

Seismische Stratigraphie der Walchenseesedimente

Bachelor Thesis

Author(s):

Landtwing, Delano

Publication date:

2009

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007215214>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Seismische Stratigraphie der Walchenseesedimente

Bachelorarbeit

Delano Landtwing

Juli 2009

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Seismische Stratigraphie der Walchenseesedimente

Bachelorarbeit,
Delano Landtwing

Juli 2009

Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich
Departement Erdwissenschaften

Betreuer:
Prof. Dr. Flavio Anselmetti
Dr. Adrian Gilli

Abstract

The sediments of Walchensee, an alpine lake situated 60 km in the south of Munich, have been examined using a 3,5 kHz reflection seismic survey. A seismic sequence stratigraphy of the sediment fill has been made. Two sedimentary basins – Basin A and Basin B – were examined in detail. Both basins and their basement's morphology were formed by glacial processes. In Basin A, a moraine is detected under the sediment fill, which is, as the deepest zone, formed by glacial processes. Both basins were divided in different seismic sequences. A correlation between basins A and B is proposed: the youngest sequence (AI and BI) has in both cases similar geometric and seismic properties (onlap geometry). Using age data from a short core (Kühn, 2009) the beginning of this sequence has been estimated to be 350 years old. This sequence boundary seems to mark the onset of different sedimentary conditions. The second sequence in Basin A (AII) is characterized by six multiple mass flows, which are overlain by an up to 1.25 m thick megaturbidite. As a trigger mechanism an earthquake is suspected. In Basin B, multiple mass flows have been found as well – but without megaturbidite. A correlation to the same major event is proposed but cannot be proofed. Interpolating sedimentation rates of a short core (Kühn, 2009), this event was dated to 1350 AD. Considering a likely change in sedimentation rate between the first two sequences, a correlation of the multiple mass flows with an earthquake located in southern Germany from the year 1117 AD is suggested. Further mass flows in both basins have been found and mapped but they were not multiple slides and thus not indicative of a seismic trigger mechanism. In the deepest zone of basin A, a third seismic sequence (AIII) was identified, characterized by clear onlap geometry. This sequence is not observed in Basin B and likely was deposited during retreat of the glacier in the Late Glacial period in a glaciolacustrine lake. The sequence III-II may represent the transition from the Late Glacial period to the Holocene.

Zusammenfassung

Mittels 3,5 kHz Reflexionsseismik wurde die Sedimentfüllung des alpinen Walchensees, welcher 60 km südlich von München liegt, untersucht. Es wurde eine seismische Stratigraphie gemacht. Zwei Sedimentbecken – Becken A und B – wurden näher untersucht. Es wurde festgestellt, dass beide Becken glazial geprägt sind und deren Basement einen glazialen Ursprung hat. Im Falle des Beckens A kann sogar eine Moräne unter dem Sediment nachgewiesen werden.

Beide Becken wurden in seismische Sequenzen eingeteilt. Es ist eine Korrelation zwischen Becken A und B möglich: deren jüngste Sequenz (AI und BI) weist in beiden Fällen ähnliche geometrische und seismische Eigenschaften auf (z.B. onlap). Das Alter dieser Sequenzen wurde mit Hilfe eines Kurzkerne (Kühn, 2009) auf 350 Jahre geschätzt. Es wird von einer Änderung des Sedimentationsregimes an der Sequenzgrenze ausgegangen.

In einer zweiten Sequenz (AII) sind im Becken A sechs multiple Massenbewegungen zu finden, welche von einem Megaturbidit überdeckt sind. Als Auslösemechanismus für dieses Ereignis wird ein Erdbeben verantwortlich gemacht. In Becken B sind ebenfalls multiple Massenbewegungen – jedoch ohne Megaturbidit – zu finden. Eine Korrelation ist möglich, kann aber nicht bestätigt werden. Das Alter dieses Ereignisses wurde auf 1350 AD geschätzt (Interpolation Kurzkerne, (Kühn, 2009)). Wegen Ungenauigkeiten und einem möglichen Wechsel des Sedimentationsregimes wurde das Ereignis aber mit einem Erdbeben 1117 AD im Süddeutschen Raum in Verbindung gebracht. Weitere (nicht multiple) Massenbewegungen wurden in beiden Becken kartiert.

In der tiefsten Zone des Beckens A wurde eine dritte seismische Sequenz (AIII) im Becken beobachtet, welche wieder onlap aufweist. Es wird vermutet, dass diese subglazial – also während des Rückzuges der Gletscher entstand, bzw. deren Sequenzgrenze die Grenze zum Holozän ist. Es wird erneut von einer Veränderung im Sedimentationsregime ausgegangen. Diese Sequenz kann in Becken B nicht beobachtet werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
Über dieses Projekt	11
Ziele	11
Einschränkungen und Grenzen	11
2. Der Walchensee	12
Allgemeines und Lage	12
Anthropogener Einfluss: Funktion als Speicherkraftwerk	13
Geologische Situation	13
Tektonischer Überblick und Geologie um den See	13
Der Walchensee zur Zeit des Eiszeitmaximums	13
Geologisches Profil nahe des Walchensees	14
Geologische Karte vom Walchensee	15
3. Methoden	17
3,5 kHz - Reflektionsseismik	17
Prozessierung der Daten mit Seismic Processing Workshop	18
Interpretation der Daten mit <i>Kingdom Suite Software</i>	19
4. Ergebnisse	20
Datenerhebung und Mächtigkeit der Sedimentbecken	20
Beobachtungen im Becken A	21
Drei seismische Ablagerungssequenzen	21
Sequenz AI - Jüngste Ablagerungssequenz	22
Sequenz AII: Massenflüsse und Megaturbidit	23
Sequenz AIII	24
Beobachtungen im Becken B	25
5. Diskussion & Interpretation	28
Korrelation zwischen Becken A und B: Sequenz AI und BI	28
Korrelation mit Kurzkern aus Becken A	28
Einfluss der Altlach im Becken B?	29
Massenbewegungen im Becken A	29
Megaturbidit und Simultanrutschungen: Erdbeben?	29
Korrelation mit Kurzkern und Erdbeben	30
Andere Massenbewegungen im Becken A	32
Massenbewegungen im Becken B	34
Multiple Ereignisse und Korrelationen zum Becken A	34

Sequenz AIII in Becken A _____	36
Glaziale Prägung: Beckenform und Moränenfortsatz _____	36
6. Schlussfolgerung und Ausblick _____	38
Änderungen des Sedimentationsregimes _____	38
Megaereignis: Erdbeben! _____	38
Glaziale Beckenprägung und Sedimentation der ersten Stunde _____	38
Ausblick _____	39
Datierung und Korrelation _____	39
Weitere Langkerne _____	39
Vorschläge für Kernstellen _____	39
Literaturverzeichnis _____	41
Abbildungsverzeichnis _____	43
Danksagungen _____	45
Anhang _____	47

1. Einleitung

Über dieses Projekt

Seesedimente sind natürliche Archive. Das im Wasser vor alluvialen Erosionsprozessen geschützte Seesediment kann Untersuchungen vergangener Jahrtausende ermöglichen. Die Sedimente können Aufschluss über vergangene Naturkatastrophen wie Hangrutschungen (Sletten et al., 2003), Bergstürze oder sogar Erdbeben (Schnellmann et al., 2006; Monecke et al., 2006) geben. Speziell bei Erdbeben reichen die Archive der Seen meist weiter zurück als die von Menschen geführten Archive (bis ca. 1000 Jahre vor unserer Zeit). Die Erforschung des Paläoklimas oder anthropogene Einflüsse (z.B. Wirth, 2008) auf den See sind ebenfalls im Sediment des Sees archiviert.

Das veränderte Sedimentationsgeschehen nach der Überleitung der Oberen Isar (1924), dem Flinzbach (1943) und dem Rissbach (1950) in den Walchensee wurde 1983 untersucht (Steinberg et al., 1983). Arbeiten am Sediment mit Sedimentkernen wurden jedoch am Walchensee kaum gemacht bzw. publiziert. Die wenigen Publikationen beschränken sich auf Untersuchungen zu Schwermetallkonzentrationen (Michler et al., 1981) und auf CA-, P- und Pflanzenpigmentgehalte von drei ¹³⁷Cs-datierten Kurzkernen (Steinberg et al., 1983), diese zeigen jedoch massive Veränderungen in der Sedimentgeochemie durch die Erweiterung des Einzugsgebietes. Die Sedimentfüllung des Walchensees wurde jedoch bis heute nicht hinreichend erforscht. Dadurch bietet diese ein grosses Potenzial an.

Ziele

In dieser Bachelorarbeit wurde die Sedimentfüllung des alpinen Walchensees mittels Reflexionsseismik untersucht und anschliessend elektronisch ausgewertet. Ziel dieser Auswertung war es, eine seismische Stratigraphie der Sedimente im Walchensee zu erstellen. Diese umfasst eine Ereignisstratigraphie, sprich Rutschungen, Massenbewegungen und (Mega-)Turbidite, seismisch erkennbare Unterschiede im Sedimentationsregime, eventuelle Erosionen im Sediment und geometrische Merkmale im Sedimentationsgeschehen. Mögliche multiple Rutschungen, welche auf Erdbeben schliessen lassen (Schnellmann et al., 2002; Shilts & Clague, 1992) sollen auch in diesen Katalog aufgenommen werden. Mit Hilfe dieser Stratigraphie soll das postglaziale Sediment kartiert werden und es soll möglich sein, Kernentnahmestellen (Langkerne) für zukünftige Forschungsarbeiten am Walchensee zu bestimmen.

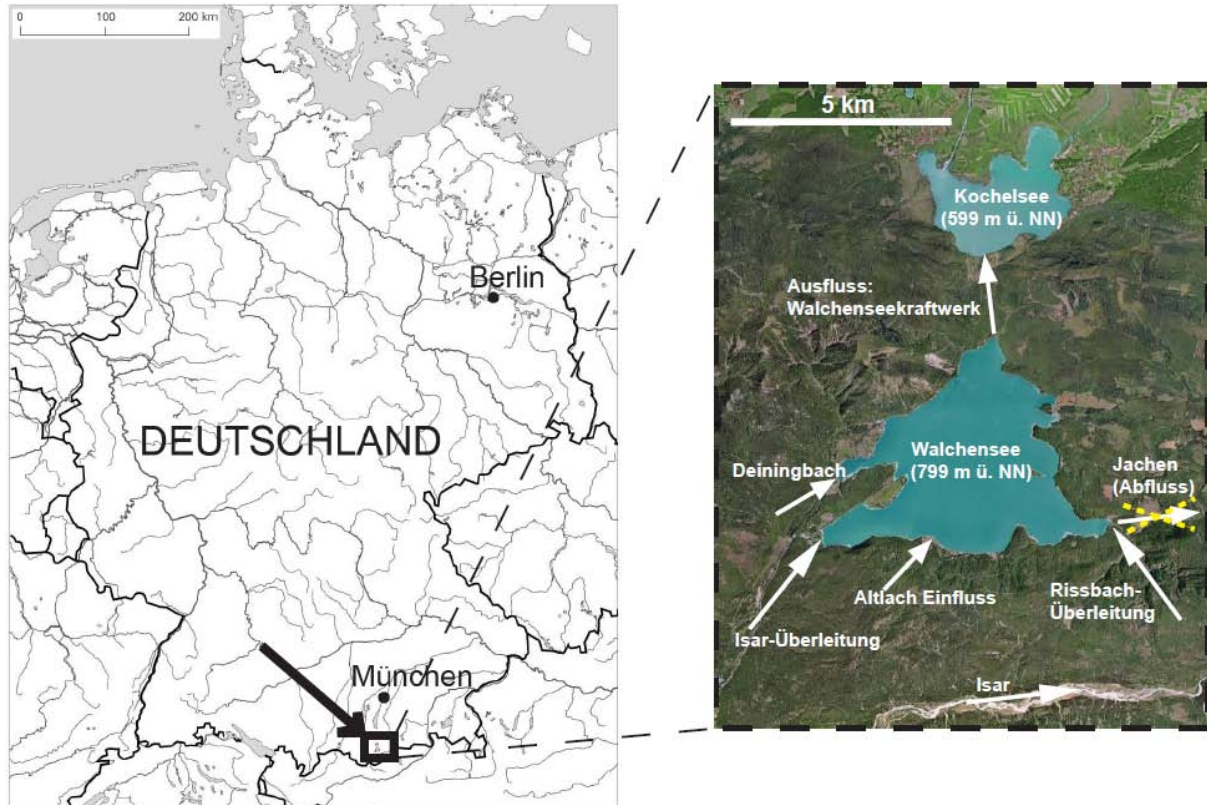
Einschränkungen und Grenzen

Auf Grund des sehr limitierten Zeitrahmens einer Bachelorarbeit war es nicht möglich Langkerne zur Datierung der Sedimente zu entnehmen. Die einzelnen Ereignisse müssen daher relativ zueinander dargestellt werden und nicht in absoluter Zeit.

Dank datierten Kurzkernen, welche uns von der Ludwig-Maximilians-Universität in München zur Verfügung gestellt wurden, war es möglich Sedimentraten auf kurze Zeit zu bestimmen und zu interpolieren. Dies ersetzt jedoch keine Langkerne.

2. Der Walchensee

Allgemeines und Lage



Figur 1: Geographische Lage sowie Zu- und Abflüsse (Schweizer Weltatlas, 2006 und Google Earth, 2009)

Der Walchensee befindet sich 60 Kilometer südlich von München (vgl. Figur 1). Sein mittlerer Wasserstand liegt bei 799,3 m ü. NN. Mit seiner 16.112 km² Wasseroberfläche ist der Walchensee einer der größten deutschen Alpenseen. Das Seebecken erreicht eine maximale Tiefe von 189,5 m, wobei die mittlere Tiefe bei 80,8 m liegt (Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2009).

Einige weitere Eckdaten zum Walchensee:

Höhe (mittlerer Wasserstand)	799,3 m ü. NN
Oberfläche	16.112 km ²
Volumen	1299,7 Mio. m ³
Maximale Tiefe	189,5 m
Uferlänge	27,0 km
Einzugsgebiet	Ursprünglich: 59,3 km ²
	Seit 1951: 783 km ²
Theoretische Erneuerungszeit	Ursprünglich: 18,5 Jahre
	Bis 01.05.1990: 1,62 Jahre
	Seit 01.05.1990: 1,9 Jahre
Mischungsverhalten	Mono- bis dimiktisch, selten volle Durchmischung

Figur 2: Eckdaten zum Walchensee (Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2009)

Anthropogener Einfluss: Funktion als Speicherkraftwerk

Der natürliche topographische Höhenunterschied (200 m) zwischen Walchensee und Kochelsee wird seit 1924 durch das Walchensee Wasserkraftwerk genutzt. Zwecks Effizienzsteigerung wurde 1924 ein Teil der Isar in den Walchenseeübergeleitet, 1943 der Flinzbach und schliesslich 1950 der Rissbach (vgl. Figur 1). Zudem wird der Abfluss des Jochen mit einem Wehr geregelt (Figur 1, gelb gepunktet durchgestrichen). Zwei weitere Laufkraftwerke beim Einfluss der Isarüberleitung (Obnacher Kraftwerk) und beim Einfluss des Rissbaches in den Walchensee (Niedernacher Kraftwerk) regulieren den Wasserhaushalt des Walchensees. Als Folge dieser anthropogenen Einflüsse ist der Wasserpegel des Walchensees geregelt, bzw. abhängig vom Kraftwerkbetrieb (Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2009).

Durch diese äusseren Einflüsse vergrösserte sich das Einzugsgebiet des Walchensees in den Jahren 1924 bis 1950 von nur 59,3 km² auf 783 km². Die Erneuerungszeit des Seewassers sank von ursprünglich 18,5 Jahren auf 1,62 Jahre. Sie erhöhte sich jedoch durch eine Teiltrückleitung der oberen Isar am 01.05.1990 auf 1,9 Jahre (Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2009).

Geologische Situation

Tektonischer Überblick und Geologie um den See

Der Walchensee liegt am nördlichen Rande der Kalkalpen, an der Grenze zwischen dem ostalpinen Deckenstapel und einer aufgestellten Flyschzone gefolgt von einer helvetischen Einheit. Wenige Kilometer weiter nördlich dieser Formationen treffen wir auf die aufgeschobene Molasse und die glazial geprägte Landschaft um den Starnberger See. Das beigelegte geologische Profil nahe des Walchensees (Figur 3, Seite 14) verdeutlicht diesen Zusammenhang. Man beachte, dass das Profil in einer Entfernung von nur wenigen Kilometern vom Walchensee entfernt liegt.

Der Walchensee selbst ist umgeben von Formationen der Kössener Schichten, des Hauptdolomiten und des Plattenkalks – allesamt Trias-Sedimente der Ostalpinen Einheiten (vgl. Figur 4). Die erwähnte Flyschzone bzw. die Formationen des Helvetikums sind am Walchensee selbst nicht aufgeschlossen, jedoch findet man Evidenzen ihrer Existenz wenige Kilometer nördlich nahe des Kochelsees.

Die Entstehung des Walchensees wird neben der glazialen Erosion während der Pleistozänen Eiszeiten durch eine tektonische Störung, die so genannte „Loisachströrung“ (Niedermayer, 1935 und Doben, 1985), erklärt. Es handelt sich dabei um tektonische Störungen, welche in NO-SW-Richtung zwischen Kochelsee und Walchensee verlaufen (vgl. geologische Karte des Walchensees, Figur 4, Seite 15).

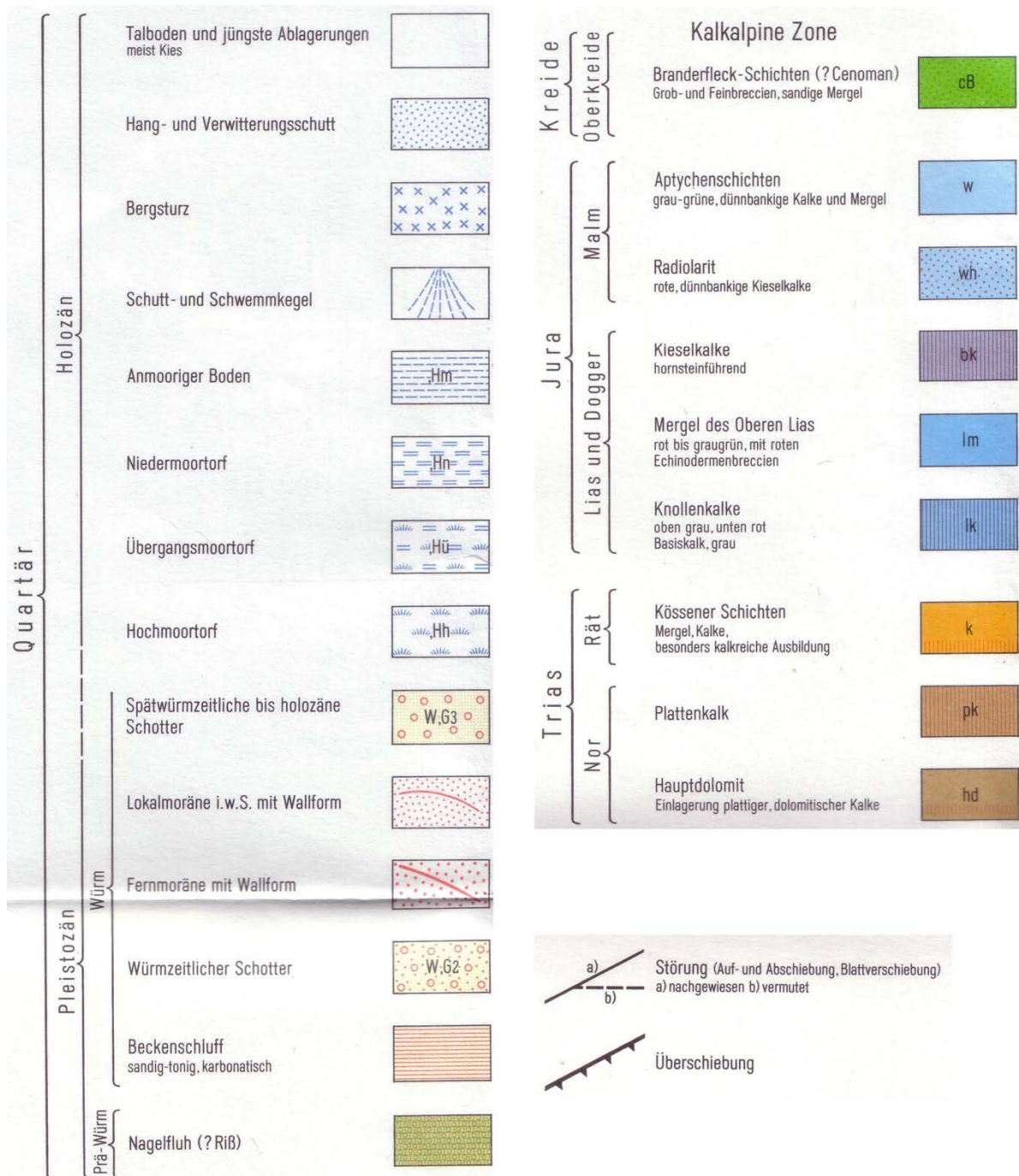
Der Walchensee zur Zeit des Eiszeitmaximums

Im Eiszeitalter wurde der See glazial überprägt, wobei das Seebecken mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeformt wurde. Verantwortlich für diese Überprägung war der Isar-Loisach Gletscher, welche durch das Seebecken Richtung Starnberger See / München vorsties (Meyer & Schmidt-Kaler, 2002). Bei Betrachtung der geologischen Karte des Walchensees (Figur 4, Seite 15) sind immer noch Moränenteile an den Seeufern zu erkennen – Evidenzen für eine glaziale Überprägung. Eine Moräne ragt sogar in den See (vgl. gepunktete Umkreisung, diese Moräne ist die Halbinsel Zwergern), es ist möglich und wahrscheinlich, dass diese subaquatisch weiterführt.

Geologische Karte vom Walchensee



Figur 4.1: Geologische Karte um den Walchensee (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1983, 1985, 1975, 1993)



Figur 4.2: Legende zur geologischen Karte des Walchensees (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1983, 1985, 1975, 1993)

3. Methoden

3,5 kHz - Reflektionsseismik

Die seismischen Daten dieser Bachelor-Arbeit wurden am 7. und 8. April 2009 erhoben. Es handelt sich um hochauflösende Reflektionsseismik. Es wurde ein *ORE (Ocean Research Equipment)-Single-Channel System* der Forschungsgruppe für Oberflächengewässer der Eawag Dübendorf verwendet.



Figur 5: Boot und Seismic Katamaran

Als seismische Quelle und gleichzeitig Empfänger diente *GeoAcoustics 3.5 kHz 4-element pinger* (4 Piezoelektrische Elemente), welche auf einem Katamaran ca. 15 cm unter der Wasseroberfläche befestigt wurde. Der Katamaran wurde seitlich an einem Motorboot (vgl. Figur 5), welches sich während der Aufnahme der seismischen Daten mit 6 km/h auf dem See fortbewegte.

Als Pulsgeber für das akustische Signal wurde ein *Geo-Pulse Transmitter 5430A von ORE* verwendet. Digitalisiert und abgespeichert wurden die Daten mit einem

seismischen Datenprozessor des Typs *Octopus Marine 360 Shallow Seismic Processor*. Die Daten wurden im Format *SEG-Y* abgespeichert. Jeder Datenpunkt wurde mit einer GPS-Koordinate verknüpft.

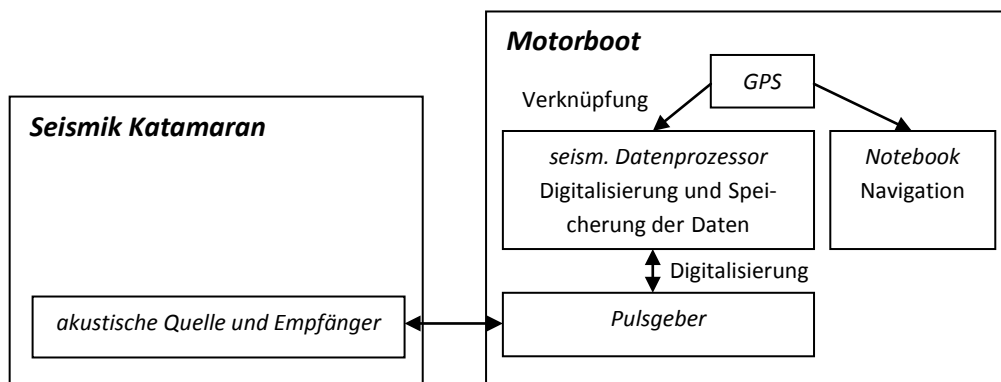
Die Navigation auf dem See fand mit einem GPS-Gerät des Typs „*GPS Map 76Cx*“ und der Software *Fugawi Global Navigator 4.1* statt.

