

**Auswertung und Interpretation von Parasound-Daten aus „North Pond“,
Mittelatlantischer Rücken**

Bachelorarbeit
am Fachbereich Geowissenschaften
der Universität Bremen

Vorgelegt von
Ulrike Beckert

1. Gutachter: PD Dr. Monika Breitzke
2. Gutachter: Prof. Dr. Volkhard Spieß

Bremen, 2009

Kurzfassung

An den Flanken des Mittelatlantischen Rückens befinden sich zahlreiche intermontane Sedimentbecken. Ein solches 8 x 14 km großes und bereits im Rahmen der internationalen Bohrprogramme ODP und DSDP mehrmals beprobtes und untersuchtes Sedimentbecken ist „North Pond“. Im Februar und März 2009 wurden auf der Expedition MSM 11/1 mit dem FS Maria S. Merian unter anderem hochauflösende sedimentechographische Parasound-Daten von „North Pond“ aufgenommen. Eine Auswertung der Daten ergab eine Sedimentabfolge von Turbiditlagen und Rutschungskörpern. Eine Rutschung mit erkennbarer Bewegungsrichtung verläuft von SW nach NE und hat ein Volumen von ca. 57.600,000 m³. Des Weiteren treten zahlreiche transparente Zonen in dem zentralen Becken auf. Diese sind meist an Aufwölbungen im Sediment gebunden, die mit der Nähe zum Meeresboden abflachen. Durch ein exemplarisches GI-Gun-Profil des parallel zu den Parasound-Profilen geführten seismischen Surveys kann zudem ein Zusammenhang von transparenten Zonen, Aufwölbungen und Basementtopographie vermutet werden. Ein mögliches Sedimentationsmodell schlägt eine durch Sedimentauflast und Kompaktion entstandene Deformation von Sediment analog zur Basementtopographie im Untergrund vor. An den Flanken der Basementaufwölbungen entstehen durch die Deformation Dehnungszonen im Sediment. Dehnungszonen stellen einen Ort erhöhter Porosität dar und können verantwortlich für die aufgefundenen transparenten Zonen in „North Pond“ sein. In der vorliegenden Arbeit wurde im Weiteren eine Untersuchung des Parasound *Narrow-Beam-Systems* in Bezug auf die Bathymetriebestimmung entlang der aufgenommenen Profile durchgeführt. Diese ergab durch viele Fehldetektionen bei der Tiefenbestimmung allerdings keine befriedigende Alternative zu der Bathymetriebestimmung mittels Fächerecholot.

Inhalt

Kurzfassung.....	2
Inhalt.....	3
Abbildungen, Tabellen.....	4
1 Einleitung.....	7
1.1 Zielsetzung.....	7
1.2 Untersuchungsgebiet.....	8
2 Datengrundlage und Methoden.....	10
2.1 Der parametrische Effekt	10
2.2 Das Atlas Parasound Sedimentecholot P70.....	10
2.3 Datenbasis.....	11
2.4 Bearbeitung der Parasound-Daten.....	13
2.5 Darstellung der kleinskaligen Bathymetrie entlang von Profilen.....	15
2.6 Kartierung.....	15
3 Ergebnisse.....	17
3.1 Beschreibung der Profile.....	17
3.2 Beschreibung der kleinskaligen Bathymetrie entlang von Profilen.....	22
3.3 Kartierung.....	23
4 Diskussion.....	27
4.1 Auflösung, Genauigkeit und Artefakte der Parasound-Profile.....	27
4.2 Diskussion der kleinskaligen Bathymetrie	29
4.3 Vergleich eines Parasound- mit einem Seismikprofil.....	29
4.4 Ablagerungsprozesse	31
4.5 Entstehung von transparenten Zonen.....	34
5 Schlussfolgerungen.....	38
Danksagung.....	39
Literaturverzeichnis.....	40
Anhang.....	41

Abbildungen

- Abbildung 1: Lage und Bathymetrie von „North Pond“. Darstellung der vermessenen Profile P1 bis P14 in der bathymetrischen Karte..... 12*
- Abbildung 2: Ausschnitt aus einem Parasound-Profil mit Normierung auf die Maximalamplitude und nach der Amplitudennormierung auf 450 mV. Nach der Amplitudennormierung sind tiefer liegende Reflektoren zu erkennen..... 14*
- Abbildung 3: Parasound-Profil 2. An Hängen und an einer Stelle im Sedimentbecken sind Hyperbeln zu erkennen. In der Wassersäule befinden sich Störsignale..... 18*
- Abbildung 4: Parasound-Profil 10. Diffraktionshyperbeln am Rand von „North Pond“ und transparente Zonen im zentralen Becken..... 18*
- Abbildung 5: Profilausschnitt von Parasound-Profil 10. Sedimentpakete wechseln sich mit transparenten Lagen ab. Es treten vertikale transparente Zonen und eine Rutschung in SW-NE-Richtung auf..... 19*
- Abbildung 6: Transparente Zonen verschiedener Ausdehnung und Tiefenlage (Profile P2 (A), P4 (B), P9 (C), P10 (D), P10 (E), P11 (F), P12 (G). VE:64)..... 20*
- Abbildung 7: Profilausschnitt von Parasound-Profil 11. Auftritt vertikaler Versätze im Sediment (14:27 UTC und 14:17 UTC)..... 22*
- Abbildung 8: Parasound -Tiefe des Narrow Beam Signals und Fächerecholot-Tiefe über Profil 4. Der Offset beträgt bis zu 30 m. Die Parasound-Tiefe weist zahlreiche Ausreißer auf..... 23*
- Abbildung 9: Karte der transparenten Zonen und Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung..... 24*
- Abbildung 10: Transparente Zone aus verschiedenen Perspektiven. In SE-NW-Richtung (Profil 13) tritt die transparente Zone direkt am Meeresboden auf; in NE-SW-Richtung (Profil 10) beginnt diese mit graduelltem Übergang erst in den darunter liegenden Sedimentpaketen. An der Profilkreuzung liegt die transparente Zone in 15-20 m Sedimenttiefe. Die transparente Zone weist verschiedene Ausdehnung in den Anschnitten auf..... 25*
- Abbildung 11: Vergleich des GI-Gun-Profiles 4 mit dem Parasound-Profil 4. Oberflächennahe transparente Zonen können sowohl in der Seismik als auch im Parasound registriert werden. Transparente Zonen, die in mehr als 40 m Sedimenttiefe beginnen, können nur in der Seismik erkannt werden. Die transparenten Zonen liegen in Bereichen erhöhter Basement-topographie..... 30*
- Abbildung 12: Seismogramm als Wiggle-Plot neben dem entsprechenden Parasound-Profilausschnitt. Hohe Amplituden zeigen Turbiditbasen an. Kleine Amplituden können durch gradierte Turbiditablagerungen und Nannofossilschlamm entstehen..... 32*
- Abbildung 13: Sedimentationsmodell. Über das Basement mit Aufwölbungen werden durch eine Rutschung Sedimente abgelagert und Unebenheiten ausgemerzt. Weitere Schichten werden abgelagert. Durch die Auflast entsteht Deformation..... 33*

<i>Abbildung 14: Kleinskalige Bathymetrie von „North Pond“ und transparente Zonen. Eine typische transparente Zone (Typ F) ist eingezeichnet, die durch Topographie im NE ein Seitenecho erfährt.</i>	35
<i>Abbildung A1: Parasound-Profil 1.</i>	44
<i>Abbildung A2: Parasound-Profil 2.</i>	45
<i>Abbildung A3: Parasound-Profil 3.</i>	46
<i>Abbildung A4: Parasound-Profill 4.</i>	47
<i>Abbildung A5: Parasound-Profil 5.</i>	48
<i>Abbildung A6: Parasound-Profil 6.</i>	49
<i>Abbildung A7: Parasound-Profil 7.</i>	50
<i>Abbildung A8: Parasound-Profil 8.</i>	51
<i>Abbildung A9: Parasound-Profill 9.</i>	52
<i>Abbildung A10: Parasound-Profill 10.</i>	53
<i>Abbildung A11: Parasound-Profill 11.</i>	54
<i>Abbildung A12: Parasound-Profil 11a.</i>	55
<i>Abbildung A13: Parasound-Profil 12.</i>	56
<i>Abbildung A14: Parasound-Profil 13.</i>	57
<i>Abbildung A15: Parasound-Profil 14.</i>	58
<i>Abbildung A16: Parasound-Profil 2, Profilausschnitt.</i>	60
<i>Abbildung A17: Parasound-Profil 3, Profilausschnitt.</i>	61
<i>Abbildung A18: Parasound-Profil 4, Profilausschnitt.</i>	62
<i>Abbildung A19 Parasound-Profil 5, Profilausschnitt.</i>	63
<i>Abbildung A20: Parasound-Profil 6, Profilausschnitt.</i>	64
<i>Abbildung A21: Parasound-Profil 7, Profilausschnitt.</i>	65
<i>Abbildung A22: Parasound-Profil 8, Profilausschnitt.</i>	66
<i>Abbildung A23: Parasound-Profil 9, Profilausschnitt.</i>	67
<i>Abbildung A24: Parasound-Profil 10, Profilausschnitt.</i>	68
<i>Abbildung A25 Parasound-Profil 11, Profilausschnitt.</i>	69
<i>Abbildung A26: Parasound-Profil 12, Profilausschnitt.</i>	70

<i>Abbildung A27: Parasound-Profil 13, Profilausschnitt</i>	71
<i>Abbildung A28: Parasound-Profil 14, Profilausschnitt</i>	72
<i>Abbildung A29: Profile mit Uhrzeiten</i>	74

Tabellen

<i>Tabelle A1: Liste der Parasound-Profile der Expedition MSM 11/1 mit dem FS Maria S. Merian</i>	42
<i>Tabelle A2: Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung</i>	76
<i>Tabelle A3: transparente Zonen unter Hyperbeln</i>	78
<i>Tabelle A4: transparente Zonen ohne Hyperbeln ab einer Sedimenttiefe von 0-20 m</i>	79
<i>Tabelle A5: transparente Zonen ohne Hyperbeln ab einer Sedimenttiefe von 20-40 m</i>	80
<i>Tabelle A6: Profilkreuzungen, an denen transparente Zonen unter Hyperbeln auftreten</i>	81
<i>Tabelle A7: Profilkreuzungen, an denen transparente Zonen ohne Hyperbeln auftreten</i>	81

1 Einleitung

Am Mittelatlantischen Rücken befinden sich zahlreiche intermontane Sedimentbecken. Ein solches 8 x 14 km großes und bereits im Rahmen der internationalen Bohrprogramme ODP und DSDP mehrmals beprobtes und untersuchtes Sedimentbecken ist „North Pond“. In Februar und März 2009 wurde erstmals ein umfassender Parasound-Survey in „North Pond“ durchgeführt. Parasound-Daten werden zur Untersuchung oberflächennaher Sedimentstrukturen genutzt. Dabei können kleinskalige Rutschungen, Störungen und Sedimentabfolgen abgebildet werden, die mit niederfrequenterer Seismik nicht erkannt werden können.

1.1 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Kartierung der oberflächennahen Sedimentstrukturen im Arbeitsgebiet „North Pond“ anhand von hochauflösenden sedimentechographischen Parasound-Daten der Ausfahrt MSM 11/1 des FS Maria S. Merian. Die Daten wurden vom 21. - 22.2.2009 sowie vom 28.2. - 1.3.2009 im Rahmen des geophysikalischen Programms der Universität Bremen von der Arbeitsgruppe „Meerestechnik und Sensorik“ unter der Leitung von Dr. Heinrich Villinger aufgezeichnet. Nach der Aufbereitung der Rohdaten mit den Programmen Parastore und SeNT soll eine Auswertung aller Profile hinsichtlich ihrer akustischen Fazies vorgenommen werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Beschreibung und Interpretation der

1. Echocharaktere,
2. transparenten Zonen,
3. rezenten Tektonik.

Auf dieser Grundlage wird eine Kartierung von „North Pond“ durchgeführt. Des Weiteren ist eine Beurteilung der Parasound-Daten in Bezug auf die Bathymetriebestimmung entlang der vorliegenden Profile vorgesehen, wobei ein Vergleich von Parasound- und Fächerecholot-Daten vorgenommen werden soll.

Um genauere Aussagen zur Beschaffenheit des Untergrundes und der transparenten Zonen zu ermöglichen, stehen GI-Gun-Profile zur Diskussion zur Verfügung.

Die vorliegende Bachelorarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Meeres-technik und Sensorik“ unter der Leitung von Dr. Heinrich Villinger an der Universität Bremen durchgeführt.

1.2 Untersuchungsgebiet

„North Pond“ ist ein durchschnittlich 4400 m tiefes, isoliertes Sedimentbecken bei 22°46,N und 46°06,W. Es befindet sich an der Westflanke des Mittelatlantischen Rückens und hat eine Ausdehnung von ca. 14 km in NE-SW- und 8 km in SE-NW-Richtung. Das Basement ist ca. 7 Ma alt. Die Sedimentdicke des Beckens beträgt zwischen 200 und 300 m und ist am größten im südlichen Bereich von „North Pond“ (Melson, 1979).

Im Rahmen des Ozeanischen Bohrprogrammes ODP und des Tiefsee-Bohrprogrammes DSDP) wurden am nordöstlichen und südwestlichen Randbereich von „North Pond“ an den Bohrlokationen 395 (22°45.35'N, 46°04.90'W) und 1074 (22°46.83,N, 46°6.74,W) Kerne erbohrt und daran die Lithologie bestimmt.

Der Großteil der Sedimente besteht aus Nannofossilschlamm. Dieser enthält variierende Anteile an Radiolarien, Tonmineralen und Foraminiferensand. Es wechseln sich hellere Lagen mit hohem Foraminiferengehalt mit dunkleren, nannofossilreicheren Lagen ab. Als untergeordnete Lithologie treten zahlreiche Foraminiferenschlamm- und Sandlagen von 20-40 cm Mächtigkeit auf, welche Gradierungen aufweisen. Die Sortierung ist möglicherweise primär durch eine Ablagerung in Form von Turbiditen zustande gekommen oder hat sich langsam durch Untergrundströme vollzogen (Becker, 1998). In einigen Intervallen tritt Bioturbation auf. Die untersten Meter Sediment bestehen aus rotem Tiefseeton. Beim Übergang zum Basement enthält der Ton zahlreiche Basaltklasten von einigen mm Durchmesser. Der Tiefseeton stammt vor allem vom äolischen Eintrag der Sahara (Timofeev, 1997). Des Weiteren wurde Mangan in Form von Mikromanganknollen sowohl im Nannofossilschlamm, als auch im roten Tiefseeton vorgefunden. Das Sediment wird von aphyrischem Basalt unterlagert.

Anhand von Wärmestrommessungen, Porendruckmessungen und Permeabilitätsmessungen wurde die hydrothermale Zirkulation in „North Pond“ untersucht. Diese wird wahrscheinlich von lateralen Druckgradienten hervorgerufen, die durch das topographische Relief bedingt sind (Langseth, 1992). Relativ kaltes Meerwasser tritt an den südwestlichen Hängen in das Basement ein, fließt lateral durch die permeable basaltische Kruste, wird erwärmt und tritt auf der gegenüberliegenden nordöstlichen Seite an sedimentfreien Hängen wieder aus. Ei-

nen untergeordneten Beitrag zum hydrothermalen Fluss leistet vermutlich auch Meerwasser, welches auf Grund von negativen Porendrücken mit Raten von 1 bis 5 mm/a durch die Sedimente in das Basement abfließt und dort zu dem nordwestlich gerichteten Fluss beiträgt.

Eine erste Auswertung der Parasound- und GI-Gun-Daten wurde bereits an Bord der Maria S. Merian während der Ausfahrt MSM 11/1 durchgeführt. Dabei wurden transparente Zonen unbekannter Herkunft vorgefunden.

2 Datengrundlage und Methoden

Die Daten wurden mit dem *Parasound P 70* Sedimentecholot der Firma Atlas registriert. Dieses nutzt den parametrischen Effekt zur Generierung der Nutzfrequenz. Die Daten werden zunächst konvertiert und im Weiteren mit dem Programm SeNT dargestellt und bearbeitet. Entlang eines exemplarischen Profils werden die Parasound-Tiefe und die Fächerecholot-Tiefe dargestellt. Für die charakteristischen Reflexionsmuster, welche den Parasound-Profilen entnommen werden, wird eine Karte erstellt.

2.1 Der parametrische Effekt

Der parametrische Effekt beschreibt die Wechselwirkung zweier ebener Wellen finiter Amplitude, welche durch die nichtlineare Beziehung zwischen Druck- und Dichteänderungen im Wasser hervorgerufen wird (Bergmann, 1996). Der Strahlenkegel, der aus der Differenz der Frequenzen hervorgehenden Sekundärfrequenz, hat die Größe des Kegels der ursprünglichen Frequenzen. Die Abstrahlcharakteristik weist zudem neben der Schallhauptkeule keine Nebenkeulen auf.

Der Öffnungswinkel des Strahlenkegels von 4 kHz-Systemen kann durch den parametrischen Effekt auf ca. 4° reduziert werden, was beim Parasound-Sedimentecholot zur Anwendung kommt. Die vom Strahlenkegel beschallte Fläche (der „Footprint“) beträgt in diesem Fall nur ca. 10 % der Wassersäule. Daraus resultiert eine verbesserte vertikale und laterale Auflösung im Vergleich zu herkömmlichen 3,5 kHz Sedimentecholoten. Diese besitzen Winkel höher als 20° und einem „Footprint“ von ca. 36 %.

Ein Nachteil bei der Anwendung des parametrischen Effektes zur Generierung von Sekundärfrequenzen ist der geringe Wirkungsgrad. Für eine Frequenz von 4 kHz beträgt dieser beispielsweise ca. 0,2 % (Bergmann, 1996).

2.2 Das Atlas Parasound Sedimentecholot P70

Das Sedimentecholot des Typs *Atlas Parasound P70* ist auf dem FS Maria S. Merian fest installiert. Es setzt sich aus einem Tiefseevermessungsecholot, dem *Narrow Beam System (NBS)*, und einem Sedimentvermessungsecholot, dem *Subbottom Profiler (SBP)* zusammen, welcher sich des parametrischen Effektes bedient. Das *NBS*-Signal hat eine Frequenz von 18 kHz und wird zur Aufzeichnung der Wassersäule, der Meeresbodenoberfläche und der obersten Dezimeter bis Meter Sediment benutzt. Der *SBP* nutzt das 18 kHz-Signal und ein

20,5 bis 23,5 kHz betragendes Signal als Primärfrequenzen zur Generierung der gewünschten Sekundärfrequenz, der *Secondary Low Frequency (SLF)*. Das 18 kHz-Signal wird auch als *Primary High Frequency (PHF)* bezeichnet. Während der Ausfahrt MSM 11/1 betrug die *SLF* 4 kHz und die zweite Primärfrequenz 22 kHz. Als Sender und Empfänger dient ein Schallwandler aus Piezokristallen, welcher am Rumpf des Schiffes angebracht ist. Die Kristalle können je nach der Neigung des Schiffes so eingestellt werden, dass der Schallkegel lotrecht auf den Meeresboden trifft. Die Laufzeitunterschiede, die durch die Verzögerung beim Senden und Empfangen der Wellenstrahlen entstehen, werden vom System ausgeglichen. Durch das mitgelieferte Programmpaket *Atlas Hydromap Server*, *Atlas Hydromap Control* und *Atlas Parastore* werden die Grundeinstellungen für die Abstrahlsignale bestimmt und eine Aufzeichnung des Meeresbodens und der Wassersäule in Echtzeit vorgenommen. Durch die Verwendung des schmalen Strahlenkegels kann jedoch bei Hangneigungen größer 2° nur noch diffuse Streuenergie erfasst werden.

2.3 Datenbasis

Als Datengrundlage dienen die Parasound-Aufzeichnungen, die an Bord des FS Maria S. Merian vom 21. - 22.2.2009 sowie vom 28.2. - 1.3.2009 genommen wurden. Dabei wurden elf Profile in SW-NE- und drei Profile in SE-NW-Richtung vermessen (*Abbildung 1*). Uhrzeiten sowie Koordinaten für die Anfangs- und Endpunkte der Parasound-Profile wurden in eine Liste eingetragen (*Tabelle A1*). Von Profil 11 wurde ein Ausschnitt (P11a) doppelt vermessen.

Die Parasound-Daten lagen als ASD-Daten sowie PS3 und Seg-Y Daten vor. Die Seg-Y Daten konnten jedoch nicht eingelesen werden. Zudem waren sowohl Seg-Y, als auch PS3-Daten als Einhüllende ohne Phase („Without Phase and Carrier“) in Parastore abgespeichert worden, wodurch ein numerisches Filtern nicht mehr möglich war. Für die Bachelorarbeit wurden die ASD-Daten daher erneut in PS3-Daten „With Phase and Carrier“ mit Parastore konvertiert.

Ferner lag für den Vergleich mit den Parasound-Daten und als Grundlage zur Darstellung von Karten von „North Pond“ ein Grid-File der flächendeckenden Bathymetrie vor, welches mit dem Fächerecholot *Kongsberg EM120* an Bord der Maria S. Merian aufgenommen wurde.

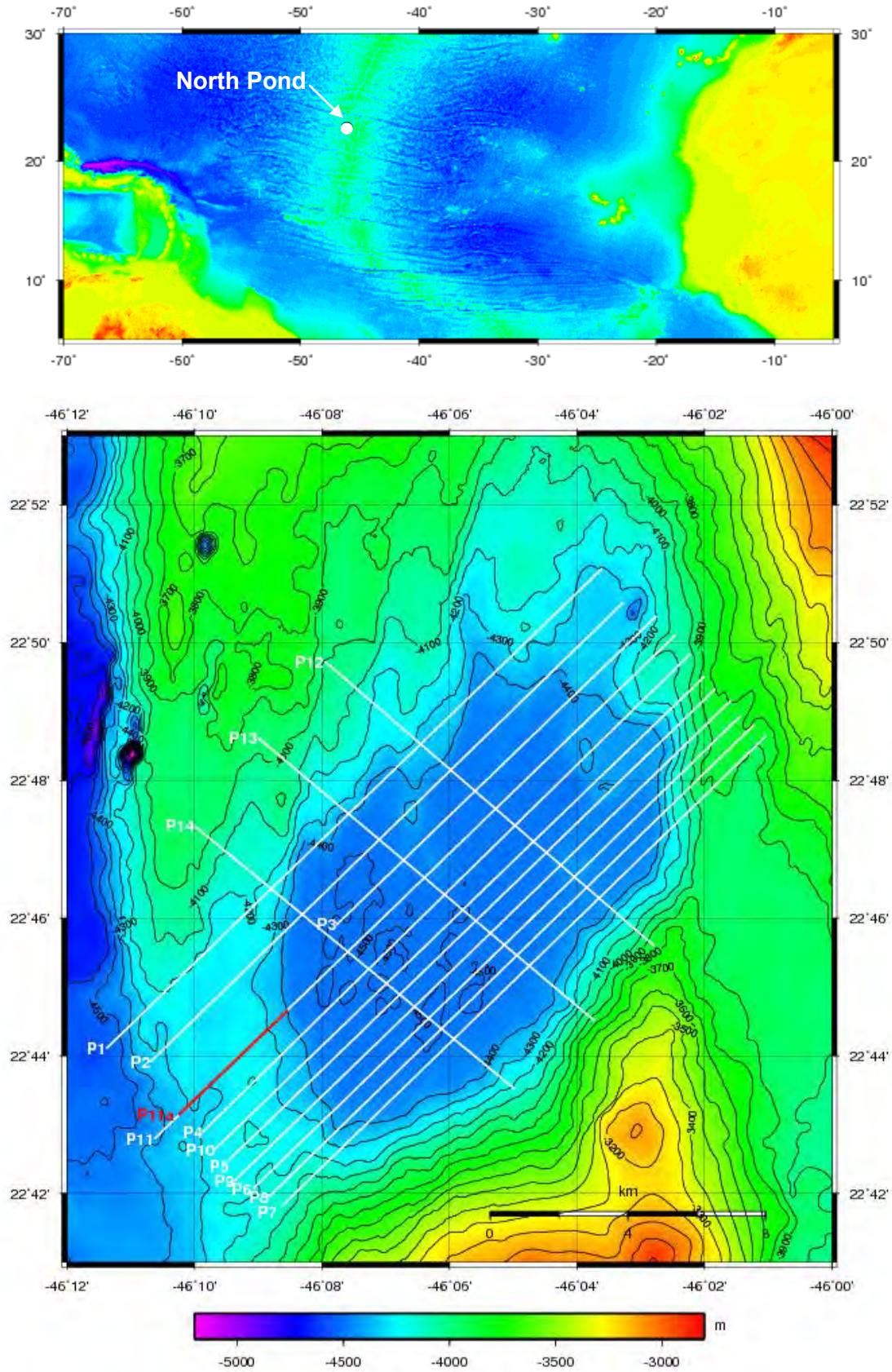


Abbildung 1: Lage (oben) und Bathymetrie (unten) von „North Pond“. Darstellung der vermessenen Profile P1 bis P14 in der bathymetrischen Karte.

2.4 Bearbeitung der Parasound-Daten

Mit SeNT werden die Profile als PS3 Daten eingelesen. Für die Skala wird eine Farbdarstellung gewählt, um Amplitudenstärken deutlich unterscheiden zu können. Die Seismogramme werden als Funktion der Tiefe dargestellt. Die Tiefenskala wird unter der Voraussetzung, dass sich der Schall in der Wassersäule und im Sediment mit einer Geschwindigkeit von 1500 m/s ausbreitet, aus der TWT berechnet. Die horizontale Achse wird als Entfernungsachse skaliert. Für zahlreiche Zeit- bzw. Entfernungsintervalle innerhalb der Profile fehlen Seismogramme, wodurch es zu Datenlücken in den Abbildungen kommt. Mit Hilfe der Funktion „Jump Gap“ werden alle Datenlücken interpoliert, die kleiner als 200 m sind, und größere Lücken als weiße lineare Unterbrechungen abgebildet.

Im Weiteren werden die verschiedenen Optionen, die SeNT zum graphischen und numerischen Prozessieren der Daten vorsieht, auf den Datensatz angewendet und getestet. Dabei handelt es sich um die Anwendungen

- „Clip“ (Amplitudennormierung),
- „Subtract Noise“,
- „Subtract negative Flanks“,
- „Time Domain Filter“ / „Frequency domain Filter“.

Mit dem Befehl „Clip“ wird eine Amplitudennormierung durchgeführt. Es wird ein „Clip Value“ in [mV] angegeben, oberhalb dessen die Amplituden abgeschnitten bzw. mit Maximalwert angezeigt werden. Die Farbskala wird auf den darunterliegenden Bereich angewendet. Auf diese Weise werden tiefer liegende schwache Reflektoren deutlicher abgebildet (*Abbildung 2*). Je geringer der „Clip-Value“ gesetzt wird, umso größer ist die Tiefe, bis zu der Reflektoren erkannt werden können. Wird er allerdings zu gering angesetzt, werden die oberen Reflektoren zu dunkel abgebildet und lassen sich nicht mehr differenzieren.

In den Profilen liegt ein Grundrauschen vor, das mit dem Befehl „Subtract Noise“ unterdrückt werden kann. Dabei wird eine variable Zahl an Pixeln vorgegeben. Der Amplitudenwert der Pixel von oben abgezählt wird für jede Pixelspalte gemittelt. Er wird von den Amplitudenwerten der restlichen Pixel der jeweiligen Spalte abgezogen. So wird der Rauschpegel reduziert und die Abbildung aufgehellt. Befinden sich allerdings lokale Störsignale hoher Amplitude in der Wassersäule, wird der zugehörigen Pixelspalte fälschlicher Weise ein zu hoher Wert abgezogen.

Durch die Anwendung „Subtract Negative Flanks“ werden die abfallenden Flanken der absoluten Amplituden im Profil weiß dargestellt. Dies führt zu einer besseren Differenzierung von Sedimentschichten. Durch den erhöhten Weißanteil treten transparente Zonen jedoch leicht in den Hintergrund.

