel 7.84°. Das Maximum beträgt 17.03° und das Minimum 0.76°.

Beim Winkel des Gleithanges (Abbildung 12) endet der erste Trend etwas früher bei ca. 105km, wo seit dem Channelanfang eine Zunahme von 0.77° auf 4.49° zu verzeichnen ist. Das sind ca. 25km früher als beim Winkel des Prallhangs. Im zweiten Trend verzeichnen man eine abgeschwächte Zunahme von 4.49° auf 6.46° bis 507.5km. Diese Grenze stimmt mit dem Winkel des Prallhangs überein. Anschließend nimmt der Winkel bis zum südlichen Ende des Channels wieder auf 0.53° ab. Durchschnittlich hat man einen Winkel von 4.4° mit einem Maximum von 10.59° und einem Minimum von 0.5°.

4.1.5. Gefälle

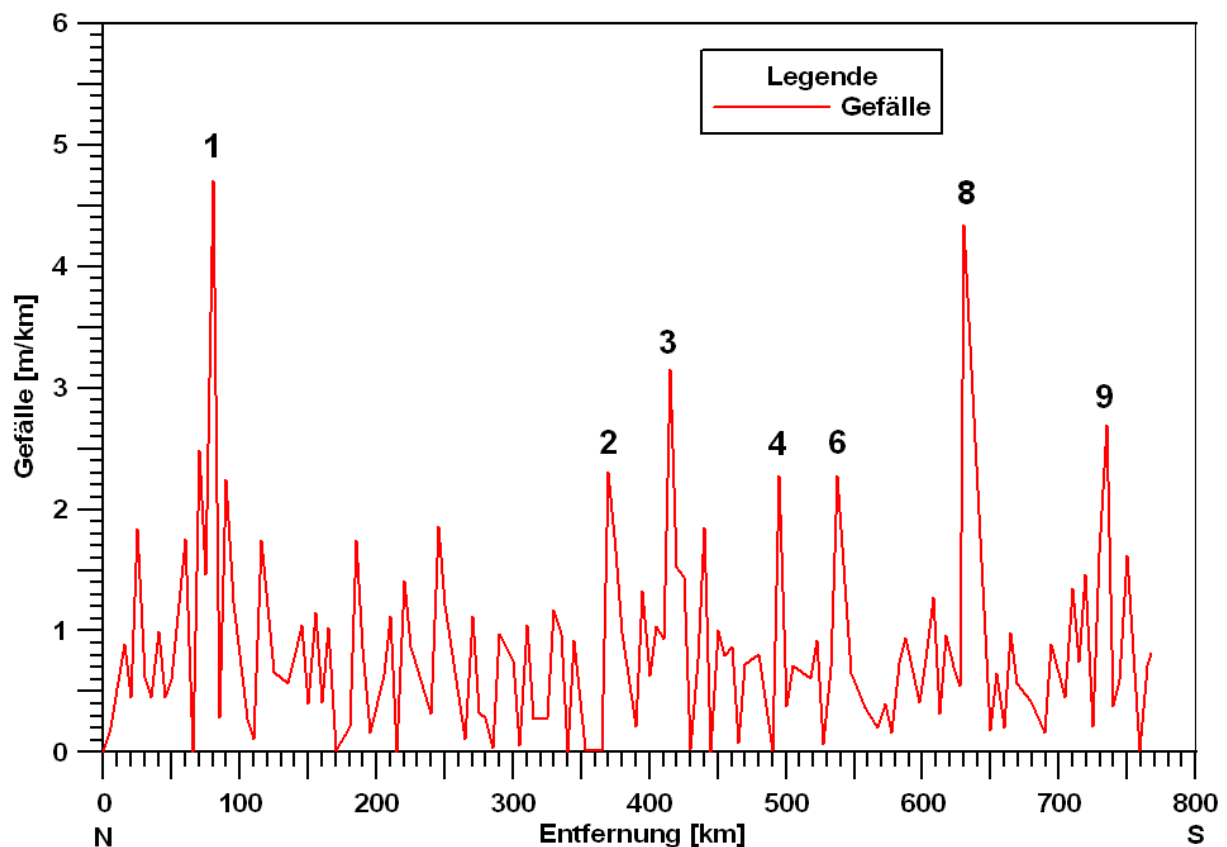


Abbildung 13: Gefälle. Die Zahlen markieren die Maxima. Aufgetragen ist die Veränderung des Gefälles über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

Das Gefälle des Channels (Abbildung 13) pendelt zwischen 0-2m/km. Von diesem Trend sind 9 Ausreißer zu erkennen. Diese werden zum Ende des Channels häufiger. Die stärksten Ausreißer sind dabei die Maxima 1 mit 4.71m/km und 8 mit 4.34m/km. Das durchschnittliche Gefälle beträgt 0.86m/km. Das Gefälle wurde nicht über die Daten der Bathymetrie berechnet, da dies keine saubere

Kurve ergeben hat. Deswegen wurden für das Gefälle, für eine saubere Darstellung, eigene Datenpunkte gepickt (siehe Tabelle 3 im Anhang).

4.1.6. Sinuosität

Für die Sinuosität gab es insgesamt 130 Wendepunkte innerhalb des Channels, die es grafisch darzustellen galt. Hierbei wurde die Sinuosität ebenfalls wieder gegen die Länge des Channels aufgetragen, damit sie in der anschließenden Diskussion mit den anderen Daten vergleichbar ist.

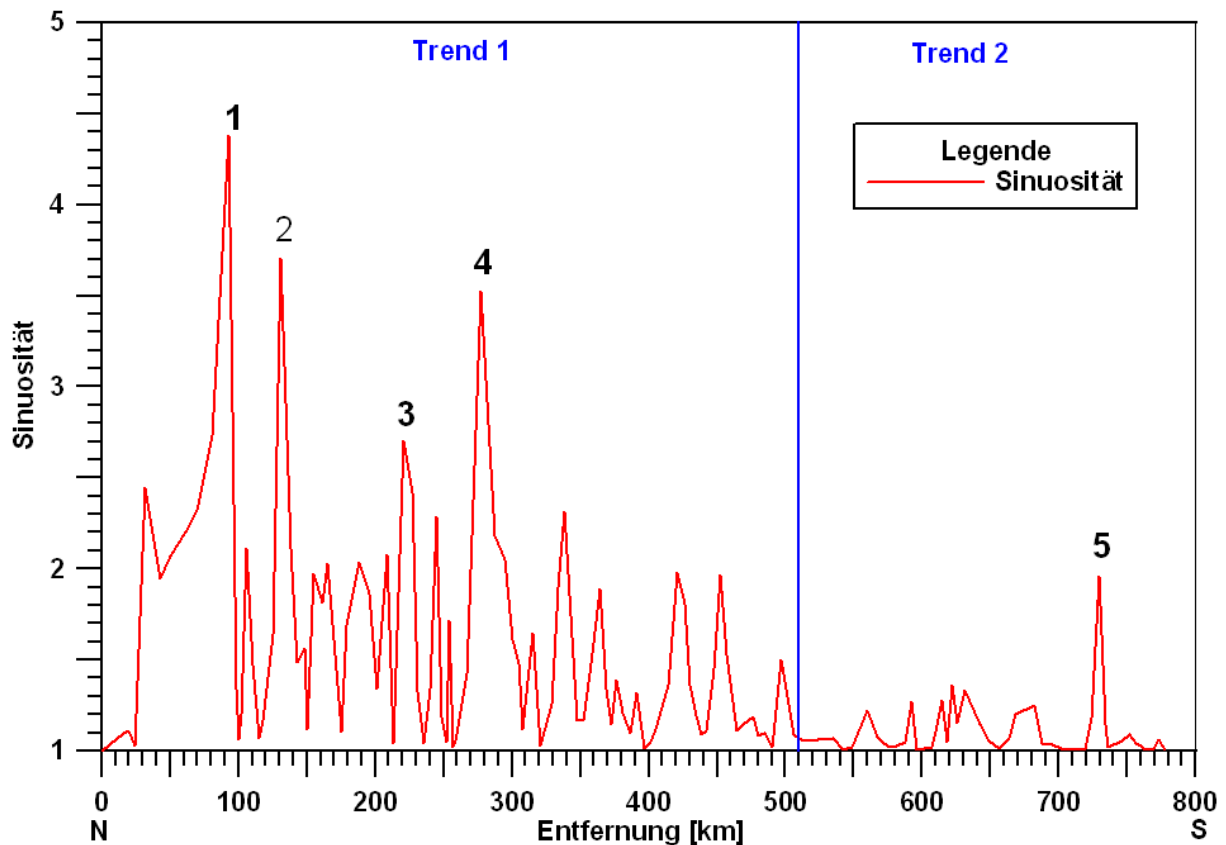


Abbildung 14: Sinuosität. Die Zahlen markieren die Maxima und der blaue Balken den Trendwechsel. Aufgetragen ist die Veränderung der Sinuosität über die Erstreckung des Channels. Die Daten folgen von Norden (0m) dem Talweg bis zum Ende des Channels nach Süden (770m).

Die Sinuosität (Abbildung 14) lässt sich in zwei wesentliche Trends für den nicht mehr aktiven Channel gliedern. Trend 1 zeigt, dass es vom Anfang des Channels bis 510km entlang des Talwegs eine durchschnittliche Sinuosität von 1.59 mit 4 Maxima gibt. Maxima 1 (4.38), Maxima 2 (3.70), Maxima 3 (2.71) und Maxima (3.53). Im zweiten Trend hat man einen Durchschnitt von 1.11 mit einem Maximum von 1.95. Der Gesamtdurchschnitt liegt bei 1.43.

4.2. SeNT

Wie schon erwähnt wurden 8 Parasound Profile ausgewählt, die charakteristisch für den Channel sein sollen. Untersucht wurden die Höhe der Levees und die Mächtigkeit der Verfüllung. Es wird

dabei mit dem nördlichsten Profil angefangen und nach Süden hin vorgearbeitet. Die Positionsangaben beziehen sich immer auf den mittleren Teil des Profils, meist auf den Channel selbst. Zur Lage der Profile siehe Abbildung 2.

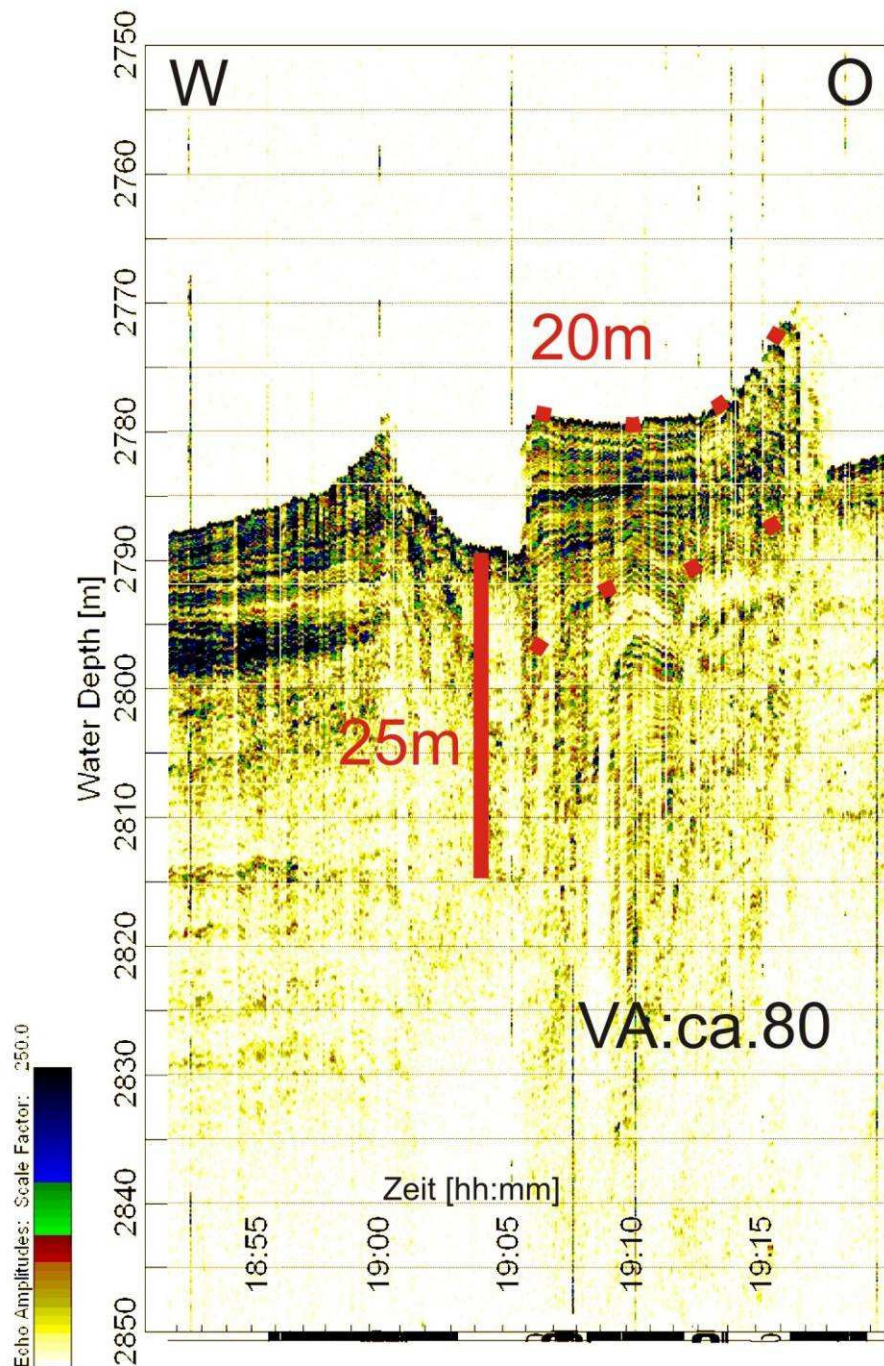


Abbildung 15: Parasoundprofil 1. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von 80. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen des Levees.

Das erste Profil (Abbildung 15) liegt auf dem Teil des Channels, welcher nicht mit Fledermaus untersucht wurde. Die bathymetrischen Daten waren hierfür zu schlecht. Für dieses Profil war es nicht möglich eine Entfernungsgabe in der Abbildung zu machen, da die Koordinaten in den

Parasound Daten extrem viele Fehler aufwiesen, die sich während der Bearbeitung nicht mehr korrigieren ließen. Für die spätere Interpretation war aber ein Parasoundprofil wichtig, welches möglichst nahe am Abrisspunkt des inaktiven zum aktiven Channel liegt. Hier zu erkennen ist, dass die Verfüllung 25m beträgt und über den Levee, welcher eine Mächtigkeit von 20m hat, hinausgewachsen ist. Der Ausschnitt liegt bei 15.39° N/ 88.07° E und der Channel hat eine Tiefe von 10m.

