

UNTERSUCHUNGSBERICHT



Fallstudie Aist (OÖ) Geophysikalische Bewertung (Geelektrik, Georadar, Seismik)

04. September 2006

MAG^a BIRGIT JOCHUM, MAG ALEXANDER RÖMER, DR. RAINIER ARNDT
Prof. Dr. FRANZ KOHLBECK (TUW)

Inhaltsverzeichnis

1	Präambel -----	4
	1.1 Gültigkeit & Einschränkung	
	1.2 Aufgabenstellung	
	1.3 Auftraggeber & Fachreferent	
	1.4 Geologischer Rahmen	
2	Methoden -----	7
	2.1 Tonmineralogie	
	2.2 Geophysik	
	2.2.1 <i>Geoelektrik</i>	
	2.2.2 <i>GeoRADAR</i>	
	2.2.3 <i>Refraktionsseismik</i>	
3	Eregbnisse -----	10
	3.1 Geoelektrik	
	3.2 Georadar	
	3.3 Refraktionsseismik	
4	Diskussion -----	12
5	Resumeé -----	13
6	Literatur -----	14
7	Danksagung -----	15
B	Abbildungen -----	16

Verzeichnis der Grafiken, Karten und Bilder

Nr.	Titel
Titelblatt	Blick vom Gegenhang zum Schutzobjekt
01	Geographischer Lageplan – entnommen aus AMap3 des BEV
02	Luftbild des Messgebietes - entnommen aus Doris 2000 OÖ
03	Ausschnitt aus der geologischen Karte GÖK 33 (Steyregg)
04	Photo: Blick vom Gegenhang Richtung N mit Sternchenhäusern
05	Photo: Blick vom Gegenhang Richtung E mit Schutzobjekt
06	Photo: Blick nach N entlang des Messprofils, im linken Bildrand ist die Rückseite des Schutzobjektes zu erkennen;
07	Photo: Blick nach N entlang des Messprofils mit Hangschwarte
08	Photo: Blick nach E, Detailaufnahme der mobilen Hangschwarte
09	Photo: Blick nach S, Detailliertes Schadensbild am Güterweg hinter dem Schutzobjekt
10	Graphik: Prozessing Geoelektrik
11a	Graphik: Detail Geoelektrik – Widerstandssektion
11b	Graphik: Detail Geoelektrik – Generalisierte Widerstandssektion
12	Graphik: Radargramm – Messrichtung S
13	Graphik: Radargramm – Messrichtung N
14	Refraktionsseismik - Lage der beiden bergseitigen Profile
15	Auswertung Refraktionsseismik, Profil 1 / Zeit- & Geschwindigkeitsprofil
16	Auswertung Refraktionsseismik, Profil 2 / Zeit- & Geschwindigkeitsprofil
17	Zusammenschau Geophysik

1 PRÄAMBEL

1.1 Gültigkeit & Einschränkung

Die Empfehlungen und Kommentare dieses Kurzberichtes sind nur für eine **interne Verwendung** innerhalb des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, Wasserwirtschaft, bestimmt.

1.2 Aufgabenstellung

An der Lokalität Aist / OÖ ist es auf einem der Güterwege zu einem Bergschaden gekommen. Das Wohnhaus (Schutzobjekt) eines Anliegers, cf. Titelblatt, wird gefährdet. Das Schadensbild besteht aus einem Grundbruch. Zwei mögliche Interpretationen zur eigentlichen Ursache des Schadens liegen vor und stehen z. Zt. unter gerichtlicher Begutachtung:

- Gründbrüche können entstehen wenn bei gleich bleibender Last die seitliche Auflast entfernt wird. Als seitliche Auflast werden Zyklopsteine am westlichen Rand des Güterweges verstanden;
- Der Grundbruch ist durch außermittige, dynamische Überbelastungen entstanden. Eine solche Überbelastung könnte durch stark beladene Lastkraftwagen entstanden sein. Diese Schwerfahrzeuge wurden zum Abtransport von Granitschotter eingesetzt. Der Granitschotter wurde aus dem oberhalb des Schutzobjektes liegenden Steinbruch gewonnen.

Unabhängig von der Schadensursache muss zuerst die Frage nach den Gründungsverhältnissen des Güterweges geklärt werden. Dabei wurden vom Amtsgeologen zwei grundverschiedene Modelle zur Diskussion gestellt:

- i. Gründungsbreite und Gründungstiefe des Güterweges sind relativ klein, da die Unterbaukrone des Güterweges ausnahmslos über den anstehenden Granit des Haldenhanges geführt wurde, d.h. die Güterweggründung erfolgte auf dem natürlich anstehenden Fels des Haldenhanges, welcher rezent durch eine dünne Schuttüberstreuung überdeckt ist. Die beiden befestigten Fahrspuren sind durch das Begradigen mit dünnlagigen standfesten Material geschaffen worden - In einem solchen Fall kann der Güterweg mit sehr hohen Achslasten regelmäßig beaufschlagt werden;

- ii. Der gesamte Güterweg wurde weit über dem stabilen Haldenhang in der schwach konsolidierten Sturzhalde gegründet. Die Schuttmächtigkeit in der Fußregion der zurückweichenden Granitwand muss als beträchtlich angesprochen werden - in einem solchen Fall sollte der Güterweg nur vereinzelt durch moderat beladene Landwirtschaftsfahrzeuge benutzt werden.

Im Sinne der Geophysik ist die Aufgabenstellung wie folgt zusammengefasst:
Feststellung der Mächtigkeit einer Schutthalde bzw. Tiefe des Haldenhanges unter GOK.

1.3 Auftraggeber & Fachreferent

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Wasserwirtschaft
Grund – und Trinkwasserwirtschaft
Kärtnerstrasse 12
4021 Linz

Das Projekt steht unter der Verantwortung von Dr. HARALD WIMMER. Der Teilauftrag zur Untersuchung der Massenbewegung am Ufer der Aist, cf. **Abbildung 01** und **02** ist eine von sechs Fallstudien im Forschungsvorhaben NC 62-2005 und in den Projektjahren 2005 und 2006 bearbeitet.