SeNT bietet zur numerischen Bandpass-Filterung der Daten den „Time Domain Filter“ und den „Frequency Domain Filter“ an. Durch die Eliminierung von besonders hohen und niedrigen Frequenzen soll das Signal-Rausch-Verhältnis erhöht werden. Beim „Time Domain Filter“ wird ein Frequenzintervall gewählt, welches bei einer 4 kHz Frequenz in der Regel von 2-6 kHz reicht. Beim „Frequency Domain Filter“ werden zuzüglich zwei weitere Intervalle festgelegt, in denen noch ein Anteil der Frequenzen als Nutzfrequenz erkannt wird, welcher je zu den Extremen hin abnimmt. Bei einer 4 kHz Frequenz liegen die Grenzen in der Regel um 1,5 kHz, 2 kHz, 6 kHz und 6,5 kHz.

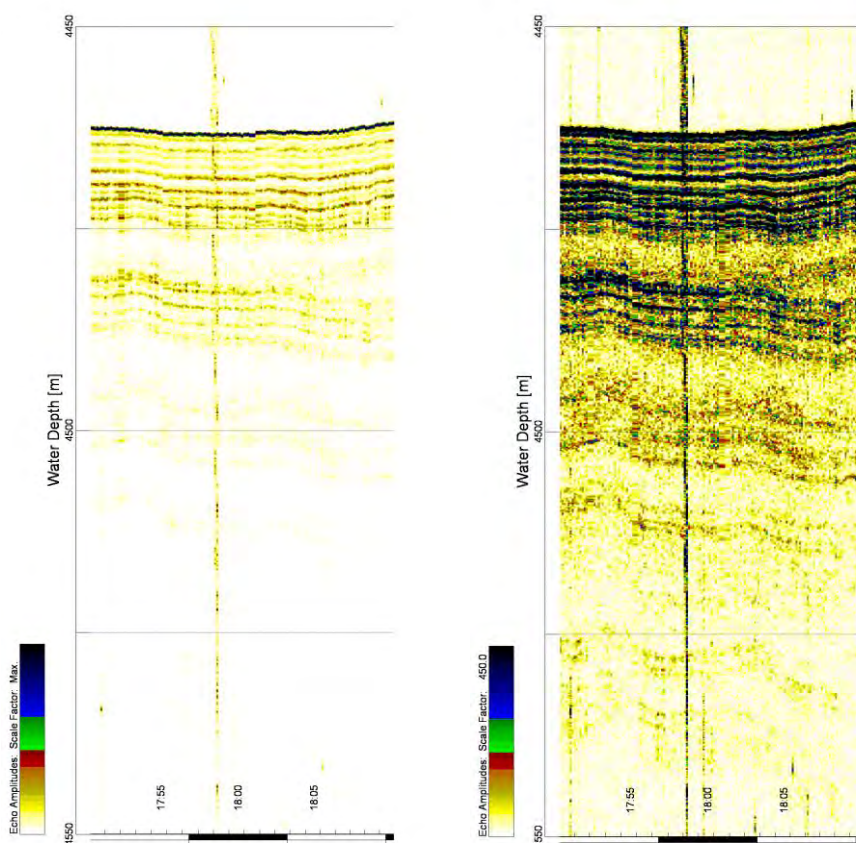


Abbildung 2: Ausschnitt aus einem Parasound-Profil mit Normierung auf die Maximalamplitude (links) und nach der Amplitudennormierung auf 450 mV (rechts). Nach der Amplitudennormierung sind tiefer liegende Reflektoren zu erkennen.

Nach eingehender Prüfung wurde für den vorliegenden Datensatz lediglich die Amplituden-normierung durchgeführt, welche 450 mV beträgt. Die Option „Subtract Noise“ wurde auf Grund der zahlreichen Störungen in der Wassersäule verworfen, um laterale Verfälschungen im Profil zu vermeiden. Auch von einer Unterdrückung der negativen Flanken wurde abgesehen, da die auf 450 mV normierten Profile eine hinreichende Differenzierung der einzelnen Schichten aufwiesen und die zu kartierenden transparenten Zonen ohne die Anwendung deutlicher hervortraten. Auch eine Bandpass-Filterung bewirkte keine weitere Verbesserung der Abbildungsqualität, sondern ließ an einigen Stellen echte Reflektoren schwächer erscheinen.

Zur weiteren Datenauswertung werden zunächst die gesamten Profile (P1 – P14) mit einem Tiefenbereich von 3975 bis 4560 m und einer vertikalen Überhöhung von 24, und des Weiteren Profilausschnitte des zentralen Beckens mit einem Tiefenbereich von 4425 bis 4560 m und einer vertikalen Überhöhung von 64 abgebildet.

2.5 Darstellung der kleinskaligen Bathymetrie entlang von Profilen

Um zu erkennen, ob das *Narrow Beam System* die Meeresbodenoberfläche genauer wiedergibt als die *Secondary Low Frequency*, werden für ein Profil zunächst die entsprechenden Header-Werte aus der Profildatei in SeNT exportiert.

Zudem werden die Meeresbodensignale des Fächerecholots *Kongsberg EM120* entlang des Profils dargestellt. Dazu werden die Schiffskoordinaten entlang des Parasound-Profiles aus dem Header exportiert. Mit Hilfe von *Generic Mapping Tools* (GMT) kann so aus dem Bathymetrie-Grid eine Datei ausgegeben werden, welche entlang des Profils die Tiefe zu den Koordinaten wiedergibt.

Beide Tiefenkurven werden mit dem Programm Grapher erstellt und über das Profil gelegt.

2.6 Kartierung

Ziel der Kartierung ist es, die charakteristischen Reflexionsmuster aus den Profilen zusammenfassend darzustellen. Die transparenten Zonen sollen eingezeichnet und ihre geographische Verteilung betrachtet werden. Dabei wird untersucht, ob transparente Zonen auch auf Profilschnittpunkten liegen und so aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden können. Des Weiteren sollen, soweit vorhanden, Untergrundstrukturen wie rezente Tektonik

oder Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung in die Karte mit einbezogen werden. Die Erstellung der Karte erfolgt mit der Software GMT.

3 Ergebnisse

Die prozessierten Profile weisen mehrere Besonderheiten wie Rutschungen und verschiedenartige transparente Zonen auf. Der Meeresboden ist jedoch häufig von Hyperbeln verdeckt. Die Bathymetrie des Fächerecholots kann in diesem Fall dazu genutzt werden, die Meeresbodenoberfläche genauer abzubilden. Eine Kartierung von „North Pond“ anhand der Parasound-Daten ermöglicht die Angabe mehrerer Profilkreuzungen an transparenten Zonen.

3.1 Beschreibung der Profile

Die SW-NE-Profile (1 - 11) sind mit Ausnahme von Profil 3 zwischen 18,2 und 19,6 km lang. Profil 3 ist auf Grund eines Datenausfalles nur 10,3 km lang. Die NW-SE-Profile (12 - 14) liegen bei 11,3 - 11,9 km Länge.

Die Profile haben eine Eindringtiefe bis 80 m im zentralen Beckenbereich (*Abbildung 3, Abbildung 4*). Im Randbereich der Profile, an den Hängen des Sedimentbeckens, treten Hyperbeln auf, unter denen kaum oder keine weiteren Reflektoren zu erkennen sind. Auch im zentralen Becken sind an einigen Stellen Hyperbeln zu verzeichnen. Im Weiteren wechseln sich Schichtpakete mit transparenten Lagen ab. Zudem sind vermehrt vertikale transparente Zonen zu erkennen. In den Profilen treten rhythmische Störsignale auf, welche als kurze Striche zeitversetzt in der Wassersäule erscheinen. Zudem sind weitere durchgehende Störsignale vorhanden, welche keine Systematik aufweisen und sich häufig durch die gesamte Wassersäule und das darunterliegende Sediment durchziehen.

Im zentralen Becken liegen Sedimentpakete vor, welche in allen Profilen gleichermaßen abgebildet werden. Das oberste Sedimentpaket ist 12 m mächtig und enthält Schichten von wenigen Dezimetern Mächtigkeit (*Abbildung 5*). Die Reflektoren weisen meist einen scharfen Kontrast voneinander auf.

Dem Schichtpaket ist ein Bereich schwächerer Amplituden unterlagert. Der transparente Abschnitt hat eine Mächtigkeit von 5 m im NE und 7 m im SW. In diesem Bereich befindet sich auch ein Rutschungskörper, der mit mittelstarken Amplituden abgebildet wird, und von SW nach NE auskeilt. In Profil 10, das am zentralsten liegt, ist er mit ca. 5 km Länge am weitesten ins Beckeninnere zu verfolgen. Des Weiteren tritt er mit geringerer Ausdehnung in den Profilen P4, P5, P6, P8, P9 und P11 auf (*Tabelle A2*).

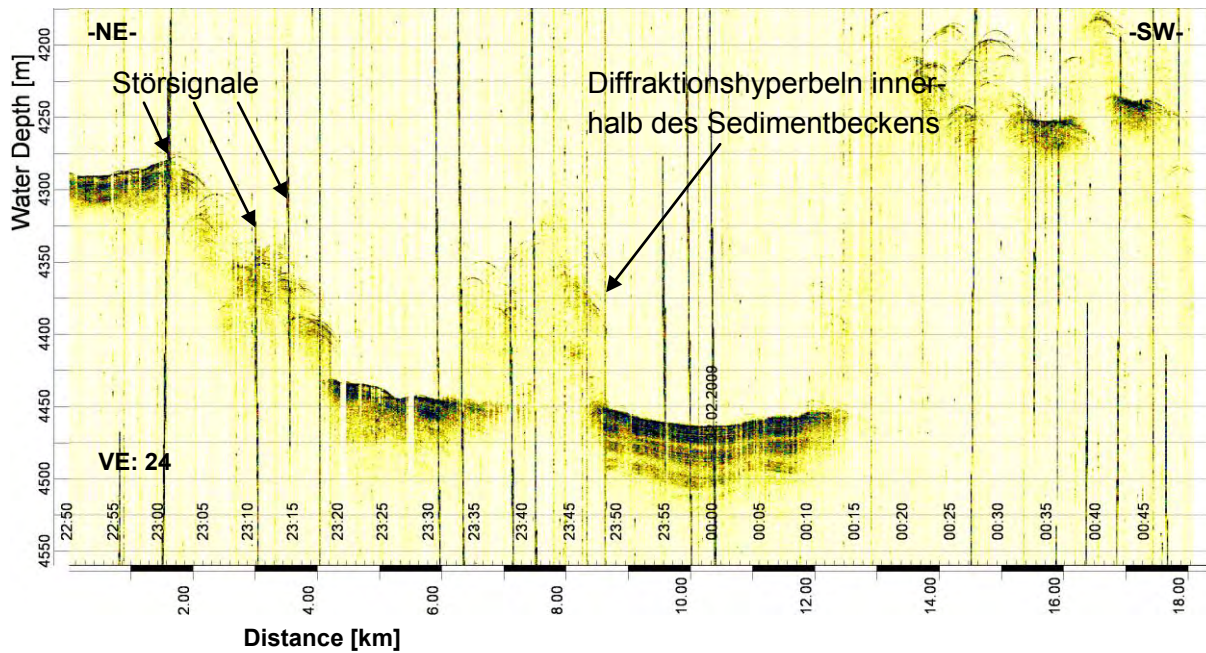


Abbildung 3: Parasound-Profil 2. An Hängen und an einer Stelle im Sedimentbecken sind Hyperbeln zu erkennen. In der Wassersäule befinden sich Störsignale.

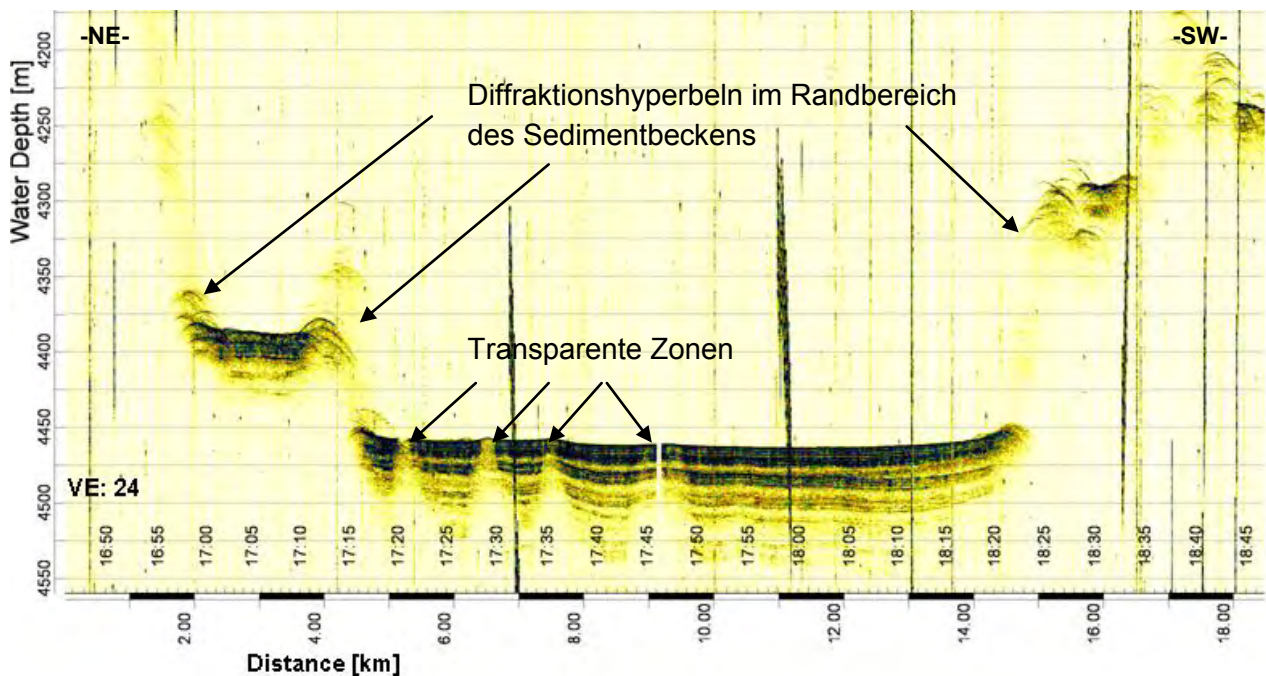


Abbildung 4: Parasound-Profil 10. Diffraktionshyperbeln am Rand von „North Pond“ und transparente Zonen im zentralen Becken.

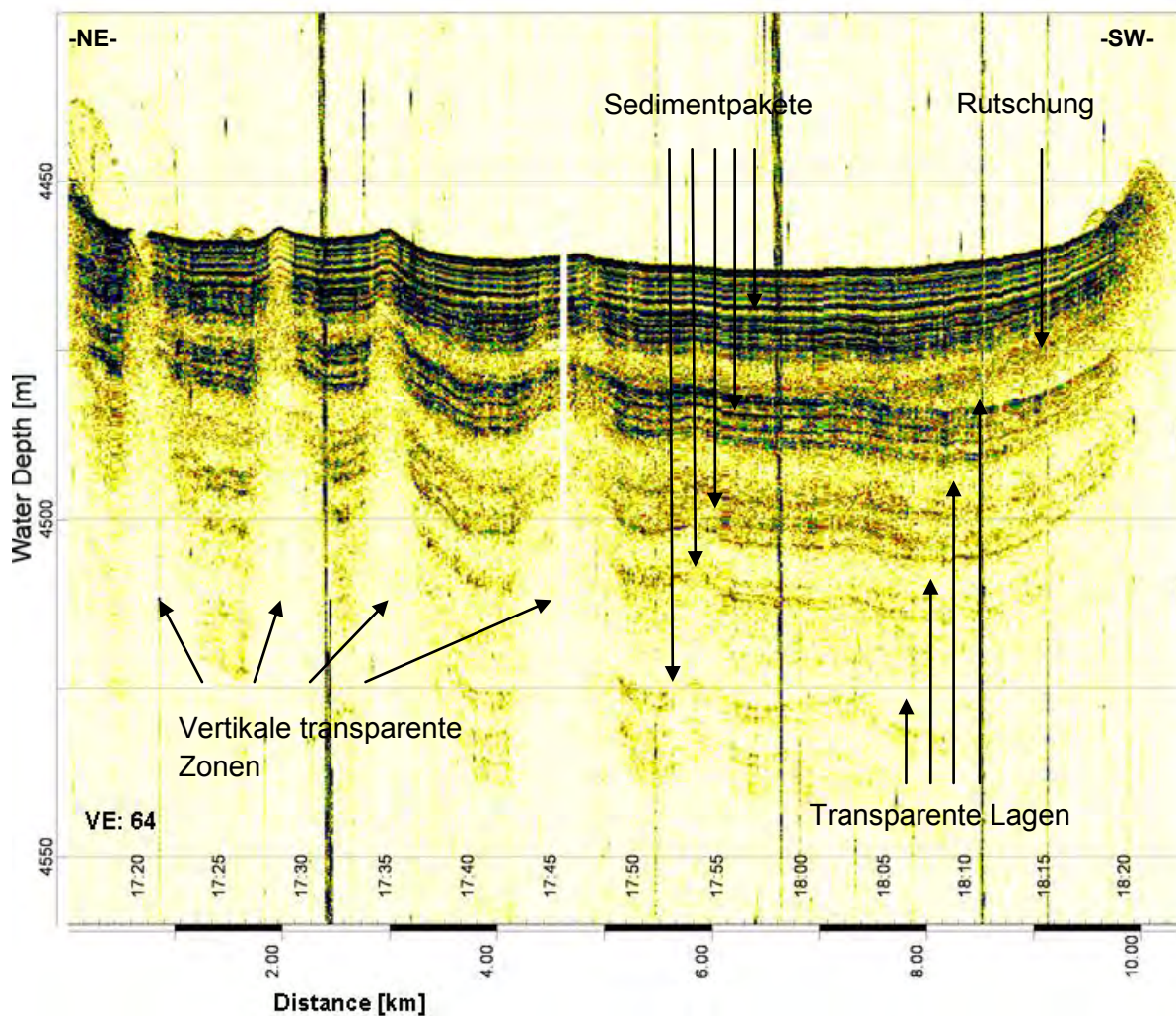


Abbildung 5: Profilausschnitt von Parasound-Profil 10. Sedimentpakete wechseln sich mit transparenten Lagen ab. Es treten vertikale transparente Zonen und eine Rutschung in SW-NE-Richtung auf.

Ein ähnlicher Körper mittelstarker Reflexion befindet sich in Profil 2 mit NE-SW Richtung und knapp 2 km Länge und in Profil 12 in NW-SE Richtung von 2 km Länge.

Mit zunehmender Tiefe ändert sich das Reflexionsmuster der Schichtpakete. Innerhalb der Schichtpakete sind weniger Reflektoren erkennbar. Diese Reflektoren sind weniger scharf begrenzt, als in den obersten Schichten. Mit zunehmender Tiefe nimmt zudem die Stärke der Amplituden in den Profilen langsam ab.

Im Untergrund sind Aufwölbungen und Depressionen zu erkennen, welche in größerer Tiefe besonders stark ausgebildet sind und in geringerer Sedimenttiefe graduell abflachen. Am

Meeresboden sind sie zum Teil nur noch als lokale Erhöhungen im Bereich weniger Meter oder nur im Dezimeterbereich ausgeprägt. Aufwölbungen sind mit steilen Flanken relativ spitz zulaufend, während die Depressionen breiter sind.

Zum Teil befinden sich transparente Zonen unter Hyperbeln. Allerdings sind auch Gebiete ebener Bathymetrie betroffen oder über denen nur kleine lokale Erhöhungen, aber keine Hyperbeln vorliegen. Dies sind die Bereiche, in denen ausgeprägte Aufwölbungen im Untergrund vorkommen. Die transparenten Zonen erstrecken sich über Bereiche von 200 bis 2000 m. Einige beginnen direkt am Meeresboden. Andere treten erst in größeren Tiefen auf. Es können transparente Zonen erkannt werden, welche erst in 40 m Sedimenttiefe beginnen. In *Abbildung 6* sind verschiedene Typen von transparenten Zonen dargestellt.

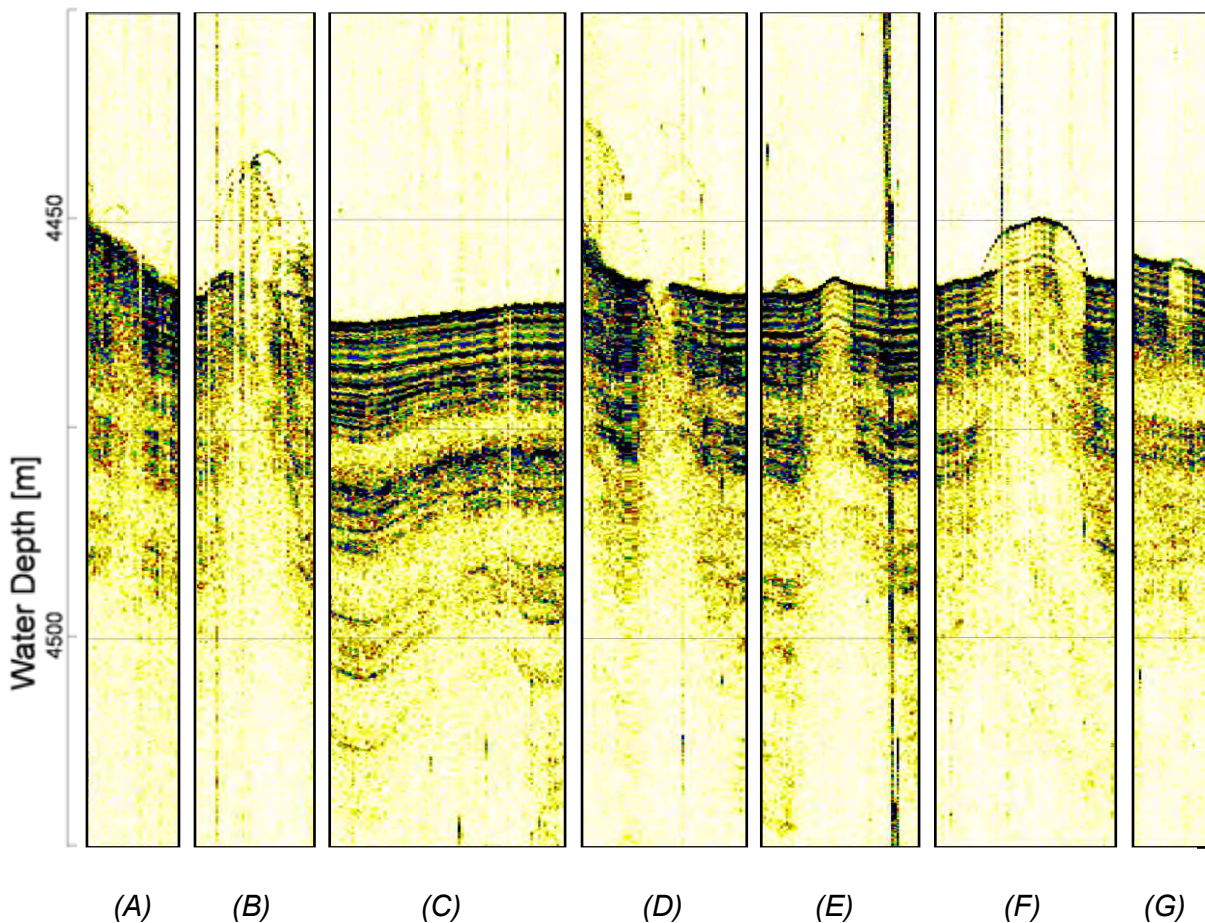


Abbildung 6: Transparente Zonen verschiedener Ausdehnung und Tiefenlage (Profile P2 (A), P4 (B), P9 (C), P10 (D), P10 (E), P11 (F), P12 (G). VE:64).

Transparente Zone Typ A (*Abbildung 6*) liegt an einem Hang und beginnt in 5 m Sedimenttiefe. Sie hat eine Ausdehnung von 200 m (NE-SW-Orientierung) Im Bereich der transparenten Zone sind keine Schichten oder Strukturen zu erkennen.

Transparente Zone Typ B (*Abbildung 6*) liegt unter einem Bereich erhöhter Topographie. (NE-SW-Orientierung) und besitzt eine Ausdehnung von ca. 500 m. Über dem unebenen Meeresboden sind Hyperbeln ausgebildet. Unter diesen kann keine Schichtung mehr nachvollzogen werden.

Transparente Zone Typ C (*Abbildung 6*) beginnt erst in 40 m Sedimenttiefe und hat eine Ausdehnung von ca. 1100 m (SW-NE-Orientierung). Der Meeresboden über der Schicht erweist sich als relativ eben. Allerdings ist bei den Sedimentschichten mit zunehmender Tiefe eine Aufwölbung zu verzeichnen, die von der transparenten Zone unterlagert wird. Es fällt zudem auf, dass die transparente Zone nicht abrupt einsetzt, sondern kleinere Transparenz-Erscheinungen schon in den überlagernden Schichtpaketen ab ca. 20 m Tiefe vorkommen.

Transparente Zone Typ D (*Abbildung 6*) beginnt am Meeresboden mit einer Ausdehnung von 200 m und vergrößert sich mit der Tiefe bis auf 700 m (NE-SW-Orientierung). Innerhalb der transparenten Zone sind keine Schichten zu verzeichnen. Der Meeresboden unmittelbar links und rechts der transparenten Zone ist relativ eben. Über der transparenten Zone und nach NE in Richtung Hang sind schwache Hyperbeln zu sehen.

Transparente Zone Typ E (*Abbildung 6*) beginnt am Meeresboden mit einer Ausdehnung von 200 m (NE-SW-Orientierung) und nimmt an Größe ebenfalls mit der Tiefe zu. Die transparente Zone liegt auf einer Aufwölbung, die in der Bathymetrie zu erkennen ist, wobei aber keine Hyperbeln abgebildet werden. In den obersten 7 m sind noch schwach Sedimentreflektoren zu sehen.

Transparente Zone Typ F (*Abbildung 6*) hat eine Ausdehnung von ca. 800 m (SW-NE-Orientierung) und beginnt direkt am Meeresboden unter einer topographischen Erhöhung. Im Gegensatz zu der transparenten Zone des Typs B ist die Meeresbodenoberfläche jedoch schwach aber durchgehend zu erkennen sowie auch die obersten fünf Meter Sediment. Allerdings liegt auch bei der transparenten Zone des Typs F ein hyperbelähnliches Echo in der Wassersäule vor. In diesem Echo sind schwache Reflexionen geschichteter Sedimente vorhanden.

Transparente Zone Typ G (*Abbildung 6*) hat eine Ausdehnung von 200 m (NW-SE-Orientierung) und reicht von der Meeresbodenoberfläche bis ca. 10 m Sedimenttiefe. Innerhalb der transparenten Zone sind teilweise schwache Reflektoren erkennbar. Auch der Meeresboden selbst wird abgebildet und scheint eben zu verlaufen. Allerdings befindet sich oberhalb der transparenten Zone ein hyperbelförmiges Echo in der Wassersäule.

Über die Profile verteilt treten kleinskalige vertikale Versätze auf (*Abbildung 7*).

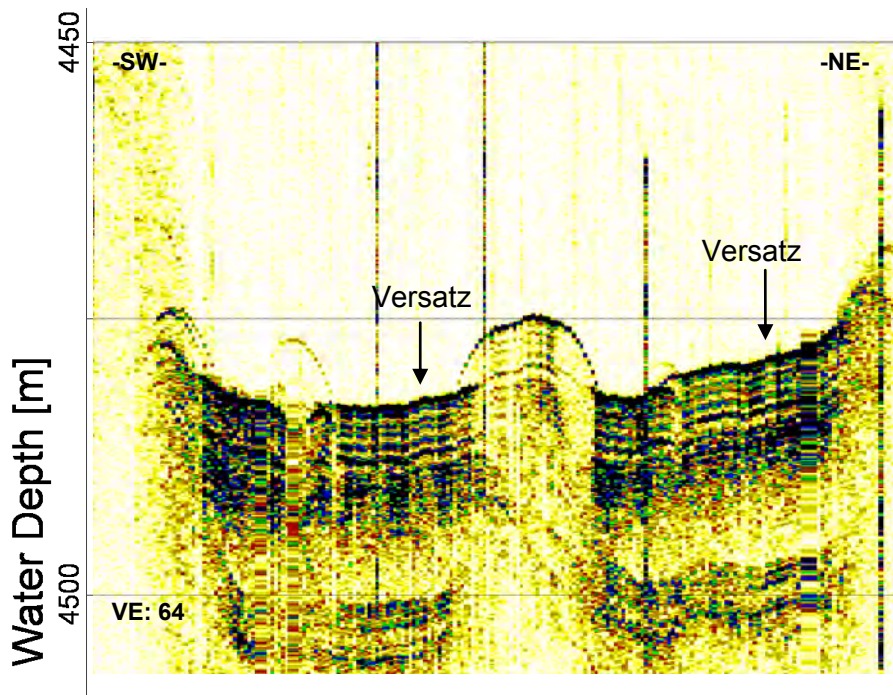


Abbildung 7: Profilausschnitt von Parasound-Profil 11. Auftritt vertikaler Versätze im Sediment (14:27 UTC und 14:17 UTC).