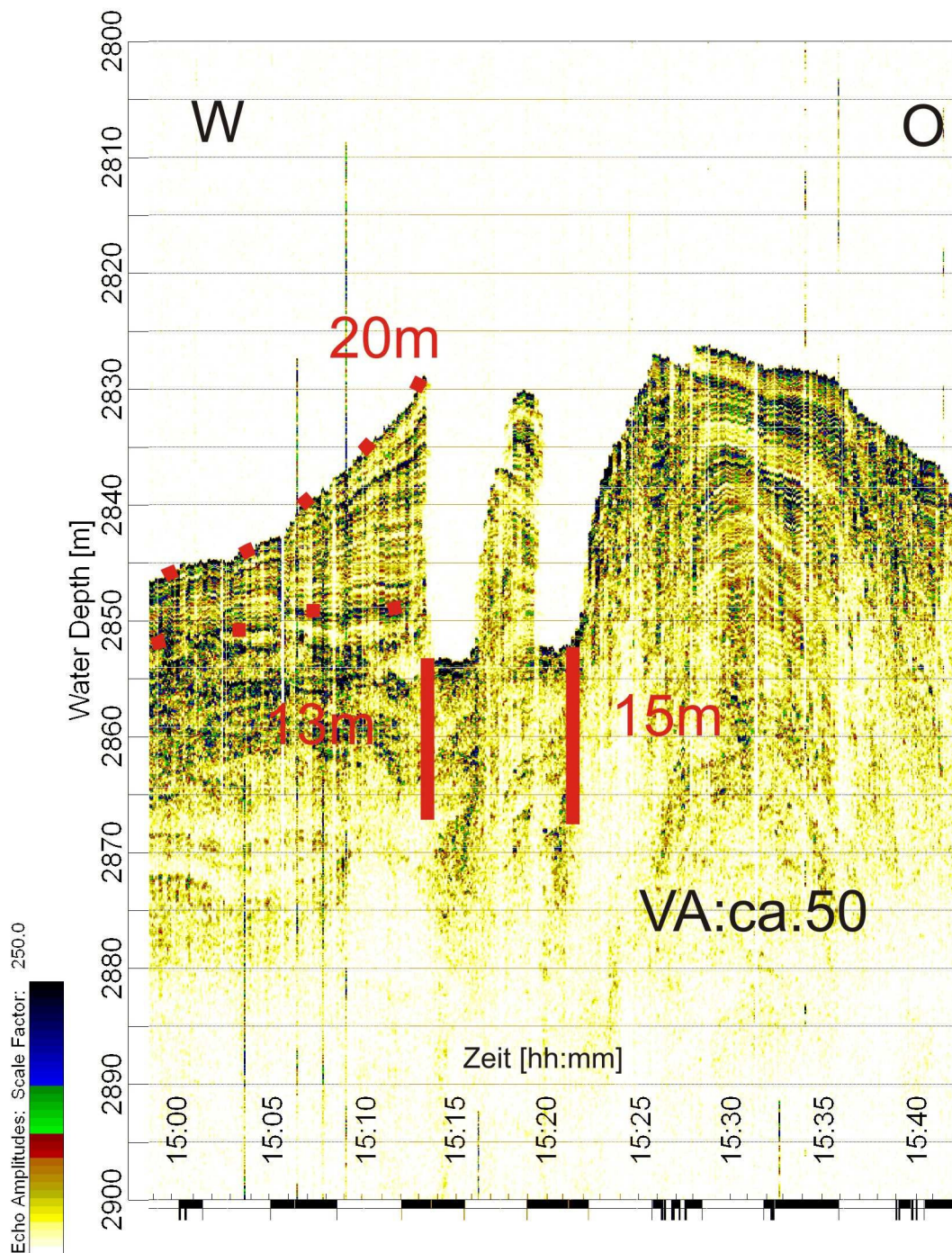


Abbildung 16: Parasoundprofil 2. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von ca.50. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen der Levees.

Das 2. Parasoundprofil (Abbildung 16) zeigt einen doppelten Schnitt über den Channel. Hier ist sehr gut eine Abnahme der Mächtigkeit der Verfüllung zu erkennen. Während im ersten Teil des Channels 15m vorliegen, sind es etwas weiter südlich(Talweg) 13m. Die Mächtigkeit des Levees beträgt 20m. Das Profil liegt bei ungefähr 14.95° N und 87.97° E und das Relief beträgt 22.55m. Auch hier war eine Entfernungsangabe innerhalb des Profils nicht möglich.

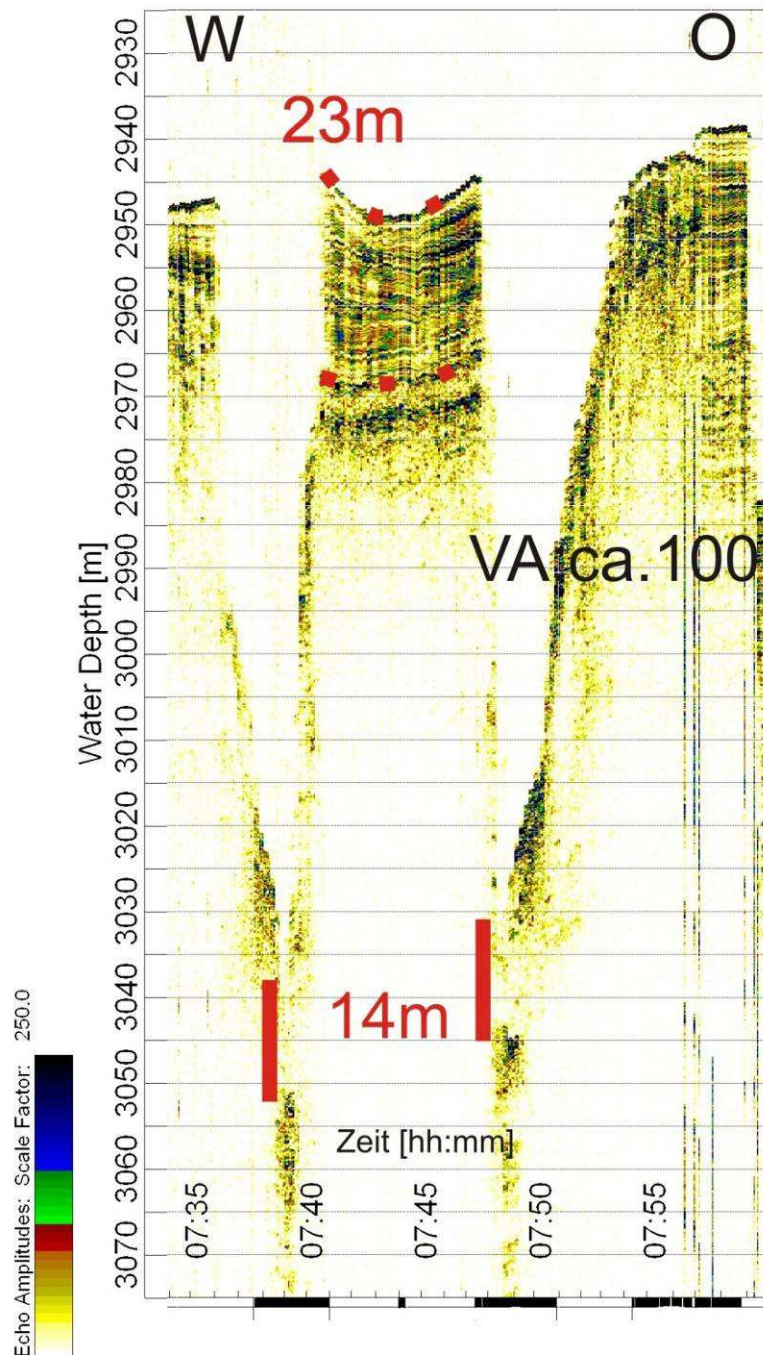


Abbildung 17: Parasoundprofil 3. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von ca.100. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen des Levees.

Profil 3 (Abbildung 17) überläuft einen Mäander und zeigt somit zwei Ausschnitte vom selben Channel. Eine korrekte Entfernungsangabe war hier ebenfalls nicht möglich. Darum musste auch hier, wie schon bei den beiden vorangegangenen Profile die vertikale Überhöhung abgeschätzt werden. Der Levee zwischen dem Mäander hat eine Mächtigkeit von 23m und die Verfüllung hat eine Mächtigkeit von 14m. Der Ausschnitt befindet sich bei 14.09° N/87.89° E. Der Channel hat eine Tiefe von 86.19m.

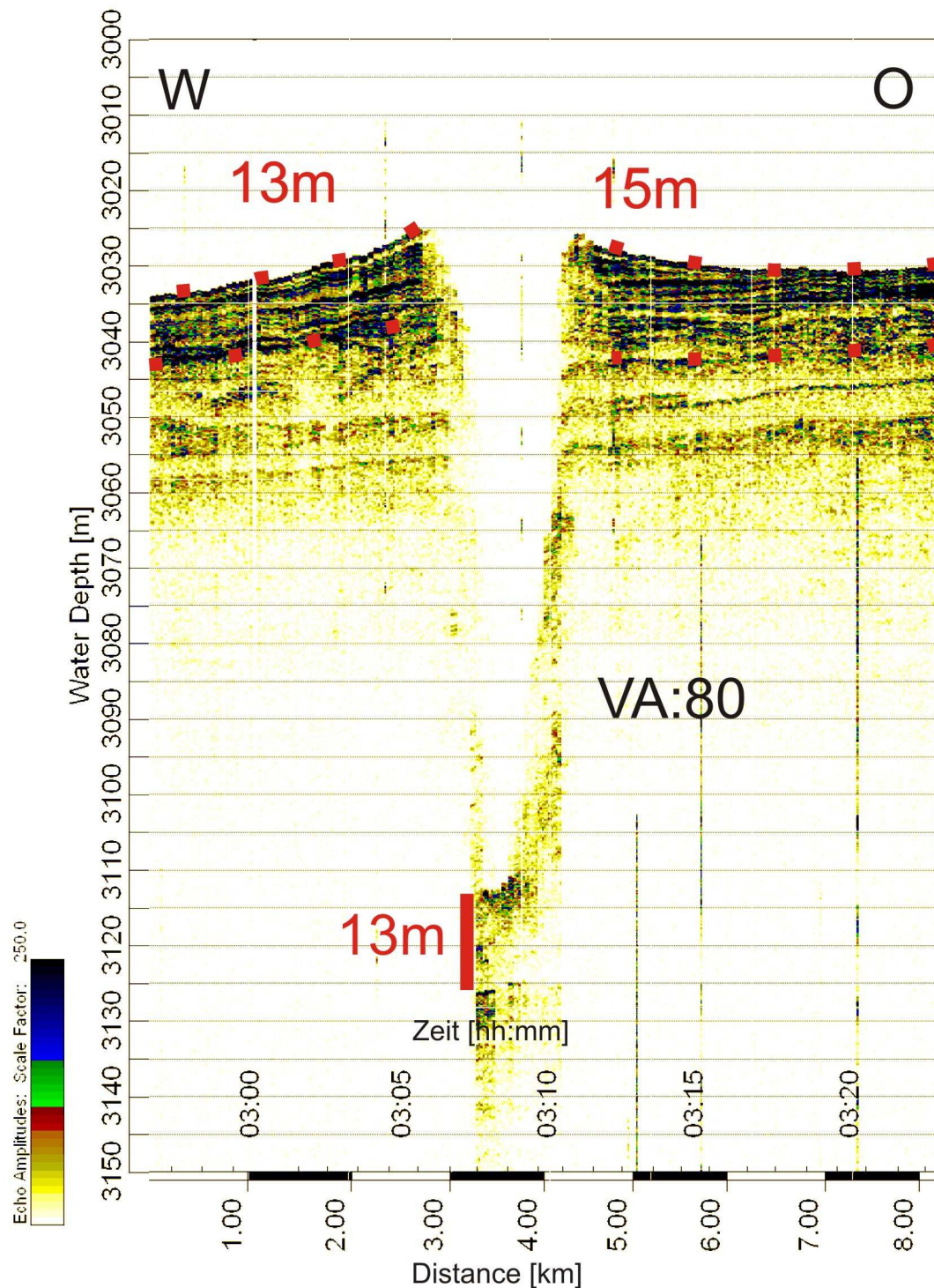


Abbildung 18: Parasoundprofil 4. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von ca.80. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen der Levees.

Bei Profil 4 (Abbildung 18) war es schwer die Levees genau zuzuordnen, sodass die Mächtigkeitsangaben von 13m und 15m eher ungenau sind. Die Levees scheinen aber an dieser Stelle des Channels eine geringere Mächtigkeit zu haben. Die Verfüllung nimmt dagegen weiterhin nach Süden ab, nämlich auf 13 m. Das Profil liegt jetzt bei 13.44° N/88.18° E und der Channel ist hier 82.19m tief.

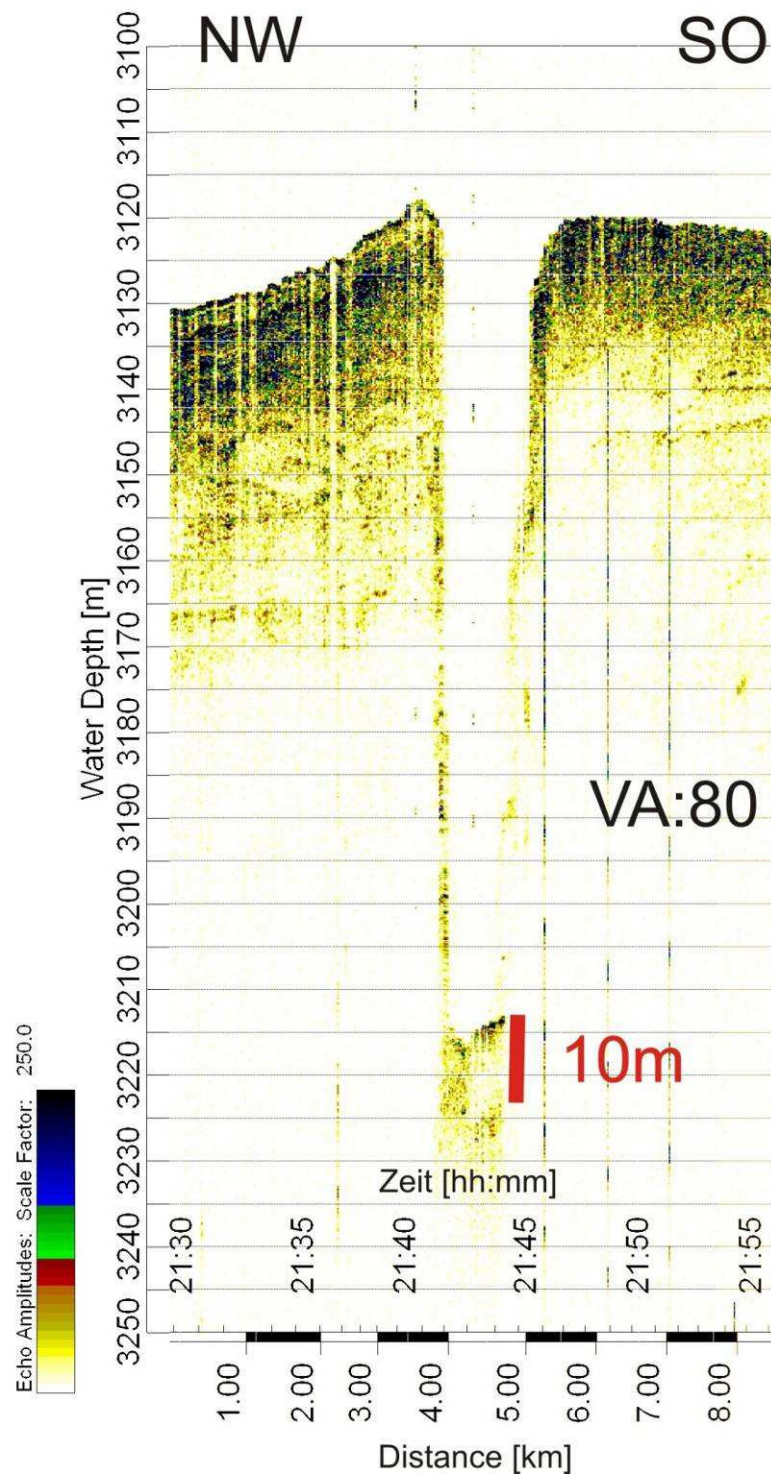


Abbildung 19: Parasoundprofil 5. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von ca.80. Der rote Balken markiert die Verfüllung.

Im Parasoundprofil 5 (Abbildung 19) ließen sich keine eindeutigen Levees ausmachen, sodass lediglich die Daten der Verfüllung in die Auswertung mit eingeflossen sind. Die Verfüllung hat hier eine Mächtigkeit von 10m. Der Ausschnitt liegt bei 12.66° N/87.80° E und der Channel hat eine Tiefe von 87.68m.

