



Schlussbericht 20. September 2010

Geothermische Ressourcenanalyse im Bereich des Kongresszentrums

1. Projektphase: Seismische Untersuchungen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Geothermie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Landschaft Davos Gemeinde
<http://www.gemeinde-davos.ch/>

Auftragnehmer:

GEOTEST AG
Birkenstrasse 15
CH-3052 Zollikofen
davos@geotest.ch
www.geotest.ch

Autoren:

Dr. Ch. Regli
Dr. P. Kleboth
Dr. B. Krummenacher

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi

BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154'423 / 103'354

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Landschaft Davos Gemeinde
Rathaus, 7270 Davos Platz

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Davos Platz

Geothermische Ressourcenanalyse im Bereich des Kongresszentrums

1. Projektphase: Seismische Untersuchungen



Bericht Nr. G0939.2 / 20. September 2010

GEOTEST GEOLOGEN
INGENIEURE
GEOPHYSIKER
UMWELTFACHLEUTE

Promenade 15 Tel. 081 410 30 10
CH-7270 Davos Platz Fax 081 410 30 15
Dr. Bernhard Krummenacher davos@geotest.ch

Bundesamt für Energie, 3003 Bern

Landschaft Davos Gemeinde
Rathaus, 7270 Davos Platz

Davos Platz

Geothermische Ressourcenanalyse im Bereich des Kongresszentrums

1. Projektphase: Seismische Untersuchungen

Bericht Nr. G0939.2

Davos Platz, 20. September 2010

Bearbeiter: Dr. Ch. Regli
Dr. P. Kleboth
Dr. B. Krummenacher

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	4
1.1 Ausgangslage und Auftrag	4
1.2 Ausgeführte Arbeiten	5
1.3 Verwendete Unterlagen	5
2. Geologische Verhältnisse	7
2.1 Tektonischer Überblick	7
2.2 Geologische Verhältnisse im Raum Davos	8
2.2.1 Silvretta-Decke	8
2.2.2 Aroser Dolomiten-Decke	8
2.2.3 Rothorn-Schuppe und Schaflägerzug	8
2.2.4 Davoser Dorfberg-Decke	8
2.2.5 Aroser-Zone	9
2.3 Alpine Metamorphose	9
3. Seismischen Untersuchungen	9
3.1 Ziel der Untersuchungen	10
3.2 Permitting, Feldarbeiten und Datenbearbeitung	10
3.3 Ergebnisse der seismischen Untersuchungen	10
4. Hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse	11
4.1 Grossräumige Grundwasserfliessverhältnisse im Festgestein	11
4.2 Bohrungen und Quellen im Aroser Dolomit	12
5. Folgerungen	14
6. Vorschlag weiteres Vorgehen	15
 Anhang	 Nr.
Tektonische Karten 1:150'000 / 1:75'000	1
Tektonische Profile 1:5'000 / 1:10'000	2
Situation Profil 10DAVO-1 (Profil Kurpark), 1:5'000	3
Situation Profil 10DAVO-2 (Profil Guggerbach), 1:5'000	4
Seismisches Profil Kurpark 1:4'000, interpretiert	5
Seismisches Profil Guggerbach 1:5'000, interpretiert	6
Regionales Grundwasserfliessfeld 1:5'000	7
Fotodokumentation Aroser Dolomiten-Decke	8
Bericht GeoExpert AG vom 10.09.10	9

Verteiler

Bundesamt für Energie, Bern	2 Expl.
Landschaft Davos Gemeinde, Davos Platz	5 Expl.
Archiv GEOTEST AG, Davos Platz	1 Expl.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Die Gemeinde Davos arbeitet daran, das im Rahmen des Leitbildes Davos 2036 in Entwicklung begriffene "Mount Energy Davos – Energiemodell Davos" umzusetzen. Die energiepolitischen Zielsetzungen sehen dabei vor, die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern – gegenwärtiger Anteil an Heizöl am Gesamtenergieverbrauch von Davos 55% [9] – kontinuierlich zu reduzieren. Die Nutzung von Erdwärme soll dabei, nebst der Nutzung von Solar- und Holzenergie sowie von Biomasse, eine zentrale Stellung einnehmen.

Erste Abklärungen haben gezeigt, dass die Nutzung der untiefen Geothermie auf Stadtgebiet, also der in den obersten 400 m der Erde gespeicherten Wärme, durch artesisch gespanntes Wasser im Festgestein oder infolge der Ausbildung von zwei Grundwasserstockwerken im Lockergestein stark eingeschränkt ist [1], [18]. Diese Einschränkung trifft auch für die Standorte des Kongresszentrums und des Hallenbades zu und verhindert, insbesondere auch wegen des überdurchschnittlichen Energiebedarfs und der beschränkten Platzverhältnisse, eine Erdwärmennutzung mittels Erdwärmesonden. Aufgrund der komplexen geologischen Verhältnisse und der speziellen Überbauungsstruktur ist deshalb die Erkundung des tieferen Untergrundes hinsichtlich einer geothermischen Nutzung angezeigt.

Gestützt auf dem vom Kleinen Landrat der Gemeinde Davos gefällten Grundsatzentscheid zur Nutzung von Erdwärme für die Beheizung des Neubauteils des Kongresszentrums vom 01.07.08 sowie aufgrund verschiedener Studien, Abklärungen und Besprechungen, auch mit Vertretern des Bundesamtes für Energie (BFE), hat die Gemeinde in Zusammenarbeit mit der GEOTEST AG einen Forschungs- und Entwicklungsantrag für eine **geothermische Ressourcenanalyse im Bereich des Kongresszentrums** erarbeitet und mit Beschluss vom 21.07.09 beim BFE eingereicht.

Projekt geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrum Davos

Die geothermische Ressourcenanalyse umfasst zwei Projektphasen:

1. Die **1. Projektphase** sieht **seismische Untersuchungen** zur Identifikation der tektonischen und strukturellen Verhältnisse im Bereich des Kongresszentrums vor. Damit soll das bestehende geologische Untergrundmodell im Bereich des möglichen Bohrstandortes verifiziert und verfeinert werden.
2. In der **2. Projektphase** ist eine 600 bis 700 m tiefe **Bohrung mit Bohrlochversuchen** zur Ermittlung des lokalen Wärmepotentials vorgesehen. Darüber hinaus sollen die Untersuchungen auch generelle Aussagen über die geothermischen Nutzungsmöglichkeiten an anderen Standorten auf Stadtgebiet ermöglichen. Hinsichtlich einer allfälligen Nutzung ist keine Stimulierung des Untergrundes durch Hydrofrac vorgesehen.

Auftrag

Der vorgelegte Antrag wurde vom BFE geprüft. Die 1. Projektphase wurde als unterstützungswürdig beurteilt. In Abhängigkeit der Resultate soll über die Realisierung der 2. Projektphase entschieden werden. Die Gemeinde Davos, als Antragstellerin, beauftragte uns in der Folge mit der Durchführung und Auswertung der seismischen Untersuchungen.

Zur Ergänzung des technischen Personals und der Messausrüstung wurde für die seismischen Messungen und die Datenbearbeitung die GeoExpert AG, Amlikon-Bissegg, als Subunternehmerin beigezogen. Die Kosten für die 1. Projektphase wurden zu je ca. 50% vom BFE und der Gemeinde Davos übernommen.

1.2 Ausgeführte Arbeiten

Im Rahmen der Startphase und der 1. Projektphase wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Projektlobbying, Strukturierung Gesamtprojekt, Beratung und Mitarbeit bei Erstellung Forschungs- und Entwicklungsantrag, Beschaffung der finanziellen Mittel für 1. Projektphase;
- Planung der seismischen Untersuchungen, Festlegung und Bezeichnung der seismischen Linien, Ressourcenbeschaffung (GeoExpert AG), Erstellen Arbeitsprogramm und Zeitpläne für die Umsetzung;
- Permitting und Information der Öffentlichkeit durch Gemeinde Davos;
- Ausführung der seismischen Messungen durch GeoExpert AG und GEOTEST AG, Datenbearbeitung durch GeoExpert AG, geologische Interpretation der Messdaten durch GeoExpert AG und GEOTEST AG;
- Information der Auftraggeber über den Stand der Arbeiten (Zwischenbericht G0939.1 vom 30.06.10), Information interessierter Kreise (Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Landrat Gemeinde Davos) und der Öffentlichkeit (Presse) mit Besichtigung während der Durchführung der seismischen Messungen;
- Aufzeigen des regionalen Grundwasserfließfeldes basierend auf einer 2D-Modellierung im Gebirgsquerschnitt, Zusammenstellung der Kenntnisse über die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse im Festgestein;
- Berichterstattung mit Schlussfolgerungen und Vorschlag für das weitere Vorgehen.

1.3 Verwendete Unterlagen

- [1] Amt für Natur und Umwelt und Landschaft Davos Gemeinde (2009): Grundwasserstudie – Grundwassermodell Davos. GEOTEST AG, Bericht Nr. G0740.1
- [2] Amt für Natur und Umwelt (2008): Gewässerschutzkarte des Kantons Graubünden.
- [3] Amt für Umweltschutz Graubünden (1993): Grundwasser Davos, Hydrogeologisches Gutachten. Büro für technische Geologie und Hydrogeologie, Bericht Nr. 3319.
- [4] Amt für Wald, Gebäudeversicherung Graubünden, Bundesamt für Umwelt (2006): Seismische Mikrozonierung Landschaft Davos, Karte der Baugrundklassen nach SIA 261. GEOTEST AG, Bericht Nr. G0516.1.
- [5] Bernoulli D., Manatschal G. and Müntener O. (2007): An ancient ocean-continent transition in the Alps: the Totalp unit (Graubünden). 8th Workshop on Alpine Geological Studies Davos, Excursion Guide-Book, 10-24.
- [6] Bundesamt für Energiewirtschaft, Amt für Umweltschutz Graubünden, Gemeinde Landschaft Davos (1986): Pilotprojekt geothermische Bohrung Phase II, Schlussbericht. Büchi und Müller AG, Bericht Nr. 2063.

- [7] Cadisch J. und Leupold W. (1929): Geologische Karte von Mittelbünden, 1:25'000, Blatt B: Davos. Schweiz. Geol. Komm.
- [8] Chiang W.-H. (2005): 3D Groundwater Modeling with PMWIN. A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Solute Transport Processes. Springer, Berlin.
- [9] Dürri S. B. (1992): Structural history of the Arosa Zone between Platta and Err Nappes east of Marmorera (Grisons): Multi-Phase deformation at the Penninic-Austroalpine Plate boundary. *Eclogae geol. Helv.* 85, 361-374.
- [10] Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos (2006): Bilanzierung und Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos. Eine Machbarkeitsstudie zum Klimaschutz. Schlussbericht zum KTI-Projekt Nr. 7984.1.
- [11] Eugster H. und Leupold W. (1930): Geologische Karte von Mittelbünden, 1: 25'000, Blatt D: Landwasser. Schweiz. Geol. Komm.
- [12] Flisch M. und Streckeisen A. (1986): Nutzung geothermischer Energie in Davos, Geologie und Tektonik.
- [13] Froitzheim N. and Nagel Th. (2007): Geology of Austroalpine and Penninic Nappes in the Davos area. 8th Workshop on Alpine Geological Studies Davos, Excursion Guide-Book, 1-9.
- [14] Furrer H., Eichenberger U., Froitzheim N. und Wurster D. (1992): Geologie, Stratigraphie und Fossilien der Ducankette und des Landwassergebiets (Silvretta-Decke, Ostalpin). *Eclogae geol. Helv.* 85, 245-256.
- [15] Wexsteen P. (1987): Landschaft Davos, Pilotprojekt geothermische Bohrung – Composition chimique et isotopique des eaux des forages Davos-Dorf (SB3) et Davos-Platz (SB1).
- [16] Kinzelbach W. und Rausch R. (1995): Grundwassermodellierung – Eine Einführung mit Übungen. Gebrüder Bornträger Berlin.
- [17] Landschaft Davos Gemeinde (2009): Protokolle von Erdwärmesondenbohrungen aus dem Jahre 2000 - 2009.
- [18] Landschaft Davos Gemeinde (2008): Erdwärmesondenkarte Davos. CSD AG, Bericht Nr. GR07125.
- [19] Landschaft Davos Gemeinde (1999): Schutzzonenausscheidung für die Tobelmühlequelle. Hydrogeologischer Bericht. Büro für Technische Geologie, Bericht Nr. 4627-1.
- [20] Manatschal G., Müntener O., Desmurs L. and Bernoulli D. (2003): An ancient ocean-continent transition in the Alps: the Totalp, Err-Platta, and Malenco units in the eastern Central Alps (Graubünden and northern Italy). *Eclogae geol. Helv.* 96, 131-146.
- [21] Nänny P. (1948): Zur Geologie der Prättigauschiefer zwischen Rhätikon und Plessur. Dissertation Universität Zürich.
- [22] Nagel Th. (2006): Structure of Austroalpine and Penninic units in the Tilisuna area (Eastern Rätikon, Austria): Implications for the paleogeographic position of the Allgäu and Lechtal nappes. *Eclogae geol. Helv.* 99, 223-235.
- [23] Pfiffner A. (2009): Geologie der Alpen. Haupt Verlag Bern, Stuttgart, Wien.

- [24] Schmid S., Pfiffner A. and Schreurs G. (1997): Rifting and collision in the Penninic Zone of eastern Switzerland. In: Pfiffner A., et al. (Hrsg.), Deep Structure of the Swiss Alps: Results of NRP 20, Birkhäuser Verlag Basel, 160-185.
- [25] Schwizer B. (2008): Unpublizierte geologische Originalkarte Blatt Davos. Archiv der Geologischen Landesaufnahme.
- [26] Streckeisen A. (1986): Überblick über die Geologie der Landschaft Davos. Bulletin der Vereinigung schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure, Vol. 53, Nr. 123.
- [27] Streckeisen A., Grauert B. und Peters T. (1966): Bericht über die Exkursion der SMPM ins Silvretta-Kristallin und in den Totalp-Serpentin. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 46, 704-722.
- [28] Thöni M. (1999): A review of geochronological data from the Eastern Alps. Min. Petr. Mitt. 79, 209-230.
- [29] Toth J. A. (1963): A theoretical analysis of groundwater flow in small drainages basins. J. Geophys. Research 68, 4795-4811.
- [30] Weh M. and Froitzheim N. (2001): Penninic cover nappes in the Prättigau half-window (Eastern Switzerland): Structures and tectonic evolution. Eclogae geol. Helv. 94, 237-252.
- [31] Winkler G., Kurz W., Hergarten St. und Kiechl E. (2010): Hydraulische Charakterisierung von Störungskernzonen in kristallinen Festgesteinen am Beispiel der Talhof-Störung (Ostalpen). Grundwasser 15, 59-68.

2. Geologische Verhältnisse

2.1 Tektonischer Überblick

Das Landwassertal befindet sich geologisch im Ostalpin (Anhang 1). Penninische Decken im Liegenden sind nordwestlich vom Landwassertal im Schanfigg und Prättigau aufgeschlossen [21], [30]. Da die ostalpinen Decken den ehemaligen adriatischen Kontinentalrand darstellen, ist der Kontakt zum Penninikum als ehemalige Plattengrenze zu verstehen [20], [23].

Die Internstruktur der Decken in diesem Grenzbereich ist geprägt durch jurassische Dehnungstektonik, die Lage in einem Akkretionskeil einer Subduktionszone in der Kreide sowie die alpine Überschiebungstektonik im Känozoikum [14], [23], [24]. Aufgrund dieser Abschiebungen (Extension) und Überschiebungen (Kompression) lagern im Raum Davos die in Tabelle 1 aufgeführten und in Anhang 2 dargestellten tektonischen Einheiten übereinander.