Alle bearbeiteten Profile (Abbildung A1 - Abbildung A15) und zugehörigen Profilausschnitte des zentralen Beckenbereiches (Abbildung A16 -Abbildung A28) können im Anhang eingesehen werden. Zudem liegt eine Karte mit Uhrzeiten entlang der Profile vor (Abbildung A29).

3.2 Beschreibung der kleinskaligen Bathymetrie entlang von Profilen

Bei der Darstellung der mit dem *Narrow Beam System* gemessenen Meeresbodentiefe über die zugehörigen Profile zeigt sich, dass im *NBS*-Signal häufig Ausreißer zu verzeichnen sind, wenn in der Wassersäule Rauschen auftritt (Abbildung 8).

In Bereichen, wo in den Parasound-Profilen nur Hyperbeln zu erkennen sind, werden vom *NBS*-Tiefensignal meist hochfrequente Tiefensprünge registriert. Dennoch werden in einigen Bereichen mit dem *NBS*-Signal topographische Änderungen besser angenähert, als im *SLF*-Profil (z. B 3:41 - 03:43 UTC). Die Daten des Fächerecholots verlaufen gleichmäßiger. Es treten keine Ausreißer auf und in Gebieten, in denen im Parasound Hyperbeln auftreten, sind leichte bis starke Hangneigungen zu verzeichnen.

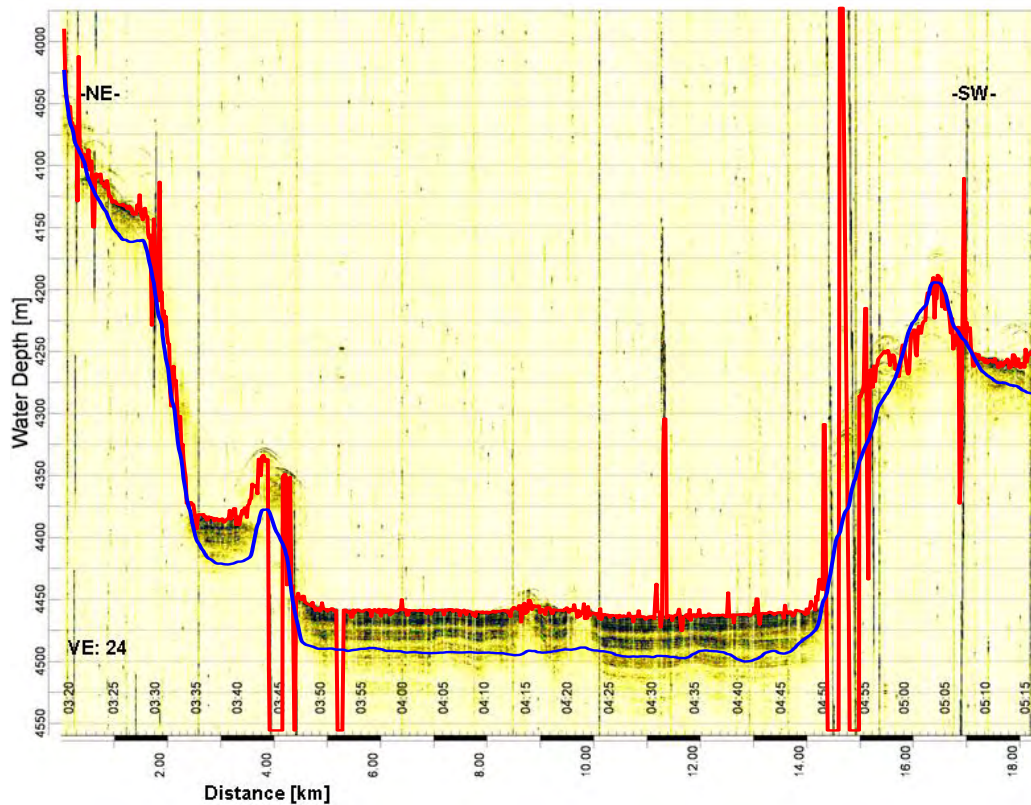


Abbildung 8: Parasound-Tiefe des Narrow Beam Systems (rot) und Fächerecholot-Tiefe (blau) über Profil 4. Der Offset beträgt bis zu 30 m. Die Parasound-Tiefe weist zahlreiche Ausreißer auf.

Zwischen der Parasound-Tiefe und der Fächerecholot-Tiefe ist ein variierender Offset festzustellen. Am größten ist dieser im zentralen Sedimentbecken, wo er Werte um 40 m annimmt.

3.3 Kartierung

Die Kartierung auf Grundlage der Parasound-Profile ergibt ein zusammenfassendes Bild über die Lage der transparenten Zonen und den Verlauf von Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung (Abbildung 9).

Dabei fällt besonders die Rutschung in SE-NW-Richtung auf, deren Ursprungsgebiet der gesamte SE-Hang ist. Die zwei weiteren Rutschungen, die auf Profil 2 und 12 zu verzeichnen sind, liegen ebenfalls in der Nähe von Hangbereichen.

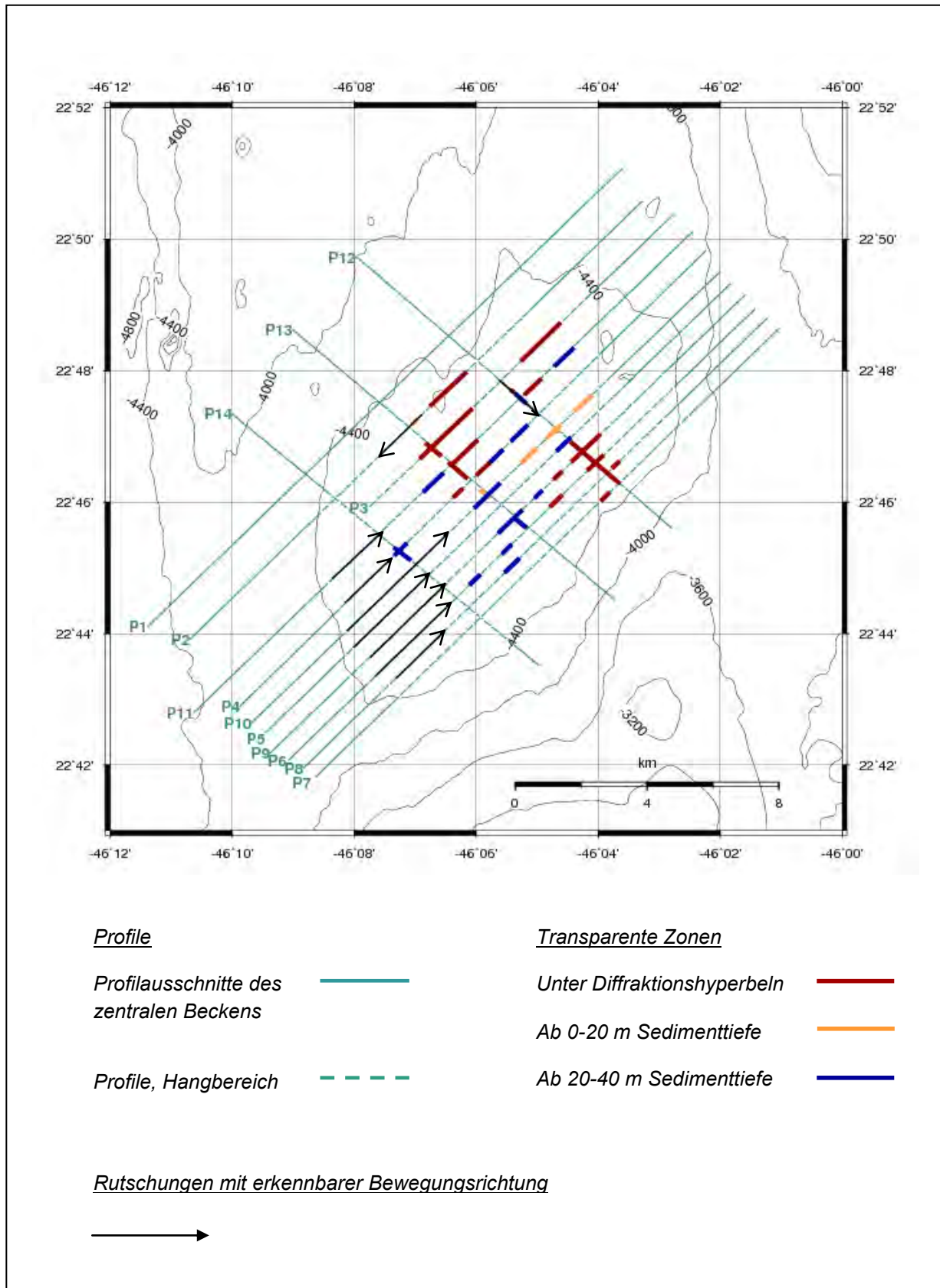


Abbildung 9: Karte der transparenten Zonen und Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung.

Die transparenten Zonen wurden in drei Kategorien eingeteilt: (1) transparente Zonen unter Diffraktionshyperbeln (*Tabelle A3*), (2) transparente Zonen, die nicht unter Hyperbeln liegen, aber trotzdem direkt ab dem Meeresboden oder in den obersten 20 m Sediment zu erkennen sind (*Tabelle A4*) und (3) transparente Zonen, die erst ab einer Sedimenttiefe zwischen 20 und 40 m zu sehen sind (*Tabelle A5*). Dabei handelt es sich um vereinfachte Kategorien, da auch zahlreiche Mischformen vorkommen. Deutlich wird dies beispielsweise am Schnittpunkt von Profil 10 und 13. Auf Profil 13 ist die transparente Zone kleiner, aber tritt schon direkt am Meeresboden auf. Die transparente Zone auf Profil 10 ist breiter und beginnt im Schnitt bei 30 m Sedimenttiefe. Allerdings ist darüber schon eine graduelle Abnahme der Amplituden zu erkennen (*Abbildung 10*). Am Schnittpunkt der Profile liegt die transparente Zone in 15-20 m Sedimenttiefe. Insgesamt kommen vier Profilkreuzungen an transparenten Zonen unter Hyperbeln (*Tabelle A6*) und vier Profilkreuzungen an transparenten Zonen ohne Hyperbeln (*Tabelle A7*) vor.

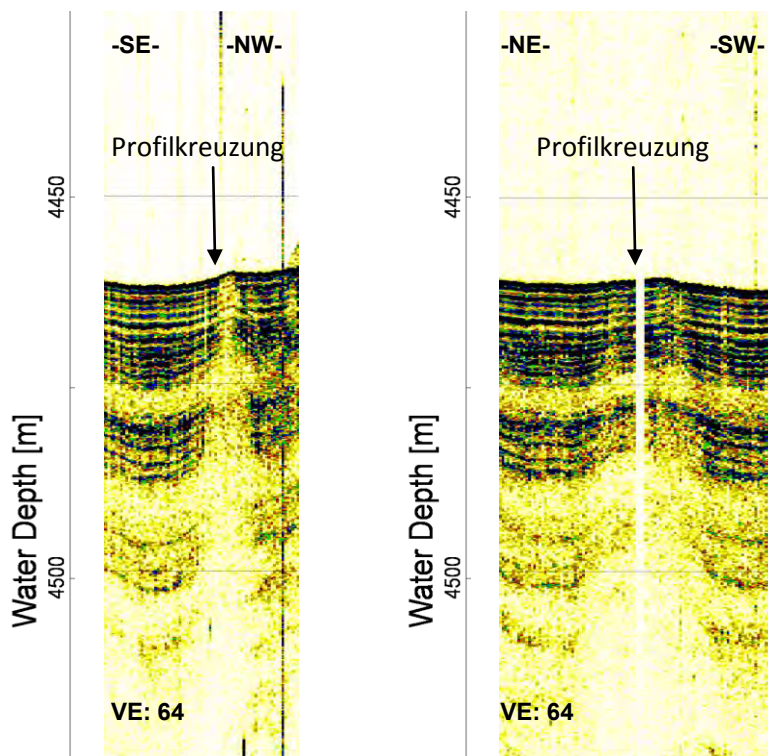


Abbildung 10: Transparente Zone aus verschiedenen Perspektiven. In SE-NW-Richtung (Profil 13) tritt die transparente Zone direkt am Meeresboden auf; in NE-SW-Richtung (Profil 10) beginnt diese mit graduelltem Übergang erst in den darunter liegenden Sedimentpaketen. An der Profilkreuzung liegt die transparente Zone in 15-20 m Sedimenttiefe. Die transparente Zone weist verschiedene Ausdehnung in den Anschnitten auf.

Transparente Zonen sind über das gesamte Becken verteilt. Sie befinden sich allerdings vermehrt im zentralen bis nordöstlichen Bereich. Von den transparenten Zonen unter Hyperbeln abgesehen liegen mehr transparente Zonen vor, die in einer Sedimenttiefe unter 20 m beginnen. Die wenigen oberflächennahen transparenten Zonen ohne Hyperbeln sind im Bereich des zentralen Profils 10 vorhanden und eine einzelne kleine transparente Zone nahe des nordwestlichen Hanges.

4. Diskussion

In der folgenden Diskussion werden zunächst Auflösung und Genauigkeit der Parasound-Profile besprochen sowie Artefakte in den Abbildungen erörtert. Im Weiteren sollen mögliche Sedimentationsprozesse und die Herkunft der transparenten Zonen diskutiert werden.

4.1 Auflösung, Genauigkeit und Artefakte der Parasound-Profile

Die vertikale Auflösung von seismischen Profilen beträgt ca. 1/4 der Wellenlänge des abgestrahlten Signals (Yilmaz, 2001). Für das 4 kHz Signal des Parasound-Sedimentecholotes beträgt die Wellenlänge $(1500 \text{ m/s}) / (4000 \text{ 1/s}) = 37,5 \text{ cm}$. Damit ist von einer vertikalen Auflösung von 9,4 cm auszugehen.

Die laterale Auflösung des vorliegenden Datensatzes wird durch die Fresnel-Zone definiert (Yilmaz, 2001). Innerhalb der Fresnel Zone betragen die Laufwegunterschiede der reflektierenden Fläche weniger als 1/4 der Wellenlänge. Zwei Reflexionspunkte, die sich innerhalb der Fresnel-Zone befinden, können vom Empfänger nicht unterschieden werden. Der Radius der Fresnel-Zone wird berechnet durch

$$R = (z * \lambda / 2)^{1/2},$$

wobei

z = Tiefe,

λ = Wellenlänge des abgestrahlten Signals.

Bei einer Wassertiefe von 4450 m und einer Wellenlänge von 37,5 cm beträgt der Radius der Fresnel-Zone 28,9 m und die laterale Auflösung 57,8 m (Durchmesser der Fresnel-Zone).

Durch den relativ kleinen „Footprint“ des Parasound Sedimentecholots wird der Beitrag der Fresnelzone zur gesamten Reflexionsenergie im Vergleich zu herkömmlichen 4 kHz Echoloten erhöht (Spieß, 1993). Zudem werden auch vergleichsweise weniger Seitenechos aufgezeichnet. Bei 4450 m Wassertiefe beträgt der „Footprint“ ca. 450 m.

Die laterale Auflösung reicht mit 57,8 m nicht aus, mögliche rezente Tektonik, speziell Störungen im Meter- bis Zehnermeterbereich, zu visualisieren. Es werden zwar über die Profile

verteilt kleine vertikale Versätze beobachtet (*Abbildung 7*), diese fallen allerdings nur so gering aus, dass es sich auch um lokale Steigungen handeln könnte.

Die Berechnung der Tiefe mit konstanter Geschwindigkeit von 1500 m/s verursacht einen leichten Fehler in der Bathymetrie und bei der Darstellung der Mächtigkeit der Schichten. Wird z.B. von einer Geschwindigkeitserhöhung von 1500 m/s an der Meeresbodenoberfläche auf 1550 m/s im tieferen Sediment ausgegangen, beträgt der Fehler ca. 3%. Damit ist er so gering, dass der sich ändernde Abstand der Reflektoren mit der Tiefe nicht mit dem wachsenden Fehler der Tiefenskala in Verbindung gebracht werden kann.

Mit der Tiefe schwächen die Reflektorsignale jedoch auf Grund der Abnahme der vom Schallwandler empfangenen Energie ab. Es werden nur noch die ausgeprägtesten Impedanzkontraste abgebildet. Die transparenten Lagen in den Schichtpaketen fallen in den Parasound-Profilen vermutlich mit der Tiefe mächtiger aus, da weitere darin enthaltene Lagen auf Grund der Amplitudenabschwächung nicht mehr registriert werden können.

In den Parasound-Profilen treten verschiedene Artefakte auf. Dabei handelt es sich um

- Störsignale in der Wassersäule (rhythmisch und arithmisch),
- Diffraktionshyperbeln und Seitenechos,
- Fehler durch Interpolation.

Die rhythmischen Störsignale stammen von Air-Gun-Schüssen des parallel geführten seismischen Surveys. Zudem könnten weitere Störsignale auf vom Schiff produzierte Gasblasen zurückgehen.

Bei einer Steigung von ca. 2° sind Untergrundstrukturen durch Rauschen und Hyperbeln verdeckt. Treten die Hänge seitlich der Profile auf, so kann auch von dort Rückstreuung stattfinden, wodurch Seitenechos entstehen.

Um eine flächendeckendere Abbildung zu erhalten wurden Datenlücken in den Parasound-Profilen ab 200 m interpoliert. Die Charakterisierung des Untergrundes ist demnach mit einem möglichen Fehler behaftet. Besonders deutlich tritt dieser hervor, wenn Störsignale in der Wassersäule auftreten und diese dadurch verstärkt werden. Zudem können durch die Interpolation vertikale Versätze entstehen, da die Pixel zum graduellen Übergang fehlen.

4.2 Diskussion der kleinskaligen Bathymetrie

Das *NBS* pickt die Meeresbodentiefe nach dem ersten starken Reflexionssignal. Wenn kein starkes Reflexionssignal auftritt, pickt das *NBS* ein beliebiges schwächeres Reflexionssignal, das ungefähr in der Tiefe der vorhergehenden Tiefenwerte liegt. Die größten Ausreißer der *NBS*-Tiefenkurve treten daher meistens bei starken Störsignalen oder in Bereichen geringer Rückstrahlung auf Grund von Diffraktion auf. Da teilweise jedoch auch realitätsnahe Bathymetrie unter den Hyperbeln im Parasound-Profil erfasst wird, kann die *NBS*-Tiefenkurve ergänzend zu den *SLF*-Profilen zur Tiefenbestimmung benutzt werden.

Das Fächerecholot ist die zu präferierende Methode der Bathymetriebestimmung, da der Meeresboden auch an Aufwölbungen im Sediment, an den steilen Hängen und unabhängig von den Störsignalen in der Wassersäule hochauflösend dargestellt werden kann.

Bei der Tiefe handelt es sich um eine Funktion der Zeit und Ausbreitungsgeschwindigkeit. Die beim Parasound benutzte Wasserschallgeschwindigkeit ist mit 1500 m/s konstant. Beim *EM120* Fächerecholot wurde ein wassertiefenabhängiges Schallprofil aus einer CTD Messung zur Bestimmung der Tiefe benutzt, um ein genaueres Ergebnis zu erzielen. Die Differenz zwischen den Tiefenkurven von bis zu 40 m geht daher auf die verschiedenen Geschwindigkeitsmodelle zurück.

4.3 Vergleich eines Parasound- mit einem Seismikprofil

Die Seismik-Daten der GI-Gun haben den Vorteil einer tieferen Eindringung im Vergleich zum Parasound-Sedimentecholot. Die Seismik wird hier anhand des Profils 10 betrachtet und mit den Parasound-Daten verglichen, um im Weiteren Sedimentationsprozesse und die Entstehung von transparenten Zonen zu ergänzen.

In der Seismik werden Strukturen bis zu 200 m unter den Meeresboden abgebildet (*Abbildung 11*). Unter den Sedimenten ist das Basement zu sehen. Dieses liegt im NE bei 100 bis 200 m Tiefe und im SW bei ca. 300 m Tiefe. Im Bereich des Basements werden zahlreiche Hyperbeln abgebildet. Die Abbildung reicht aber aus, um zu erkennen, dass die mit geringerer Sedimenttiefe abflachenden Aufwölbungen und die transparenten Zonen in Bereichen erhöhter Basementtopographie vorkommen.

Bei dem Vergleich des Parasound-Profiles mit dem entsprechenden GI-Gun-Profil können zum Teil dieselben transparenten Zonen erkannt werden. Die transparenten Zonen reichen

bis zum Basement hinunter. In dem GI-Gun-Profil liegt auch eine transparente Zone vor, die erst ab einer Sedimenttiefe größer als 40 m beginnt.

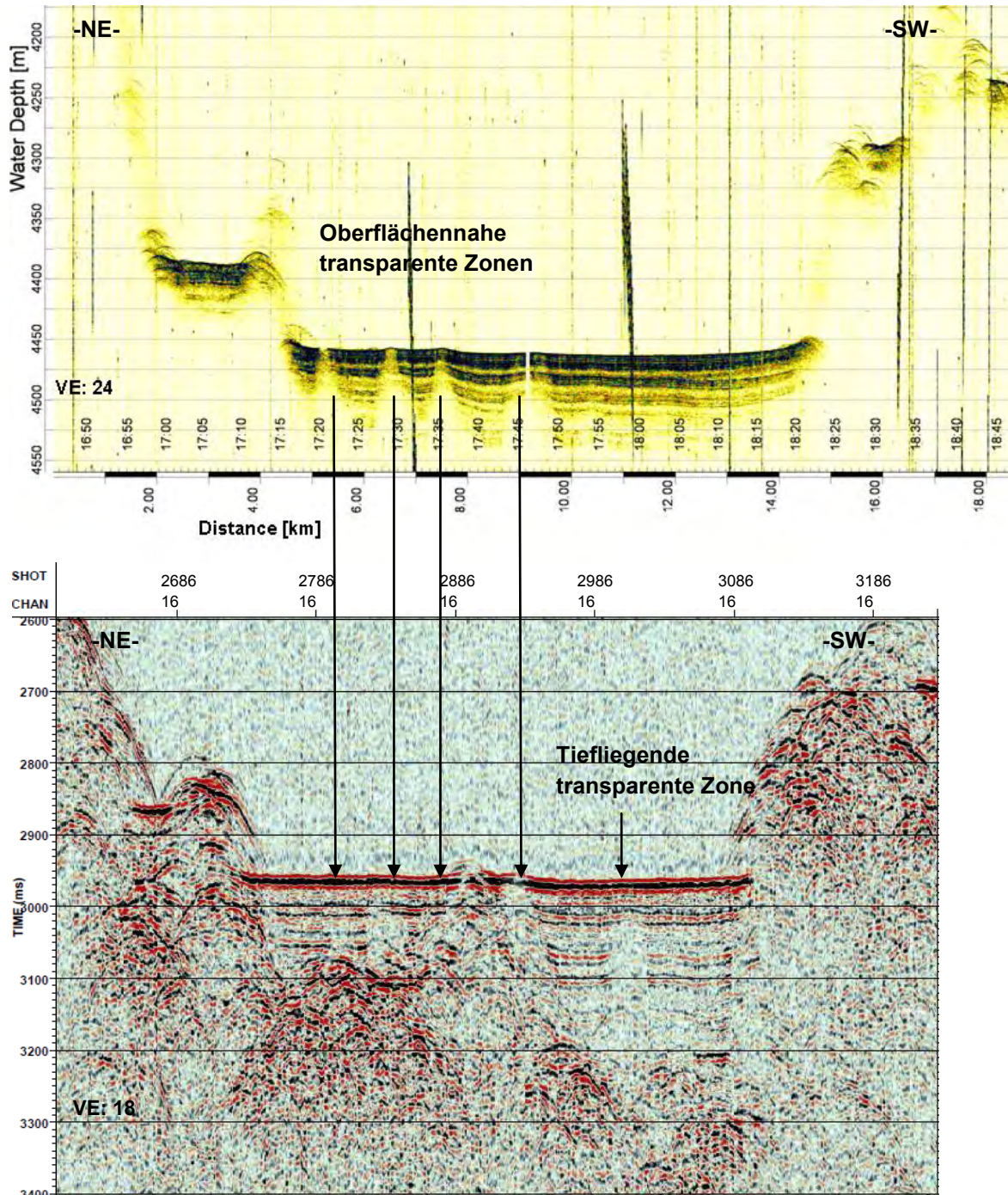


Abbildung 11: Vergleich des GI-Gun-Profiles 4 (unten) mit dem Parasound-Profil 4 (oben). Oberflächennahe transparente Zonen können sowohl in der Seismik als auch im Parasound registriert werden. Transparente Zonen, die in mehr als 40 m Sedimenttiefe beginnen, können nur in der Seismik erkannt werden. Die transparenten Zonen liegen in Bereichen erhöhter Basementtopographie.

Auf Grund des größeren „Footprints“ in der Seismik kommen an Schusspunkt 2886 Seitenechos vor, welche beim Parasound nicht registriert werden.

4.3 Ablagerungsprozesse

Die Hauptablagerungsmuster, welche in den Parasound-Profilen abgebildet werden, sind zum einen Schichtpakete mit scharf begrenzten Reflektoren und zum anderen Hangrutschungen.

Scharf begrenzte Reflektoren treten dort auf, wo es zu einem plötzlichen Impedanzkontrast kommt (Spieß, 2001). Die Impedanz wird beschrieben durch

$$I = \rho * v,$$

wobei

ρ = Dichte des beschallten Mediums,

v = Ausbreitungsgeschwindigkeit.

In einer Seismogramm-Darstellung (*Abbildung 12*) wird ein Ausschnitt eines Schichtpaketes abgebildet. Die hohen Amplituden weisen auf plötzlich auftretende neue Sedimentationsergebnisse hin. Dabei handelt es sich vermutlich um Sedimente, die durch Hangtransport im Sedimentbecken abgelagert wurden, wie z.B. Turbidite. Dies steht im Einklang mit den im Untersuchungsgebiet erbohrten Kernen, welche neben Nannofossilschlamm auch 20-40 cm mächtige gradierte Foraminiferenschlamm- und Sandlagen aufwiesen. In den Seismogrammen taucht nur die Basis der Turbidite als Reflektor auf.

Die Gradierung innerhalb der Turbidite erzeugt keine Reflektionen, da die Korngrößen graduell kleiner werden und damit auch die Porosität nur graduell zunimmt. Zwischen dem oberen Bereich des Turbidites und einer möglicherweise darauf folgenden ungestörten Ablagerung von Nannofossilschlamm kann in der Seismogramm-Abbildung nicht unterschieden werden. Der Abstand der Turbiditeinsätze variiert. Im vorliegenden Seismogrammbeispiel beträgt der Abstand der 1. mit der 2. Turbiditbasis 2 m und der Abstand von der 2. zur 3. Turbiditlage und 1,5 m. An der vorliegenden Lokation sind die Turbiditlagen mächtiger als die 20-40 cm mächtigen Lagen, die an den untersuchten Kernen ermittelt wurden.