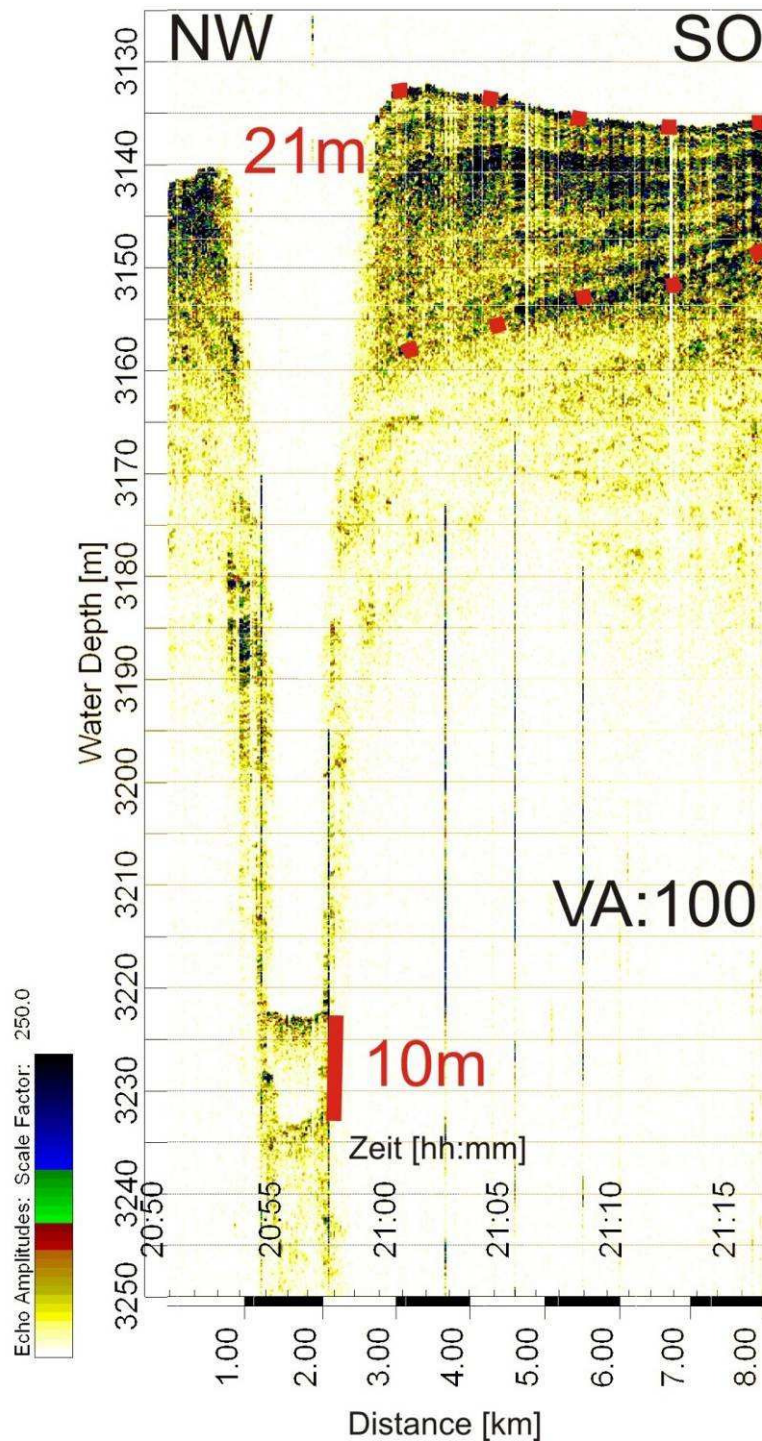


Abbildung 20: Parasoundprofil 6. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von 100. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen des Levees.

Das sechste Profil liegt bei 12.60° N/87.68° E. Die Tiefe des Channels beträgt hier 80.67m und anhand der Abbildung 20 ist zu erkennen, dass die Mächtigkeit der Verfüllung an dieser Stelle auf 10m abgenommen hat. Die Leveehöhe beträgt 21m

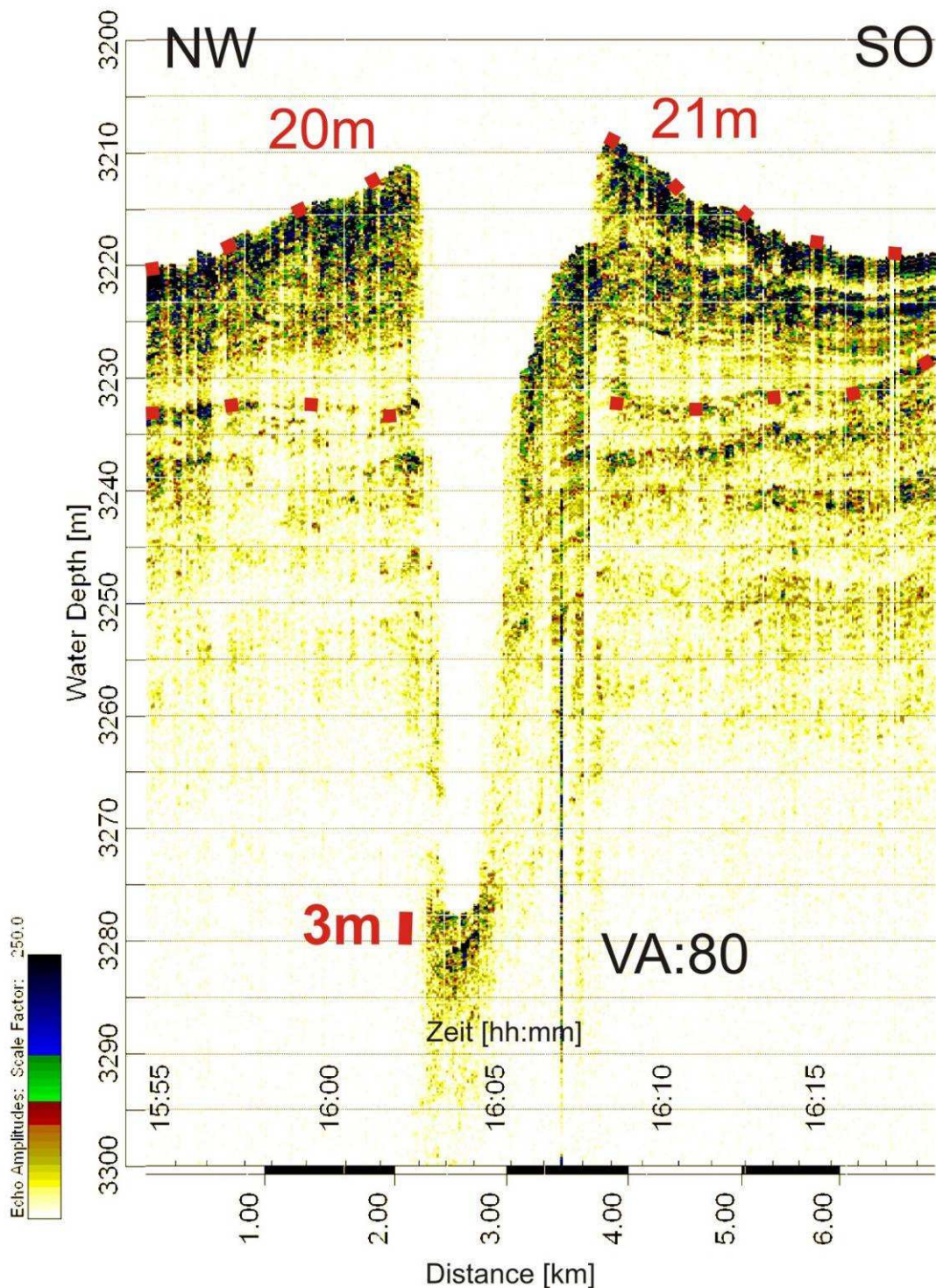


Abbildung 21: Parasoundprofil 7. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von 80. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die Grenzen der Levees.

Das 7. Parasoundprofil (Abbildung 21) liegt bei 11.86° N und 87.33° E. Der Channel hat dort eine Tiefe von 55.65m. Die interpretierte Verfüllung hat hier nur noch eine Mächtigkeit von 3m. Die Levees haben eine Mächtigkeit von 20m und 21m.

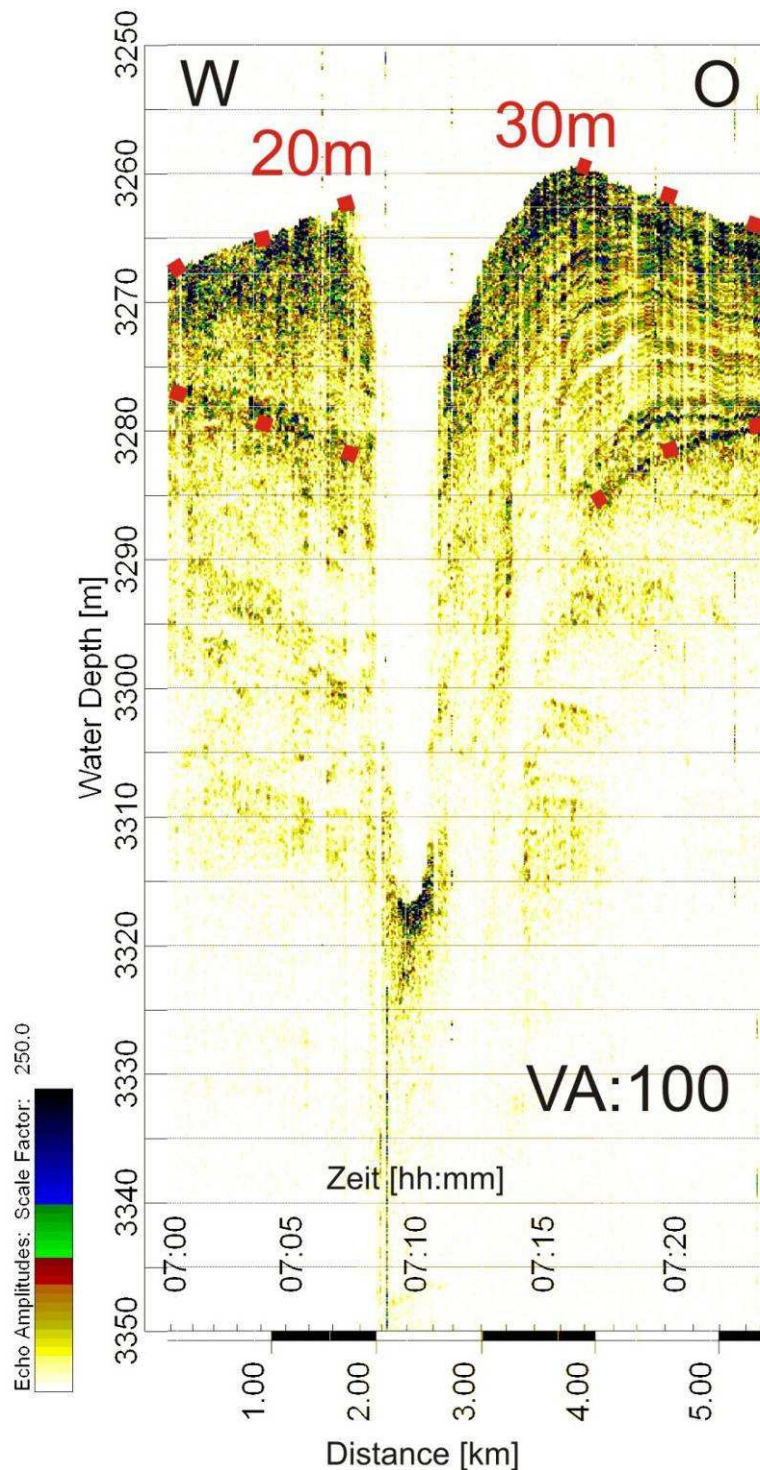


Abbildung 22: Parasoundprofil 8. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von 100. Der rote Balken markiert die Verfüllung und die Punkte die interpretierten Grenzen der Levees.

Das Parasoundprofil in Abbildung 22 zeigt westlich und östlich des Kanals jeweils einen Levee mit einer Mächtigkeit von 20m und 30m. Eine Verfüllung des Channels ist nicht mehr zu erkennen. Es

könnte aber sein, dass diese eine zu geringer Mächtigkeit hat und nicht mehr mit dem Parasoundsystem aufgelöst wird. Das Profil befindet sich bei 11.87° N/ 88.25° E und der Channel selber ist dort 61.87m tief.

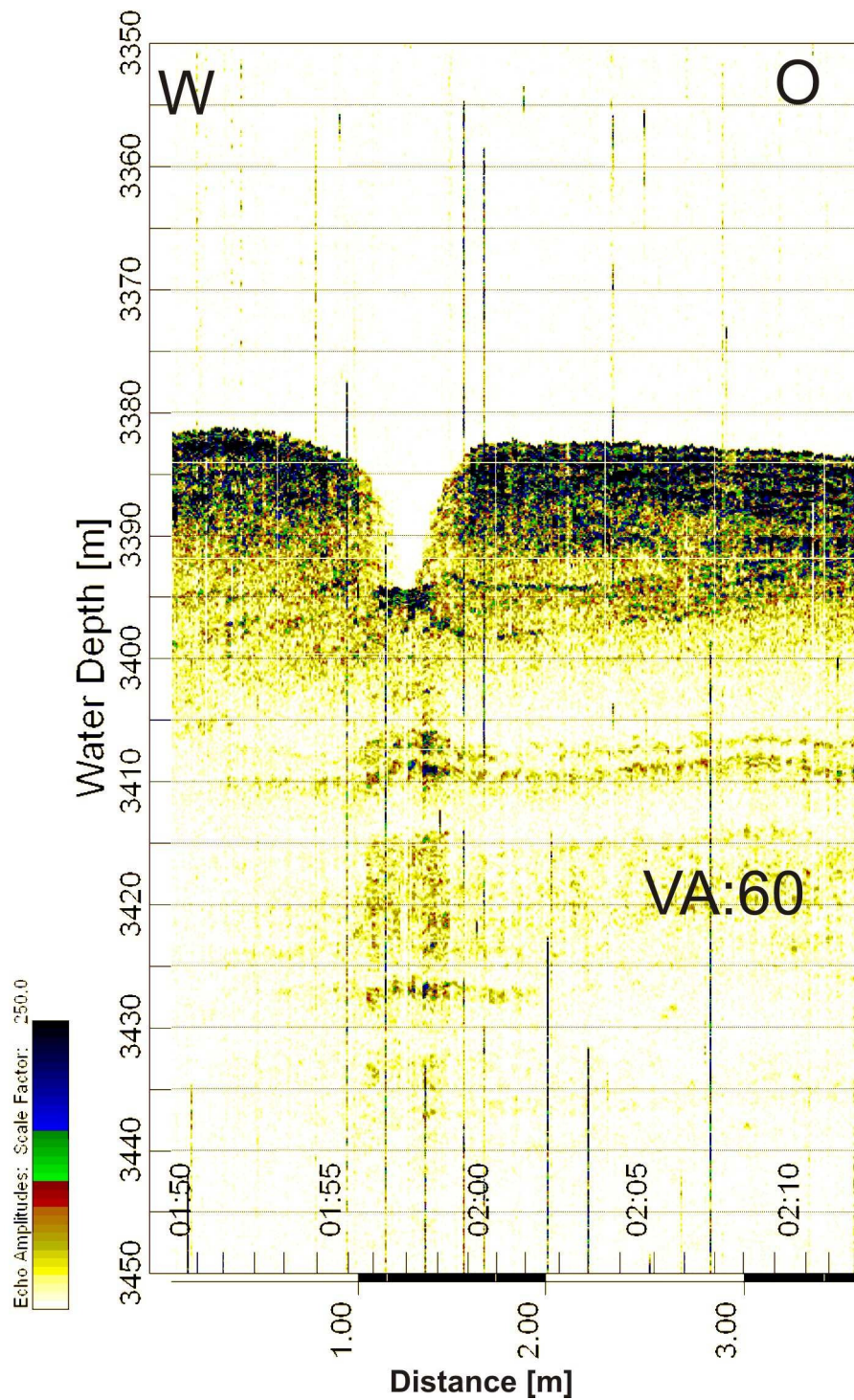


Abbildung 23: Parasoundprofil 9. Die Y-Achse stellt die Wassertiefe da und die X Achse gibt die Cruise-Track-Zeit und Entfernung wieder. Das Bild hat eine vertikale Überhöhung von 60.

Das letzte Parasoundprofil (Abbildung 23) befindet sich fast am Ende des Channels bei 10.86° N und 86.86° E. Die Tiefe des Channels beträgt dort noch 12.13m. Es ist weder ein Levee noch eine Verfüllung mehr zu erkennen

In Tabelle 1 sind nun die Ergebnisse der untersuchten Parasoundprofile zur besseren Übersicht aufgetragen. Profil 1 war das nördlichste und Profil 9 das südlichste.

Tabelle 1: Tabellarische Aufstellung der gesammelten Werte durch die Parasoundprofile

Profil-Nr.	Lat[°]	Long[°]	Entfernung[km]	LeVeehöhe[m]	Verfüllung[m]	Relief
1	88.07	15.39		20	25	10
2	87.97	14.97	45	20	15	22.33
3	87.97	14.95	50	20	13	22.55
4	87.89	14.09	265	23	14	86.19
5	88.18	13.44	385	14	13	82.19
6	87.80	12.66	502.5		10	87.68
7.1	87.68	12.60	517.5	21	10	80.67
7	87.33	11.86	620	21	3	87.33
8	87.25	11.55	659.5	30	0	61.87
9	86.86	10.86	759.5	0	0	12.13

Zu erkennen ist, dass bis auf zwei Ausnahmen (Profil 5 und 8) die Leveehöhen relativ konstant sind. Bei Profil 9 (Abbildung 23) war kein Levee mehr zu erkennen. Die Verfüllung nimmt dagegen von Süden nach Norden zu. Für Profil 6 fehlt die Leveehöhe, weil dieser sich nicht eindeutig bestimmen ließ. Die Entfernung bezieht sich auf den Talweg des Channels, angefangen im Norden. Für Profil 1 gibt es daher keine Entfernung, weil dieses außerhalb des mit der Bathymetrie untersuchten Channels lag.