Weitere Parameter zur akustischen Quelle:

Frequenz der akustischen Quelle:	3,5 kHz
Schussintervall:	500 ms
Abtastintervall bzw. Digitalisierungsrate:	42 μ s (24 kHz)
p-Wellengeschwindigkeit im Wasser:	1500 m/s
Geschwindigkeit des Bootes:	6 km/h

Figur 6: Wichtige Parameter der Datenerhebung

Anordnungsschema der Ausrüstung

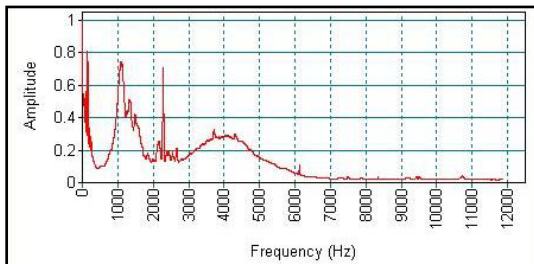


Figur 7: Anordnungsschema der Ausrüstung

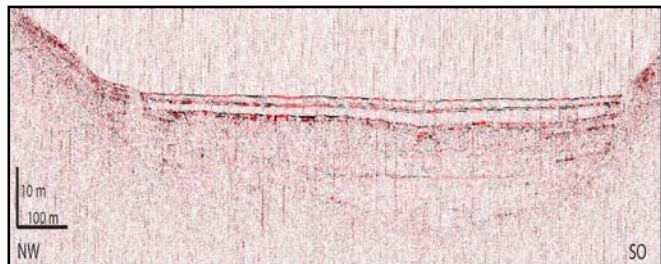
Prozessierung der Daten mit Seismic Processing Workshop

Anschliessend an die Datenerhebung wurden die seismischen Daten prozessiert. Es wurden Signale, bzw. Frequenzen (z.B. elektrisches Signal, Bootsmotor), welche keine geologisch relevanten Informationen enthielten, herausgefiltert. Es wurde ein *Band Pass Filter* der Software *Seismic Processing Workshop, Version 2.2.13* der Firma *Parallel Geoscience Corp.* verwendet.

Um festzustellen, welche Frequenzen gefiltert werden müssen, wurde das Amplitudenspektrum eines ungefilterten seismischen Profils betrachtet (Figur 8 und Figur 9):



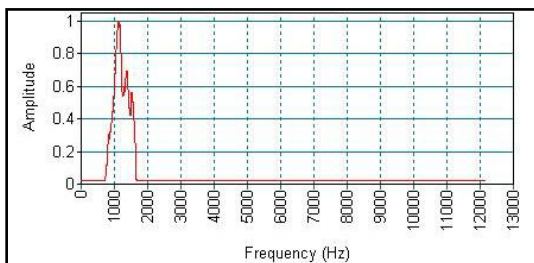
Figur 8: Amplitudenspektrum ungefiltert



Figur 9: seism. Profil ungefiltert

In Figur 8 sind vier Ausschläge zu erkennen. Das Signal unserer Quelle hatte eine 'nominale' Frequenz von 3,5 kHz. Es wird also davon ausgegangen, dass der Ausschlag zwischen 3000 Hz und 6500 Hz durch die akustische Quelle verursacht wurde. Desweiteren ist die Frequenz von Strom (50 Hz) bekannt. Hier ist ebenfalls ein Ausschlag zu erkennen und es wird davon ausgegangen, dass bei 50 Hz keine geologisch relevanten Informationen vorhanden sind.

Nachfolgend werden durch Bandpassfilterung die Ausschläge zwischen 700 Hz und 1600 Hz (Figur 10 und Figur 11) und zwischen 1600 Hz und 2500 Hz (Figur 12 Figur 13) isoliert:

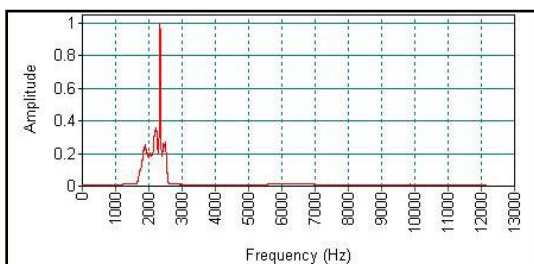


Figur 10: Amplitudenspektrum gefiltert, 700-1600Hz



Figur 11: Seism. Profil, 700 - 1600Hz

Nach einer Isolation der Frequenzen zwischen 700 und 1600 Hz (Figur 10 und Figur 11) kann festgestellt werden, dass dieser Ausschlag keine geologisch relevanten Informationen enthält, so dass er während des Prozessierens herausgefiltert werden sollte.



Figur 12: Amplitudenspektrum gefiltert, 1600-2500Hz

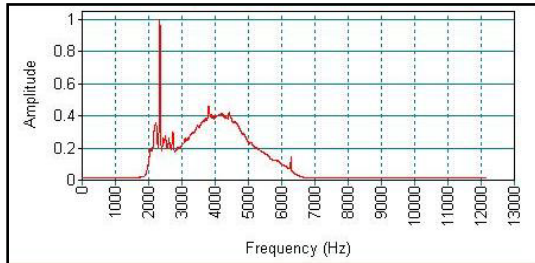


Figur 13: Seism. Profil, 1600 - 2500Hz

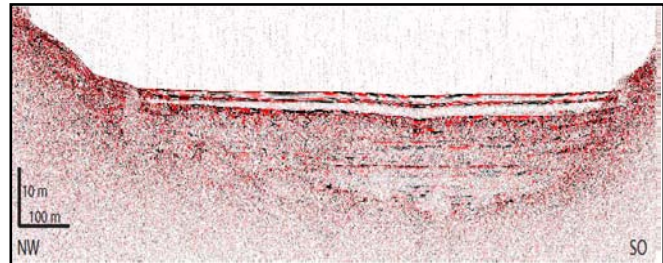
Der Ausschlag zwischen 1600 und 2500Hz enthält jedoch geologisch relevante Informationen (Figur 12 und Figur 13) und muss deshalb berücksichtigt werden. Dies ist besonders wichtig, da die tiefsten

relevanten Frequenzen am weitesten in den Untergrund eindringen und somit zur Interpretation des Fels und Moränenuntergrund wichtig sind.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde beschlossen, die Frequenzen 1800 Hz bis 6500 Hz zu isolieren, da diese geologisch relevante Informationen enthalten (vgl. Figur 14 und Figur 15).



Figur 14: Amplitudenspektrum gefiltert, 1800-6500Hz



Figur 15: Seism. Profil, gefiltert, 1800 - 6500Hz

Alle weiteren Linien wurden mit dem Band Pass Filter gefiltert, so dass die Frequenzen 1800 Hz bis 6500 Hz isoliert sind.

Auf weitere Prozessierungsschritte wie Migration und Dekonvolution wurde verzichtet, um keine geologisch relevanten Informationen zu verlieren. Bisherige Studien (Bühler, 2003) mit der gleichen Ausrüstung zeigten, dass eine Migration nur wichtig ist, wenn exakte Geometrien der Seeoberfläche (z. Bsp. Kanäle) wichtig sind, wobei aber stratigraphische Information an Klarheit verlieren. Eine Dekonvolution kann die 'Signalschärfe' verbessern (von Salis, 1998), führt aber ebenfalls zum Auftreten von unerwünschten Artefakten.

Interpretation der Daten mit *Kingdom Suite Software*

Die seismischen Daten wurden anschliessend mit der Software *Kingdom Suite 8.2 2d/3d pack* von *Seismic Micro-Technology Inc.* bearbeitet. Mit dieser Software wurden die verschiedenen Horizonte, bzw. Reflexionen 'gepickt'. Zunächst wurde der Seegrund markiert, welcher als erste positive Amplitude (auf den seismischen Profilen schwarz; negativ ist rot) definiert wurde.

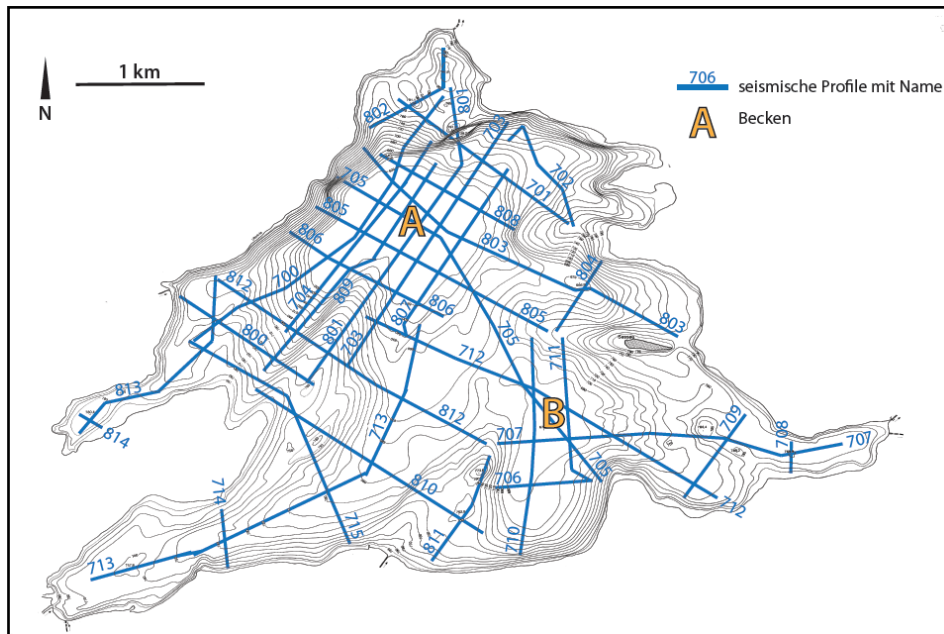
Andere Horizonte, wie Begrenzungen von Massenbewegungen oder Turbidite wurden anschliessend gepickt (genaue Definitionen siehe Kapitel 4. Ergebnisse). Um die Konsistenz der Horizonte zu gewährleisten wurden jeweils vier sich kreuzende seismische Profile gewählt und an den Schnittpunkten überprüft, ob die Horizonte deckungsgleich sind. Weiter wurde dieses „Netz“ auf alle Profile ausgeweitet und abgeglichen, soweit der Horizont noch vorhanden war.

4. Ergebnisse

Datenerhebung und Mächtigkeit der Sedimentbecken

Im Laufe der mit 3,5 kHz Reflexionsseismik gemachten Datenerhebung wurden 31 seismische Profile aufgenommen. Aus der bathymetrischen Karte des Walchensees (Fels, 1922) kann entnommen werden, dass zwei Sedimentbecken vorhanden sind (markiert mit A und B in Figur 16). Aus Gründen der Gravitation sammelt sich das meiste Sediment an den tiefsten Punkten eines Sees (den Becken), folglich bedeutet dies ein Maximum an gelagerten Informationen.

Konzept der Messungen war es demnach, 1. ein engmaschiges Netz von seismischen Profilen über beiden Becken zu erhalten, um ein Maximum an Daten über diese Becken und den darin gelagerten Informationen zu sichern; 2. den See grossflächig mit seismischen Profilen abzudecken um eventuelle andere Becken ausfindig zu machen und 3. mit einem beide Becken überspannenden Profil mögliche Korrelationen zwischen den beiden Hauptbecken A und B zu ermöglichen. Figur 16 bietet eine Übersicht über die erhobenen seismischen Profile relativ zur bathymetrischen Karte.

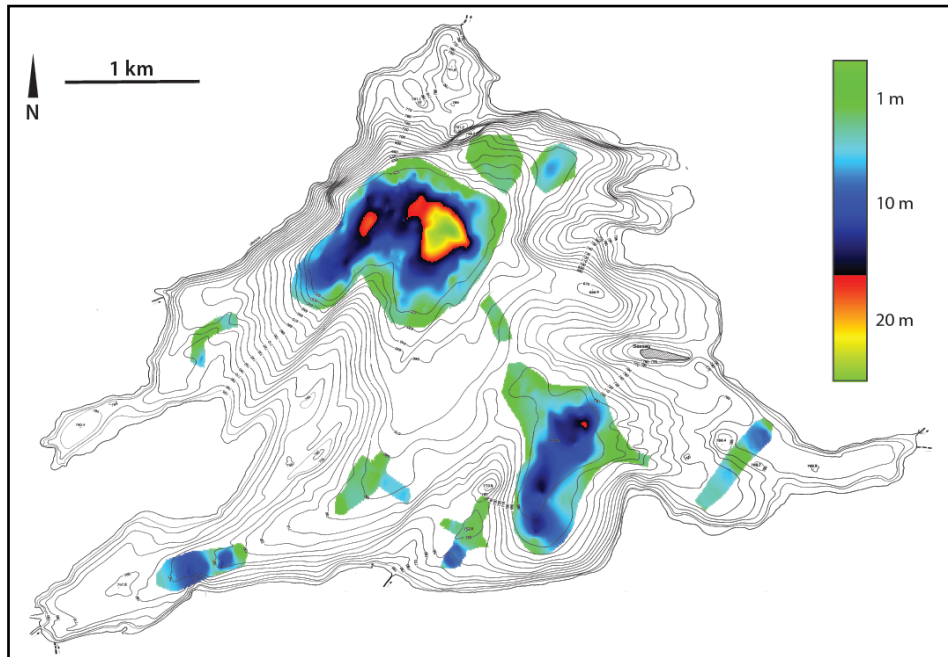


Figur 16: bathymetrische Karte des Walchensees (Fels, 1922; gilt auch für Folgefiguren) mit seismischen Profilen und markierten Becken; die Namen der seismischen Profile sind in Form dreistelliger Nummern angegeben

In einer ersten Auswertung der seismischen Daten bestätigte sich die Vermutung, am meisten Sediment in den Becken A und B zu finden. In Becken A erreichen die Sedimente Mächtigkeiten (Abstand Seegrund bis Bedrock/Moräne) von bis zu 24 Metern, im Becken B bis zu 15 Metern. In Figur 17 sind die Mächtigkeiten der Sedimente dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Sedimentmächtigkeit in Becken A ein Maximum von 24 Metern erreicht und zum Beckenrand hin abnimmt. Die ursprüngliche Form beider Becken wurde mit Sediment aufgefüllt und der Seegrund hat nun im Bereich dieser beiden Becken eine horizontale Fläche erreicht.

Grundsätzlich wurde das Konzept bestätigt, dass sich das meiste Sediment in den Becken befindet. In Betrachtung der Figur 17 kann man jedoch feststellen, dass sich an diversen Orten im See ebenfalls Sedimentablagerungen von 1 – 5 Metern Mächtigkeit befinden. Diese sind jedoch nur von geringer

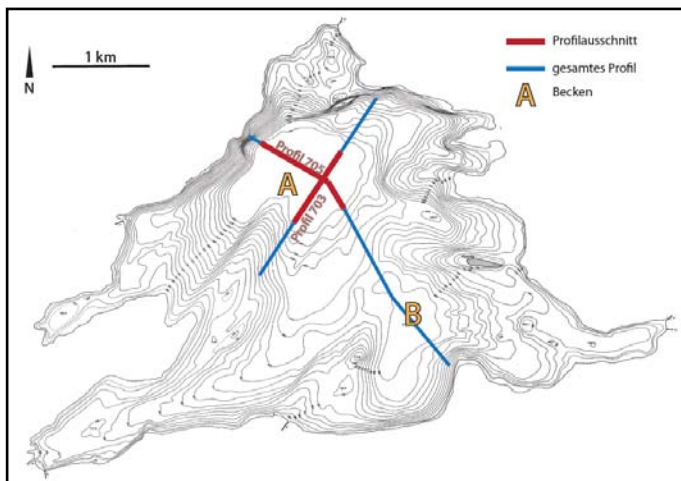
Relevanz, da deren Sediment entweder seismisch nicht ausgewertet werden kann oder zu wenig Informationen bzw. Ereignisse enthält.



Figur 17: Mächtigkeiten der Sedimente (Abstand Seegrund zu Bedrock/Moräne)

Beobachtungen im Becken A

Drei seismische Ablagerungssequenzen



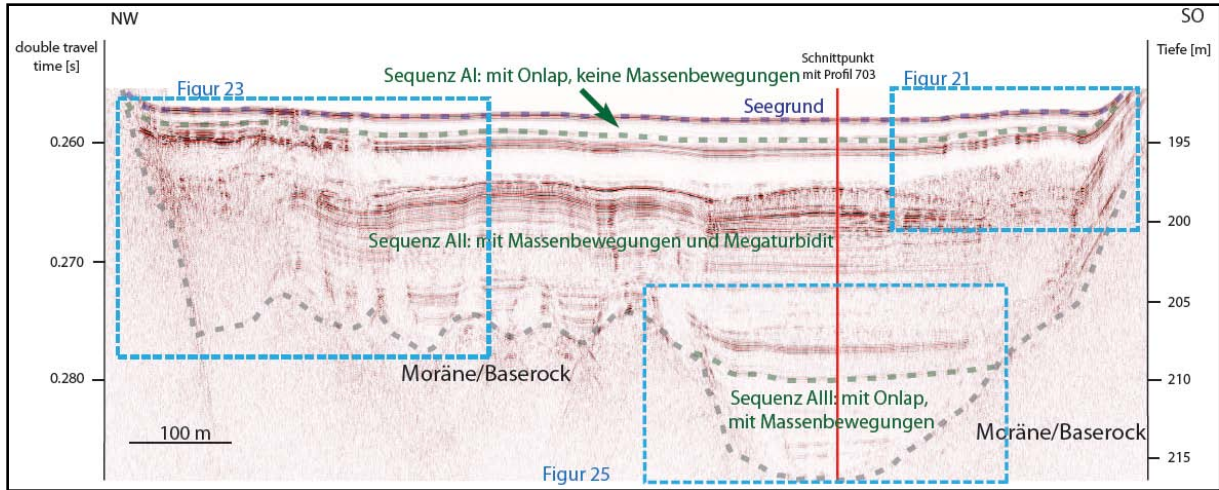
Figur 18: Lage der seismischen Profile 703 und 705

Die Daten der hochauflösenden Reflexionsseismik erlaubten es, das Sediment im Becken A in drei verschiedene Ablagerungssequenzen zu unterteilen. Jede Sequenz hat akustische oder geometrisch charakteristische Eigenschaften. Die seismischen Profile 705 und 703 (vgl. Figur 18) zeigen hervorragende Beispiele für alle drei Sequenzen.

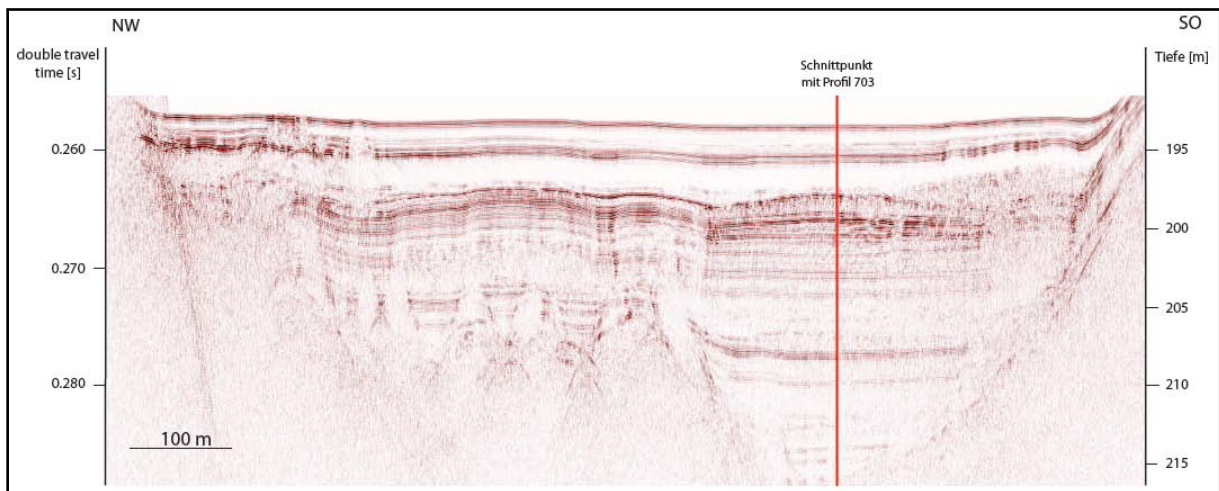
Figur 19 stellt eine Skizze des seismischen Profils 705 dar. Erkennbar sind die drei beobachteten Ablagerungssequenzen. Figur 20 zeigt das unbearbeitete seismische Profil 705.

Charakteristisch für die erste Sequenz (Sequenz A1) sind sehr niedrige Amplituden und so genannte „onlaps“ am Rande des Beckens. Die zweite Sequenz (Sequenz AII) zeichnet sich durch eine Abfolge von Körpern, die eine seismisch transparente Fazies haben und chaotische Strukturen aufweisen. Kontinuierliche seismische Reflexionen mit erhöhten Amplituden sind zwischen diesen Körpern zu finden. Diese Abfolge chaotischer Körper, welche später als Massenbewegungen interpretiert werden, folgt ein nahezu transparenter Körper (direkt unterhalb der Grenze zu Sequenz A1). Nur dessen obere Begrenzung weist erhöhte Reflexionen auf.

Die dritte und letzte Sequenz (Sequenz AIII) weist ebenfalls chaotische Körper auf. Signifikanter Unterschied und Abgrenzung zu jüngeren Abfolgen ist jedoch, dass die seismischen Reflexionen am Beckenrand verstummen und nicht wie bei jüngeren Schichten am Abhang des Beckens ebenfalls fortgesetzt werden. Es wird hier konkret von einem „onlap“ gesprochen.

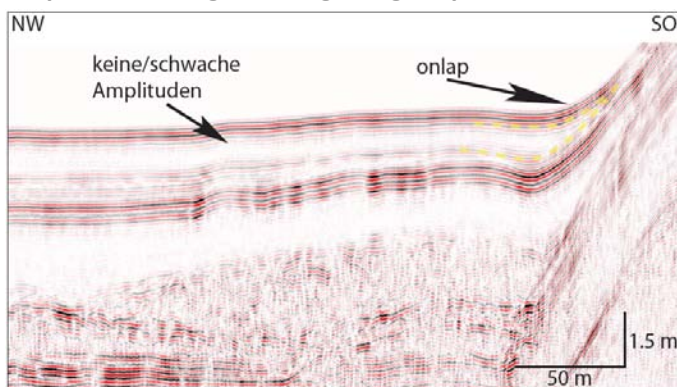


Figur 19: Skizze der drei Ablagerungssequenzen (Sequenz AI-AIII) in einem Ausschnitt des seismischen Profiles 705 (vgl. Figur 18) ; blau gepunktet umrandet sind in späteren Figuren vergrößerte Ausschnitte



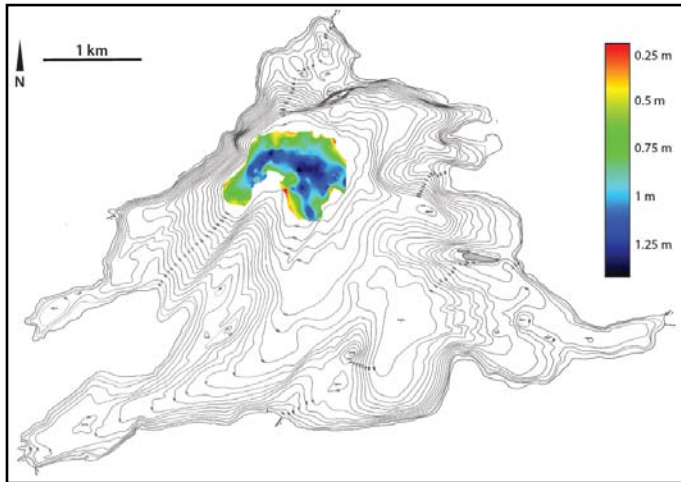
Figur 20: nicht interpretierter Ausschnitt des seismischen Profiles 705

Sequenz AI - Jüngste Ablagerungssequenz



Charakteristisch für die jüngste Ablagerungssequenz, welche sich direkt unter dem Seegrund befindet, sind erstens sehr schwache bis gar keine Amplituden und zweitens ein „Auskeilen“ bzw. „onlap“ der Reflexionen am Beckenrand (vgl. beides mit Figur 21). Diese Sequenz enthält keine chaotischen Massen.