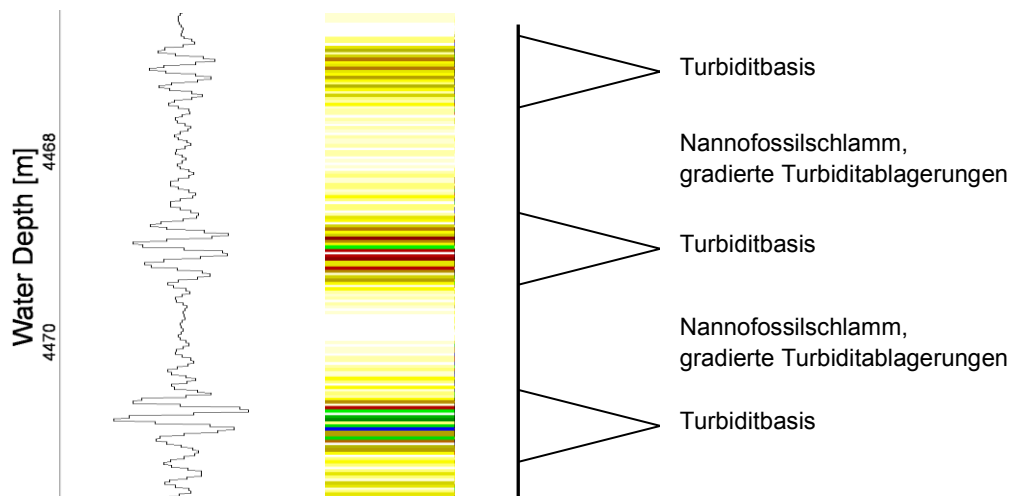


Abbildung 12: Seismogramm als Wiggle-Plot (links) neben dem entsprechenden Parasound-Profilausschnitt (mitte). Hohe Amplituden zeigen Turbiditbasen an. Kleine Amplituden können durch gradierte Turbiditablagerungen und Nannofossilschlamm entstehen.

Bei den transparenten Lagen zwischen den Sedimentpaketen handelt es sich vermutlich um Rutschungen, die in verschiedene Richtungen orientiert sind. Das Material innerhalb der Rutschungen ist gut durchmischt, wodurch diese transparent erscheinen. Treten Rutschungen übereinander auf, können diese untereinander eine leichte Änderung des Impedanzkontrastes aufweisen. Es können nur die Bewegungsrichtungen der Rutschungskörper erkannt werden, die parallel zur Profilebene verlaufen. Ein Beispiel dafür ist die große Rutschung vom SE-Hang nach NW. Sie bedeckt bei einer gemittelten Länge von 3,3 km und einer Breite von ca. 3,6 km eine Grundfläche von 11,88 km². Bei einer Mächtigkeit von ca. 5 m kann ein Volumen von 57.600.000 m³ Sediment errechnet werden, das durch die Rutschung in NE Richtung in das Becken verfrachtet wurde.

Ob die Änderung des Reflexionsmusters mit der Tiefe sedimentologische Ursachen hat oder nur mit der Abschwächung des Reflexionssignals in Verbindung steht ist schwer zu sagen. Möglicherweise sind in größerer Tiefe auch kleinskaligere Rutschungen vorhanden, weshalb die scharfen Impedanzkontraste ausbleiben.

Durch einen Vergleich von Seismik- und Parasound-Profilen kann davon ausgegangen werden, dass die Aufwölbungserscheinungen im Sediment durch Basementtopographie bedingt sind. Auffällig ist, dass die Rutschungen, die Aufwölbungen nicht überdecken und ausgleichen. Stattdessen weisen auch die Rutschungskörper die Aufwölbungserscheinungen

auf. Es ist daher wahrscheinlich, dass sich eine Deformation in den Sedimenten nach der Ablagerung entwickelt hat. Dies könnte geschehen durch

- Gleichzeitige Aufwölbungs- und Depressionsbildung von Sediment und Basement
- Deformation, die sich nach der Ablagerung auf dem bereits Aufwölbungen aufweisenden Basement vollzogen hat.

Vor dem Hintergrund, dass die Aufwölbungen bis zur Meeresbodenoberfläche erkannt werden können und das Sediment im Becken für tektonische Zeitskalen noch relativ jung ist (7 Ma bis heute) haben sich die Aufwölbungen im 10er-Meterbereich im Basement wahrscheinlich nicht in dieser Zeitspanne entwickelt. Es muss daher von einer Deformation, die sich nach der Ablagerung auf dem bereits Aufwölbungen aufweisenden Basement vollzogen hat, ausgegangen werden.

Ein mögliches Sedimentationsmodell basiert auf der sekundären Deformation, auf Grund von Kompression durch Sedimentauflast (*Abbildung 13*).

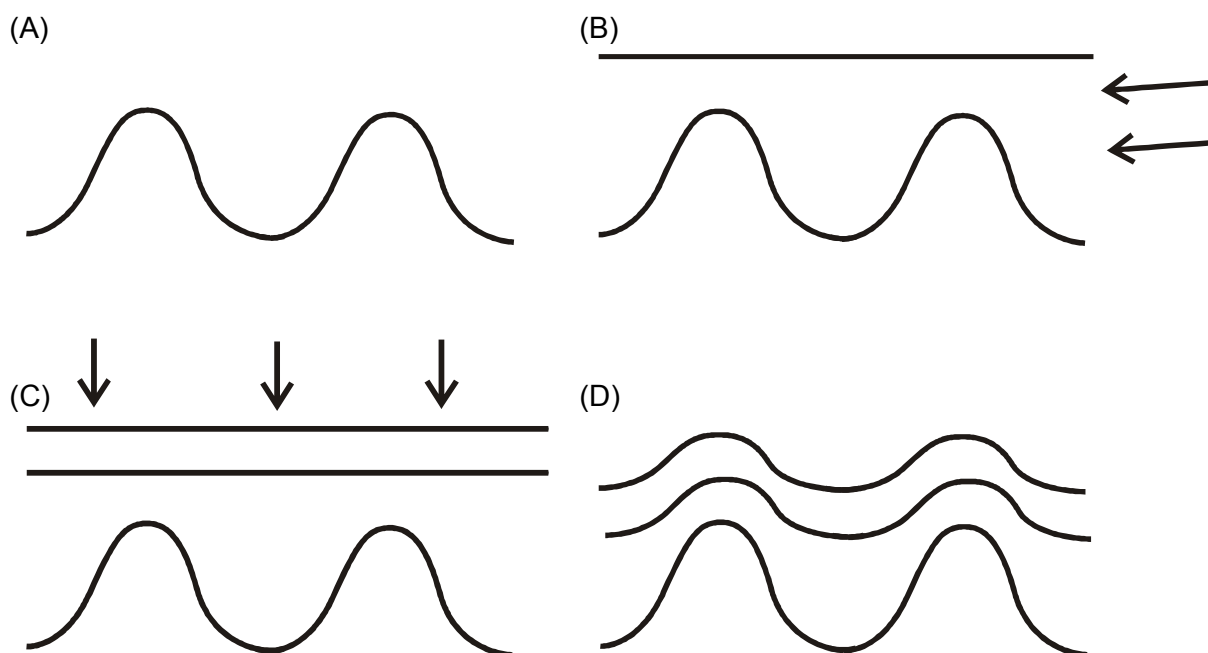


Abbildung 13: Sedimentationsmodell. Über das Basement mit Aufwölbungen (A) werden durch eine Rutschung Sedimente abgelagert und Unebenheiten ausgeglichen (B). Weitere Schichten werden abgelagert (C). Durch die Auflast entsteht Deformation (D).

Auf dem Basement wird durch eine Rutschung von einem beliebigen Hang aus Sediment abgelagert. Dabei hat die Rutschung zunächst oberflächenausgleichende Wirkung. Nachdem allerdings neue Sedimente auf dem Rutschungskörper abgelagert werden, bewirken diese durch ihre Auflast eine Kompression des unterliegenden Sediments. Das kristalline Basement behält seine Form bei, während die Bereiche mächtiger Sedimentvorkommen stärker in sich zusammensinken. Durch mehrmaliges wiederholen dieser Sedimentationsergebnisse schwächt die Depression mit der Zeit ab, bis sie an der Meeresbodenoberfläche nur noch leicht bis gar nicht mehr registriert werden kann.

Ein solches Sedimentationsmodell würde auch zu der Beobachtung passen, dass die Aufwölbungen spitz zulaufen und die Depressionen breiter ausfallen.

4.4 Entstehung von Transparenten Zonen

Transparente Zonen („Blanking Zones“) sind Zonen reduzierter Reflektionsamplitude in seismischen Profilen. Die Gründe der akustischen Transparenz wurden von Zühlsdorff (1991) diskutiert. Transparente Zonen können entstehen durch

- Artefakte,
- Topographieeffekte,
- Anreicherung von Gas,
- Streuung an lithologischen oder strukturellen Inhomogenitäten,
- physikalische Eigenschaften von Sedimenten.

Das Auftreten von Artefakten durch die Datenaufnahme und Datenbearbeitung kann ausgeschlossen werden, da die transparenten Zonen sowohl in den Parasound- als auch in den Seismikprofilen vorkommen. Zudem wurde bei der Bearbeitung der Parasounddaten vorsichtig vorgegangen und lediglich eine Amplitudennormierung vorgenommen.

Topographieeffekte bewirken transparente Zonen, indem die Energie in verschiedene Richtungen abgelenkt wird und nur noch zum Teil vom Empfänger registriert wird. Basierend auf dem Huygenschen Prinzip entstehen Diffraktionshyperbeln.

In den Parasounddaten tauchen viele dieser Hyperbeln auf. An der Bathymetrie des Fächer-echolotes können transparente Zonen den verschiedenen Aufwölbungen innerhalb des Sedimentbeckens zugeordnet und Seitenechos erkannt werden (Abbildung 14).

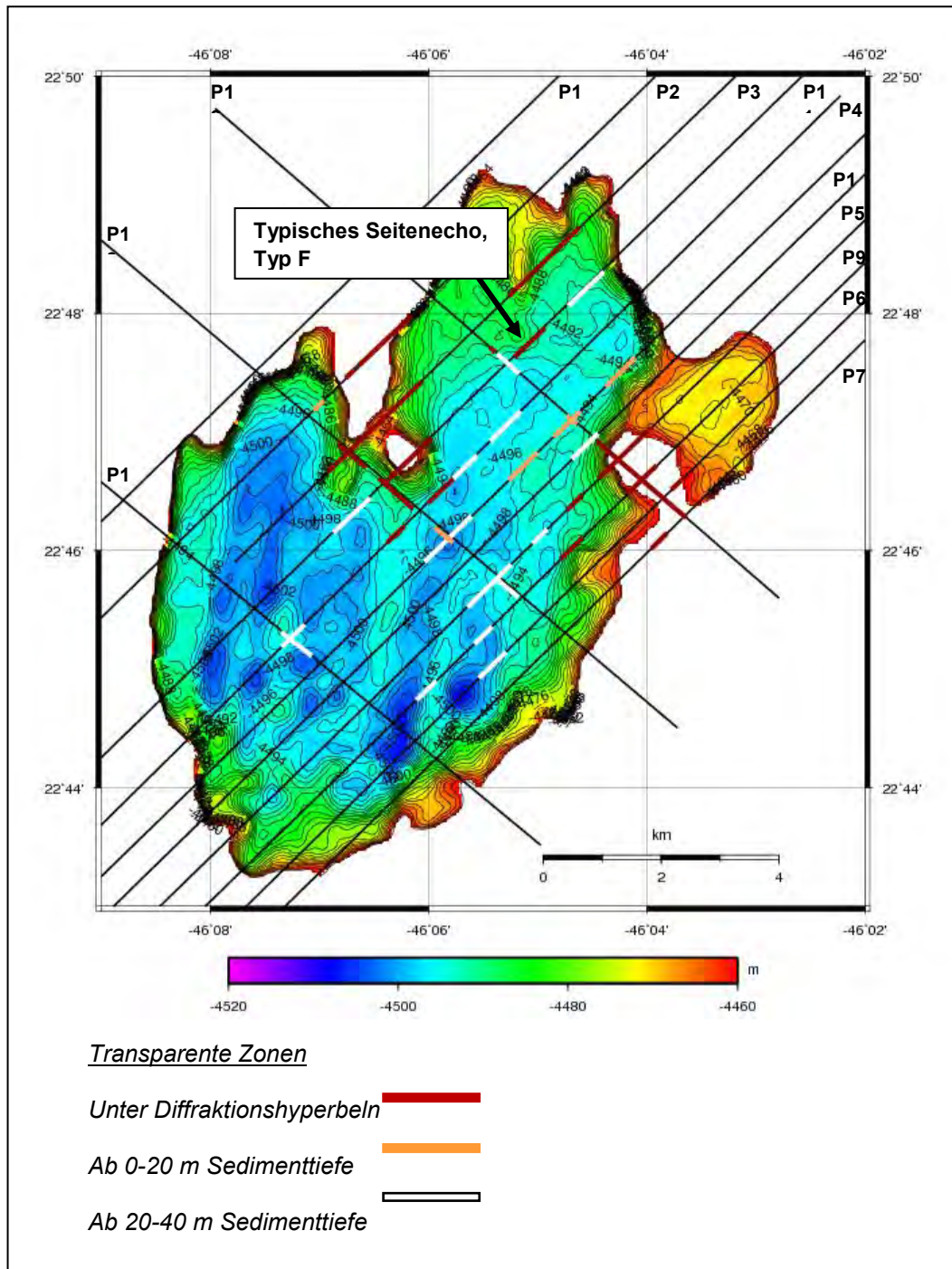


Abbildung 14: Kleinskalige Bathymetrie von „North Pond“ und transparente Zonen. Eine typische transparente Zone (Typ F) ist eingezeichnet, die durch Topographie im NE ein Seitenecho erfährt.

Beispiele für topographiebedingte Transparenz sind die Typen B und G (*Abbildung 6*). Dabei liegt Typ B direkt auf einer Aufwölbung, bei Typ G liegt ein Seitenecho vor. Die Typen D und F sind Mischformen, an denen die Topographie zwar nicht den Haupteffekt ausmacht, allerdings in den obersten Metern auf Grund von Seitenechos eine Rolle spielt. Bei Typ F werden sogar Sedimente im Echo abgebildet, was ein Indikator für Seitenechos ist.

Da „North Pond“ weit entfernt von Kontinentelhängen und der Verfügbarkeit organischen Materials liegt, kann eine Entstehung von transparenten Zonen durch Gas ausgeschlossen werden.

Inhomogenitäten in Sedimenten können zu Streuung und damit verbundener Transparenz führen. Grundlage für Streuung bilden beispielsweise lithologische und strukturelle Inhomogenitäten. Die Streuung ist stark frequenzabhängig und liefert bei verschiedenen Senderfrequenzen auch unterschiedliche Ergebnisse. Da die transparenten Zonen jedoch sowohl im Parasound, als auch in der Seismik zu sehen sind, ist diese Möglichkeit unwahrscheinlich.

Einen möglichen Grund für akustische Transparenz stellen zudem die physikalischen Eigenschaften der Sedimente dar. Dazu gehören in erster Linie Zonen erhöhter Porosität (Zühlsdorff, 1999). Dies geht auf den Zusammenhang von dem Reflexionskoeffizienten mit den Dichten der verschiedenen Medien zurück. Der Reflexionskoeffizient entsteht aus dem Impedanzkontrast der Schicht 1 zur benachbarten Schicht 2:

$$R = (v_2 \rho_2 - v_1 \rho_1) / (v_2 \rho_2 + v_1 \rho_1),$$

wobei

R= Reflexionskoeffizient,

v = Ausbreitungsgeschwindigkeit,

ρ = Dichte.

Die Differenz der Dichten von Wasser und Festphase ist größer als die internen Dichteunterschiede der Festphase. So wird die Dichte primär mit der Porosität verändert. Mit Erhöhen der Porosität nehmen Dichte und Reflexionskoeffizient ab. Eine Abnahme des Reflexionskoeffizienten geht mit einer Amplitudenabnahme einher und verursacht Transparenz. Dient der Porenraum der Fluidmigration können auch Fließwege nachvollzogen werden, was von be-

sonderem Interesse bei charakteristischen Fluiden ist. Werden beispielsweise Salze im Wasser gelöst hat dies Einfluss auf die Umwelt, z.B. die Biosphäre.

Dass ein Fluidfluss entlang den transparenten Zonen in „North Pond“ erfolgt, ist allerdings unwahrscheinlich. Es wurde zwar eine hydrothermale Zirkulation im Becken untersucht, allerdings ist diese auf Grund von negativen Porenrücken vermutlich mit einer Fließrichtung in das dem Sediment unterlagernde Basement gerichtet. Da die transparenten Zonen allerdings mit der Nähe zum Meeresboden ausdünnen, ist auch ein nach unten gerichteter Fluss entlang der transparenten Zonen sehr unwahrscheinlich.

Die Gründe für geringe Porosität können z.B. verschiedenartige Stressregime oder Unterschiede in der Lithologie auf Grund von vertikaler Korngrößensortierung durch Turbidite sein. Des Weiteren könnten Dehnungszonen in Sedimenten auftreten, wenn diese von unregelmäßigem Basement unterlagert werden (Zühlsdorff 2006).

Für tektonische Stressregime konnten in den Parasound-Daten keine Anzeichen gefunden werden. Auch von einer vertikalen Korngrößensortierung durch Turbidite kann nicht ausgegangen werden, da die Schichten überall gleichmäßig verlaufen.

Im Sedimentationsmodell (*Abbildung 13*) wird davon ausgegangen, dass Sedimente auf einem topographisch unregelmäßigen Basement abgelagert werden und durch immer neue Sedimentationsauflast eine Deformation der Sedimentschichten analog zur Basementtopographie stattfindet. Bei einer solchen Deformation würden Dehnungszonen an den Flanken entstehen, womit ein Grund für erhöhte Porosität und damit verbundener akustischer Transparenz gegeben wäre.

Die Beobachtung, dass die transparenten Zonen am Basement, speziell bei erhöhter Basementtopographie, beginnen und mit der Nähe zur Meeresbodenoberfläche ausdünnen unterstützt diese These. Beispiele für ausdünnende transparente Zonen sind die Typen D und E (*Abbildung 9*). Ein Beispiel für eine tiefliegende, gerade noch im Parasound erkennbare, transparente Zone ist der Typ C.

Die in den Parasound-Profilen dargestellten transparenten Zonen kommen vermehrt im nördlichen Bereich „North Ponds“ vor. Dies kann daran liegen, dass das Becken dort flacher ist. Mit niederfrequenten seismischen Quellen könnten in diesem Fall auch mehr transparente Zonen im südlichen Teil des Beckens erkannt werden.

6. Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Parasound-Daten ergab eine vorwiegend von hangabwärtigem Transport beeinflusste Sedimentation in „North Pond“. Die Sedimentabfolge setzt sich zusammen aus stark reflektierenden Turbiditpaketen und transparenten Lagen, bei denen es sich um Rutschungen handelt. Verlaufen die Rutschungen parallel zum Profil kann ihre Bewegungsrichtung bestimmt werden. Eine Rutschung sichtbarer Bewegungsrichtung verläuft von SW nach NE und hat ein Volumen von 57.600.000 m³. Desweiteren sind Perioden ungestörter Ablagerung möglich. Das feinkörnige Sediment der ungestörten Ablagerung ist allerdings durch Parasound nicht von den gradierten Turbiditbereichen zu unterscheiden und kann nicht quantitativ bestimmt werden. Stattdessen werden nur die Basen der Turbidite als scharfe Reflektoren abgebildet. Kerndaten aus ODP- und DSDP-Bohrungen weisen allerdings große Mengen an Nannofossilschlamm auf, der auch auf ungestörte Ablagerungsphasen hinweist. Rezente Tektonik konnte an den Daten nicht festgestellt werden, was allerdings auch mit einer zu geringen Auflösung der Daten in Zusammenhang stehen kann. Vorkommende transparente Zonen entstehen entweder durch Topographieeffekte oder die Änderung von physikalischen Eigenschaften. Anhand eines Sedimentationsmodells wird eine durch Sedimentauflast und Kompaktion entstehende Deformation von Sediment analog zur Meeresbodentopographie hergeleitet. An den Flanken der Depressionen können Dehnungszonen auf Grund ihrer hohen Porosität einen Grund für den Ursprung der transparenten Zonen darstellen. Sollte dieses Modell auf „North Pond“ zutreffen, so ist es vermutlich auch auf zahlreiche weitere intermontane Sedimentbecken an den Flanken des Mittelatlantischen Rückens übertragbar. Zukünftige Expeditionen könnten darüber Aufschluss geben, inwieweit das Sedimentationsmodell und der Zusammenhang mit den transparenten Zonen innerhalb von „North Pond“ wie für umliegende Becken repräsentativ ist und sich durch neue Daten konkretisieren lässt.

In der vorliegenden Arbeit wurde desweiteren eine Untersuchung des Parasound *Narrow-Beam-Systems* in Bezug auf die Bathymetriebestimmung entlang der aufgenommenen Profile durchgeführt. Diese ergab durch viele Fehldetektionen bei der Tiefenbestimmung allerdings keine befriedigende Alternative zu der Bathymetriebestimmung mittels Fächerecholot.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mir während der Erstellung der vorliegenden Bachelorarbeit geholfen haben.

Herrn Dr. Heinrich Villinger danke ich für die Vermittlung der Bachelorarbeit in seiner Arbeitsgruppe und für seine Diskussionsbeiträge.

Frau Dr. Monika Breitzke möchte ich meinen Dank für die intensive Betreuung während der Bachelorarbeit aussprechen.

Im Weiteren danke ich Herrn Dr. Volkhard Spieß für die Begutachtung der Arbeit.

Mein herzlicher Dank gilt auch der Arbeitsgruppe von Herrn Dr. Spieß (Meerestechnik und Umweltforschung, Universität Bremen) für die Beantwortung vieler meiner Fragen.

Desweiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. Norbert Kaul für die Lösung aller Probleme, die mit meinem Arbeits-PC aufgetreten sind. Außerdem bedanke ich mich für die freundliche Beantwortung meiner Fragen.

Mein letzter Dank geht an meine Freunde, meinen Freund und meine Familie für die seelische Unterstützung und das Interesse an der vorliegenden Arbeit.

Literaturverzeichnis

- Becker K, Malone M, Shipboard Scientific Party, (1998) 3. Site 1074. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, Vol. 174B.
- Bergmann U (1996) Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften. Berichte zur Polarforschung 183. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Langseth M, Becker K, Von Herzen R, Schultheiss P (1992) Heat and fluid flux through sediment on the western flank of the mid-atlantic ridge: a hydrogeological study of North Pond. Geophysical Research Letters 19, 5, doi: 10.1029/92GL00079.
- Melson W G, Rabinowitz P D, Shipboard Scientific Party (1979) 7. Site 395: 23°N, Mid-Atlantic Ridge. In: DSDP Initial Reports, Vol. 45, doi: 10.2973/dsdp.proc.45.107.1979.
- Spieß V, (1993) Digitale Sedimentechographie – Neue Wege zu einer hochauflösenden Akustostratigraphie. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen.
- Timofeev P P, Varentsov, I M, Rateev M A, Renngarten N V (1979) 11. Lithology, Mineralogy, and Geochemistry of Upper Cenozoic Sediments at 23°N near the Mid-Atlantic Ridge, Drilled on Leg 45. In: DSDP Initial Reports, Vol. 45, doi: 10.2973/dsdp.proc.45.111.1979.
- Yilmaz, O (2001) Seismic data analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Zühlsdorff L, Spiess V, Hübscher C, Breitzke M (1999) Seismic reflectivity anomalies in sediments at the eastern flank of the Juan de Fuca Ridge: Evidence for fluid migration? Journal of geophysical research 104, B7, doi: 10.1029/1999JB900061.
- Zühlsdorff L, Spiess V (2006), Sedimentation patterns, folding, and fluid upflow above a buried basement ridge: Results from 2-D and 3-D seismic surveys at the eastern Juan de Fuca Ridge flank, Journal of geophysical research 111, B8, doi: 10.1029/2004JB003227.

Anhang zu Kapitel 2.3
„Station List“

Tabelle A1: Liste der Parasound-Profile der Expedition MSM 11/1 mit dem FS Maria S. Merian

Seismic Profile	Date	Start	Position		Sounding	End	Position		Sounding
	Start	UTC	Latitude	Longitude	ID	UTC	Latitude		Start
NP_SCS_01	2009-02-21	20:35	22°44.159'N	46°11.320'W	21690385	22:32	22°51.165'N	NP_SCS_01	2009-02-21
NP_SCS_02	2009-02-21	22:48	22°50.663'N	46°03.192'W	21692020	00:50	22°43.641'N	NP_SCS_02	2009-02-21
NP_SCS_03 ¹⁾	2009-02-22	01:07	22°43.515'N	46°10.421'W	21693192	03:08	22°50.464'N	NP_SCS_03	2009-02-22
NP_SCS_04 ²⁾	2009-02-22	03:09	22°50.439'N	46°02.467'W	21694231	05:17	22°42.787'N	NP_SCS_04	2009-02-22
NP_SCS_05	2009-02-22	05:32	22°42.490'N	46°09.449'W	21695421	07:29	22°49.364'N	NP_SCS_05	2009-02-22
NP_SCS_06	2009-02-22	07:43	22°48.900'N	46°01.491'W	21696518	09:43	22°41.931'N	NP_SCS_06	2009-02-22
NP_SCS_07	2009-02-22	09:53	22°41.807'N	46°08.631'W	21697485	11:54	22°48.693'N	NP_SCS_07	2009-02-22
NP_SCS_08	2009-02-22	12:18	22°48.788'N	46°01.233'W	21698703	14:20	22°41.867'N	NP_SCS_08	2009-02-22
NP_SCS_09	2009-02-22	14:31	22°42.209'N	46°09.339'W	21699790	16:32	22°49.200'N	NP_SCS_09	2009-02-22
NP_SCS_10	2009-02-22	16:45	22°49.524'N	46°01.994'W	21700859	18:46	22°42.598'N	NP_SCS_10	2009-02-22
NP_SCS_11a	2009-02-22	19:02	22°43.145'N	46°10.245'W	21702035	19:28	22°44.660'N	NP_SCS_11a	2009-02-22
NP_SCS_11	2009-02-28	12:46	22°42.764'N	46°10.662'W	21702568	15:02	22°50.119'N	NP_SCS_11	2009-02-28
NP_SCS_12	2009-03-01	15:30	22°49.691'N	46°07.905'W	21710191	16:50	22°45.577'N	NP_SCS_12	2009-03-01
NP_SCS_13	2009-03-01	17:16	22°44.512'N	46°03.739'W	21711103	18:36	22°48.628'N	NP_SCS_13	2009-03-01
NP_SCS_14	2009-03-01	19:07	22°47.300'N	46°09.953'W	21712047	20:20	22°43.467'N	46°04.913'W	21712654

¹⁾ Profilbeginn um 02:00 UTC

²⁾ Profilbeginn um 03:18 UTC

Anhang zu Kapitel 3.1
Parasound-Profile, ganze Profile

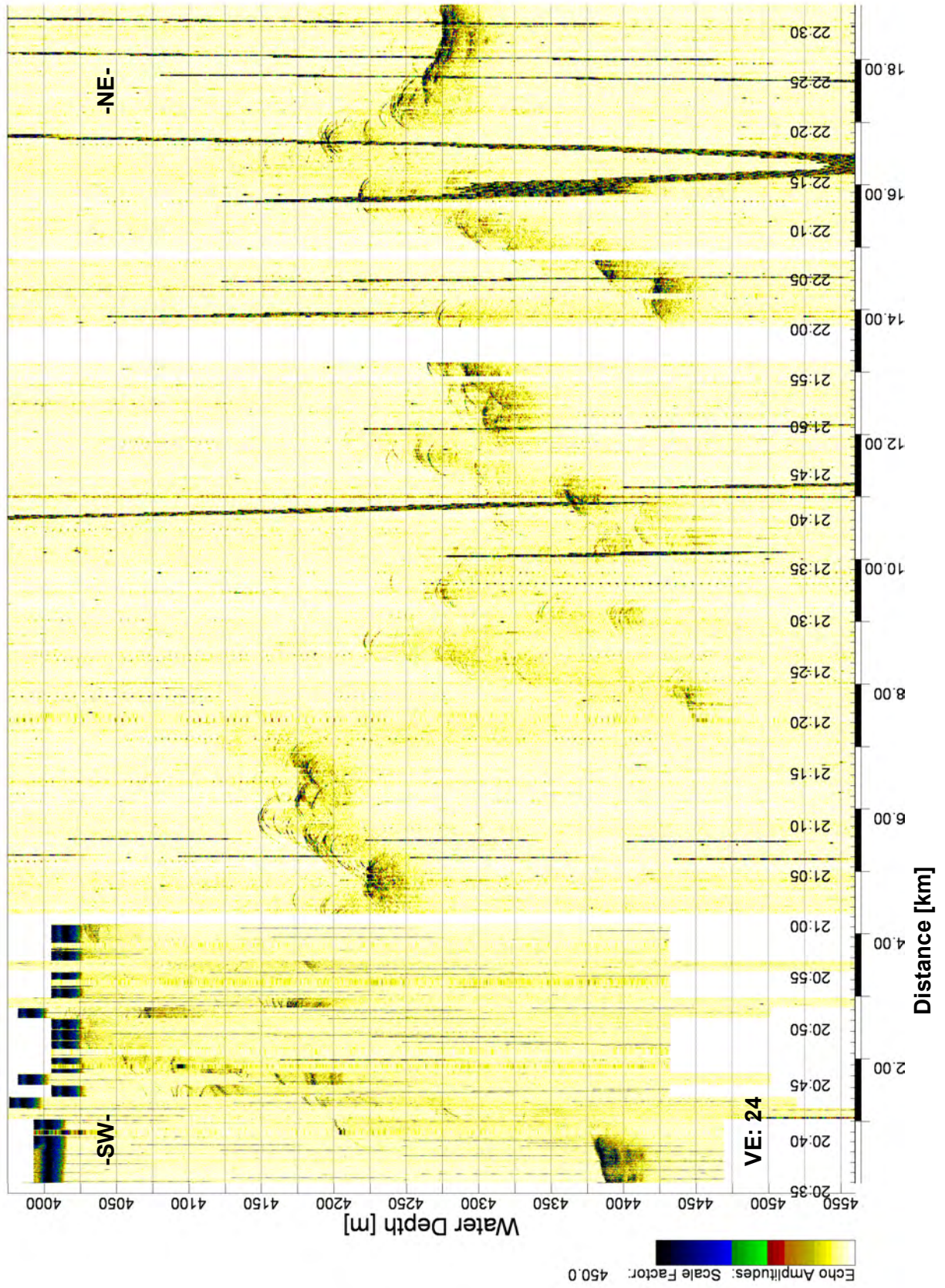


Abbildung A1: Parasound-Profil 1.