5. Diskussion

5.1. Sinuosität im Vergleich zum Gefälle

Als erstes soll in dieser Diskussion das Gefälle mit der Sinuosität des Channels verglichen werden. Dabei gilt, dass die Sinuosität mit steigendem Gefälle abnehmen sollte, bzw. mit der Verflachung des Hanges das System wieder an Sinuosität gewinnt (Clark et al., 1992).

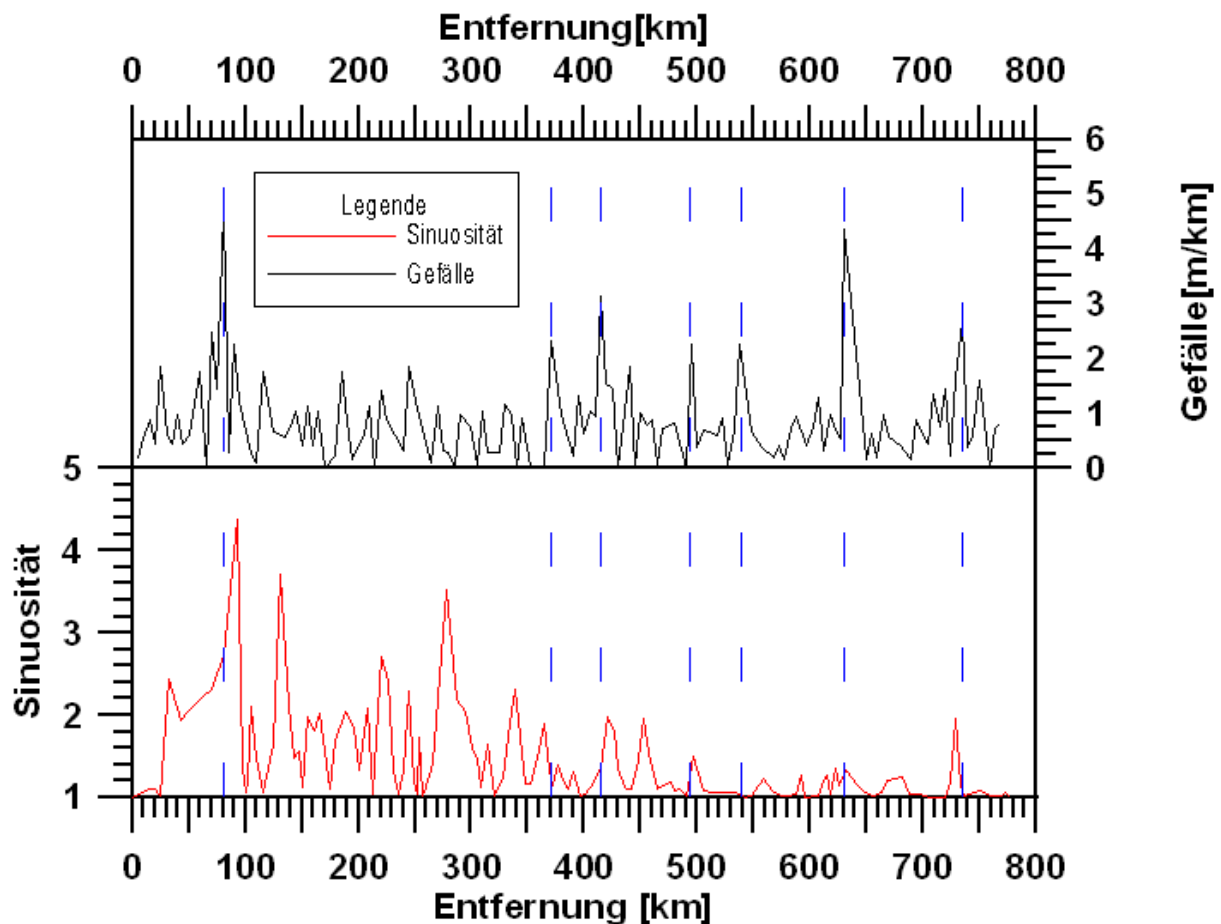


Abbildung 24: Vergleich von Sinuosität mit dem Gefälle. Korreliert wurden die 7 stärksten Gefälle mit der Kurve der Sinuosität. Aufgetragen sind sowohl die Sinuosität als auch das Gefälle über die Erstreckung des Talwegs von Norden nach Süden.

Die Abbildung 24 zeigt im unteren Teil die Sinuosität und im oberen das Gefälle. Eingezeichnet sind sieben gestrichelte Linien, die von den sieben Maxima des Gefälles zu den dazugehörigen Punkten in der Sinuositätskurve gehen. Wenn man genau hinsieht korrelieren alle Maxima des Gefälles mit Minima von der Sinuosität. Kleinere Abweichungen könnten durch die unterschiedlichen Abstände der Messpunkte für die Sinuosität kommen. Es wurde zwar jeder Wendepunkt gemessen, aber die Abstände dieser Wendepunkte schwankten im Talweg zwischen 2 und 22km. Für das Gefälle galt allerdings ein durchschnittlicher Abstand von 6km. Trotzdem geht aus der Abbildung hervor, dass die Aussage von Clark et al. (1992) im Prinzip auch für den untersuchten Channel des Bengalfächers gilt, da die Maxima im Gefälle zum Ende des Channels deutlich zunehmen und die Sinuosität dagegen deutlich abnimmt.

5.2. Vergleich von Sinuosität, Prallhang, Relief und Breite

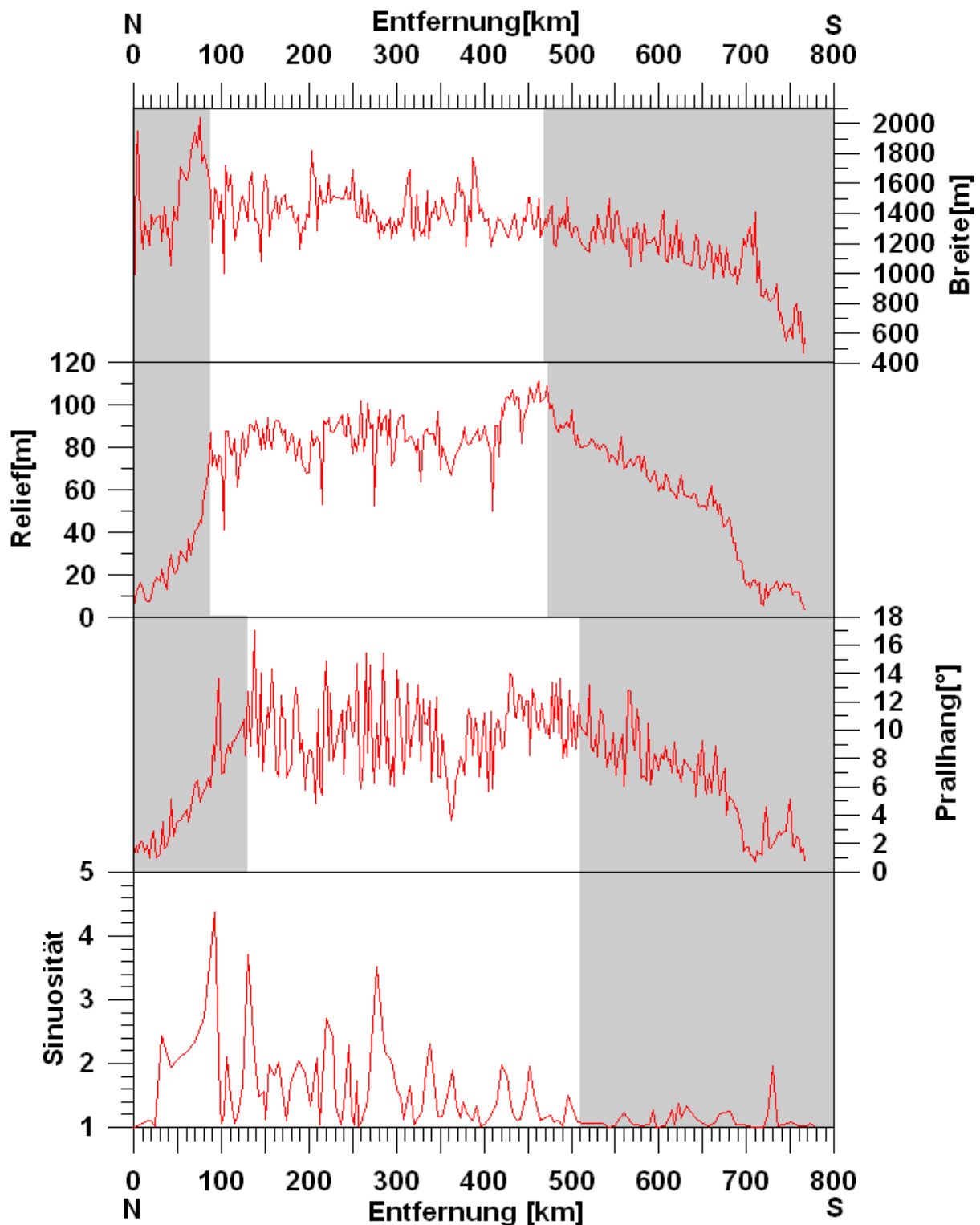


Abbildung 25: Aufgetragen sind Sinuosität, Winkel des Prallhanges, Relief und die Breite über die Erstreckung des Talweges von Norden nach Süden. Die grauen Schattierungen markieren die Auffälligen Trends, welche unter Ergebnisse festgestellt wurden.

Der Vergleich der gemessenen Parameter zeigt, dass der Channel grob in verschiedene Abschnitte unterteilt werden kann, in denen die Parameter gleichen Trends folgen. Der erste wesentliche Abschnitt des Channels (Abbildung 25) wird durch den linken grauen Bereich markiert. Winkel des

Prallhanges, das Relief und die Breite nehmen zu. Letzteres allerdings unterbrochen durch einen Ausreißer. Auffällig ist auch, dass die Zunahme des Winkels des Prallhanges 40km länger anhält. Die Frage warum konnte nicht geklärt werden. Zur Erinnerung man befindet sich hier kurz nach dem Abrisspunkt aktiver/inaktiver Channel. Allein aus der Bathymetrie heraus könnte man vermuten, dass das Relief ansteigt weil die ersten 90km nach dem Beginn der Inaktivität verfüllt sein könnten, aufgrund eines möglichen Overspills der Turbiditeströme aus dem aktiven Channel. Es könnte aber auch sein, dass es ein morphologisch betrachtet flacher Teil ist, der schon zu seiner aktiven Zeit kein tiefes Relief hatte. Interessant wird es sein die Daten des Reliefs mit den Verfüllungen, welche aus den Parasoundprofilen stammen, zu korrelieren. Dazu mehr in Punkt 6.3.

Curry et al. (2003) hat außerdem publiziert, dass die Grenze zwischen oberer und mittlerer Fächer für die Bucht von Bengalen bei annäherungsweise 2250m und die Grenze zum unteren Fächer bei 2900m liegt. Der erste Abschnitt geht bis ca. 2930m Wassertiefe. Somit könnte dieser Trend auch die Grenze zwischen mittleren und unteren Fächer markieren. Der Großteil der Daten des untersuchten Channels liegt nach dieser Einteilung im unteren Teil des Fächers. In der späteren Diskussion mit der Literatur anderer Channel werden deswegen speziell die Werte der unteren Fächer miteinander verglichen.

Der zweite Abschnitt (weiße Schattierung) zeigt, dass alle drei Kurven einen gleichbleibenden Verlauf nehmen. Wobei es immer wieder Ausreißer gibt, die sich aber nicht untereinander korrelieren ließen. Der dritte Abschnitt stellt das Auslaufen des Channels da. Alle drei Werte nehmen bis zum Ende, wo sie ihr Minimum erreichen ab. Dabei fängt die Abnahme des Reliefs 5km und die Abnahme des Winkels des Prallhanges ca. 40km später gegenüber der Breite an. Die Abnahme der Sinuosität scheint dabei gut mit dem Winkel des Prallhanges zusammen zu passen.

Frühere Studien von Schwenk et al. (2003) haben einen Teil des aktiven Channels untersucht, welcher weiter nördlich liegt ($16^{\circ}15' N - 16^{\circ}50' N$, $87^{\circ}35' E - 87^{\circ}55' E$). Die Channelbreite variierte dabei von 800m bis 1km mit punktuellen Ausreißern von bis zu 1.6km. Die durchschnittliche Breite des hier untersuchten inaktiven Teils ist mit 1.3km daher höher als im aktiven Teil. Das Relief verringerte sich in dem aktiven Untersuchungsgebiet von 80m auf 60m (Schwenk et al., 2003). Dies korreliert mit einem durchschnittlichen Relief von 66m im inaktiven Teil hier. Das Gefälle des aktiven Teils liegt bei 1.24m/km (Schwenk et al., 2003) und das des inaktiven bei 0.86 m/km. Die durchschnittliche Sinuosität des inaktiven Channels liegt mit 1.4356 unter dem Wert für den aktiven Teil von 1.74 (Schwenk et al., 2003). Misst man den Sinuositäten im südlichen Teil des Channels (ab 510km) geringere Bedeutung zu, weil der Channel nach Süden progradiert, d.h. sich seine Lebenszeit verkürzt und er keine Zeit mehr hat Mäander zu entwickeln (Schwenk et al., 2003), so kommt man auf eine durchschnittliche Sinuosität von 1.59. Dieser Wert ist deutlich näher bei dem Wert von Schwenk.

5.3. Vergleich Bathymetrie und Parasound

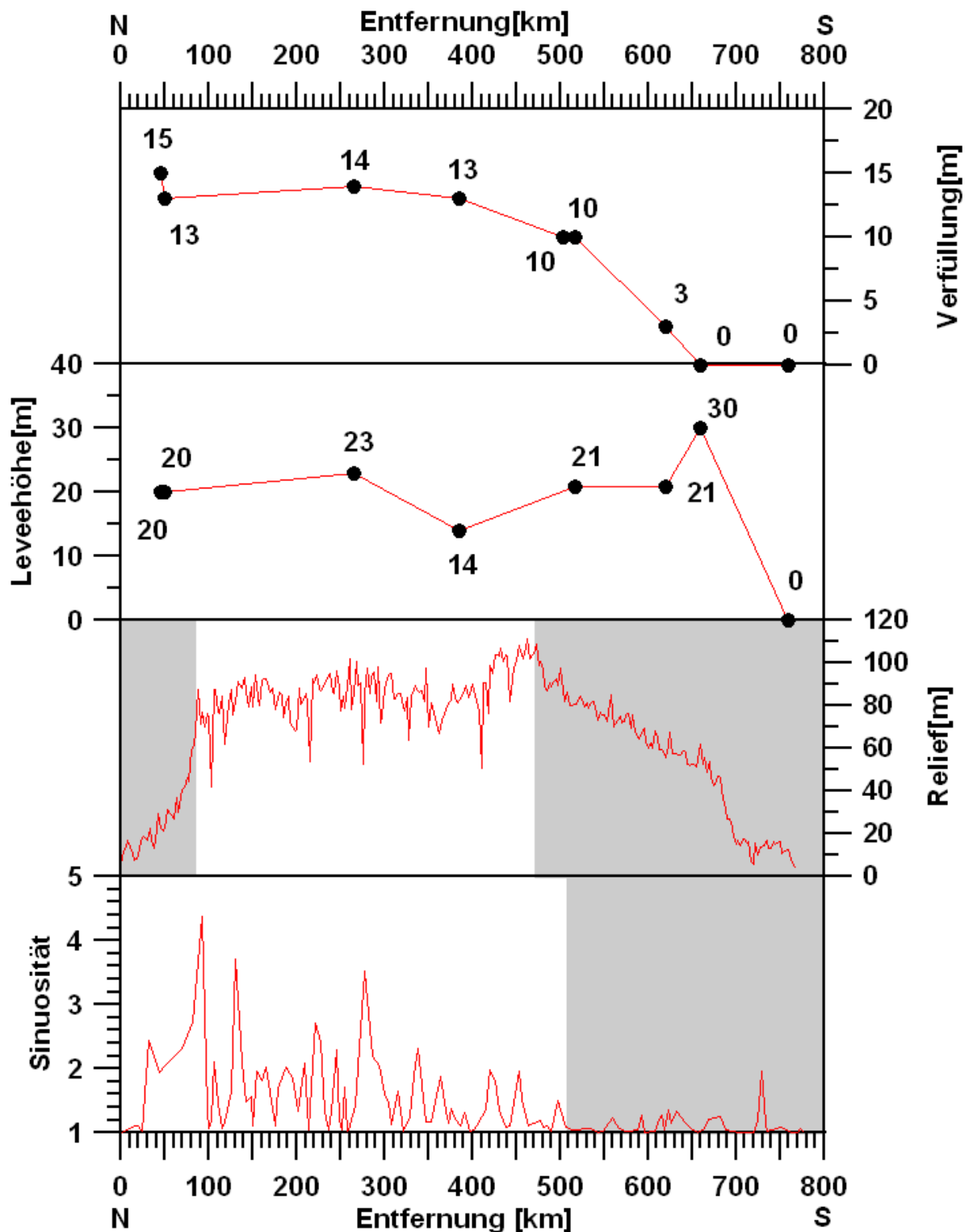


Abbildung 26: Aufgetragen sind Sinuosität, Relief, Leveehöhe und Verfüllung im Channel über die Erstreckung des Talwegs von Norden nach Süden. Die Schattierungen markieren die wesentlichen Trends.