Tabelle 1: Gliederung der tektonischen Einheiten im Landwassertal.

Tektonische Einheit	nach [5], [22], [25]	Gesteine
Ostalpin	Silvretta-Decke, z.T. Sedimentbedeckung	Ortho- und Paragneise, Glimmerschiefer Vulkanoklastika, Dolomite, Sandsteine, Breckzien
	Aroser Dolomiten-Decke	Dolomite, z.T. Kalke, Tonschiefer
	Rothorn-Schuppe und Schaflägerzug	Ortho- und Paragneise, Amphibolite Kalkschiefer, Kalke, Sandsteine, Dolomite
	Dorfberg-Decke	Gneise, Glimmerschiefer, Gabbros, Hornblendite
Penninikum	Aroser-Zone	Serpentine, Dolomite, Verrucano, Buntsandstein, Kalke, Schiefer, Radiolarite

Die Überschiebungsbahnen und deckeninternen Störungszonen zeigen oft eine ausgeprägte Deformation. Bei der nachfolgenden tektonischen Hebung entwickelten sich in praktisch allen tektonischen Einheiten steilstehende Kluftsysteme. Diese sind N-S, E-W und NE-SW (20-50° E, $\pm$ parallel zur Engadiner Linie) orientiert [5], [6], [7], [11], [12], [13], [22], [25].

2.2 Geologische Verhältnisse im Raum Davos

2.2.1 Silvretta-Decke

Von Davos Platz bis hinunter in den Bereich Islen besteht die Silvretta-Decke aus Gneisen und kataklastischen Schiefern [12], [26]. N-S-streichende, steilstehende Störungen und Klüfte sind im gesamten Silvretta-Kristallin anzutreffen. Ein weiteres steilstehendes Störungssystem verläuft in Richtung NE-SW.

2.2.2 Aroser Dolomiten-Decke

Die Aroser Dolomiten-Decke wird hauptsächlich durch Hauptdolomit aufgebaut. Darüber folgen geringmächtige Kalke und Tonschiefer. Im Bereich des Seehorns keilt die Decke aus, und gegen SW erfolgt eine rasche Mächtigkeitszunahme (Anhang 1). Die Mächtigkeit der Aroser Dolomiten-Decke unter dem Stadtgebiet ist nicht bekannt.

Die Dolomite weisen gemäss [12] eine ausgeprägte Klüftung auf (Anhang 8). Auf der geologischen Karte von Davos ist im Bereich Strelapass - Schiatobel eine E-W-streichende, steilstehende Bruchzone eingezeichnet [7], [25].

2.2.3 Rothorn-Schuppe und Schaflägerzug

Die Rothorn-Schuppe wird als eingewickelteres Silvretta-Kristallin interpretiert [12]. Sie besteht aus Ortho- und Paragneisen sowie Amphiboliten. Die Mächtigkeit der Schuppe ist mit weniger als 100 m äusserst gering. Das Kristallin ist gemäss [12] stark geklüftet.

Der Schaflägerzug besteht aus Kalkschiefern, Kalken, Sandsteinen und Dolomiten. Er repräsentiert linsenartige Einschaltungen von selten mehr als 20 m Mächtigkeit und einer Ausdehnung von maximal einigen hundert Metern.

2.2.4 Davoser Dorfberg-Decke

Die Davoser Dorfberg-Decke besteht aus Gneisen und Glimmerschiefern sowie aus Gabbros, Hornblenditen und Pegmatiten. Die Dorfberg-Decke weist zwischen dem Weissfluhjoch und dem Davosersee eine starke Mächtigkeitszunahme auf.

In der Dorfberg-Decke dürfte die Spröddeforimation vor allem im Gabbro und in den Pegmatiten ausgeprägte Kluftsysteme gebildet haben [12]. Zudem wurden in diesen Gesteinen in Aufschlüssen jüngere E-W-streichende Bruchzonen beobachtet.

2.2.5 Aroser-Zone

Die Aroser-Zone besteht aus Serpentin, Dolomit, Verrucano, Buntsandstein, Kristallin, Kalkschiefer, Rauhwacken, Gips und einem tektonischen Mélange aus Kalken, Schiefern, Radiolariten und Serpentin [27]. Die Zone weist einen komplizierten Schuppenbau mit kleinräumiger lateraler Ausdehnung der einzelnen Schichtglieder auf [9]. Eine offene Klüftung kann im Serpentin und im Dolomit erwartet werden.

Im Gebiet Totalp – Parsenn dürfte die Mächtigkeit der Aroser-Zone ca. 750-850 m betragen. Gemäss [7] erreichen die Serpentine der Aroser-Zone in demjenigen Bereich ihre grösste Mächtigkeit, in welchem die Mächtigkeit der Davoser Dorfberg-Decke stark abnimmt. Im Raum Davos ist unter der Dorfberg-Decke deshalb nicht mit mächtigen Serpentinvorkommen zu rechnen. Eine Mächtigkeitsabschätzung der Aroser-Zone im Raum Davos ist jedoch schwierig.

2.3 Alpine Metamorphose

Die Gesteinsmetamorphose äussert sich durch Veränderung im Gefüge und Mineralbestand der bereits vorhandenen Festgesteine. Der Grad der Metamorphose erklärt sich im Zusammenhang mit der tektonischen Entwicklung der Region.

Aufgrund der Überschiebung des Ostalpins auf den penninischen Sedimentationsraum erfuhren der Prättigau-Flysch und die Bündnerschiefer in der eo-alpinen Phase (Oberkreide) eine erste Metamorphose. Die enorme Auflast führte zum Temperaturanstieg und bewirkte während der eigentlichen alpinen Phase (Oligozän, Miozän) eine Metamorphose der untersten Grünschieferfazies. Die Gesteine des Ostalpins hingegen erfuhren nur eine sehr schwache metamorphe Überprägung (Anchifazies) [28]. Die Rekristallisation im anchimetamorphen Bereich, und damit die Verringerung der Gesteinsporosität, ist deutlich geringer als in den anderen Metamorphosebereichen.

Auf die alpine Metamorphose erfolgte die generelle Heraushebung und Abkühlung des Orogens mit z.T. ausgeprägter Spröddeformation.

3. Seismischen Untersuchungen

Zur Identifikation der tektonischen und strukturellen Verhältnisse im Untergrund von Davos wurden im Forschungs- und Entwicklungsantrag zwei seismische Profile vorgeschlagen – ein Längsprofil in der Talachse (2.5 km) und ein Tal-Querprofil im Bereich des Kurparks (1.0 km).

Bei der Detailplanung der Untersuchungen zeigte sich, dass bei Ausführung eines Längsprofils die Gefahr besteht, primär Reflexionen von den Talflanken anstatt von den tieferen Strukturen zu erfassen. Aus diesem Grunde wurde eine Anpassung des Messdispositivs, bestehend aus zwei verlängerten Tal-Querprofilen, vorgenommen. Der Situation der Profilsuren sind in den Anhängen 3 (Profil Kurpark) und 4 (Profil Guggerbach) dargestellt.

3.1 Ziel der Untersuchungen

Ziele der seismischen Untersuchungen waren:

- a) Kartierung der Tiefenlage und Topographie der Felsoberkante unter der quartären Talfüllung zur Verifizierung des Standortes für den Bohransatzpunkt;
- b) Informationen über die Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten im Felsuntergrund als Hinweis über die Existenz und Ausdehnung von Zonen mit möglicherweise erhöhter Wasserwegsamkeit;
- c) Aufzeigen von tektonischen Bruch- und Störungszonen.

3.2 Permitting, Feldarbeiten und Datenbearbeitung

Das Permitting, d.h. die Information der Behörden, die Information und Befragung der Anlieger, das Einholen von Genehmigungen und Überfahrrechte sowie die Information der Öffentlichkeit erfolgte im April und Anfang Mai 2010 durch die Gemeinde Davos.

Die seismischen Messungen wurden am 10./11.05. und 18./19.05.10 ausgeführt. Die ausgeführten Arbeiten, die äusseren Messbedingungen sowie die lokalen Besonderheiten zu den Messungen können dem Zwischenbericht G0939.1 vom 30.06.10 entnommen werden. Die technischen Details zur Messausrüstung und Datenregistrierung sowie der reflexionsseismischen Datenverarbeitung können dem Bericht der GeoExpert AG (Anhang 9) entnommen werden.

3.3 Ergebnisse der seismischen Untersuchungen

Die vom Geophysiker interpretierten Tiefenprofile der beiden seismischen Linien (jeweils zwei Interpretationsvarianten) sind im Bericht der GeoExpert AG (Anhang 9) enthalten. Es ist zu beachten, dass Reflektoren lediglich Schallhärtekontraste darstellen und demzufolge nur Änderungen der felsmechanisch-physikalischen Gesteinsparameter aufzeigen. Lithologische und tektonische Grenzflächen sind nur dann seismisch identifizierbar, wenn sie sich als solche durch gesteinsmechanische Änderungen zu erkennen geben. Unterschiedliche mechanische Gesteinsbeschaffenheiten innerhalb einer lithologisch homogenen Schicht können fälschlicherweise als Formationsgrenze interpretiert werden.

Profil 10DAVO-1 (Profil Kurpark) und Profil 10DAVO-2 (Profil Guggerbach)

Das Profil Kurpark erfasst den Untergrund von Davos bis auf 800 m ü. M. (Anhang 5), das Profil Guggerbach bis auf 900 m ü. M. (Anhang 6). Die Tiefenlage und Topographie der Felsoberkante unter der quartären Talfüllung ist in beiden Profilen durch deutliche Reflektoren erkennbar und durch einige Bohrungen auch belegt [3], [4], [17], [18].

Die Seismogramme dokumentieren Bereiche mit ausgeprägter und Bereiche mit geringer Reflektivität, welche z.T. durch subvertikale, scharfe Linien begrenzt werden können. Die Bereiche mit ausgeprägter Reflektivität werden als kompakte Felspakete und die Bereiche mit geringer Reflektivität als Auflockerungszonen interpretiert. Die subvertikalen, scharfen Linien repräsentieren Brüche oder Bruchzonen.

Bei beiden Profilen weisen die Reflektoren bereichsweise unterschiedliche Raumlagen auf. Diese Verkipnungen werden im Zusammenhang mit Extension (Abschiebungen) interpretiert und erhärten die Modellvorstellung über die geologische Entwicklung dieses Raumes. Insgesamt dokumentieren die Seismogramme eine starke mechanische Beanspruchung der Gesteine. Lithologische Grenzflächen können nicht eindeutig zugeordnet werden.

4. Hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse

4.1 Grossräumige Grundwasserfliessverhältnisse im Festgestein

In Abhängigkeit der Topographie ergeben sich bei einem Gebirgsquerschnitt Bereiche mit Infiltration und Bereiche mit Exfiltration. Infiltration findet vornehmlich auf Kulminationen und an Talflanken, Exfiltration vornehmlich in Depressionen statt (Vorflutverhältnisse: Fliessgewässer, Lockergesteine der Talfüllungen). Die Topographie beeinflusst somit das Potential- und Fliessfeld des Grundwassers im tieferen Untergrund. Unterschiede in der hydraulischen Durchlässigkeit (k_f -Wert) bei den verschiedenen lithologischen bzw. tektonischen Einheiten verändern das Potential- und Fliessfeld des Grundwassers zusätzlich. Die massgebliche Wasserbewegung im Festgestein wird jedoch von Bruch- und Störungszonen beeinflusst, welche als Wasserleiter, Barrieren oder einer Kombination von beiden auftreten können [31].

In Anlehnung an [29] und [16] können die grossräumigen Grundwasserfliessverhältnisse im Festgestein in einem vertikal-ebenen Grundwassermodell berechnet und dargestellt werden. Für den Gebirgsquerschnitt gemäss Profil A wurden für nachfolgende Fälle mit der Software PMWIN [8] stationäre Simulationen durchgeführt (Anhang 7):

- a) Homogene Verhältnisse mit k_f -Wert im gesamten Gebirgsquerschnitt von $1\text{E-}8\text{ m/s}$, vertikale Durchlässigkeit < horizontale Durchlässigkeit mit Anisotropiefaktor k_{tz}/k_{tx} von 0.5;
- b) Heterogene Verhältnisse mit k_f -Werten in Abhängigkeit der tektonischen Einheiten zwischen $1\text{E-}7$ und $1\text{E-}9\text{ m/s}$ (jeweils homogen innerhalb einer tektonischen Einheit), vertikale Durchlässigkeit < horizontale Durchlässigkeit mit Anisotropiefaktor k_{tz}/k_{tx} von 0.5.

Bruch- und Störungszonen mit möglicherweise erhöhter Wasserwegsamkeit wurden dabei nicht berücksichtigt, da lokal keine Daten zur hydraulischen Durchlässigkeit vorliegen. Aus der Literatur sind hydraulische Durchlässigkeiten von Störungszonen, je nach angewendeter Untersuchungsmethode (Packer Test, Triaxialversuche), der Orientierung der Gesteinsproben und des Tongehalts der Gesteine, im Bereich von $1\text{E-}7$ bis $1\text{E-}10$ bekannt [31]. Die Zulässigkeit einer Extrapolation von entsprechenden Werten (Punktdaten) über mehrere Kilometer oder Dekakilometer ist jedoch fragwürdig.

Modellaufbau und Randbedingungen

Das Differenzen-Netz ist in x-Richtung in 132 Zellen und in z-Richtung in 100 Zellen diskretisiert. Die Zellabmessungen betragen in x-Richtung konstant 100 m und in z-Richtung konstant 30 m. Die Berechnung erfolgt hinsichtlich der dritten Raumdimension für gespannte Verhältnisse, indem der Gebirgsquerschnitt mit 1 m Dicke betrachtet wird. Die k_f -Werte entsprechen den genannten Werten und repräsentieren geschätzte Grössen.

Die Randbedingungen wurden wie folgt festgelegt: Die SE- und NW-Seiten stellen zusammen mit der Basis eine Randstromlinie dar und werden als undurchlässigen Rand simuliert. Sowohl die Vorfluter (Fliessgewässer, Aquifer im Landwassertal) als auch die Grundwasserneubildung an den Bergflanken und auf Kulminationen werden als Zellen mit vorgeschriebenem hydraulischem Potential nachgebildet.

Resultate

Die Simulationen in Anhang 7 dokumentieren die prinzipielle Vorstellung der hydraulischen Verhältnisse im Festgestein. Hinsichtlich der Komplexität der natürlichen Verhältnisse entsprechen diese Simulationen starken Vereinfachungen. Abgesehen von der Unsicherheit bezüglich Lage, Mächtigkeit, Ausdehnung und Durchlässigkeit der einzelnen tektonischen Einheiten bleibt in diesem Modell insbesondere die dritte Raumdimension und die Variabilität zeitabhängiger Parameter wie z.B. diejenige der Grundwasserneubildung unberücksichtigt. Dennoch wird deutlich, dass z.B. im Raum Davos aufströmendes Grundwasser aus dem tieferen Untergrund mit einem erhöhten geothermischen Gradient in Richtung SE erwartet werden darf. Über die im Gebirgsquerschnitt zirkulierende Wassermenge kann aufgrund der gewählten Randbedingung für die Grundwasserneubildung (Festpotential) und der Vernachlässigung subvertikaler Bruch- und Störungszonen mit möglicherweise erhöhter Wasserwegsamkeit jedoch keine Aussage gemacht werden. Hierzu wären weitergehende Modellierungen basierend auf einer erweiterten und gesicherten Datenlage erforderlich.