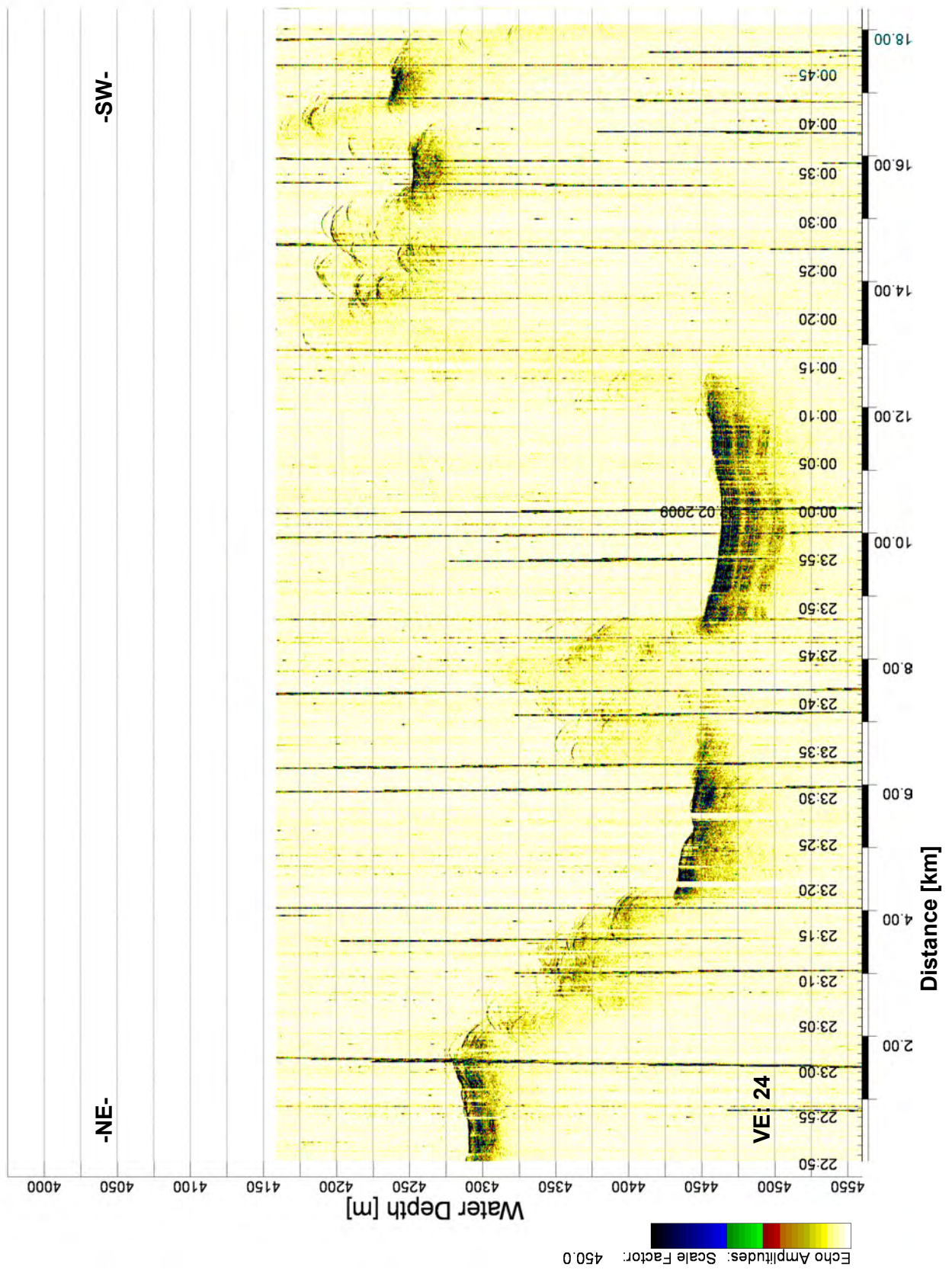


Abbildung A2: Parasound-Profil 2.

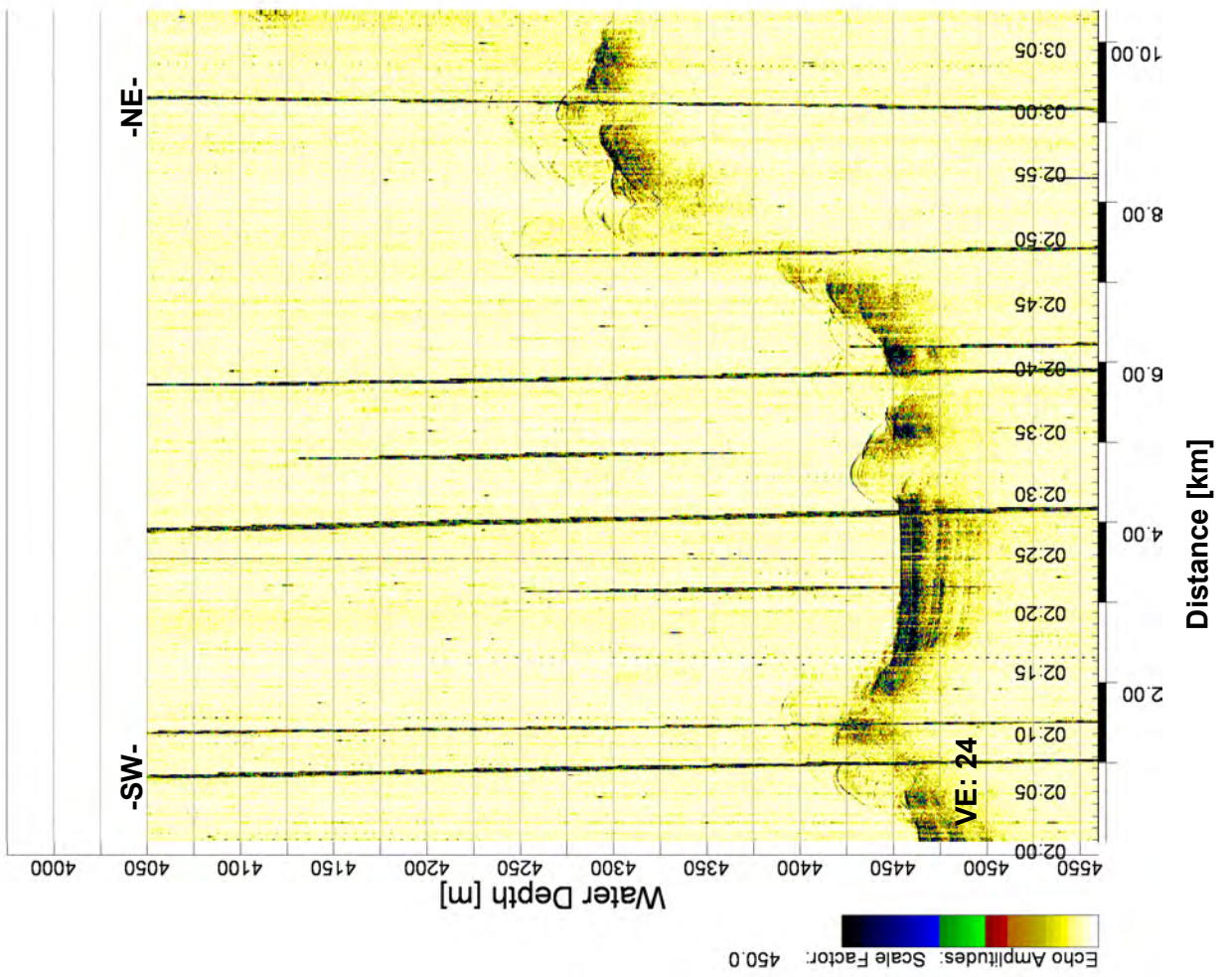


Abbildung A3: Parasound-Profil 3.

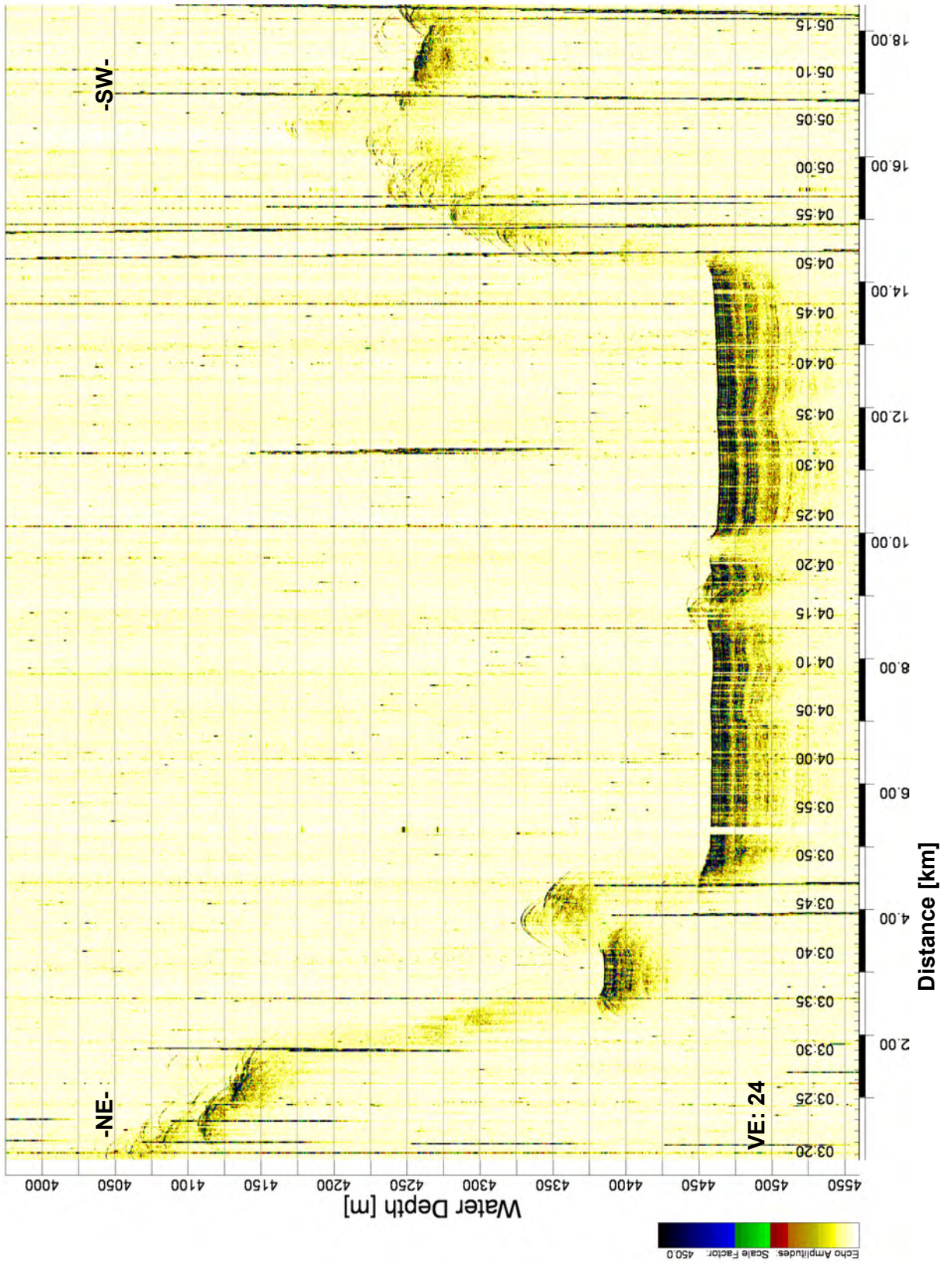


Abbildung A4: Parasound-Profill 4.

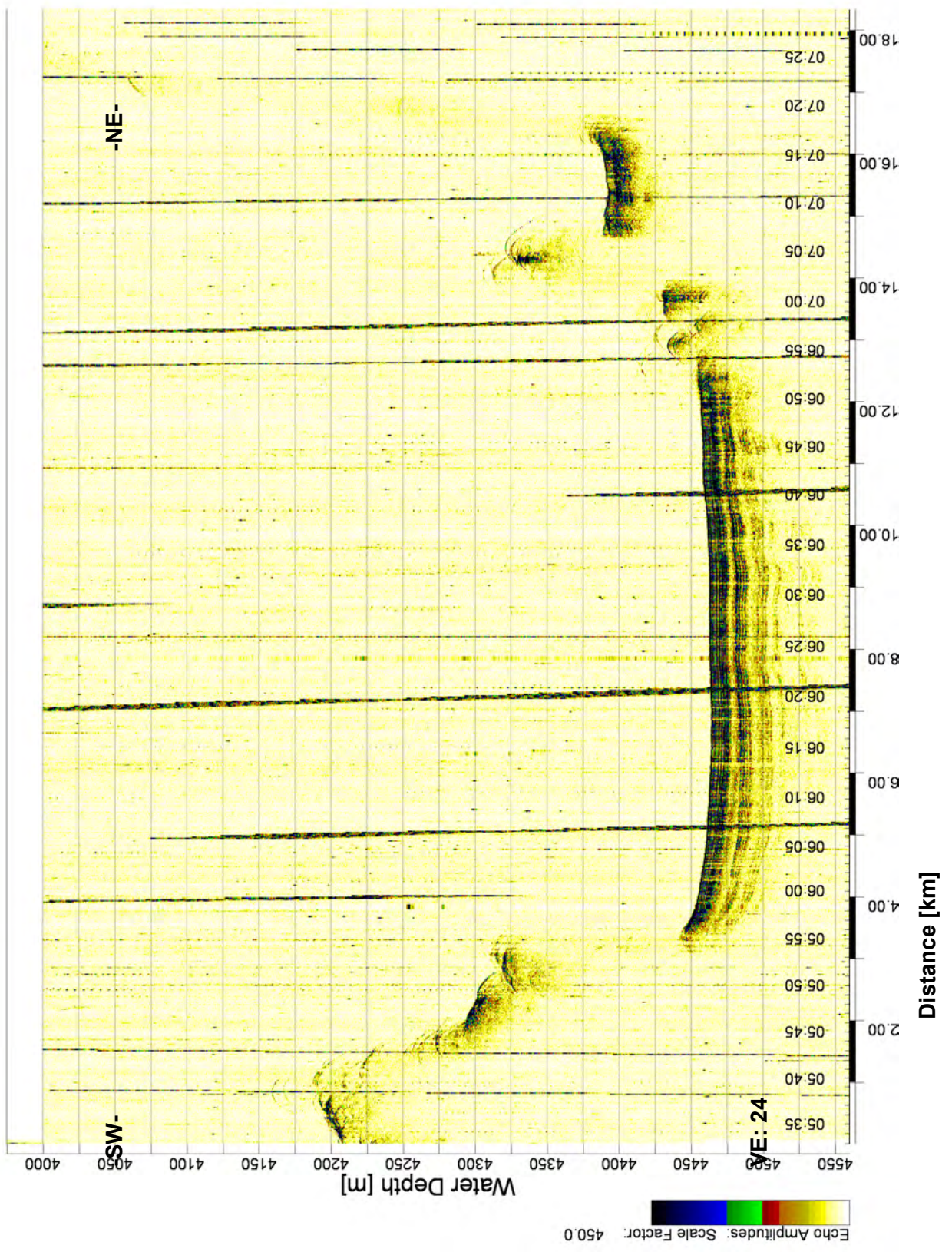


Abbildung A5: Parasound-Profil 5.

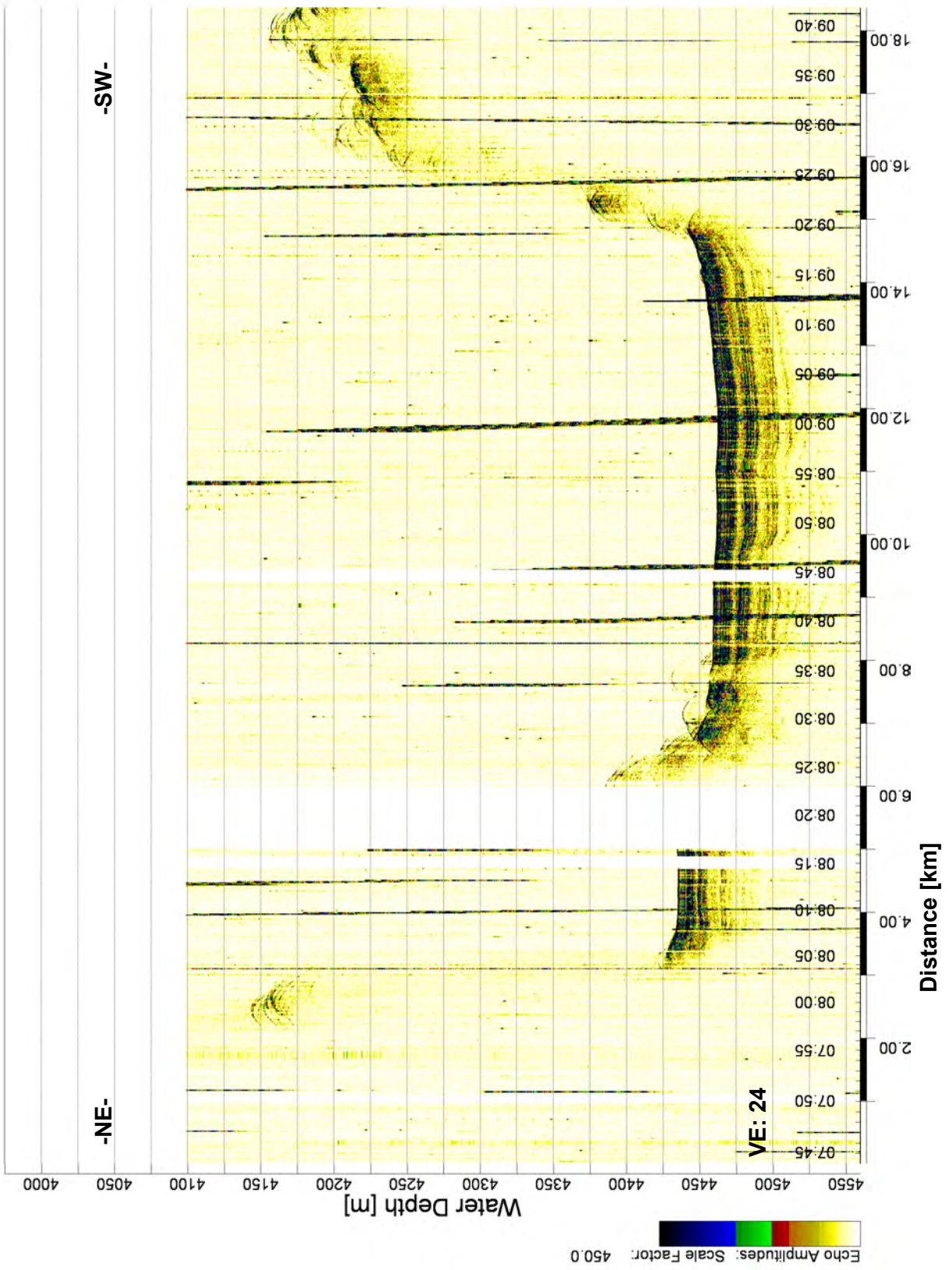


Abbildung A6: Parasound-Profil 6.

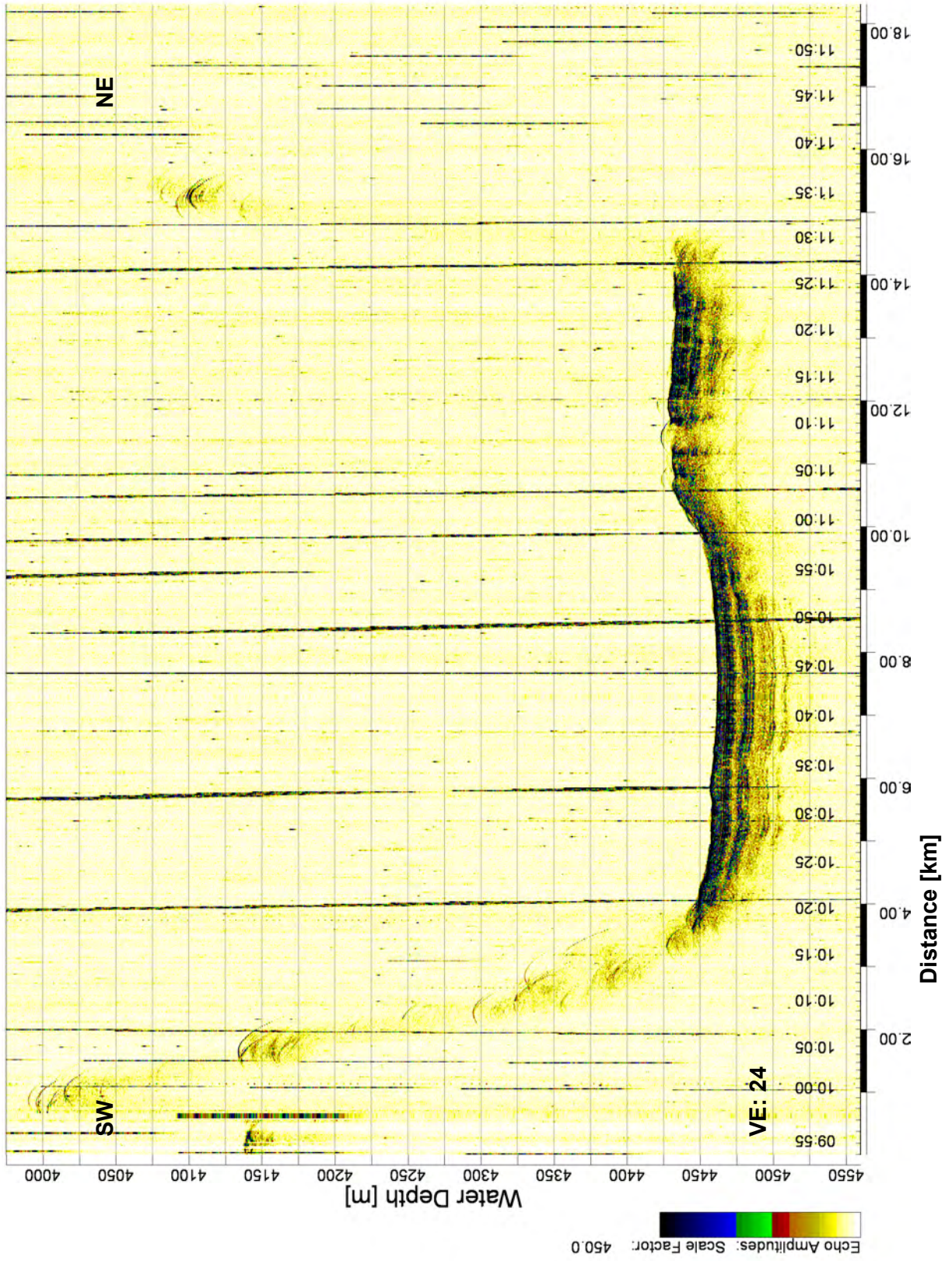


Abbildung A7: Parasound-Profil 7.

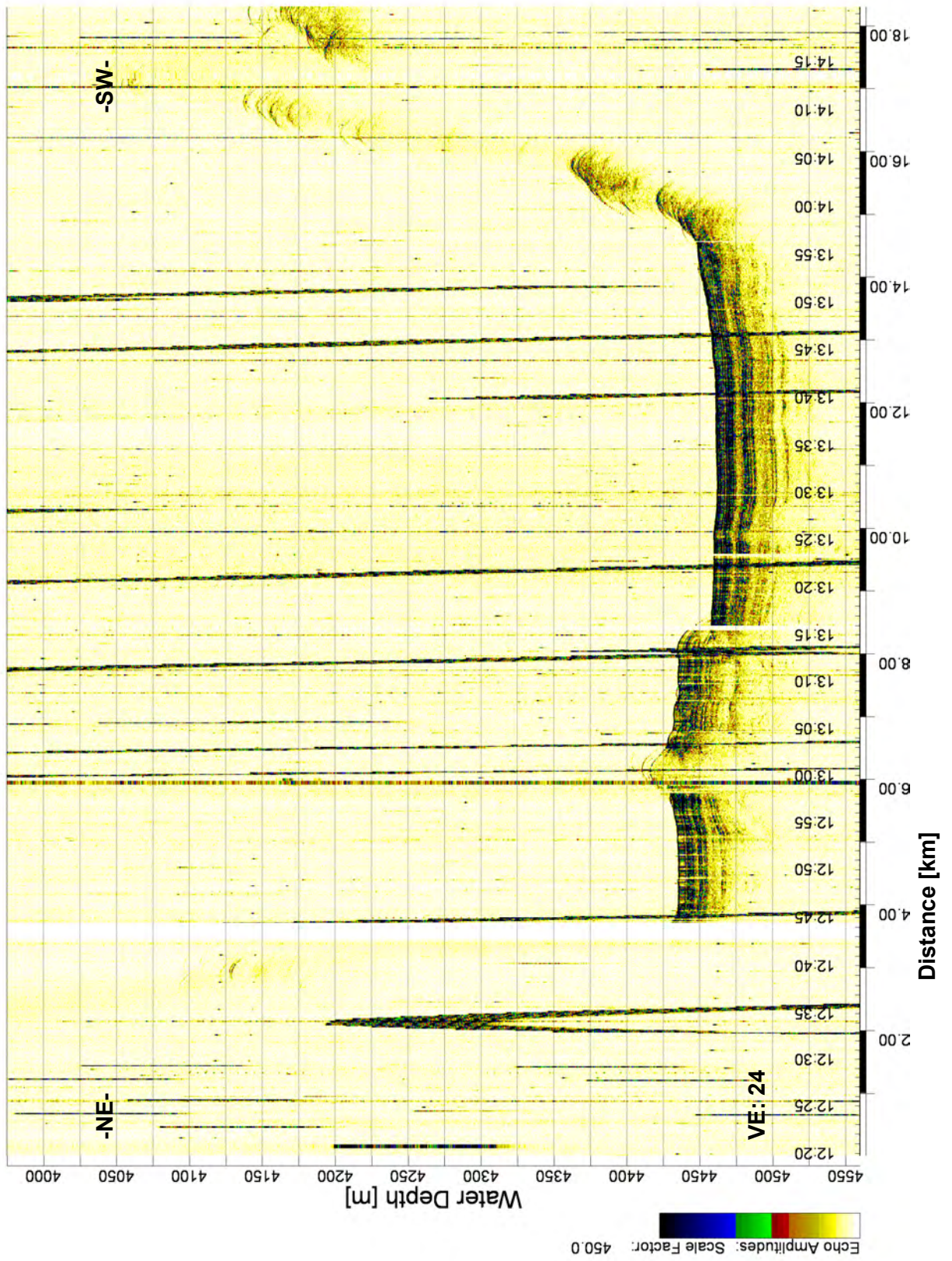


Abbildung A8: Parasound-Profil 8.

