AlpTransit

Schlussbericht Seismik 1990

28.03.91

BAV Vertrag 90.023

GeoExpert

Alpdok
Datum: 28.03.91
AT-Code: FKGA 3.202.08 140.00

AlpTransit

SCHLUSSBERICHT

Seismik 1990

GeoExpert ag Bahnhofstrasse 35 CH-8603 Schwerzenbach Tel. 01-945 62 82, Fax 01-945 62 83

Auftraggeber	Bundesamt für Verkehr Bundeshaus Nord 3003 Bern
Vertrag Nr.	BAV Vertrag 90.023
Vertragsgegenstand	AlpTransit Seismik 1990
Auftragnehmer	GeoExpert ag Bahnhofstrasse 35 8603 Schwerzenbach
Projektbegleitung und Stabsorgan PL-B	Ernst Basler & Partner AG Ingenieurunternehmen Zollikersterasse 65 8702 Zollikon

Schwerzenbach, 28. März 1991

CC/WF/LJ/RL/PM/AP/WS

Walter Frei
Geschäftleiter GeoExpert ag

VORWORT

Der vorliegende Bericht entstand in Zusammenarbeit der GeoExpert ag mit Prof. Dr. A. Pfiffner, Geologisches Institut der Universität Bern. Prof. Pfiffner hat das Messprogramm geologisch betreut und den Teil der geologischen Interpretation verfasst. Für die Projektleitung, die geophysikalischen Feldaufnahmen und die EDV-Auswertung zeichnet die GeoExpert ag verantwortlich.

Der Bericht gliedert sich thematisch in *7 Kapitel:*

Kapitel 1 gibt eine allgemeine Übersicht über die ausgeführten Arbeiten und erläutert Aspekte der Organisation und der praktischen Abwicklung. Einige theoretische Grundlagen und die Methodik der Reflexionsseismik werden zusammenfassend vorgestellt. Kapitel 1 richtet sich an diejenigen Leser, die sich über die geologischen Aussagen der Messungen hinaus ein Bild über die Wirkungsweise dieses geophysikalischen Verfahrens verschaffen möchten.

In den Kapiteln 2 bis 7 werden die Messungen und deren Ergebnisse in den verschiedenen Untersuchungsgebieten diskutiert. Die ersten beiden Kapitel betreffen die Messgebiete Piora / Lukmanier und das Öfital auf der Gotthardachse. Die Kapitel 4 bis 7 behandeln in dieser Reihenfolge das Gasterntal, das Gebiet Eggeschwand bei Kandersteg, das Öschinental und das Kandertal von Kandersteg bis Reichenbach.

In einer *beschränkten Auflage* ist dem Bericht ein *erweiterter Anhang* mit den Exemplaren aller seismischen Profile in Originalgrösse beigelegt. Diese erweiterte Version ist in erster Linie den Abschnittsgeologen vorbehalten.

Reflexionsseismische Profilschnitte von längeren Messlinien müssen für die Darstellung auf A4-Format so stark verkleinert werden, dass oft ein Teil der Detailgenauigkeit und der Aussagekraft verloren geht. Je nach Länge der Linie wurde im Bericht ein für die Darstellung entsprechender Verkleinerungsfaktor verwendet. Der Informationsgehalt der Daten ist jedoch durch die Interpretation der Ergebnisse in Form von geologischen Profilschnitten gewährleistet. In diesem Sinne ist der Hauptteil des Berichts vollständig.

Es versteht sich, dass der Bericht nicht alle geologischen Problemstellungen erschöpfend behandeln kann. Es ist möglich, dass sich aus den seismischen Daten durch eine den besonderen Fragestellungen angepasste Wiederverarbeitung "noch mehr herausholen" lässt. Die Abschnittsgeologen sind deshalb eingeladen, bei Unklarheiten mit den Verfassern Kontakt aufzunehmen.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	ALLGEMEINE UMSCHREIBUNG DER MESSUNGEN	1.1
1.1	VERZEICHNIS DER AN DEN MESSUNGEN BETEILIGTEN INSTITUTE UND FIRMEN	1.1
1.2	ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHGEFüHRTEN ARBEITEN	1.2
1.3	ZUR ORGANISATION DER MESSUNGEN	1.8
1.4	DIE ZEITLICHE ABWICKLUNG	1.11
1.5	DIE MESSMETHODEN DER SEISMISCHEN ERKUNDUNG	1.12
1.5.1	Grundlagen	1.12
1.5.2	Die Technik der Datenerfassung im Feld	1.13
1.5.3	Das Prinzip der Mehrfachüberdeckung	1.14
1.5.4	Zur Wahl der Akquisitionsparameter	1.16
1.6	DAS VERFAHREN DER SEISMISCHEN EDV	1.18
1.7	ZUR GEOLOGISCHEN INTERPRETATION REFLEXIONSSEISMISCHER PROFILE	1.21
1.7.1	Die Art der Darstellung	1.21
1.7.2	Die Genauigkeit der Geschwindigkeiten bei der Umwandlung von Laufzeiten in Tiefenangaben	1.22
1.7.3	Die Frage der Migration	1.22
1.7.4	Legende für die Bezeichnung der Reflektoren	1.23
	LITERATURANGABEN	1.23
2	DIE MESSUNGEN IM PIORA / LUKMANIER GEBIET	2.1
2.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	2.1
2.2	DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGEN AUS DEM JAHRE 1972	2.1
2.3	DIE SEISMISCHEN FELDARBEITEN	2.2
2.3.1	Die Wahl der Aufnahmeparameter	2.2
2.3.2	Planung und logistische Aspekte	2.3
2.3.3	Einzelheiten zum Ablauf der Feldarbeiten	2.4
2.4	DIE EDV-AUSWERTUNG	2.6
2.5	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	2.6
2.6	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	2.8
	LITERATUR	2.9
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 2 (13 Abbildungen, Seiten 2.11 - 2.23)	2.10

3	**DIE MESSUNGEN IM ÖFITAL**	3.1
3.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	3.1
3.2	DIE FELDARBEITEN	3.1
3.2.1	Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten	3.1
3.2.2	Das Messprogramm	3.1
3.2.3	Die Bohrarbeiten	3.2
3.2.4	Die Registrierarbeiten	3.2
3.3	DIE EDV-AUSWERTUNG	3.3
3.4	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	3.3
3.5	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	3.4
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 3 (8 Abbildungen, Seiten 3.5 - 3.12)	3.4
4	**DIE MESSUNGEN IM GASTERNTAL**	4.1
4.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	4.1
4.2	DIE FELDARBEITEN	4.1
4.2.1	Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten	4.1
4.2.2	Das Messprogramm	4.2
4.2.3	Die Bohrarbeiten	4.2
4.2.4	Die Registrierarbeiten	4.3
4.3	DIE EDV-AUSWERTUNG	4.4
4.4	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	4.4
4.5	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	4.6
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 4 (15 Abbildungen, Seiten 4.7 - 4.21)	4.6
5	**DIE MESSUNGEN BEI EGGESCHWAND (KANDERSTEG)**	5.1
5.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	5.1
5.2	DIE FELDARBEITEN	5.1
5.2.1	Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten	5.1
5.2.2	Das Messprogramm	5.2
5.2.3	Die Bohrarbeiten	5.2
5.2.4	Die Registrierarbeiten	5.3
5.5	DIE EDV-AUSWERTUNG	5.3
5.4	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	5.4
5.5	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	5.5
	LITERATUR	5.5
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 5 (9 Abbildungen, Seiten 5.7 - 5.15)	5.5

6	**DIE MESSUNGEN IM ÖSCHINENTAL**	6.1
6.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	6.1
6.2	DIE FELDARBEITEN	6.1
6.2.1	Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten	6.1
6.2.2	Das Messprogramm	6.2
6.2.3	Die Bohrarbeiten	6.2
6.2.4	Die Registrierarbeiten	6.3
6.3	DIE EDV-AUSWERTUNG	6.3
6.4	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	6.3
6.5	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	6.5
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 6 (14 Abbildungen, Seiten 6.7 - 6.20)	6.5
7	**DIE MESSUNGEN IM UNTEREN KANDERTAL**	7.1
7.1	ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG	7.1
7.2	DIE FELDARBEITEN	7.1
7.2.1	Zeitlicher Ablauf	7.1
7.2.2	Das Messprogramm	7.2
7.2.3	Die Bohrarbeiten	7.2
7.2.4	Die Registrierarbeiten	7.3
7.3	DIE EDV-AUSWERTUNG	7.3
7.4	DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION	7.4
7.5	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	7.7
	VERZEICHNIS DER DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 7 (15 Abbildungen, Seiten 7.9 - 7.21 und 2 Sichtmappen)	7.8