Eine offene Frage ist, ob Verfüllungen im oberen Bereich des Channels der Grund sind warum das Relief dort so gering ist und zur Mitte wieder zunimmt. Ein Vergleich mit den gesammelten Parasounddaten der Verfüllungen soll hier Klarheit bringen.

Gleich zu Anfang in Abbildung 26 fällt auf, dass von 0-87.5km hier eine Reliefzunahme von ca. 85m vorliegt. Sollten die Verfüllungen der Grund sein, dass das Relief am Anfang so niedrig ist, müsste es eine Verfüllung von 85m geben. Die gibt es allerdings nicht. Trotz der geringen Datendichte ist zu erkennen, dass am Anfang des untersuchten Teils des inaktiven Channels (Abbildung 16) eine Verfüllung von 15m zu erkennen ist. Diese ist viel zu gering um ein Grund für das niedrige Relief zu sein. Auch die Flanken in dem Parasoundprofil 1 (Abbildung 15) zeigen, dass die Levees noch vollständig und von der Verfüllung (hier 25m) eingeschlossen sind. Daraus kann man schlussfolgern, dass es kein Abbruch der Flanken gab, welcher den Channel verfüllt hat und somit im Zusammenspiel eine Verringerung des Reliefs zur Folge hatte. Das geringe Relief könnte also aus der aktiven Zeit des Channels stammen und wäre nicht erst nach dem Abriss vom jetzigen aktiven Channel entstanden. Eine weitere Möglichkeit ist, dass das Parasound System nicht in der Lage ist die theoretisch vorhandenen 85m Füllung zu durchdringen. Dies ist insbesondere deswegen möglich, weil die Füllungen von submarinen Channel oft aus sandigem Material bestehen die eine tiefe Einbringung des Parasound Signals verhindern.

Wie auch immer, es stellt sich die Frage woher die gemessenen Verfüllungen stammen. Eine Theorie wäre es, dass nach dem Abriss des inaktiven vom aktiven Channel noch weiterhin Turbiditeströme bzw. Teile davon in den inaktiven Teil abgezweigt wurden. Diese abgezweigten Ströme waren wahrscheinlich geringmächtiger, sodass sie sich eher innerhalb des Channels abgelagert haben als außerhalb. Über die gesamte Erstreckung des Channels ist eine Abnahme der Verfüllung zu erkennen, bis sie bei den letzten beiden Messpunkten verschwunden zu sein scheint. Das würde bedeuten, dass die Turbiditeströme an dieser Stelle nur noch sehr wenig Sediment im Channel ablagern oder nur noch so sandiges Sediment, dass das Parasound Signal nicht in den Boden eindringen kann. Zur Erinnerung, das Profil 1 (Abbildung 15), welches außerhalb des mit Fledermaus untersuchten Teils lag, hatte eine Verfüllung von 25m. Diese doch sehr hohe Zunahme der Verfüllung gegenüber der sonstigen Verfüllung aus Abbildung 26 lässt darauf schließen, dass es dort zusätzlich zu den abgezweigten Turbiditeströme zu Ablagerungen von Overspill aus dem aktiven Channel kam. Die Levee im untersuchten Channel scheinen im Bereich von 20m angesiedelt zu sein. Bis auf die Ausnahmen aus Profil 4 (Abbildung 18) mit 14m und 8 (Abbildung 22) mit 30m. Profil 9 (Abbildung 23) signalisiert, dass die Leveemächtigkeit bis zum südlichen Ende des Channels auf 0m abnimmt.

5.4. Vergleich Amazonas Channel

Carlos Pirmez und Jasim Imran haben 2003 eine Publikation über einen Channel im Amazonas-Fächer veröffentlicht. Dabei haben sie den Channel durch den oberen, mittleren und unteren Fächer verfolgt. Es sollen nun die Werte des unteren Fächers für den Amazonas Channel mit den hier errechneten Werten verglichen werden. Der Amazonas Channel hat einen durchschnittlichen

Gradienten von 0.14° (Pirmez und Imran, 2003). Damit ist der Gradient doppelt so hoch wie der des inaktiven Channels im Bengalfächer von 0.7° . Die Breite des Amazonas Channels variiert dabei im unteren Fächer zwischen 1.2-1.5km (Pirmez und Imran, 2003). Dies korreliert mit der hier gemessenen durchschnittlichen Breite von 1.3km. Bei einem Vergleich der beiden Reliefs wurde ebenfalls festgestellt, dass auch der Amazonas Channel im unteren Fächer von 80m bis zum Ende abnimmt. Interessant ist, dass es auch hier Stellen gibt an denen das Relief am Ende des mittleren Fächers bzw. am Anfang des unteren abnimmt. Interessant ist, dass Pirmez und Imran (2003) für den unteren Fächer eine Leveehöhe von 2-5m angegeben haben. Die Levees im inaktiven Teil des untersuchten Channels sind damit mit ihrer teilweise 30m Mächtigkeit deutlich höher. Dies könnte an dem hohen Sedimenttransport durch Ganges und Brahmaputra liegen, die stärkere und mächtigere Turbiditeströme als im Amazonas zur Folge haben. Die durchschnittliche Sinuosität liegt im Amazonas Channel bei 1.7 (Pirmez und Imran, 2003), während sie im inaktiven Channel des Bengalfächers bei 1.43 liegt. Allerdings hatte Schwenk et al. (2003) für den von ihm untersuchten aktiven Teil eine Sinuosität von 1.74 berechnet, was dem Amazonas Channel entspricht. Deswegen scheinen die Daten auch hier ganz gut zu korrelieren.

5.5. Vergleich Zaire Channel

Babonneau et al. veröffentlichte 2002 eine Studie zu einem Channel im Zaire Tiefseefächer vor der Küste Westafrikas. Diese Ergebnisse sollen nun ebenfalls mit den Ergebnissen dieser Arbeit verglichen werden. Das Relief des Zaire Channels, welches im unteren Fächer von 250m bis zum Ende hin abnimmt (Babonneau et al., 2002), ist deutlich größer als das des inaktiven Channels, der ein maximales Relief von 111.38m hat. Die Breite des Zaire Channels liegt im unteren Teil zwischen 1-2km (Babonneau et al., 2002). Dies korreliert ansatzweise wieder mit den hier errechneten 1.3km. Der Gradient der Hangneigung entlang des Talweges liegt beim Zaire Channel mit 0.1° (Babonneau et al., 2002) zwischen dem Amazonas Channels und den inaktiven Channel im Bengalfächer. Die Sinuosität liegt dagegen mit einem Richtwert von 1.5 in der Nähe des hier errechneten Mittelwertes von 1.43. Außerdem weisen beide Kurven Ausreißer bis zur einer Sinuosität von 4 auf.

6. Schlussfolgerungen

Schlussfolgernd bleibt zu sagen, dass sich das Programm Fledermaus sehr gut eignet um die bathymetrischen Daten darzustellen und auszuwerten. Die sehr ausführliche Anleitung ermöglicht einen schnellen Einstieg und hilft bei offenen Fragen schnell weiter. Ohne das Programm wäre das Bearbeiten einer solchen Menge von Daten in den 6 Wochen nicht möglich gewesen.

Daten wie Sinuosität, Breite und Relief lassen sich mit den Ergebnissen von Babbonneau et al. (2002) für den Zaire Channel und mit Pirmez und Imran (2003) für den Amazon Channel vergleichen. Allerdings lediglich für den unteren Bereich der jeweiligen Fächer. Dies ist aber auch nicht überraschend, da auch im Bengalfächer diese Parameter vom oberen zu unterem Fächer stark variieren (Curry et al, 2003). Für einen kompletten Vergleich beider Gebiete bräuchte man Daten aus der Bucht von Bengalen, die über den „Swatch of no Ground“ Canyon über den aktiven Channel bis zum Ende des Fächers reichen.

Interessant ist, dass der Winkel des Prall- und des Gleithanges sich mit einer Verzögerung von 35-40km gegenüber dem Relief und der Breite verändern. Leider standen in den Arbeiten von Babbonneau et al. (2002) und Pirmez und Imran (2003) keine Datensätze für die Hänge zur Verfügung. Dies liegt wahrscheinlich daran, da die Messung bzw. Berechnung dieser Daten ohne ein Programm wie Fledermaus zu aufwendig und langwierig ist. Einen Grund warum es zu dieser Verzögerung kommt, konnte anhand dieser Arbeit nicht festgestellt werden.

Es wären auch Daten von Vorteil die den genauen Abrisspunkt der beiden Channel erfassen. Dies war hier leider nicht der Fall. Ein weiteres Problem war außerdem, dass es aufgrund der schlechten Daten, Probleme gab den inaktiven Channel von Anfang an zu untersuchen. Es konnte weder Talsohle noch genaue Channelbreite oder Hangneigung untersucht werden.

Die Verfüllungen, welche aus den Parasounddaten hervorgehen stammen höchstwahrscheinlich aus Turbiditeströmen bzw. teilen von diesen, die beim Abrisspunkt des alten zum neuen Channel in den alten abgezweigt wurden. Diese Turbiditeströme waren dabei anscheinend nicht stark genug um sich außerhalb des Channels abzulagern (Overspill), sondern haben sich direkt in ihm abgelagert. Dies ist deutlich im Profil 1 (Abbildung 15) zu erkennen. Zusätzlich war Overspill von dem aktiven Channel an der Bildung der Verfüllung von Profil 1 beteiligt, da sie 10m mächtiger ist als die übrigen. Die Vermutung dass Leveeabbrüche schuld sein könnten für die Verfüllung sind widerlegt, weil der Levee in Abbildung 15 völlig unzerstört ist. Sicherlich könnte es an anderen Stellen trotzdem solche Rutschungen gegeben haben. Die geringe Datendichte spiegelt das aber nicht wieder. Jedenfalls begründen die Verfüllungen nicht das zu Anfang, geringere Relief des Channels. Immer vorausgesetzt, die Eindringtiefe des Parasoundsystems war ausreichend. Ist dies der Fall, dann sind die Verfüllungen zu klein und das geringere Relief ist schon während der aktiven Zeit entstanden. Dies korreliert auch mit Ergebnissen aus dem Amazonas Channel in denen es auch kein stetiges

abnehmen des Reliefs gibt, sondern auch mitten drin schon Punkte an denen das Channelrelief relativ gering ist (Pirmas und Imran, 2003). Diese Beobachtung scheint jedoch nur für den unteren Teil des Fächers zu gelten. Außerdem konnte dies nicht im Zaire Channel nachgewiesen werden.

Desweiteren kann man sagen, dass die gemessenen Leveehöhen anscheinend deutlich den immensen Sedimenteintrag in den unteren Fächer widerspiegeln. Profil 8 (Abbildung 22), eines der südlichsten Profile, ist mit seinen 30m Leveemächtigkeit deutlich höher als die gemessenen Leveehöhen im Amazonas Channel von 2-5m (Pirmez und Imran, 2003). Um genauere Angaben zu den Levees innerhalb des Channels machen zu können, bräuchte man aber noch mehr Parasoundprofile, die senkrecht zum Talweg verlaufen.

7. Danksagung

Zu aller erst möchte ich meinem 1. Betreuer Dr. Tilmann Schwenk danken, der mir bei Fragen zur Verfügung stand und mich tatkräftig unterstützt hat. Desweiteren bedanke ich mich bei meinem 2. Betreuer Prof. Dr. Tilo von Dobeneck für seine Unterstützung. Meiner Familie danke ich, dass sie mich bei meinem Studium immer unterstützt und immer an mich geglaubt hat. Als letztes danke ich meiner Freundin Ina Schulze für die gemeinsame Zeit vor dem Rechner und ihren förderlichen Ratschläge für Grapher.

8. Literaturliste:

- Alam, M., Alam, M. M., Curray, J. R., Chowdhury, M. L. R., & Gani, M. R. (2003). An overview of the sedimentary geology of the Bengal Basin in relation to the regional tectonic framework and basin-fill history. *Sedimentary Geology*, 155, 179–208.
- Babonneau, N., Savoye, B., Cremer, M., Klein, B., 2002. Morphology and architecture of the present canyon and channel system of the zaire deep-sea fan. *Marine and Petroleum Geology* 19, 445–467.
- Bouma, A. H., 2000. Coarse-grained and fine-grained Turbidite systems as end member models: applicability and dangers. *Marine and Petroleum Geology* 17, 137–143.
- Bouma, A. H., 2001. Fine-grained submarine fans as possible recorders of long- and short-term climatic changes. *Global and Planetary Change* 28, 85–91.
- Brune, J. N., Curray, J., Dorman, L., Raitt, R., 1992. A proposed super-thick sedimentary basin, Bay of Bengal. *Geophysical Researches Letters* 19 (6), 565–568.
- Clark, J. D., Kenyon, N. H., Pickering, K. T., 1992. Quantitative analysis of the geometry of submarine channels: implications for the classification of submarine fans. *Geology* 20, 633–636.
- Curray, J. R., & Moore, D. G. (1971). Growth of the Bengal deep-sea fan and denudation in the Himalayas. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 563–572.
- Curray, J. R., & Moore, D. G. (1974). Sedimentary and tectonic processes in the Bengal Deep-sea Fan and Geosyncline. In C. A. Burk, & C. L. Drake (Eds.), *Continental margins* (pp. 617–627). New York: Springer.
- Curray, J. R., Emmel, F. J., Moore, D. G., & Raitt, R. W. (1982). Structure, tectonics, and geological history of the northeastern Indian Ocean. In A. E. M. Nairn, & F. G. Stehli (Eds.), (vol. 6) (pp. 399–450). *Ocean basins and margins*, New York: Plenum Press.
- Curray, J. R., 1994. Sediment volume and mass beneath the Bay of Bengal. *Earth and Planetary Science Letters* 125, 371–383.
- Curray, J. R., Emmel, F. J., Moore, D. G. 2003. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes. *Marine and Petroleum Geology* 19, 1191–1233.