4.2 Bohrungen und Quellen im Aroser Dolomit

Die Aroser Dolomiten-Decke wurde auf Stadtgebiet in einigen Bohrungen angefahren. Die Bohrtiefen reichen jeweils bis einige Dekameter in den Dolomit hinein. Dabei hat sich gezeigt, dass der Dolomit infolge Überdeckung mit Moräne in der Talmulde und Überlagerung durch das Kristallin der Silvretta-Decke im SE artesisch gespanntes Grundwasser führt. In Tabelle 2 sind die uns bekannten Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser aufgeführt:

Tabelle 2: Bohrungen auf Stadtgebiet mit artesisch gespanntem Grundwasser.

Bohrung	Sondierbohrung 28A	Anlage 210'459	EWS-Anlage 213'982	EWS-Anlage 215'812
Standort	Kurpark	Sportweg 4	Promenade 84	Mattastrasse 17
Koordinaten	782'640/185'922	782'100/185'750	782'370/186'085	782'374/185'326
Abstand zu Profil ⁶	45 m	360 m	55 m	65 m
Felstiefe UKT	103 m	23 m	12 m	40 m
Endtiefe UKT	130 m	70 m	60 m	138 m
Freier Auslauf	40 l/min	270 l/min ¹	190 l/min	70 l/min
Wassertemp.	12 °C ²	17 °C ³	7 °C ⁴	9 °C ⁵
Wasserdruck	0.8 bar	0.7 bis 1.2 bar	keine Angabe	keine Angabe

¹ Information ANU, gemäss Auskunft Eigentümer konstant 700 l/min; ² Messung vom 10.06.86 in 15 m Tiefe; ³ gemäss Auskunft Eigentümer Temperatur konstant, Wert konnte vom ANU nicht bestätigt werden; ⁴ sporadische Messungen im Winter 07/08; ⁵ Messung vom 01.10.09; ⁶ Abstand zu seismischer Linie/Profil (28A und 213'982 zu Profil Kurpark, 210'459 und 215'812 zu Profil Guggerbach).

Sondierbohrung 28A, Kurpark

Die Bohrung 28A reicht bis 130.5 m UKT. Der Fels wurde in 102 m UKT erreicht. Bis in diese Tiefe wurde sie auch ausgebaut mit einer Filterstrecke im Lockergestein von 3 bis 60 m UKT [3]. Im Dezember 1985 und im August 1986 wurden chemische Untersuchungen und Isotopenuntersuchungen durchgeführt. Die Probeentnahmen erfolgten jeweils unterhalb der Filterstrecke im Lockergestein.

Die Analysen dokumentieren gemäss [15], dass es sich dabei um ein gipsführendes Mineralwasser aus Triasgesteinen handelt ($\text{Ca} - \text{Mg} > \text{Na}, \text{SO}_4$). Das Wasseralter wird mit mindestens 32 Jahren angegeben (^{18}O , ^2H). Zudem wurden ^3H -Gehalte gemessen. Diese Resultate dokumentieren, dass das beprobte Wasser aus Anteilen eines stark mineralisierten, aus grösserer Tiefe stammenden, und Anteilen eines weniger stark mineralisierten, eher oberflächennahen Grundwassers stammt. Das Anreicherungsgebiet wird mit 3'000 m ü. M. angegeben [15].

In einer Tiefe von 120 m wurde zudem ausströmendes Gas mit hohem N_2 -Gehalt, reichlich CO_2 und Spuren von CH_4 und H_2S festgestellt [6]. Ähnliche Gase sind aus alpinen Gasvorkommen aus der Trias bekannt.

Tobelmühlequelle

Die Tobelmühlequelle befindet sich an der Talflanke unterhalb der Hohen Promenade in Davos Platz auf 1650 m ü. M. ([1], Koordinaten 781'800/185'780). Gemäss [19] handelt es sich dabei um eine Felsquelle, welche aus dem Dolomit entspringt. Das Grundwasser fliesst aus Klüften und Brüchen, welche an eine Störungszone gebunden sind.

Der Fels ist im Fassungsbereich tektonisch stark beansprucht. Es treten offene Klüfte und Brüche sowie Störzonen auf, an welchen der Fels im Dezimeterbereich mechanisch zu Dolomitsand, sogenanntem Kakirit zerrieben ist. Die Klüfte und Brüche, in welchen das Grundwasser bevorzugt fliesst, sind vorwiegend NW-SE orientiert und fallen steil gegen NE ein. Die Schichtflächen des Dolomits fallen steil gegen S ein.

Der Grundwasserspeicher, aus welchem die Quelle gespeist wird, liegt im Dolomit, welcher zwischen dem Guggerbach und dem Schiatobel bis zum Strelapass hinauf zieht. Die Schüttung der Quelle schwankt sehr stark, indem sie während der Schneeschmelze bis nahezu 4'000 l/min erreicht und bei sehr trockenen Verhältnissen im Herbst und Winter auf 440 l/min absinken kann. Die Wassertemperatur schwankt im Jahresverlauf zwischen 4 und 6 °C. Die chemischen Wasseranalysen dokumentieren ein $\text{Ca} - \text{Mg}$, HCO_3 -Wasser mit einer kurzen Verweildauer im Fels.

5. Folgerungen

Die aufgezeigten geologisch-tektonischen und hydrogeologischen Verhältnisse sowie die Resultate der seismischen Untersuchungen lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der Felsuntergrund von Davos kann als geothermisches Reservoir mit zirkulierendem Grundwasser bezeichnet werden. Begründung:
 - Als Aquifer kommt vor allem die Aroser Dolomiten-Decke in Frage. Aufgrund der Interpretation der geologischen und tektonischen Karten hat sie im Raum Davos zwar eine räumlich beschränkte Ausdehnung, ihre Mächtigkeit im Untergrund des Siedlungsgebietes dürfte jedoch einige hundert Meter betragen.
 - Die während der alpinen Gebirgsbildung spröde deformierten Gesteine des Ostalpins erlebten nur eine sehr schwache Metamorphose (Anchifazies). Eine Rekristallisation in den Bruch- und Störungszonen mit Verminderung der entstandenen Porosität kann praktisch ausgeschlossen werden.
 - Die seismischen Untersuchungen dokumentieren vertikale bis leicht geneigte Brüche und Auflockerungszonen bis in eine Tiefe von rund 800 m ü. M. (Bereich Seismogramm). Lithologische Grenzflächen können jedoch nicht eindeutig zugeordnet werden.
- In der Aroser Dolomiten-Decke kann aufströmendes Grundwasser aus dem tieferen Untergrund mit einem erhöhten thermischen Gradienten erwartet werden. Begründung:
 - Die hydraulische Modellierung dokumentiert prinzipiell das Potential- und Fließfeld im Gebirgsquerschnitt mit aufströmendem Grundwasser im Bereich des Landwassertales.
 - Die Gesteine des Ostalpins im Raum Davos weisen einen geringen Anteil an Tonmineralien auf. Die hydraulische Durchlässigkeit von Störungszonen (Überschiebungen, Abschiebungen) dürfte deshalb minimal $1E-7$ bis $1E-8$ m/s betragen, die vertikalen bis leicht geneigten Brüche dürften eine weit grössere Durchlässigkeit aufweisen.
 - Bohrungen bis einige Dekameter in den Aroser Dolomit hinein dokumentieren artesisch gespanntes Grundwasser mit z.T. erhöhten Temperaturen (bis 17 °C , Daten nicht bestätigt) und Schüttungen von bis zu einigen hundert Litern pro Minute.
 - Die Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser befinden sich (unter Berücksichtigung von Projektionsdistanz und -richtung) gemäss den Resultaten der seismischen Untersuchungen in Bereichen mit geringer Reflektivität (Auflockerungszonen) oder in Bruchzonen.
 - Mineralisation, Alter und Isotopengehalt des beprobten Wassers weisen auf die Herkunft eines Teils des Wassers aus grösserer Tiefe hin.

Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass die geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung des tieferen Untergrundes (Davoser Dolomiten-Decke) insgesamt als aussichtsreich beurteilt werden können.

Gemäss dem Forschungs- und Entwicklungsantrag war in der 2. Projektphase eine 600 bis 700 m tiefe Bohrung vorgesehen. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse erachten wir es als sinnvoll, diese Erkundungsbohrung auf rund 400 m Tiefe mit anschliessendem Monitoring auszulegen. Die Erkundungsbohrung kann bei positiven Ergebnissen zu einer Produktionsbohrung ausgebaut werden.

Eine Bohrung bis in eine solche Tiefe könnte ohne grosse Installationen und umfangreiche Bewilligungsverfahren abgeteuft werden. Die Vorteile eines solchen Vorgehens sind:

- Mit einer Erkundungsbohrung bis in 400 m Tiefe können die in der 1. Projektphase gewonnenen Erkenntnisse weiter vertieft, die konzeptionellen Modellvorstellungen auf eine sicherere Basis gestellt und die bisherigen Beobachtungen aus den in Tabelle 2 (Seite 12) aufgeführten Bohrungen verifiziert werden.
- Sofern sich das geologische Modell bestätigt, kann mit einer Erkundungsbohrung bis in 400 m Tiefe aufströmendes Grundwasser aus weit grösserer Tiefe erschlossen werden.
- Basierend auf den Ergebnissen der Erkundungsbohrung, den Resultaten der Bohrlochversuche und Untersuchungen sowie Modellierungen können das geothermische Potential quantifiziert und die Randbedingungen einer allfälligen Nutzung (Realisierung/Produktion) festgelegt werden (z.B. Rückgabe des genutzten Wassers).
- Das finanzielle Risiko eines Misserfolges lässt sich mit dieser Projektanpassung (gegenüber dem ursprünglichen Forschungs- und Entwicklungsantrag) massiv reduzieren, kostet doch eine 700 bis 1'000 m tiefe Bohrung ein Mehrfaches einer 400 m tiefen Bohrung. Für eine Erkundungsbohrung bis in 400 m Tiefe mit begleitendem Monitoring ist mit Kosten von rund CHF 0.5 Mio. zu rechnen.

Den vorgenannten Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Eine Erkundungsbohrung bis in 400 m Tiefe kann mit einem gängigen Bohrgerät nur vertikal ausgeführt werden. Dadurch vermindert sich die Wahrscheinlichkeit, subvertikale Bruch- und Auflockerungszonen mit erhöhter Wasserzirkulation zu durchfahren und den eher in Richtung SE zu erwartenden erhöhten geothermischen Gradienten zu verifizieren.
- Die geologischen Verhältnisse unterhalb 400 m Tiefe bleiben weiterhin unbekannt.

6. Vorschlag weiteres Vorgehen

Wie oben dargelegt, werden auf der Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse für das Siedlungsgebiet von Davos die geologischen und die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine potentielle geothermische Nutzung des Tiefengrundwassers als insgesamt aussichtsreich eingestuft. Da noch ungenügende Kenntnisse über den geothermischen Gradienten, die hydrochemische Beschaffenheit des aufsteigenden Tiefengrundwassers, die hydraulischen Durchlässigkeitsverhältnisse und das Grundwasserdargebot vorliegen, erachten wir die Durchführung einer Tiefbohrung in einer nächsten Projektphase als verfrüht. Insbesondere lassen sich heute noch keine hinreichend genauen Aussagen über die zweckmässige Bohrtiefe, das nutzbare Wärmepotential (Wassertemperatur, Fördermenge) und die Architektur der Anlage (Entnahme und Rückgabe) machen.

Abschliessend zur 1. Projektphase sind die Resultate und Folgerungen durch das BFE zu prüfen. Sofern das BFE das Projekt weiterhin als unterstützungswürdig beurteilt, schlagen wir vor, in der 2. Projektphase mittels der oben beschriebenen Erkundungsbohrung von etwa 400 m Tiefe den vorliegenden Kenntnisstand zu vertiefen und das noch grobe hydrogeologische Modell zu verfeinern.

Bei erfolgreichem Ergebnis der Erkundungsbohrung kann diese zu einer Produktionsbohrung ausgebaut oder eine Tiefbohrung projektiert werden. Mit diesem pragmatischen Vorgehen kann das Risiko eines Misserfolges einer Tiefbohrung erheblich reduziert werden.

Vorbehaltlich der Stellungnahme durch das BFE schlagen wir für die 2. Projektphase folgendes weitere Vorgehen vor:

Vorbereitungsarbeiten

- Verstärktes Projektlobbying, Sicherstellen der erforderlichen Ressourcen (insbesondere Finanzen, Risikogarantien) bzw. Beschaffung der finanziellen Mittel für 2. Projektphase;
- Zusammenstellen der Daten für die Überwachung der bestehenden Grundwassernutzung am Sportweg 4 und der Tobelmühlequelle (Schüttung, Wassertemperatur, el. Leitfähigkeit, Wasserdruck), evtl. Bestimmung Chemismus und Alter des Wassers bei der Nutzung am Sportweg 4
- Information interessierter Kreise aus Verwaltung und Politik.

Organisatorische und technisch-wissenschaftliche Arbeiten

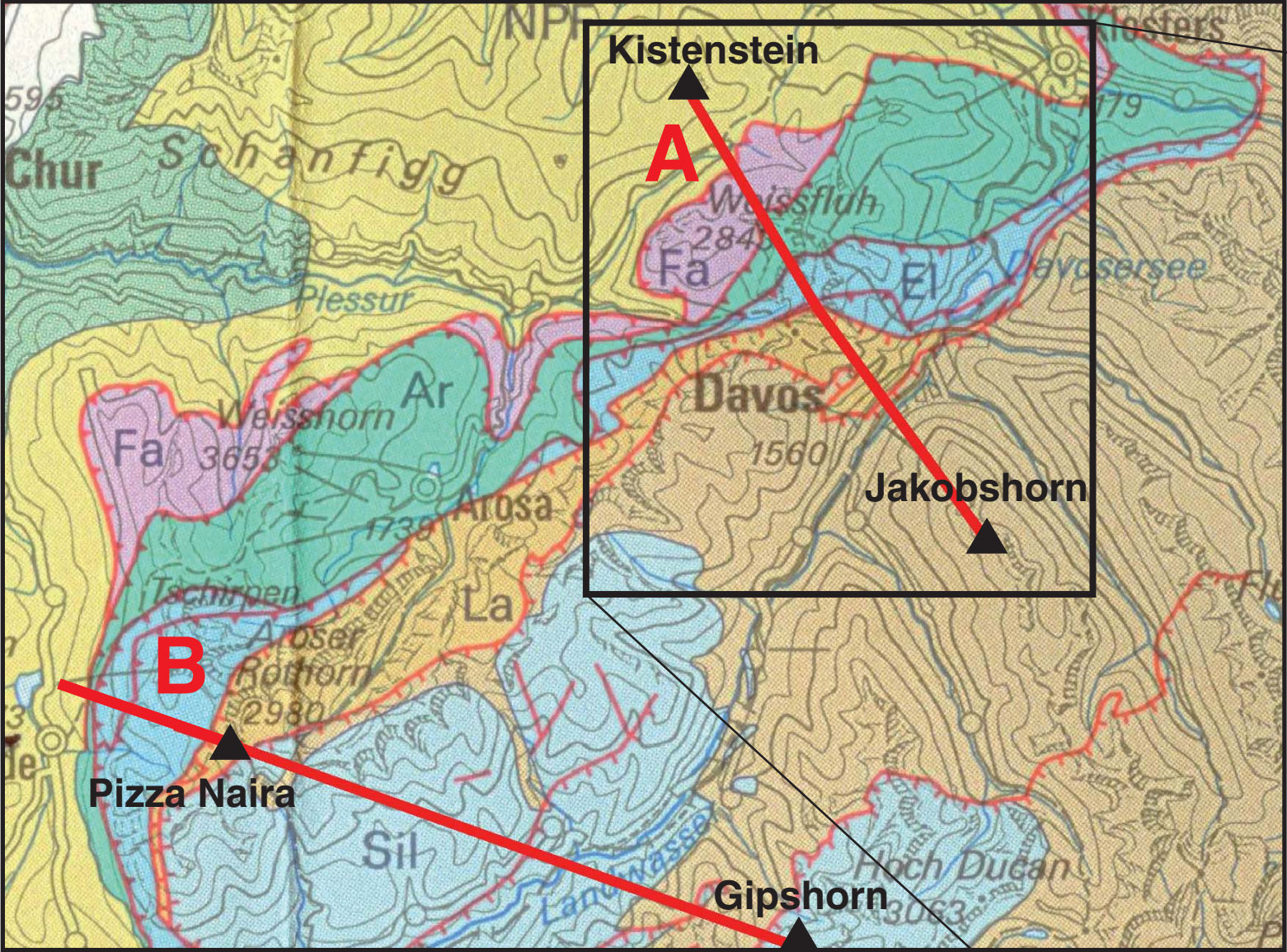
- Planung 2. Projektphase: Arbeitsprogramm und Arbeitsumfang (Vorbereitende Arbeiten, Erkundungsbohrung, Untersuchungsprogramm), Zeitplan für die Umsetzung;
- Erstellen Ausschreibungsunterlagen für Erkundungsbohrung, Ausschreibung und Auswertung der eingegangenen Offerten, Verfügungsabklärung der Bohrgeräte, Auftragsvergabe;
- Definition von Handlungskriterien (Bohrunterbruch, Abbruchkriterien, Massnahmenpaletten), Definition begleitendes Monitoringprogramm (Probeentnahmen, Analyseprogramm, Pumpversuche, Bohrlochgeophysik, Modellierungen, Überwachung Quellen/Nutzungen);
- Ausführung Erkundungsbohrung, Kontrolle der Arbeiten, mögliche Anpassungsszenarien;
- Ausführung der Bohrlochuntersuchungen (Bohrloch-Logging, Wasseranalysen, Isotopenuntersuchungen, Bohrlochversuche, Monitoring Quellen/Nutzungen), Risikomanagement;
- Synthese der Ergebnisse (Geologie, Hydraulik, Hydrochemie), Verifikation der regionalen und lokalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse (Störungszonen, Zirkulationsmodell tiefes Grundwasser, geothermischer Gradient, Reservoiranalyse, Modellierung/Berechnung geothermisches Potential);
- Übertragbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich geothermischer Nutzungsmöglichkeiten auf andere Standorte auf Stadtgebiet, Unsicherheitsbereiche;
- Information interessierter Kreise (Bohrbesichtigung, Presse).