VERZEICHNIS DER BEILAGEN IM ERWEITERTEN ANHANG

Nr.	Anlage
A1	Bericht Prakla-Seismos AG über die Feldarbeiten im Piora/Lukmanier Gebiet
A2	Bericht Prakla-Seismos AG über die Feldarbeiten im Kandertal
	Seismische Profile im Gebiet Piora / Lukmanier
A3	Profil NEAT9002-1
A4	Profil NEAT9002-1W
A5	Profil NEAT9002-1E
A6	Profil NEAT9002-2
A7	Profil NEAT9002-3
A8	Profil NEAT9002-4
	Seismische Profile im Öfital
A9	Profil GOBA9001
A10	Profil GOBA9002
	Seismische Profile im Gasterntal
	hinteres Gasterntal
A11	Profil LOET9012 Sprengseismik
A12	Profil LOET9012 Fallgewicht
A13	Profil LOET9013-A
A14	Profil LOET9013-B
A15	Profil LOET9016
A16	Profil LOET9017
	vorderes Gasterntal
A17	Profil LOET9011
A18	Profil LOET9015
	Regionalprofil im Gasterntal
A19	Profil NEAT9001 Sprengseismik
	Seismische Profile bei Eggeschwand (Kandersteg)
A20	Profil LOET9010 Sprengseismik
A21	Profil LOET9010 Fallgewicht
A22	Profil LOET9014 Sprengseismik
A23	Profil LOET9014 Fallgewicht
A24	Profil LOET9021
	Seismische Profile im Öschinental
A25	Profil LOET9006
A26	Profil LOET9007
A27	Profil LOET9008
A28	Profil LOET9009
	Seismische Profile im unteren Kandertal
A29	Profil LOET9003 (Frutigen)
A30	Profil LOET9005-A (Kandergrund)
A31	Profil LOET9005-B (Kandergrund)
A32	Profil LOET9020 (Tellenburg, Frutigen)
	Regionalprofil Kandersteg - Reichenbach
A33	Profil NEAT9001

1 ALLGEMEINE UMSCHREIBUNG DER MESSUNGEN

1.1 VERZEICHNIS DER AN DEN MESSUNGEN BETEILIGTEN INSTITUTE UND FIRMEN

INSTITUT / FIRMA	*AUSGEFÜHRTE ARBEITEN*
Prakla-Seismos AG Buchholzerstrasse 100 D - 3000 Hannover 51	Seismische Feldaufnahme Profile NEAT9001, NEAT9002, LOET9003, LOET9006, LOET9009; Bohrarbeiten LOET9003 und Helidrill Bohrungen NEAT9002 (Piora/Lukmanier)
Bereuter Sprengtechnik AG Schützenstrasse 55 8604 Volketswil	Sämtliche übrigen Bohrarbeiten; Sämtliche Sprengarbeiten
Heliswiss AG 6472 Erstfeld	Helikopterunterstützung Profil NEAT9002 (Piora/Lukmanier)
PEMES Relations Publiques Jacques R. Favre 59, rue de Lausanne 1030 Bussigny VD	Öffentlichkeitsarbeit (Permitting) im Kandertal
Luca Bonzanigo Geologo ETH/SIA Viale Stazione 14 a 6501 Bellinzona	Beratung und Öffentlichkeitsarbeit (Permitting) im Gebiet Piora/Lukmanier
Institut für Geophysik ETHZ (Dr. M. Stäuble, H. Horstmeyer) ETH-Hönggerberg 8093 Zürich	Beratung und EDV Profil NEAT9002; Benutzung des seismischen Rechenzentrums PHOENIX durch GeoExpert ag
Prof. Dr. A. Pfiffner Geologisches Institut der Universität Baltzerstrasse 1 3012 Bern	Geologische Betreuung, Geologische Interpretation
GeoExpert ag Hinterbüelstrasse 3 8307 Effretikon	Auftragnehmer; Programmleitung; Permitting im Kandertal, Val Medels (GR) und im Öfital (UR); seismische Feldaufnahmen und EDV-Auswertung; Berichterstattung

1.2 ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHGEFÜHRTEN ARBEITEN

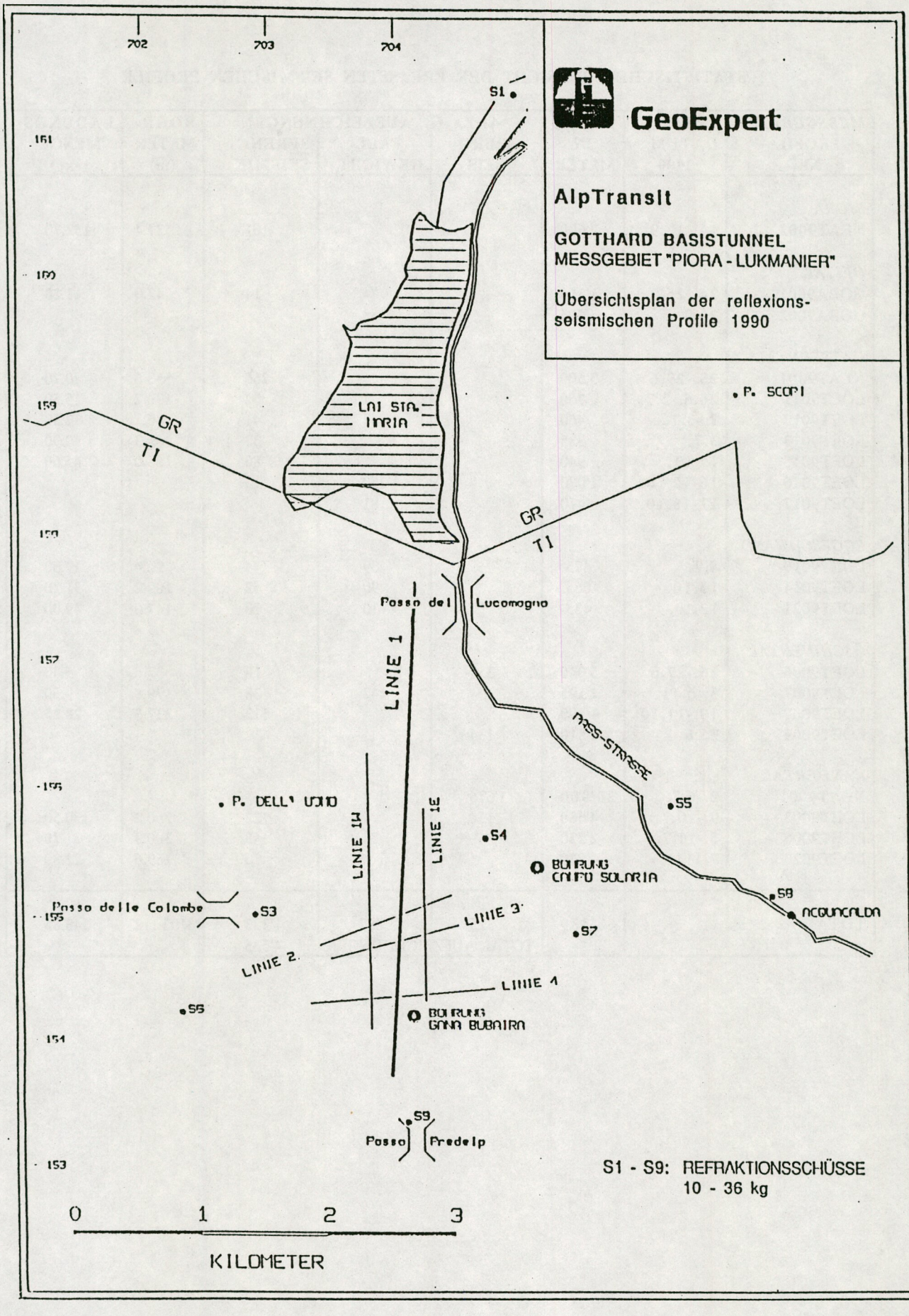
Auf den Seiten 1.4 bis 1.7 sind die Situationspläne der Untersuchungsgebiete Piora / Lukmanier, Öfital, oberes Kandertal (Gasterntal, Eggeschwand, Öschinental) und unteres Kandertal (Kandergrund, Frutigen) dargestellt.