1.4 Geologischer Rahmen

Das eigentliche Schutzobjekt liegt nördlich von Schwertberg / OÖ am östlichen Ufer der Aist, cf. Abbildung 01. Auf dem Luftbild, Abbildung 02, ist der Steinbruch oberhalb / NE des Schutzobjektes deutlich zu erkennen. Geologisch befindet sich die Fallstudie im Mauthausener Granit cf. Blatt 33 / Steyregg im Ausschnitt als **Abbildung 03**. N von Schwertberg am E Ufer der Aist wird ein Schutzobjekt durch anthropogene (Geröllhalden eines ehemaligen Steinbruchbetriebes) und/oder geogene Ereignisse (Schuttstromkriechen in den Flusseinschnitt der Aist) stark gefährdet. Zusätzlich wird eine hangnormal verlaufende Forststrasse von den Fließbewegungen des Hangschutts in Mitleidenschaft gezogen. Die beiden Standphotos vom Gegenhang, **Abbildungen 04** und **05**, zeigen das eigentliche Schutzobjekt. Der dahinter liegende, bergseitige Forstweg ist in den **Abbildungen 06** und **07** zu erkennen. Geologische Details zur Hangschwarte können aus **Abbildung 08** erkannt werden. Der talseitige Straßenschaden wurde mit **Abbildung 09** dokumentiert. Die vorhandene geomorphologische Situation lässt sich mit LOUIS (1968) als „*Entstehen und Vergehen einer Wand*“ beschreiben.

2 METHODEN

2.1 Tonmineralogie

Tonmineralogische Methoden wurden für diese Fallstudie nicht herangezogen.

2.2 Geophysik

Ziel einer geophysikalischen Messung ist es, das gesuchte Detail der Hangbewegung durch eine geophysikalische Anomalie darzustellen. Die Planung einer geophysikalischen Aufnahme geht immer von einer geologischen Modellvorstellung und den gesteinsphysikalischen Annahmen aus, nach denen sich dann die Wahl des Verfahrens und die Meßstrategie richten. Jede geophysikalische Methode wird, bedingt durch fundamentale physikalische Randbedingungen, durch vier Nebenbedingungen kontrolliert: (1) Eindringtiefe, (2) Auflösungsvermögen, (3) Signal/Rausch Abstand und (4) Kontrast der petrophysikalischen Kennwerte, MILITZER *et al* (1986). Prinzipiell stellt die Geophysik eine Methodensammlung dar, um zerstörungsfreie *in-situ* Untersuchungen an geologischen Strukturen durchzuführen. In Österreich empfiehlt die ÖNORM B 4402 explizit die Geophysik als gültiges Verfahren bei Vorerkundungen¹. Eine genaue Darstellung der *hier* verwendeten geophysikalischen Methoden finden sich z.B. in KNÖDEL *et al* (1997).

¹ ÖNORM B 4402, Seite 17, Punkt 7.6: „... Geophysikalische Verfahren eignen sich zur flächenhaften und räumlichen Erkundung in Ergänzung zu punktuellen Aufschlüssen. Je nach Fragestellung werden mehrere Verfahren in Kombination angewendet und liefern überblicksartige Ergebnisse (z.B. Schichtgrenzen, Feuchtebereiche, Moduln), deren Interpretation nur in Zusammenwirken mit einem Geophysiker möglich ist. Die Kalibrierung an den Ergebnissen direkter Aufschlüsse (z.B. Schlüsselbohrungen) ist grundsätzlich erforderlich. Geophysikalische Oberflächen- und Bohrlochmethoden dürfen nur durch auf diesem Gebiet fachkundige Personen ausgeführt werden. ...“

2.2.1 Geoelektrik

Schon von McCANN & FORSTER (1990) wurde die geoelektrische Methode für Hangrutschungen empfohlen. Durch MAURITSCH ET AL (1997) wurde der erfolgreiche Einsatz der Geoelektrik in Österreich unterlegt. Auch für diese Fallstudie wurde die Methode der Geoelektrik ausgewählt. Bei dieser Methode werden über Erdspeie künstliche elektrische Felder in den Erdboden eingespeist. Der Spannungsabfall zwischen zwei Stromelektroden in einem künstlich erzeugten Gleichstromfeld wird gemessen, basierend auf dem Ohmschen Gesetz, vom Widerstand der Gesteinsschichten abhängig ist. Durch eine Abstandsvergrößerung bei den Messelektroden können immer tiefere Schichten in den Messraum einbezogen werden (elektrische Sondierung). Wird jedoch der Boden mit einer festen Messgeometrie abgetastet, so wird immer der gleiche Halbraum bestrichen und der Widerstand in einem Schichtpaket mit konstanter Mächtigkeit ermittelt (elektrische Kartierung). Während früher noch einfache 4-Punkt Anordnungen dominierten, wird in neuerer Zeit mit so genannten Multi-Elektrodenanlagen gearbeitet. In diesem Fallbeispiel wurden Ketten mit insgesamt 86 Elektroden eingesetzt um den Untergrund zu untersuchen. Insgesamt wurden zwei Profile geoelektrisch vermessen.

2.2.2 GeoRADAR

Das Georadar (GPR) ist ein geophysikalisches Verfahren, bei dem kurze elektromagnetische Impulse von der Oberfläche aus in den Untergrund eingestrahlt werden. Die elektromagnetischen Wellen werden an Grenzschichten oder Objekten reflektiert und so wieder zur Oberfläche zurückgeworfen. Mittels einer Empfangsantenne können diese reflektierten Signale aufgezeichnet werden. Aus der Laufzeit – d.h. aus der Zeitdifferenz zwischen dem Austritt aus der Sendeantenne und dem Eintritt in der Empfangsantenne – sowie aus der Dämpfung des Signals – lassen sich Aussagen über die Lage und den Charakter der erfassten Geologie gewinnen. Das GPR entspricht in seiner Wirkungsweise dem Echolot.

Als Instrument wurde ein SIR-2 mit einer 200 MHz Antenne eingesetzt. Sender & Empfänger wurden normal zur Profilrichtung geführt. Folgende Akquisitionsparameter wurden eingehalten

- Laterale Messpunktentfernung jeweils 5 cm;
- Streckenmessung über Maßband, keine Kontrollpunkte, absoluter Lagefehler wird mit ± 0.5 m angesetzt;
- 1024 Stapelungen pro Messpunkt.

Durchgeführt wurden jeweils eine Hin- und eine Rück- Messung entlang der Zufahrtsstrasse. Die Hin-Messung, Profil P229 / **Abbildung 12**, startete beim Schranken und verlief flussabwärts. Zur Qualitätssicherung wurde eine Rückmessung durchgeführt. Zum Vergleich wurde die Rückmessung gespiegelt und der ersten Messung gegenübergestellt, Profil P232 / **Abbildung 13**.