Ausblick

In Abhängigkeit der gewonnenen Resultate der Erkundungsbohrung kann über deren allfällige Nutzungsmöglichkeiten (je nach Standort und Grundwasserdargebot allenfalls Ausbau als Entnahmebrunnen) entschieden werden.

GEOTEST AG

P. Kummerade *Ch. Regli*



Tektonische Karte der Schweiz 1:500'000

Tektonische Karte der Schweiz

Karte Schwizer 2008

SIL

Silvretta-Decke, Kristallin

SIL

Silvretta-Decke, Sedimente

LA

Languard-Decke

EL

Ela-Decke

SD,K

Silvretta-Decke, Paragneise

SD,S

Silvretta-Decke, Sedimente und Vulkanite

ADD

Aroser Dolomiten-Decke

DDD

Davoser Dorfberg-Decke

Ar

Aroser Zone

Fa

Falknis-Decke

NPF

Nordpenninische Flysch-Decken

Bü

Bündnerschiefer-Decken

AZ

Arosa-Zone

FD

Falknis-Decke

PF

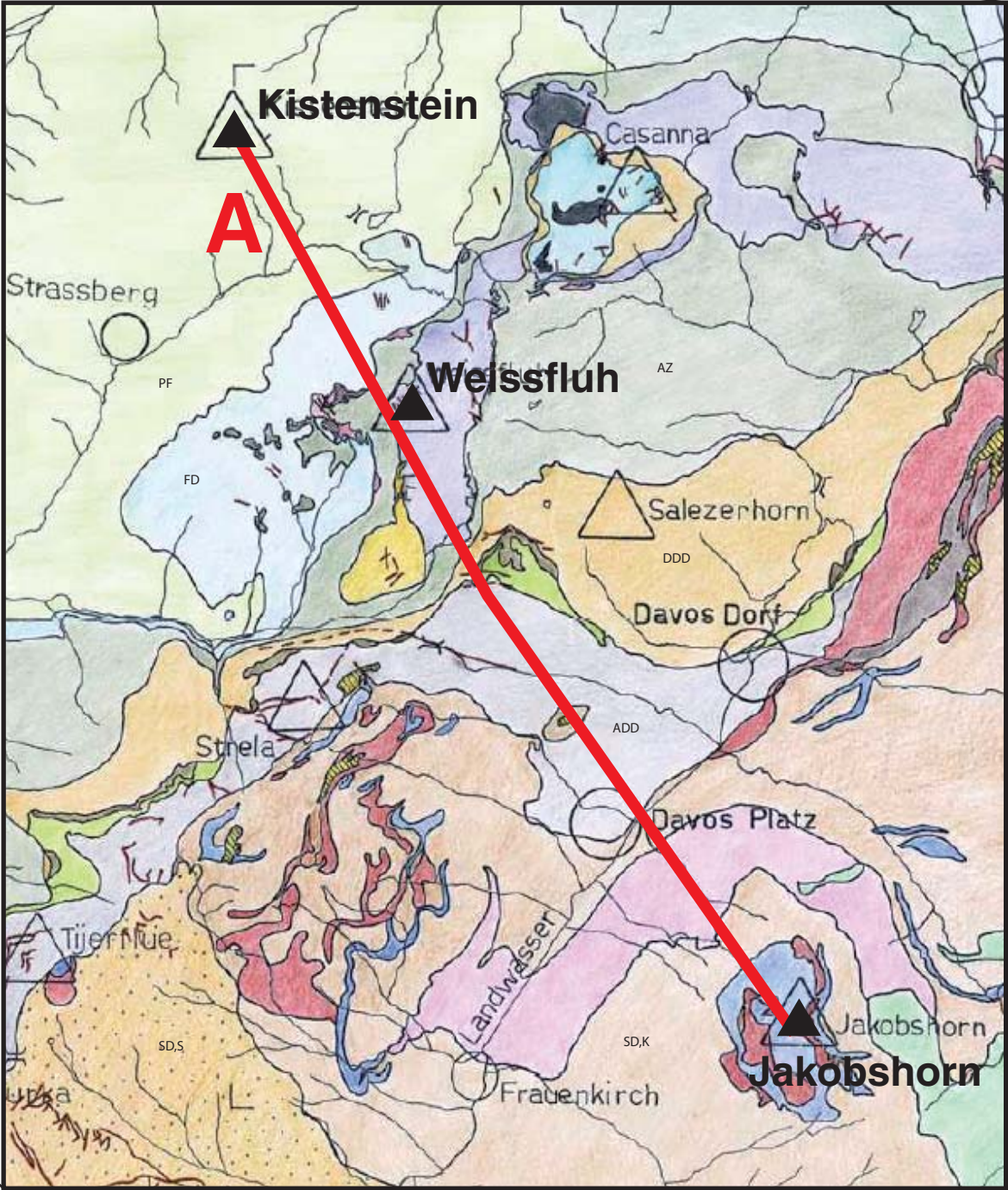
Prättigau-Flysch

Überschiebung

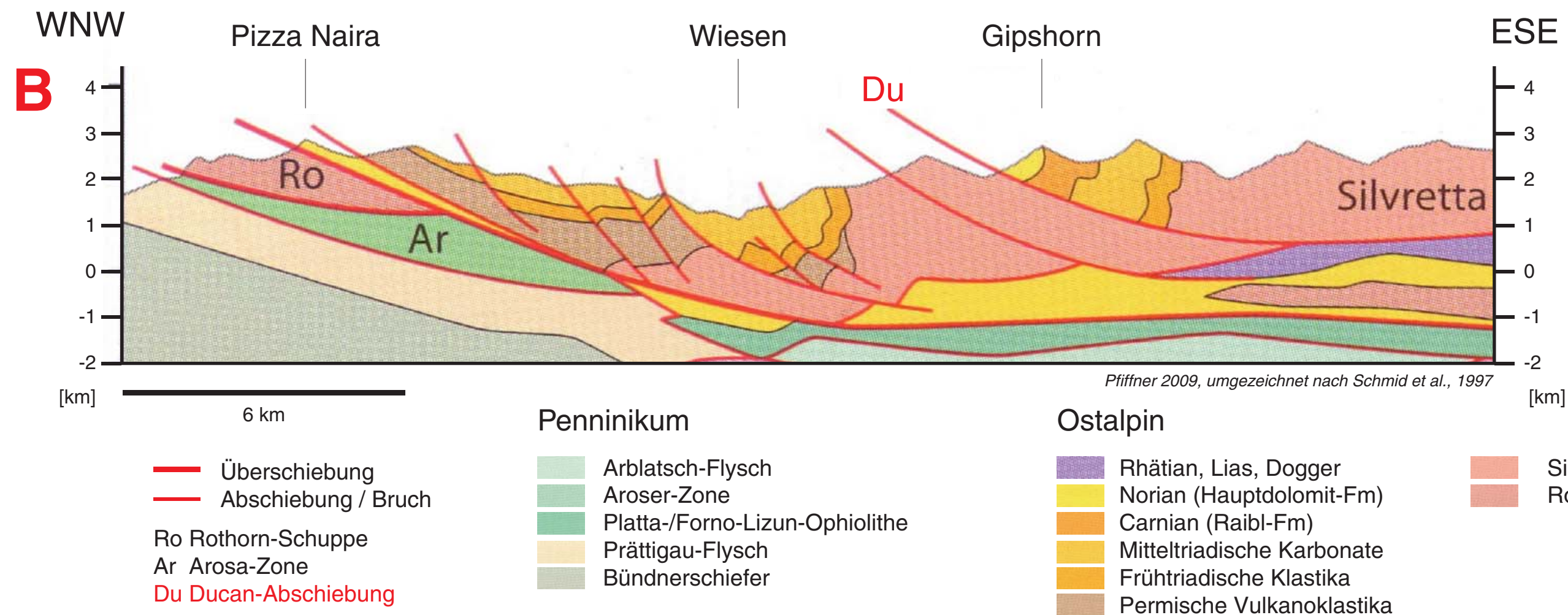
Abschiebung

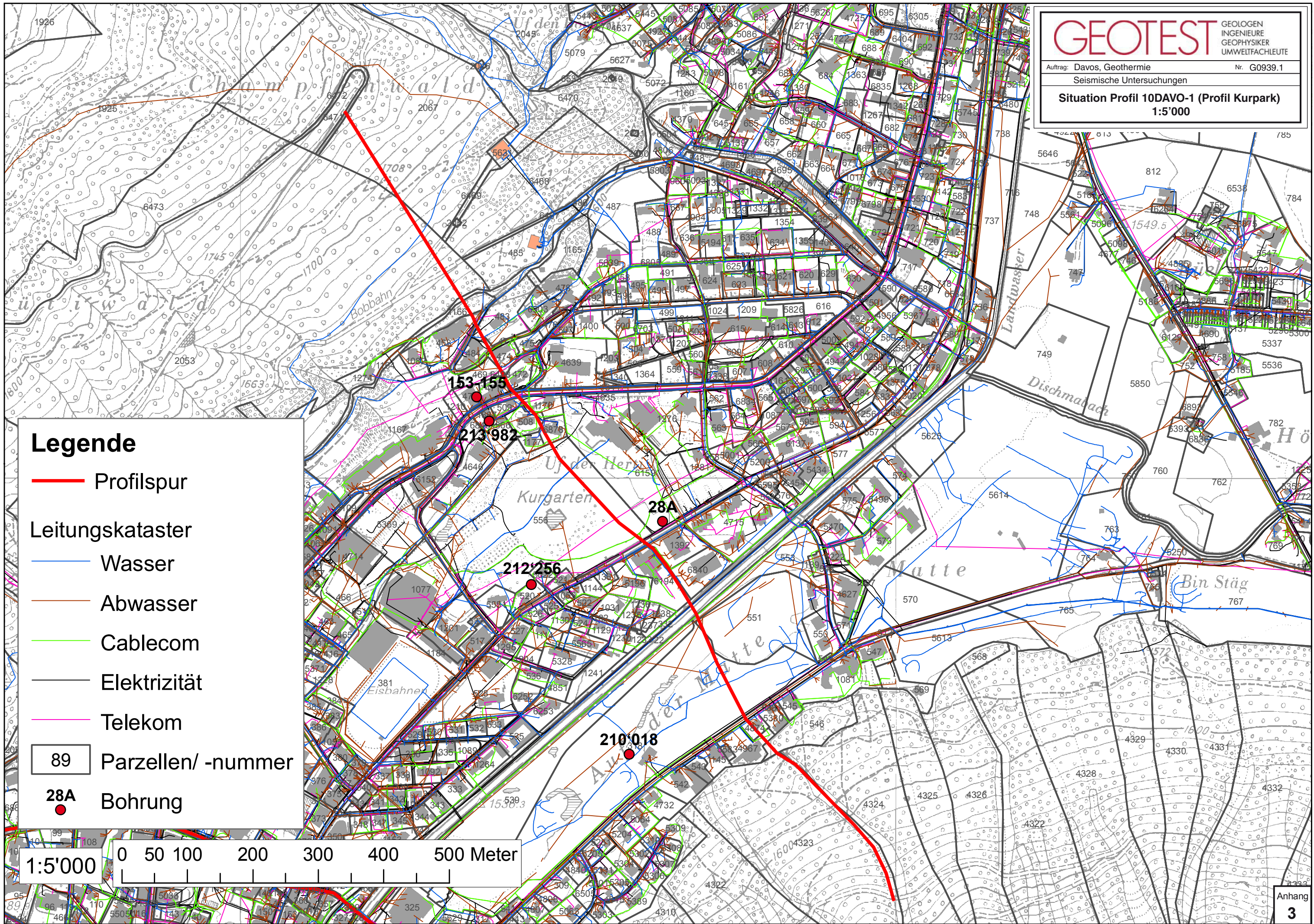
Bruch

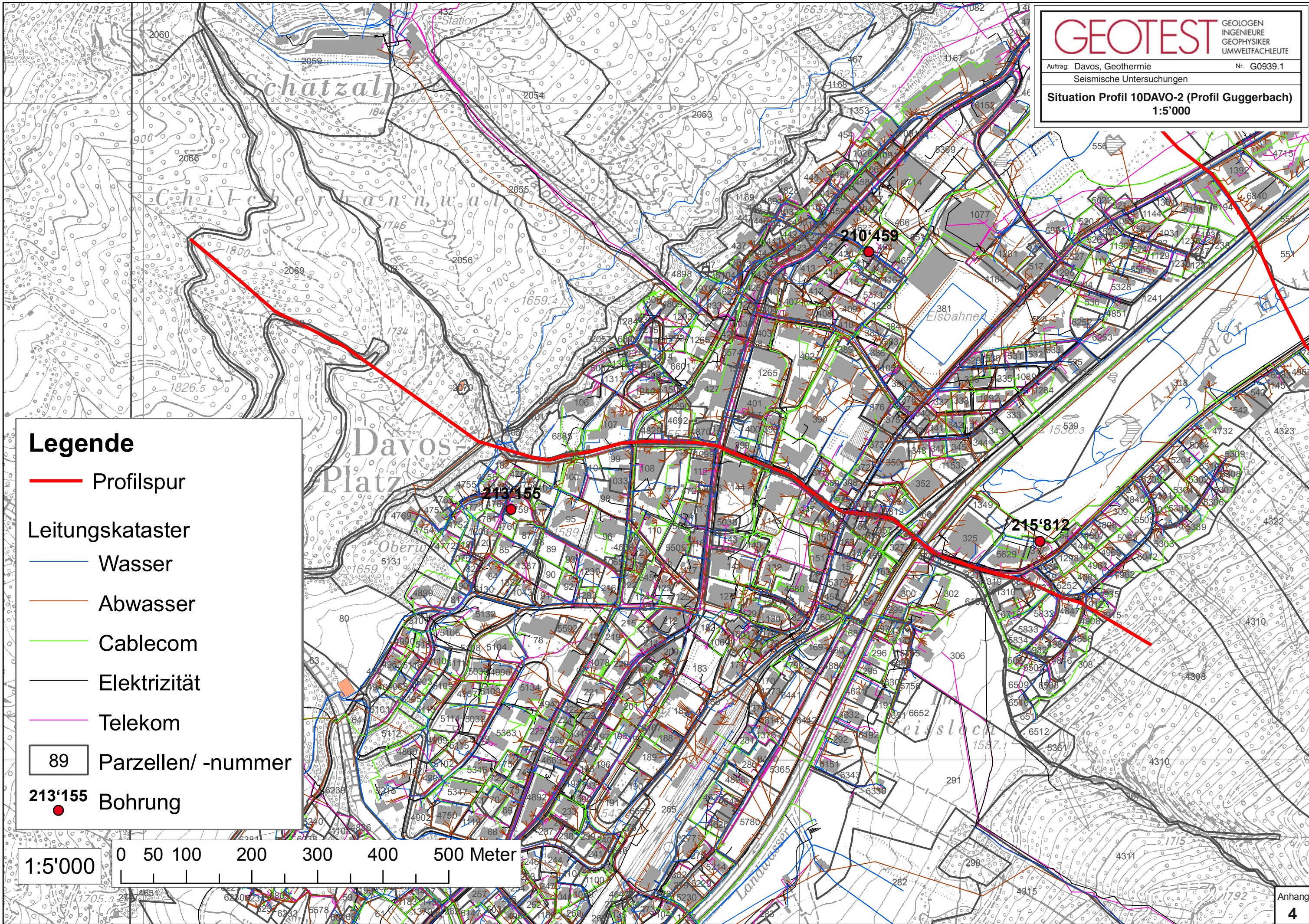
Profilsur



Geologische Karte Blatt Davos, Schwizer 2008, unpubliziert







GEOTEST

GEOLOGEN
INGENIEURE
GEOPHYSIKER
UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Davos, Geothermie