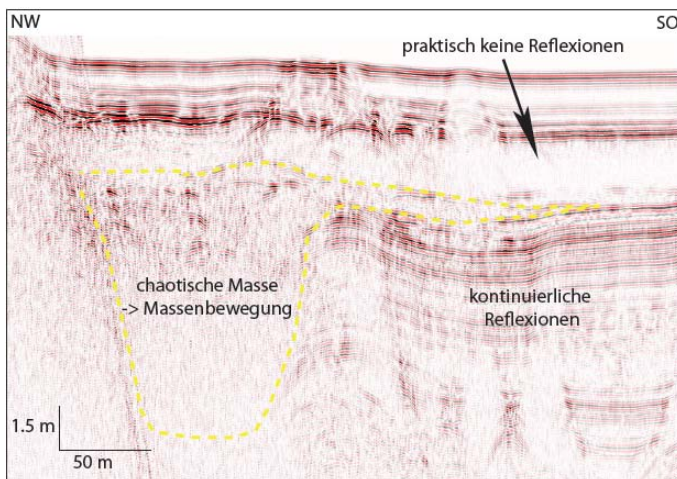
Figur 21: Ausschnitt aus Figur 20; Vergrößerung der jüngsten Ablagerungssequenz (Sequenz AI)



Figur 22: Isopachenkarte der jüngsten Ablagerungssequenz (Sequenz AI)

Eine Isopachenkarte (Figur 22) illustriert Verbreitung und Mächtigkeit der Sequenz AI. Die Karte bestätigt das Auskeilen, bzw. den „onlap“ an den Beckenrändern: Die Sequenz erreicht in der Mitte des Beckens Mächtigkeiten von über 1.25 m, nimmt jedoch Richtung Beckenrand kontinuierlich ab.

Sequenz AI: Massenflüsse und Megaturbidit



Figur 23: Ausschnitt aus Figur 20; Sequenz AI mit Megaturbidit und Massenflüssen

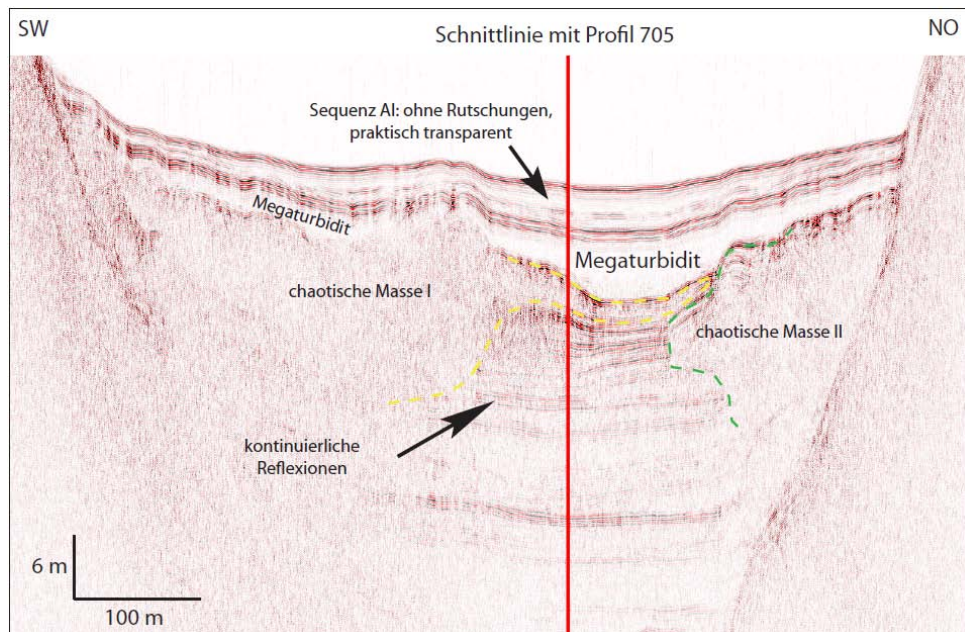
Die Sequenz AI ist geprägt von chaotischen Körpern mit einer nahezu transparenten seismischen Fazies, welche erosive Basalkontakte aufweisen. Kontinuierliche Reflexionen des ungestörten Sediments wurden hierbei abgeschnitten (vgl. Figur 23). Diese chaotischen Körper mit ihrer hügeligen bis flachen Oberfläche werden fortan als Massenbewegungen interpretiert. Grundsätzlich nimmt die Mächtigkeit dieser Massenbewegungen vom Abhang Richtung Mitte des Beckens immer mehr ab (vgl. Figur 23, Massenbewegung). Man kann ebenfalls beobachten,

dass diese Massenbewegungen Richtung Mitte des Beckens ungestörtes kontinuierliches Sediment überlagern (erkennbar an ungestörten Reflexionen, welche sich durch das Becken ziehen, vgl. Figur 23) (vgl. in Schnellmann et al., 2006; Prior, Bornhold, & Johns, 1984; Nardin et al. 1979; Mulder & Cochonot, 1996).

Chaotische, seismisch nahezu transparente Körper, welche als Massenbewegungen interpretiert werden, sind häufig von Megaturbiditen überlagert. Diese Megaturbidite zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus: Sie liefern keine akustischen Reflexionen, was heisst, dass die Reflexionsseismik sie quasi „durchsichtig“ abbildet (vgl. Figur 23 und Figur 24) (Bouma, 1987; Schnellmann et al., 2006), zusätzlich handelt es sich bei ihnen um einen Resedimentationsprozess, welcher durch aufgewirbeltes Material nach Massenflüssen in der Wassersäule suspendiert ist und wieder sedimentiert wird. Folge ist, dass sich das Material über dem ganzen Becken absetzt. Der grösste Teil des resedimentierten Materials setzt sich in der Mitte, bzw. dem tiefsten Teilen des Beckens ab (aus Gründen der Gravitation). Bei Betrachtung von Figur 23 und Figur 24 können wir Körper mit einer seismisch transparenten Fazies, d.h. praktisch keinen Reflexionen, erkennen. Die Beschreibung des Megaturbiditen und das Kriterium der Massenbewegung trifft zu, dieser Körper

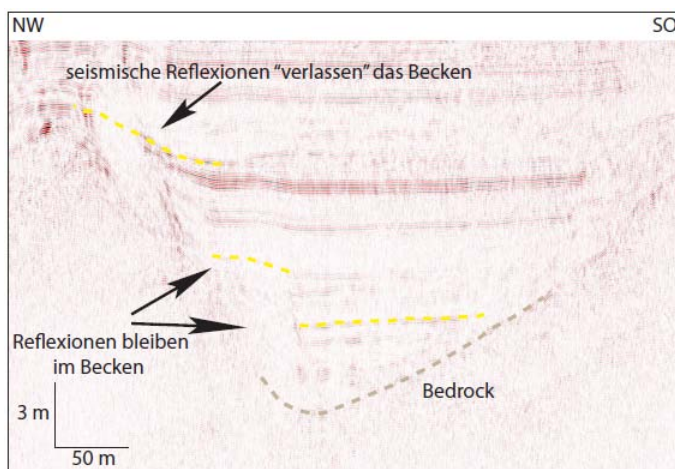
kann folglich als Megaturbidit interpretiert werden. Figur 24 veranschaulicht auch deutlich, dass der grösste Teil des resedimentierten Materials am tiefsten Punkt des Beckens sedimentiert wurde und dort auch am dicksten ist. Der als Megaturbidit definierte Körper erreicht hier Mächtigkeiten von bis zu 2 m.

Figur 24 zeigt noch einmal beide beschriebenen Körper: Massenbewegungen (Chaotische Masse I und II) und Megaturbidit sind klar erkennbar. Das Becken A ist, verglichen mit Sedimentationsbecken z.B. des Zürichsees oder des Vierwaldstättersees, mit einem Kilometer Durchmesser sehr klein. Als Folge davon kommt es zu direkten Kontakten, bzw. Überlagerungen von Massenbewegungen innerhalb des Beckens. Deutlich zu erkennen ist dies an einem Ausschnitt des seismischen Profils 703 (Figur 24): Zwei Massenbewegungen - von SW und NO – berühren sich hier, bzw. überlagern sich. Es ist jedoch keine ungestörte Sedimentation zwischen den beiden Ereignissen vorhanden. Ein Bild, das sich im gesamten Becken A widerspiegelt.



Figur 24: Ausschnitt des seismischen Profils 703

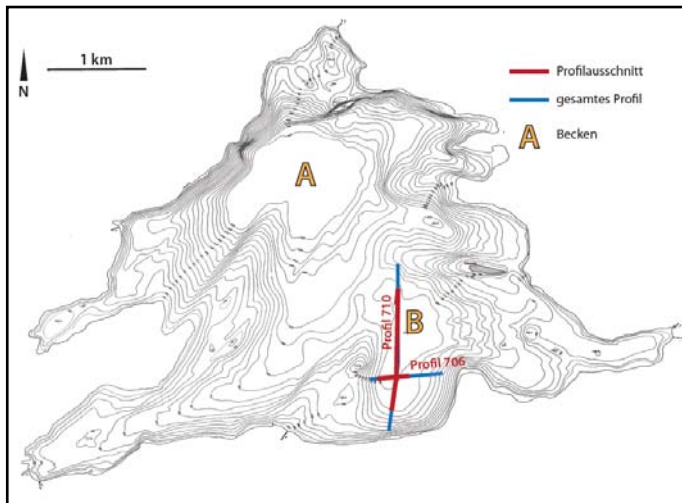
Sequenz AIII



Figur 25: Ausschnitt aus Figur 20, Sequenz AIII

In einer dritten definierten Sequenz sind ebenfalls seismisch chaotisch bis transparente Körper zu beobachten. Dies lässt auf Massenbewegungen schliessen. Eine Besonderheit dieser Sequenz ist, dass die Reflexionen ab einer gewissen Tiefe nicht mehr in die höher gelegenen Beckenregionen führen. Konkret: Die Reflexionen und somit Reflektoren im Sediment folgen dem Beckenabhang nicht nach oben, sondern werden abgeschnitten. Dies ist auf Figur 25 illustriert. Zu erkennen ist also erneut ein „onlap“.

Beobachtungen im Becken B



Figur 26: Lage der seismischen Profile 706 und 710 im Becken B

Das im Vergleich zu Becken A höher gelegene und weniger tiefe Becken B (nämlich mit Maximaltiefen bis 15 Metern, vgl. Figur 17) erlaubt nicht dieselbe Einteilung in seismische Einheiten bzw. Sequenzen. Zwar kann man chaotische Körper, also Massenbewegungen feststellen, jedoch sind diese nie so zahlreich und gross wie in Becken A. Dagegen ist direkt unter dem Seeboden ebenfalls eine Sequenz mit „onlap“ zu beobachten, welche v.a. in der Mitte des Beckens konzentriert ist. Als Besonderheit findet man im Becken B ein von Süden nach Norden dünner werdendes Sedimentpaket – und dies ohne den Einfluss von Rutschungen. Die Beobachtungen im Detail:

Die seismischen Profile 706 und 710 (vgl. Figur 27 bis Figur 30, bearbeitet, wie auch unbearbeitet) illustrieren die Beobachtungen. Die Beobachtungen im Becken B wurden in vier seismische Sequenzen mit charakteristischen seismischen und geometrischen Eigenschaften unterteilt (Sequenz BI bis BIV, wobei B für Becken B steht).

Die seismischen Profile 706 und 710 (vgl. Figur 27 bis Figur 30, bearbeitet, wie auch unbearbeitet) illustrieren die Beobachtungen. Die Beobachtungen im Becken B wurden in vier seismische Sequenzen mit charakteristischen seismischen und geometrischen Eigenschaften unterteilt (Sequenz BI bis BIV, wobei B für Becken B steht).

Sequenz BI besteht aus kontinuierlichen Rutschungen ohne chaotische oder transparente Körper (also keine Massenbewegungen). Vor allem im mittleren Teil des Beckens sind „onlaps“ zu beobachten: das Sediment wird am Beckenrand dünner. Zwei positive Amplituden werden z.B. zu einer reduziert. Die Sequenz BI ist in Figur 27 und Figur 29 deutlich erkennbar und markiert. Dieselbe Beobachtung wurde Sequenz AI im Becken A gemacht (vgl. Sequenz AI - Jüngste Ablagerungssequenz, Seite 22).

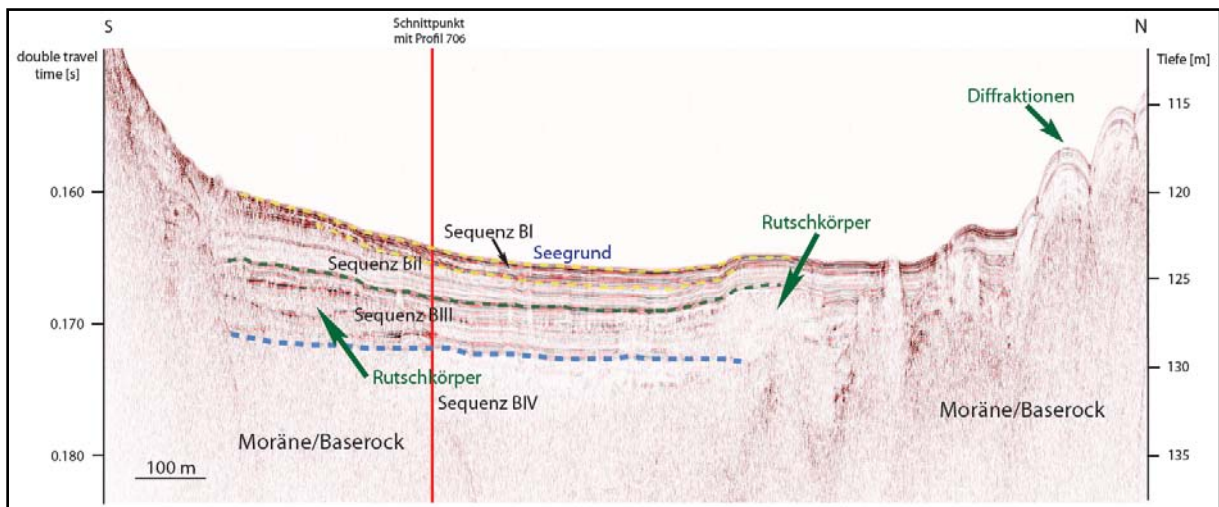
Sequenz BII weist keine Massenbewegungen auf (ausser einer sehr kleinen). Die Reflexionen sind kontinuierlich und scheinen ungestört. Onlaps sind am Beckenrand v.a. dort zu beobachten wo Moräne/Bedrock steil einfallend ist. Bei nicht so steiler Beckenbegrenzung, bzw. Untergrund hingegen ist draping zu beobachten (die seismischen Reflexionen „wandern“ den Abhang hinauf, also kein onlap). Die beobachteten onlaps sollten also nicht überinterpretiert werden, da sie nur in Kombination mit einem topographischen Phänomen auftreten. Auf dem seismischen Profil 710 (Figur 27) ist eine Abnahme der Mächtigkeit des Sedimentpakets zu sehen (mit gepunkteten Linien markiert). Es sind einzelne sehr kleine chaotische Massen zwischen den Reflexionen erkennbar, diese reichen aber nicht aus, um sie als Rutschungen/Massenbewegungen zu identifizieren. Die Charakteristika dieser Sequenz sind auch in Figur 29 zu beobachten, jedoch ist der Süd-Nord Trend (da es ein Querprofil ist) nicht zu sehen.

Sequenz BIII enthält zahlreiche chaotische und seismisch transparente Körper, welche als Massenbewegungen interpretiert werden können. Sie weisen erosive Basalkontakte auf – kontinuierliche Reflexionen in dieser Sequenz weisen Deformationen und Erosionen auf. (vgl. Figur 27 bis Figur 30)

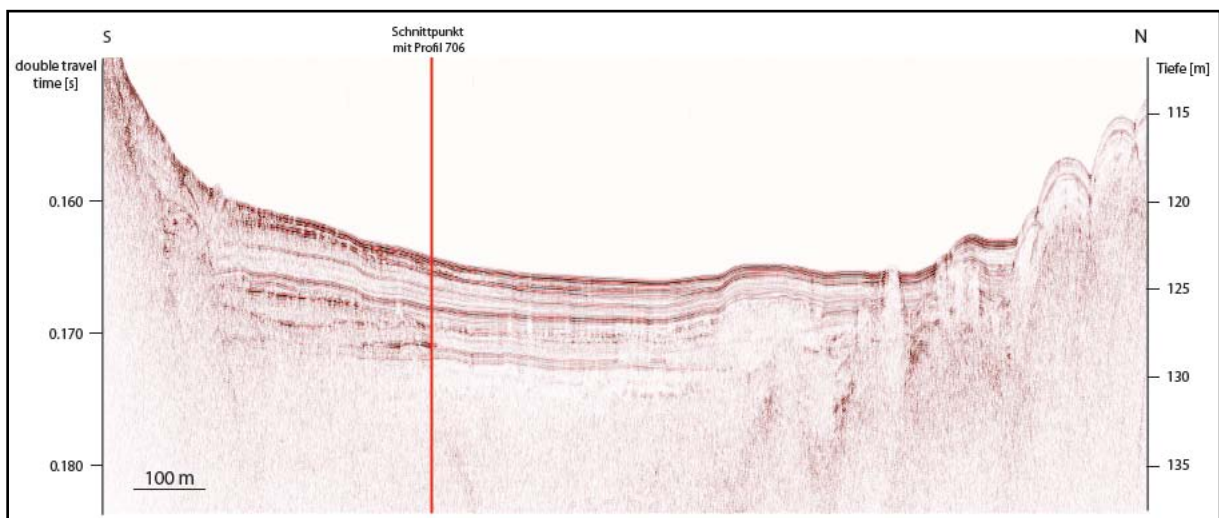
Sequenz BIV lässt kaum noch eine genaue Beschreibung zu. Kontinuierliche Reflexionen sind kaum zu erkennen. Die Amplituden werden immer schwächer, bzw. die seismischen Daten chaotischer. Da

diese aber keine kontinuierlichen Reflexionen durchschneiden, lässt dies nicht auf Massenbewegungen rückschliessen. Eine Begutachtung dieser Sequenz ist also kaum möglich.

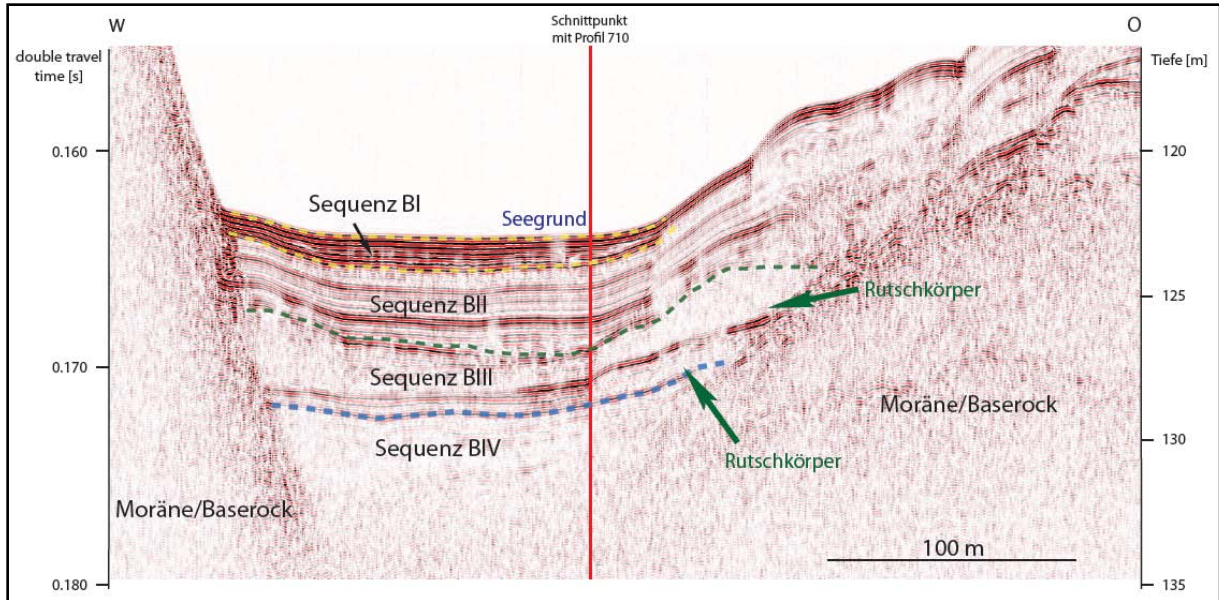
Eine weitere und nicht zonierte Beobachtung im Becken B sind Diffraktionen am Beckenrand (vgl. Figur 27). Grund für Diffraktionen sind Punktquellen. Dieses Phänomen lässt sich aber nur auf verschiedenen seismischen Profilen im Becken B beobachten.



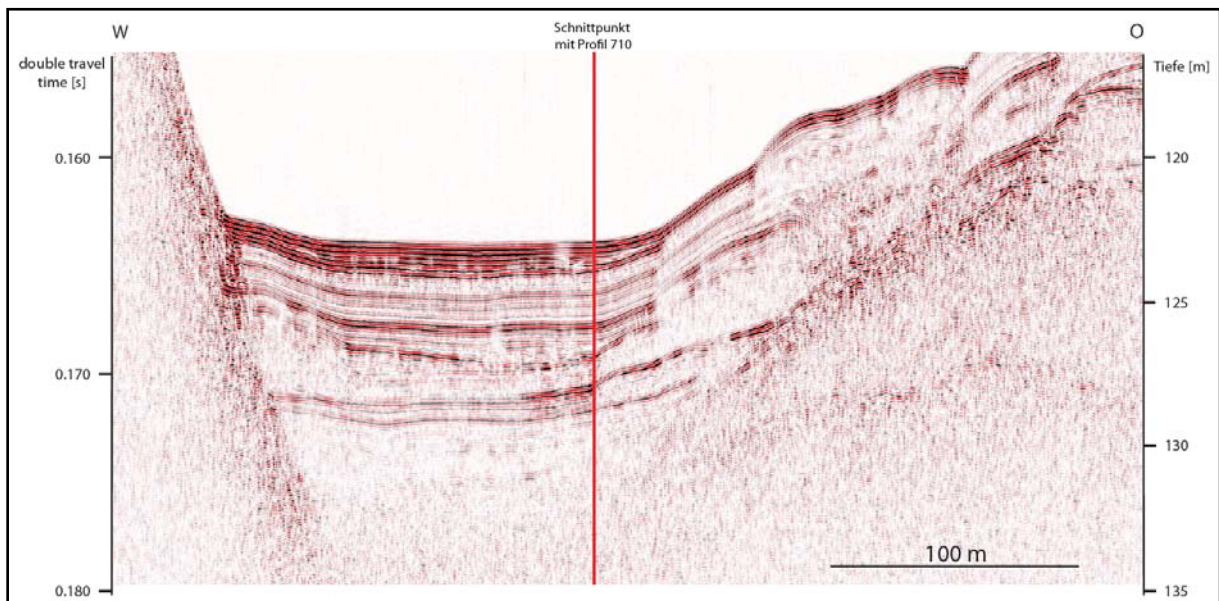
Figur 27: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 710; Die Sequenzen wurden mit gepunkteten Linien markiert.



Figur 28: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 710, unbearbeitet



Figur 29: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 706; Die Sequenzen wurden mit gepunkteten Linien markiert



Figur 30: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 706; unbearbeitet

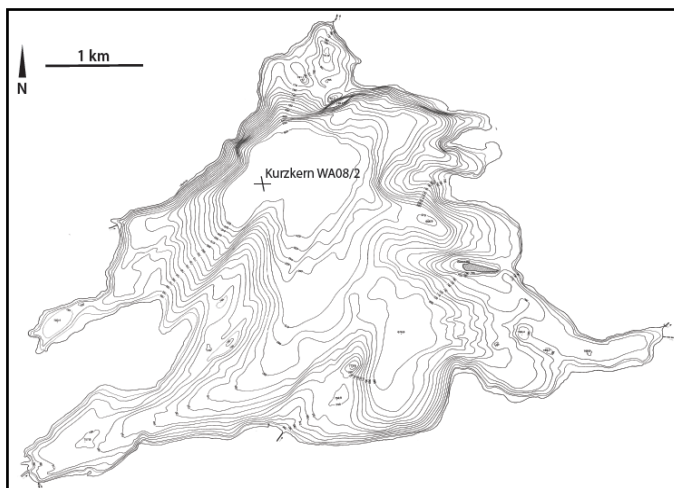
5. Diskussion & Interpretation

Korrelation zwischen Becken A und B: Sequenz AI und BI

In Becken A (Sequenz AI) wie auch in Becken B (Sequenz BI) wurde je eine Ablagerungssequenz direkt unter dem Seegrund definiert, in welcher so genannter „onlap“ festgestellt wurde. „Onlap“ charakterisiert sich dadurch, dass das Sedimentpaket zum Beckenrand hin „auskeilt“ (vgl. Figur 21, Seite 22). Das beobachtete Phänomen weist in beiden Becken ähnliche Eigenschaften und Mächtigkeiten auf. Eine Korrelation ist also möglich, kann aber nicht 100% bewiesen werden.