2.2.3 Refraktionsseismik

Als zusätzliche geophysikalische Methode kam die Refraktionsseismik (Hammerschlagseismik, 24 Kanal) zum Einsatz. Anhand von einem Profilschnitt wurde komplementär zu den geoelektrischen Messungen die laterale und vertikale Ausdehnung der geologischen Schichten verfolgt. Die Lage der beiden Refraktionsprofile ist aus **Abbildung 14** ersichtlich.

3 EREGBNISSE

Die geophysikalischen Ergebnisse werden im Sinne der Aufgabenstellung gedeutet, d.h. der Schichtaufbau bzw. die Schichtmächtigkeit unterhalb des Güterweges muss im Sinne des anstehenden Haldenhanges oder der Mächtigkeit der Schutthalde angesprochen werden.

3.1 Geoelektrik

Die geoelektrischen Daten wurden mit dem Algorithmus von LOKE (2004) invertiert. Eine Darstellung der eigentlichen Rohdaten sowie qualitätskontrollierenden Begleitdaten finden sich in **Abbildung 10**. Die Diskussion der Inversionsergebnisse ergibt sich aus **Abbildung 11a** - Die Widerstandsverteilung erstreckt sich von geringohmigen Zonen mit einem spezifischen Widerstand $< 10 \Omega \text{ m}$ bis $< 2000 \Omega \text{ m}$. Die hochohmigen Zonen, d.h. Bereiche mit Widerständen $> 2000 \Omega \text{ m}$ werden mit dem anstehenden Mauthauser Granit in Verbindung gebracht, woraus sich ein generalisiertes Widerstandsprofil gemäß **Abbildung 11b** ergibt².

3.2 Georadar

Das Georadar, ausgewertet bis zu einer Eindringtiefe von 9 m, zeigt ein undulierendes Reflexionsband, welches bei Profilmeter +140 seine größte Breite aufweist.

² In den Abbildungen **11a, b** sowie **17** ist im nördlichen Liegenden eine Zone mittels Umrandung markiert – das Widerstandsbild zeigt hier eine Abnahme des Widerstandes unter $2 \text{ k}\Omega$. Dadurch könnte der Eindruck entstehen, dass an dieser Stelle der Mauthauser Granit von der Hangschuttmasse unterschritten wird. Dies ist ein nicht zulässiges geologisches Modell! Die richtige Deutung dieser Zone ist die eines reinen numerischen Artefakts, welcher durch die Zunahme eines topographischen Effektes entsteht und für die eigentliche geologische Deutung / Interpretation nicht berücksichtigt wird.

3.3 Refraktionsseismik

In den **Abbildungen 15** und **16** sind als Ergebnis die Schicht- / Geschwindigkeitsprofile beigelegt. Beide Profile zeigen einen 3-Schichtfall. Die Schichtgeschwindigkeit der Liegendschicht variiert zwischen 4000 m s^{-1} und 4800 m s^{-1} . Ausgehend von der Erfahrung und der Standardliteratur, z.B. MILITZER *et al* (1986), muss die unterste Schicht als anstehender Granit interpretiert werden. Im Sinne der Aufgabenstellung entspricht das dem Haldenhang. Die Schichtoberkannte zeigt ein deutliches Relief mit einer Hochlage im Profil 2 / Profilmeter +130. Der tiefste Punkt des Haldenhanges ist im Profil 2 / Profilmeter +120 nachgewiesen. Im Hangenden dazu findet sich Hangschutt bzw. die Hangschwarte mit einer mittleren seismischen Geschwindigkeit von 1800 m s^{-1} und Mächtigkeiten zwischen 2 und 7 m. Die oberflächennahe Schicht stellt sich durch eine seismische Geschwindigkeit $< 800 \text{ m s}^{-1}$ und einer mittleren Mächtigkeit von 2.5 m dar. Diese Schicht wird als rezente Auflage angesprochen.

4 DISKUSSION

Abbildung 17 zeigt die Zusammenschau der Einzelergebnisse der drei eingesetzten geophysikalischen Methoden. Die jeweiligen Methoden fügen sich zu einem ergänzenden, widerspruchsfreien Bild zusammen. Im Bereich der Schadenszone – grau unterlegter Profilmereich / **Position A** – liegt gemäß der Refraktionsseismik der Relieftiefpunkt des anstehenden Haldenhanges.

Zwar zeichnet das GeoRADAR die Unterkante der rezenten Verwitterungsschicht nach, erreicht aber die Reliefoberkante des Anstehenden nicht. Die eingeschränkte Eindringtiefe des GeoRADAR ist mit dem erhöhten Anteil an Feinklasitika in der Hangschwarte sowie der allgemeinen Hanghydrologie erklärbar.

Der generalisierte geoelektrische Befund zeichnet ebenfalls die Reliefoberkante des Haldenhanges nach. Die Reliefhochlagen (**Position B**) und Relieftieflagen (**Position A & C**) aus Geoelektrik und Seismik bilden sich an gleicher Stelle ab. Hochohmige Boudinagestrukturen im Hangschutt können als grobe, in der Schuttmatrix herabschwimmende, Einzelblöcke (Profilmeter +80 bis +140) gedeutet werden, cf. gelbe Umrandung in **Abbildung 08**. Dagegen findet eine weitere Relieftieflage (**Position D**) kein seismisches Analogon.

5 RESUMÉÉ

Im Schadensbereich (Profilmeter +35 bis +62) fügen sich seismischer und geoelektrischer Befund sich zu einem widerspruchslosen Bild zusammen: Die relative Mächtigkeit der Schutthalde muss mit 10 bis 12 m angenommen werden. Im Sinne der Aufgabenstellung muss seitens der Geophysik die Antwort bereitgestellt werden, dass die Gründung des Güterweges in der eher schwach konsolidierten Sturzhalde stattgefunden hat.

Im Sinne des Projektzieles muss für derartige Fragestellungen eine Methodenkombination von Seismik und Geoelektrik empfohlen werden.

6 LITERATUR

- BRÜGGEMANN, HORST; FINGER, FRIEDRICH, 2002: Blatt 33 Steyregg, 1:50.000, 1 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt, Wien;
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G., [Hrsg.] 1997: Geophysik – Springer, 1- 1063, Berlin;
- LOKE, M. H., 2004: 2-D and 3-D electrical imaging surveys – Tutorial (*Revisionsdatum 2004-06-24*), www.goelectrical.com, 1-135;
- LOUIS, H., 1968: Allgemeine Geomorphologie - Walther de Gruyter, 1-522, Berlin
- MAURITCH, H., SEIBERL, W., ARNDT, R., RÖMER, A., SCHNEIDERBAUER, K., SENDLHOFER, G., 2000: Geophysical Investigation Of Large Landslides In The Carnic Region Of Southern Austria - Engineering Geology, 56, 373-388;
- MCCANN, D. M., FORSTER, A., 1990: “*Reconnaissance geophysical methods in landslide investigations*” – Engineering Geology, **29**, 59-78;
- MILITZER, H., SCHÖN, J., STÖTZNER, U., 1986: Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau, 2. Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1-419, Leipzig

7 DANKSAGUNG

Das Projektteam möchte sich für die Mitarbeit von Mag. WOLFGANG STRAKA / BOKU (Allgemeine Vorarbeiten) herzlich bedanken.