- Damuth, J.E., Flood, R.D., Kowsman, R.O., Belderson, R.H., Gorini, M.A., 1988. Anatomy and growth pattern of Amazon Deep-Sea Fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA) and high-resolution seismic studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 72 (8), 885–911.
- Dietz, R. S. (1953). Possible deep-sea turbidity-current channels in the Indian Ocean. *Geological Society of America Bulletin*, 64, 375–378.
- Flood, R.D., Manley, P.L., Kowsmann, R.O., Appi, C.J., Pirmez, C., 1991. Seismic facies and late quaternary growth of Amazon submarine fan. In: Weimer, P., Link, M.H. (Eds.), *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*. Springer, New York, pp. 415–433.
- Goodbred Jr., S.L., Kuehl, S.A., 2000. Enormous Ganges - Brahmaputra sediment discharge during strengthened early Holocene monsoon. *Geology* 28 (12), 1083–1086.
- Hiscott, R.N., Hall, F.R., Pirmez, C., 1997. Turbidity - current overspill from the Amazon channel: Texture of the silt/sand load, paleoflow from anisotropy of magnetic susceptibility and implications for flow processes. In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., Peterson, L.C. (Eds.), *Proceedings of the ODP, Scientific Results*, 155. Ocean Drilling Program, College Station, TX, pp. 53–78.
- Emmel, F. J., & Curray, J. R. (1985). Bengal Fan, Indian Ocean. In A. H. Bouma, N. E. Barnes, & W. R. Normark (Eds.), *Submarine fans and related turbidite sequences* (pp. 107–112). New York: Springer.
- Imran, J., Parker, G., Katopodes, N., 1998. A numerical model of channel interception on submarine fans. *Journal of Geophysical Research* 103 (C1), 1219–1238.
- Kenyon, N.H., Amir, A., Cramp, A., 1995. Geometry of the younger sediment bodies of the Indus Fan. In: Pickering, K.T., Hiscott, R.N., Kenyon, N.H., Ricci Lucchi, F., Smith, R.D.A. (Eds.), *Atlas of Deep Water Environments: Architectural Style in Turbidite Systems*. Chapman and Hall, London, pp. 89–93.
- Kolla, V., Schwab, A.M., 1995. Indus Fan: multi channel seismic reflection images of channel–levee–overbank complexes. In: Pickering, K.T., Hiscott, R.N., Kenyon, N.H., Ricci Lucchi, F., Smith, R.D.A. (Eds.), *Atlas of Deep Water Environments: Architectural Style in Turbidite Systems*. Chapman & Hall, London, pp. 100–104.
- Kolla, V., Bourges, P., Urruty, J.-M., Safa, P., 2001. Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implications for reservoir architecture. *AAPG Bulletin* 85 (8), 1373–1405.

- Michels, K.H., Kudrass, H.R., Hubscher, C., Suckow, A., Wiedicke, M., 1998. The submarine delta of the Ganges - Brahmaputra: cyclone-dominated sedimentation patterns. *Marine Geology* 149, 133–154.
- McHugh, C.M.G., Ryan, W.B.F., 2000. Sedimentary features associated with channel overbank flow: examples from the Montereyfan. *Marine Geology* 163, 199–215.
- Milliman, J.D., Meade, R.H., 1983. Worldwide delivery of river sediments to the ocean. *Journal of Geology* 91, 1–21.
- Lee, T. T., & Lawver, L. A. (1995). Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 251, 85–138.
- Peakall, J., McCafrey, B. and Kneller, B. 2000. A Process model for the evolution, morphology, and architecture of sinuous submarine channels. *Perspectives, Leeds*, p15
- Piper, D.J.W., Normark, W.D., 1983. Turbidite depositional patterns and flow characteristics, Navy submarine fan, California borderland *Sedimentology* 30, 681–694.
- Pirmez, C., Flood, R.D., 1995. Morphology and structure of Amazon channel. In: Flood, R.D., Piper, D.J.W., Klaus, A., et al. (Eds.), *Proceedings of the OPP, Initial Reports*, 155. Ocean Drilling Program, College Station, TX, pp. 23–45.
- Pirmez, C., Imran, J., 2003. Reconstruction of turbidity currents in the Amazon Channel. *Marine and Petroleum Geology* 20, 823–849.
- Richards, M., Bowman, M., Reading, H., 1998. Submarine-fan systems I: characterization and stratigraphic prediction. *Marine and Petroleum Geology* 15, 689–717.
- Schwenk, T., Spieß, V., Hübsch, C., Breitzke, M., 2003. Frequent channel avulsions within the active channel – levee system of the middle Bengal Fan - an exceptional channel – levee development derived from Parasound and Hydrosweep data. *Deep – Sea Research II* 50, 1023-1045.
- Twichell, D.C., Kenyon, N.H., Parson, L., McGregor, B.A., 1991. Depositional Patterns of the Mississippi Fan Surface: evidence from Gloria ii and high-resolution seismic profiles. In: Weimer, P., Link, M.H. (Eds.), *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*. Springer, New York, pp. 349–363.

Weber, M.E., Wiedicke, M.H., Kudrass, H.R., Hübscher, C., Erlenkeuser, H., 1997. Active growth of the Bengal Fan during sea-level rise and highstand. *Geology* 25 (4), 315–318.

Weimer, P., 1991. Seismic facies, characteristics, and variations in channel evolution, Mississippi Fan (Plio-Pleistocene), Gulf of Mexico. In: Weimer, P., Link, M.H. (Eds.), *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*. Springer, New York, pp. 323–347.

9. Anhang

9.1. Daten zur Sinuosität

Tabelle 2: Daten für die Berechnung der Sinuosität. Aufgelistet sind Messpunkt (MP), Longitude, Latitude, Tiefe, direkte Entfernung der Wendepunkte (D.Entf.), Talweg, Sinuosität und Entfernung vom Channel Anfang bis Ende.

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	D. Entf.[m]	Talweg[m]	Sinuosität	Entfernung[m]
1	87.985	15.187	-2814.32	0	0	1.00	0.00
2	87.907	15.080	-2829.50	14500	15947	1.10	15.95
3	87.908	15.051	-2829.75	3238	3597	1.11	19.54
4	87.948	15.031	-2835.99	4764	4899	1.03	24.44
5	87.930	15.008	-2840.72	2935	7180	2.45	31.62
6	87.966	14.968	-2849.45	5801	11281	1.94	42.90
7	87.959	14.934	-2858.61	3705	7669	2.07	50.57
8	87.982	14.894	-2862.62	4991	11000	2.20	61.57
9	87.963	14.867	-2867.62	3590	8344	2.32	69.92
10	87.995	14.848	-2865.77	3995	10904	2.73	80.82
11	87.994	14.823	-2910.09	2731	11960	4.38	92.78
12	87.980	14.791	-2918.39	3849	5170	1.34	97.95
13	87.992	14.775	-2923.29	2146	2288	1.07	100.24
14	88.009	14.774	-2920.95	1901	2279	1.20	102.52
15	88.007	14.760	-2922.23	1460	3084	2.11	105.60
16	88.022	14.734	-2915.93	3183	4683	1.47	110.29
17	88.059	14.712	-2936.40	4771	5109	1.07	115.39
18	88.076	14.701	-2926.00	2132	2488	1.17	117.88
19	88.084	14.663	-2916.16	4272	7017	1.64	124.90
20	88.093	14.652	-2929.62	1533	5678	3.70	130.58
21	88.109	14.625	-2944.43	3508	7424	2.12	138.00
22	88.119	14.598	-2959.61	3112	4627	1.49	142.63
23	88.133	14.570	-2961.62	3406	5314	1.56	147.94
24	88.140	14.555	-2967.94	1747	1951	1.12	149.89
25	88.120	14.544	-2969.67	2529	4989	1.97	154.88
26	88.114	14.514	-2954.92	3391	6158	1.82	161.04
27	88.104	14.496	-2976.48	2202	4467	2.03	165.51
28	88.082	14.420	-2981.58	8748	9650	1.10	175.16
29	88.063	14.411	-2982.78	2253	3801	1.69	178.96
30	88.095	14.382	-2988.48	4594	9344	2.03	188.30
31	88.116	14.352	-2996.70	4057	7553	1.86	195.86
32	88.121	14.316	-2978.15	3966	5322	1.34	201.18
33	88.091	14.303	-2995.32	3578	7438	2.08	208.62
34	88.054	14.307	-3000.49	4022	4184	1.04	212.80
35	88.047	14.284	-3008.29	2772	7502	2.71	220.30
36	88.039	14.259	-2996.61	2802	6784	2.42	227.09
37	88.016	14.245	-3018.80	2889	3838	1.33	230.92
38	87.987	14.211	-3020.79	4742	4934	1.04	235.86
39	87.999	14.185	-3011.16	3083	4133	1.34	239.99
40	87.979	14.182	-3027.22	2233	5111	2.29	245.10

Fortsetzung Tabelle 2

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	D. Entf.[m]	Talweg[m]	Sinuosität	Entfernung[m]
41	87.953	14.182	-3030.34	2774	3288	1.19	248.39
42	87.924	14.173	-3032.67	3334	3498	1.05	251.89
43	87.920	14.160	-3031.75	1466	2521	1.72	254.41
44	87.937	14.143	-3028.58	2574	2628	1.02	257.04
45	87.951	14.131	-3039.17	1925	2029	1.05	259.07
46	87.909	14.105	-3039.05	5339	7616	1.43	266.68
47	87.920	14.080	-3048.46	3024	10667	3.53	277.35
48	87.929	14.041	-3045.73	4397	9610	2.19	286.96
49	87.923	14.008	-3044.25	3661	7498	2.05	294.46
50	87.930	13.974	-3061.70	3665	5902	1.61	300.36
51	87.940	13.944	-3037.49	3252	4812	1.48	305.17
52	87.930	13.926	-3054.64	2164	2421	1.12	307.59
53	87.946	13.886	-3052.10	4606	7582	1.65	315.17
54	87.981	13.851	-3067.43	5422	5589	1.03	320.76
55	88.003	13.798	-3062.01	6371	7993	1.25	328.76
56	88.013	13.778	-3075.99	2525	4783	1.89	333.54
57	88.018	13.759	-3066.15	2004	4639	2.31	338.18
58	88.032	13.689	-3088.35	7835	9136	1.17	347.31
59	88.038	13.651	-3090.03	4260	4961	1.16	352.27
60	88.059	13.623	-3089.08	3796	5607	1.48	357.88
61	88.082	13.603	-3054.58	3267	6165	1.89	364.05
62	88.100	13.574	-3094.95	3793	5091	1.34	369.14
63	88.125	13.557	-3100.77	3236	3699	1.14	372.84
64	88.142	13.543	-3107.17	2343	3249	1.39	376.09
65	88.158	13.510	-3112.08	4021	4871	1.21	380.96
66	88.169	13.467	-3111.31	4791	5267	1.10	386.22
67	88.171	13.435	-3111.81	3513	4646	1.32	390.87
68	88.154	13.388	-3119.80	5457	5546	1.02	396.42
69	88.137	13.351	-3129.84	4573	4779	1.05	401.19
70	88.130	13.321	-3123.22	3339	3727	1.12	404.92
71	88.108	13.258	-3127.53	7259	9861	1.36	414.78
72	88.091	13.237	-3152.20	2875	5700	1.98	420.48
73	88.086	13.209	-3162.16	3166	5718	1.81	426.20
74	88.067	13.189	-3166.32	2953	4023	1.36	430.22
75	88.057	13.158	-3169.99	3560	4241	1.19	434.46
76	88.039	13.134	-3169.85	3269	3574	1.09	438.04
77	88.014	13.111	-3174.48	3687	4104	1.11	442.14
78	88.005	13.078	-3180.48	3721	5416	1.46	447.56
79	87.992	13.056	-3182.83	2609	5133	1.97	452.69
80	87.976	13.038	-3189.35	2560	3920	1.53	456.61
81	87.973	12.976	-3194.02	6733	7476	1.11	464.09
82	87.965	12.937	-3195.86	4473	5112	1.14	469.20

Fortsetzung Tabelle 2

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	D. Entf.[m]	Talweg[m]	Sinuosität	Entfernung[m]
83	87.947	12.882	-3205.74	6390	7602	1.19	476.80
84	87.939	12.856	-3199.16	2978	3225	1.08	480.03
85	87.931	12.817	-3207.13	4361	4786	1.10	484.81
86	87.922	12.771	-3200.51	5167	5284	1.02	490.10
87	87.896	12.742	-3208.22	4230	6352	1.50	496.45
88	87.830	12.691	-3215.07	8976	9810	1.09	506.26
89	87.788	12.659	-3223.13	5846	6153	1.05	512.41
90	87.649	12.524	-3235.23	21169	22577	1.07	534.99
91	87.622	12.466	-3241.28	7232	7296	1.01	542.28
92	87.607	12.411	-3246.71	6301	6425	1.02	548.71
93	87.552	12.351	-3249.00	8870	10860	1.22	559.57
94	87.494	12.321	-3259.73	7104	7625	1.07	567.19
95	87.478	12.296	-3256.29	3288	3447	1.05	570.64
96	87.463	12.264	-3257.69	3824	3937	1.03	574.58
97	87.445	12.226	-3263.28	4660	4746	1.02	579.32
98	87.445	12.151	-3264.45	8337	8761	1.05	588.09
99	87.447	12.118	-3274.94	3525	4470	1.27	592.56
100	87.437	12.092	-3266.84	3159	3182	1.01	595.74
101	87.374	12.010	-3278.62	11363	11580	1.02	607.32
102	87.363	11.980	-3285.61	3407	3886	1.14	611.20
103	87.362	11.955	-3287.02	2759	3532	1.28	614.74
104	87.351	11.931	-3284.11	2866	2999	1.05	617.73
105	87.333	11.907	-3286.32	3291	4490	1.36	622.22
106	87.327	11.879	-3294.00	3112	3583	1.15	625.81
107	87.310	11.844	-3299.83	4297	5731	1.33	631.54
108	87.288	11.760	-3305.67	9691	11102	1.15	642.64
109	87.282	11.707	-3309.95	5892	6231	1.06	648.87
110	87.273	11.637	-3316.91	7637	7722	1.01	656.59
111	87.255	11.582	-3317.15	6401	6850	1.07	663.44
112	87.265	11.544	-3316.87	4240	5099	1.20	668.54
113	87.274	11.448	-3325.67	10775	13483	1.25	682.03
114	87.245	11.406	-3332.08	5627	5879	1.04	687.90
115	87.209	11.351	-3334.54	7284	7523	1.03	695.43
116	87.171	11.306	-3337.97	6449	6517	1.01	701.94
117	87.146	11.279	-3339.48	3979	4014	1.01	705.96
118	87.076	11.180	-3346.56	13359	13445	1.01	719.40
119	87.045	11.163	-3356.06	3973	4702	1.18	724.11
120	87.026	11.146	-3359.27	2835	5550	1.96	729.66
121	87.023	11.112	-3359.92	3658	4189	1.15	733.84
122	87.017	11.097	-3364.51	1866	1900	1.02	735.74
123	86.954	11.033	-3385.75	9920	10474	1.06	746.22
124	86.922	11.000	-3379.65	4994	5438	1.09	751.66

Fortsetzung Tabelle 2

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	D. Entf.[m]	Talweg[m]	Sinuosität	Entfernung[m]
125	86.899	10.968	-3390.20	4310	4484	1.04	756.14
126	86.884	10.941	-3395.75	3520	3608	1.03	759.75
127	86.872	10.915	-3388.30	3175	3206	1.01	762.95
128	86.864	10.856	-3396.40	6604	6682	1.01	769.64
129	86.864	10.828	-3397.33	3068	3264	1.06	772.90
130	86.861	10.796	-3400.74	3567	3624	1.02	776.52

Mean:	4493	5973	1.43
Min:	1460	1900	1.01
Max:	21169	22577	4.38

9.2. Daten zum Gefälle

Tabelle 3: Daten für das Gefälle. Aufgelistet sind Messpunkte (MP), Longitude, Latitude, Tiefe, Entfernung und Gefälle.