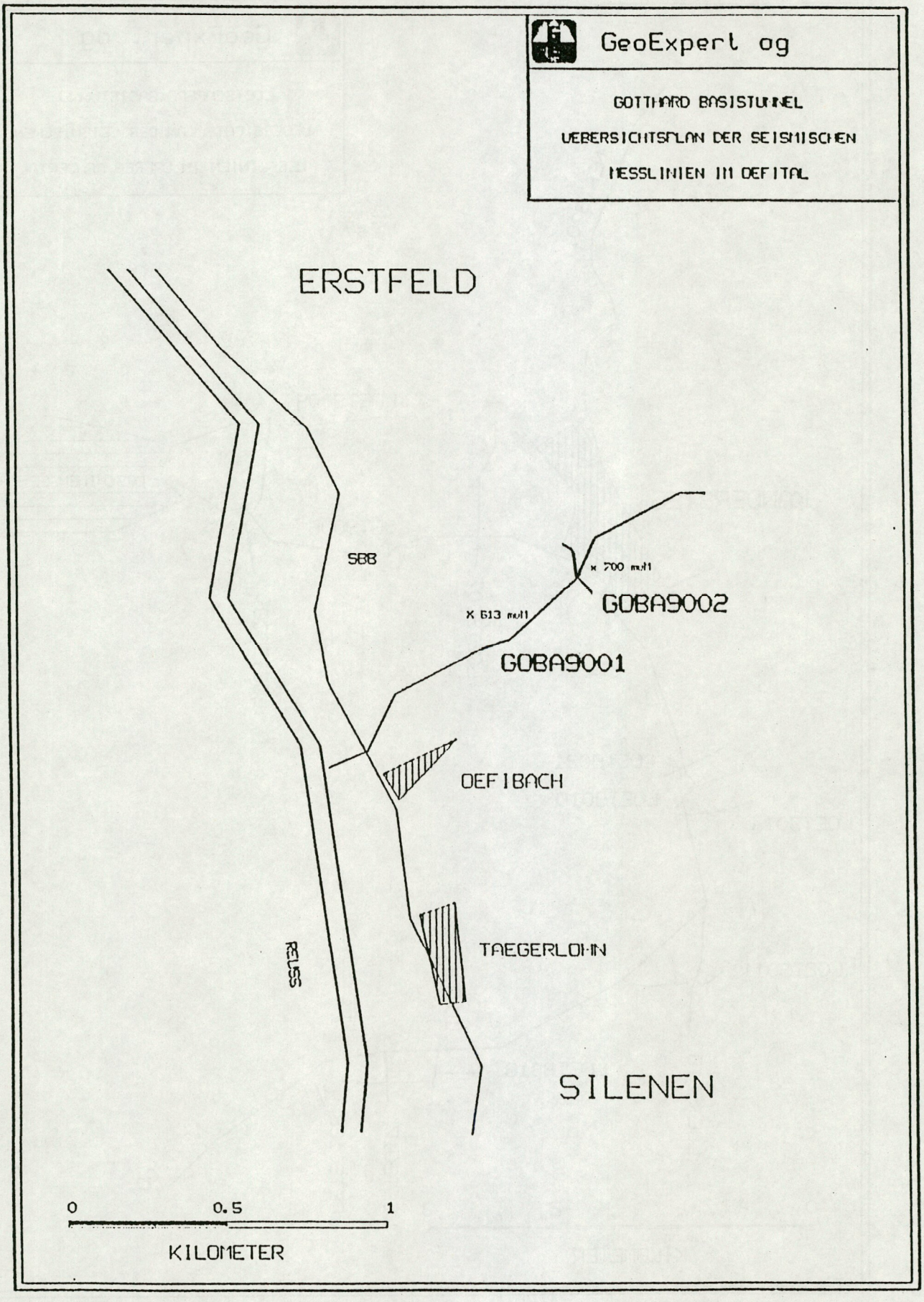
Die Benennung der seismischen Profile richtet sich nach internationalen Gepflogenheiten mit einer achtstelligen alpha-numerischen Bezeichnung. Im Namen enthalten sind eine Laufnummer, das Jahr der Feldaufnahme und eine Bezeichnung für den Auftraggeber oder das Messgebiet. Für die in diesem Bericht beschriebene Messkampagne tragen seismische Profile von regionaler Bedeutung eine Abkürzung des Auftraggebers (NEAT9001, NEAT9002). Kürzere Profile von lokaler Bedeutung bezeichneten wir mit einer Abkürzung des Projekts: *LOET90nn* für den LOETschberg Basistunnel und *GOBA90nn* für den GOtthard BAsistunnel.

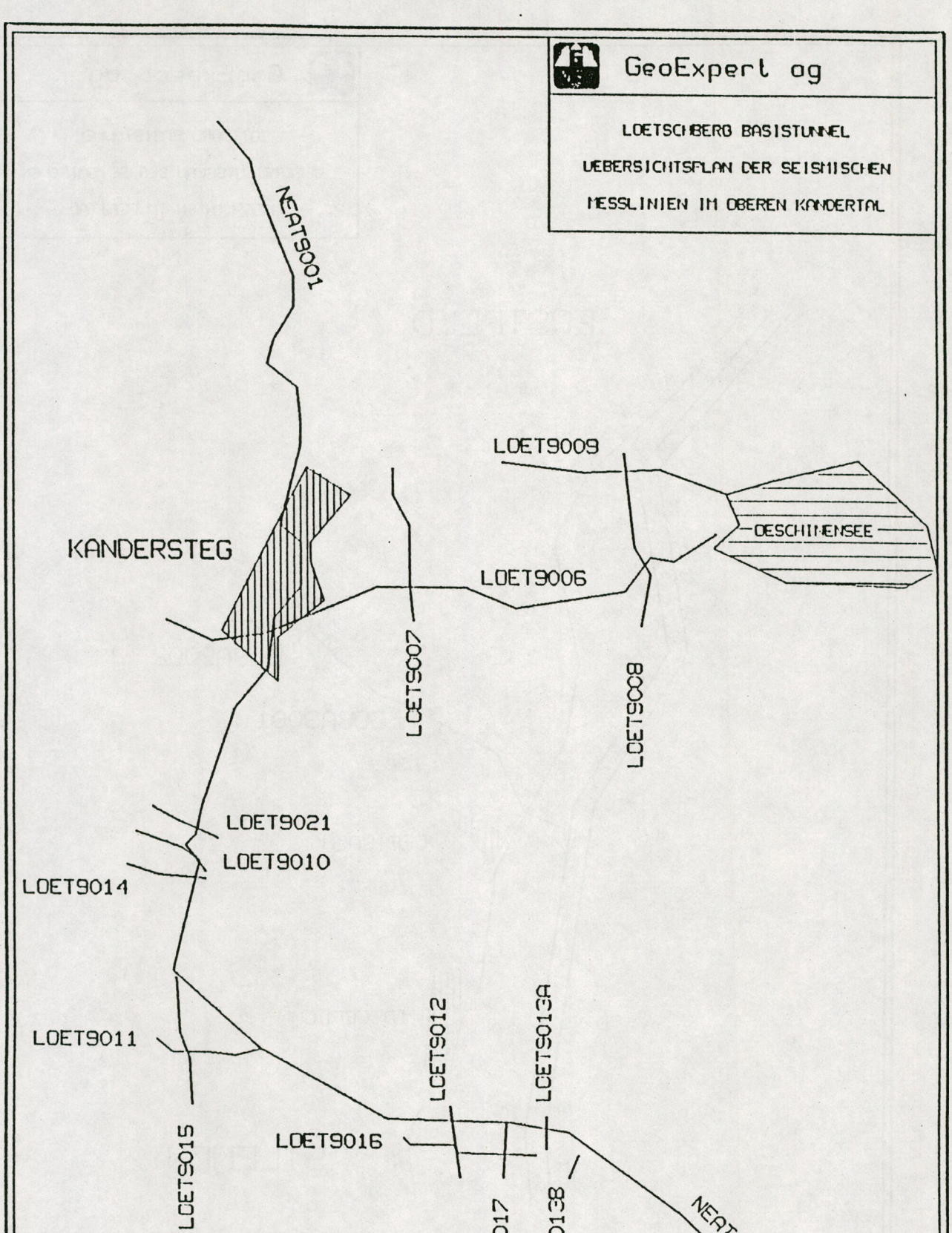
Die Tabelle auf der nächsten Seite gibt eine statistische Übersicht über die in den verschiedenen Untersuchungsgebieten erfassten seismischen Profile. Je nach Problemstellung (s. Kapitel 1.5) kamen unterschiedliche seismische Energiequellen zur Anwendung. Die Rubrik ANZAHL AUFZEICHNUNGEN bezeichnet die Anzahl der sog. *field records*, d.h. die in regelmässigen Abständen entlang der Messstrecken getätigten und registrierten seismischen Anregungen mit den verschiedenen Energiequellen. Die Kolonnen BOHRMETER und LADUNGSMENGE betreffen die Sprengseismik und geben den Umfang der getätigten Bohrarbeiten und den Sprengstoffverbrauch an.