Nr. G0939.1

Seismische Untersuchungen

Situation Profil 10DAVO-2 (Profil Guggerbach)
1:5'000

Legende

— Profilsur

Leitungskataster

— Wasser

— Abwasser

— Cablecom

— Elektrizität

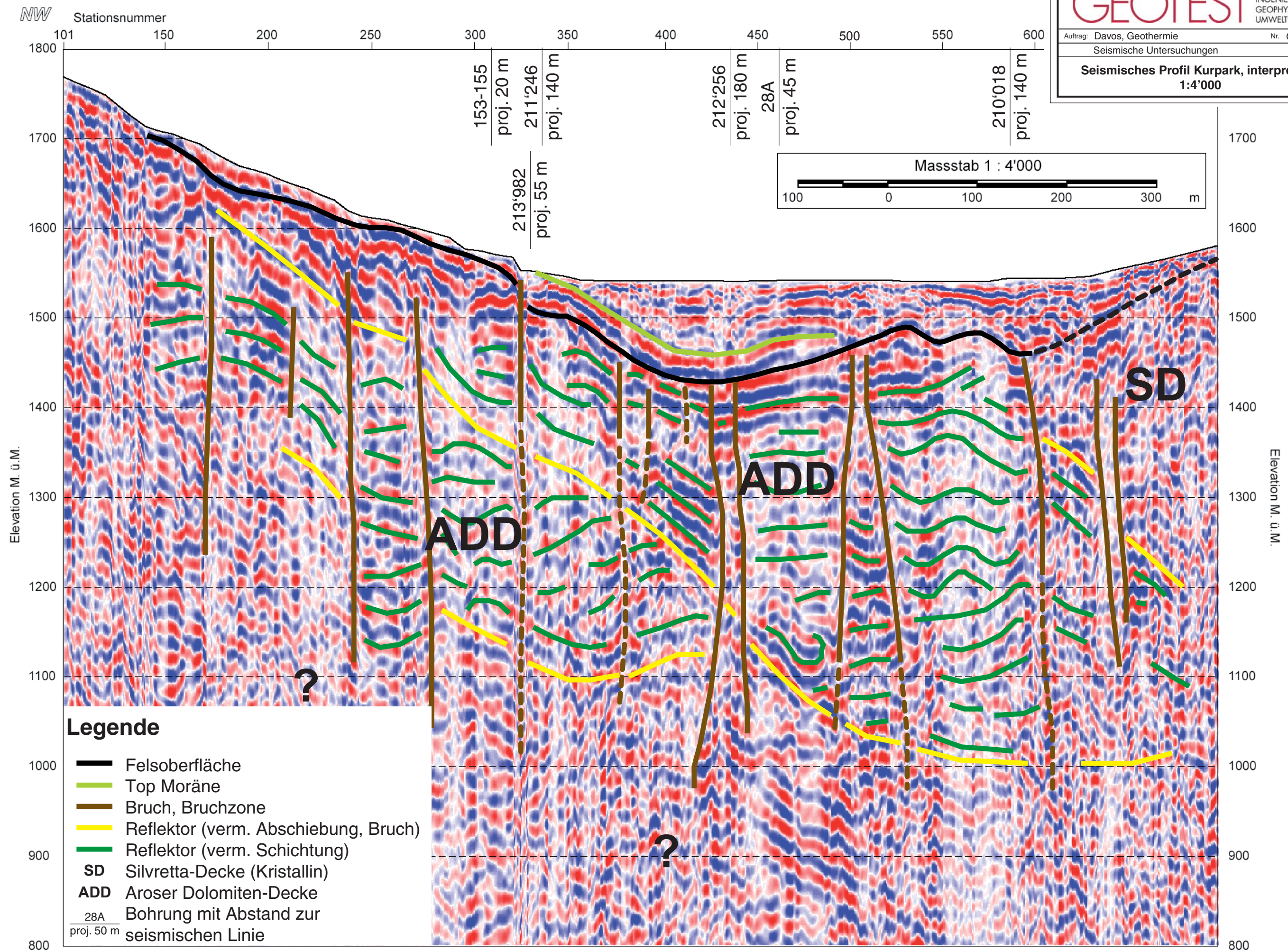
— Telekom

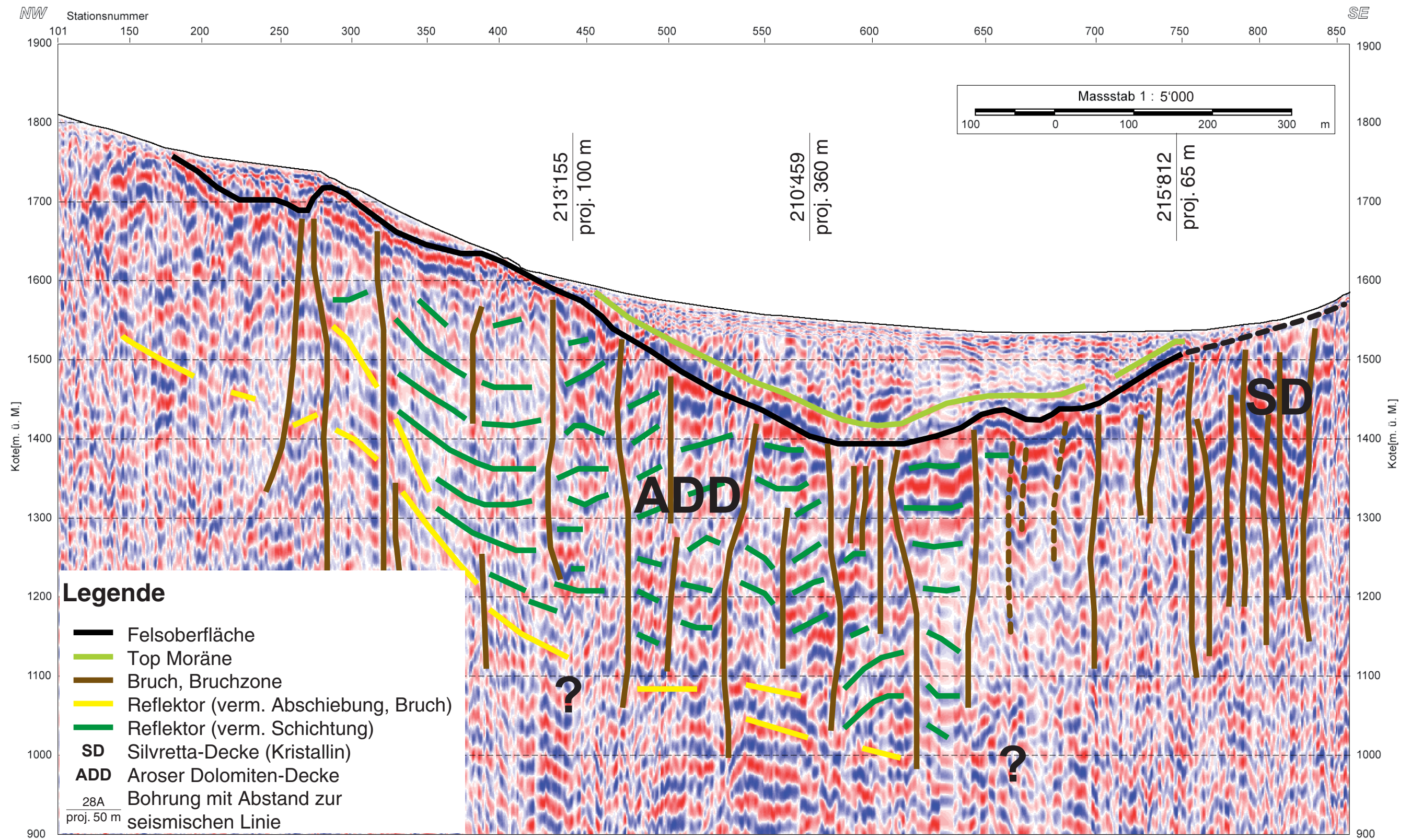
89 Parzellen/ -nummer

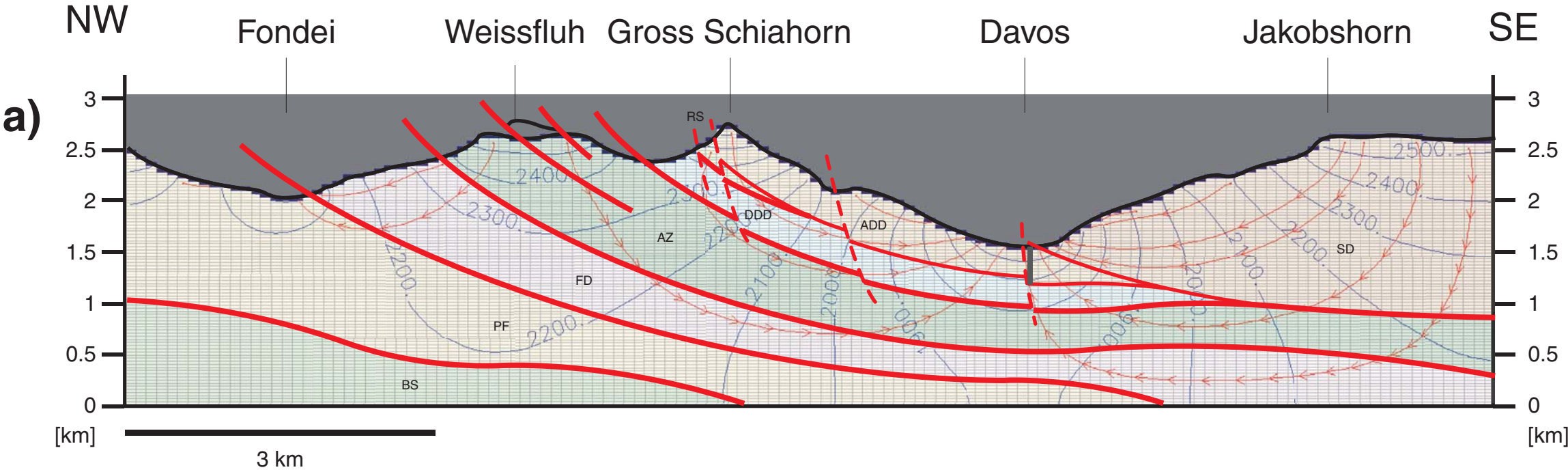
213'155 Bohrung

1:5'000

0 50 100 200 300 400 500 Meter







Hydraulische Durchlässigkeit k_{fx}
(alle Einheiten): 1E-8 m/s

Anisotropiefaktor k_{fz}/k_{fx} : 0.5

Porosität (alle Einheiten): 0.001

- Überschiebung

Abschiebung

Bruch

Potentiallinie Grundwasser

Stromlinie Grundwasser

Erkundungsbohrung
- Penninikum

AZ Aroser-Zone

FD Falknis-Decke

PF Prättigau-Flysch

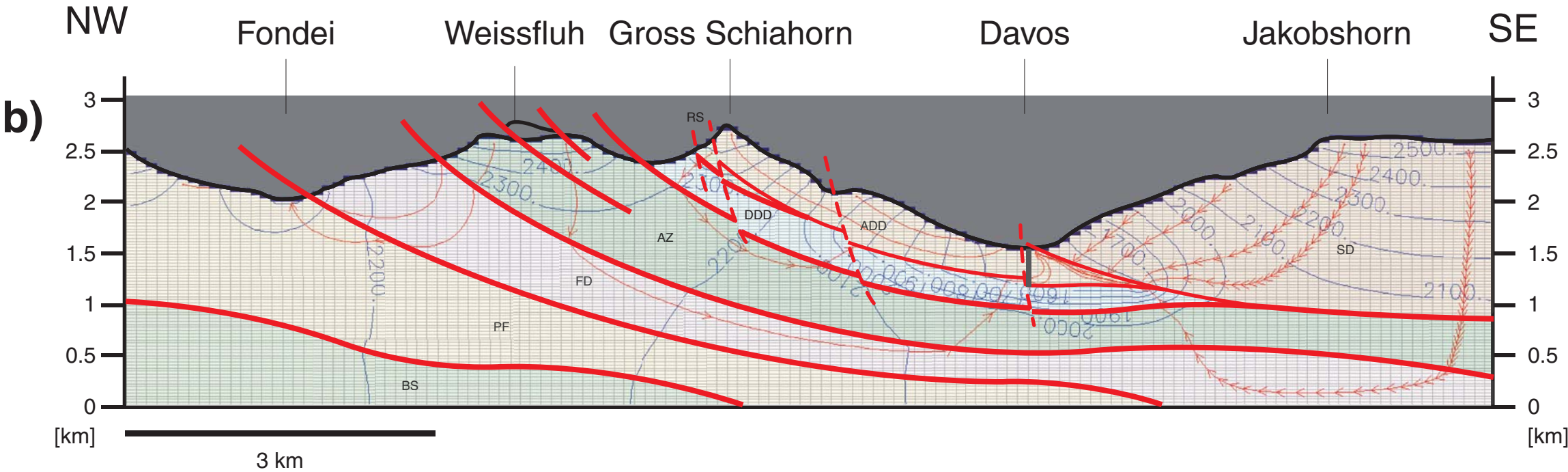
BS Bündnerschiefer
- Ostalpin

SD Silvretta-Decke

ADD Aroser Dolomiten-Decke

RS Rothorn-Schuppe

DDD Davoser Dorfberg-Decke



Hydraulische Durchlässigkeit k_{fx} :

Silvretta-Decke	1E-9 m/s
Aroser Dolomiten-Decke	1E-6 m/s
Rothorn-Schuppe	1E-9 m/s
Davoser Dorfberg-Decke	1E-9 m/s
Aroser-Zone	1E-8 m/s
Falknis-Decke	1E-7 m/s
Prättigau-Flysch	1E-8 m/s
Bündnerschiefer	1E-9 m/s

Anisotropiefaktor k_{fz}/k_{fx} : 0.5

Porosität (alle Einheiten): 0.001



Foto 1: Aroser Dolomiten-Decke mit Gross Schiahorn und Chüpfenfluh: Decke taucht eingangs Flüelatal in Davos Dorf unter die kristallinen Einheiten der Silvretta-Decke, Blickrichtung WSW.