Diese geometrische Eigenschaft kann ihren Ursprung in einer Änderung des Ablagerungsmilieus haben. Möglicher Grund für diese Geometrie ist die Änderung des Sedimenteintrages; konkret eine Erhöhung des detritischen Eintrages. Mehr detritisches Sediment hat zur Folge, dass es sich am tiefsten Punkt des Beckens absetzt, wegen der erhöhten Intensität und Häufigkeit von Trübeströmen, welche die Partikel in die tiefsten Beckenbereiche transportieren. Leichtere Partikel hingegen (pelagisches Sediment) setzen sich nicht sofort durch laterale Strömungen ab, sondern verteilen sich zuerst über den ganzen See, wo sie dann über dem gesamten Seegrund gleichmässig absinken.

Korrelation mit Kurzkern aus Becken A

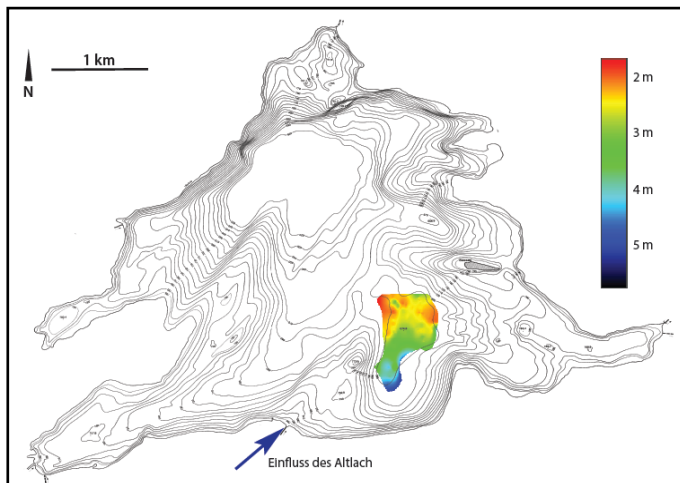


Figur 31: Position des Kurzkernes WA08/2 (N 47° 36.153' E 11° 20.422')

Dank eines datierten Kurzkernes (Cs-137-Datierung) (Kühn, 2009) können wir Rückschlüsse auf das Alter des jüngsten Sediments machen. Der Kurzkern stammt aus dem Jahre 2008 und ist 0.56 m lang. Seine genaue Position ist N 47° 36.153' E 11° 20.422' (vgl. Figur 31). Er liegt im Schnittpunkt unserer seismischen Profile 704 und 805. Zentimeter 5.5 wurde mit 1986 datiert, Zentimeter 12.5 mit 1963/1964. Dies ergibt eine Sedimentationsrate von 7 cm auf 22 Jahre (1986-1964), sprich 3.2 mm pro Jahr.

An dieser Stelle ist die Sequenz AI ca. 1.12 m dick. Der Beginn dieser Sedimentation, bzw. der Wechsel des Sedimentationsregimes kann also auf ca. 350 Jahre vor 2008 bestimmt werden (also ungefähr 1650 AD). Ein Zusammenhang des Wechsels des Sedimentationsregimes mit dem Walchenseekraftwerkbau und den damit verbundenen Flussüberleitungen ist also eher unwahrscheinlich.

Einfluss der Altlach im Becken B?



Figur 32: Isopachenkarte der Sedimentmächtigkeit der Sequenz BI im Becken B; Blau markiert ist der Einfluss der Altlach

Es wurde beobachtet, dass das Sediment der Sequenz BI im Becken B (vgl. Figur 27, Seite 26) von Norden nach Süden an Mächtigkeit zunimmt. Dies passiert ohne den Einfluss von Rutschungen oder „onlaps“. Die Isopachenkarte (Figur 32) zeigt die Verdünnung des Sediments von Süden nach Norden zusätzlich: Es ist klar eine Verdünnung vorhanden. Der Einfluss des in der Nähe einmündenden Altlach-Baches (vgl. Figur 32, blauer Pfeil) erscheint wahrscheinlich. Die bathymetrische Karte des Walchensees verweist ebenfalls auf eine Morphologie in die Flussrichtung des einfließenden Baches.

Führt also der Bach Hochwasser und trägt somit mehr Sediment in den See ein, führt ein möglicher Transportweg direkt ins Becken B. Es besteht also die Möglichkeit, die Verdickung des Sedimentes im oberen Bereich des Beckens B mit dem Transport von Detritus des Baches ins Becken B in Verbindung zu bringen.

Folglich ist auch eine Korrelation der Sequenzen AI und BI der Becken A und B mit Vorsicht zu betrachten, da diese im Einflussbereiches dieses Baches liegt. Sind keine genauen Datierungen der Sedimente in beiden Becken vorhanden, bleibt diese Schlussfolgerung der Korrelation also eine gut begründete Spekulation.

Massenbewegungen im Becken A

Megaturbidit und Simultanrutschungen: Erdbeben?

Im Kapitel „4. Ergebnisse“ wurde beschrieben, dass sich im Becken A eine Sequenz (Sequenz All) mit Körpern, welche eine seismisch chaotische und annähernd transparente Fazies aufweisen, befindet. Diese Körper wurden als Rutschungen interpretiert und kartiert. Weiter wurde beobachtet, dass diese Körper sich teilweise überlagern. Zudem wurde festgestellt, dass sich im oberen Bereich der Sequenz All ein das ganze Becken überspannender Körper befindet, welcher die seismischen Eigenschaften (sowie auch die Ablagerungsseigenschaften) eines Megaturbiditen aufweisen.

Die Kartierung dieser Massenbewegungen und des Megaturbidits hat ergeben, dass sechs Massenbewegungen praktisch simultan stattgefunden haben. Überdeckt werden all diese Rutschungen von einem Megaturbidit, welcher das ganze Becken überspannt. Unterhalb, also zu einer Zeit vor diesen Rutschungen, befinden sich ebenfalls Massenbewegungen. Auf diese wird aber im Kapitel „Andere Massenbewegungen im Becken A“ näher eingegangen.

In Figur 33 sind alle sechs Massenbewegungen einzeln und in einer Synthesekarte (Ereignisse A1, A2, A3 und A4, Figur 33.3) kartiert. Die Ereignisse wurden mit A plus Nummer bezeichnet. Ereignis A4 fand zuerst statt, gefolgt von Ereignis A3.1, A3.2 und kurz darauf A3.3. Die Ereignisse A1 und A2 fanden simultan statt – als letzte Massenbewegungen in dieser Serie. Zwischen diesen Massenbewe-

gungen hat kaum Zeit stattgefunden: die seismischen Daten weisen keine kontinuierlichen Reflexionen zwischen den Ereignissen auf. Zusätzlich zu diesen Massenbewegungen wurden Diffraktionen am Beckenrand beobachtet, welche als Bergsturz interpretiert werden könnten. Diese Beobachtung kann jedoch nicht mit einem Querprofil (Profil 803) korreliert werden, da in diesem Profil keine Diffraktionen und keine seismisch chaotische Fazies vorhanden ist. Aus diesen Gründen wurde dieses „Ereignis“ in Figur 33.3 mit einem Fragezeichen markiert und nicht kartiert.

Wie bereits erwähnt folgt auf diese Ereignisse ein Megaturbidit von einer Mächtigkeit mit bis zu 2,5m, wobei die mächtigsten Ablagerungen in der Mitte des Beckens befinden. Eine Isopachenkarte (Isopachenkarte des Megaturbiditen, Figur 33.2) verdeutlicht die immense Ausdehnung und Mächtigkeit. Betrachtet man die Ereignisse A1-A4 und deren Ausdehnung, so ist dieser Megaturbidit die logische Schlussfolgerung.

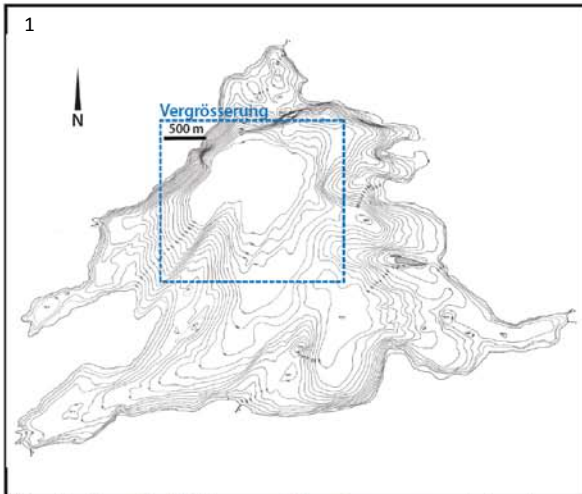
Eine Erklärung für diese multiplen Massenbewegungen kann nicht mehr lokal gesucht werden (z.B. Hanginstabilitäten oder Deltakollaps), der Auslösemechanismus muss regional gewesen sein. Frühere Studien belegen, dass multiple Massenbewegungen unter dem Wasser geologisch Signaturen für Erdbeben sind (Schnellmann et al., 2006; Locat, et al., 2003; Skinner & Bornhold, 2003). Weiter belegt eine in der Zentralsschweiz gemachte Studie, dass Massenbewegungen an lateralen Hängen (wie dies im Walchensee, v.a. im Becken A der Fall ist) durch Erdbeben erst ab Intensität VII ausgelöst werden (Monecke K. et al., 2006).

Korrelation mit Kurzkern und Erdbeben

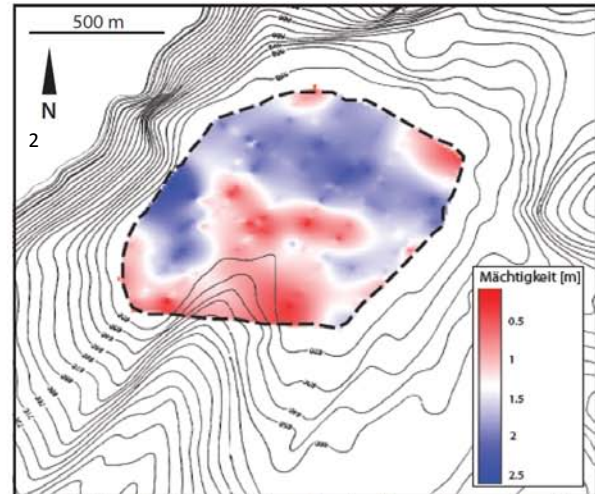
Der Kurzkern WA08/2 (Kühn, 2009) (vgl. Korrelation mit Kurzkern aus Becken A, Seite 29) lässt zwar über die Sequenzgrenze AI/AII nur schlecht eine Interpolation der Sedimentationsraten zu. Da jedoch der Top des Megaturbidits nur ca. 1.1 m tiefer liegt als die Sequenzgrenze, kann dies gewagt werden, um eine grobe Abschätzung zu machen.

Bei einer konstanten Sedimentationsrate von 3.2mm/Jahr müsste der Top des Megaturbidits, welcher an der Kernentnahmestelle ca. 2.1 m tief liegt etwa 660 Jahre alt sein. Dies entspricht ca. 1350AD. Bei geringeren Sedimentationsraten (z.B. vor dem Bau des Walchenseekraftwerkes, worüber jedoch keine Daten vorliegen), kann das Ereignis auch gut früher stattgefunden haben. Von einer Änderung der Sedimentationsraten ist unter anderem auszugehen, da in beiden Becken (A und B) Sequenzen mit onlap beobachtet wurden (Sequenz AI, Becken A und Sequenz BI, Becken B). In der Zeit vor dem onlap (Sequenz AII bzw. BII) war dieses jedoch nicht oder nur mit topographischen Phänomenen (steilwandiges Basement/Moräne) gekoppelt vorhanden, was auf eine Änderung des Sedimentationsgeschehen schliessen lässt.

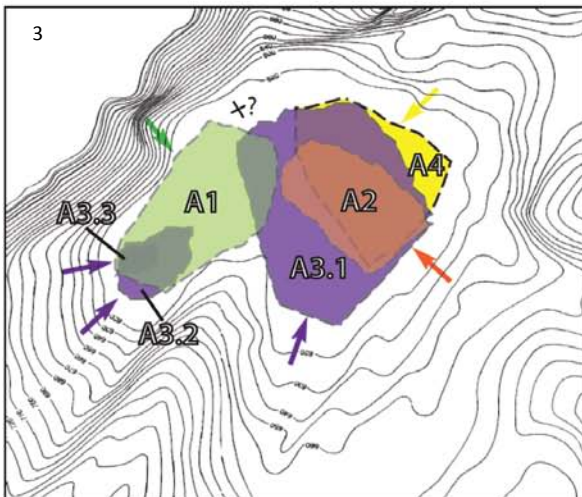
Aus acht zeitgenössischen Schriftquellen ist bekannt, dass am 3. Januar 1117, ungefähr um 2 Uhr morgens, in Süddeutschland ein Erdbeben stattfand, das dem grossen Verona-Beben am Nachmittag desselben Tages vorausging. Das süddeutsche Beben ist aber nicht genauer lokalisierbar und wurde nur verspürt; die erwähnten Schäden beziehen sich auf Italien (Schwarz-Zanetti & Fäh, 2009). Eine Bewertung als Schadenbeben, also eine Intensität grösser als 5, ist damit aus historischer Sicht höchst fraglich. Vor allem auch, weil zwei zeitgenössische Quellen aus dem nahegelegenen Kloster Benediktbeuern dieses 1117-Erdbeben überhaupt nicht erwähnen. Waren also die Sedimentationsraten wie angenommen kleiner, wäre eine Korrelation mit diesem Beben möglich. Nicht auszuschliessen ist aber, dass das Ereignis sogar noch früher stattfand. Eine genauere Datierung dieses Ereignisses ist also notwendig. Langkerne müssten genommen werden um Klarheit zu schaffen.



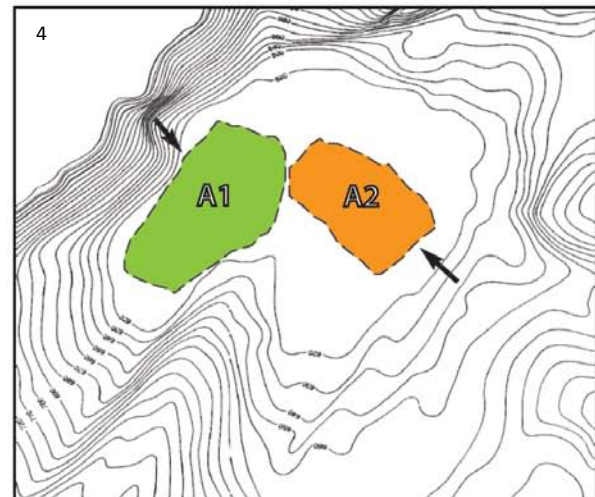
Übersichtskarte des Walchensee mit Vergrößerungsausschnitt mit Masstab für Folgekarten



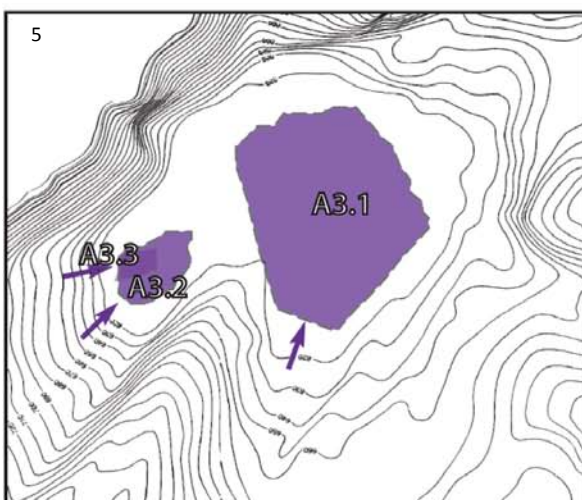
Isopachenkarte des Megaturbiditen über den Massenbewegungen A1, A2, A3 und A4



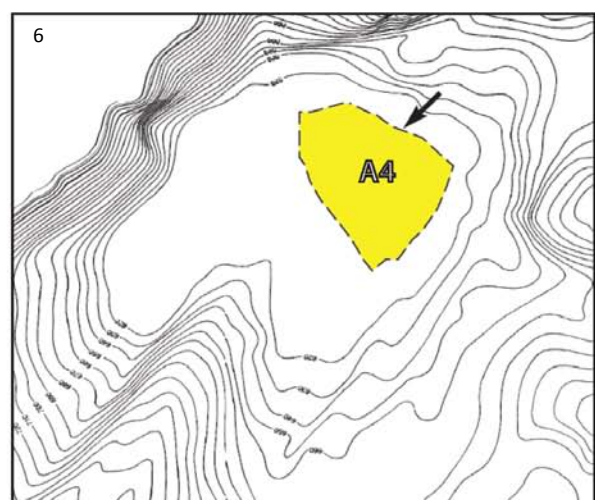
Ereignisse A1, A2, A3 und A4; Fragezeichen = nicht bestätigter Felssturz



Ereignisse A1 und A2 (Simultanereignisse)



Ereignis A3



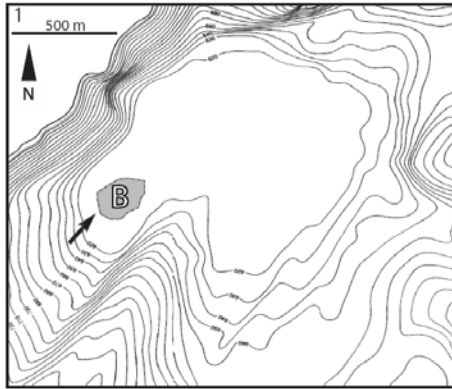
Ereignis A4

Figur 33: Kartierung der sechs Massenbewegungen und dem Megaturbidit im oberen Teil der Sequenz A11 im Becken A.

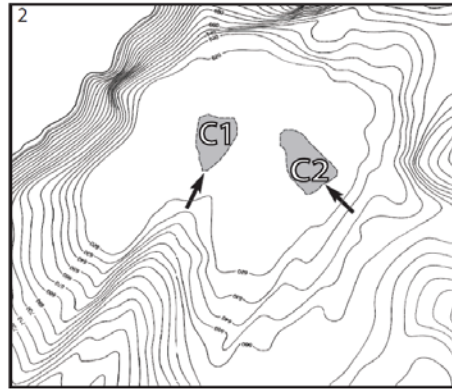
Andere Massenbewegungen im Becken A

Im Becken A konnten weitere Massenbewegungen nachgewiesen werden. Sie sind in Figur 34 dargestellt. Alle Ereignisse haben vor dem Erdbebenereignis A (Kapitel „Megaturbidit und Simultanrutschungen: Erdbeben?“) stattgefunden. Sie konnten jedoch mangels Langkernen nicht datiert werden. Ihre zeitliche Abfolge ist relativ zueinander dargestellt.

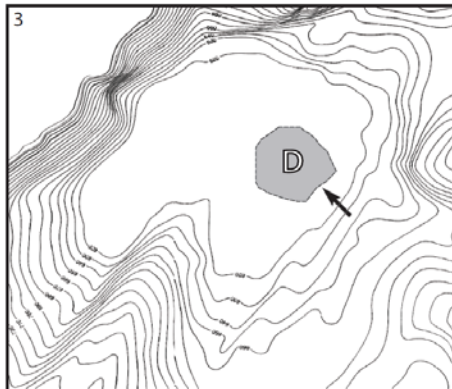
Bei diesen Massenbewegungen handelt es sich mit Ausnahme von Ereignis C um Einzelereignisse. Ereignis C weist zwei Rutschungen zur selben Zeit auf, was ein Hinweis auf ein Erdbeben sein könnte, jedoch nicht bestätigt werden kann. Weiter ist zu bemerken, dass sich die Ereignisse G und H (Figur 34.6 und Figur 34.7) bereits in der Sequenz AIII des Beckens A (Definition Kapitel Ergebnisse, Sequenz AIII, Seite 24) befinden.



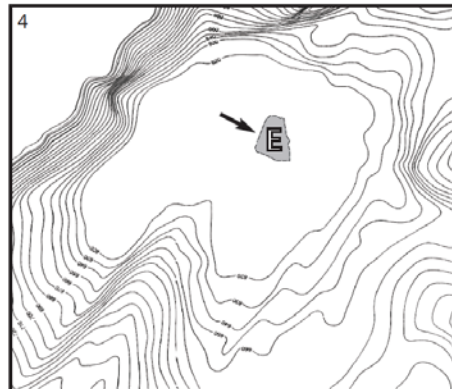
Ereignis B



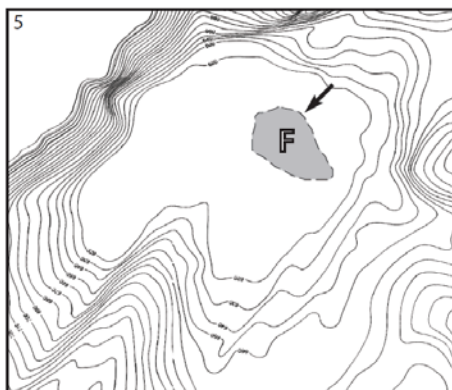
Ereignis C1 und C2



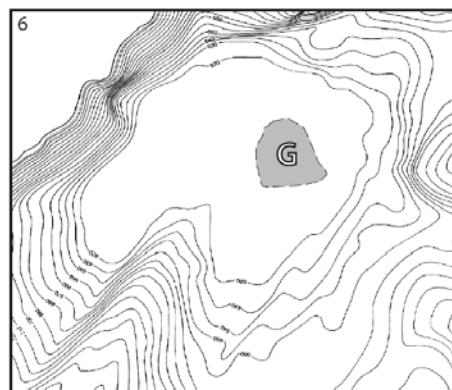
Ereignis D



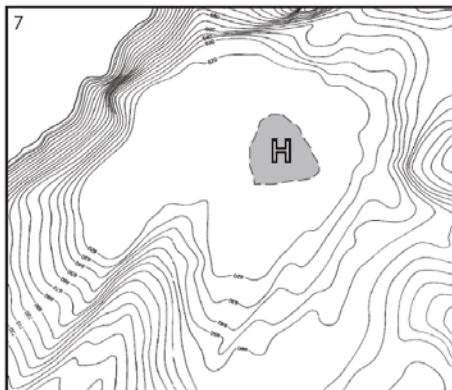
Ereignis E



Ereignis F



Ereignis G



Ereignis H

Figur 34: Weitere Massenbewegungen im Becken A, benannt nach Ereignis B bis H (B = jüngstes Ereignis, H = ältestes Ereignis)

Massenbewegungen im Becken B

Die Massenbewegungen im Becken B sind in Figur 36 kartiert. Ereignis K ist das jüngste, P das älteste. Wo es möglich war, wurde mit einem Pfeil angegeben, woher die Rutschung kommt. Bei den Ereignissen L bis O handelt es sich um Massenbewegungen der Sequenz BIII, Ereignis K ist das einzige Ereignis in der Sequenz BII (wobei es sich um eine sehr kleine Rutschung handelt) und Ereignis P befindet sich in Sequenz BIV (vgl. Beobachtungen im Becken B, Seite 25). Ereignis P ist der einzige Hinweis auf eine Massenbewegung in Sequenz BIV. Andere Interpretationen bezüglich Massenbewegungen in dieser Sequenz konnten wegen Abschwächung des seismischen Signals nicht gemacht werden und wären reine Spekulation.

Multiple Ereignisse und Korrelationen zum Becken A

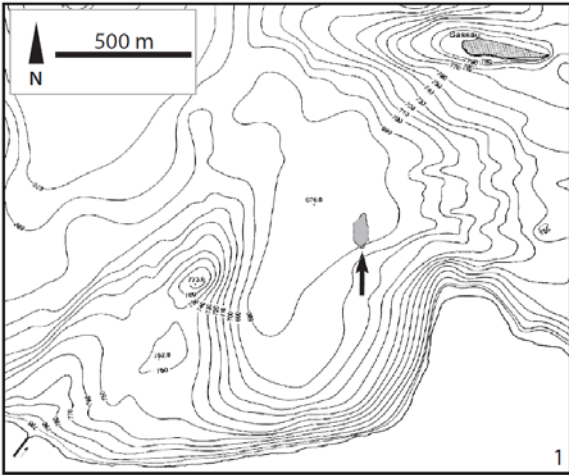
Die Ereignisse L und M sind beides multiple Rutschungen im Becken B. Zur Zeit der Ereignisse L sind drei Rutschungen ins Becken niedergegangen, bei Ereignis M waren es nur deren zwei. Dies könnten Hinweise auf ein Erdbeben sein. Da ein Erdbeben aber ein Auslösemechanismus von regionalem Ausmass ist, müssten im Becken A ebenfalls multiple Massenbewegungen beobachtet und korreliert werden. Diese sind zwar vorhanden, müssten aber korreliert werden.