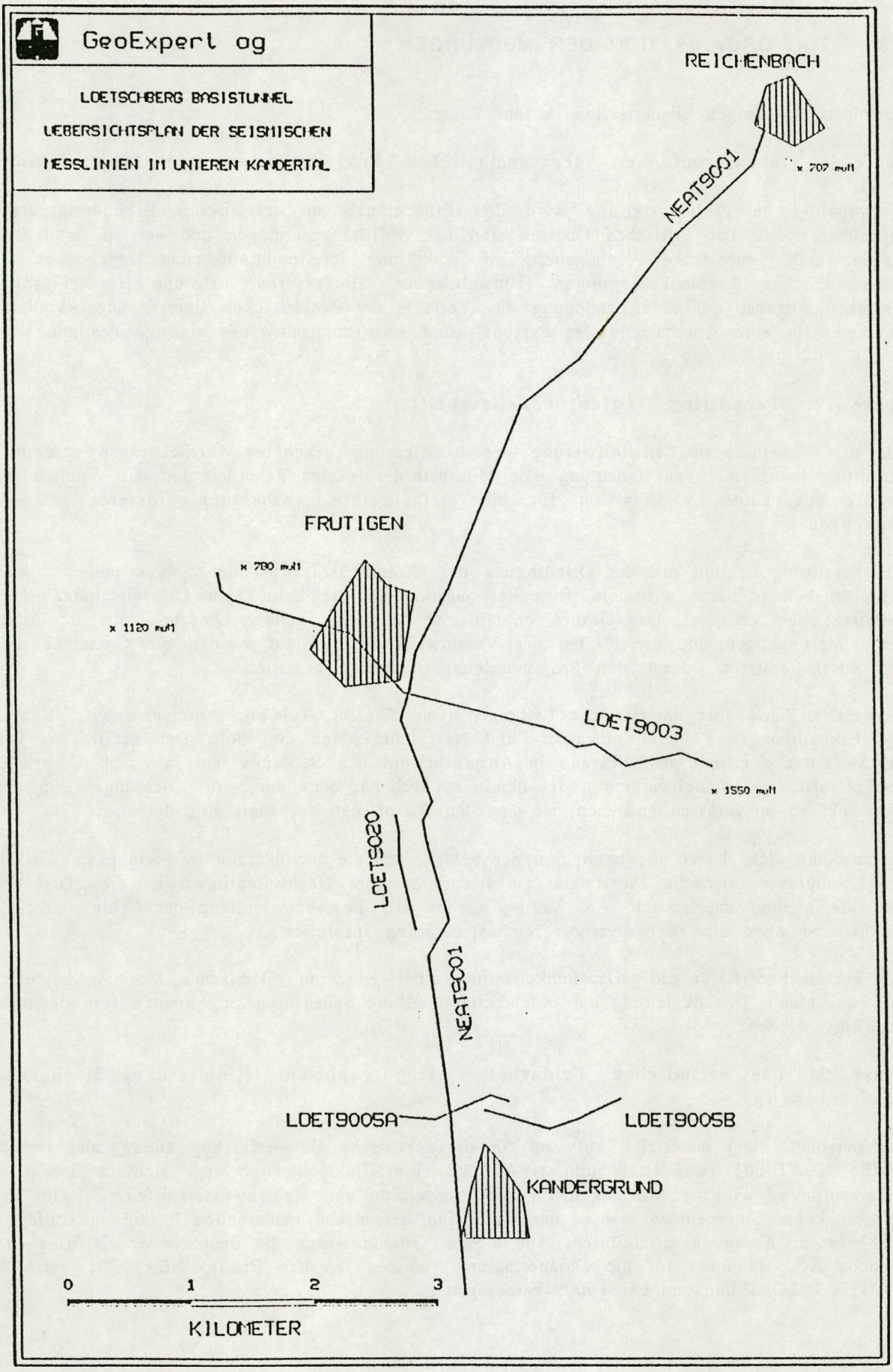
STATISTISCHE ÜBERSICHT DER ERFASSTEN SEISMISCHEN PROFILE

MESSGEBIET PROFIL NR.	MESS-DATUM 1990	LÄNGE IN METER	ANZAHL AUFZEICHNUNGEN VIBRO-SEIS	FALL-GEWICHT	SPRENG-SEISMIK	BOHR-METER (m)	LADUNGS-MENGE (kg)
PIORA							
NEAT9002	14.-17.9.	7'600			161	537.4	152.70
ÖFITAL							
GOBA9001	24.-25.9.	1'560		84	14	42.0	11.20
GOBA9002	26.9.	204		53			
GASTERNTAL							
NEAT9001	28.-29.6	3'500			266	558.6	70.70
LOET9011	26.6.-2.7.	760		27	62	130.2	15.50
LOET9012	2.-3.7.	460		57	41	86.1	12.30
LOET9013	3.7.	335			33	69.3	9.90
LOET9015	15.10.	940			80	168.0	45.60
LOET9016	16-17.10.	1'070		250			
LOET9017	17-18.10.	470		81			
EGGESCHWAND							
LOET9010	4.7.	475		59	44	92.4	17.60
LOET9014	13.10	665		90	52	109.2	31.20
LOET9021	12.10.	435		10	70	147.0	49.00
ÖSCHINENTAL							
LOET9006	26.-27.6.	5'040	351		18	37.8	5.40
LOET9007	5.-6.11.	1'195		142	38	79.8	9.50
LOET9008	10.-11.10	1'190			113	237.3	28.25
LOET9009	25.6.	1'810	134				
KANDERTAL							
NEAT9001	2.-6.7.	29'900	1'676				
LOET9003	9.-10.7.	4'680	154		122	256.2	30.50
LOET9005	5.-11.7.	2'220		34	143	300.3	31.70
LOET9020	7.11.	830			76	159.6	22.80
TOTAL		68'339	2'315	887	1'333	3'011.2	543.85
			TOTAL AUFZEICHNUNGEN		4'535		


GeoExpert
AlpTransit
GOTTHARD BASISTUNNEL
MESSGEBIET "PIORA - LUKMANIER"
Übersichtsplan der reflexions-seismischen Profile 1990
702
703
704
161
160
159
158
157
156
155
154
153
S1
LAI STA. MARIA
P. SCOPI
GR
TI
GR
TI
Passo del Lucomagno
LINIE 1
LINIE 1W
LINIE 1E
LINIE 2
LINIE 3
LINIE 4
PASS-STRASSE
P. DELL' UOMO
S5
S4
BOHRUNG CAMPO SOLARIA
S8
AIROLO
Passo delle Colombe
S3
S7
S6
BOHRUNG GANA BUBAIRA
S9
Passo Predelp
S1 - S9: REFRAKTIONSSCHÜSSE
10 - 36 kg
0 1 2 3
KILOMETER


GeoExpert og
GOTTHARD BASISTUNNEL
UEBERSICHTSPLAN DER SEISMISCHEN
MESSLINIEN IM OEFITAL
ERSTFELD
SBB
x 700 m/l
GOBA9002
X 613 m/l
GOBA9001
OEFIBACH
TAEGERLOCHN
REUSS
SILENEN
0
0.5
1
KILOMETER


GeoExpert ag
LOETSCHBERG BASISTUNNEL
UEBERSICHTSPLAN DER SEISMISCHEN
MESSLINIEN IM OBEREN KANDERTAL
NEAT9001
LOET9009
OESCHINENSEE
KANDERSTEG
LOET9006
LOET9007
LOET9008
LOET9021
LOET9010
LOET9014
LOET9011
LOET9012
LOET9013A
LOET9016
LOET9015
LOET9017
LOET9013B
NEAT9001
0
1
2
3
KILOMETER