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Gefälle[m/km]
1	87.986	15.187	2820.25	0.0	0.00
2	87.982	15.144	2821.26	5.0	0.20
3	87.956	15.105	2823.88	10.0	0.52
4	87.915	15.085	2828.33	15.0	0.89
5	87.908	15.053	2830.6	20.0	0.45
6	87.947	15.036	2839.79	25.0	1.84
7	87.961	15.010	2842.88	30.0	0.62
8	87.914	15.004	2845.12	35.0	0.45
9	87.926	14.969	2850.08	40.0	0.99
10	87.967	14.966	2852.32	45.0	0.45
11	87.974	14.950	2855.33	50.0	0.60
12	87.997	14.871	2872.92	60.0	1.76
13	87.953	14.868	2872.95	65.0	0.01
14	87.956	14.837	2885.4	70.0	2.49
15	88.002	14.849	2892.71	75.0	1.46
16	88.038	14.852	2916.26	80.0	4.71
17	88.009	14.822	2917.69	85.0	0.29
18	87.973	14.802	2928.93	90.0	2.25
19	88.002	14.769	2935.1	95.0	1.23
20	88.034	14.734	2937.82	105.0	0.27
21	88.065	14.703	2938.35	110.0	0.11
22	88.097	14.680	2947.1	115.0	1.75
23	88.105	14.651	2953.67	125.0	0.66
24	88.113	14.601	2959.36	135.0	0.57
25	88.134	14.571	2963.22	140.0	0.77
26	88.139	14.538	2968.47	145.0	1.05
27	88.097	14.537	2970.46	150.0	0.40

Fortsetzung Tabelle 3

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Gefälle[m/km]
28	88.125	14.510	2976.21	155.0	1.15
29	88.089	14.490	2978.25	160.0	0.41
30	88.082	14.446	2983.4	165.0	1.03
31	88.079	14.405	2983.49	170.0	0.02
32	88.085	14.378	2985.65	180.0	0.22
33	88.127	14.379	2994.4	185.0	1.75
34	88.109	14.339	2998.69	190.0	0.86
35	88.132	14.315	2999.5	195.0	0.16
36	88.055	14.309	3005.91	205.0	0.64
37	88.027	14.296	3011.51	210.0	1.12
38	88.060	14.266	3011.53	215.0	0.00
39	88.025	14.263	3018.6	220.0	1.41
40	88.003	14.225	3022.95	225.0	0.87
41	87.955	14.183	3027.75	240.0	0.32
42	87.914	14.168	3037.06	245.0	1.86
43	87.944	14.136	3043.13	250.0	1.21
44	87.885	14.086	3044.76	265.0	0.11
45	87.930	14.078	3050.38	270.0	1.12
46	87.960	14.050	3052.02	275.0	0.33
47	87.915	14.038	3053.46	280.0	0.29
48	87.913	14.010	3053.64	285.0	0.04
49	87.941	13.988	3058.51	290.0	0.97
50	87.943	13.929	3066.07	300.0	0.76
51	87.913	13.912	3066.37	305.0	0.06
52	87.951	13.887	3071.62	310.0	1.05
53	87.981	13.853	3073.01	315.0	0.28
54	87.992	13.787	3075.84	325.0	0.28
55	88.031	13.776	3081.68	330.0	1.17
56	88.006	13.741	3086.57	335.0	0.98
57	88.022	13.700	3086.6	340.0	0.01
58	88.045	13.662	3091.19	345.0	0.92
59	88.062	13.623	3091.4	352.5	0.03
60	88.112	13.572	3091.64	365.0	0.02
61	88.135	13.540	3103.19	370.0	2.31
62	88.155	13.518	3111.52	375.0	1.67
63	88.160	13.473	3116.46	380.0	0.99
64	88.157	13.400	3118.59	390.0	0.21
65	88.145	13.358	3125.22	395.0	1.33
66	88.131	13.318	3128.39	400.0	0.63
67	88.136	13.274	3133.58	405.0	1.04
68	88.102	13.261	3138.26	410.0	0.94
69	88.089	13.238	3154	415.0	3.15

Fortsetzung Tabelle 3

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Gefälle[m/km]
70	88.094	13.208	3161.65	420.0	1.53
71	88.067	13.189	3168.85	425.0	1.44
72	88.051	13.153	3168.95	430.0	0.02
73	88.033	13.114	3172.75	435.0	0.76
74	87.994	13.093	3181.98	440.0	1.85
75	88.014	13.060	3181.99	445.0	0.00
76	87.972	13.049	3187	450.0	1.00
77	87.986	13.007	3190.99	455.0	0.80
78	87.967	12.966	3195.34	460.0	0.87
79	87.974	12.929	3195.73	465.0	0.08
80	87.957	12.891	3199.35	470.0	0.72
81	87.929	12.811	3207.47	480.0	0.81
82	87.905	12.741	3207.57	490.0	0.01
83	87.847	12.716	3218.94	495.0	2.27
84	87.823	12.677	3220.83	500.0	0.38
85	87.782	12.658	3224.38	505.0	0.71
86	87.683	12.601	3231.97	517.5	0.61
87	87.664	12.559	3236.59	522.5	0.92
88	87.648	12.517	3236.91	527.5	0.06
89	87.633	12.475	3240.44	532.5	0.71
90	87.607	12.438	3251.81	537.5	2.27
91	87.589	12.355	3258.32	547.5	0.65
92	87.500	12.334	3262.02	557.5	0.37
93	87.462	12.256	3264.05	567.5	0.20
94	87.441	12.217	3266.04	572.5	0.40
95	87.435	12.172	3266.86	577.5	0.16
96	87.459	12.139	3270.53	582.5	0.73
97	87.439	12.099	3275.26	587.5	0.95
98	87.393	12.022	3279.4	597.5	0.41
99	87.358	11.995	3283.23	602.5	0.77
100	87.363	11.955	3289.6	607.5	1.27
101	87.345	11.915	3291.21	612.5	0.32
102	87.325	11.881	3296.04	617.5	0.97
103	87.319	11.846	3299.55	622.5	0.70
104	87.282	11.823	3302.27	627.5	0.54
105	87.289	11.717	3313.13	630.0	4.34
106	87.274	11.631	3316.59	649.5	0.18
107	87.264	11.588	3319.83	654.5	0.65
108	87.253	11.552	3320.82	659.5	0.20
109	87.290	11.527	3325.76	664.5	0.99
110	87.288	11.482	3328.62	669.5	0.57
111	87.246	11.409	3332.79	679.5	0.42
112	87.195	11.336	3334.41	689.5	0.16

Fortsetzung Tabelle 3

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Gefälle[m/km]
113	87.169	11.300	3338.88	694.5	0.89
114	87.108	11.232	3343.42	704.5	0.45
115	87.085	11.194	3350.17	709.5	1.35
116	87.059	11.160	3353.9	714.5	0.75
117	87.023	11.154	3361.2	719.5	1.46
118	87.025	11.112	3362.28	724.5	0.22
119	87.004	11.072	3370.46	729.5	1.64
120	86.975	11.038	3383.91	734.5	2.69
121	86.931	11.024	3385.81	739.5	0.38
122	86.915	10.982	3388.78	744.5	0.59
123	86.887	10.948	3396.87	749.5	1.62
124	86.861	10.864	3396.97	759.5	0.01
125	86.862	10.820	3400.55	764.5	0.72
126	86.858	10.797	3402.56	767.0	0.80

Mean:	0.86
Min:	0.002
Max:	4.71

9.3. Daten für Relief, Breite und Hänge

Tabelle 4: Auflistung der Datenpunkte für Breite, Relief, Prallhang und Gleithang. Angegeben sind der Messpunkt (MP), Longitude, Latitude, Tiefe und Entfernung vom Channelanfang.

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
1	87.986	15.187	-2814.29	0.0	726.9	5.36	1.09	0.77
2	87.984	15.166	-2819.21	2.5	1781.5	12.00	1.80	1.44
3	87.982	15.144	-2821.09	5.0	1951.4	13.36	1.34	0.50
4	87.971	15.123	-2822.81	7.5	1328.2	16.63	2.10	1.86
5	87.956	15.105	-2823.02	10.0	1158.8	13.80	2.07	1.92
6	87.936	15.094	-2827.27	12.5	1343.6	10.30	1.35	1.02
7	87.915	15.085	-2825.97	15.0	1276.8	7.35	1.81	0.96
8	87.896	15.072	-2828.23	17.5	1188.1	7.93	0.96	0.93
9	87.908	15.053	-2829.66	20.0	1390.4	9.78	2.17	1.52
10	87.924	15.036	-2829.78	22.5	1331.9	15.86	2.89	0.91
11	87.947	15.036	-2837.56	25.0	1374.8	18.86	1.03	0.87
13	87.961	15.010	-2841.24	30.0	1383.3	17.00	1.31	1.29
14	87.937	15.008	-2843.27	32.5	1215.3	22.42	3.54	2.42
15	87.914	15.004	-2842.95	35.0	1440.9	16.79	1.63	1.06
16	87.910	14.985	-2845.03	37.5	1260.8	13.21	1.84	0.73
17	87.926	14.969	-2849.53	40.0	1306.9	21.88	2.71	1.92
18	87.947	14.959	-2850.74	42.5	1051.8	29.37	5.09	2.99
19	87.967	14.966	-2852.30	45.0	1446.9	22.33	2.46	1.96
20	87.981	14.970	-2853.88	47.5	1383.1	20.82	3.34	1.36
21	87.974	14.950	-2852.38	50.0	1356.9	22.55	3.52	2.11

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
22	87.960	14.931	-2859.95	52.5	1712.8	31.27	3.59	3.45
25	87.997	14.871	-2870.87	60.0	1624.9	26.57	4.41	2.26
26	87.976	14.864	-2876.32	62.5	1642.7	36.91	3.48	3.44
27	87.953	14.868	-2871.25	65.0	1807.7	29.82	4.43	3.01
29	87.956	14.837	-2883.22	70.0	1940.1	40.76	6.13	2.22
30	87.978	14.845	-2883.49	72.5	1841.2	41.73	6.45	2.86
31	88.002	14.849	-2867.92	75.0	2036.7	45.88	4.98	4.34
32	88.022	14.861	-2902.72	77.5	1738.4	44.53	5.33	2.76
33	88.038	14.852	-2916.26	80.0	1791	59.01	5.70	2.81
34	88.030	14.831	-2918.36	82.5	1746.1	60.86	6.06	3.08
35	88.009	14.822	-2910.28	85.0	1685.9	67.95	6.66	4.49
36	87.986	14.820	-2921.68	87.5	1526.3	87.36	5.95	5.88
37	87.973	14.802	-2929.34	90.0	1204.2	71.28	8.98	6.02
38	87.987	14.785	-2930.31	92.5	1570.9	76.54	7.82	6.01
39	88.002	14.769	-2932.85	95.0	1512.7	69.85	11.97	6.87
40	88.018	14.768	-2937.10	97.5	1365.4	76.25	13.67	7.37
41	88.003	14.752	-2932.99	100.0	1520.9	74.92	6.92	6.58
42	88.011	14.732	-2916.70	102.5	1000.9	41.47	6.99	2.97
43	88.034	14.734	-2931.67	105.0	1720	87.51	8.08	4.49
44	88.051	14.721	-2914.97	107.5	1553.9	87.63	8.93	5.81
45	88.065	14.703	-2938.22	110.0	1652.7	77.27	8.45	4.66
46	88.088	14.700	-2937.89	112.5	1520.4	76.27	9.16	4.84
47	88.097	14.680	-2939.34	115.0	1227.2	84.00	9.23	6.35
48	88.092	14.660	-2939.86	117.5	1316.5	61.72	9.69	6.25
50	88.082	14.649	-2919.56	122.5	1505.7	81.10	10.21	5.84
51	88.105	14.651	-2937.33	125.0	1515	87.21	10.77	4.48
52	88.124	14.644	-2939.01	127.5	1439.7	75.72	8.26	4.72
53	88.117	14.628	-2929.77	130.0	1349.9	81.65	12.70	3.25
54	88.101	14.614	-2926.84	132.5	1599.4	90.98	8.86	2.92
55	88.113	14.601	-2930.48	135.0	1674.3	90.19	11.36	3.68
56	88.137	14.594	-2963.61	137.5	1353.6	87.99	17.03	3.42
57	88.134	14.571	-2949.90	140.0	1365.3	92.94	11.65	5.20
58	88.143	14.552	-2966.58	142.5	1332.9	86.92	8.15	4.76
59	88.139	14.538	-2966.31	145.0	1079	79.04	14.07	5.91
60	88.116	14.545	-2969.21	147.5	1510.3	88.92	7.05	4.05
61	88.097	14.537	-2970.11	150.0	1654.8	79.41	9.53	3.34
62	88.104	14.517	-2970.21	152.5	1545.3	94.25	11.64	4.36
63	88.125	14.510	-2975.81	155.0	1250.3	83.67	10.19	3.91
64	88.110	14.498	-2969.69	157.5	1395.9	79.81	14.28	4.82
65	88.089	14.490	-2978.29	160.0	1441.9	91.85	10.70	3.29
66	88.085	14.468	-2979.67	162.5	1512.6	92.54	7.24	6.69

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
67	88.082	14.446	-2983.15	165.0	1362.8	92.72	6.70	6.36
68	88.082	14.424	-2981.41	167.5	1485	88.50	12.47	6.81
69	88.079	14.405	-2975.90	170.0	1508.6	86.09	10.94	4.65
70	88.057	14.412	-2984.50	172.5	1527.4	88.31	10.72	6.03
71	88.047	14.395	-2979.81	175.0	1431.1	78.00	6.60	3.97
73	88.085	14.378	-2983.49	180.0	1454.2	86.40	7.66	4.00
74	88.107	14.385	-2972.27	182.5	1382.1	85.01	11.01	3.74
75	88.127	14.379	-2974.87	185.0	1339.4	74.20	12.97	3.75
76	88.122	14.357	-2987.66	187.5	1388.1	81.43	11.45	5.82
77	88.109	14.339	-2982.40	190.0	1158.1	84.20	8.40	6.58
78	88.109	14.318	-2979.90	192.5	1309.4	71.65	9.35	4.78
79	88.132	14.315	-2999.13	195.0	1297.6	70.06	5.77	4.19
80	88.123	14.298	-2991.10	197.5	1404	67.90	7.29	3.38
81	88.099	14.299	-2979.43	200.0	1369.9	68.38	8.58	2.90
82	88.078	14.308	-3002.09	202.5	1818.6	87.91	8.46	4.40
83	88.055	14.309	-3001.56	205.0	1669.4	80.56	7.63	5.35
84	88.032	14.312	-3004.12	207.5	1640.4	82.49	4.88	4.66
85	88.027	14.296	-2988.10	210.0	1287.7	85.33	11.50	5.79
86	88.045	14.283	-3001.82	212.5	1588.3	82.04	6.15	4.23
87	88.060	14.266	-2990.71	215.0	1464	53.47	5.39	3.67
88	88.047	14.254	-2990.79	217.5	1492.8	92.49	12.10	4.35
89	88.025	14.263	-3006.95	220.0	1471.5	90.76	14.89	2.73
90	88.017	14.243	-3013.11	222.5	1661.6	94.00	7.81	5.49
91	88.003	14.225	-3023.04	225.0	1471.6	87.86	12.65	4.99
92	87.987	14.209	-3001.96	227.5	1515.8	86.98	7.87	6.09
96	87.967	14.190	-3025.93	237.5	1501.7	95.09	11.37	3.23
97	87.955	14.183	-3026.81	240.0	1501.2	86.43	6.91	4.57
98	87.935	14.172	-3035.52	242.5	1581.5	85.30	11.04	5.83
99	87.914	14.168	-3037.04	245.0	1497.4	95.92	12.41	4.25
100	87.930	14.153	-3031.83	247.5	1498.4	88.81	10.98	4.08
101	87.944	14.136	-3043.29	250.0	1695.6	77.19	9.56	4.27
102	87.954	14.118	-3033.68	252.5	1522	84.22	10.92	4.25
103	87.938	14.102	-3037.50	255.0	1370.4	78.41	14.74	4.88
104	87.915	14.105	-3042.34	257.5	1368.2	88.81	6.96	6.43
105	87.893	14.109	-3039.17	260.0	1554.7	101.81	5.91	5.87
106	87.872	14.104	-3031.59	262.5	1349.5	78.08	7.79	2.91
107	87.885	14.086	-3041.59	265.0	1340.3	86.19	15.46	7.20
108	87.908	14.081	-3049.82	267.5	1526	100.62	8.38	4.59
109	87.930	14.078	-3050.44	270.0	1347.4	89.04	14.58	5.86
110	87.951	14.066	-3049.74	272.5	1426.2	90.75	7.84	5.46
111	87.960	14.050	-3052.47	275.0	1401.8	52.39	6.28	3.73
112	87.938	14.042	-3049.82	277.5	1384.6	85.52	10.50	5.30
113	87.915	14.038	-3050.33	280.0	1228	97.62	7.24	6.43

Fortsetzung Tabelle 4.