Eine mögliche Korrelation – die jedoch mit Vorsicht zu geniessen ist – ergibt sich zwischen den Ereignissen A (im Becken A, vgl. Figur 33) und den Ereignissen L im Becken B. Betrachtet man die Differenz der Zweiweglaufzeit des seismischen Signals zwischen Zeithorizont (Top Megaturbidit im Falle von Ereignis A, Top Rutschung im Falle von Ereignis L) und Seegrund, erhält man für Ereignis A im Schnitt 2.5 – 3.4 ms und für Ereignis L 3 - 4 ms. Diese Korrelation scheint plausibel, eine mögliche Erklärung für den Unterschied der Zweiweglaufzeit-Differenzen (also den Mächtigkeiten des Sediments zwischen Seegrund und dem Zeithorizont der Ereignisse) könnte der Einfluss des Altlach-Baches sein (vgl. Einfluss der Altlach im Becken B?, Seite 29). Der Altlach-Bach könnte also für die erhöhten Sedimentationsraten im Becken B verantwortlich sein. Ein Ereignis mit dem Ausmass von Ereignis A, und somit das Ausmass des Erdbebens, muss zwingend auch in Becken B nachweisbar sein. Für eine definitive Bestätigung dieser Korrelation ist aber eine Altersdatierung (und das ziehen von Langkernen) unausweichlich.

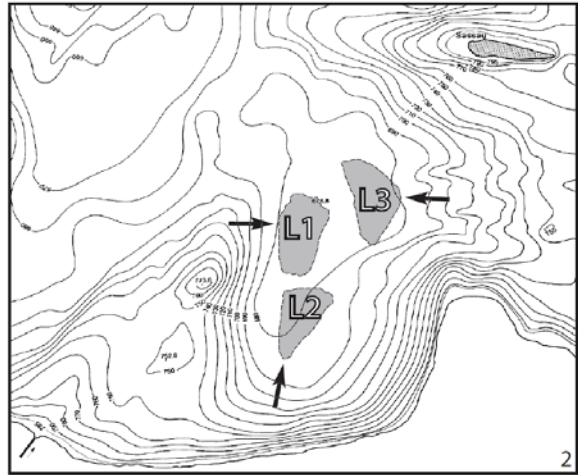
Weitere multiple Ereignisse in Becken A sind die Ereignisse C (vgl. Figur 34, Seite 33) und in Becken B die Ereignisse M. Eine Korrelation ist hier aber mit den vorhandenen Daten nicht möglich. Es können keine Sedimentationsraten und Sedimentmächtigkeiten zwischen den Ereignissen bestimmt werden. Rutschungen (insbesondere Ereignis A im Becken A) unterbrechen das Sediment immer wieder.



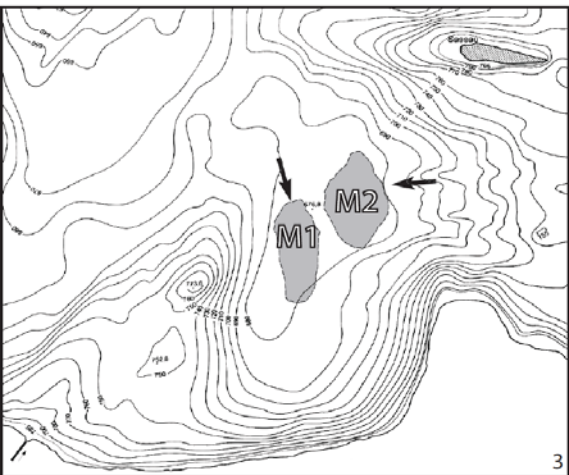
Figur 35: Übersicht der Vergrößerung für den Katalog der Massenbewegungen in Becken B (Figur 36)



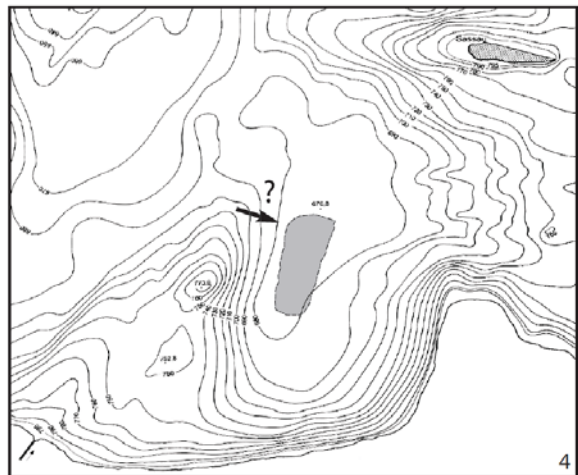
Ereignis K



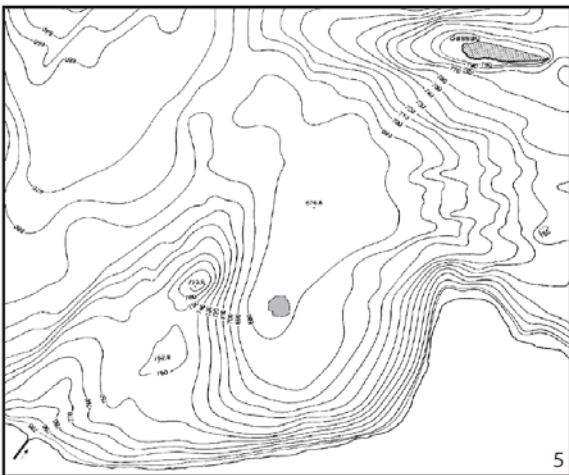
Ereignisse L



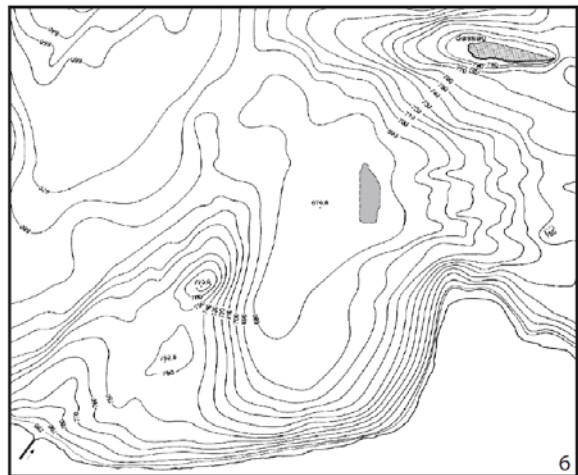
Ereignisse M



Ereignis N (Einfallsrichtung unsicher)



Ereignis O



Ereignis P

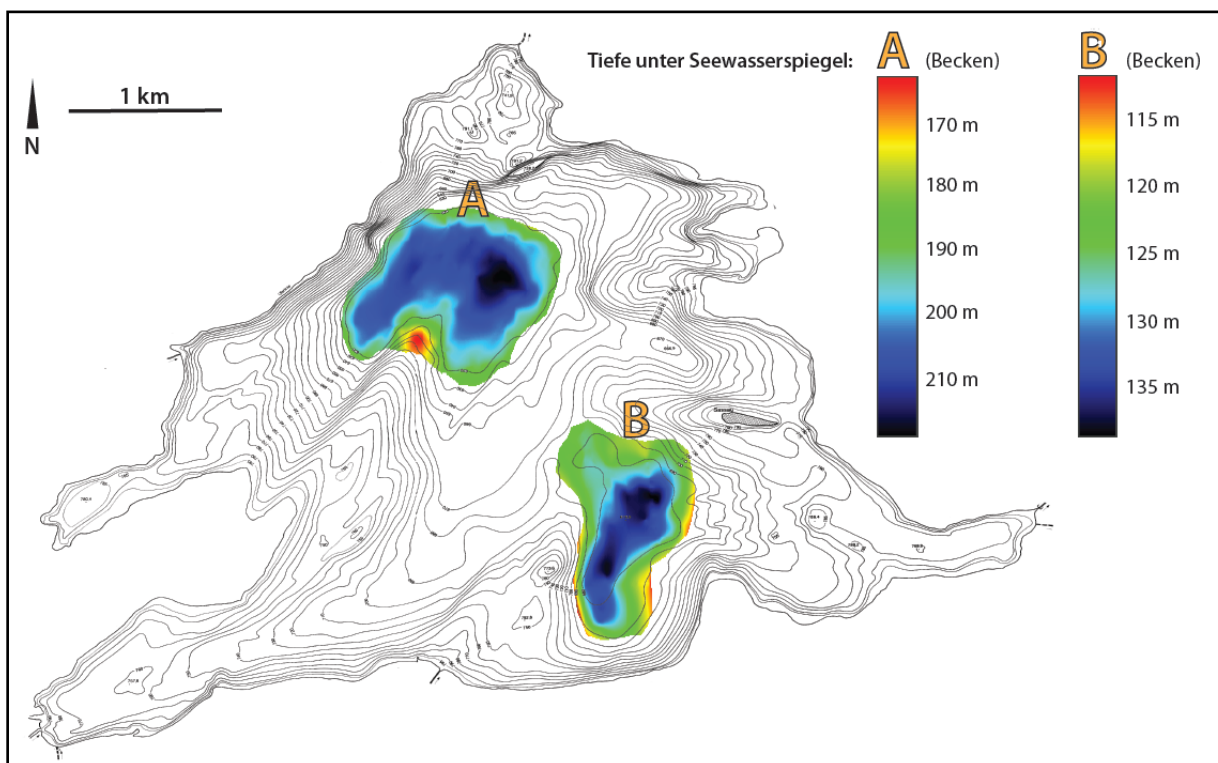
Figur 36: Massenbewegungen im Becken B; Beschriftung von K bis P, K ist die jüngste Rutschung, P die älteste. Rutschungen in einer Teilfigur sind jeweils simultan.

Sequenz AIII in Becken A

An den tiefsten Stellen des Beckens A wurde Sequenz AIII definiert (vgl. Figur 25, Seite 24). Sie enthält Massenbewegungen und onlaps. Die Beobachtung der onlaps in der Sequenz AIII ist ein signifikanter Unterschied zu Sequenz AII. Im Gegensatz zu Sequenz AII bleiben nämlich die seismischen Reflexionen im Becken gefangen und wandern nicht den Beckenabhang hinauf.

Meiner Ansicht nach gibt es zwei mögliche Gründe für diese Geometrie: 1. Es gab einen Wechsel im Sedimentationsregime. Die Sedimentfracht wechselte von eher detritischem Material zu feinerem, pelagischem Material. Dies würde erklären, warum sich das Sediment nur an der tiefsten Stelle des Beckens ablagerte. 2. Dieses Sediment wurde zur Zeit des Rückzuges des Gletschers abgelagert und reicht deshalb nicht den Beckenabhang hinauf. Eine Evidenz für diese zweite Vermutung wäre, dass sich nach dem Rückzug der Gletscher (oder bereits während dem Rückzug der Gletscher) das Klima erwärmte und so auch der organische Sedimenteintrag im Walchensee erhöht wurde. Dies würde sich dann im Unterschied der Sequenzen AII und AIII von draping zu onlap widerspiegeln. Hierbei kann das onlap begründet werden, da während der Zeit des Rückzuges des Gletschers v.a. trübes mit detritischem Sediment beladenes Gletscherwasser vorhanden war. Das eher detritische Sediment setzte sich folglich an den tiefsten Punkten des Beckens ab. Die Grenze der Ablagerungssequenzen AII und AIII kann also mit Vorsicht auch als Grenze zum Holozän betrachtet werden.

Glaziale Prägung: Beckenform und Moränenfortsatz



Figur 37: Karte der Oberfläche des Basements bzw. Moränen im Walchensee; Angaben in Metern unter dem Seewasserspiegel

Wie bereits erwähnt (Geologische Situation: Der Walchensee zur Zeit des Eiszeitmaximums; Seite 13) wurde der Walchensee glazial überprägt. Es ist davon auszugehen, dass die tiefsten Einschnitte des Gletschers seit dem Ende der letzten Eiszeit kontinuierlich mit Sediment gefüllt wurden. Mit der Iso-

pachenkarte der Sedimentfüllung (vgl. Figur 17, Seite 21) konnte dies bestätigt werden. Figur 37 zeigt die Oberfläche des Basements bzw. der Moränen im Walchensee. Es ist zu erkennen, dass in Becken A ein Fortsatz eines Rückens, der in den See reicht, bis tief ins Becken A reicht. Dieser Rücken, ausgehend von der Halbinsel Zwergern (auf der geologischen Karte als Moräne kartiert, vgl. Figur 4, Seite 15) wird als Moräne interpretiert. Es ist daher naheliegend, dass auch der Fortsatz im Becken A eine Verlängerung dieses Rückens ist und somit als Moräne interpretiert werden kann. Weiter erkennt man in Figur 37 im Becken A eine sehr tiefe Stelle des Basements (dunkelblau). Der glaziale Ursprung dieser Vertiefung liegt nahe, woraus man die Flussrichtung des Gletschers an der Moräne im Becken A ableiten kann (auf Grund der Moräne im Becken A): SW nach NO. Es kann also daraus geschlossen werden, dass das Basement und die Moräne in diesem Becken einen glazialen Ursprung haben und anschließend das Becken mit Sediment aufgefüllt wurde.

Bei Betrachtung von Becken B in Figur 37 erkennt man ebenfalls eine klare Tiefenstruktur des Basements. Tatsächlich sind aber keine Flussrichtungen des Gletschers zu erkennen. Geht man jedoch davon aus, dass der Loisach-Isar Gletscher Richtung Norden aus dem Walchensee floss und von den Seiten her einmündete (vgl. Der Walchensee zur Zeit des Eiszeitmaximums, Seite 13), liegt es im Bereich des Möglichen, dass die tiefsten Stellen im Becken B (dunkelblau) als Folge dieser Flussrichtung und wegen der Erosion des Gletschers entstanden sind.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Änderungen des Sedimentationsregimes

Mit den vorhandenen seismischen Daten konnte ein Wechsel des Sedimentationsregimes im oberen Bereich beider Sedimentbecken beobachtet und gut begründet werden (Sequenz AI und Sequenz IB). Beide Sequenzen der jüngsten Ablagerungssequenzen weisen onlap auf. Diese identischen geometrischen Eigenschaften und ähnliche Mächtigkeiten machen eine Korrelation möglich, jedoch nicht 100% sicher. Ein Kurzkern (WA08/2) in Becken A lässt mittels Interpolation von Sedimentationsraten eine Datierung des Beginnes dieses Wechsels im Sedimentationsregime auf etwa 1660 AD (gerundet) zu. Korrelation und Datierung müssten aber mit Langkernen in beiden Becken bestätigt werden.

Weiter wurde in Becken B ein Sedimentationspaket mit Verdünnung des Sediments Richtung Norden festgestellt (Sequenz BII). Eine Erklärung für dieses Phänomen sind Delta- und Hochwasserablagerungen des nahe einflussenden Altlach-Baches.

Megaereignis: Erdbeben!

In beiden Sedimentationsbecken wurden Sequenzen mit zahlreichen Massenbewegungen beobachtet. Diese wurden auskartiert und stratigraphisch eingeordnet. Im Becken A wurden sechs multiple Massenbewegungen auskartiert, die von einem Megaturbidit überlagert sind. Dies wird definitiv als geologische Signatur eines Erdbebens gewertet. Weiter wurden im Becken B multiple Rutschungen entdeckt, die mit den Massenbewegungen in Becken A korrelieren könnten. Eine Korrelation erscheint zwar logisch, kann jedoch nur sehr schwer abgeschätzt werden. Eine Abschätzung des Zeitpunktes dieser ist unter Auflagen mit Hilfe eines datierten Kurzkernes (WA08/2) mit einer Interpolation von Sedimentationsraten möglich. Da aber eine Änderung des Sedimentationsregimes zu einem Zeitpunkt nach dem Erdbebenereignis stattgefunden hat, wird diese Abschätzung eine hohe Fehlerquote haben. Eine mögliche Datierung wäre im Jahre 1350 AD (gerundet). Berücksichtigt man eine hohe Fehlerquote, ist eine Korrelation mit einem in Süddeutschland nicht genau lokalisierten Erdbeben 1117 AD möglich, kann aber nicht bestätigt werden.

Glaziale Beckenprägung und Sedimentation der ersten Stunde

Auf dem Seegrund und im Sediment des glazial geprägten Walchensees sind Rückstände von Moränen zu finden. Es handelt sich dabei um eine Halbinsel, welche auf der geologischen Karte des Walchensees als Moräne kartiert ist. Sie setzt sich im See bis ins Sediment fort und kann somit als solche identifiziert werden. Zudem zeigt eine Karte der Oberfläche des Basements/der Moränen (Figur 37) eine markante Vertiefung in Becken A. Geht man von einer Flussrichtung des Gletschers von SW nach NO aus (wegen der Moräne im Becken A), so ist ein glazialer Ursprung dieser Vertiefung wahrscheinlich.

Im tiefsten Bereich des Beckens A ist zudem ein weiterer Wechsel des Sedimentationsregimes zu beobachten (Sequenz AIII). Charakteristisch für diese Sequenz ist wieder onlap. Die Sequenz AII, welche jünger ist weist jedoch geometrische Eigenschaften von draping auf. Eine mögliche Erklärung ist, dass sich die Sedimentationsfracht gewechselt hat. Möglich ist der Wechsel von einem subglazialen

Umfeld, in dem v.a. trübes Schmelzwasser des Gletschers mit detritischer Sedimentfracht das Sedimentationsregime prägte, zu einer eher pelagischen Umgebung. Mit steigenden Temperaturen nach dem Rückzug der Gletscher und somit einer erhöhten Eigenproduktion von Sediment (organisch) ist dies wahrscheinlich. Als Folge kann diese Grenze als Beginn des Holozäns interpretiert werden.

Ausblick

Datierung und Korrelation

Um eine Korrelation der beiden Becken A und B sicherzustellen wurde immer wieder festgestellt, dass die Entnahme von Langkernen unumgänglich ist. Dies betrifft insbesondere die Korrelationen der Sequenzen AI und BI. Eine weitere Anwendung von datierten Langkernen wäre die Bestätigung der Korrelation zwischen den multiplen Ereignissen in beiden Becken und deren Datierung. Dies würde eine Interpretation der Erdbebenereignisse und ein präziser Vergleich mit Erdbebenkatalogen oder sogar die Feststellung eines nicht bekannten Erdbebens zulassen.

Weitere Langkerne

Gegenstand einer weiteren Untersuchung könnten v.a. die Sequenzen AI und BI sein. In diesen Sequenzen waren onlap und keine Massenbewegungen zu beobachten, was sie als seismische Ablagerungssequenz von anderen unterscheidet. Sind diese einmal datiert und korreliert, kann untersucht werden inwiefern sich das sedimentierte Material von demjenigen der älteren Sequenzen unterscheidet und was für einen Einfluss die Sedimentationsraten hatten, bzw. wie gross diese überhaupt waren. Mögliche anthropogene Einflüsse wie z.B. der Bau des Walchenseekraftwerkes und die damit verbundene Einleitung von Flüssen und Bächen könnte im Sediment nachgewiesen und deren Konsequenzen erfasst werden.

Vorschläge für Kernstellen

Um die beiden Becken zu korrelieren, das Sediment zu datieren und paleoklimatische Messungen zu machen, wird in beiden Becken A und B je eine Kernstelle vorgeschlagen. An beiden Stellen sind wenig Rutschungen im Sediment vorhanden. Dies soll ermöglichen, dass pro Meter Kern möglichst viel Zeit enthalten ist. Beide Kernstellen lassen zudem eine gewisse Toleranz für ein Abweichen der Kernplattform zu. Die beiden vorgeschlagenen Kernstellen sind folgende:

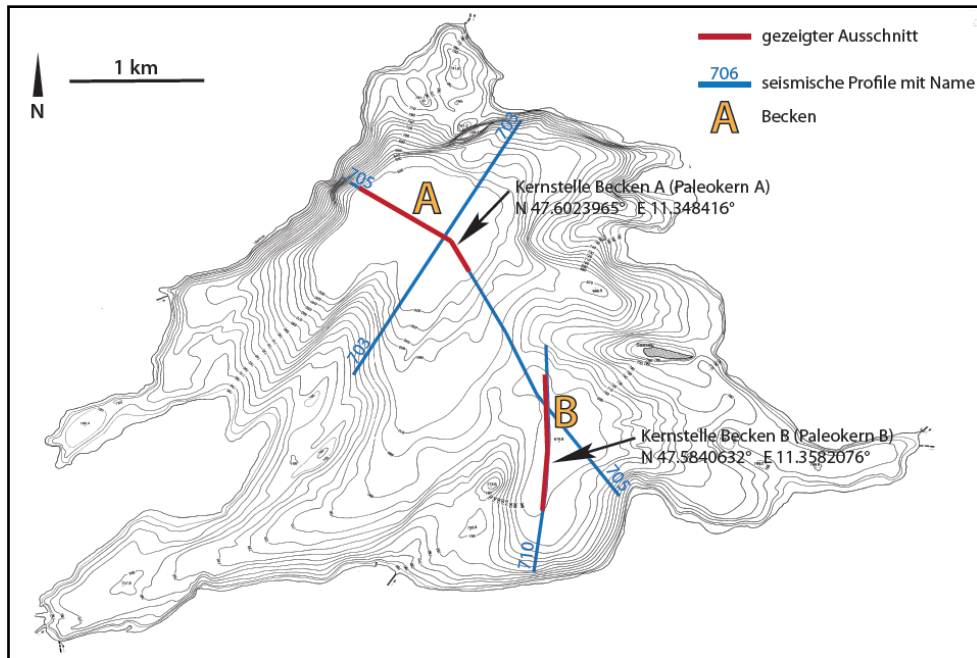
Becken A:

N 47.6023965° E 11.348416°

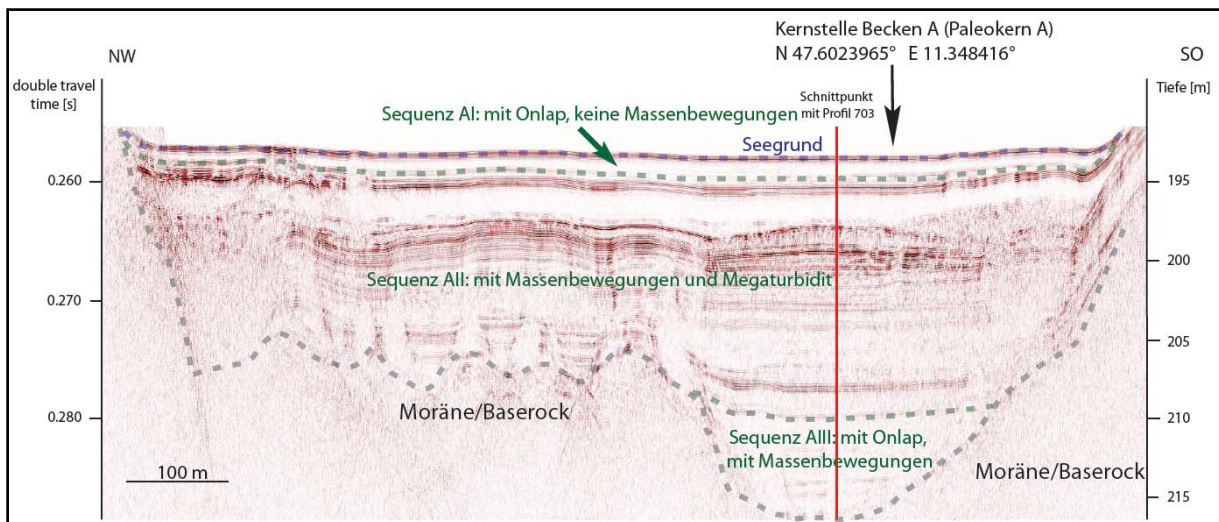
Becken B:

N 47.5840632° E 11.3582076°

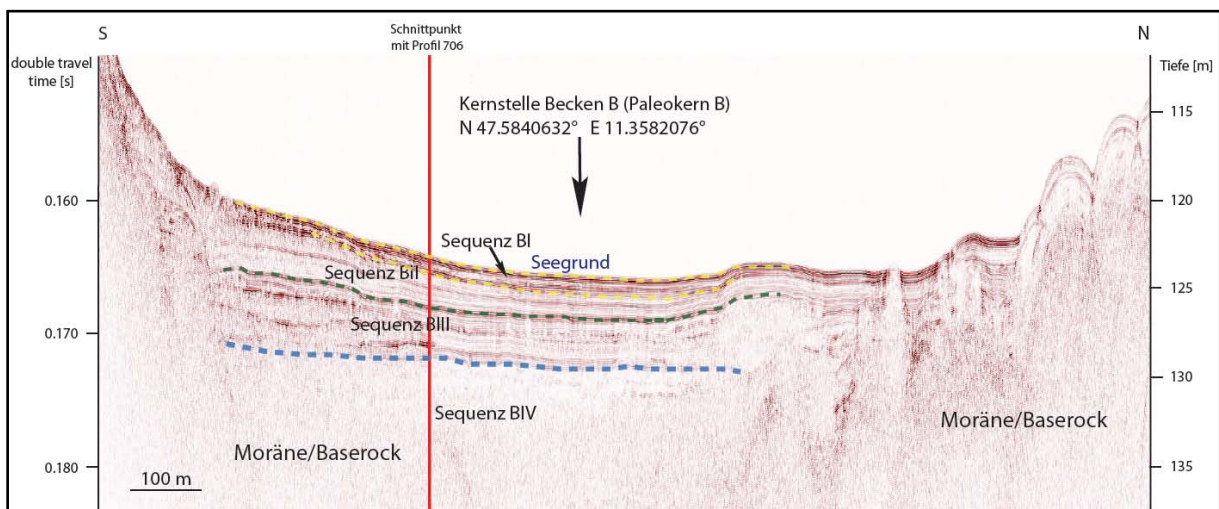
Die nachfolgenden Figuren Figur 38 bis Figur 40 geben einen Überblick, wo die Kernstellen liegen (Figur 38) und wie die seismischen Profile bei diesen Kernen aussehen (Figur 39 und Figur 40). An beiden Kernstellen sollte es zudem möglich sein (sofern technisch machbar), alle Sequenzen zu kernen und möglichst tief ins Sediment einzudringen.