GeoExpert ag
LOETSCHBERG BASISTUNNEL
UEBERSICHTSPLAN DER SEISMISCHEN
MESSLINIEN IM UNTEREN KANDERTAL
REICHENBACH
x 702 m.ü.M.
NEAT9001
FRUTIGEN
x 780 m.ü.M.
x 1120 m.ü.M.
LOET9003
x 1550 m.ü.M.
LOET9020
NEAT9001
LOET9005A
LOET9005B
KANDERGRUND
0
1
2
3
KILOMETER

1.3 ZUR ORGANISATION DER MESSUNGEN

Seismische Messungen gliedern sich in fünf Phasen:

Phase 1: Inventaraufnahme der geologischen Fragestellungen und Projektierung

Die geologische Problemstellung wird den Einschränkungen seismischer Erkundungsverfahren gegenübergestellt. Die kritischen Grössen sind das Auflösungsvermögen und der zu untersuchende Tiefenbereich. Eine frühe Feldbegehung zur Abklärung der topographischen Gegebenheiten und zivilisatorischer Rahmenbedingungen (Umweltschutz, Störfaktoren, bauliche Hindernisse) soll genügend Angaben für eine Festlegung des Verlaufs der Messstrecken liefern. Die Akquisitionsparameter für eine Abschätzung des Personal- und Ausrüstungsaufwands sind zu bestimmen.

Phase 2: Permitting (Öffentlichkeitsarbeit)

Mit der zunehmenden Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber Umweltfragen gewinnt das Permitting immer mehr an Bedeutung. Die Mitarbeit der lokalen Behörden und das Wohlwollen der Bevölkerung sind unerlässlich für eine reibungslose Abwicklung grösserer seismischer Messungen.

Das Permitting beginnt mit der Orientierung der Öffentlichkeit über den Zweck und die Art des Messvorhabens. Zuerst wird ein formelles Gesuch an die kantonalen Umweltschutzämter und Baudirektionen gerichtet. Das Gesuch enthält eine möglichst genaue Umschreibung der Arbeiten, deren Zielsetzungen und die Namen der Verantwortlichen. Darauf werden die Gemeindebehörden und Statthalterämter durch den Programmleiter persönlich orientiert.

Es werden Pläne über unterirdische Leitungen (Gas, Wasser, Telefon, Stromversorgung, Kabel-TV) und Erkundigungen über Grundwasser- und Naturschutzzonen eingeholt. Der detaillierte Verlauf der Messstrecke erfolgt anschliessend in Absprache mit den Behörden und in einem Gespräch mit den betroffenen Grundeigentümern. Ist damit zu rechnen, dass durch die Messungen Flurschäden oder Schäden an Strassen entstehen, ist dies den Betroffenen vorgängig mitzuteilen.

Es empfiehlt sich, 1 Woche vor Beginn der Feldarbeiten die Bevölkerung in Form eines Artikels in der Lokalpresse über die Messungen zu orientieren. Bei Nachtvibrationen ist eine Orientierung über die Medien unerlässlich. Am Vortag werden alle Bewohner entlang der Vibratorstrecke mit Flugblättern über die bevorstehende Nachtruhestörung informiert.

Der Personalbedarf für die Öffentlichkeitsarbeit einer grösseren seismischen Messung beläuft sich auf zwei Mann. Die Begleitung der Feldarbeiten und die Schadenregelung können von einem Mann bewältigt werden.

Phase 3: Die seismischen Feldarbeiten (topographische Einmessung, Borharbeiten, Registrierung)

Der personelle und materielle Aufwand für die seismische Datenerfassung entlang der regionalen Profile NEAT9001 (Kandertal) und NEAT9002 (Piora/Lukmanier) bewegt sich in der gleichen Grössenordnung wie bei Messungen für die Prospektion von Kohlenwasserstoffen. Es gibt in der Schweiz keine Unternehmen, die in der Lage sind, seismische Feldarbeiten in diesem Umfang und mit Vibroseis-Anregung auszuführen. Aus diesem Grunde wurde die deutsche Spezialfirma Prakla-Seismos AG, Hannover für die Datenerfassung auf den längeren Profile NEAT9001, NEAT9002, LOET9003, LOET9006 und LOET9009 beigezogen.

Die Prakla-Seismos AG verfügt auch über speziell für seismische Zwecke konzipierte heliportable Bohrgeräte (Helidrill). Diese wurden im Piora/Lukmanier Gebiet an schwer zugänglichen Stellen zur Erstellung tiefer Schusslöcher für grössere Sprengladungen (5 - 20 kg) eingesetzt.

Die personelle Zusammensetzung und die Ausrüstung seismischer Messequipen richtete sich nach der Aufgabenstellung. Die erweiterte Fassung dieses Berichts enthält in den Anlagen A1 und A2 je einen Bericht der Prakla-Seismos AG über die Feldarbeiten im Piora-Lukmanier Gebiet und über die Messungen im Kandertal. Die beiden Berichte enthalten eine Aufstellung der jeweilig eingesetzten personellen und apparativen Mittel.

Die Zusammensetzung des Messtrupps der GeoExpert ist wie folgt:

Personal

1 Truppleiter	dipl. Geophysiker ETH
1 seismischer Registrierer	dipl. Geophysiker ETH

1 Sprengbefugter / Mechaniker Fallgewicht
4 Hilfskräfte für Messauslage, topographische Einmessung, Sprengarbeiten, Bedienung Fallgewicht, Aufräumarbeiten

Messausrüstung

1 seismisches Registriergerät BISON9048, 48 Kanäle
100 Einzelgeophone, 20 Hz
9 Messkabel à 120 m mit 10 m Abgriffen
4 Messkabel à 120 m mit 5 m Abgriffen
5 Verlängerungskabel à 220 m
1 Schussauslösung über Funk Typ "BISON1406 Radio Link"
1 Fallgewicht Typ VAKIMPAK
1 portabler Feldcomputer "Sharp"
1 Computer "Toshiba" für Datenübertragung
1 seismische EDV-Anlage Typ "MicroMAX" für Qualitätskontrolle
4 Handfunkgeräte "Motorola"

Fahrzeuge

1 Kastenwagen "Mercedes 310"
1 VW-Bus
3 PW

Verbrauchsmaterial

Sprengmittel
Datenträger (Disketten, Magnetbänder)

Kapitel 1.5.2 auf Seite 1.13 beleuchtet die technischen Aspekte der seismischen Datenerfassung.

Die Projektierung umfasst die Inventarisierung der geologischen Zielsetzungen in Abstimmung mit den Möglichkeiten seismischer Erkundungsverfahren. Die Festlegung der Aufnahmeparameter, insbesondere der Art der Energieanregung, erfolgt nach einer detaillierten Rekognoszierung des Untersuchungsgebiets. Der ungefähre Profilverlauf und die wesentlichen Aufnahmeparameter sind als Unterlagen dem Gesuch an den Kanton beizulegen.

Der Zeitpunkt der Feldarbeiten sollte wenn möglich nicht mit der Erntezeit in der Landwirtschaft zusammenfallen. Im Falle der Messungen im Raum Kandersteg war es schwierig, ausserhalb der touristischen Spitzenzeiten das gesamte Programm unter günstigen Witterungsbedingungen durchzuführen.

Phase 4: Die EDV-Auswertung

Wegen des grossen Volumens der zu verarbeitenden Daten kann die reflexionsseismische EDV nur auf Spezialrechenanlagen durchgeführt werden. Die Daten der längeren Profile NEAT9001, NEAT9002, LOET9003 und LOET9006 wurden am PHOENIX-Rechenzentrum des Instituts für Geophysik der ETHZ verarbeitet. Die EDV aller übrigen, kürzeren Profile erfolgte auf einer MicroMAX Anlage der GeoExpert.

Mit der EDV Auswertung des Profils NEAT9002 (Piora/Lukmanier) wurde Dr. Martin Stäuble, Mitglied des Instituts für Geophysik ETHZ und freier Mitarbeiter der GeoExpert, beauftragt. Die Auswertung aller übrigen Profile erfolgte durch Personal der GeoExpert.

Kapitel 1.6 auf Seite 1.18 beschreibt den generellen Ablauf der seismischen EDV.

