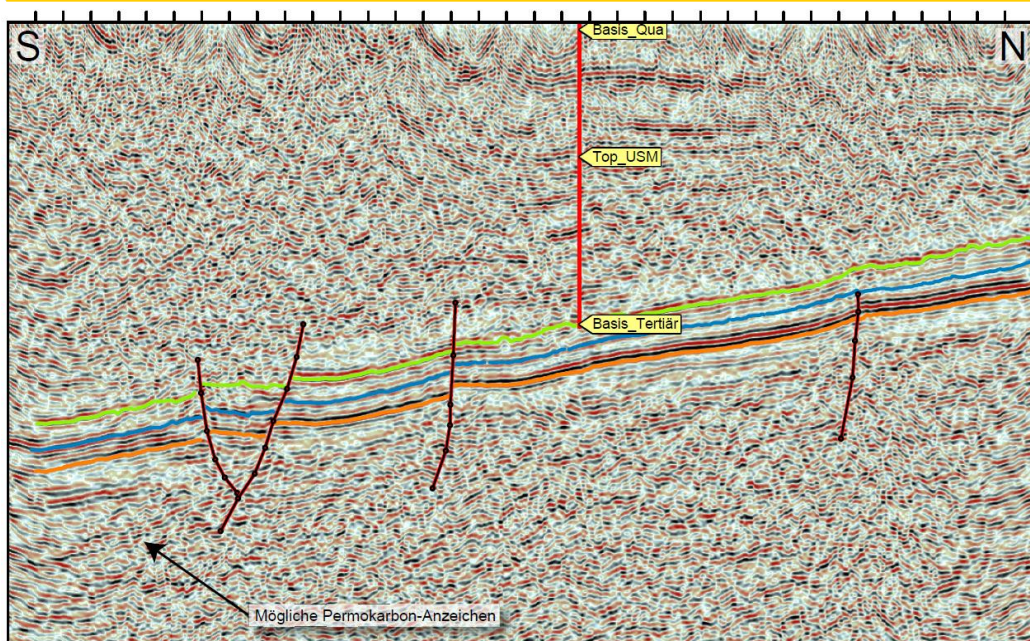


Reprozessing von sieben seismischen 2D-Linien im Kanton Zug und vereinfachte strukturelle Interpretation der Ergebnisse

PS-TA-1387

Bericht für
Amt für Umweltschutz Kanton Zug

R. Graf, Ph. Roth
November 2013



PROSEIS AG

SCHAFFHAUSERSTR. 418
CH-8050 ZÜRICH
WWW.PROSEIS.CH

T +41 44 315 50 70
F +41 44 315 50 60
INFO@PROSEIS.CH

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Management Summary	4
2. Einleitung	5
3. Reprozessing.....	5
4. Laden und Ausbalancieren der Daten	5
5. Interpretation.....	6
6. Zeitkarte	7
7. Schlussfolgerungen	9
Literaturverzeichnis.....	10
Beilagenverzeichnis	12
Appendix 1: DMT Petrologic Processing-Bericht	12

1. Management Summary

Im Rahmen von Erkundungen für ein allfälliges Geothermie-Projekt im Kanton Zug, hat sich das kantonale Amt für Umwelt (AfU Zug) entschieden, sieben seismische Profile im Kanton neu bearbeiten und interpretieren zu lassen. Die Proseis AG in Zürich wurde mit diesen Arbeiten beauftragt, wobei sie die Datenbearbeitung an die spezialisierte Firma DMT Petrologic GmbH in Hannover vergeben hat.

Die sieben Profile wurden zwischen 1975 und 1977 für die Öl- und Gasexploration aufgezeichnet. Sie befinden sich im Besitz der SEAG und wurden dem Kanton Zug für dieses Projekt zur Verfügung gestellt. Ziel der Neubearbeitung war es, die sieben Linien auf einen einheitlichen Standard zu bringen und die Qualität so weit als möglich zu verbessern. Die seismische Datenqualität ist sehr wichtig, um eine belastbare Interpretation zu ermöglichen. Dies ist zwar gelungen, aber das Resultat ist doch nicht vergleichbar mit modernen Daten.