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
114	87.899	14.027	-3036.24	282.5	1350.7	85.71	10.56	2.77
115	87.913	14.010	-3047.61	285.0	1266.4	93.32	15.43	3.63
116	87.935	14.005	-3053.13	287.5	1327.4	95.36	7.68	5.27
117	87.941	13.988	-3050.56	290.0	1324.9	81.58	10.65	4.51
118	87.928	13.970	-3054.37	292.5	1377.4	97.75	6.19	4.59
119	87.924	13.948	-3040.25	295.0	1232.1	71.70	8.15	2.36
120	87.946	13.943	-3048.65	297.5	1343.4	74.82	6.04	4.11
121	87.943	13.929	-3066.25	300.0	1269.7	87.51	14.25	5.60
123	87.913	13.912	-3048.82	305.0	1313.7	94.41	10.43	2.27
124	87.930	13.897	-3068.72	307.5	1399.4	94.92	6.89	5.59
125	87.951	13.887	-3066.80	310.0	1478.6	82.97	7.52	6.42
126	87.969	13.872	-3060.03	312.5	1627.4	83.33	13.32	3.97
127	87.981	13.853	-3071.98	315.0	1691.4	85.47	8.15	4.83
128	87.999	13.839	-3070.10	317.5	1328.2	85.48	9.43	5.80
129	88.014	13.822	-3066.98	320.0	1226.6	82.70	10.44	4.74
130	88.010	13.802	-3072.42	322.5	1524.6	77.51	11.28	3.66
131	87.992	13.787	-3071.29	325.0	1386.5	83.79	13.20	4.23
132	88.011	13.779	-3068.01	327.5	1253.7	63.71	7.82	3.34
133	88.031	13.776	-3078.05	330.0	1296.7	84.06	12.17	2.61
134	88.021	13.758	-3079.04	332.5	1250.8	87.69	10.48	4.01
135	88.006	13.741	-3080.81	335.0	1547.6	88.96	10.34	2.61
136	88.008	13.719	-3079.97	337.5	1230.5	86.53	12.08	4.41
137	88.022	13.700	-3084.40	340.0	1407.9	86.22	6.39	4.97
138	88.036	13.683	-3087.80	342.5	1401.7	86.62	9.16	5.58
139	88.045	13.662	-3090.89	345.0	1481.6	81.56	12.37	3.71
140	88.033	13.643	-3092.35	347.5	1356.9	97.13	6.68	4.76
141	88.039	13.622	-3077.13	350.0	1383.1	69.67	6.66	3.06
142	88.062	13.623	-3091.27	352.5	1503.9	81.05	9.77	4.86
146	88.090	13.575	-3091.61	362.5	1325.2	66.98	3.61	3.43
147	88.112	13.572	-3090.51	365.0	1361.7	73.27	4.66	2.89
148	88.125	13.557	-3097.51	367.5	1498.3	76.35	6.25	5.45
149	88.135	13.540	-3099.93	370.0	1639.9	78.13	7.05	4.91
150	88.156	13.540	-3107.91	372.5	1513.7	81.21	8.13	3.44
151	88.155	13.518	-3109.16	375.0	1557.5	82.70	7.96	5.46
152	88.157	13.496	-3118.96	377.5	1507	89.79	6.85	6.63
153	88.160	13.473	-3110.60	380.0	1177	83.48	10.67	6.09
154	88.179	13.461	-3114.79	382.5	1454.1	81.29	11.55	4.10
155	88.176	13.440	-3111.09	385.0	1348.1	82.19	10.66	3.37
156	88.163	13.422	-3117.80	387.5	1771.4	84.49	8.22	4.17
157	88.157	13.400	-3115.35	390.0	1691.1	85.61	10.83	3.16
158	88.154	13.378	-3121.48	392.5	1529.2	89.17	9.70	7.31

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
159	88.145	13.358	-3124.38	395.0	1403.9	83.48	6.76	4.69
160	88.129	13.341	-3125.93	397.5	1431.8	84.91	9.01	3.95
161	88.131	13.318	-3129.55	400.0	1346.5	90.18	11.26	4.00
163	88.136	13.274	-3125.69	405.0	1363.4	81.72	5.68	5.16
164	88.125	13.256	-3130.66	407.5	1174.2	77.33	11.36	3.34
165	88.102	13.261	-3134.13	410.0	1245.1	50.20	5.89	3.65
166	88.083	13.257	-3152.01	412.5	1269.1	90.47	9.87	4.90
167	88.089	13.238	-3154.23	415.0	1376.1	90.47	10.73	4.23
168	88.105	13.221	-3157.34	417.5	1353.9	75.89	10.63	4.88
169	88.094	13.208	-3160.82	420.0	1342.9	98.87	8.70	6.65
170	88.070	13.210	-3165.77	422.5	1319.4	95.01	8.88	4.35
171	88.067	13.189	-3167.75	425.0	1275.9	103.59	11.03	5.37
172	88.067	13.169	-3157.97	427.5	1242.1	103.77	11.34	4.82
173	88.051	13.153	-3164.69	430.0	1266.7	102.76	14.02	5.16
174	88.041	13.135	-3161.81	432.5	1345.5	106.88	13.76	4.83
175	88.033	13.114	-3172.92	435.0	1397.9	100.30	11.04	4.26
176	88.011	13.108	-3163.71	437.5	1329.8	103.65	10.89	5.94
177	87.994	13.093	-3168.46	440.0	1224.8	103.25	12.51	4.05
178	88.006	13.077	-3181.68	442.5	1263	81.87	12.38	4.53
179	88.014	13.060	-3181.74	445.0	1377.9	92.14	10.63	4.66
180	87.991	13.056	-3184.67	447.5	1350.5	97.16	12.03	4.47
181	87.972	13.049	-3185.31	450.0	1503.6	101.45	12.03	4.98
182	87.983	13.029	-3187.04	452.5	1505.3	108.03	8.23	7.34
183	87.986	13.007	-3190.31	455.0	1362.3	105.55	12.91	8.16
184	87.978	12.986	-3193.39	457.5	1291.3	101.56	12.08	10.59
185	87.967	12.966	-3195.41	460.0	1309.1	106.68	10.71	6.55
186	87.959	12.945	-3182.19	462.5	1495.2	111.38	10.04	3.50
187	87.974	12.929	-3194.88	465.0	1243.7	101.59	11.92	3.67
189	87.957	12.891	-3196.96	470.0	1368.1	103.98	9.78	7.36
190	87.942	12.873	-3201.86	472.5	1315.6	108.92	10.39	6.16
191	87.941	12.853	-3195.14	475.0	1421.2	98.43	9.46	5.11
192	87.939	12.831	-3204.58	477.5	1452.6	100.47	13.37	6.41
193	87.929	12.811	-3203.33	480.0	1198.7	96.76	9.86	8.80
194	87.920	12.791	-3200.50	482.5	1180.9	89.12	13.25	6.47
195	87.923	12.769	-3198.88	485.0	1372.2	87.05	9.84	4.98
196	87.925	12.747	-3210.80	487.5	1315.6	90.83	13.71	8.44
197	87.905	12.741	-3206.77	490.0	1383	88.71	7.99	6.07
198	87.861	12.734	-3211.74	492.5	1301.9	91.00	9.31	5.60
199	87.847	12.716	-3217.16	495.0	1508.7	92.17	8.13	7.01
200	87.834	12.697	-3216.48	497.5	1295.3	89.48	12.83	8.51
201	87.823	12.677	-3220.61	500.0	1238.1	97.44	8.90	5.47
202	87.804	12.665	-3223.19	502.5	1299	87.68	11.36	8.41
203	87.782	12.658	-3220.75	505.0	1309.3	81.53	8.73	6.46

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
204	87.760	12.651	-3222.77	507.5	1300.4	86.06	11.92	8.51
205	87.739	12.641	-3222.44	510.0	1209.9	80.11	10.24	9.14
207	87.683	12.601	-3230.70	517.5	1155.8	80.67	9.66	6.92
208	87.674	12.580	-3234.88	520.0	1143.8	81.92	13.24	6.78
209	87.664	12.559	-3235.45	522.5	1270.2	84.24	8.92	7.20
210	87.655	12.538	-3234.58	525.0	1312.8	83.35	8.52	8.32
211	87.648	12.517	-3234.21	527.5	1208	79.52	9.67	8.91
212	87.642	12.495	-3238.21	530.0	1388.6	81.32	8.08	7.53
213	87.633	12.475	-3240.20	532.5	1306.7	78.79	11.46	5.82
214	87.617	12.459	-3246.00	535.0	1264.7	81.34	11.02	7.21
215	87.607	12.438	-3250.93	537.5	1197.7	81.64	9.95	5.64
216	87.608	12.416	-3250.94	540.0	1348.1	79.31	7.38	6.51
217	87.609	12.393	-3246.45	542.5	1496	73.20	8.39	4.46
218	87.606	12.371	-3248.23	545.0	1241.7	76.54	7.90	7.18
219	87.589	12.355	-3258.36	547.5	1201.2	75.59	9.82	4.97
220	87.566	12.352	-3259.85	550.0	1388.8	75.33	6.78	6.74
221	87.544	12.347	-3257.99	552.5	1419.3	72.31	7.88	5.15
223	87.500	12.334	-3259.90	557.5	1243.3	85.15	9.75	6.79
224	87.493	12.313	-3259.47	560.0	1203.9	70.07	6.09	4.70
225	87.481	12.295	-3258.88	562.5	1159.2	71.05	9.09	8.76
226	87.466	12.279	-3260.58	565.0	1305.2	73.34	12.78	5.41
227	87.462	12.256	-3262.04	567.5	1043.9	74.74	12.71	8.50
228	87.453	12.236	-3264.61	570.0	1298.7	71.58	9.21	6.67
229	87.441	12.217	-3266.03	572.5	1243.4	72.27	8.56	4.94
230	87.435	12.195	-3265.24	575.0	1339	75.74	11.52	5.84
231	87.435	12.172	-3266.43	577.5	1184.7	75.97	9.46	7.13
232	87.441	12.151	-3255.46	580.0	1084.1	69.25	6.61	5.04
233	87.459	12.139	-3245.90	582.5	1329.8	75.58	6.74	5.57
234	87.450	12.118	-3272.02	585.0	1199.4	67.95	6.46	4.75
235	87.439	12.099	-3273.32	587.5	1203.1	65.15	10.45	4.97
236	87.432	12.077	-3271.06	590.0	1208.7	64.21	6.20	3.85
238	87.405	12.041	-3279.11	595.0	1237.4	69.18	8.28	5.86
239	87.393	12.022	-3277.03	597.5	1157.6	62.95	7.64	6.26
240	87.376	12.008	-3272.74	600.0	1122.8	59.82	7.16	6.55
241	87.358	11.995	-3281.53	602.5	1336.4	62.48	8.30	4.09
242	87.368	11.975	-3282.06	605.0	1418.9	60.16	7.97	5.33
243	87.363	11.955	-3289.50	607.5	1101	67.76	8.87	5.44
244	87.352	11.936	-3290.55	610.0	1072.1	65.77	7.84	5.92
245	87.345	11.915	-3290.33	612.5	1259.8	59.55	7.91	6.87
246	87.328	11.901	-3293.96	615.0	1096.3	59.54	6.97	6.86
247	87.325	11.881	-3294.47	617.5	1220.4	58.60	9.13	3.22
248	87.333	11.861	-3295.00	620.0	1352.1	55.65	7.03	3.36
249	87.319	11.846	-3296.95	622.5	1105.2	60.96	7.18	5.61

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
250	87.297	11.840	-3304.80	625.0	1267.6	67.33	6.35	4.27
251	87.282	11.823	-3300.67	627.5	1069.7	57.45	7.99	4.42
254	87.292	11.740	-3303.69	637.0	1059	56.69	7.13	4.00
255	87.289	11.717	-3311.79	639.5	1104.6	58.49	7.12	4.23
256	87.279	11.698	-3314.55	642.0	1261.9	57.73	5.30	5.08
257	87.274	11.676	-3312.25	644.5	1211.1	52.44	8.28	3.88
258	87.274	11.653	-3313.77	647.0	1040.9	51.83	6.78	6.57
259	87.274	11.631	-3313.54	649.5	1030.8	52.45	9.21	6.38
260	87.272	11.609	-3316.94	652.0	1053.9	52.43	5.95	5.68
261	87.264	11.588	-3313.24	654.5	1118.5	51.03	5.45	5.15
262	87.248	11.572	-3320.29	657.0	1210.4	57.84	6.89	4.73
263	87.253	11.552	-3318.58	659.5	1172.5	61.87	5.64	3.74
264	87.272	11.540	-3322.87	662.0	966.1	52.61	7.09	6.70
265	87.290	11.527	-3325.80	664.5	1135	55.37	8.88	3.05
266	87.289	11.505	-3325.66	667.0	1060.8	48.78	6.25	3.55
267	87.288	11.482	-3325.98	669.5	1191.6	53.34	5.42	3.48
268	87.285	11.461	-3326.74	672.0	997.5	46.41	6.79	2.98
269	87.270	11.443	-3324.06	674.5	972.7	42.57	7.25	2.96
270	87.252	11.429	-3327.46	677.0	1167.7	44.21	4.00	3.02
271	87.246	11.409	-3331.49	679.5	1048.7	46.83	5.33	3.84
272	87.241	11.387	-3336.14	682.0	1004.5	45.89	5.09	4.37
273	87.229	11.367	-3330.23	684.5	982.2	35.22	5.03	4.69
274	87.211	11.352	-3334.11	687.0	1046.9	35.03	4.46	3.37
275	87.195	11.336	-3333.71	689.5	931.1	26.79	4.48	3.97
276	87.179	11.321	-3336.45	692.0	1004.9	26.76	3.51	1.97
277	87.169	11.300	-3338.54	694.5	1135.7	25.83	2.91	2.68
278	87.153	11.284	-3336.46	697.0	1227.5	18.80	1.43	1.43
279	87.138	11.267	-3337.36	699.5	1181.7	15.07	1.71	1.12
280	87.123	11.250	-3340.14	702.0	1288.6	16.65	1.73	1.29
281	87.108	11.232	-3343.01	704.5	1313.7	14.17	1.16	1.12
282	87.093	11.215	-3345.08	707.0	1121.8	17.57	1.07	0.85
283	87.085	11.194	-3348.76	709.5	1405.3	17.54	0.76	0.71
284	87.078	11.173	-3350.16	712.0	941.7	15.27	1.48	1.10
285	87.059	11.160	-3350.23	714.5	1078.8	16.19	1.23	0.89
286	87.037	11.164	-3359.50	717.0	850.1	6.63	1.20	0.69
287	87.023	11.154	-3361.45	719.5	844.4	5.75	3.15	1.33
288	87.032	11.133	-3356.90	722.0	891.8	15.61	4.60	1.34
289	87.025	11.112	-3362.17	724.5	848.5	9.74	1.76	1.05
290	87.017	11.091	-3364.71	727.0	815.9	13.48	1.64	1.33
291	87.004	11.072	-3370.20	729.5	836.7	13.68	1.89	1.87
292	86.989	11.055	-3378.21	732.0	846.2	14.53	2.06	2.04
293	86.975	11.038	-3376.45	734.5	930.3	16.72	2.47	1.72
294	86.952	11.032	-3385.09	737.0	688.1	12.71	2.90	2.53

Fortsetzung Tabelle 4

MP	Long[°]	Lat[°]	Tiefe[m]	Entfernung[m]	Breite[m]	Relief[m]	Prallhang[°]	Gleithang[°]
295	86.931	11.024	-3385.20	739.5	736.8	13.22	2.61	2.18
296	86.924	11.002	-3387.78	742.0	634.2	16.34	2.76	2.51
297	86.915	10.982	-3388.69	744.5	545.3	14.66	2.84	1.93
298	86.899	10.966	-3395.86	747.0	597.8	15.77	3.87	2.10
299	86.887	10.948	-3393.36	749.5	635.4	15.95	5.14	2.06
300	86.880	10.927	-3393.41	752.0	571.2	10.65	1.96	1.90
301	86.870	10.907	-3394.53	754.5	763.3	11.84	1.71	1.57
302	86.862	10.886	-3397.96	757.0	795.2	11.81	2.46	2.05
303	86.861	10.864	-3395.90	759.5	606.2	12.13	2.28	1.57
304	86.868	10.842	-3397.40	762.0	747.2	7.75	1.39	1.37
305	86.862	10.820	-3399.91	764.5	471	6.07	1.65	1.10
306	86.858	10.797	-3402.58	767.0	570.1	4.19	0.85	0.53

Mean:	1307.05	66.70	7.84	4.40
Min:	471.00	4.19	0.76	0.50
Max:	2036.70	111.38	17.03	10.59

Anlage 4

Publication:

Williams, M.A.J., Ambrose, S. H., van der Kaars, S., Ruehlemann, C. ,
Chattopadhyaya, U., Pal, J., Chauhan, P.R., Guichard, F. & Bassinot, F.(akzeptiert):
Environmental impact of the Toba super-eruption in South Asia.- Palaeogeography,
Palaeoclimatology, Palaeoecology.

Valier Galy, Louis Francois , Christian France-Lanord, Pierre Faure, Hermann
Kudrass, Fabien Palhol, Sunil K. Singh (2008): C4 plants decline in the Himalayan
basin since the Last Glacial Maximum, Quaternary Science Reviews

Valier Galy, Olivier Beyssac, Christian France-Lanord, Timothy Eglinton (2008):
Recycling of Graphite During Himalayan Erosion: A Geological Stabilization of
Carbon in the Crust, Science, 322, 943-945.

Valier Galy, Christian France-Lanord, Olivier Beyssac, Pierre Faure, Hermann
Kudrass & Fabien Palhol (2008): Efficient organic carbon burial in the Bengal fan
sustained by the Himalayan erosional system.- Nature, 450, 407-410.