In Gebieten wo noch keine Erfahrungen mit seismischer Datenerfassung bestand, erfolgte eine erste EDV-Auswertung bereits im Feld mit einem mobilen Computersystem MicroMAX der GeoExpert. Dies erlaubte eine Qualitätskontrolle vor Ort und ermöglichte rasche Entscheidungen vor allem in bezug auf die Art und Dosierung der Energiequelle(n).

Die mit der EDV Beauftragten haben selber an den Feldaufnahmen der ihnen anvertrauten Profile teilgenommen. Dies hat den Vorteil einer besseren Kenntnis der Begleitumstände bei der Akquisition (topographische und geologische Rahmenbedingungen und Störeinflüsse auf die Datenqualität).

Die EDV erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem auswertenden Geologen.

Phase 5: Geologische Interpretation

Die geologische Betreuung des Messprogramms wurde Herrn Prof. Dr. A. Pfiffner, Geologisches Institut der Universität Bern und seinem Assistenten, Herrn W. Schaad, lic. phil. nat., übertragen.

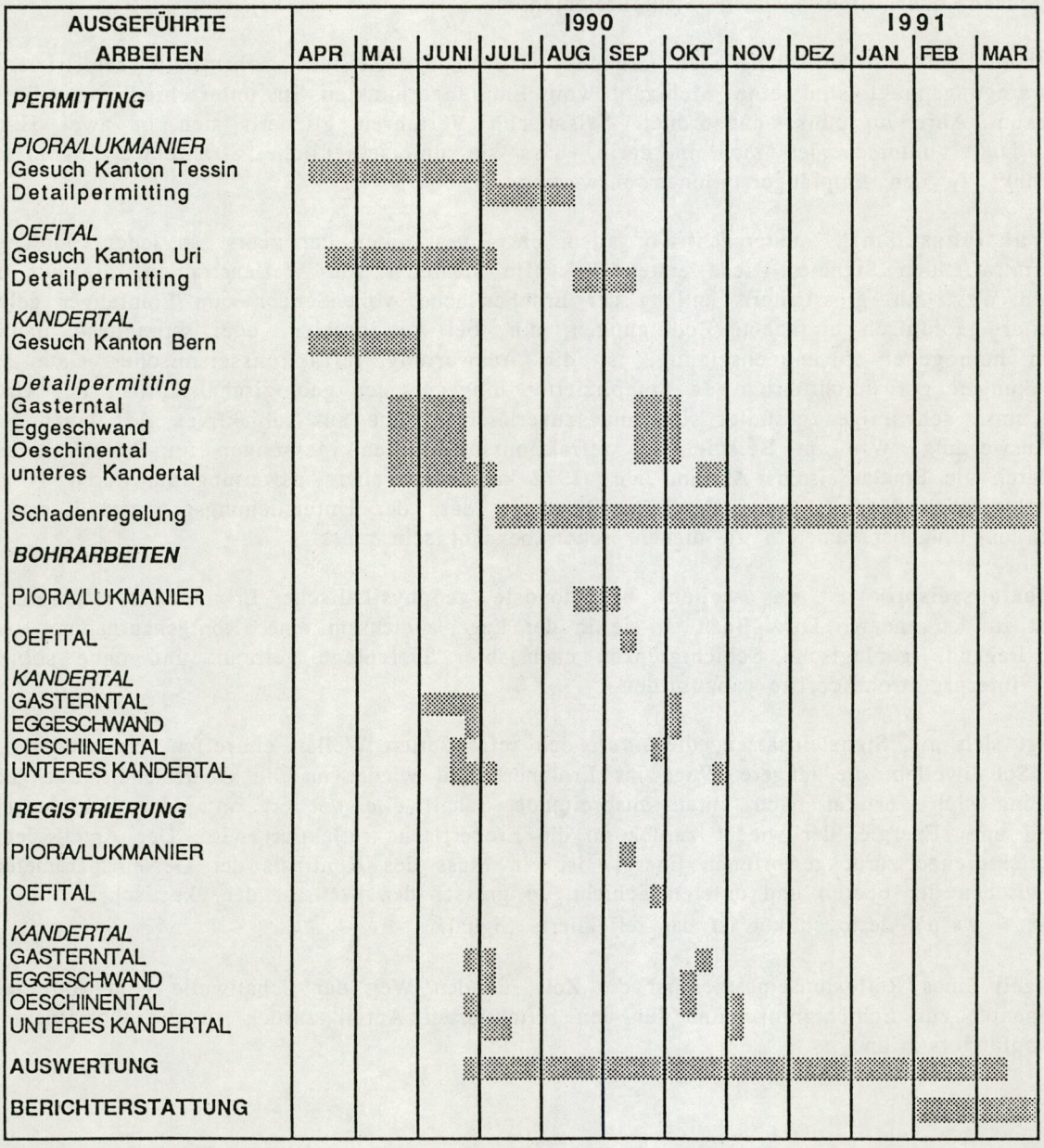
Die geologische Interpretation beginnt mit der Formulierung der Zielsetzungen und deren Abstimmung auf die Möglichkeiten der seismischen Erkundung. Sie umfasst die geologische Betreuung in allen Phasen der Messarbeiten. Erzwingen z.B. technische oder umweltbedingte Gründe eine Verlegung der Messstrecke, sind den veränderten geologischen Rahmenbedingungen, wie den unterschiedlichen Mächtigkeiten und Strukturen quartärer Talfüllungen, Rechnung zu tragen.

Kapitel 1.7 auf Seite 1.21 beleuchtet einige Aspekte der geologischen Interpretation.

1.4 DIE ZEITLICHE ABWICKLUNG

Im Jahr 1990 führten in der Schweiz neben AlpTransit auch die Swisspetrol Tochterfirmen SEAG, LEAG und Petrosvibri, das Tiefengas Konsortium TGK Swisspetrol / Sulzer und das Nationale Forschungsprogramm 20 (NFP 20) seismische Messungen durch. Es wurde beschlossen, gemeinsam als Gruppe von Auftraggebern die Arbeiten auszuschreiben und sie an nur eine seismische Kontraktorfirma zu vergeben. Die Zusammenarbeit brachte unserem Programm eine Kosteneinsparung, da die nicht unerheblichen Mobilisationskosten der Prakla-Seismos AG für die Anfahrt in die Schweiz aufgeteilt werden konnten. Das gemeinsame Vorgehen ermöglichte es zudem, zwischen den Messungen im Kandertal und im Gebiet Piora/Lukmanier einen Zeitraum von 2 Monaten verstreichen zu lassen. Die Vorbereitungen der Messungen in diesen geographisch weit auseinanderliegenden Gebieten gestalteten sich durch die zeitliche Staffelung wesentlich einfacher. Der Messtrupp der Prakla-Seismos AG wurde während dieser Zeit durch die anderen Auftraggeber beschäftigt.

ÜBERSICHT ÜBER DEN ZEITLICHEN ABLAUF DER ARBEITEN



1.5 DIE MESSMETHODEN DER SEISMISCHEN ERKUNDUNG

1.5.1 Grundlagen

Die der Seismik zugrunde liegenden theoretischen Grundlagen sind in [1] und [2] zusammenfassend beschrieben. Eine Wiedergabe an dieser Stelle erfolgt nur in dem Umfang, wie wir es in der Folge für das Verständnis der Erläuterungen zu den Feldarbeiten und zur EDV-Auswertung als notwendig erachten.

Durch eine schlag- oder stossartige Erschütterung an der Erdoberfläche werden elastische (seismische) Wellen angeregt. Sie breiten sich kugelförmig nach allen Richtungen im Untergrund aus. Als Wellenstrahlen bezeichnen wir die Senkrechten zur Wellenfront an jedem Punkt auf der Kugeloberfläche. Die für die Seismik wichtigen physikalischen Gesteinseigenschaften sind die *Gesteinsdichte* ρ und, in weit stärkerm Masse, die *Ausbreitungsgeschwindigkeit* v der Schallwellen. Eine Brechung der Wellenstrahlen und Reflexionen, d.h. eine teilweise Spiegelung der Schallenergie, findet dort statt, wo eine Änderung der Grössen v und ρ auftritt, d.h. an geologischen Schichtgrenzen oder lithologischen Strukturelementen.