Um die Interpretierbarkeit der Daten abzuklären wurde versucht, vier Horizonte zu interpretieren: Oberkante Malm (das Hauptziel für ein mögliches hydrothermales Geothermieprojekt), Unterkante Malm, Oberkante Muschelkalk und Oberkante Grundgebirge. Der erste und der dritte Horizont sind auf der Seismik sehr gut abgebildet und lassen sich problemlos regional verfolgen. Die Basis Malm liegt etwa in der Mitte und ist schwieriger zu kartieren, da sie lateral ihren seismischen Ausdruck ändert. Der vierte Horizont, die Oberkante des Grundgebirges, wurde ebenfalls angeschaut, konnte aber nicht durchgehend interpretiert werden. Diese Grenze ist erfahrungsgemäss auch in anderen Gebieten der Schweiz und auch auf neuerer Seismik sehr schwierig zu orten, da sich bei diesem graduellen Übergang oft keine deutliche Reflexion ergibt. Eine belastbare, detaillierte Kartierung über den ganzen Kanton Zug ist auf Grund der kleinen Anzahl an seismischen Linien und deren ungleichmässigen Verteilung nicht möglich. Das war aber auch nicht das Ziel dieser kurzen Studie.

Die Interpretation der oberen drei Horizonte zeigt klar das Vorhandensein von markanten Störungen und damit die Möglichkeit von zerklüfteten Zonen im Malm und im Muschelkalk, welche für ein hydrothermales Projekt notwendig sind. Wegen der zu geringen Datendichte ist allerdings eine exakte Kartierung der Störungszonen nicht möglich. Um die wahrscheinlichste Orientierung der Störungszonen zu bestimmen, mussten auch regionalgeologische Daten berücksichtigt werden. Beilage 1 zeigt den Versuch einer Kartierung der Oberkante des Muschelkalks. Diese Karte zeigt die ungefähre Topographie des kartierten Horizontes. Die Konturen entsprechen der seismischen Laufzeit in Millisekunden. Eine Tiefenkonversion wurde nicht durchgeführt. Eine Zeit von 2'000 ms, wie sie im südöstlichen Teil des Kantons erreicht wird, entspricht einer Tiefe von ca. 4'500 m. Die wahrscheinlichste Richtung der Bruchsysteme variiert zwischen NE – SW und E – W. Diese Richtung ist im Bezug auf Erdbeben im heutigen Spannungsfeld eher als günstig zu beurteilen. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass beim Einpressen von Wasser spürbare induzierte Erdbeben durch (Wieder-)Aktivierung der Brüche entstehen.

Die für ein hydrothermales Geothermieprojekt interessantesten Gebiete liegen im südlichen Teil des Kantons, einerseits wegen der dort vorhandenen Störungen und andererseits wegen der grösseren Tiefe und den damit verbundenen höheren Temperaturen. Für die detaillierte Planung eines solchen Projektes ist eine 3D-Seismik über das in Frage kommende Gebiet notwendig. Nur eine solche Seismik ermöglicht die detaillierte und belastbare Kartierung von Bruchsystemen und eine optimale Platzierung der Bohrung(en). Auf Grund der Datenqualität der alten 2D-Linien darf mit einer guten Datenqualität bei einer allfälligen, modernen 3D-Seismik gerechnet werden.

Ein mögliches Gebiet für eine solche 3D-Seismik ist in Beilage 1 rot eingezeichnet. Es umfasst eine Fläche von ca. 100 km². Die zu erwartenden Kosten für Planung, Messung, Datenbearbeitung und Interpretation belaufen sich auf ca. CHF 6 Millionen.

2. Einleitung

Im Rahmen von Erkundungen für ein allfälliges Geothermie-Projekt im Kanton Zug, hat sich das kantonale Amt für Umweltschutz (AfU) entschieden, sieben seismische Profile im Kanton neu bearbeiten und interpretieren zu lassen. Die Proseis AG wurde mit diesen Arbeiten beauftragt, wobei sie die Datenbearbeitung an die spezialisierte Firma DMT Petrologic GmbH in Hannover als Subunternehmer beauftragt hat.

3. Reprozessing

Die hier beschriebene, erste Phase des Reprozessings-Projektes umfasst eine Neumigration der gestapelten seismischen Profile. Eine optionale zweite Phase, die das Reprozessing ab den Felddaten beinhalten würde, wird nur dann ausgeführt, wenn die Resultate der ersten Phase dies unterstützen.