Figur 38: Lage der vorgeschlagenen Kernstellen in Becken A und B; rot markiert sind die Ausschnitte der seismischen Profile 705 und 710, welche in Fig. 40 und Fig. 41 gezeigt werden



Figur 39: Ausschnitt des seismischen Profils 705 mit vorgeschlagener Kernstelle (Paleokern A)



Figur 40: Ausschnitt des seismischen Profils 710 mit vorgeschlagener Kernstelle (Paleokern B)

Literaturverzeichnis

- Bayerisches Geologisches Landesamt. (1981). Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. München: Bayerisches Geologisches Landesamt.
- Bayerisches Geologisches Landesamt. (1983, 1985, 1975, 1993). *Geologische Karte von Bayern, 1:25000, Kartenblätter 8333, 8334, 8433 & 8434*. München.
- Bouma, A. H. (1987). Megaturbidite: An acceptable term? *Geo-Marine Letters* , S. 63-67.
- Bühler, R. W. (2003). Sedimentvolumen in den Grimselseen und daraus resultierende Erosionsraten im Einzugsgebiet; Diplomarbeit ETH Zürich.
- Doben, K. (1985). Lagerungsverhältnisse (Tektonik). In K. Doben, *Geologische Karte von Bayern, 1:25000, Blatt Nr. 8334 Kochel a. See* (S. 66). München: Bayerisches Geologisches Landesamt.
- Fels, E. (1922). *Bathymetrische Karte des Walchensees*. München: Bayerisches Wasserwirtschaftsamt.
- Google Earth, GeoImage Austria, GeoContent. (2009). *Google Earth 5.0*. Abgerufen am 13.. Juli 2009 von www.maps.google.com
- Kühn, M. (2009). *Isotopengeochemische Untersuchungen eines Sedimentkerns aus dem Walchensee, Bayern; Bachelorarbeit*. München: Ludwig-Maximilians-Universität, Department für Geo- und Umweltwissenschaften.
- Locat, J., Martin, F., Levesque, A., Locat, P., Leroueil, S., Konrad, J., et al. (2003). Submarine mass movements in the Upper Saguenay Fjord (Québec - Canada), triggered by the 1663 earthquake. *Submarine Mass Movements and Their Consequences: 1st International Symposium* , S. 509-519.
- Meyer, R. K., & Schmidt-Kaler, H. (2002). In *Wanderungen in die Erdgeschichte (Band 8), Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - östlicher Teil* (S. 11, 34). München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Michler, G., Steinberg, C., & Schramel, P. (1981). Schwermetallgehalte in Sedimenten südbayerischer Seen als Indikatoren langfristiger Umweltbelastung. *Wasserwirtschaft 71* , S. 6323-330.
- Monecke, K., Anselmetti, F. S., Becker, A., Sturm, M., & Giardini, D. (2004). The record of historic earthquakes in lake sediments of Central Switzerland. *Tectonophysics 394* , S. 21-40.
- Monecke, K., Anselmetti, F. S., Becker, A., Sturm, M., & Giardini, D. (2006). The record of historic earthquakes in lake sediments of Central Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae* , S. 343-362.
- Mulder, T., & Cochonat, P. (1996). Classification of offshore mass movements. *Journal of Sedimentary Research 66* , S. 43-57.
- Nardin, T. R., Hein, F., Gorsline, D., & Edwards, B. (1979). A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. *Geology of continental slopes (Ed. by L.J. Doyle and O.H. Pilkey), International Association of Sedimentologists Special Publications 27* , S. 61-73.
- Niedermayer, J. (April 1935). Tektonik und Blattverschiebungen im Gebirge um den Walchensee. *International Journal of Earth Sciences, Volume 26, Numbers 1-2* , S. 154-155.
- Prior, D., Bornhold, B., & Johns, M. (1984). Depositional characteristics of a submarine debris flow. *Journal of Geology 92* , S. 707-727.

- Schnellmann, M., Anselmetti, F. S., Giardini, D., & McKenzie, J. A. (2006). 15,000 Years of mass-movement history in Lake Lucerne: Implications for seismic and tsunami hazards. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, S. 409-428.
- Schnellmann, M., Anselmetti, F. S., Giardini, D., McKenzie, J. A., & Ward, S. N. (2002). Prehistoric earthquake history revealed by lacustrine slump deposits. *Geology* 30, S. 1131-1134.
- Schwarz-Zanetti, G., & Fäh, D. (2009). Grundlagen des Makroseismischen Erdbebenkatalogs der Schweiz. Schweizerischer Erdbebendienst.
- Schweizer Weltatlas. (2006). www.schweizerweltatlas.ch. Abgerufen am 13.. Juli 2009 von Schweizer Weltatlas.
- Shilts, W. W., & Clague, J. J. (1992). Documentation of earthquake-induced disturbance of lake sediments using subbottom acoustic profiling. *Canadian Journal of Earth Sciences* 29, S. 1018-1042.
- Skinner, M., & Bornhold, B. (2003). Slope Failures and Paleoseismicity, Effingham Inlet, Southern Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Submarine Mass Movements and Their Consequences: 1st International Symposium*, S. 375-382.
- Sletten, K., Blikra, L. H., Ballantyne, C. K., Nesje, A., & Dahl, S. O. (2003). Holocene debris flows recognized in a lacustrine sedimentary succession: sedimentology, chronostratigraphy and cause of triggering. *Holocene* 13, S. 907-920.
- Steinberg, C., Hämmerle, E., & Meilhammer, J. (1983). Veränderungen im Sedimentationsgeschehen des Walchensees durch anthropogene Eingriffe in das Einzugsgebiet. *Z. Wasser Abwasser Forsch.* 16, S. 48-54.
- von Salis, G. A. (1998). Singel Channel High-Resolution Seismic of Lakes in Switzerland and West Africa; Diploma Thesis ETH Zurich.
- Wasserwirtschaftsamt Weilheim. (2009). *Kenndaten des Walchensees*. . 15 D - 82362 Weilheim.
- Wirth, S. (2008). Lake Thun sediment record, 300 years of human impact, flodd events and subaquatic slides. *nicht publizierte Masterarbeit ETH Zürich* .

Abbildungsverzeichnis

Figur 1: Geographische Lage sowie Zu- und Abflüsse (Schweizer Weltatlas, 2006 und Google Earth, 2009)-----	12
Figur 2: Eckdaten zum Walchensee (Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2009)-----	12
Figur 3: Geologisches Profil durch die nördlichen Kalkalpen und ihr Vorland im Bereich des Isartales bei Bad Tölz, nur wenige Kilometer östlich des Walchensees (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1981)-----	14
Figur 4.1: Geologische Karte um den Walchensee (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1983, 1985, 1975, 1993)-----	15
Figur 6: Wichtige Parameter der Datenerhebung -----	17
Figur 7: Anordnungsschema der Ausrüstung -----	17
Figur 5: Boot und Seismic Katamaran-----	17
Figur 8: Amplitudenspektrum ungefiltert-----	18
Figur 9: seism. Profil ungefiltert-----	18
Figur 10: Amplitudenspektrum gefiltert, 700-1600Hz-----	18
Figur 11: Seism. Profil, 700 - 1600Hz-----	18
Figur 12: Amplitudenspektrum gefiltert, 1600-2500Hz -----	18
Figur 13: Seism. Profil, 1600 - 2500Hz -----	18
Figur 14: Amplitudenspektrum gefiltert, 1800-6500Hz -----	19
Figur 15: Seism. Profil, gefiltert, 1800 - 6500Hz-----	19
Figur 16: bathymetrische Karte des Walchensees (Fels, 1922; gilt auch für Folgefiguren) mit seismischen Profilen und markierten Becken; die Namen der seismischen Profile sind in Form dreistelliger Nummern angegeben-----	20
Figur 17: Mächtigkeiten der Sedimente (Abstand Seegrund zu Bedrock/Moräne) -----	21
Figur 18: Lage der seismischen Profile 703 und 705 -----	21
Figur 19: Skizze der drei Ablagerungssequenzen (Sequenz AI-AIII) in einem Ausschnitt des seismischen Profiles 705 (vgl. Figur 18) ; blau gepunktet umrandet sind in späteren Figuren vergrößerte Ausschnitte-----	22
Figur 20: nicht interpretierter Ausschnitt des seismischen Profiles 705 -----	22
Figur 21: Ausschnitt aus Figur 20; Vergrößerung der jüngsten Ablagerungssequenz (Sequenz AI) ---	22
Figur 22: Isopachenkarte der jüngsten Ablagerungssequenz (Sequenz AI)-----	23
Figur 23: Ausschnitt aus Figur 20; Sequenz AII mit Megaturbidit und Massenflüssen -----	23
Figur 24: Ausschnitt des seismischen Profils 703 -----	24
Figur 25: Ausschnitt aus Figur 20, Sequenz AIII-----	24
Figur 26: Lage der seismischen Profile 706 und 710 im Becken B -----	25
Figur 27: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 710; Die Sequenzen wurden mit gepunkteten Linien markiert. -----	26
Figur 28: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 710, unbearbeitet-----	26
Figur 29: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 706; Die Sequenzen wurden mit gepunkteten Linien markiert-----	27
Figur 30: Ausschnitt aus dem seismischen Profil 706; unbearbeitet-----	27
Figur 31: Position des Kurzkernes WA08/2 (N 47° 36.153' E 11° 20.422') -----	28
Figur 32: Isopachenkarte der Sedimentmächtigkeit der Sequenz BI im Becken B; Blau markiert ist der Einfluss der Altlach -----	29

Figur 33: Kartierung der sechs Massenbewegungen und dem Megaturbidit im oberen Teil der Sequenz All im Becken A.-----	31
Figur 34: Weitere Massenbewegungen im Becken A, benannt nach Ereignis B bis H (B = jüngstes Ereignis, H = ältestes Ereignis)-----	33
Figur 35: Übersicht der Vergrößerung für den Katalog der Massenbewegungen in Becken B (Figur 36) -----	34
Figur 36: Massenbewegungen im Becken B; Beschriftung von K bis P, K ist die jüngste Rutschung, P die älteste. Rutschungen in einer Teilfigur sind jeweils simultan. -----	35
Figur 37: Karte der Oberfläche des Basements bzw. Moränen im Walchensee; Angaben in Metern unter dem Seewasserspiegel -----	36
Figur 38: Lage der vorgeschlagenen Kernstellen in Becken A und B; rot markiert sind die Ausschnitte der seismischen Profile 705 und 710, welche in Fig. 40 und Fig. 41 gezeigt werden -----	40
Figur 39: Ausschnitt des seismischen Profils 705 mit vorgeschlagener Kernstelle (Paleokern A)-----	40
Figur 40: Ausschnitt des seismischen Profils 710 mit vorgeschlagener Kernstelle (Paleokern B)-----	40

Danksagungen

Ich möchte mich herzlich bei allen bedanken, die mir geholfen haben, diese Arbeit zu schreiben. Sowohl im Feld, wie auch im Büro bei Interpretation, Diskussion und Schreibarbeit.

Ganz besonders möchte ich mich bei der Wasserwacht Walchensee bedanken, welche uns während der Feldarbeiten ihr Boot zur Verfügung gestellt hat. Dies erleichterte unsere Arbeit um einiges und hat sie überhaupt möglich gemacht!

Vielen Dank an Christoph Mayr vom Geo-Bio-Center der LMU München für die gute Zusammenarbeit in diesem Projekt.

Herzlichen Dank auch an Melanie Kühn von der LMU München, für die Zurverfügungstellung der Kurzkerndatierungen.

Flavio, Dir danke ich für die tolle Unterstützung während der ganzen Arbeit, den Motivationsspritzen und Ratschlägen. Dazu sage ich nur: Passt!

Danke auch an Adi Gilli für die „stille“ ;-) Ko-Betreuung der Arbeit.

Vielen Dank auch an meine Mutter, Helena, für die Korrektur der Arbeit und die Unterstützung während ich die Arbeit schrieb.

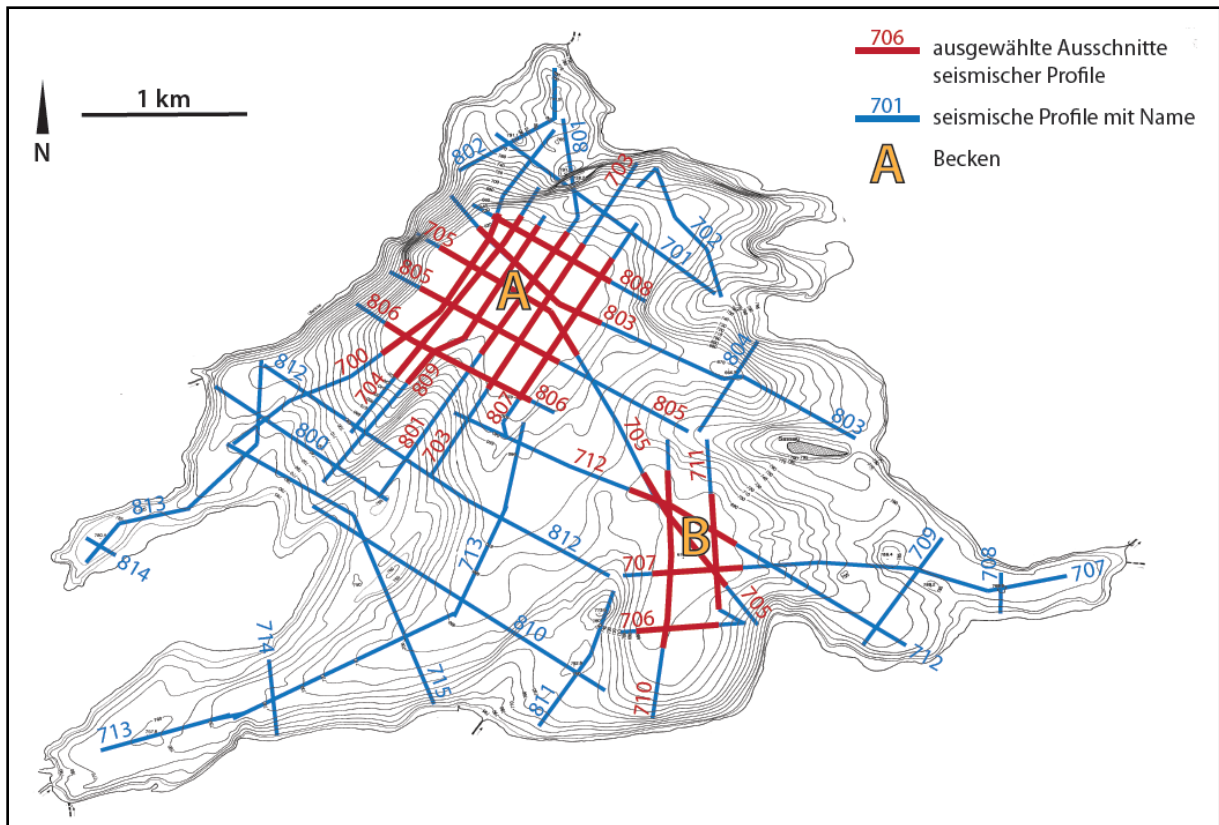
Senta, Dir danke ich herzlichst für deine Unterstützung und Aufmunterung während dieser Arbeit und überhaupt während dem ganzen Bachelorstudium!

Nicht zu vergessen möchte ich allen Mitstudenten danken, welche mir immer wieder zu neuer Motivation verholfen haben!

Anhang

- A1 Übersicht über ausgewählte seismische Profile
- A2 Legende für markierte Horizonte in den ausgewählten seismischen Profilen in Becken A und B
- A3-A12 Ausgewählte seismische Horizonte des Beckens A
- A13-A18 Ausgewählte seismische Horizonte des Beckens B

A1: Übersicht über ausgewählte seismische Profile



A2: Legende für markierte Horizonte in den ausgewählten seismischen Profilen in Becken A und B

Allgemein

S	Seegrund
BASE	Basement/Moräne

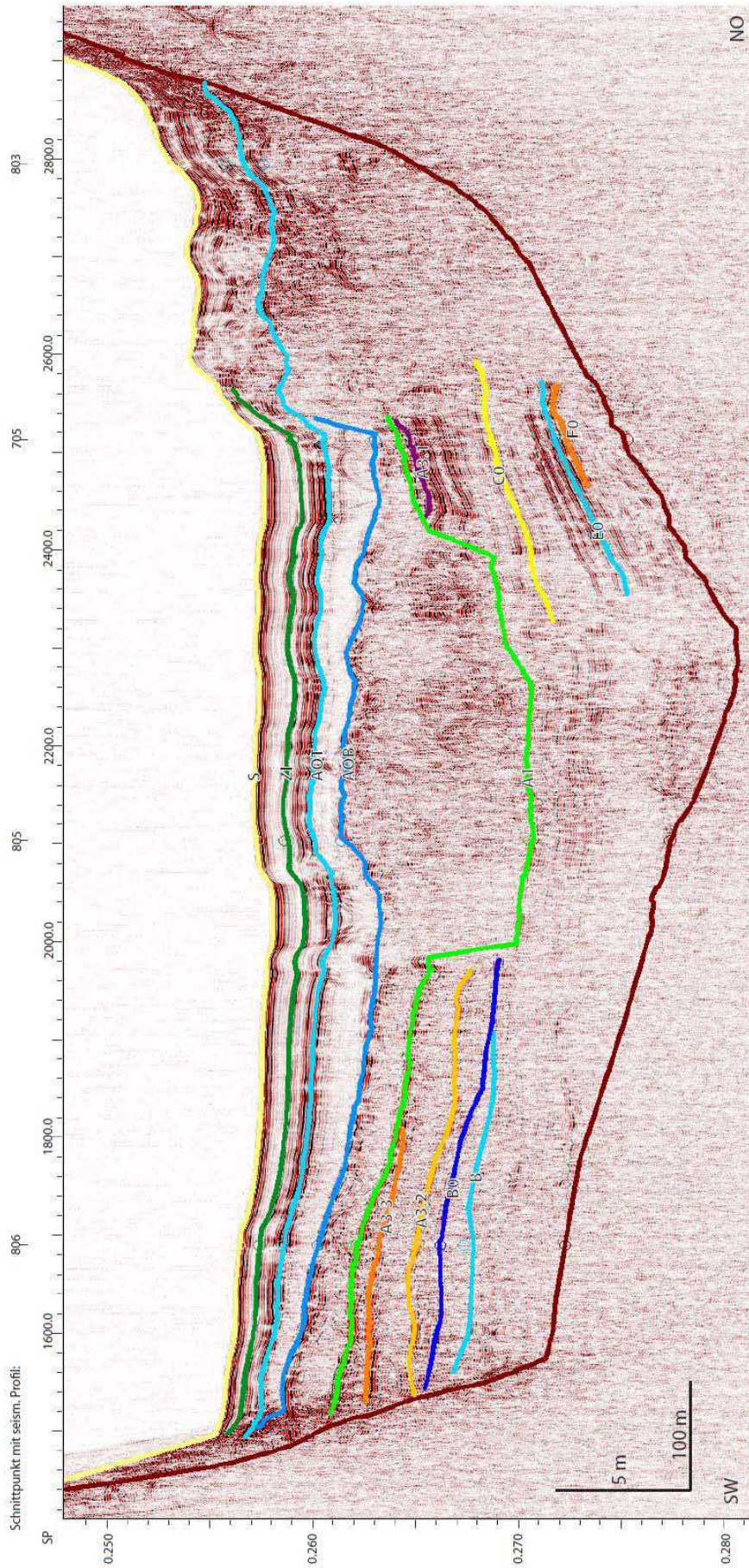
Becken A

ZI	Grenze Sequenz AI/Sequenz AII
A0T	Top Turbidit Ereignis A
A0B	Bottom Turbidit Ereignis A
A1	Rutschkörper Ereignis A1
A2	Rutschkörper Ereignis A2
A3.1	Rutschkörper Ereignis A3.1
A3.2	Rutschkörper Ereignis A3.2
A3.3	Rutschkörper Ereignis A3.3
A4	Rutschkörper Ereignis A4
B0	Zeithorizont Ereignis B
B	Rutschkörper Ereignis B
C0	Zeithorizont Ereignis C
C1	Rutschkörper Ereignis C1
C2	Rutschkörper Ereignis C2
D0	Zeithorizont Ereignis D
D	Rutschkörper Ereignis D
E0	Zeithorizont Ereignis E
E	Rutschkörper Ereignis E
F0	Zeithorizont Ereignis F0
F	Rutschkörper Ereignis F
G0	Zeithorizont Ereignis G0
G	Rutschkörper Ereignis G
H0	Zeithorizont Ereignis H
H	Rutschkörper Ereignis H

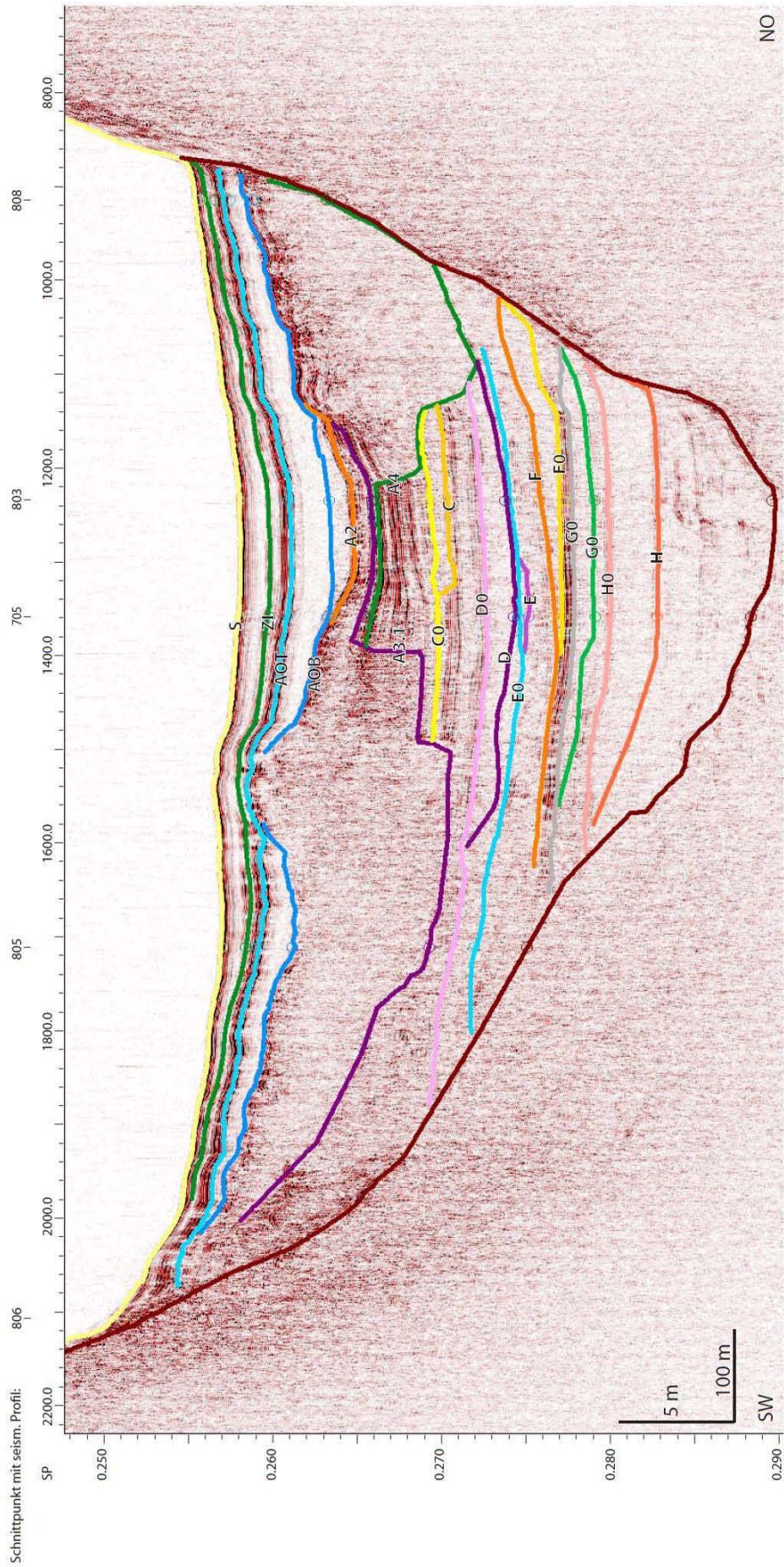
Becken B

K0	Zeithorizont Ereignis K und Grenze Sequenz BI/BII
K	Rutschkörper Ereignis K
L0	Zeithorizont Ereignis L
L	Rutschkörper Ereignis L
M0	Zeithorizont Ereignis M
M	Rutschkörper Ereignis M
N0	Zeithorizont Ereignis N
N	Rutschkörper Ereignis N
O0	Zeithorizont Ereignis O
O	Rutschkörper Ereignis O
P0	Zeithorizont Ereignis P
P	Rutschkörper Ereignis P