Aus methodischen und wirtschaftlichen Gründen wird in der Seismik mehrkanalig registriert. Zu jedem Anregungspunkt sind eine Mehrzahl von Empfängerpunkten in unterschiedlichen Entfernungen zum Anregungspunkt angeordnet. Seismische Verfahren gliedern sich in zwei Hauptgruppen. Diese unterscheiden sich in darin, dass sie unterschiedliche Strahlenwege vom Anregungspunkt zu den Empfängerstationen auswerten:

Die **Refraktionsseismik** untersucht vor allem die Einsatzzeiten der zuerst an jeder Empfängerstation eintreffenden Signale. Diese ersten Ankünfte stammen von Wellenstrahlen, die auf dem schnellsten Weg, d.h. grösstenteils entlang der Erdoberfläche, vom Sender zum Empfänger gelangt sind. Unter geologisch einfachen Bedingungen, d.h. bei horizontalen, oder zumindest planaren Schichten homogener Zusammensetzung, ist die Auswertung refraktionsseismischer Daten mit Einschränkungen gut durchführbar. Je komplizierter hingegen der geologische Aufbau des Untergrundes, umso schwieriger gestaltet sich eine zuverlässige, ohne auf subjektiven Annahmen beruhende Auswertung. Wie am Beispiel der refraktionsseismischen Messungen im Piora/Lukmanier Gebiet durch die Prakla-Seismos AG im Jahre 1972 kann dann eine Auswertung nur durch Vorgabe eines geologischen Modells stattfinden. Das bedeutet, dass der Untersuchungsgegenstand, um als Lieferant von Eingabeparametern zu dienen, schon bekannt sein muss.

Die **Reflexionsseismik** ist das weitaus bedeutendste geophysikalische Erkundungsverfahren. Im Gegensatz zu den anderen Disziplinen ist sie in der Lage, gleichsam einer Röntgenaufnahme, untereinander liegende geologische Schichtgrenzen nach ihrer Tiefenlage getrennt und ohne subjektv gefärbte Interpretationsschritte abzubilden.

Sie befasst sich mit Signaleinsätzen, die *nach* den refraktierten Wellen eintreffen. Es handelt sich hier um Schallwellen, die längere Wege ins Erdinnere und wieder an die Oberfläche zurückgelegt haben. Eine sich vertikal nach unten ausbreitende Schallwelle verliert an jeder Schichtgrenze einen Teil ihrer Energie, der wieder zurück an die Eroberfläche reflektiert wird. Der Anteil der an einer Schichtgrenze zurückgeworfenen Energie ist ein Mass des Kontrasts der Gesteinsparameter v und ρ zwischen der oberen und unteren Schicht. Je grösser der Kontrast der akustischen Impedanz (Impedanz = $v \times \rho$), desto stärker ist das reflektierte Signal.

Die Laufzeit eines Reflexionseinsatzes ist die Zeit für den Weg der Schallwelle vom Anregungspunkt hinunter zur Schichtgrenze und für den reflektierten Anteil zurück an die Oberfläche zu einer Empfängerstation.

Das Prinzip der Reflexionsseismik ist somit identisch mit der Arbeitsweise des Echolots. Letzteres ist in zwei Beziehungen ein Sonderfall der Reflexionsseismik:

- Es ist nur eine Schichtgrenze, nämlich der Übergang Wasser/Meeresboden, von Interesse.
- Die Schallgeschwindigkeit des Ausbreitungsmediums Wasser ist mit 1500 m/s konstant. Die Umrechnung von Reflexionslaufzeiten in Wassertiefen erfolgt gleichzeitig mit der Messung. Echolotgeräte sind deshalb schon mit Tiefenskalen versehen.

Im allgemeinen Fall der Reflexionsseismik möchte man,im Gegensatz zum Echolot, mehrere untereinander liegende geologischen Schichtgrenzen sichtbar machen. Dazu sind die Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Schalls im zu untersuchenden Untergrund unbekannt und müssen für die Umrechnung der Laufzeiten in Tiefen zuerst ermittelt werden.

Die Seismik erfasst die reflektierten Schallwellen gleich mit mehreren Empfängern, die sich in unterschiedlichen Entfernungen vom Anregungspunkt befinden. Die Entfernungen der Empfängerstationen vom Anregungspunkt sind der zusätzlich zur Laufzeit eines Reflektors benötigte Parameter für die Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Für weiter vom Schuss entfernte Empfänger treffen die Reflektionseinsätze einer geologischen Kontaktfläche wegen des längeren Weges mit entsprechenden Verzögerungen ein. Aus den relativen Laufzeitdifferenzen lässt sich die durchschnittliche Geschwindigkeit für die über einem Reflektor liegenden geologischen Formationen und damit dessen Tiefenlage ableiten.

Folgende Faktoren erschweren die Ermittlung der Geschwindigkeiten als Funktion der Laufzeiten:

- komplexer geologischer Aufbau des Untergrunds; d.h. die Wege der Wellenstrahlen sind im Gegensatz zu einer horizontalen Schichtlage geometrisch-physikalisch nicht erfassbar;
- schlechte Datenqualität (störende Bodenunruhe, schwache Reflexionen) liefert keine verwertbaren Reflexionsseinsätze für eine Geschwindigkeitsanalyse.

1.5.2 Die Technik der Datenerfassung im Feld

Es wird die aufwendigere Feldtechnik der Reflexionsseismik diskutiert. Die reflexionsseismisch erfassten Daten sind bis zu bestimmten Tiefen auch für refraktionsseismische Auswertungsverfahren geeignet.

Charakteristisch für die reflexionsseismische Datengewinnung ist das kontinuierliche Profilschiessen (*continuous profiling* oder *roll-along method*). Das verwendete Messschema der in diesem Bericht beschriebenen Daten ist die zentrale Aufstellung *(symmetrical split spread)*. Der Anregungspunkt befindet sich zwischen zwei symmetrisch angeordneten Empfängerauslagen. Die Vermessung geschieht fortlaufend entlang der Profillinie mit je einer Registrierung in den Abständen der Anregungspunkte. Durch Abbau rückwärtiger, nicht mehr benötigter Empfängerstationen am hinteren Ende der Auslage und durch den Anbau neuer Stationen am vorderen Ende entsteht eine neue Zentralaufstellung für die nächste Anregung. Auf diese Weise werden bestimmte Untergrundpunkte, die einen gegenseitigen Abstand von einer halben Empfängerpunktentfernung haben, von je einem aufgezeichneten Wellenstrahl abgetastet (s. Abb. 1.5). Im Falle der in diesem Bericht beschriebenen Messungen wurden die Abstände der Anregungspunkte gleich den Empfängerpunktentfernungen, d.h. zwischen 5 und 20 m gewählt.

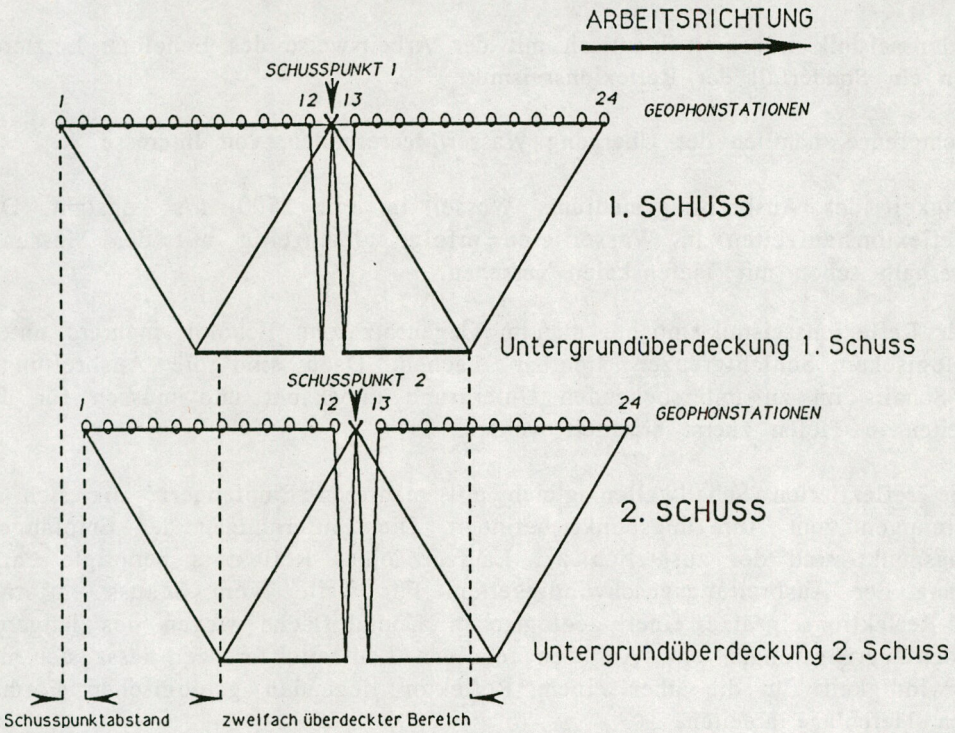


Abb. 1.5 Das Prinzip des kontinuierlichen Profilschiessens und der Mehrfachüberdeckung am Beispiel einer zentralen Aufstellung mit 24 Kanälen. Mit jedem Schuss wird ein Bereich des Untergrunds abgetastet. Eine dichte Abfolge der Schusspunkte bewirkt eine mehrfache, kontinuierliche Überlappung der einzelen Untergrundüberdeckungen.