Der Prozessing-Bericht von DMT Petrologic (Appendix 1) enthält alle wesentlichen Angaben zu dieser Neubearbeitung. Diese Neubearbeitung startete mit den unbearbeiteten Stack Daten („raw stack“) und nicht mit den Felddaten wie normalerweise üblich. Ziel der Neubearbeitung war es, die sieben Linien auf einen einheitlichen Standard zu bringen und dabei auch die Interpretierbarkeit zu verbessern. Besonderes Gewicht wurde dabei auf eine Normalisation der Amplituden und eine optimale Migration gelegt.

Ein Vergleich der alten mit den neuen Daten zeigt, dass sich die Neubearbeitung gelohnt hat, da die Reflexionen stellenweise kontinuierlicher geworden und damit besser zu interpretieren sind. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die seismischen Profile in den 1970er Jahren aufgezeichnet wurden und die Feldtechnik sich seither stark verbessert hat. Das beginnt schon bei den Koordinaten der einzelnen Spuren, die nicht überall restlos sichergestellt werden konnten. Das Profil 770036 ist beispielsweise perfekt gerade, was darauf hinweist, dass nur Anfangs- und Endkoordinaten erhalten sind. Mit lateralen Fehlern in der Positionierung der interpretierten Daten im Bereich von wenigen 100 m muss also gerechnet werden. Ferner ist das seismische Bild speziell am südlichen Ende der kurzen Profile recht unklar (s. Figur 2) und die darauf basierenden Angaben in Form von Isochronen- und Bruchverlauf sind entsprechend unsicherer.

Von einer zweiten Reprozessingphase mit Neubearbeitung der Daten ab den Felddaten wird abgeraten. Es ist unwahrscheinlich, dass die Interpretierbarkeit der Seismik signifikant erhöht würde. Der Aufwand und somit die Kosten wären hingegen um ein Vielfaches höher.

4. Laden und Ausbalancieren der Daten

Die Interpretation der Daten erfolgte im Programm SeisVision/Geographix der Firma LMKR. Da die Neubearbeitung von DMT Petrologic erst bei der Stapelung anging, war mit Inkonsistenzen an den Linienkreuzungen zu rechnen. Diese sogenannten Misfits wurden über vertikale (zeitliche) Verschiebungen und Phasenverschiebungen (Umpolungen) korrigiert. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über dieses Ausbalancieren der Linien. Für die Kalibration der Seismik und damit für die Wahl der drei zu interpretierenden Horizonte wurde die Sondierbohrung Schafisheim (z.B. Roth et al., 2010) im Norden benutzt. Das aus diesem Abgleich der Profile resultierende Referenzniveau (SRD: 0 ms Zweiweg-Laufzeit) liegt bei 500 m.ü.M.

Ebenfalls ins SeisVision geladen wurde die Bohrung Hünenberg-1, welche die Oberkante des Mesozoikums (= Basis der Molasse) durchbohrt hatte. Neben den Koordinaten und den wichtigsten erbohrten stratigrafischen Grenzen wurde auch eine Zeit-Tiefe Tabelle (das

Ergebnis eines sogenannten Checkshots) geladen, um die geologischen Grenzen in Hünenberg-1 im Zeitbereich richtig positionieren zu können.

Tab. 1. Übersicht über die eingeführten Zeit- und Phasenverschiebungen, die ein einheitliches SRD bei 500 m.ü.M. nötig macht.

Seismische Linie	Statische Verschiebung [ms]	Phasenverschiebung [°]
85SE07	-328	180
82SE11	-318	0
83SE06	-248	0
750021	160	180
750022	160	180
750025	200	0
760027	168	180
760028	246	180
770032	206	0
770036	228	180

5. Interpretation

Drei Horizonte wurden kartiert: Top Malm (= Basis Molasse oder Basis Tertiär, BTe), Basis Malm (BMa) und Top Muschelkalk (TMk). Der erste und der dritte Horizont entsprechen markanten Reflexionen in der Seismik, die sich regional verfolgen lassen. Die der Basis Malm zugeordnete Reflexion liegt etwa in der Mitte und ist schwieriger zu kartieren, da sie lateral ihren seismischen Ausdruck ändert. Die wichtige Grenze der Basis des Mesozoikums (= Oberkante Grundgebirge inkl. Permokarbon) wurde dagegen zwar auch berücksichtigt aber nicht durchgehend kartiert, da sie erfahrungsgemäss sehr schwierig zu orten ist.