Foto 2: Hauptdolomit eingangs Flüelatal, Gestein mechanisch stark beansprucht mit Bildung von Klüften und Brüchen.



Foto 3: Subhorizontale und vertikale Brüche im Hauptdolomit eingangs Flüelatal.

Anhang 9

Bericht GeoExpert AG vom 10.09.10

**Seismische Untersuchungen
Schlussbericht September 2010**

BUNDESAMT FÜR ENERGIE
LANDSCHAFT DAVOS GEMEINDE

Davos Platz

Geothermische Ressourcenanalyse
im Bereich des Kongresszentrums Davos

Seismische Untersuchungen
Schlussbericht September 2010

ANHANG ZU BERICHT NR. G0939.2

Ausführung der Feldarbeiten und EDV

GeoExpert AG
Seismische Untersuchungen
Oberfeldstrasse 6
8514 Amlikon-Bissegg

8514 Amlikon, 10. September 2010

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	3
1.1	Ausgangslage Etappe 1	3
1.2	Ziele und gewählter Lösungsweg, Etappe 1	3
1.3	Feldarbeiten	3
2	DIE ELEKTRONISCHE DATENBEARBEITUNG	4
2.1	Die zeitliche Abwicklung der Datenverarbeitung.....	4
2.2	Allgemeine Bemerkungen zur seismischen EDV	4
2.3	Der Ablauf der reflexionsseismischen EDV-Bearbeitung	4
3	DISKUSSION DER DATEN UND INTERPRETATION	8
3.1	Die Darstellung der EDV-Ergebnisse	8
3.2	Vorbemerkungen zur geologischen Interpretation.....	8
3.3	Die Darstellung reflexionsseismischer Daten	9
4	ZUSAMMENFASSUNG	11
	BEILAGEN.....	12



1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage Etappe 1

Für die Wärmeversorgung des neuen Erweiterungsbaues für das Kongresszentrum und des Hallenbades Davos soll das geothermische Potential abgeklärt und bei positiven Ergebnissen genutzt werden. Mit dem Ersatz fossiler Energieträger durch Erdwärme könnte der CO₂-Austoss der erwähnten Objekte massiv reduziert werden. Weil die Nutzung der Erdwärme über ein Erdsondenfeld nicht realisiert werden konnte, muss sich die Nutzung auf tiefere Schichten konzentrieren. Die geothermische Ressourcenanalyse umfasst seismische Untersuchungen zur Identifikation der tektonischen und strukturellen Verhältnisse mit je einem Quer- und Längsprofil.

1.2 Ziele und gewählter Lösungsweg, Etappe 1

In unserem Gesuch vom 9. Juli 2009 hatten wir nach der Auswertung der vorhandenen Grundlagen die Durchführung von zwei seismischen Profilen als die geeignetste Methode vorgeschlagen. Die Annahme war die Durchführung von einem Längs- (2.5 km) und einem Querprofil (1 km)) zur Erkundung des tektonischen Aufbaus des Untergrundes bis in eine Tiefe von etwa 1'000 m. Der Schnittpunkt der beiden Profile liegt im Bereich des vorgesehenen Bohransatzpunktes. Bei der Detailplanung dieser Untersuchungen zeigte sich aber, dass bei der Ausführung eines Längsprofils in der Talachse die Gefahr bestand, dass primär Reflexionen von den Talflanken erfasst würden anstatt aus den tieferen Strukturen. Dies führte zu einem Umbau des Messdispositivs in Form von 2 verlängerten Tal-Querprofilen.

Von der Untersuchung werden die folgenden Aufschlüsse erwartet (vgl. Kap. 2.2):

- a) Die Kartierung der Tiefenlage und der Topographie der Felsoberkante unter der quartären Talfüllung. Diese Angaben dienen zur Verifizierung der Wahl des Bohrstandortes.
- b) Informationen über die Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten im Felsuntergrund (verschiedene geol. Einheiten) als Hinweise über die Existenz und Ausdehnung von Zonen mit erhöhter Wasserwegigkeit.
- c) Das Aufzeigen von tektonischen Bruch- und Störungszonen

1.3 Feldarbeiten

Details zur Methodik und den Feldarbeiten sind dem Zwischenbericht vom 30. Juni 2010 zu entnehmen.

2 DIE ELEKTRONISCHE DATENBEARBEITUNG

2.1 Die zeitliche Abwicklung der Datenverarbeitung

<i>Datum</i>	<i>Durchgeführte Arbeiten / Bemerkungen</i>
12.-17.5.2010	Daten-QC, Geometrie, Brute Processing Linie 10DAVO-1 (Kurpark)
20.-21.5.2010	Daten-QC, Geometrie, Brute Processing Linie 10DAVO-2 (Guggerbach)
24.-28.5.2010	Statische Korrekturen, Filter-Anaylsis, FK-Filter-Analysis
10DAVO-1 und -2	
31.5.-4.6.2010	detaillierte Geschwindigkeitsbestimmung 10DAVO-1 und -2
28.-29.6.2010	Final Processing 10DAVO-1 (Kurpark)
30.6.2010	Besprechung Kontraktor (GeoExpert) mit Geologen (Geotest)
30.7.+2.8.2010	Final Processing 10DAVO-2 (Guggerbach)

2.2 Allgemeine Bemerkungen zur seismischen EDV

Eingesetztes Personal

Lorenz Keller	dipl. Natw. ETH, Geophysiker, Leitung, finale EDV
Philippe Corboz	dipl. Natw. ETH, Geophysiker; Geometrie, Filter-Anaylsis
Jochen Fiseli	Diplom-Geologe Univ. Freiburg i. Br., Geometrie, Filter-Analysis, Geschwindigkeits-Bestimmungen

Für die reflexionsseismische EDV wurde das integrierte Hard- und Softwaresystem SPW (Seismic Processing Workshop) der Parallel Geoscience Inc., Austin/TX verwendet (www.parallelgeo.com).

Die verwendete Hardware setzte sich zusammen aus verschiedenen Windows-PC's und einer Windows-Workstation.

2.3 Der Ablauf der reflexionsseismischen EDV-Bearbeitung

Die reflexionsseismische EDV-Auswertung als trial and error-Verfahren lässt sich nicht in ein starres Ablaufschema einordnen. Die Wahl der Parameter und die Abfolge der verschiedenen EDV-Schritte richtet sich nach den geologischen Rahmenbedingungen, nach den Feldparametern und nach der Qualität der zu verarbeitenden Daten.

Generell ist anzuführen, dass bei schwierigen topographischen und geologischen Verhältnissen und bei einer weniger guten Datenqualität der Zeitaufwand für eine EDV-Auswertung, die alle Möglichkeiten zur Erhöhung der Aussagekraft ausschöpft, um ein Mehrfaches grösser ist, als wenn die Daten in lärmfreien und geologisch einfachen Gebieten aufgezeichnet werden können. Vor allem sogenannte untiiefe (near-surface) Seismik ist sehr aufwendig bezüglich der Separation von verschiedenen Wellentypen und (Stör-)Signalanteilen. Insbesondere lassen sich automatische Algorithmen der verschiedenen statischen Korrekturen (Topographie- und Refraktions-Statik) nicht ohne manuelles Eingreifen durchführen.

Die Schritte der reflexionsseismischen Datenverarbeitung werden im Folgenden einzeln kurz beschrieben. Für Details zu den Rechenschritten wird auf die Fachliteratur verwiesen.



- 1 **UMFORMATIEREN UND AUFHEBUNG DER FELDVERSTÄRKUNG**
Umschreiben der Felddaten auf ein Software-spezifisches Format, wobei die durch die Registrierapparatur vor der A/D-Wandlung angewandte, laufzeitvariable Verstärkung rückgängig gemacht wird. Dazu gehört auch die Zusammenführung der beiden unterschiedlichen Datensätze der zwei zum Einsatz gekommenen seismischen Registrierapparaturen.
- 2 **REGISTRIERKONFIGURATION UND ZUORDNUNG DER TOPOGRAPHISCHEN DATEN**
Zuordnung der Kanalnummern und Anregungspunkte jeder Aufzeichnung an ihre Position im Feld. Zuordnung der topographischen Koordinaten zu jeder Anregungs- und Empfängerstation.
- 3 **DATENSICHTUNG UND -ANALYSE**
Sichtung der Rohdaten und Elimination von Kanälen mit ungenügender Datenqualität. Es wurden über 150'000 Einzelseismogramme einer visuellen Qualitätskontrolle unterzogen.
- 4 **ANALYSE DER REFRAKTIONSEINSÄTZE ABLEITUNG DER STATISCHEN KORREKTUREN**
Analyse der Refraktionseinsätze und Bestimmung der Refraktionsgeschwindigkeiten in den obersten 40 m. Das abgeleitete Geschwindigkeitsmodell wird zur Berechnung der oberflächenstatischen Korrekturen verwendet.
- 5 **GEZIELTE ANWENDUNG DER FELDSTATISCHEN KORREKTUREN**
Weil Informationen insbesondere bis zur Oberfläche erwartet wurden sind refraktionsstatische Korrekturen nur beschränkt anwendbar; es werden vielmehr mit der Anwendung derselben die oberflächennahen Schichten durch Nullinformationen ersetzt. Dieser Schritt beschränkt sich in diesem Projekt auf Informationen, die nur in die Interpretation einfließen wird.
- 6 **AMPLITUDENAUSGLEICH IM ZEITBEREICH DURCH AGC (200 - 400 ms)**
Amplitudenausgleich im Zeitbereich mit einem Normalisationsfenster von 200 ms (Beginn der Horchzeit) bis 200 ms (Ende der Horchzeit).
- 7 **BANDPASS FILTER 32 Hz (6 dB) – 160 Hz (18 dB)**
Anhebung des Nutzspektrums innerhalb der Eckfrequenzen 32 – 160 Hz.
- 8 **AMPLITUDENAUSGLEICH IM FREQUENZBEREICH (Spectral Whitening) MIT ZWEI OPERATOREN(24-36-120-160 Hz & 32-48-160-240 Hz)**
Glättung des Frequenzspektrums und Amplitudenausgleich durch Verstärkung der hochfrequenten Signalanteile.

F-K FILTER

2-dimensionale Filterung zur Unterdrückung von Oberflächenwellen.

Am Übergang von der Talfüllung zu den meist aus Festgestein bestehenden Talflanken wurden energiereiche P->S-Wellen- und Körper->Oberflächenwellen-Konversionen beobachtet. Die geringe bis bislang fehlende Lockergesteinsbedeckung an den Flanken führte zudem zu sehr schnellen Oberflächenwellen. Es wurde beobachtet, dass Oberflächenwellen im Festgestein oftmals schneller als Körperwellen im Lockergestein sind. Dies führt dazu, dass die Oberflächenwellen nur sehr schlecht mittels FK-Filter ausgefiltert werden können.

Eine detaillierte Untersuchung an vielen verschiedenen Schuss- und Empfänger-Rekords zeigte, dass eine Unterdrückung der Oberflächenwellen mittels Frequenz-Filter in Kombination mit Amplitudenausgleich im Frequenzbereich effektiver ist als ein FK-Filter.

Die relativ hohe Datendichte aufgrund der engen 2.5 m-Geophonstationsabstände erlaubt den Verzicht auf FK-Filter ohne weiteres.

9 *ANALYTISCHE UNTERDRÜCKUNG DER ERSTEINSÄTZE*

Unterdrückung aller Signale, insbesondere der Refraktionseinsätze, die vor den nutzbaren Reflexionseinsätzen eintreffen.

10 *CMP-SORTIERUNG UND GESCHWINDIGKEITSANALYSE*

Ableitung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten als Funktion der Tiefe und der Lage entlang des Profils. Die Daten werden für diesen Schritt bezogen auf gemeinsame Tiefenpunkte umsortiert und über fünf nebeneinander liegende CDP's zu sogenannten Supergathern kombiniert. Die Geschwindigkeitsanalyse erfolgte sowohl mittels Semblance Analyse, optischer Hyperbel-Einpassung als auch ConstantVelocityStacks.

11 *NMO-KORREKTUR (50% STRETCH MUTE)*

Anwendung der laufzeitabhängigen, geometrischen Geschwindigkeitskorrektur und automatische Unterdrückung der Datenbereiche, in denen die damit verbundene Frequenzverzerrung das zulässige Mass von 50 % überschreitet.

12 *CMP-OBERFLÄCHENKONSISTENTE RESTSTATISCHE KORREKTUREN (OPTIMIERUNG DER STAPELENERGIE)*

Feinkorrektur zur Behebung von lokalen Laufzeitanomalien im oberflächennahen Bereich.

CMP-UNTERGRUNDKONSISTENTE RESTSTATISCHE KORREKTUREN (TRIM-STATIK)

Feinkorrektur zur Behebung von lokalen Laufzeitanomalien im tieferen Bereich.

13 *CDP-STAPELUNG*

Stapelung aller zu einem gemeinsamen Reflexionspunkt gehörenden Einzel-seismogramme. Die Stapelung erfolgt gewichtet nach bestimmten statistischen Auswahlkriterien.

14 *AMPLITUDENAUSGLEICH IM ZEITBEREICH AGC (200 ms)*

Amplitudenausgleich im Zeitbereich mit einem Normalisationsfenster von 200 ms. Dieses verhältnismässig lange Zeitfenster erlaubt eine gewisse Charakterisierung der Reflektivität einzelner Reflektoren in der Tiefe.



- 15 *BANDPASS FILTER 32 Hz (12 dB) – 160 Hz (18 dB)*
Anhebung des Nutzsignalspektrums innerhalb der Eckfrequenzen 32 – 160 Hz.
- 16 *KOHÄRENZ FILTER UND TRACE MIXING*
Filterung zur Erhöhung der lateralen Kontinuität von Reflexionseinsätzen.
- 17 *TIEFENWANDLUNG & ELEVATIONSKORREKTUR*
Berechnung der Intervallgeschwindigkeit mit der Dix-Formel und Glättung des so gewonnenen Geschwindigkeitsfeldes entlang der x-Achse. Umrechnung der Laufzeiten in Tiefen und statische Korrektur der Daten in Bezug auf die Geländehöhen.
- 18 *DARSTELLUNG MIT NORMALER POLARITÄT*
Darstellung der Daten in einem seismischen Profilschnitt mit der Polarität gemäss den Ausführungen in Kapitel 3.3.

MIGRATION

Eine pre-stack oder post-stack Zeit- oder Tiefenmigration der seismischen Sektionen ist leider aufgrund der geringen Impedanzkontraste und der relativ schlechten Qualität nicht möglich. Unter anderem ist eine genaue Geschwindigkeitsbestimmung nicht möglich.

3 DISKUSSION DER DATEN UND INTERPRETATION

3.1 Die Darstellung der EDV-Ergebnisse

Das Resultat der reflexionsseismischen EDV wird als Tiefenschnitt mit der Bezeichnung „Reflexionsseismisches Laufzeitprofil“ produziert. Es handelt sich um die Seismogramm-Montage mit der Echozeit als vertikale, nicht-lineare Tiefenachse.