B ABBILDUNGEN

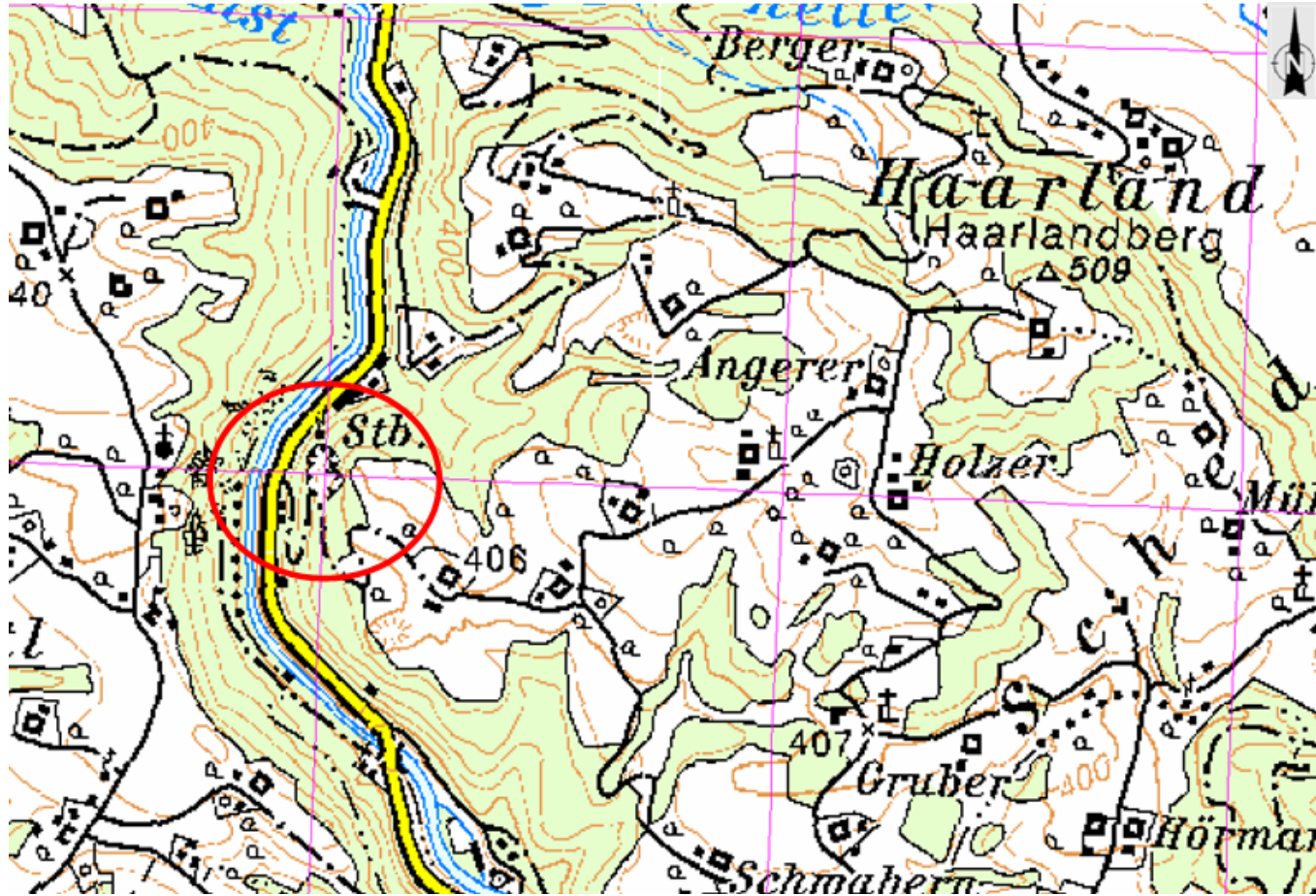
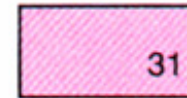
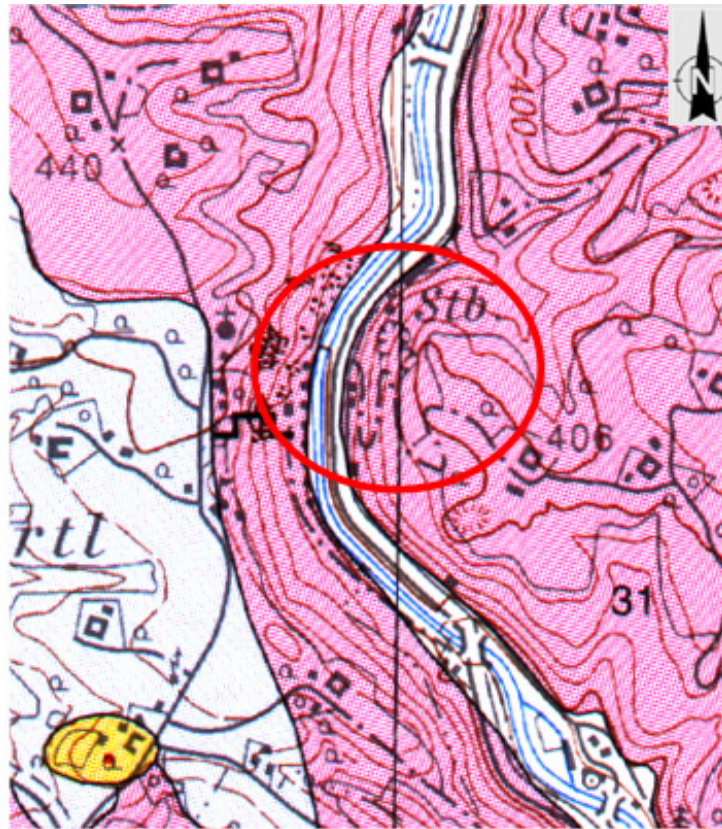