Der Top Muschelkalk Markerhorizont wurde für die Konstruktion der Zeitkarte ausgewählt (s. Kap. 6), weil er der kontinuierlichste der drei Horizonte und deshalb am verlässlichsten kartierbar ist. Zudem wird dieser Horizont von allen kartierten Störungen versetzt.

Tektonische Störungen gibt es im Untersuchungsgebiet einige. Die meisten Störungen werden als Abschiebungen erkannt, die auch die Basis des Mesozoikums versetzen können. Lokal sind die ehemals extensiven Brüche kompressiv überprägt worden (siehe Figur 1). Auch Anzeichen für tektonische Verdickungen im Mesozoikum (v.a. Trias), die ihren Ursprung in einer kompressiven Komponente haben dürften, sind vereinzelt beobachtet worden (wie z.B. entlang Profil 760028), ohne dass sie im Detail auskartiert werden konnten. Die grössten Versatzbeträge an den identifizierten Störungen betragen 80 ms oder umgerechnet etwa 150 – 200 m.

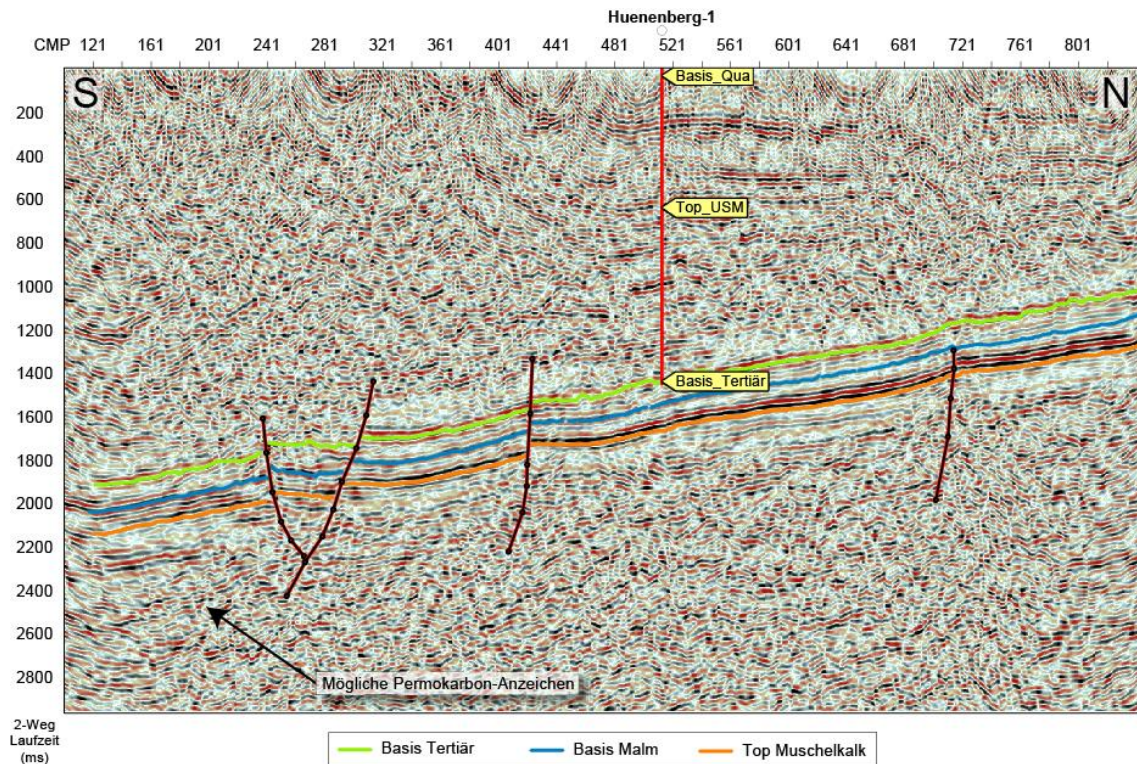


Fig. 1. Profil 750025 über die Bohrung Hünenberg-1. Das kontinuierliche Sedimentpaket des Mesozoikums wird an vier Stellen von tektonischen Störungen versetzt, die einen extensiven Charakter aufweisen. Durch kompressive oder transpressive Überprägung erscheint heute die südlichste Störung als Aufschiebung. Der Pfeil weist auf Reflexionen im Grundgebirge hin, die möglicherweise einem Permokarbon-Trogrand zuzuordnen sind.