Diese Abbildung ist die Grunddarstellung für jede geologische Interpretation. Die Untergrundstrukturen wie Schichtpakete, Störungs- und Bruchzonen sind auf diesem Schnitt bereits erkennbar.

Da aus der Echozeit-Abbildung Tiefenangaben nur mit Kenntnis der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten herleitbar sind, müssen die Daten einer Laufzeit-Tiefenwandlung unterzogen werden.

Die dadurch entstandene Tiefensektion ist in den Beilagen 1a & 1b resp. 2a & 2b als reflexionsseismischer Tiefenschnitt abgebildet. Hier ist die wahre Tiefenlage der einzelnen Strukturen mit einer geschätzten Fehlertoleranz von rund 10% dargestellt.

3.2 Die Darstellung reflexionsseismischer Daten

Die Darstellung der Resultate geschieht in Form eines möglichst klaren Lotzeit-schnitts, einer sog. seismic section. Es handelt sich hier um ein Aneinanderreihen der an den gemeinsamen Tiefenpunkten gestapelten Seismogrammspuren. Die Originalschriftart mit getreuer Charakterwiedergabe einer gestapelten Spur ist die Linien-schrift (wiggle). Für Profildarstellungen besser geeignet ist die Flächenschrift (variable area), die amplitudenabhängige Schwärzung (variable density) oder eine Kombination von Linien-, Flächenschrift und variabler Schwärzung (var-wiggle oder variable density - wiggle).

Die Kompressionsphase seismischer Signale wird in der Erdölindustrie gemäss Konvention der Society of Exploration Geophysicists (SEG) mit der negativen Auslenkung (d.h. weiss) wiedergegeben. Da das Quellensignal (Explosion oder Schlag) mit einer Kompression einsetzt, erfolgt auch der Einsatz einer Reflexion mit einer Kompression. Aus Gründen einer klareren Darstellung zusammen mit den tauchwellentomographischen Ergebnissen ist in diesem Bericht die Kompressionsphase entgegen der SEG Konvention durch eine positive Auslenkung (= schwarz) wiedergegeben.

Die Laufzeit eines Reflektors ist somit definiert als der Beginn der positiven Auslenkung (siehe Abb. 3.1).

Im selteneren Falle einer Geschwindigkeitsinversion, wo in der unteren Formation geringere Ausbreitungsgeschwindigkeiten, also weichere Materialien, angetroffen werden, findet an der Formationsgrenze eine Amplitudenumkehr statt, was sich durch eine Dilatationsphase ausdrückt, die mit einer negativen, hier weiss eingefärbten, Amplitudenauslenkung dargestellt wird.

G0939.2 Geothermische Ressourcenanalyse Davos

Anhang zu Schlussbericht Seismische Untersuchungen

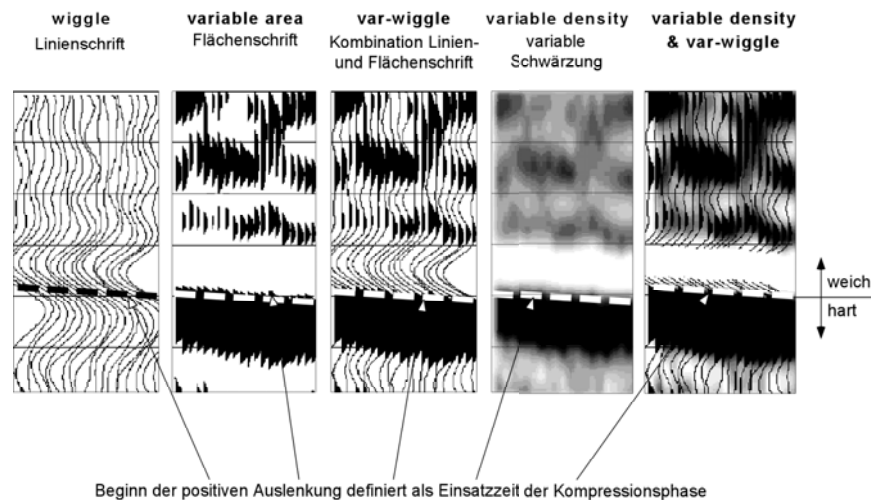


Abb. 3.1: Die Darstellung seismischer Daten und die Definition eines Reflexionseinsatzes

3.3

Vorbemerkungen zur geologischen Interpretation

Ein reflexionsseismischer Tiefenschnitt ist als eine Art Röntgenaufnahme zu betrachten, mit dem schemenhaft die Gesteinsstrukturen im Untergrund sichtbar gemacht werden.

Die Interpretation beinhaltet die Zuordnung der Reflektoren zu geologischen Schichtgrenzen. Diese Aufgabe muss in Zusammenarbeit mit einem mit dem Gebiet vertrauten Geologen vorgenommen werden.

Tiefenangaben auf geneigte Grenzflächen beziehen sich immer auf den Abstand senkrecht zur Neigung der Oberfläche. Die Lottiefe errechnet sich durch Division dieses Abstands durch den Kosinus des Neigungswinkels.

Bei der Interpretation sind methodisch bedingte geometrische Verzerrungen zu berücksichtigen, die dadurch entstehen, dass Untergrundstrukturen, die den Schall nicht vertikal nach oben an die Oberfläche reflektieren, also nicht an ihrer wahren Lage im Raum abgebildet werden.

Insbesondere ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass nicht verhindert werden kann, dass Echos von Strukturelementen, die sich in seitlicher Entfernung ausserhalb der Profilebene befinden, in diese hineinprojiziert werden, sog. side swipes.

Es ist zu beachten, dass Reflektoren lediglich Schallhärtekontraste darstellen und demzufolge nur Änderungen der felsmechanisch-physikalischen Gesteinsparameter aufzeigen. Lithologische Grenzflächen sind nur dann seismisch identifizierbar, wenn sie sich als solche durch gesteinsmechanische Änderungen zu erkennen geben. Unterschiedliche mechanische Gesteinsbeschaffenheiten innerhalb einer lithologisch homogenen Schicht andererseits können fälschlicherweise als Formationsgrenzen interpretiert werden.

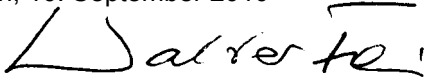
Die Interpretation der geologischen Situation, wie sie sich aus unserer Sicht als Geophysiker ohne Lokalkenntnisse präsentiert, ist provisorisch und nicht dazu geeignet, den Befund eines mit dem Gebiet vertrauten Geologen vorwegzunehmen.

Dem Auftraggeber (Geotest AG) werden je zwei unterschiedliche Processing-Abläufe mit entsprechender geophysikalischer Interpretation vorgelegt. Diese finden sich in den Beilagen 1a & 1b resp. 2a und 2b zu diesem Bericht.

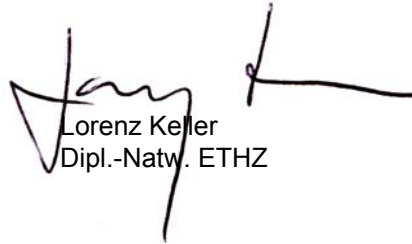
4 ZUSAMMENFASSUNG

- Die seismischen Felddaten (Datenerfassung Mai 2010) im Untersuchungsgebiet Davos für die geothermische Ressourcenanalyse Davos wurden einer mehrstufigen und umfangreichen elektronischen Datenverarbeitung unterzogen.
- Als Grundlage für eine geologische Interpretation wurden pro Messlinie zwei unterschiedliche, agestufte EDV-Abläufe mit je einer geophysikalischen Interpretation erstellt und dem Geologen übergeben.
- Die hier vorgestellten Aussagen sind als geophysikalischer Beitrag an eine umfassende geologische Interpretation durch einen mit dem Gebiet vertrauten Geologen zu verstehen.

Amlikon, 10. September 2010



Walter Frei
Dipl.-Natw. ETHZ
Projektleiter



Lorenz Keller
Dipl.-Natw. ETHZ



BEILAGEN

Beilage 1a Reflexionsseismisches Tiefenprofil 10DAVO-1 (Kurpark):
Interpretationsvariante 1

Beilage 1b Reflexionsseismisches Tiefenprofil 10DAVO-1 (Kurpark):
Interpretationsvariante 2

Beilage 2a Reflexionsseismisches Tiefenprofil 10DAVO-2 (Guggerbach):
Interpretationsvariante 1

Beilage 2b Reflexionsseismisches Tiefenprofil 10DAVO-2 (Guggerbach):
Interpretationsvariante 2

Beilage 3 Dichte und seismische Geschwindigkeiten einiger ausgewählter Gesteine



Projekt Erdwärmennutzung

Seismisches Profil

10DAVO-1 - Kurpark

Feldparameter

Auslageanordnung	stationäre Auslage	CDP-Abstand	1.0 m
Anzahl Kanäle	616	Überdeckung	60-fach (nominell)
Geophonabstand	2.0 m	Instrumentation	SmartSystem & SUMMIT
Geophontyp	10 Hz	Abtastrate	0.5 ms
Auslagemuster	1 Geophon / Station	Registrierzeit	1000 ms
Schussabstand	8.0 m	Filter im Feld	LC out, HC anti-alias
Seismische Quelle	Fallgewicht FFWD & Sprengstoff	Registrierer	L. Keller & D. Martin
Equipe	W. Frei	Messdatum	10.-11. Mai 2010

Reflexionsseismische EDV

- 1 Umformatieren und Aufhebung der Feldverstärkung
- 2 Registrierkonfiguration und Zuordnung der topographischen Daten
- 3 Datensichtung und -analyse
- 4 Analyse der Refraktionseinsätze
- 5 Amplitudenausgleich im Zeitbereich durch AGC (200 ms)
- 6 Amplitudenausgleich im Frequenzbereich (Spectral Whitening; 30-140 Hz & 40-200 Hz)
- 7 Bandpass Filter (48 Hz (6 dB) - 160 Hz (6 dB))
- 8 Analytische Unterdrückung der Ersteinsätze
- 9 CMP-Sortierung und Geschwindigkeitsanalyse
- 10 NMO-Korrektur (50% stretch mute)
- 11 Statische Korrekturen zum Ausgleich feiner Laufzeitverschiebungen aufgrund lokaler Topographie-Effekte
- 12 CDP-Stapelung
- 13 Amplitudenausgleich im Zeitbereich durch AGC (gleitendes Zeitfenster 100 - 200 ms)
- 14 Bandpass Filter (48 Hz (6 dB) - 160 Hz (18 dB))
- 15 Kohärenzfilter
- 16 Datendarstellung mit umgekehrter Polarität

Masstab 1 : 4'000

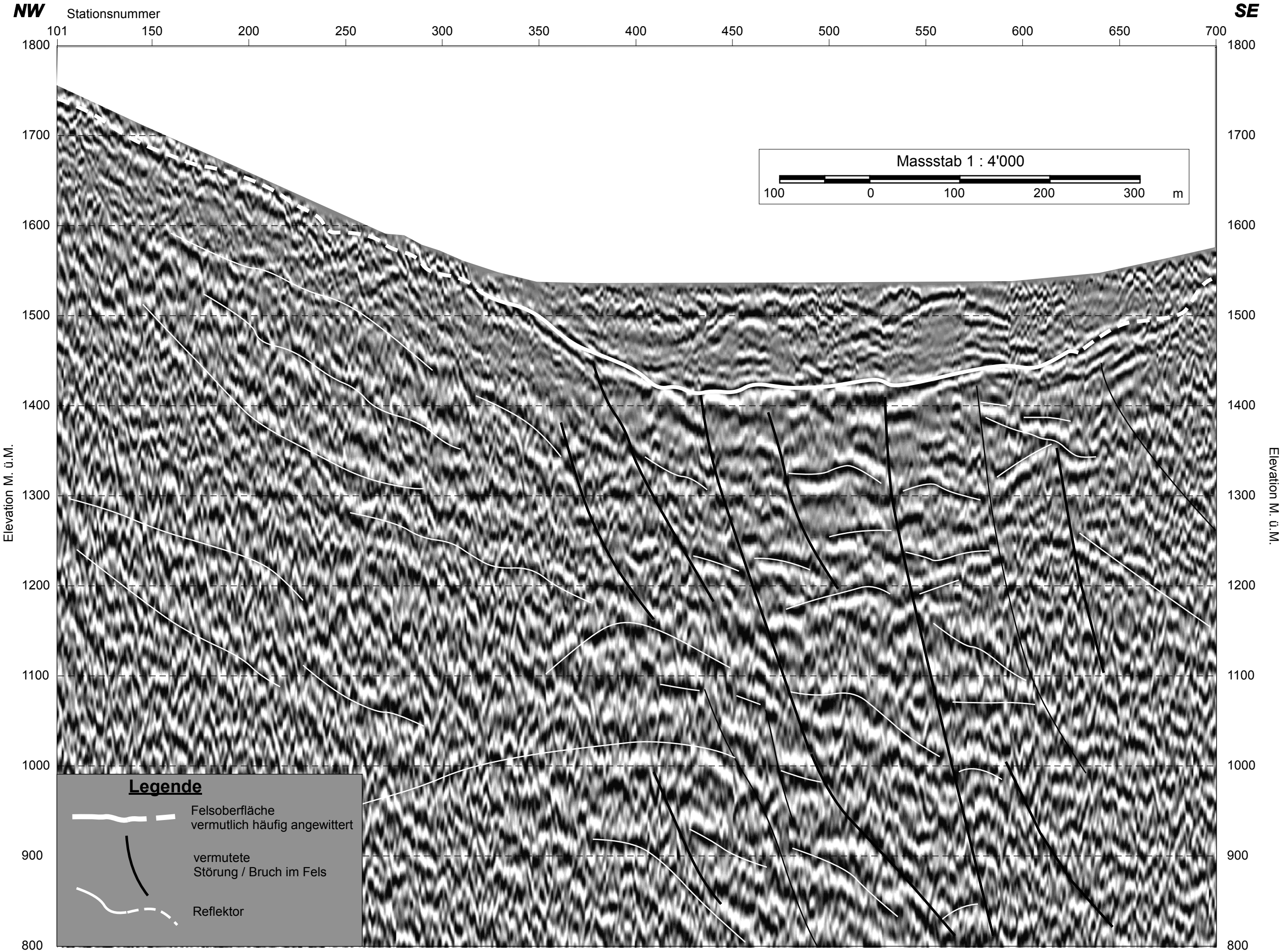
Bearbeitet von: Ph. Corboz, Juni 2010



GeoExpert ag
Geophysikalische Untersuchungen
Oberfeldstrasse 6
CH-8514 Amlikon-Bissegg
Tel. +41 71 652 60 70; Fax +41 71 652 60 70
info@geoexpert.ch; www.geoexpert.ch

Beilage 1a
zum Bericht vom 10.09.2010

Abb. 1: Reflexionsseismisches Tiefenprofil (Interpretationsvariante 1)





Projekt Erdwärmennutzung

Seismisches Profil

10DAVO-1 - Kurpark

Feldparameter

Auslageanordnung	stationäre Auslage	CDP-Abstand	1.0 m
Anzahl Kanäle	616	Überdeckung	60-fach (nominell)
Geophonabstand	2.0 m	Instrumentation	SmartSystem & SUMMIT
Geophontyp	10 Hz	Abtastrate	0.5 ms
Auslagemuster	1 Geophon / Station	Registrierzeit	1000 ms
Schussabstand	8.0 m	Filter im Feld	LC out, HC anti-alias
Seismische Quelle	Fallgewicht FFWD & Sprengstoff	Registrierer	L. Keller
Equipe	W. Frei	Messdatum	10.-11. Mai 2010