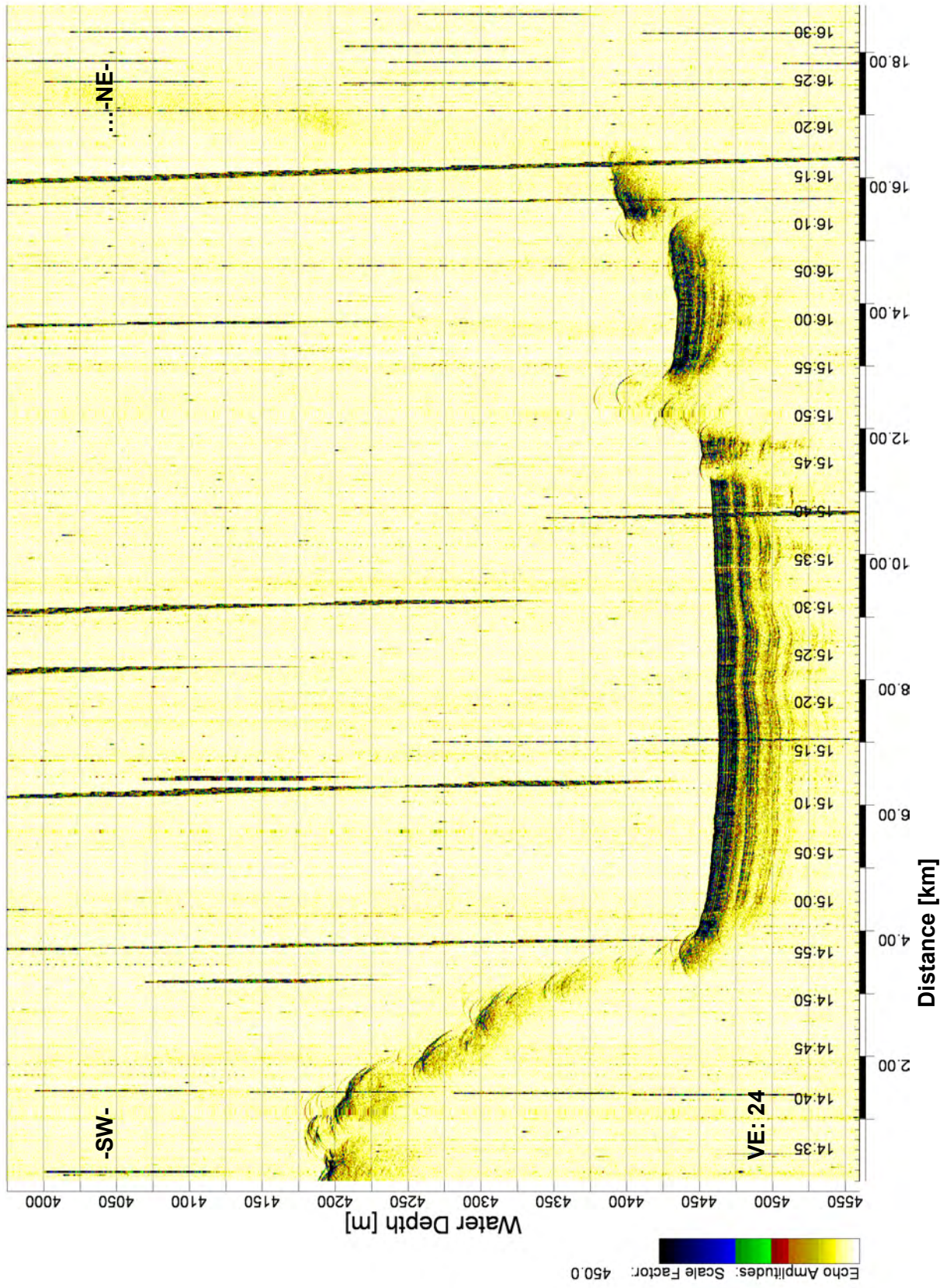


Abbildung A9: Parasound-Profil 9.

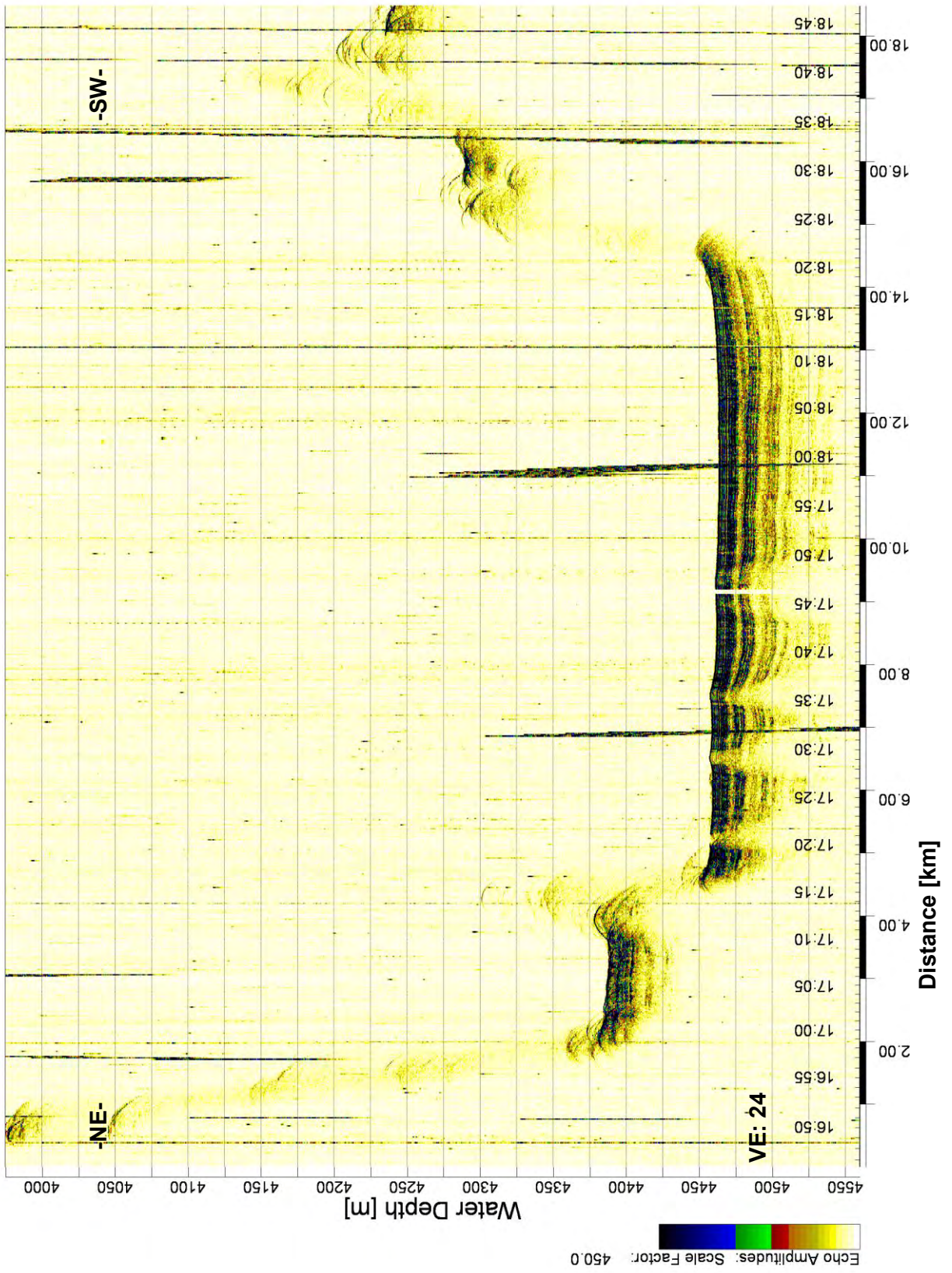


Abbildung A10: Parasound-Profill 10.

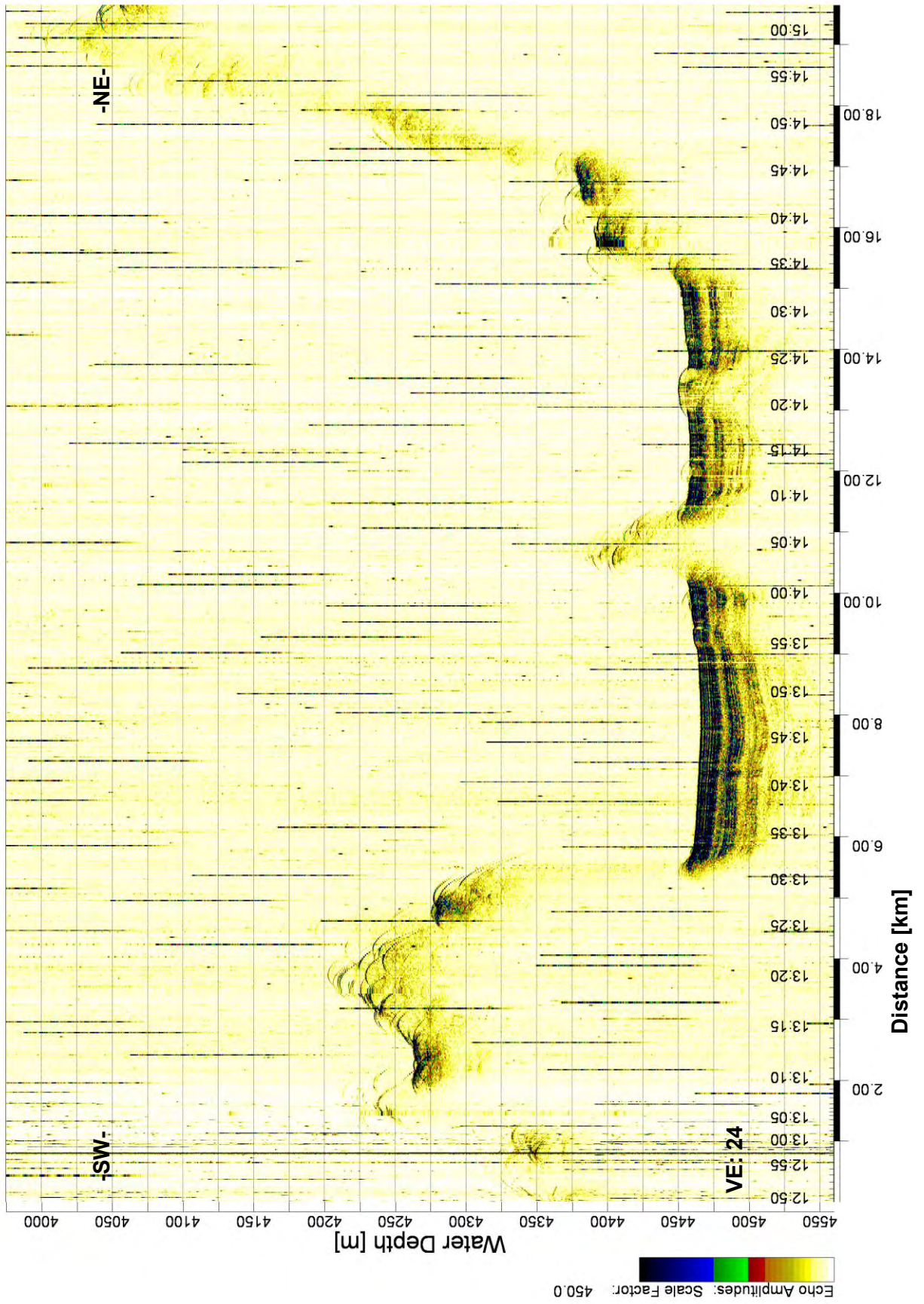


Abbildung A11: Parasound-Profil 11.

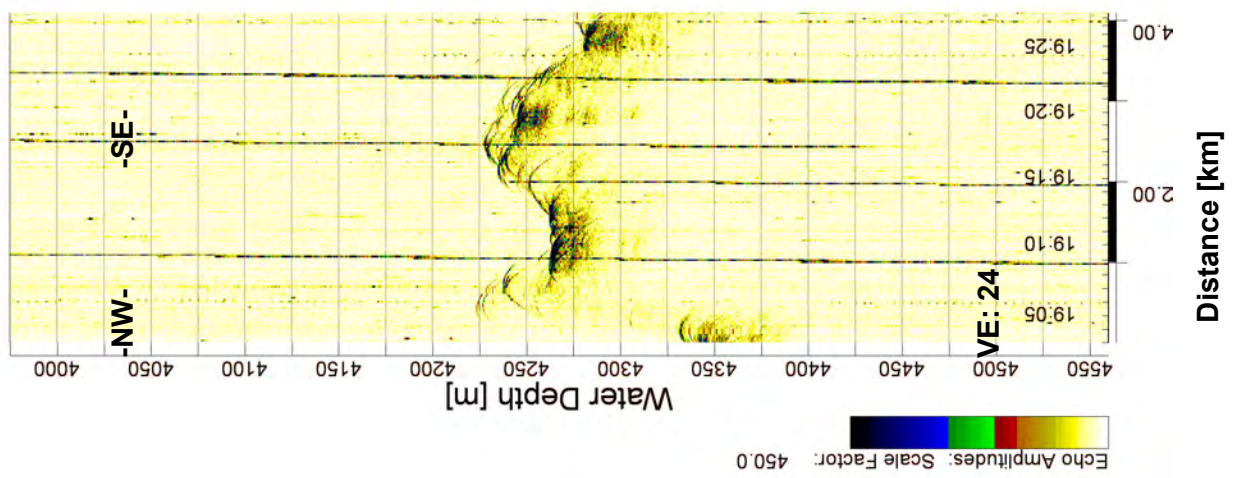


Abbildung A 12: Parasound-Profil 11a.

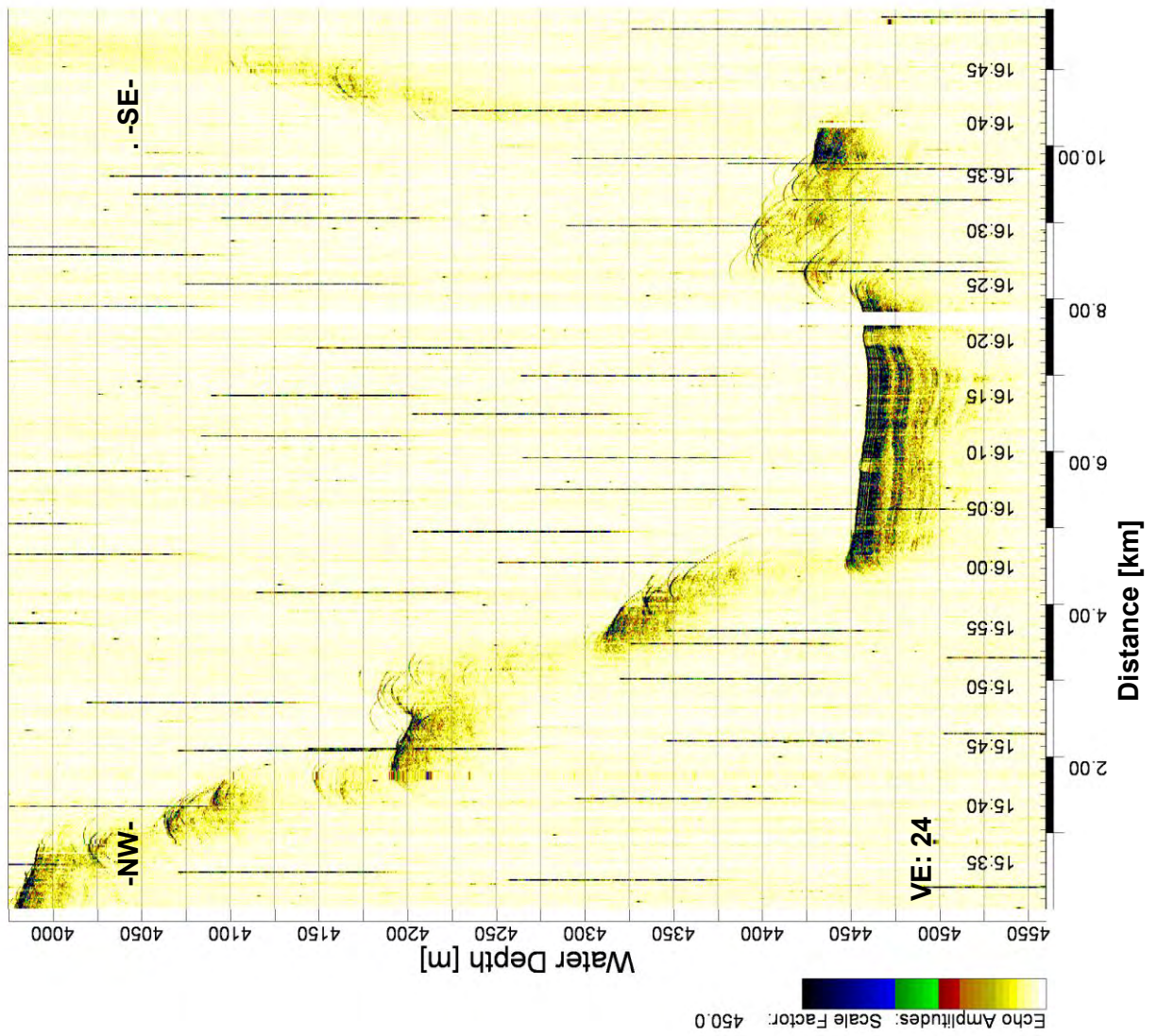


Abbildung A13: Parasound-Profil 12.

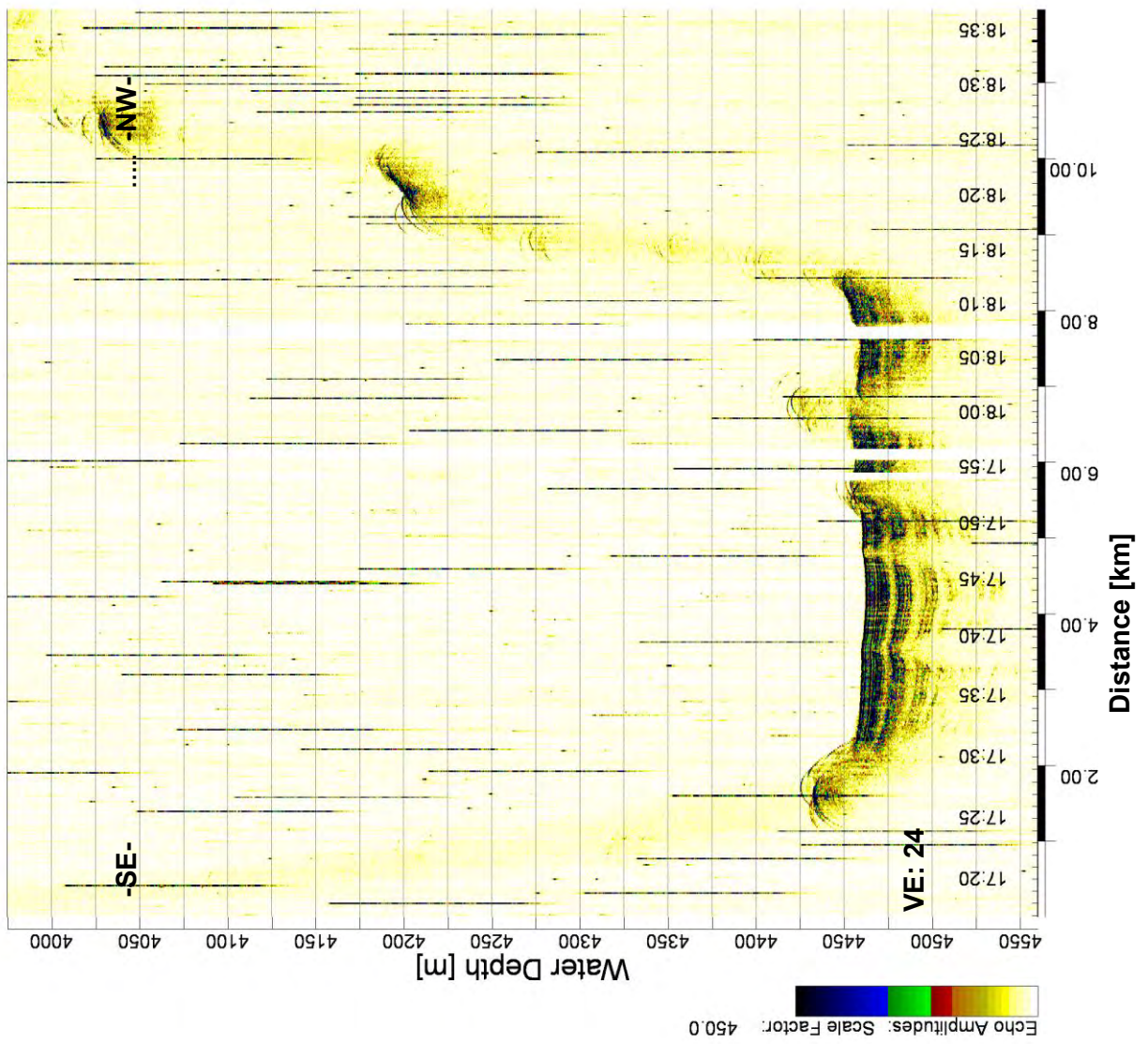


Abbildung A14: Parasound-Profil 13.

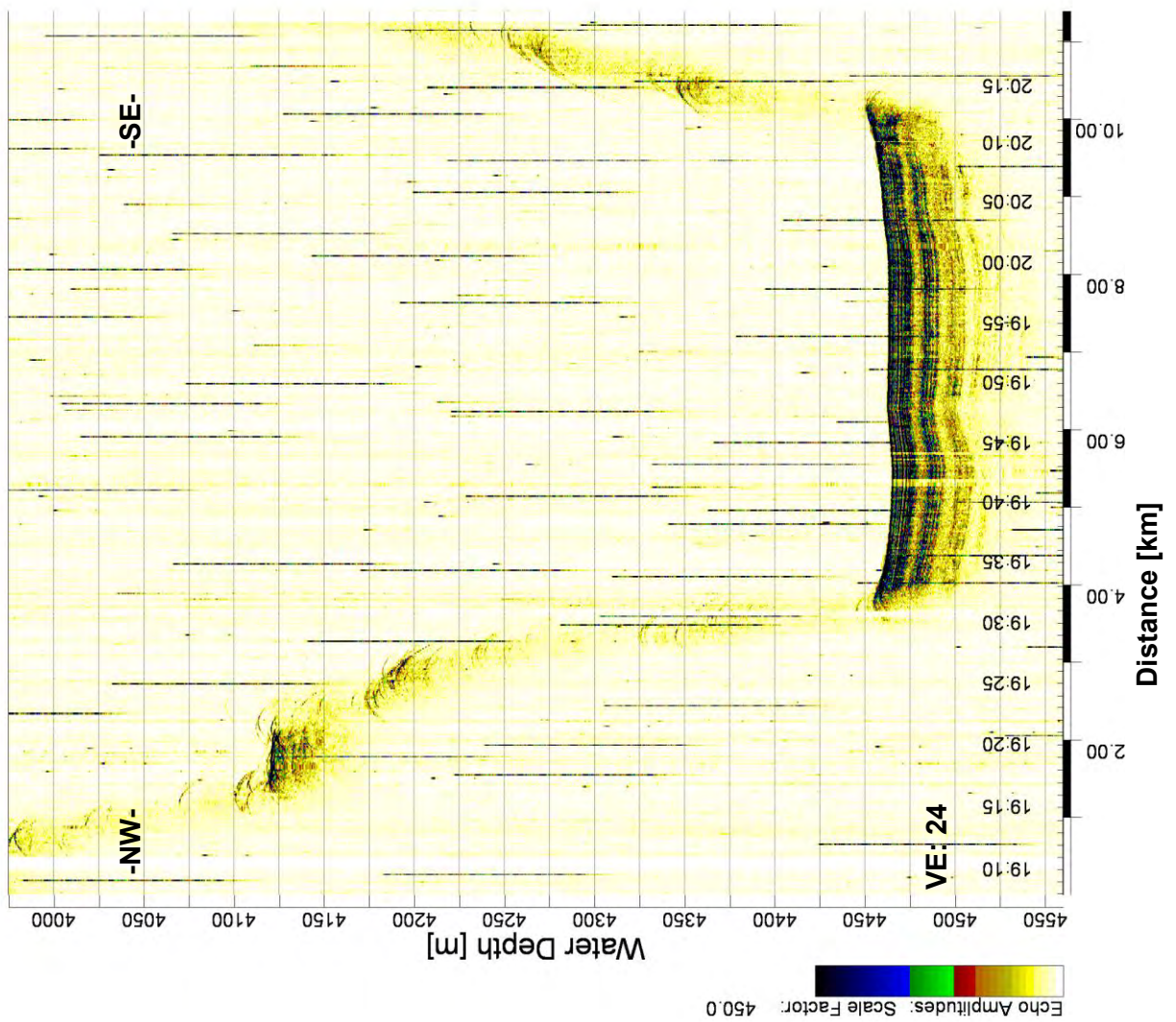


Abbildung A15: Parasound-Profil 14.

Anhang zu Kapitel 3.1
Parasound-Profile, Profilausschnitte

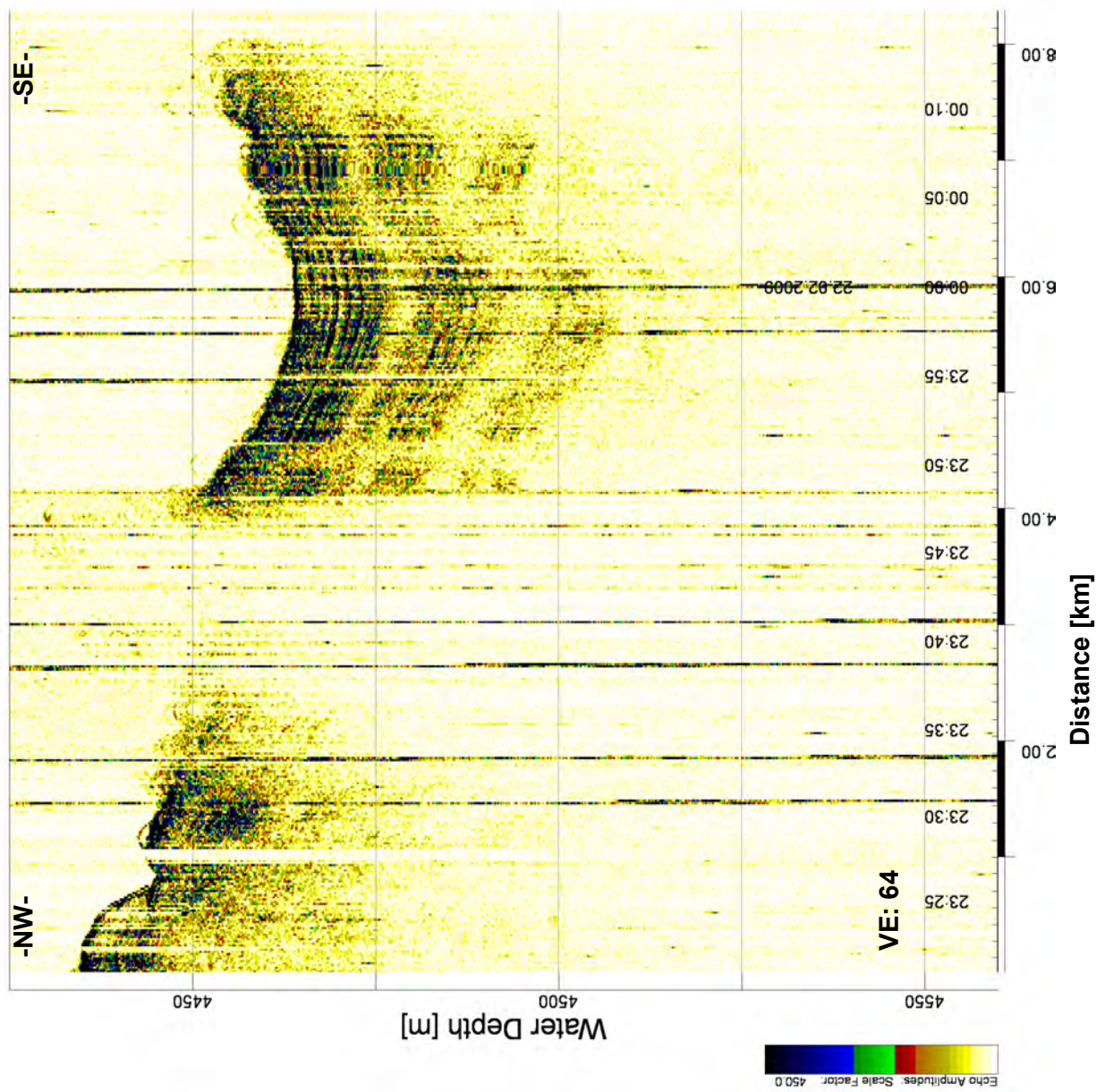


Abbildung A16: Parasound-Profil 2, Profilausschnitt.