6. Zeitkarte

Vom Horizont Top Muschelkalk wurde eine Zeit- oder Isochronenkarte erstellt (Beilage 1). Vor der Konturierung der Zeitwerte wurde noch eine sogenannte Mistie-Analyse und -Korrektur durchgeführt. Dabei werden die nach dem Ausbalancieren der Seismik übriggebliebenen laufzeitabhängigen Restfehler bzw. allfällige durch die Interpretation verursachte Inkonsistenzen an den Linienkreuzungen hälftig zwischen den beiden betroffenen Linien korrigiert. Diese Korrekturen waren allesamt klein (<12 ms).

Weil das Netz an seismischen Profilen nicht sehr dicht ist, lassen sich nur drei Störungen über mindestens zwei Profile korrelieren, also lateral verbinden und damit geometrisch orientieren (s. Beilage 1). Die Richtung dieser drei Verwerfungen variiert zwischen E – W und NE – SW, in Übereinstimmung mit den Achsen der wichtigsten Synklinale und Antiklinale in diesem Gebiet (z.B. Nagra, 2008). Auch das Streichen der gravimetrischen Bouguer-Anomalien weist eine ähnliche Richtung auf (Green et al., 2013). Es ist mit der vorhandenen Datenbasis unmöglich, Aussagen darüber zu machen, wie die anderen Brüche streichen, die teilweise sehr deutlich auf einer einzelnen der sieben interpretierten seismischen Linien ausgebildet sind. Diese Einzelbeobachtungen sind in der Karte mit Symbolen gekennzeichnet, die den Bruchmechanismus angeben. Sie werden aber (anders als die korrelierten Brüche) vom Konturierungsalgorithmus nicht berücksichtigt.