Abbildung 01
Geographischer Lageplan – entnommen aus AMap3 des BEV



Abbildung 02
Luftbild des Messgebietes - entnommen aus Doris 2000 OÖ



Mauthausener Granit

Abbildung 03

Geologischer Lageplan – entnommen geologischen Karte Oberösterreich, 1:200,000, Geologische Bundesanstalt, Wien



Abbildung 04
Blick vom Gegenhang Richtung N mit Sternchenhäusern



Abbildung 05
Blick vom Gegenhang Richtung E mit Schutzobjekt



Abbildung 06

Blick nach N entlang des Messprofils, im linken Bildrand ist die Rückseite des Schutzobjektes zu erkennen;



Abbildung 07
Blick nach N entlang des Messprofils mit Hangschwarte



Abbildung 08
Blick nach E, Detailaufnahme der mobilen Hangschwarte



Abbildung 09
Blick nach S, Detailliertes Schadensbild am Güterweg hinter dem Schutzobjekt

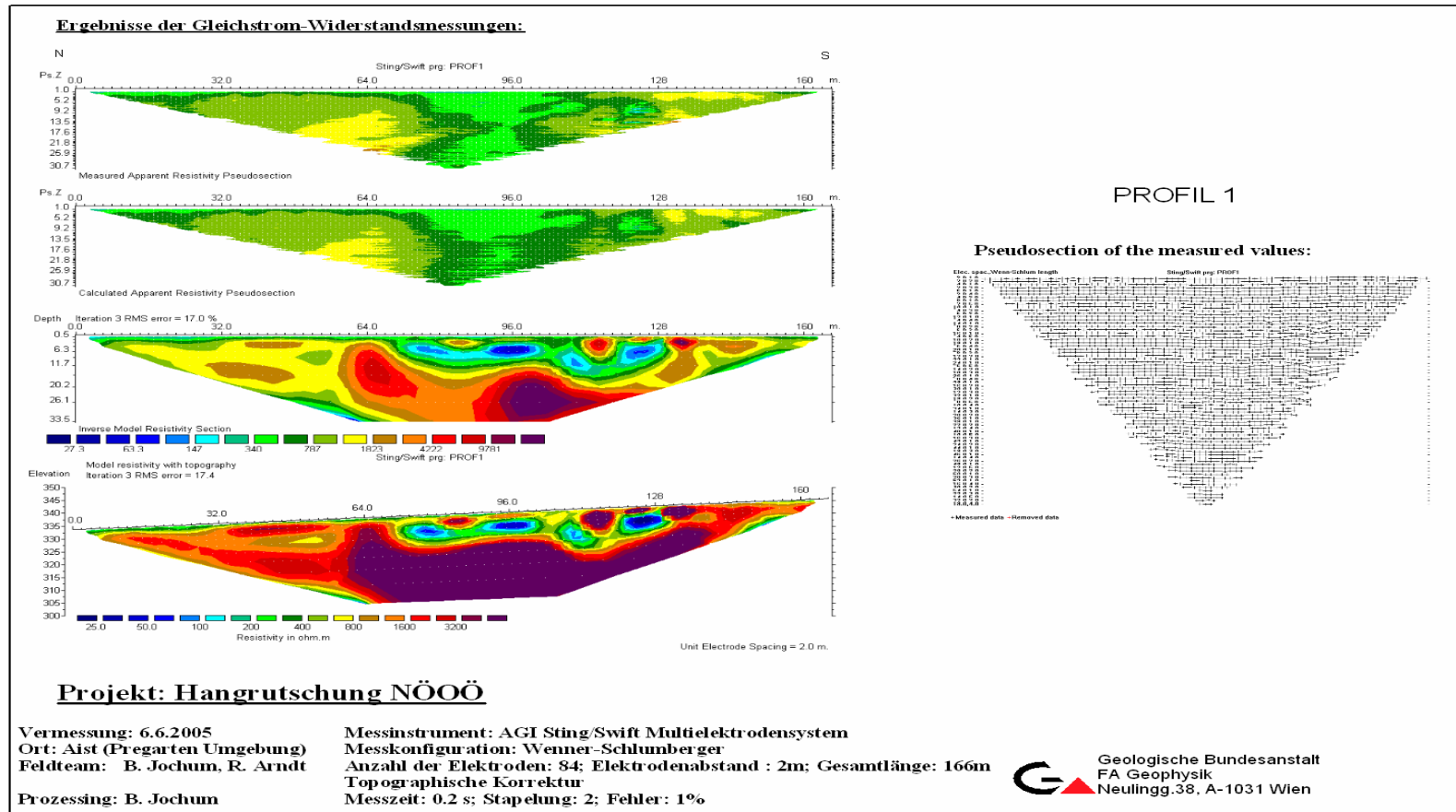


Abbildung 10
 Prozessing Geoelektrik

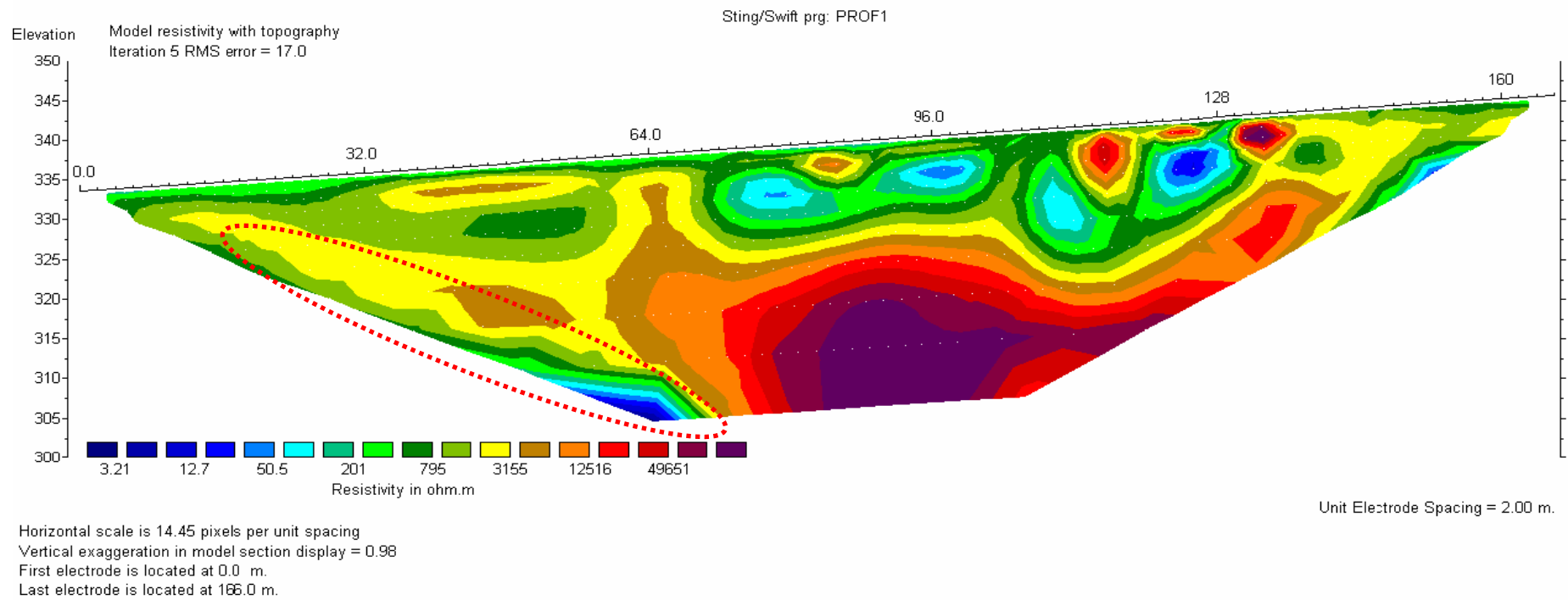