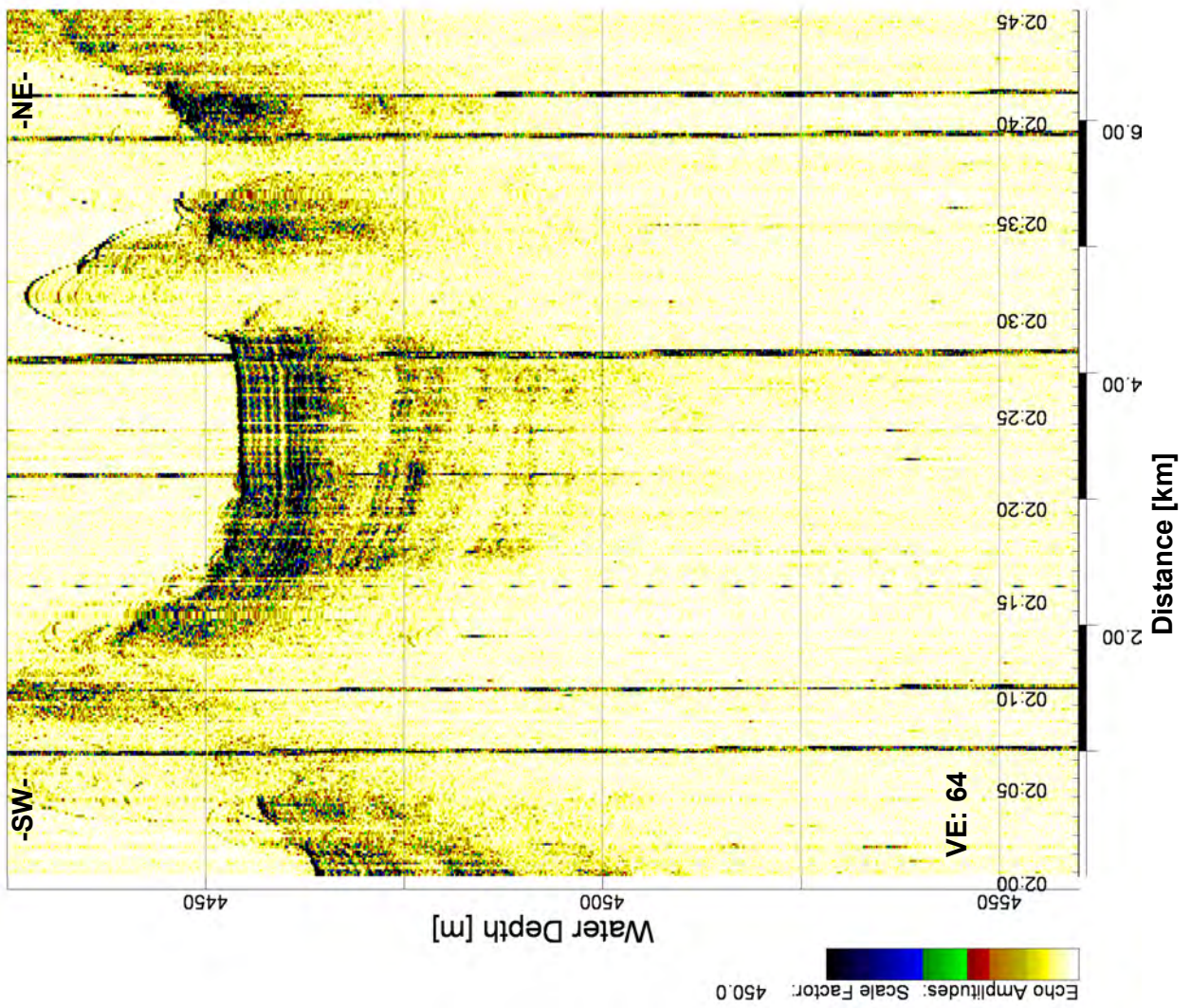


Abbildung A17: Parasound-Profil 3, Profilausschnitt.

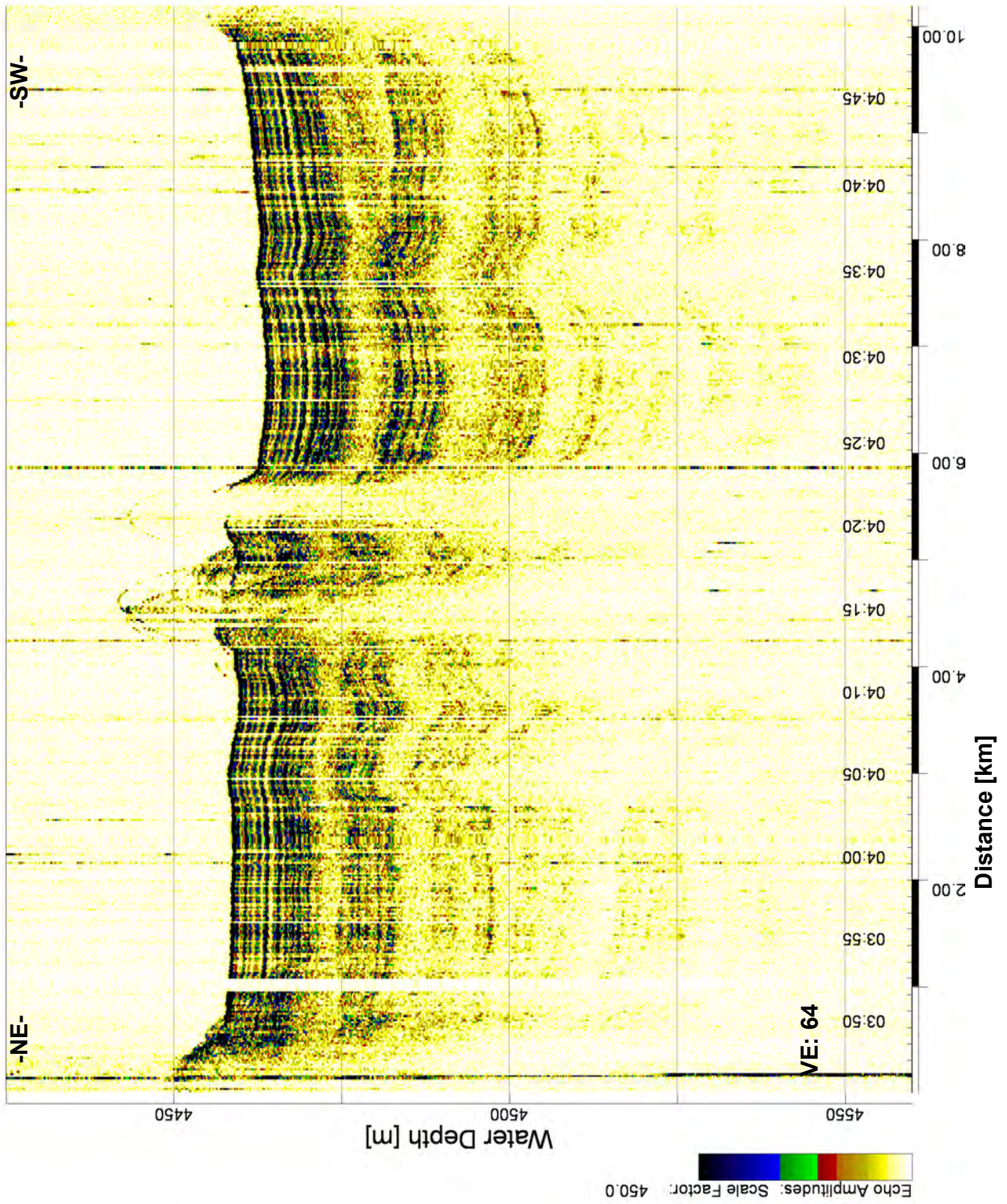


Abbildung 15: Parasound-Profil 4, Profilausschnitt.

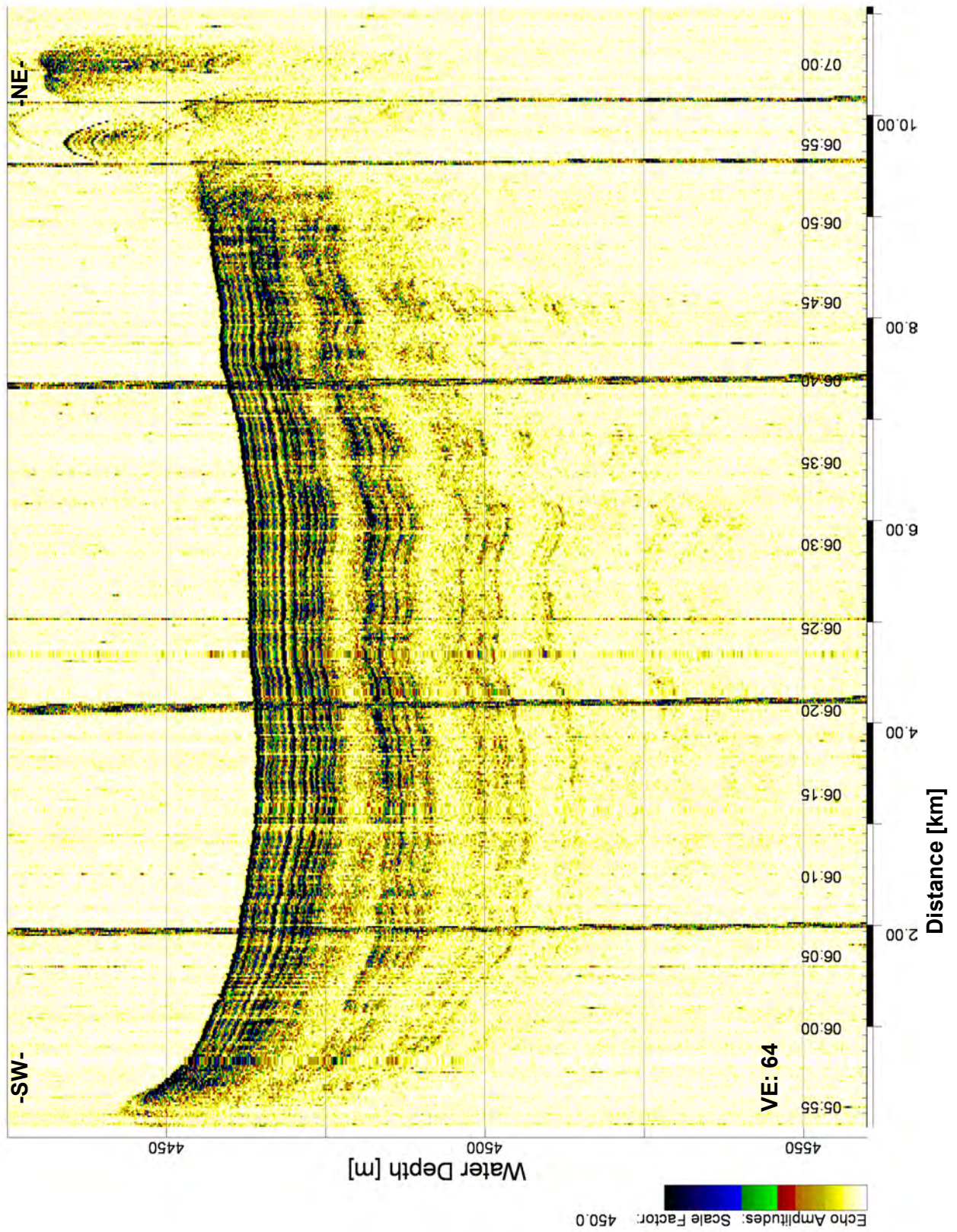


Abbildung A1916: Parasound-Profil 5, Profilausschnitt.

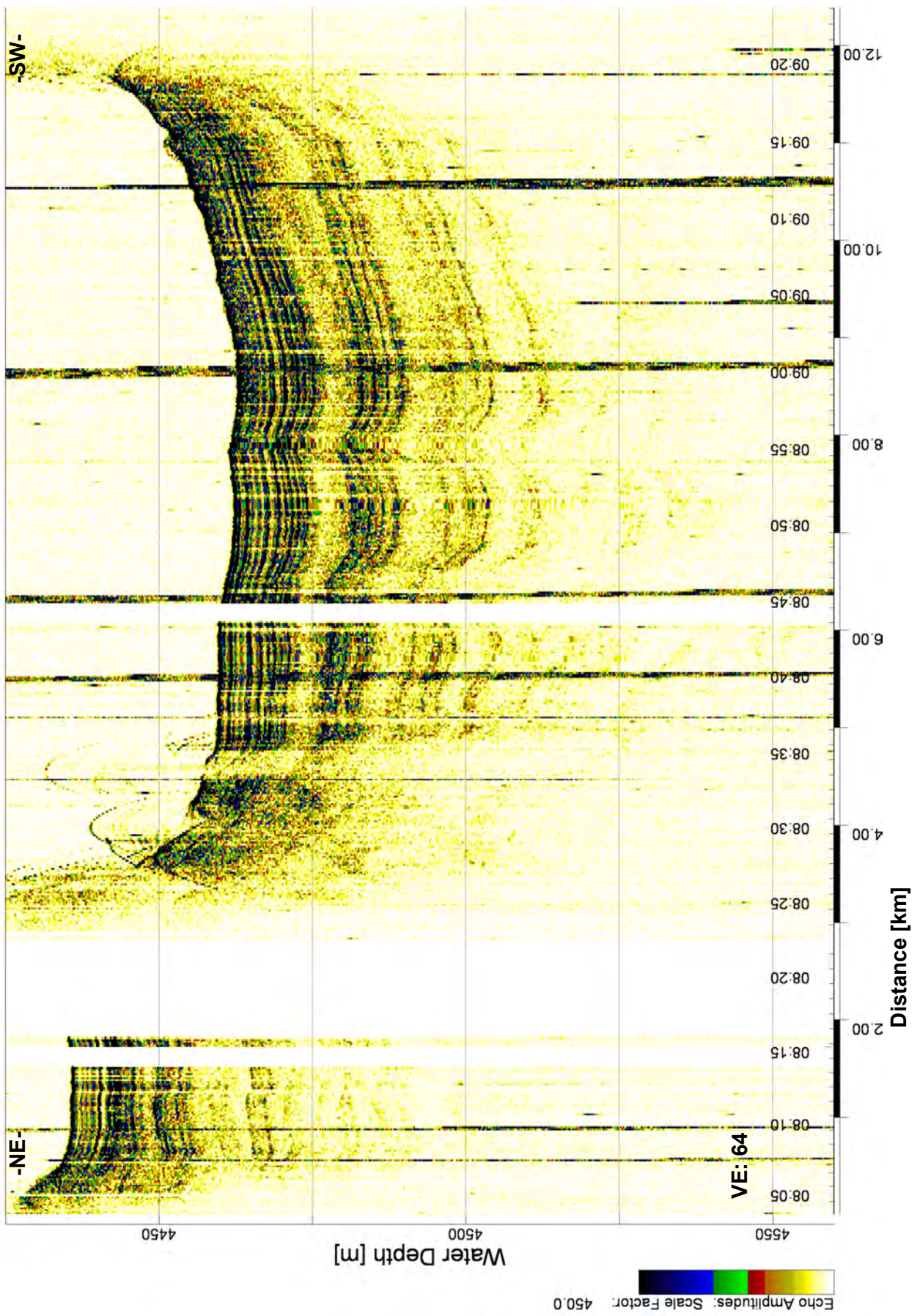


Abbildung A20: Parasound-Profil 6, Profilausschnitt.

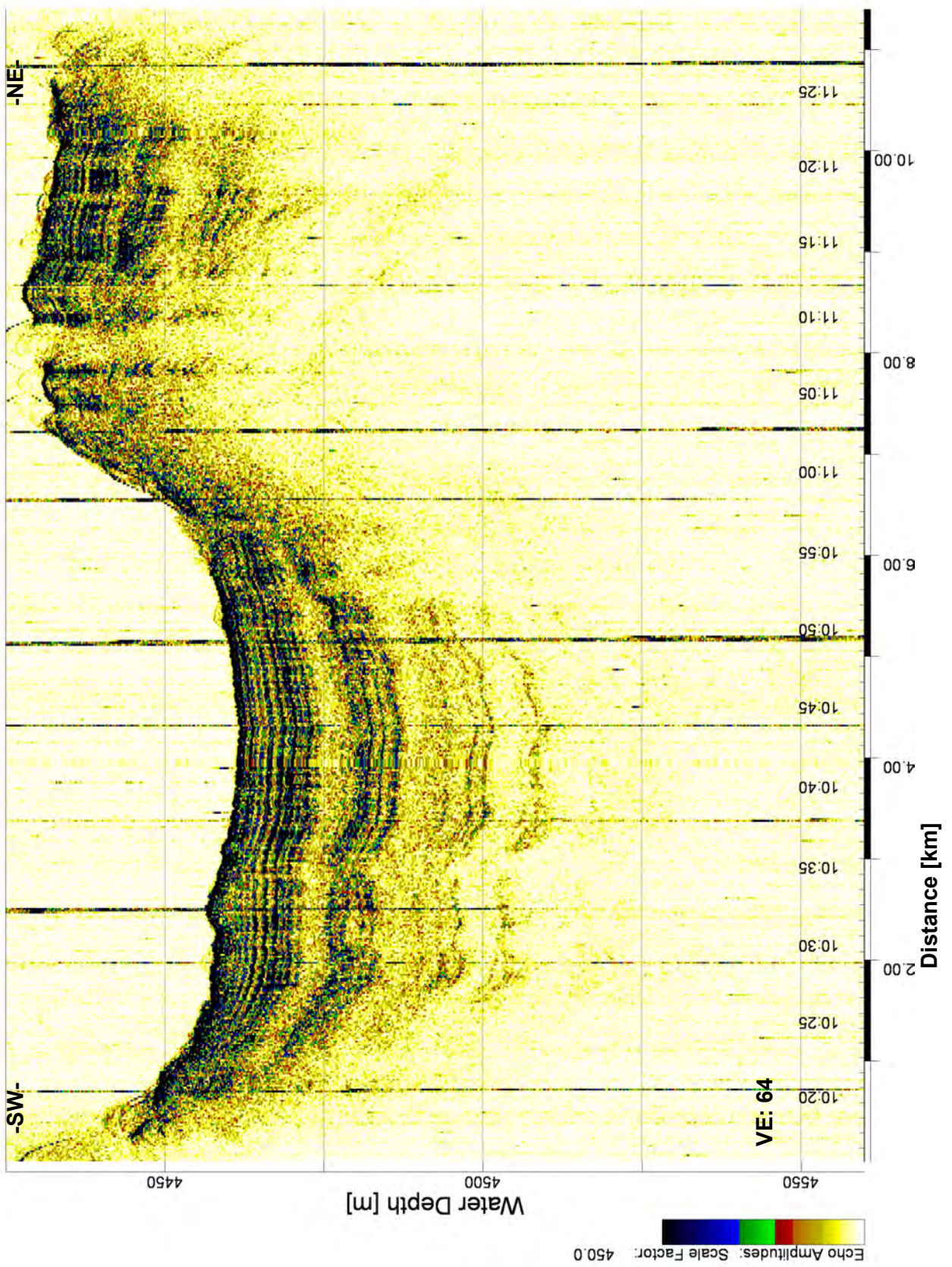


Abbildung A21: Parasound-Profil 7, Profilausschnitt.

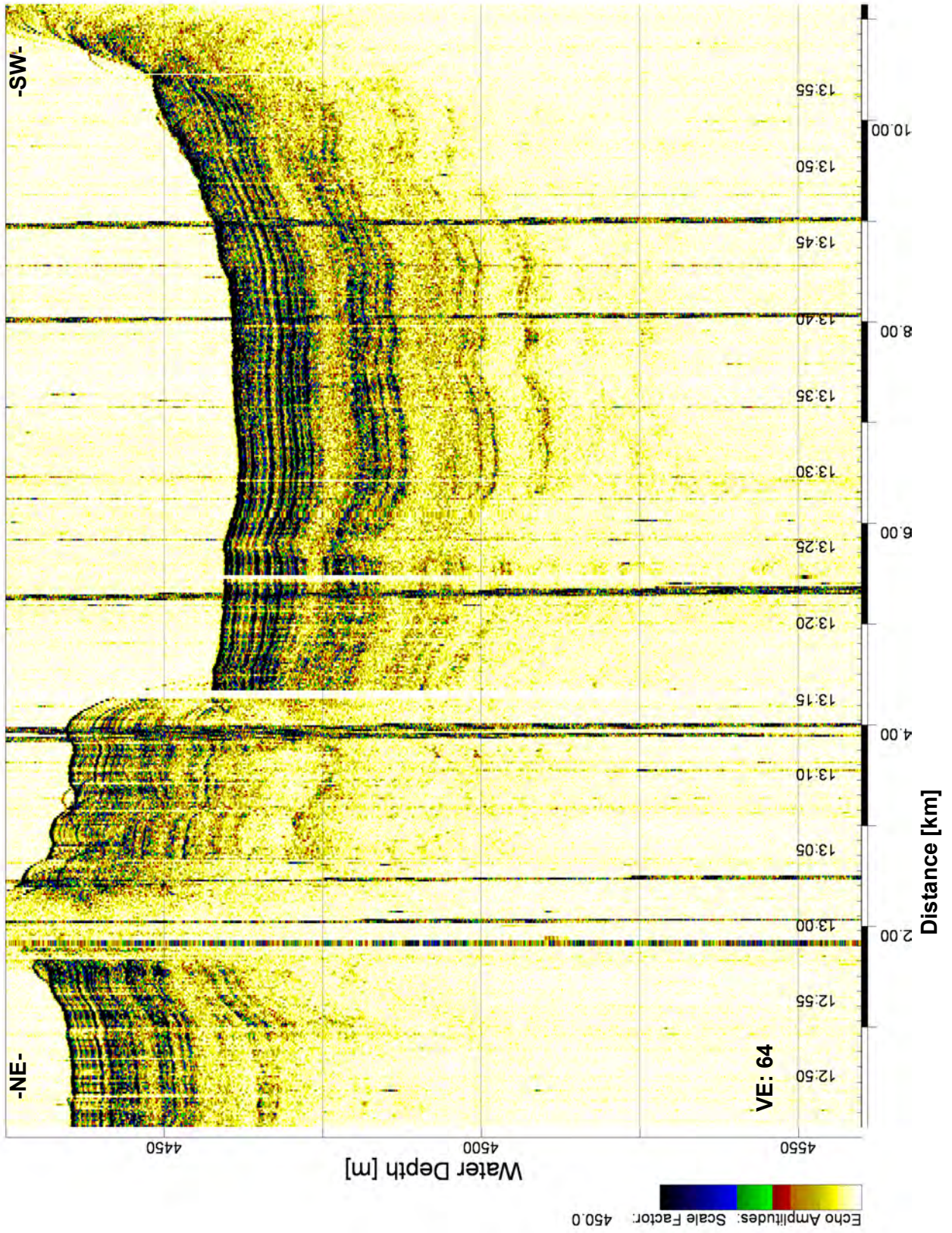


Abbildung A22: Parasound-Profil 8, Profilausschnitt.

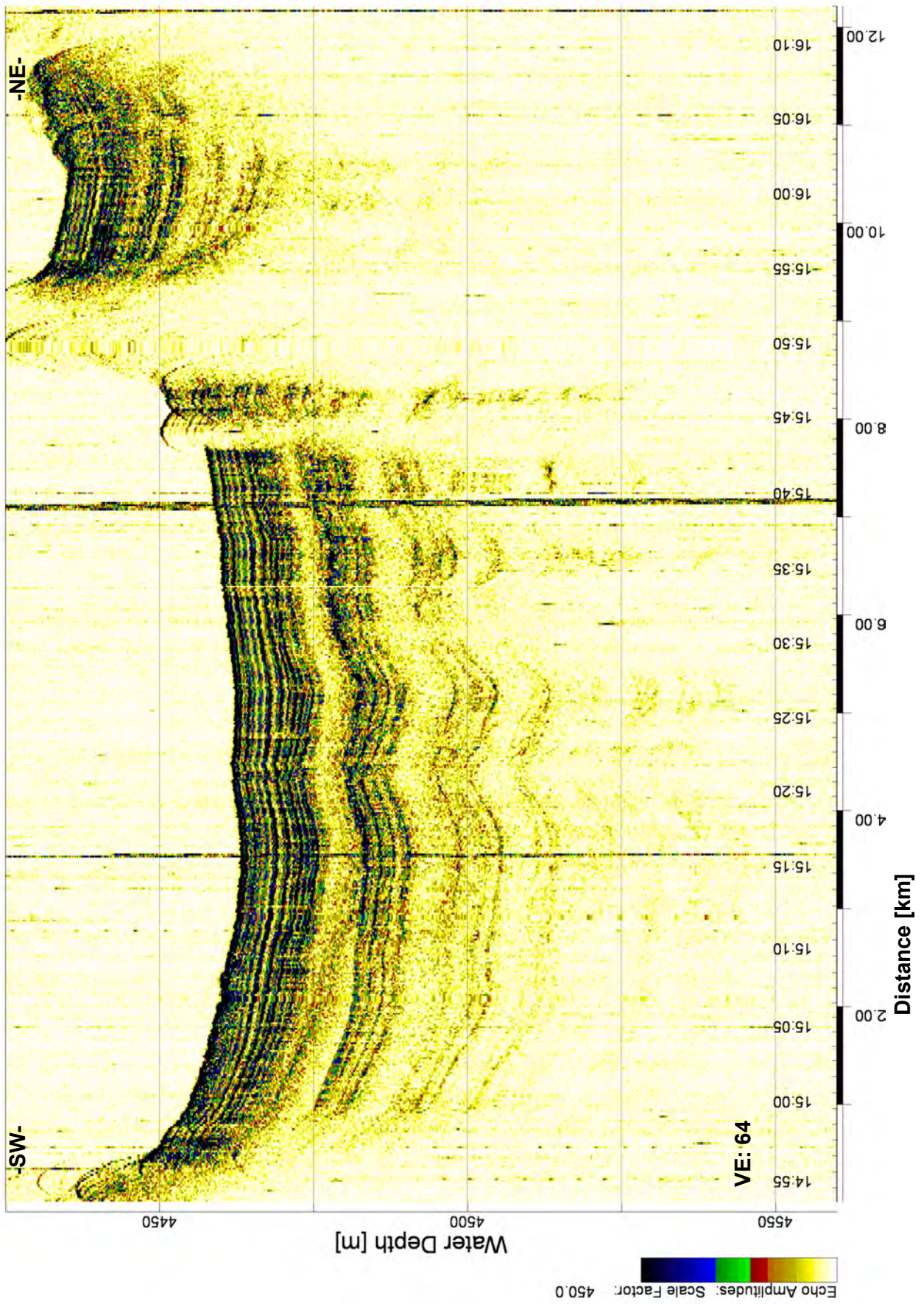


Abbildung A23: Parasound-Profil 9, Profilausschnitt.