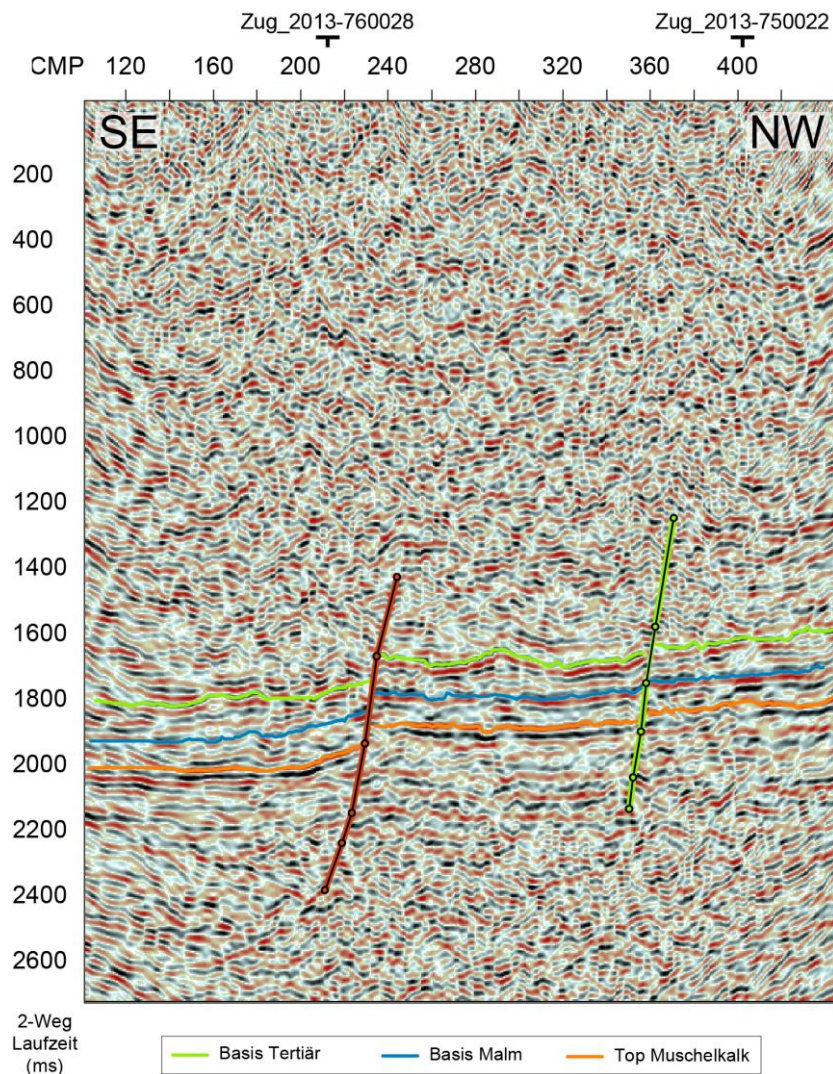


Fig. 2. Profil 750021 nordöstlich des Ägerisees. Das Profil ist repräsentativ für die Qualität der zur Verfügung stehenden Seismik-Daten im Untersuchungsgebiet. Die beiden Störungen gehören zu den drei über mindestens zwei seismische Linien hinweg korrelierbaren Störungen.

Deutliche Anzeichen für die Präsenz eines Permokarbon-Troges im Grundgebirge in Form von hohen Amplituden und/oder von Winkeldiskordanzen an der Basis des Mesozoikums sind keine zu erkennen. Am ehesten geben die diskordanten Amplituden ganz im Süden von Profil 750025 (s. Figur 1) gewisse Hinweise darauf.

Im Hinblick auf eine mögliche Nutzung der Störungen als zerklüftete Zonen für ein hydrothermales Projekt ist es von Interesse hervorzuheben, dass die Richtung der kartierten Brüche im heutigen Spannungsfeld eine günstige ist: Es dürfte schwierig sein, solchermassen orientierte Verwerfungen durch mögliche induzierte Erdbeben (wieder) zu aktivieren: Im Gebiet des Kantons Zug liegt eine der Hauptspannungsachsen NE – SW und ENE – WSW (Kastrup et al., 2004) und damit grob parallel zu der Haupt-Streichrichtung der Brüche.

Eine Tiefenumwandlung der Daten wurde nicht durchgeführt. Überslagsmässig können aber die Tiefen aus den Laufzeiten im Bereich des Mesozoikums mit einem Multiplikationsfaktor

von $2\frac{1}{4}$ sehr grob geschätzt werden. Ein Laufzeit von 2'000 ms z.B. entspricht also ungefähr 4'500 m unter SRD oder 4'000 m unter Meeresniveau.

7. Schlussfolgerungen

- Das Reprozessing der seismischen Linien hat eine Verbesserung der Qualität und damit der Interpretierbarkeit gebracht.
- Von einem Reprozessing ab Feldbändern wird abgeraten. Die Linien sind zu alt und es können keine deutlichen Verbesserungen der Datenqualität erwartet werden, welche die bestehende Interpretation beeinflussen würden.
- Die Interpretation der drei Horizonte im Mesozoikum zeigt das Vorhandensein von markanten Störungen und damit die Möglichkeit von zerklüfteten Zonen für ein hydrothermales Projekt.
- Eine detaillierte Kartierung der Störungszonen ist auf Grund der grossen Linienabstände nicht möglich.
- Falls der Kanton Zug ein hydrothermales Geothermieprojekt planen sollte, wäre der nächste Schritt die Akquisition einer 3D-Seismik.

Literaturverzeichnis

- Green A.G., Merz K., Marti U., Spillmann T, (2013): *Gravity Data in Northern Switzerland and Southern Germany*. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-40.
- Kastrup U., Zoback M.-L., Deichmann N., Evans K., Giardini D. & Michael A.J. (2004): *Stress field variations in the Swiss Alps and the northern Alpine foreland derived from inversion of fault plane solutions*. J. Geophys. Res. 109.
- Nagra (2008): *Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen*. Nagra Technischer Bericht NTB 08-04.
- Roth Ph., Naef H. & Schnellmann M. (2010): *Kompilation und Interpretation der Reflexionsseismik im Tafeljura und Molassebecken der Zentral- und Nordostschweiz*. Nagra Arbeitsbericht NAB 10-39.

Beilagenverzeichnis

Beilage 1.	Zeitkarte Top Muschelkalk
Beilage 2.	Linie 750021
Beilage 3.	Linie 750022
Beilage 4.	Linie 750025
Beilage 5.	Linie 760027
Beilage 6.	Linie 760028
Beilage 7.	Linie 770032
Beilage 8.	Linie 770036

Appendix 1: DMT Petrologic Processing-Bericht