Abbildung 11a
Detail Geoelektrik – Widerstandssektion

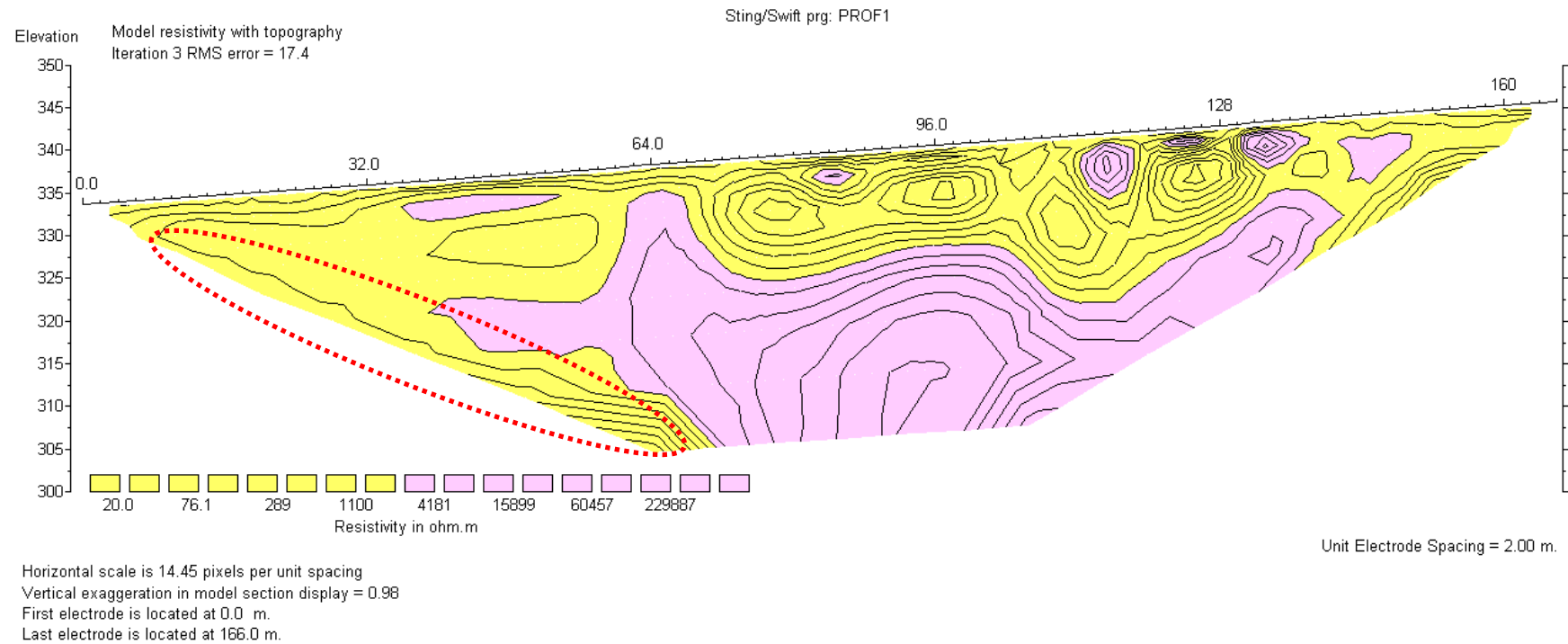


Abbildung 11b
Detail Geoelektrik – Generalisierte Widerstandssektion

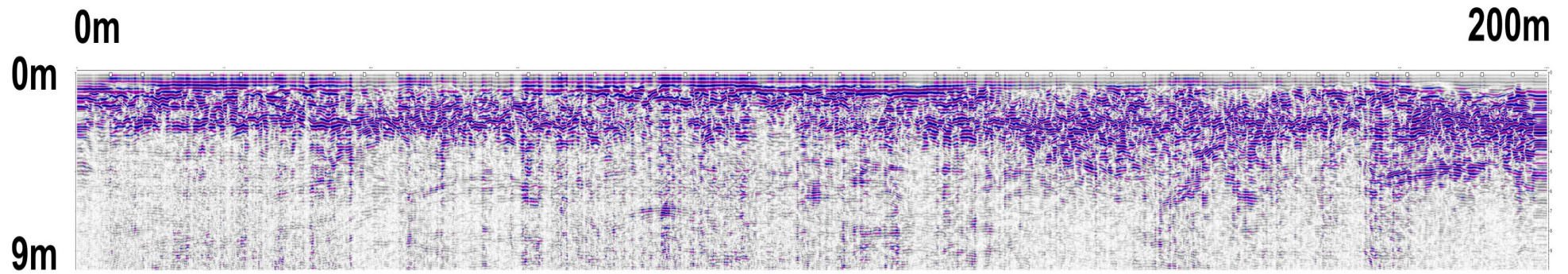


Abbildung 12
Radargramm

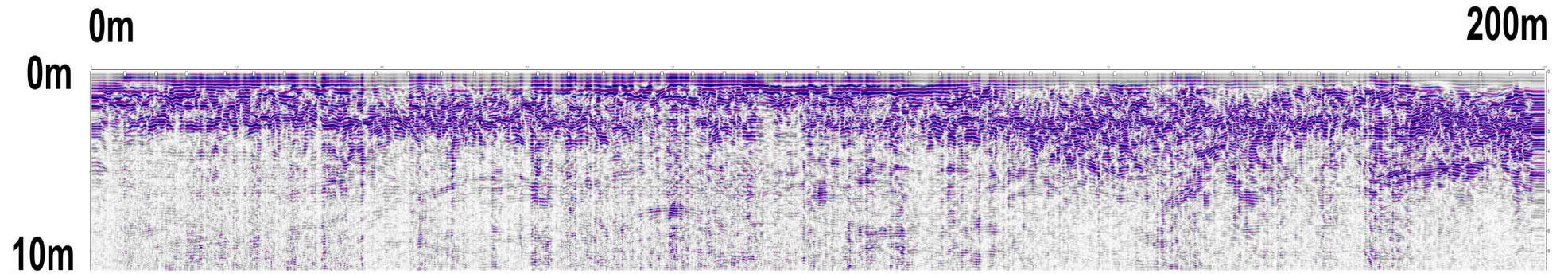


Abbildung 13
Radargramm



Abbildung 14
Lage der beiden bergseitigen Profile Refraktionsseismik

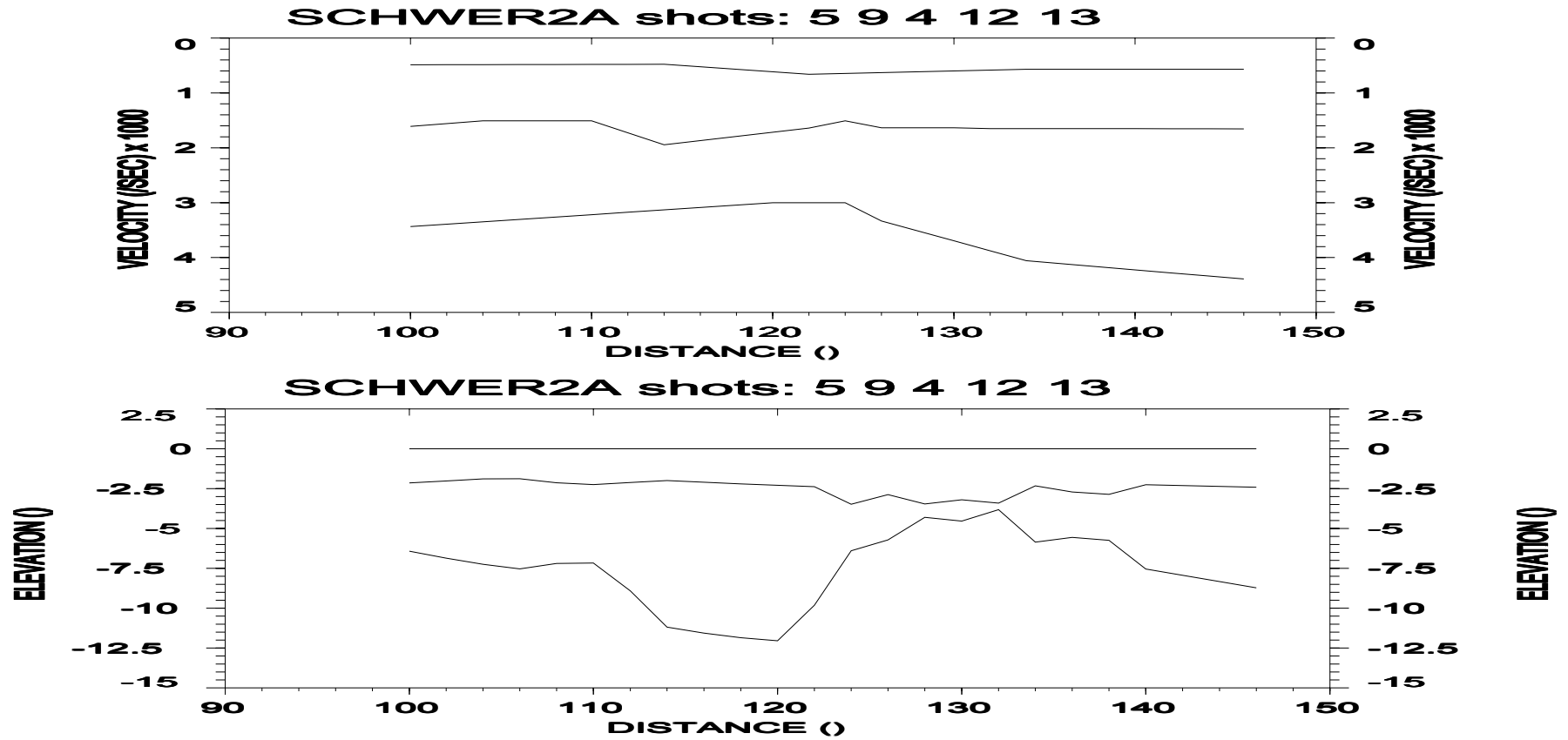


Abbildung 15