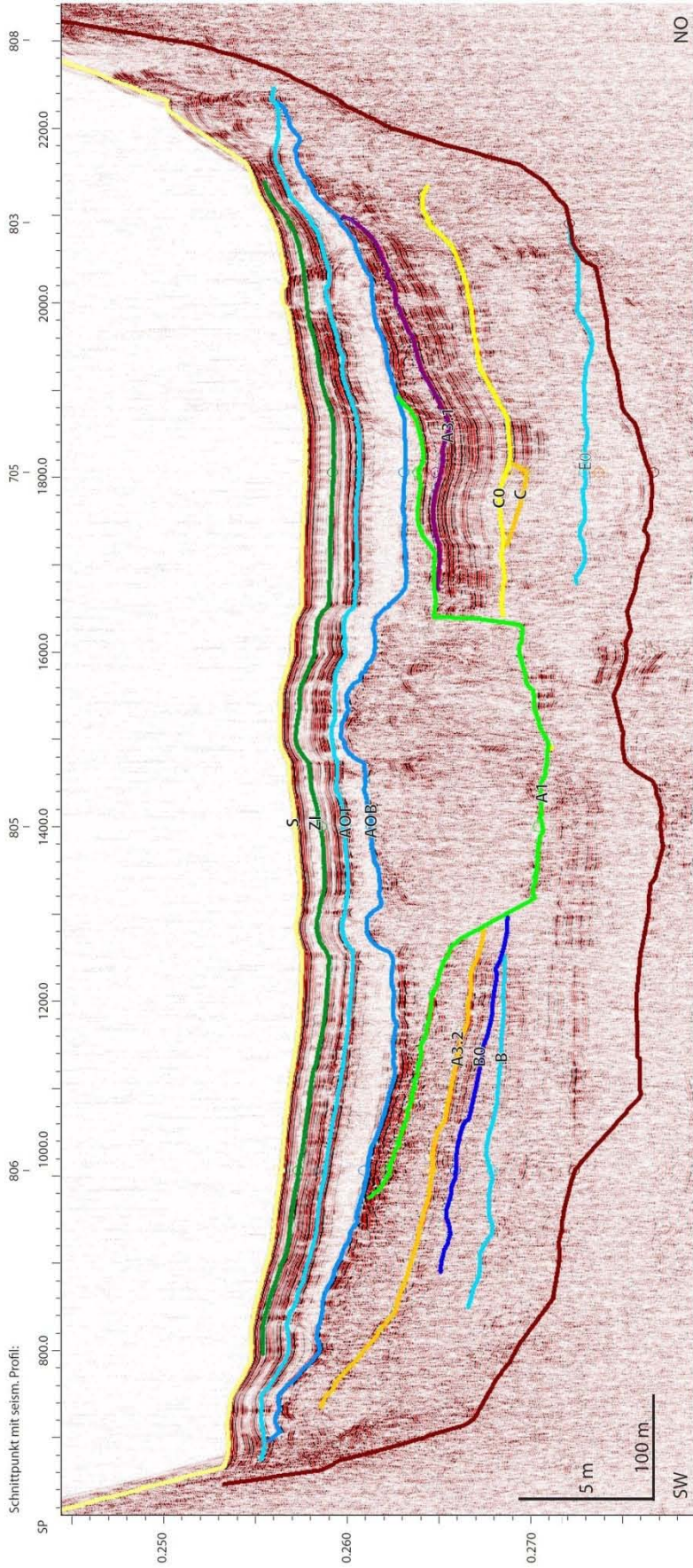
A3: seismisches Profil 700, Ausschnitt Becken A



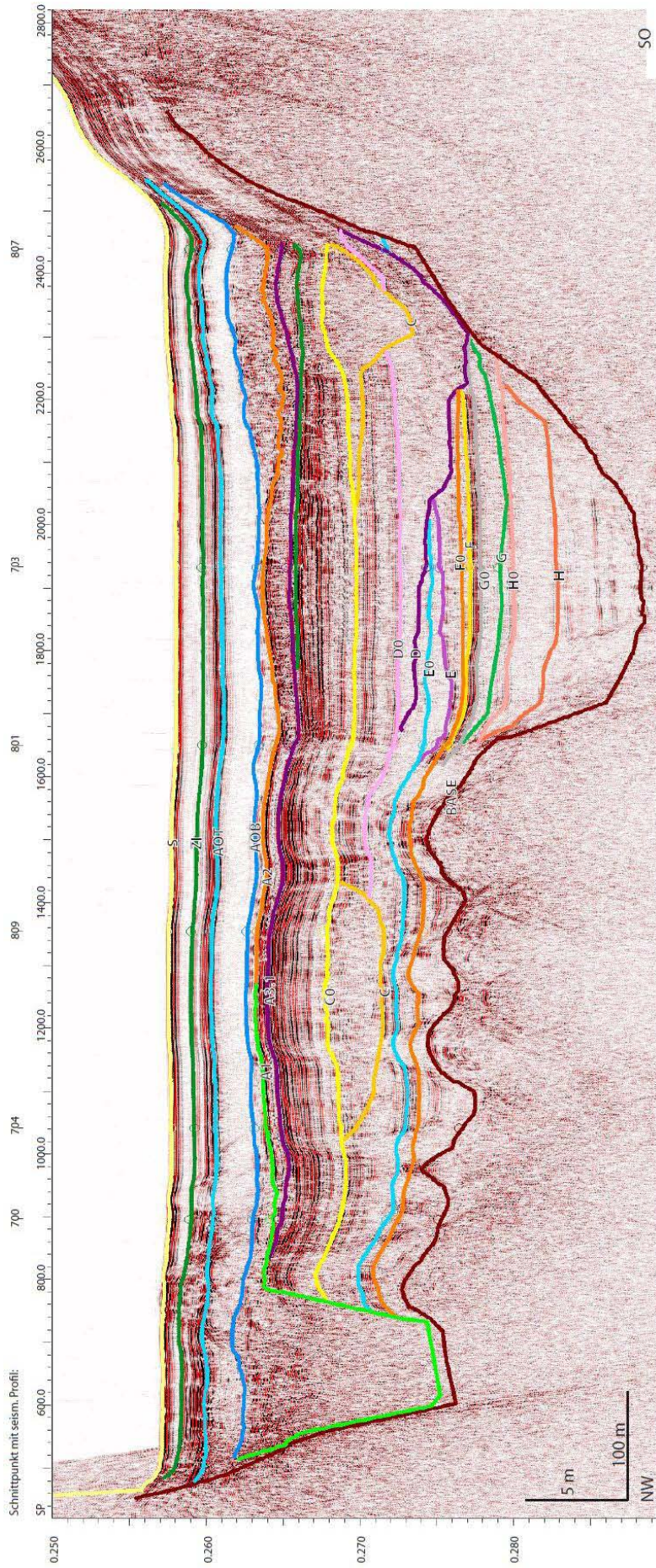
A4: seismisches Profil 703, Ausschnitt Becken A



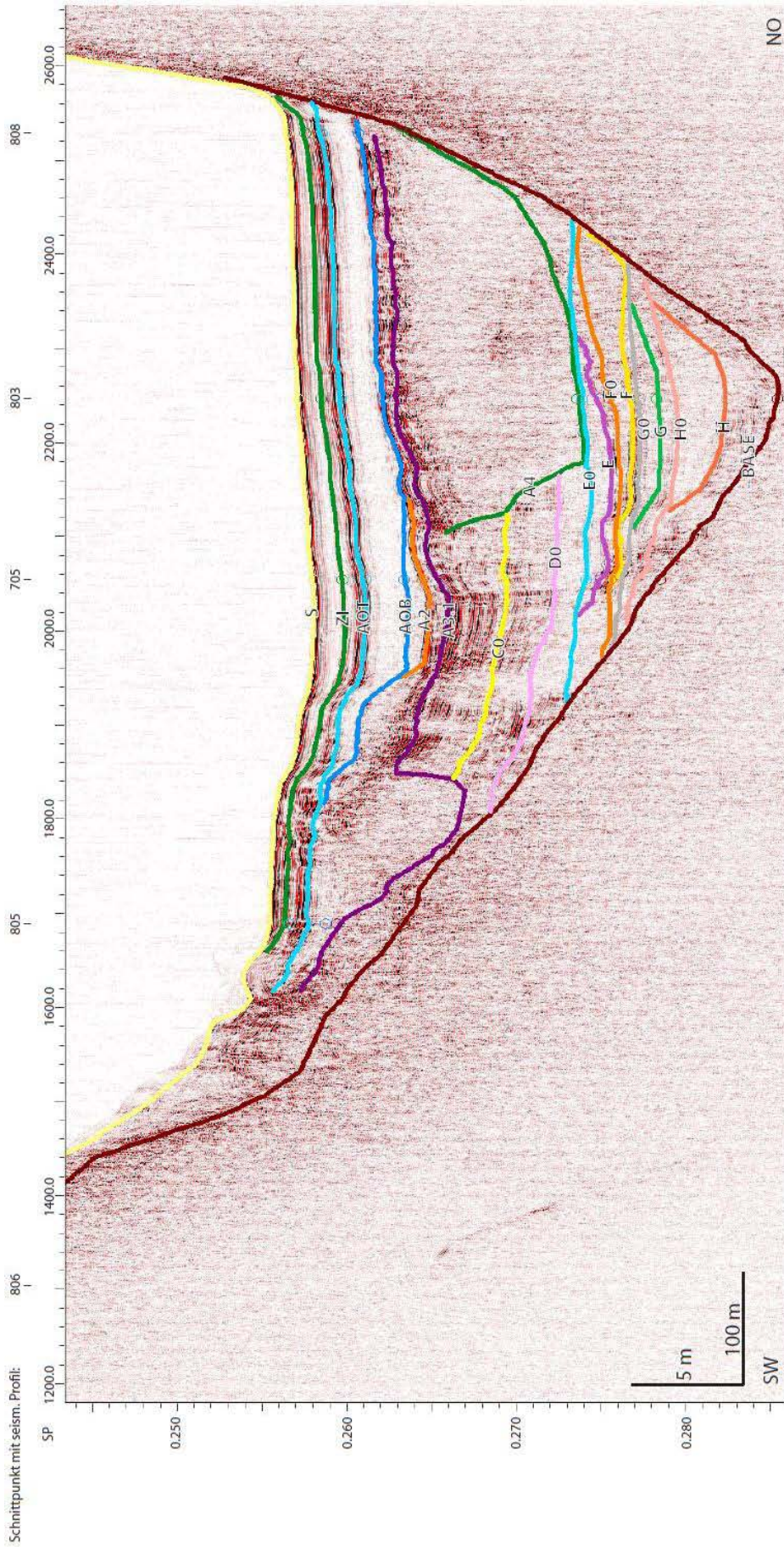
A5: seismisches Profil 704, Ausschnitt Becken A



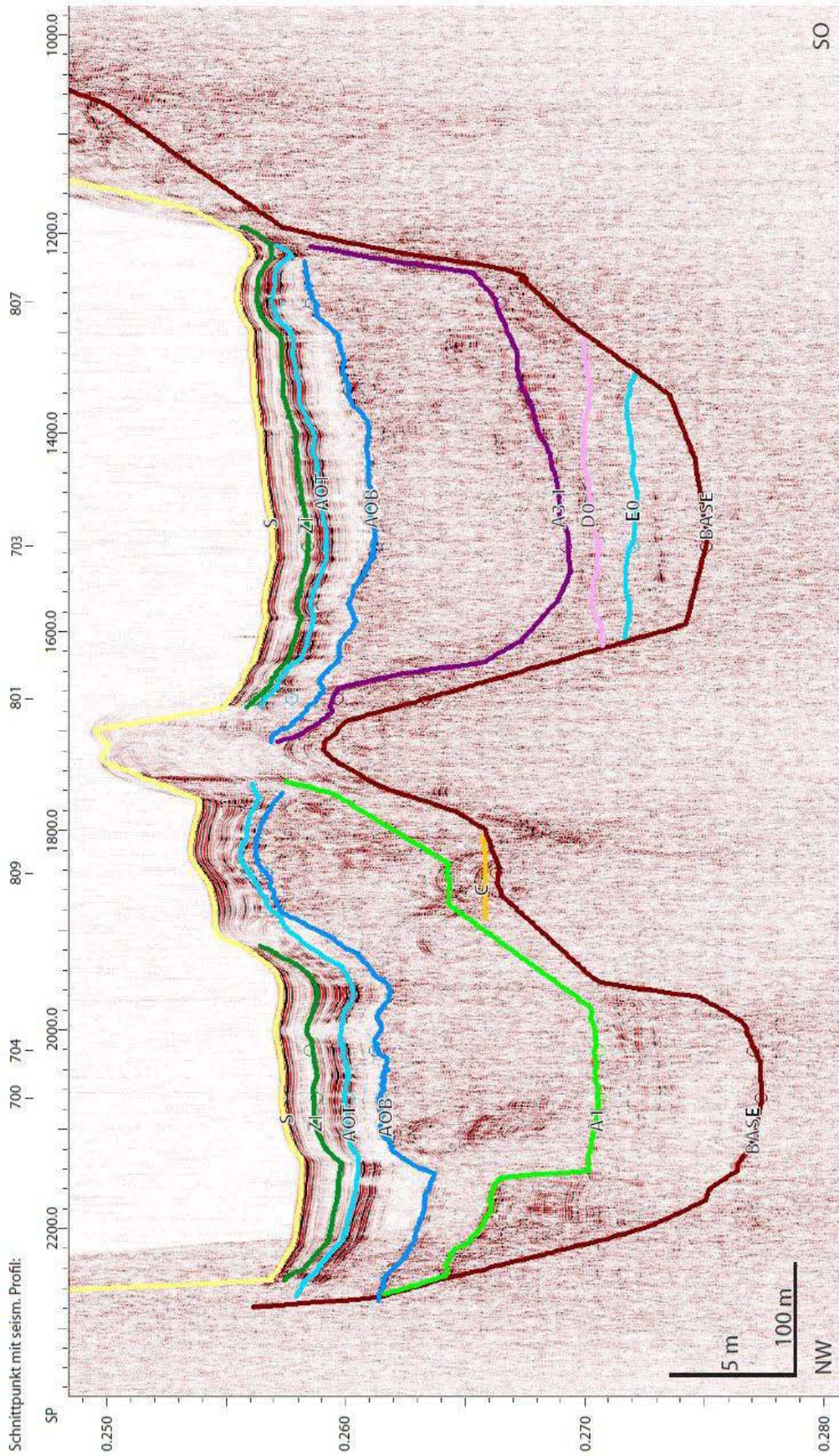
A6: seismisches Profil 705, Ausschnitt Becken A



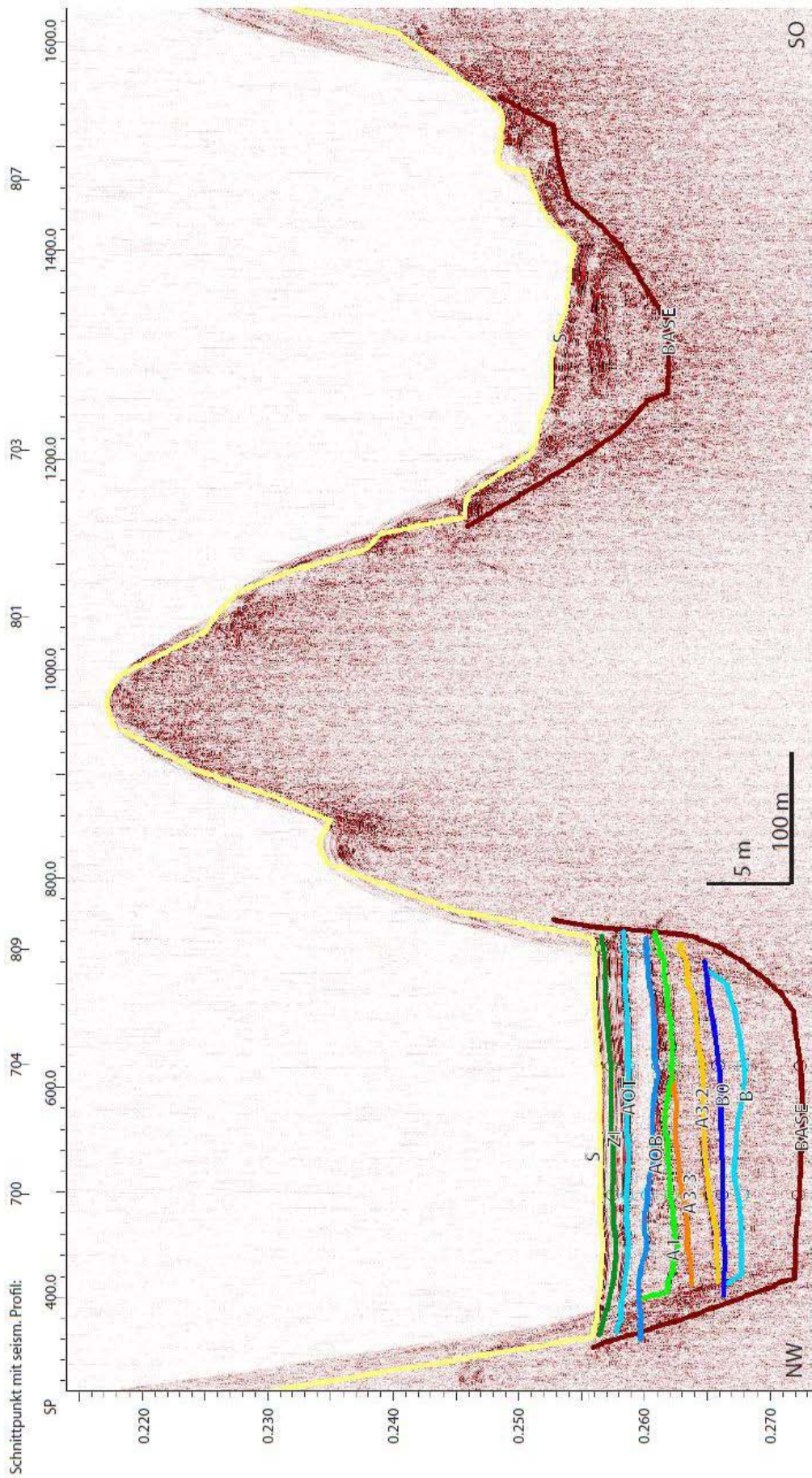
A7: seismisches Profil 801, Ausschnitt Becken A



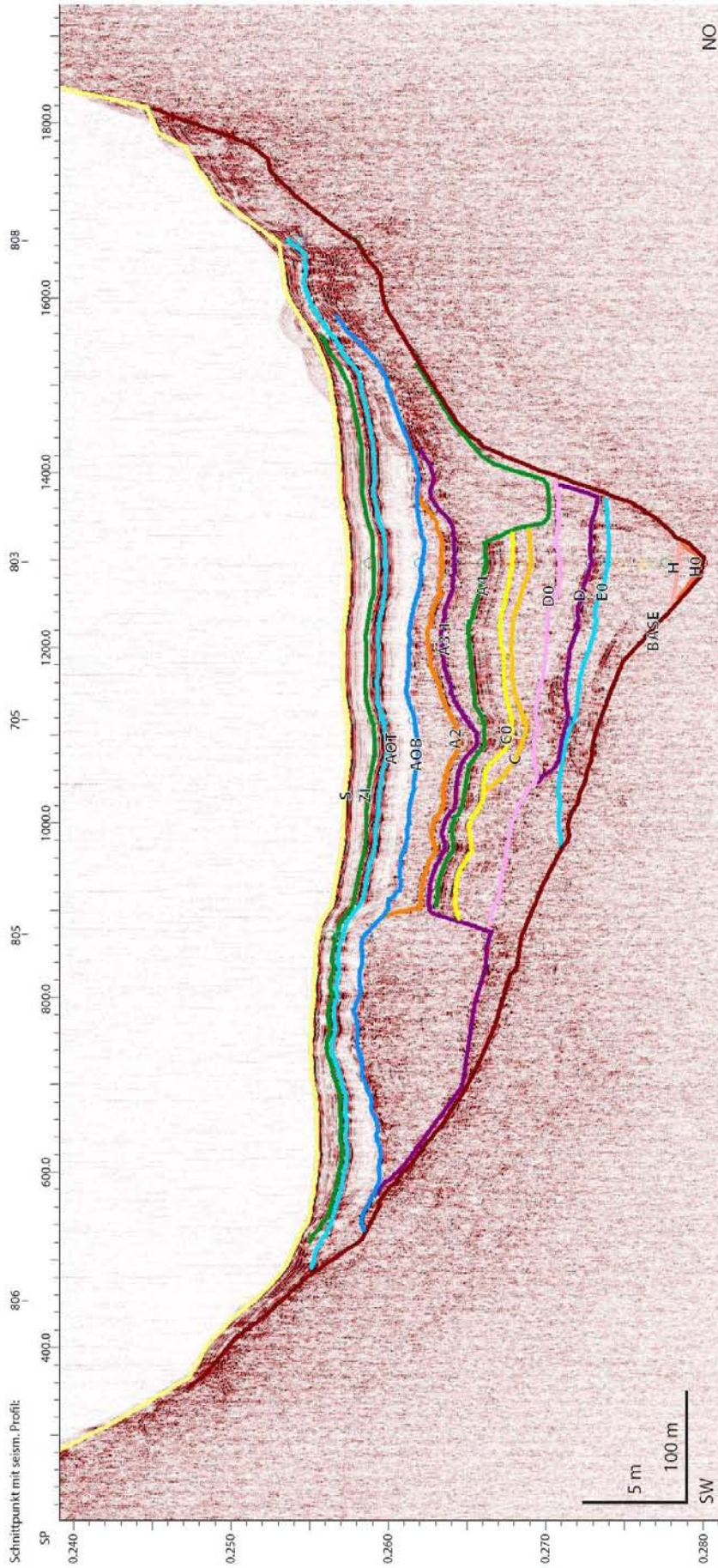
A8: seismisches Profil 803, Ausschnitt Becken A