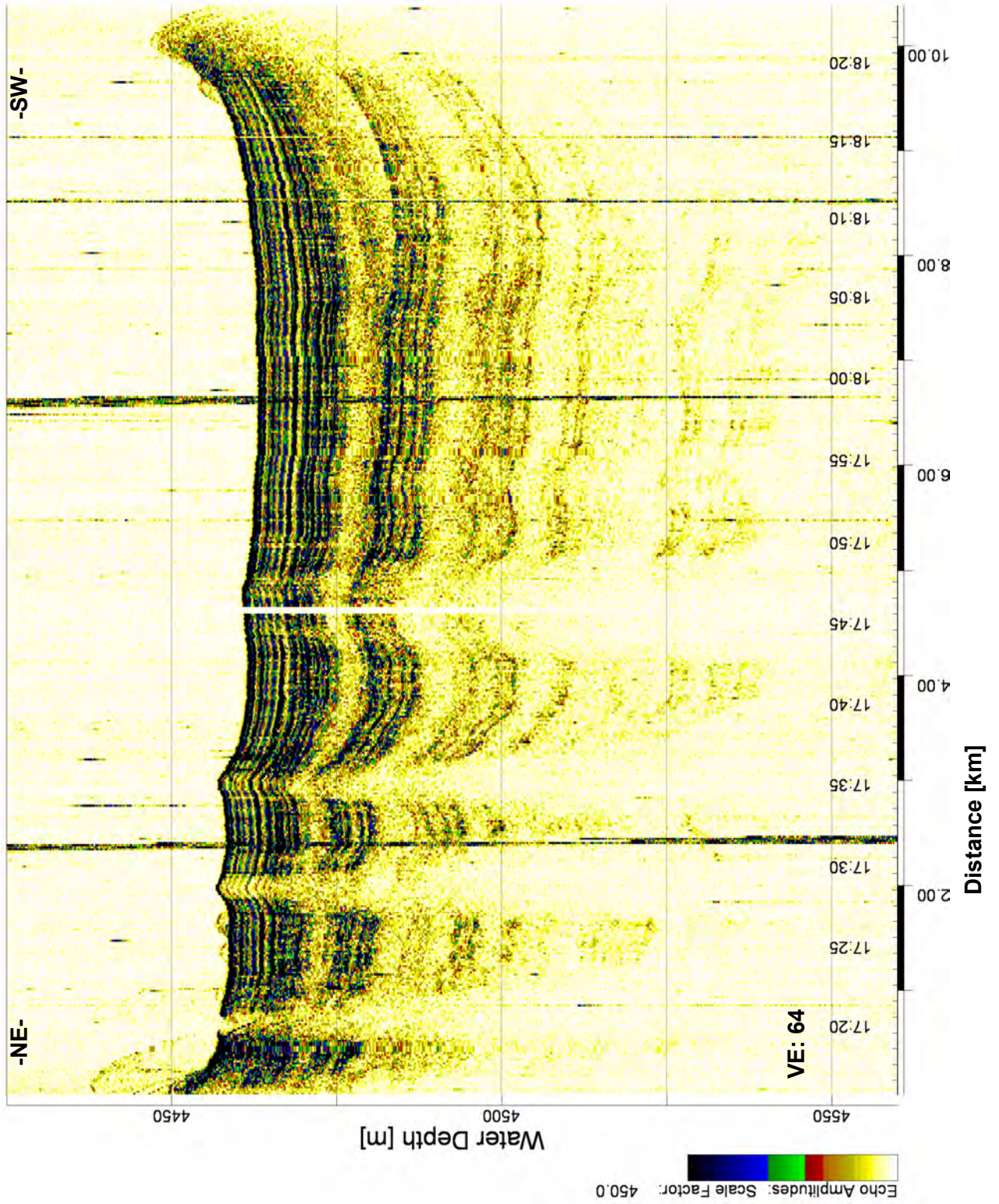


Abbildung A 24: Parasound-Profil 10, Profilausschnitt.

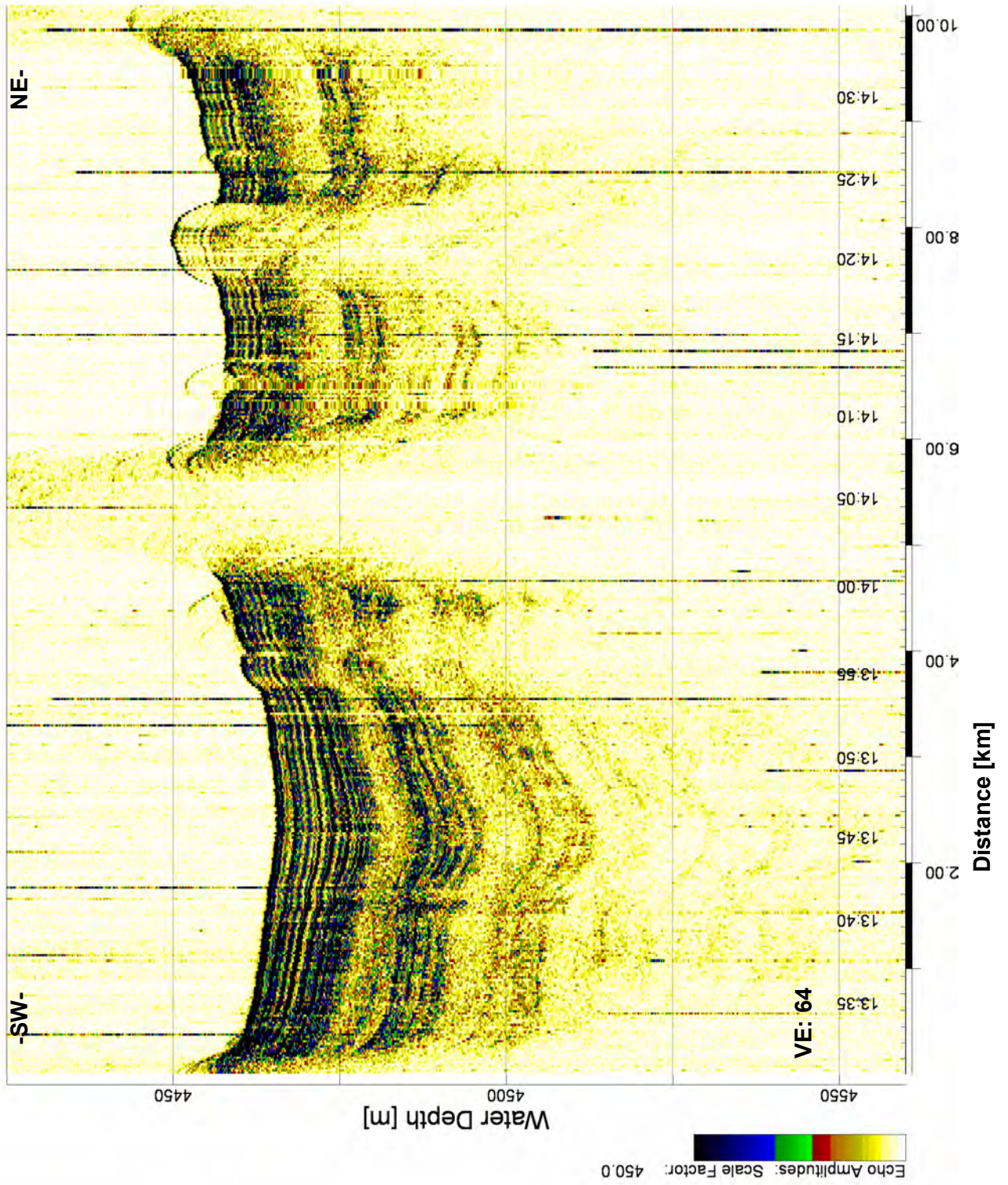


Abbildung A 25: Parasound-Profil 11, Profilausschnitt.

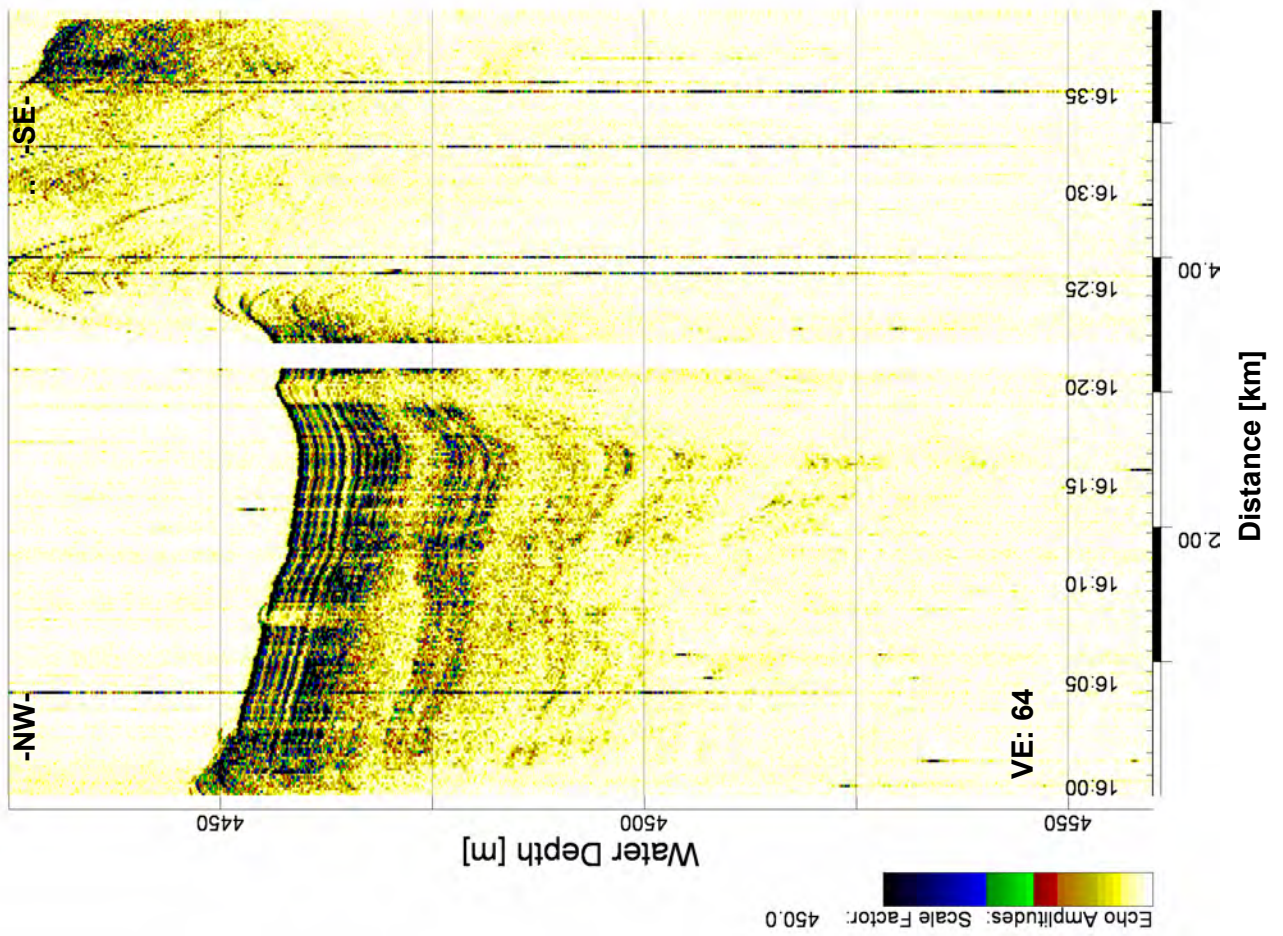


Abbildung A 26: Parasound-Profil 12, Profilausschnitt.

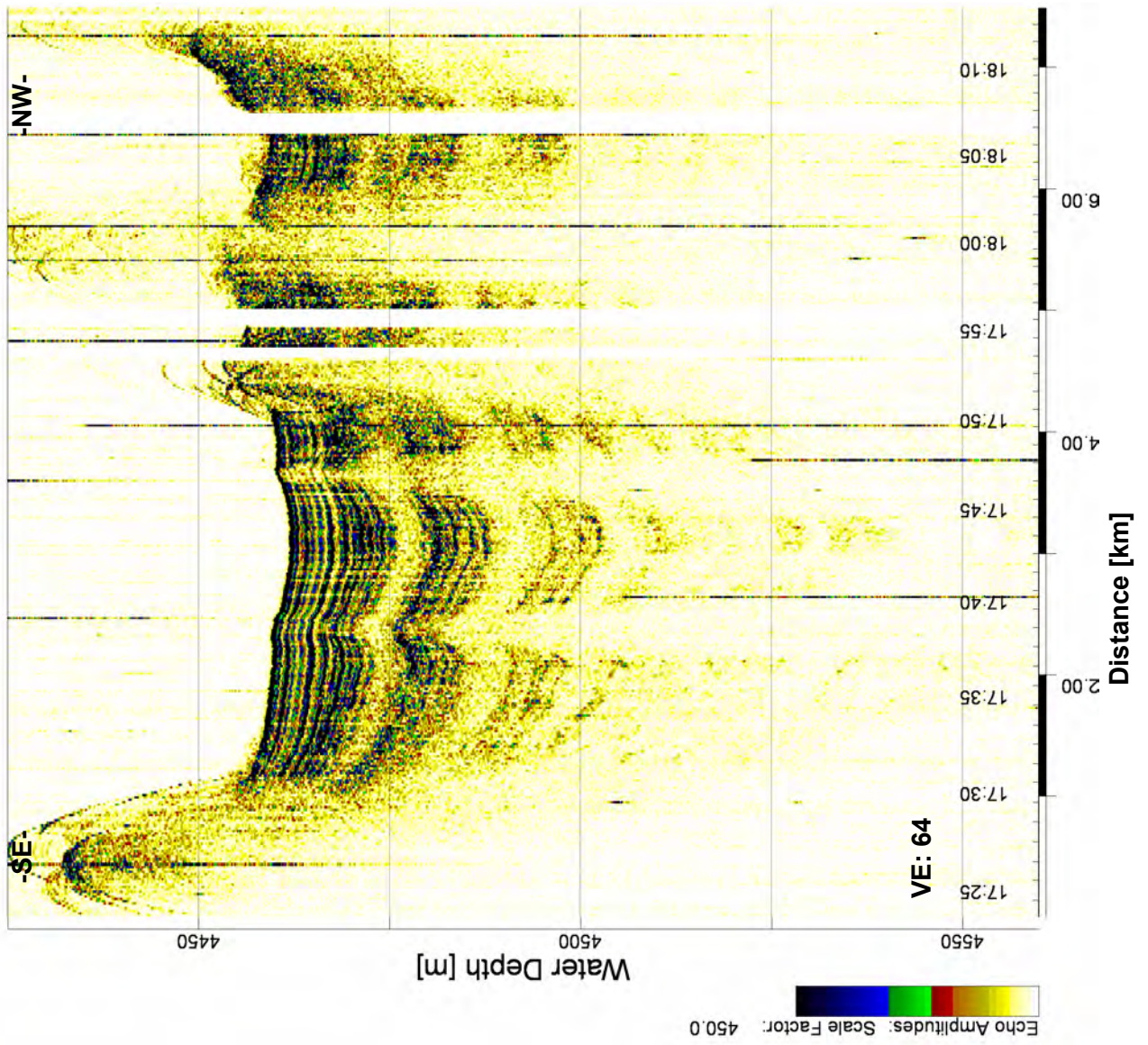


Abbildung A 27: Parasound-Profil 13, Profilausschnitt.

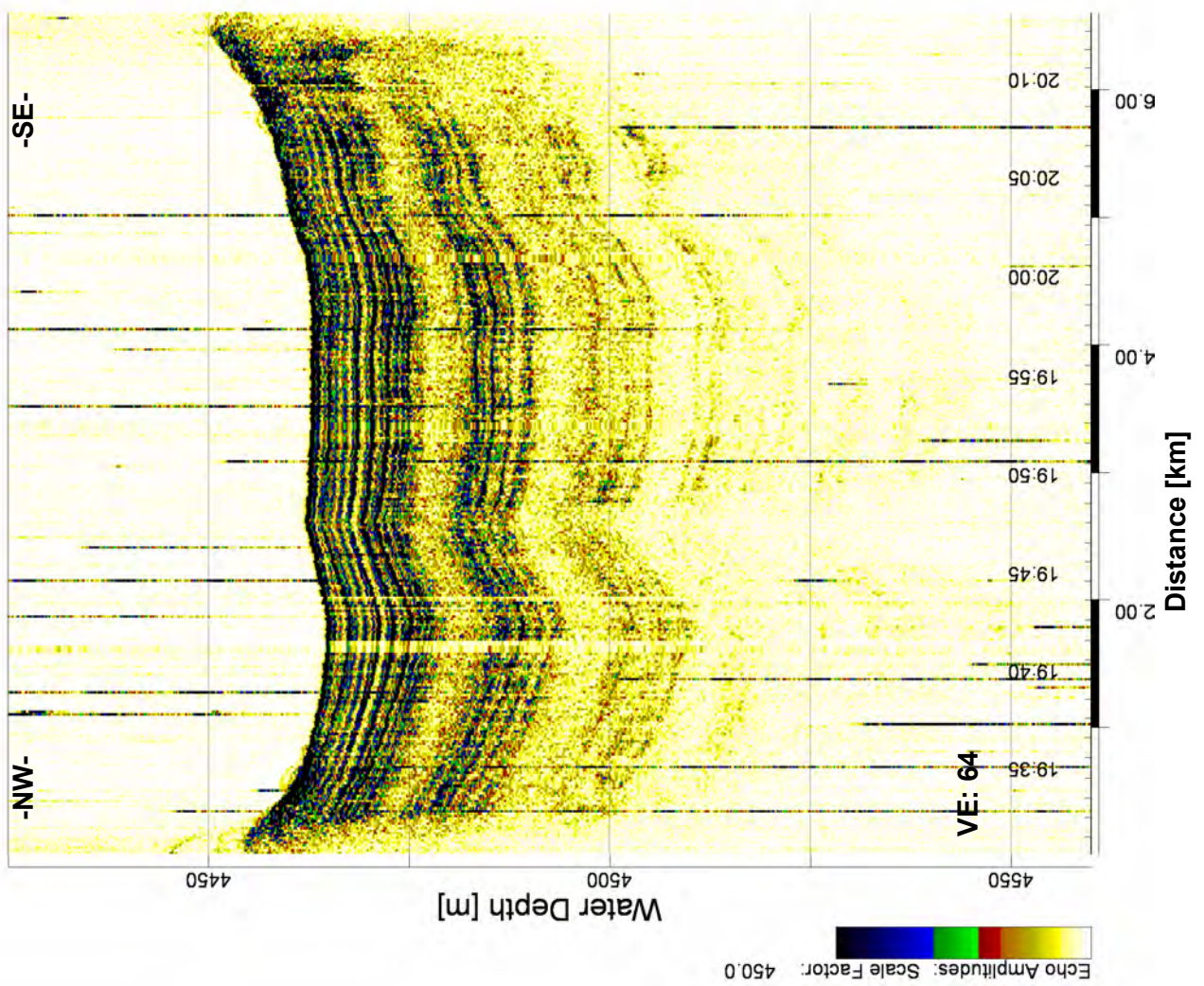


Abbildung A28: Parasound-Profil 14, Profilausschnitt..

Anhang zu Kapitel 3.1

Profile mit Uhrzeiten

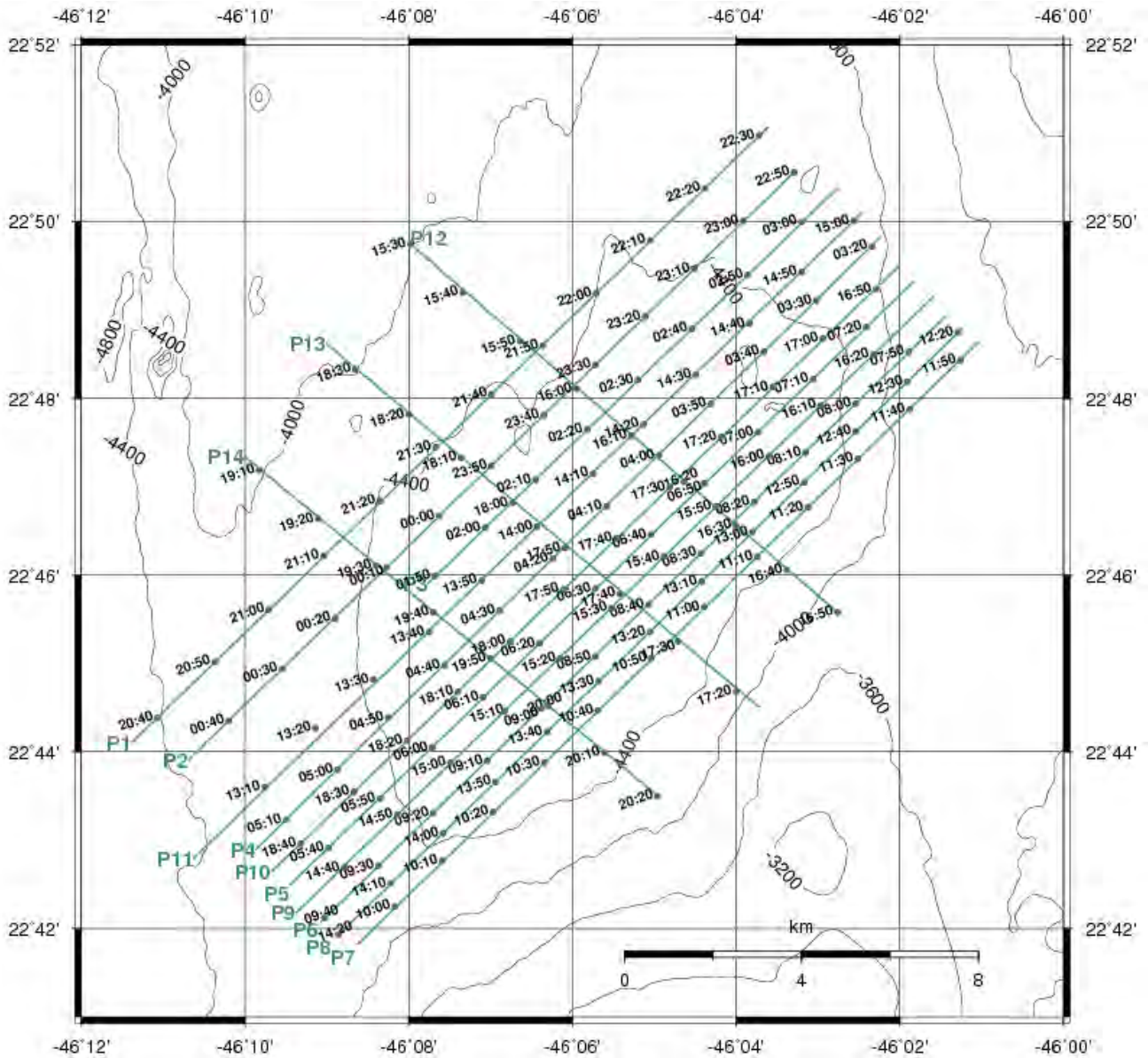


Abbildung A29: Profile mit Uhrzeiten.

Anhang zu Kapitel 3.1
Rutschungen mit erkennbarer
Bewegungsrichtung

Tabelle A2: Rutschungen mit erkennbarer Bewegungsrichtung

	Anfang von Rutschungen			Ende von Rutschungen			Transport- richtung
	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddd]d	Lon [dd.ddd]d	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddd]d	Lon [dd.ddd]d	
P2	23:48	-46.11486	22.78886	00:00	-46.12661	22.77822	NE-SW
P4	04:37	-46.12328	22.75231	04:49	-46.13583	22.74114	SW-NE
P5	05:55	-46.13356	22.72975	06:15	-46.11275	22.74842	SW-NE
P6	09:00	-46.10683	22.74108	09:19	-46.12750	22.72261	SW-NE
P8	13:43	-46.10872	22.73383	13:56	-46.12197	22.72192	SW-NE
P9	14:56	-46.12889	22.72733	15:15	-46.10828	22.74592	SW-NE
P10	17:56	-46.10789	22.75853	18:22	-46.13528	22.73400	SW-NE
P11	13:31	-46.13928	22.74789	13:43	-46.12583	22.75897	SW-NE
P12	16:05	-46.09389	22.79769	16:15	-46.08256	22.78858	NW-SE

Anhang zu Kapitel 3.3

Transparente Zonen

Tabelle A3: transparente Zonen unter Hyperbeln

	Anfang transparenter Zonen			Ende transparenter Zonen		
	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddddd]	Lon [dd.ddddd]	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddddd]	Lon [dd.ddddd]
P2	23:37	-46.10261	22.79969	23:47	-46.11264	22.79094
P3	02:02	-46.11542	22.77767	02:16	-46.10106	22.79039
P3	02:29	-46.08778	22.80239	02:40	-46.07692	22.81214
P4	04:13	-46.09622	22.77675	04:16	-46.09997	22.77342
P4	04:20	-46.10364	22.77014	04:22	-46.10631	22.76781
P6	08:22	-46.06519	22.77861	08:26	-46.06964	22.77464
P6	08:33	-46.07642	22.76853	08:36	-46.07986	22.76544
P7	11:07	-46.06597	22.76694	11:09	-46.06356	22.76914
P8	12:57	-46.06075	22.77711	12:13	-46.06292	22.77522
P9	15:43	-46.07886	22.77236	15:45	-46.07653	22.77450
P9	15:57	-46.07406	22.77681	15:53	-46.06608	22.78386
P11	14:01	-46.10669	22.77611	14:07	-46.09953	22.78250
P11	14:18	-46.08683	22.79386	14:24	-46.08217	22.79797
P12	16:07	-46.09064	22.79522	16:08	-46.08981	22.79453
P12	16:23	-46.07431	22.78200	16:35	-46.06069	22.77131
P13	17:51	-46.10239	22.77256	17:54	-46.10567	22.77528
P13	17:58	-46.10953	22.77831	18:02	-46.11392	22.78167

Tabelle A4: transparente Zonen ohne Hyperbeln ab einer Sedimenttiefe von 0-20 m

	Anfang transparenter Zonen			Ende transparenter Zonen		
	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddddd]	Lon [dd.ddddd]	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddddd]	Lon [dd.ddddd]
P2	23:50	-46.11597	22.78783	23:52	-46.11753	22.78633
P10	17:19	-46.06839	22.79381	17:23	-46.07294	22.78972
P10	17:27	-46.07678	22.78625	17:31	-46.08086	22.78264
P10	17:34	-46.08336	22.78047	17:37	-46.08775	22.77656
P12	16:19	-46.07892	22.78567	16:20	-46.07736	22.78444
P13	17:45	-46.09625	22.76778	17:48	-46.09906	22.76989

Tabelle A5: transparente Zonen ohne Hyperbeln ab einer Sedimenttiefe von 20-40 m

	Anfang „Blanking“			Ende „Blanking“		
	UTC-Zeit [hh:mm]	Lon [dd.ddd]	Lon [dd.ddd]	UTC-Zeit [hh:mm]	Lat [dd.ddd]	Lon [dd.ddd]
P4	04:03	-46.08592	22.78625	04:08	-46.09053	22.78206
P4	04:10	-46.09261	22.78003	04:13	-46.09678	22.77625
P4	04:34	-46.11892	22.75625	04:37	-46.12242	22.75311
P5	06:45	-46.07808	22.77956	06:50	-46.07411	22.78311
P6	08:45	-46.09028	22.75597	08:48	-46.09297	22.75353
P6	08:53	-46.09881	22.74836	08:56	-46.10183	22.74567
P8	13:24	-46.08817	22.75242	13:28	-46.09228	22.74875
P9	15:28	-46.09403	22.75872	15:35	-46.08739	22.76472
P9	15:37	-46.08408	22.76764	15:39	-46.08189	22.76969
P10	17:43	-46.09347	22.77150	17:49	-46.10058	22.76508
P11	13:54	-46.11453	22.76917	13:58	-46.10892	22.77406
P11	14:26	-46.07867	22.80108	14:31	-46.07322	22.80583
P12	16:09	-46.08953	22.79433	16:12	-46.08619	22.79156
P13	17:37	-46.08628	22.76011	17:40	-46.08964	22.76269
P14	19:45	-46.12250	22.75519	19:49	-46.11781	22.75186

Tabelle A6: Profilkreuzungen, an denen transparente Zonen unter Hyperbeln auftreten

Profile	Lat [dd°mm.mm,,]	Long [dd°mm.mm,,]
P2, P13	22°46.83,,	-46°06.73,,
P9, P12	22°46.77,,	-46°04.26,,
P11, P13	22°46.60,,	-46°04.05,,
P6, P12	22°46.56,,	-46°06.40,,

Tabelle A7: Profilkreuzungen, an denen transparente Zonen ohne Hyperbeln auftreten

Profile	Lat [dd°mm.mm,,]	Long [dd°mm.mm,,]
P10, P12	22°47.11,,	-46°04.68,,
P10, P13	22°46.10,,	-46°05.82,,
P9, P13	22°45.76,,	-46°05.38,,
P4, P14	22°45.26	-47°06.27,,