Auswertung Refraktionsseismik, Profil 2

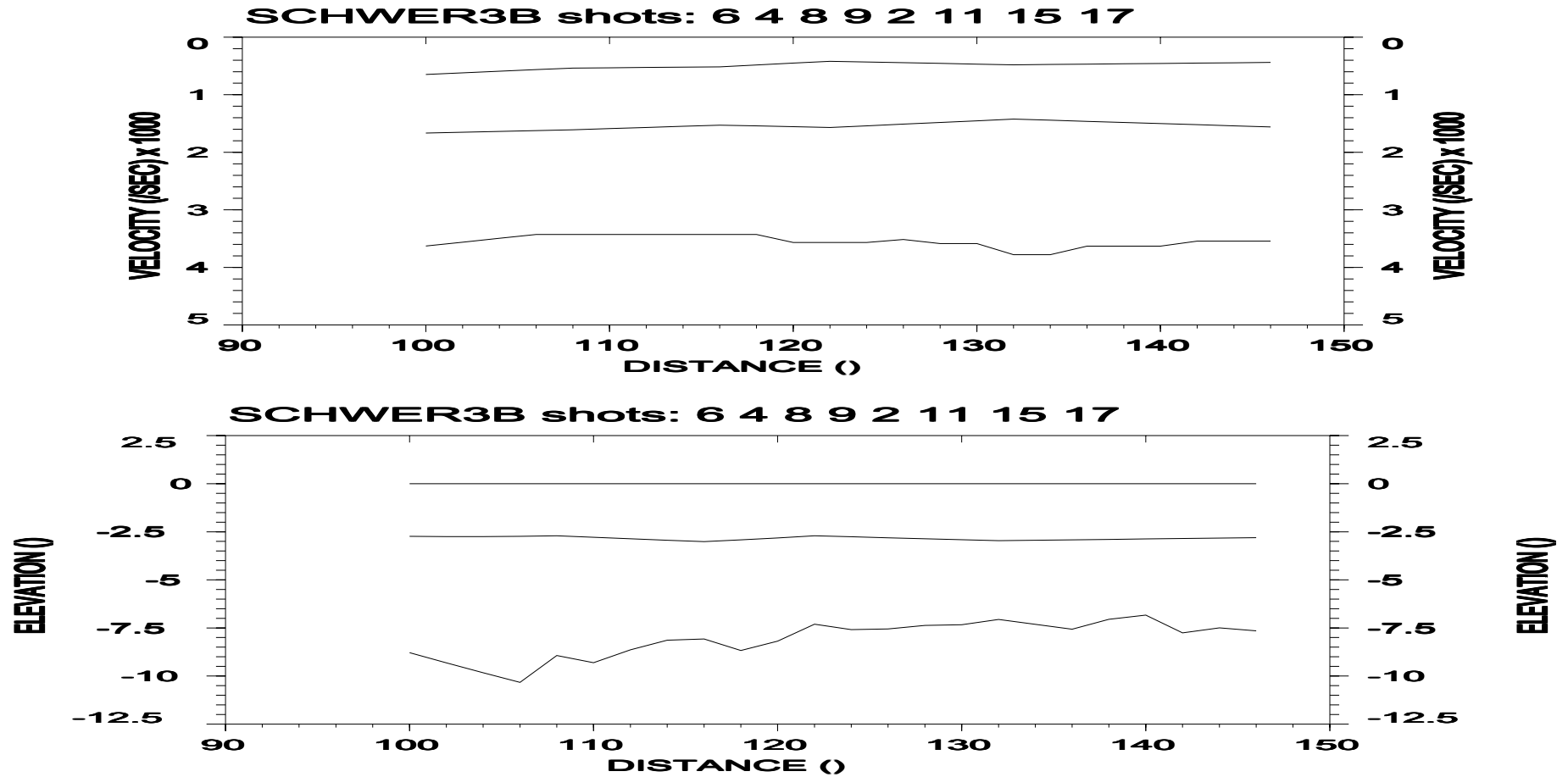
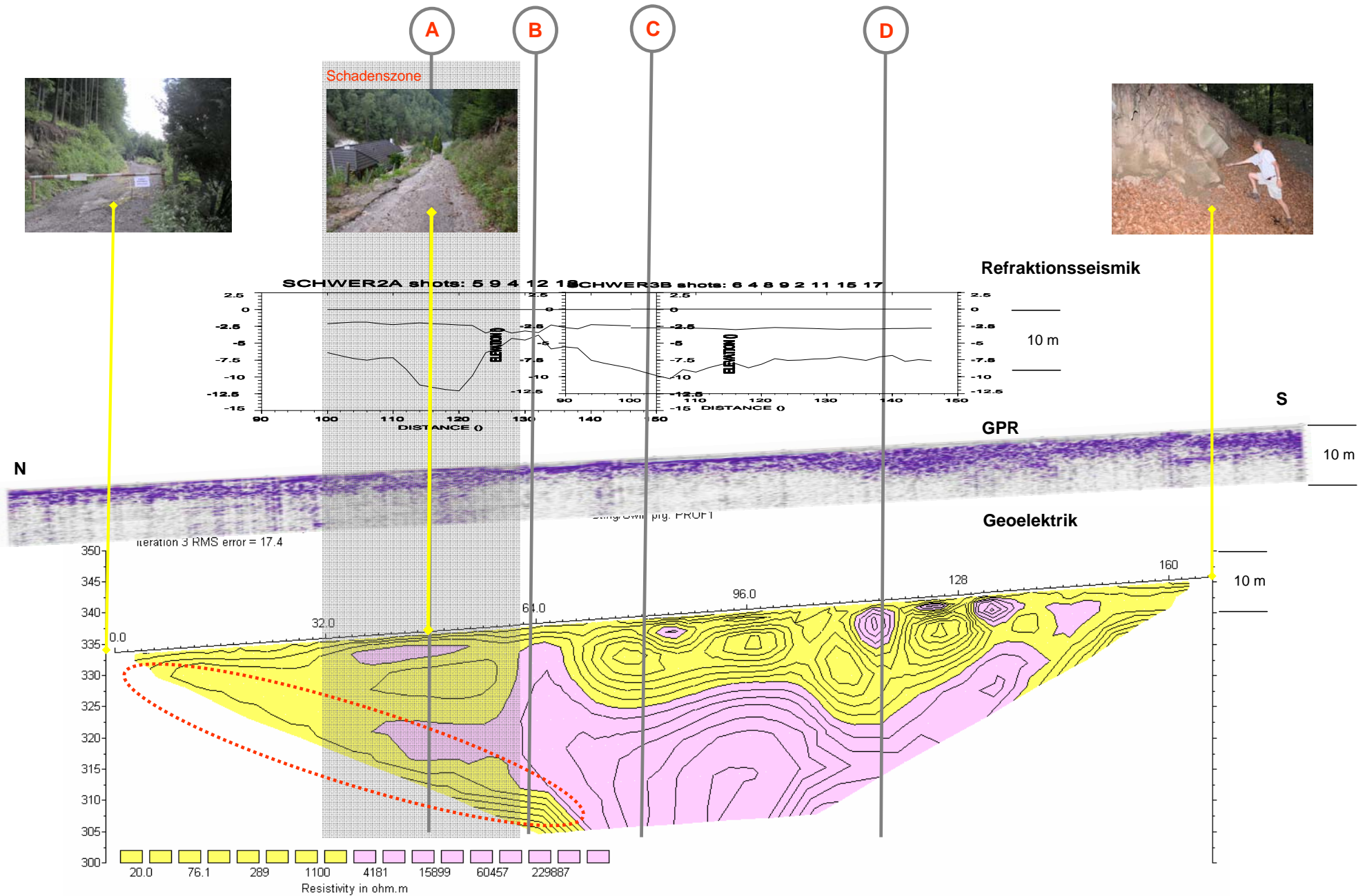


Abbildung 16
Auswertung Refraktionsseismik, Profil 3



Horizontal scale is 14.45 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 0.98
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 166.0 m.

Unit Electrode Spacing = 2.00 m.

Abbildung 17
 Fallstudie Lokalität Aist
Zusammenschau Geophysik
 Erklärungen siehe Text