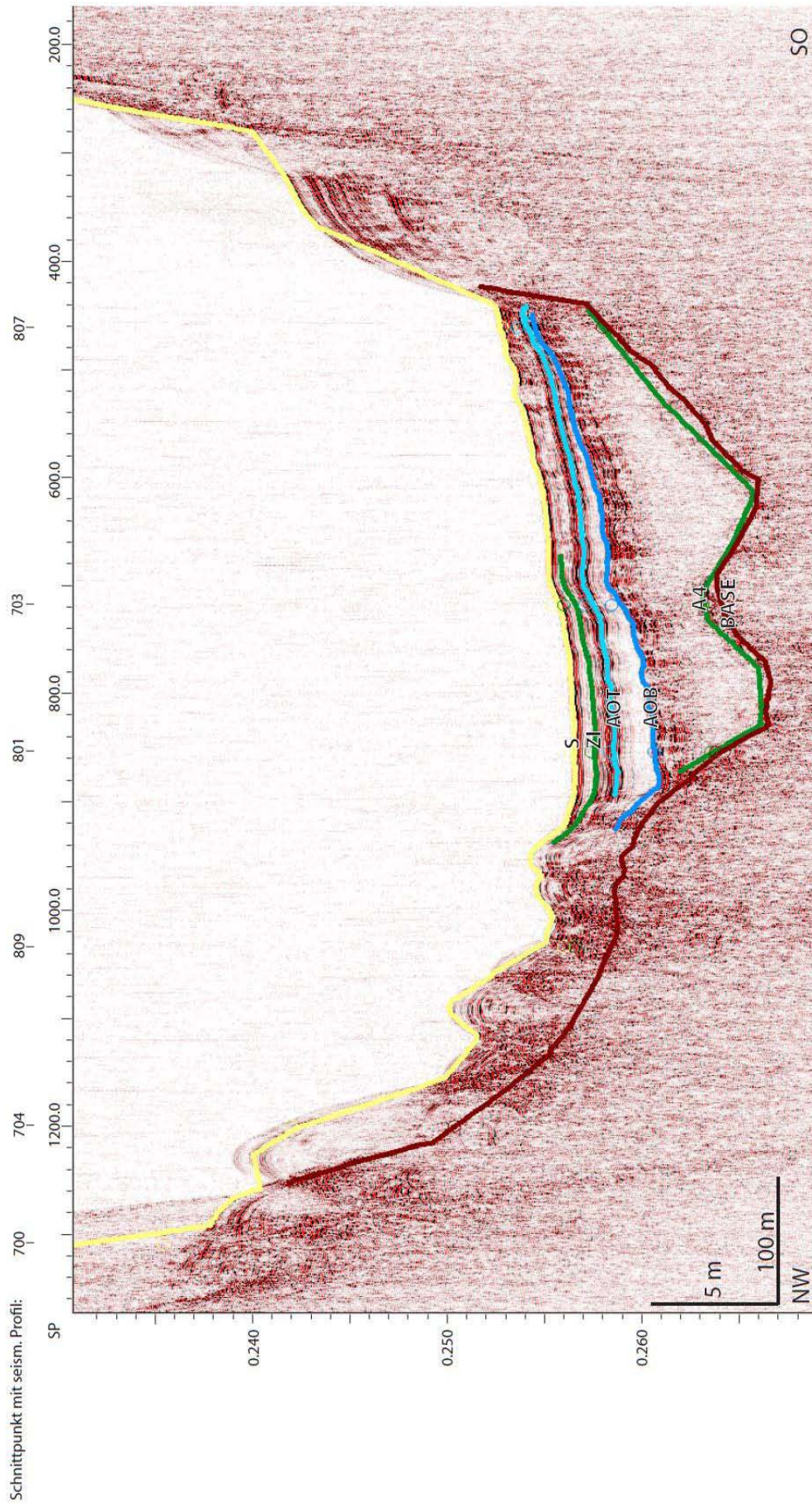
A9: seismisches Profil 806, Ausschnitt Becken A



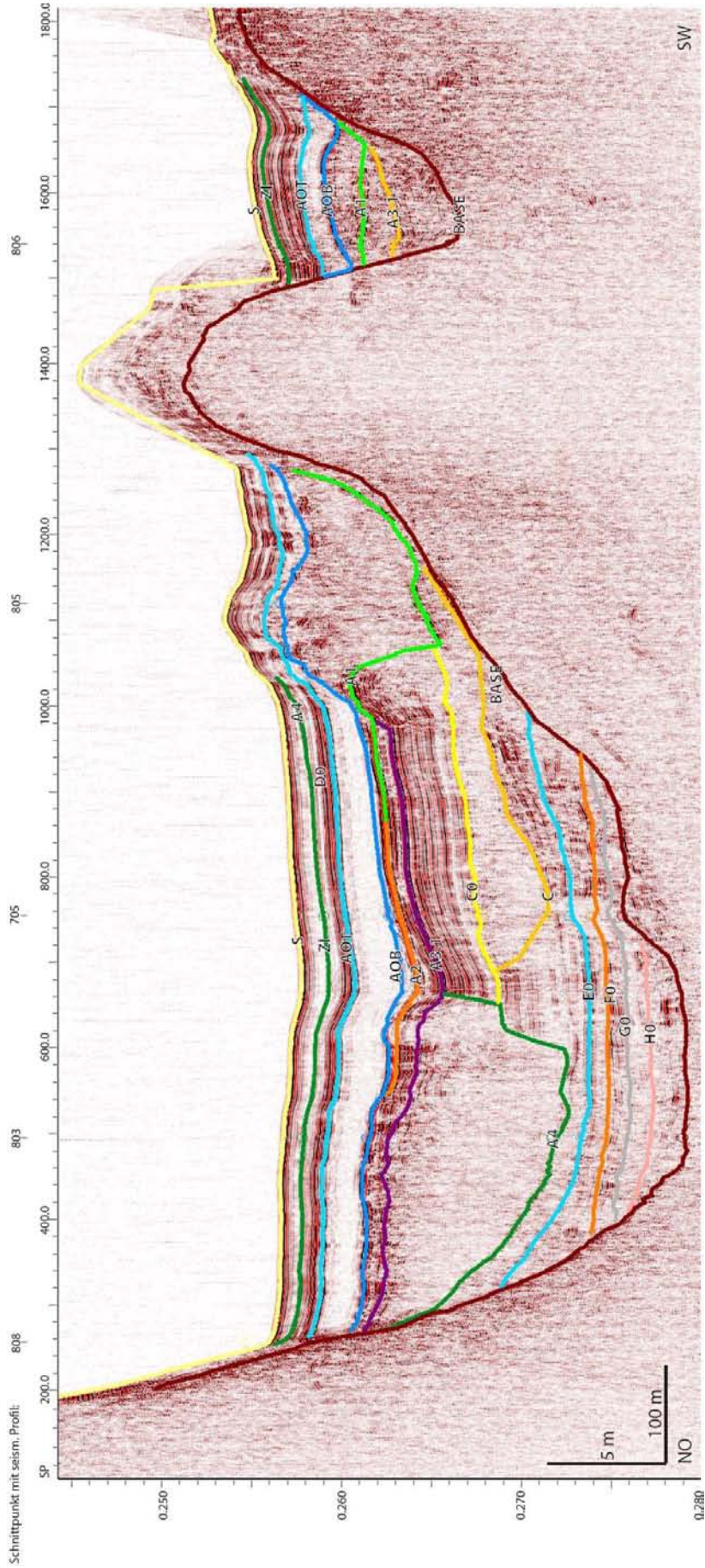
A10: seismisches Profil 807, Ausschnitt Becken A



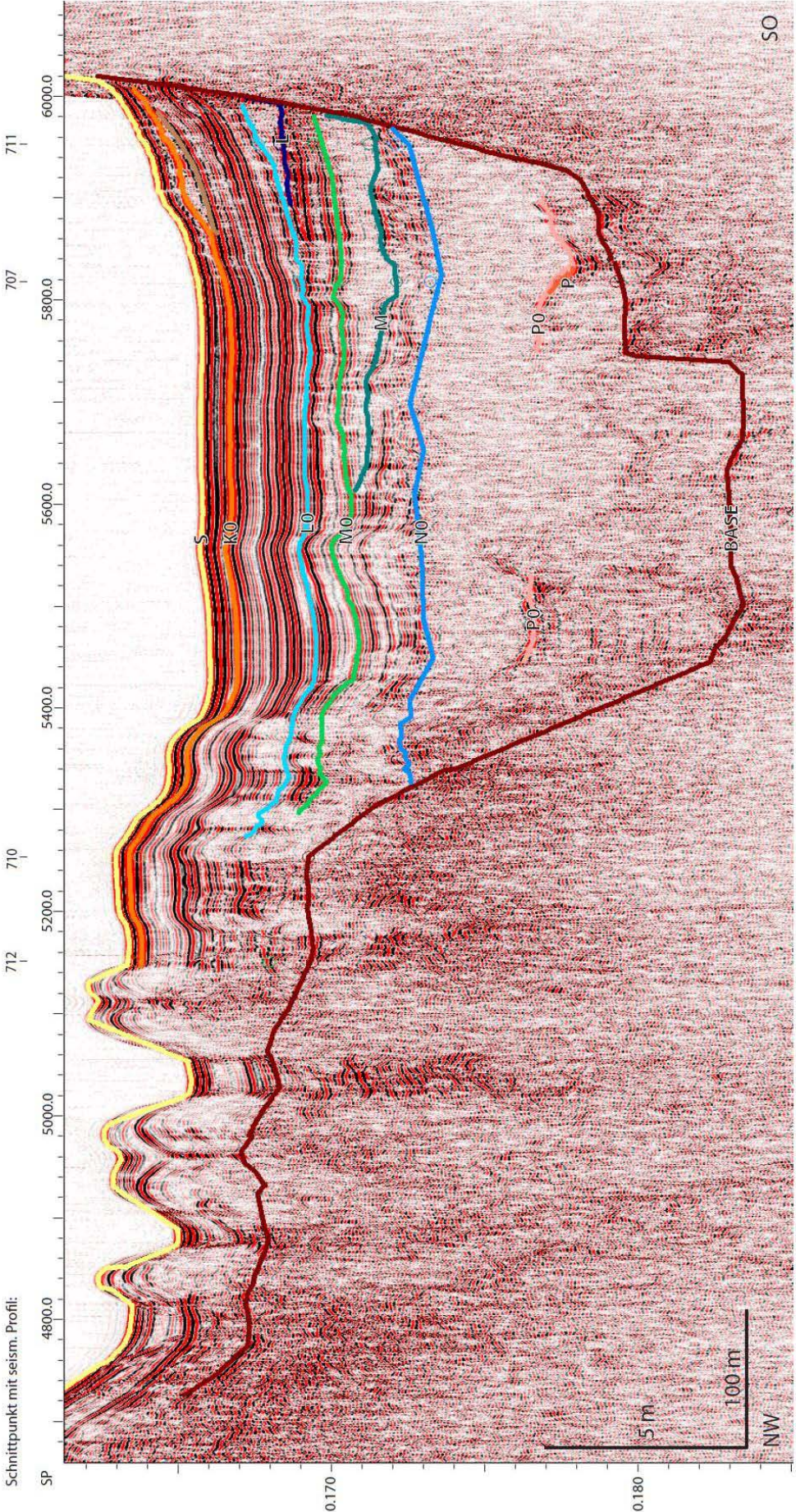
A11: seismisches Profil 808, Ausschnitt Becken A



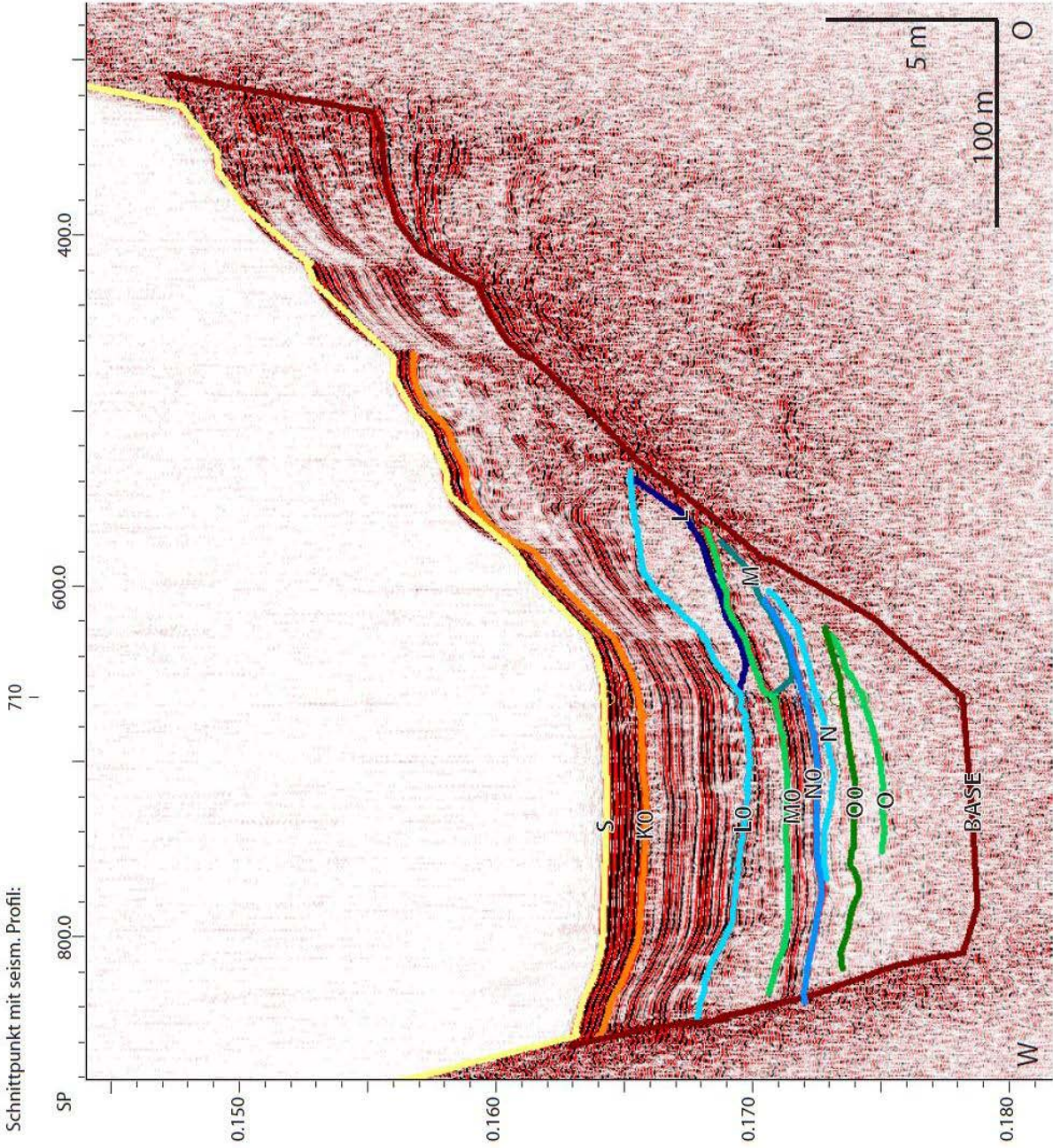
A12: seismisches Profil 809, Ausschnitt Becken A



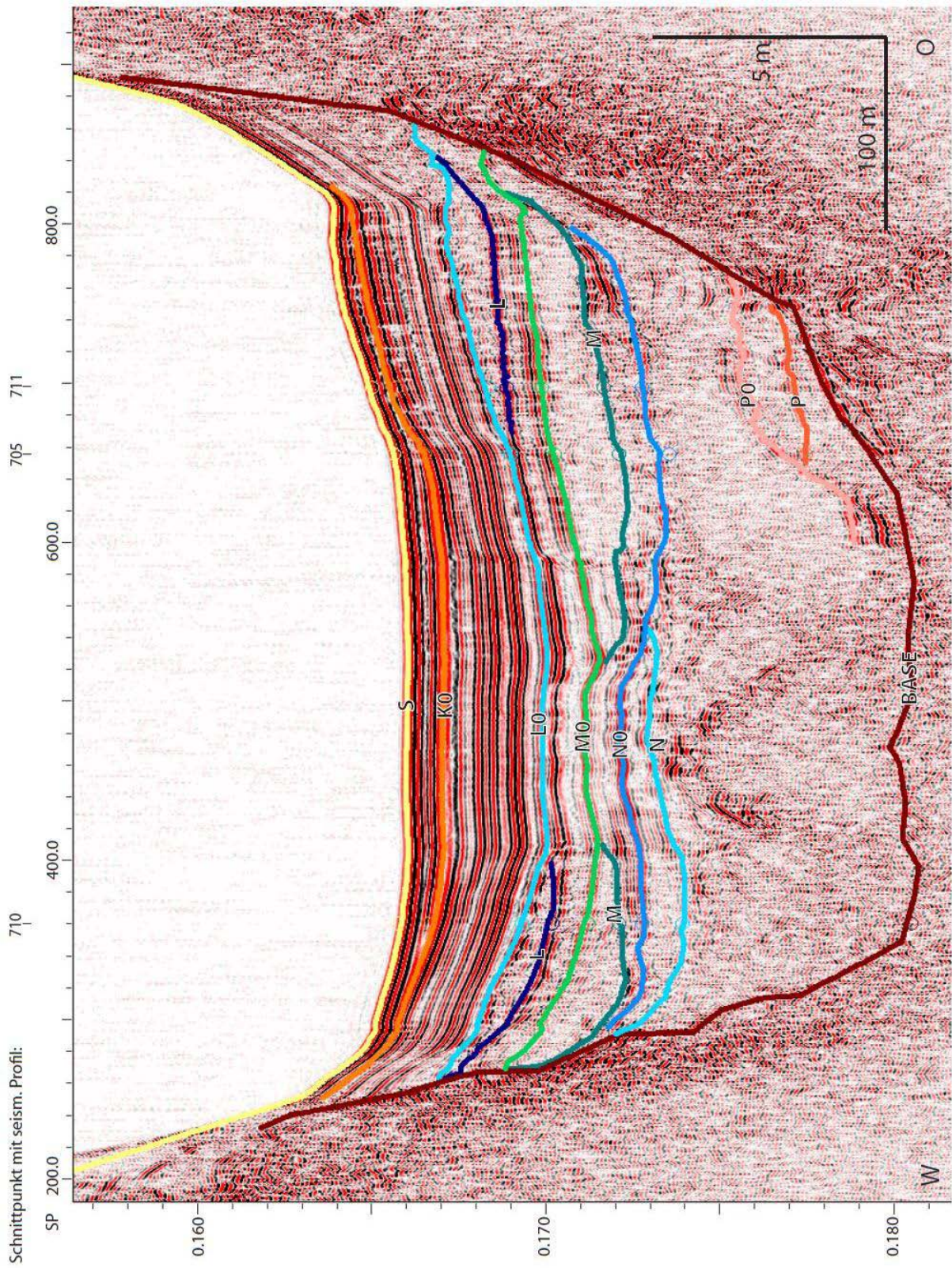
A13: seismisches Profil 705, Ausschnitt Becken B



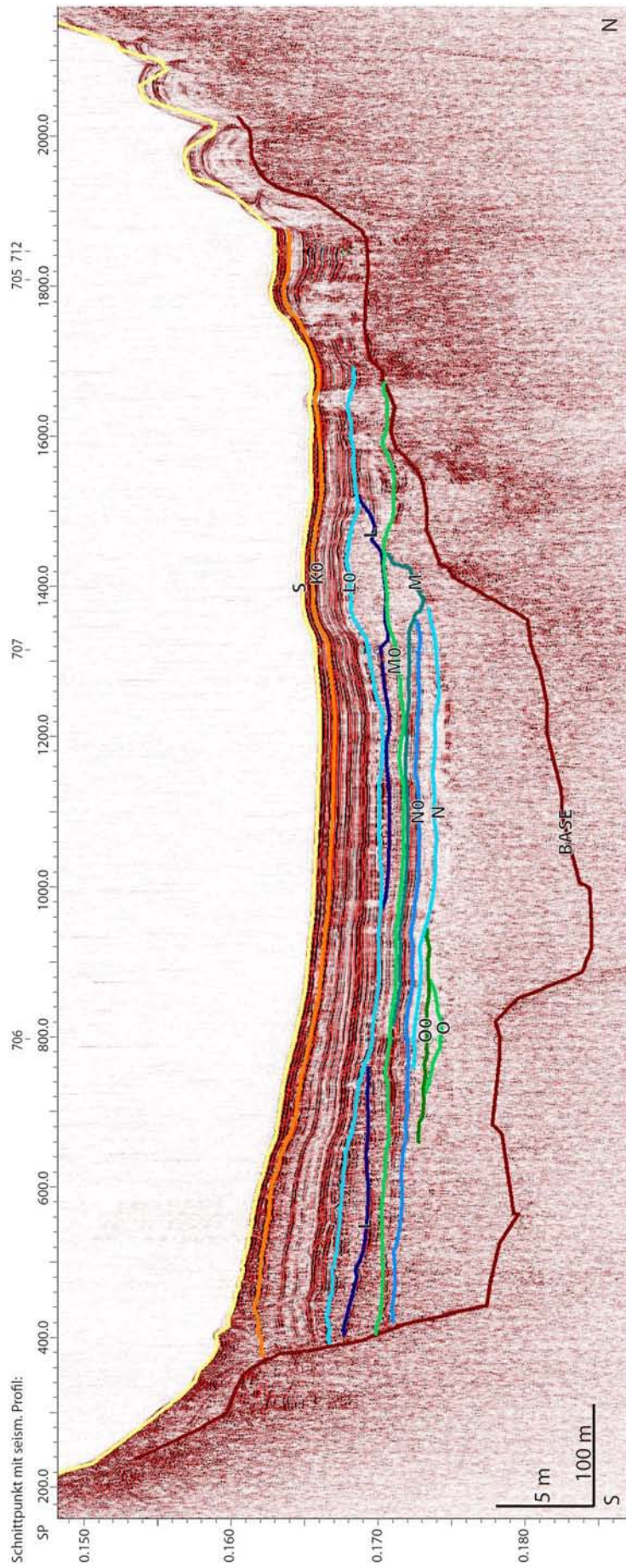
A14: seismisches Profil 706, Becken B



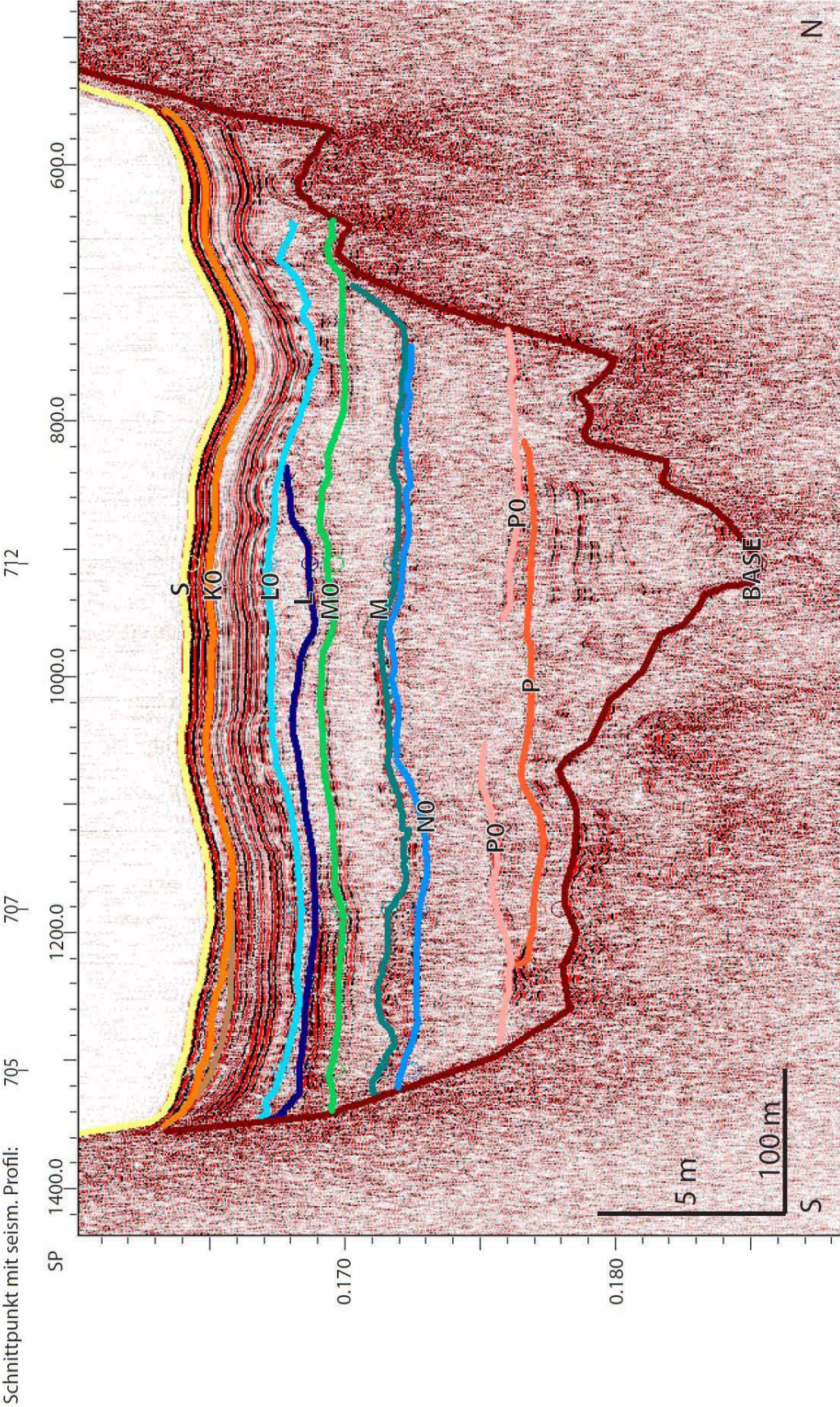
A15: seismisches Profil 707, Becken B



A16: seismisches Profil 710, Becken B



A17: seismisches Profil 711, Becken B



A18: seismisches Profil 712, Becken B