Reflexionsseismische EDV

- 1 Umformatieren und Aufhebung der Feldverstärkung
- 2 Registrierkonfiguration und Zuordnung der topographischen Daten
- 3 Datensichtung und -analyse
- 4 Analyse der Refraktionseinsätze
- 5 Statische Korrekturen im oberflächennahen Bereich
- 6 Amplitudenausgleich im Zeitbereich durch AGC (200 - 400 ms)
- 7 Bandpass Filter
 - 0-200 ms: (48 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
 - 200-400 ms: (24 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
 - >400 ms: (12 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
- 8 Spectral Whitening 2 windows (6-30-80-150 Hz) & (36-80-150-220 Hz) 200 ms AGC window
- 9 First Break Mute
- 10 CDP-Sortierung und Geschwindigkeitsanalyse
- 11 NMO-Korrektur (50% stretch mute)
- 12 Statische Korrekturen zum Ausgleich feiner Laufzeitverschiebungen
- 13 CDP Stapelung
- 14 Amplitudenausgleich im Zeitbereich mit AGC (200 ms)
- 15 Bandpass Filter (32 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
- 16 Kohärenzfilter & Trace Mixing
- 17 Laufzeit-Tiefen-Wandlung und elevationsstatische Korrekturen
- 18 Datendarstellung mit umgekehrter Polarität

Massstab 1 : 4'000

Prozessiert von: L. Keller, Juni 2010

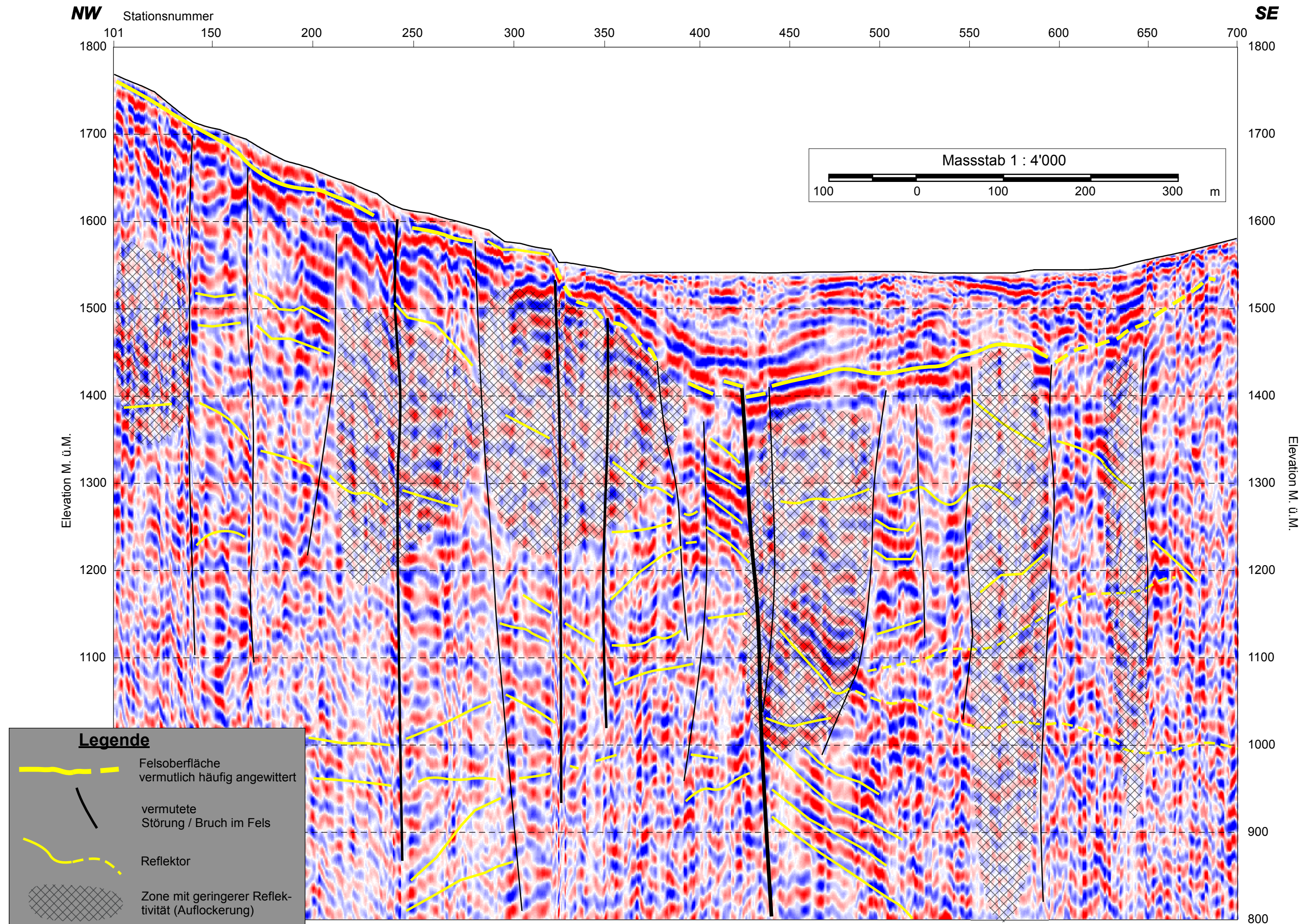


GeoExpert ag
Geophysikalische Untersuchungen
Oberfeldstrasse 6
CH-8514 Amlikon-Bissegg
Tel. +41 71 652 60 70; Fax +41 71 652 60 70
info@geoexpert.ch; www.geoexpert.ch

Beilage 1b

zum Bericht vom 10.09.2010

Abb. 2: Reflexionsseismisches Tiefenprofil (Interpretationsvariante2)





Seismisches Profil

10DAVO-2 - Guggerbach

Feldparameter

Auslageanordnung	stationäre Auslage	CDP-Abstand	1.0 m
Anzahl Kanäle	760	Überdeckung	60-fach (nominell)
Geophonabstand	2.0 m	Instrumentation	SmartSystem & SUMMIT
Geophontyp	10 Hz	Abtastrate	0.5 ms
Auslagemuster	1 Geophon / Station	Registrierzeit	1000 ms
Schussabstand	8.0 m	Filter im Feld	LC out, HC anti-alias
Seismische Quelle	Fallgewicht FFWD & Sprengstoff	Registrierer	L. Keller
Equipe	W. Frei	Messdatum	10.-11. Mai 2010

Reflexionsseismische EDV

- 1 Umformatieren und Aufhebung der Feldverstärkung
- 2 Registrierkonfiguration und Zuordnung der topographischen Daten
- 3 Datensichtung und -analyse
- 4 Analyse der Refraktionseinsätze
- 5 Statische Korrekturen im oberflächennahen Bereich
- 6 Amplitudenausgleich im Zeitbereich durch AGC (200 - 400 ms)
- 7 Bandpass Filter
 - 0-200 ms: (48 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
 - 200-400 ms: (24 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
 - >400 ms: (12 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
- 8 Spectral Whitening
- 9 First Break Mute
- 10 CDP-Sortierung und Geschwindigkeitsanalyse
- 11 NMO-Korrektur (50% stretch mute)
- 12 Statische Korrekturen zum Ausgleich feiner Laufzeitverschiebungen
- 13 CDP Stapelung
- 14 Amplitudenausgleich im Zeitbereich mit AGC (200 ms)
- 15 Bandpass Filter (32 Hz (6 dB) - 200 Hz (18 dB))
- 16 Kohärenzfilter & Trace Mixing
- 17 Laufzeit-Tiefen-Wandlung und elevationsstatische Korrekturen
- 18 Datendarstellung mit umgekehrter Polarität

Massstab 1 : 4'000

Prozessiert von: L. Keller, Juli 2010

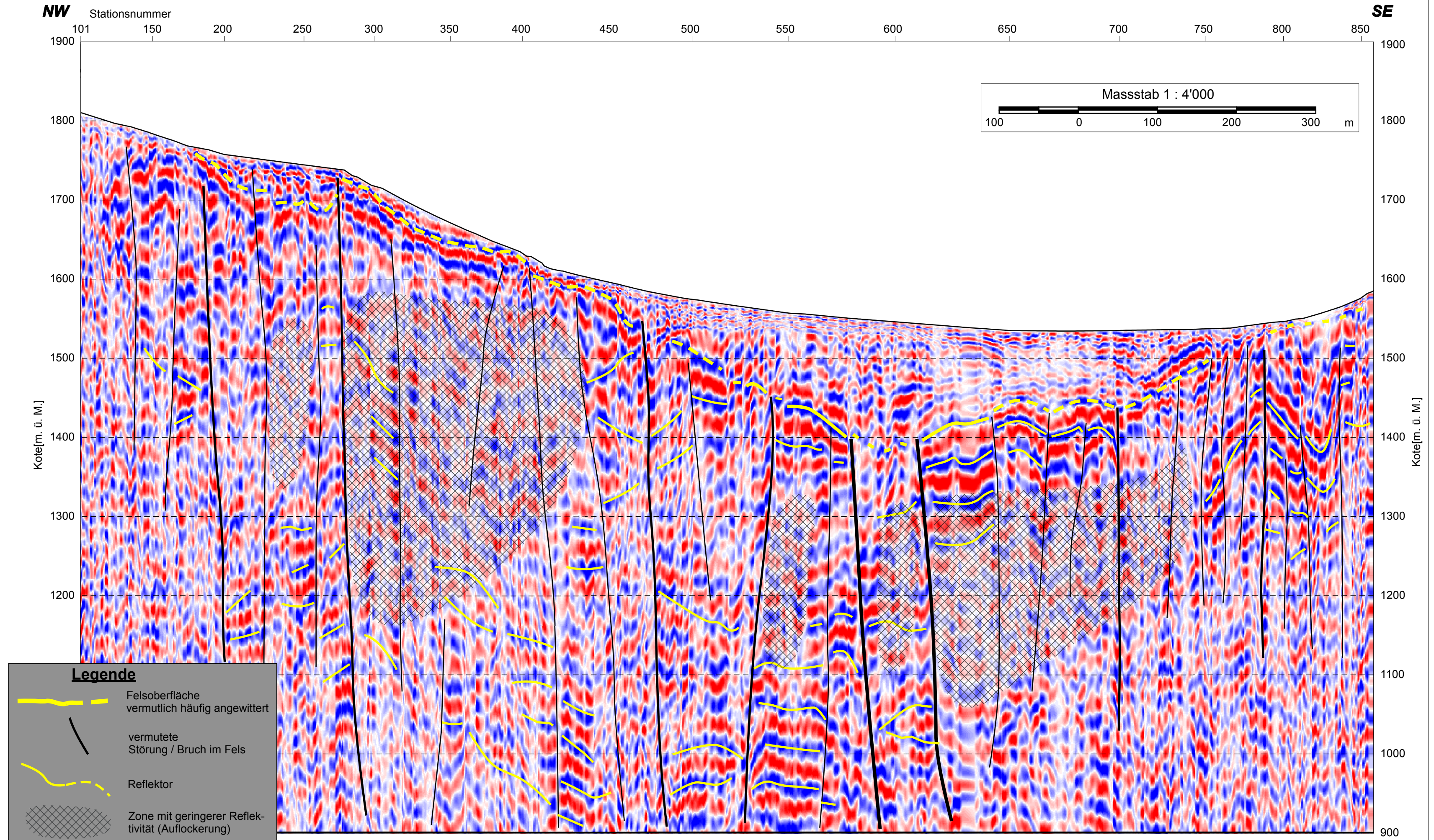


GeoExpert ag
Geophysikalische Untersuchungen
Oberfeldstrasse 6
CH-8514 Amlikon-Blissegg
Tel. +41 71 652 60 70; Fax +41 71 652 60 70
info@geoexpert.ch; www.geoexpert.ch

Beilage 2b

zum Bericht vom 10.09.2010

Abb. 2: Reflexionsseismisches Tiefenprofil (Interpretationsvariante 2)



Seismische Geschwindigkeiten und Dichte einiger ausgewählter Gesteine

Material	Geschwindigkeit		Dichte (g/cm ⁻³)
	v _p [m/s]	v _s [m/s]	
Luft	310-360		
Wasser	1430-1590		0.92-1.07
Salzwasser	1400-1600		1.01
Eis	3100-4200	1500-2000	0.97-1.07
Erdöl	1035-1370		0.97-1.07
Beton	3600-3900	2365	1.8-2.4
Stahl	6000	3240	7.90
Eisen	5950	3204	7.86
Aluminium	6420	3040	2.70
Verwitterungszone	100-500		1.20-1.80
Deckschicht	300-800		
Sandschichten, oberfl.	200-300		
Permafrost	3500-4000		
Torf	200-800		
Ton	1200-2800	110-1500	1.25-2.32
sandiger Ton	2000-2750		
Lehm	500-1900	440-1080	0.76-1.57
feucht	200-1200		
Seebodenlehm	700-1800		
Gehängelehm	300-1000		
Löss	300-600	90-360	
feucht	200-1200		
Sand	300-1500	100-500	1.20-2.05
trocken	100-600		2.20-1.80
feucht	200-2000		1.50-2.00
gesättigt	1300-1800		1.80-2.05
grob	1800		2.03
fein	1750		1.98
sehr fein	1700		1.01
Kies	180-1250		1.95-2.20
feucht	750-1250		1.92-2.20
dicht, grob	420		
Schotter (Kies~)	100-2500		1.3-1.8
nicht gesättigt	400-800		
wassergesättigt	1300-2000		
verkittet	1800-2500		
Gehängeschutt, locker	600-900		
Moräne, glazial	1500-2700	900-1300	
Mergel	2000-4700	1400-2600	1.00-2.55
Geschiebemergel	1900		2.00-2.20
Molassemergel	900-1800		
Mergeldolomitstein	4200-4300		2.74-2.79
Mergelkalkstein	3200-3800		2.65-2.73
Mergelstein	1330-4500	700-2250	
Schluffstein	1900-2000		2.35-2.73
Sandstein	800-4500	320-2700	2.3-2.7
locker	1500-2500	550-1100	1.8-2.4
verdichtet	1800-4300	650-1100	2.22-2.69
kieselig-kalkig	2200-2400		
Molasse-Sandstein			
weich, verwittert	900-1800		2.4-2.7
hart, unverwittert	1800-3500		
Tuffsandstein	3200		2.35-2.73
Sandschiefer	5300		2.64
Quarzschiefer	5500		2.65
Quarzit	5800		2.64
Grauwacke	5100-6000	3200-3550	2.68-2.72
Kalk	3000-6000		2.0-2.8
kreidehaltig	3560		
feinkörnig	4680		
kristallin	5500		2.67
Marmor	5100		2.6-2.7
kreidehaltig	1800-3500		2.00-2.57
Tonschiefer	2700-4800		2.41-2.81
Tonstein	2200-4200	420-2800	2.65-2.75
Kalkstein	2000-6250	1800-3800	2.6-2.8
Dolomit	2000-6250	2900-3800	2.6-2.8
Gips	1500-4600	750-2800	2.31-2.33
Anhydrit	4500-6500	750-3600	2.15-2.44
Steinsalz (Halit)	4500-6500	2250-3300	2.15-2.44
Steinkohle	1600-1900	800-1150	1.25-1.84
Braunkohle	500-1800		1.30-1.50
Granit	5500-6000	3150-3380	2.5-2.8
Gneis	4200-5700	3000	2.6-2.8
Basalt	5500-6200		2.9-3.2
Gabbro	6200-7000		2.75-3.10
Ultramafit	7500-8500		
Serpentinit	5500-6500		

ergänzt nach: Knödel K., Krummel H., Lange G. (1997): Geophysik, Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Berlin. 1063p.



GeoExpert ag
 Seismische Untersuchungen
 Oberfeldstrasse 6
 CH-8514 Amlikon-Bissegg
 Tel. +41 71 652 60 70; Fax +41 71 652 60 71
 info@geoexpert.ch; www.geoexpert.ch

Beilage 3
 zum Bericht vom 10.9.2010