1.5.3 Das Prinzip der Mehrfachüberdeckung

Durch die Arbeitsweise des kontinuierlichen Profilschiessens wird jeder Untergrundspunkt durch mehrere Sender-Empfängerkonfigurationen abgetastet. Man spricht daher vom Prinzip der Mehrfachüberdeckung der Reflexionsseismik. Die mehrfach abgetasteten Untergrundpunkte bezeichnet man als gemeinsame Tiefenpunkte (*common depth points, CDP's*).

Die EDV-Auswertung ordnet die zu jedem CDP gehörenden Aufzeichnungen aus den verschiedenen Anreger-Empfängerkonfigurationen zu je einer Gruppe und leitet aus den Laufzeitdifferenzen der einzelnen Reflektoren und aus den Sender-Empfängerentfernungen die durchschnittlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten ab.

In der nächsten Phase der EDV-Auswertung erfolgt eine Laufzeitkorrektur der Reflektionseinsätze auf allen zu einem CDP gehörenden Aufzeichnungen. Die Korrekturwerte werden von der Laufzeit des Reflektoreinsatzes und von der Entfernung Anregungspunkt - Empfängerpunkt abgeleitet. Sie sollen die Reflektoreinsätze auf allen Aufzeichnungen zeitgleich ausrichten (s. Abb. 1.6 "Dynamische (NMO) Korrektur").

In der Folge werden alle zu einem CDP gehörenden Aufzeichnungen aufsummiert (Stapelung oder *CDP-stack*). Damit addieren sich die zeitgleichen Nutzsignale, also die Reflexionen, von denen eine weitgehend gleiche Signatur vorausgesetzt werden kann, da sie alle vom gleichen Untergrundelement reflektiert werden, in konstruktiver Weise. Nicht korrelierbare Störsignale heben sich bei der Summation gegenseitig auf. Die Stapelung bringt somit eine Verbesserung des Nutz-Störsignal Verhältnisses. Schwache, auf den Einzelaufzeichnungen kaum erkennbare Reflexionen sind auf dem gestapelten Seismogramm gut sichtbar.

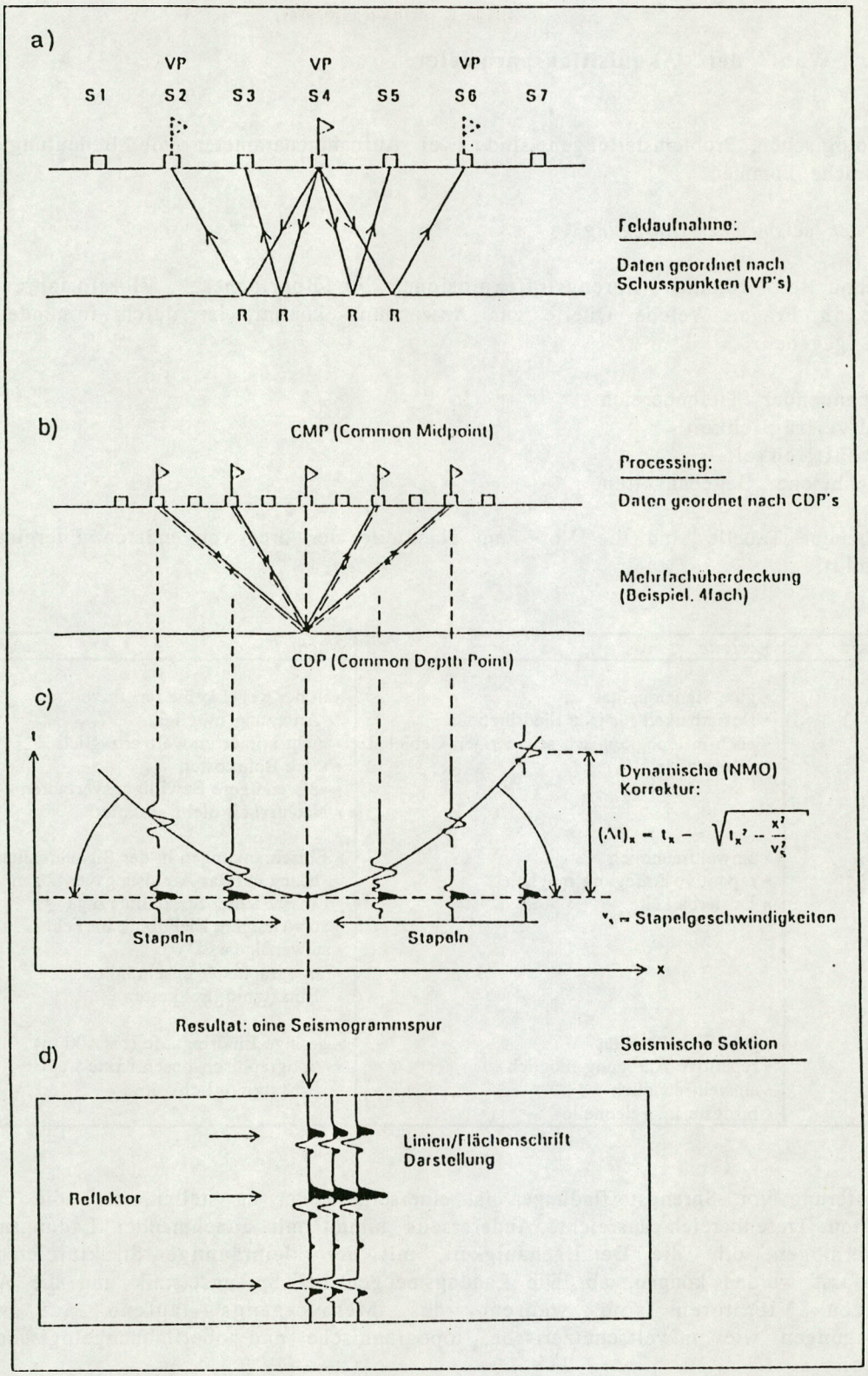


Abb. 1.6 Zusammenfassung der vier Bearbeitungsstufen der reflexionsseismischen Messmethode:
a) Feldaufnahme; die Einzelaufzeichnungen sind nach Schusspunkten geordnet
b) Umsortierung der Daten nach ihren gemeinsamen Tiefenpunkten (*common depth points, CDP's*)
c) Analyse der Geschwindigkeiten; geometrische Laufzeitkorrektur *(normal move out* oder *NMO correction)*; Stapelung (*CDP stack)*
d) Darstellung aller gestapelten Spuren in einer interpretierbaren Form

1.5.4 Zur Wahl der Akquisitionsparameter

Für die geologischen Problemstellungen sind zwei Aufnahmeparameter von Bedeutung, die hier kurz zur Sprache kommen.

a) Die Art der seismischen Anregung

Als Energiequellen kommen Sprengstoffexplosionen in Bohrlöchern, Vibratorfahrzeuge oder Fallgewichte in Frage. Welche Quelle zur Anwendung kommt, ist durch folgende Rahmenbedingungen gegeben:

- zu erkundender Tiefenbereich
- Umweltverträglichkeit
- Wirtschaftlichkeit
- topographische Gegebenheiten

In untenstehender Tabelle sind die Vor- und Nachteile der drei verwendeten Energieanregungsarten angeführt:

Anrregungsart	*Vorteile*	*Nachteile*
Sprengstoff	• gute Signalqualität • Dosierbarkeit für jede Eindringtiefe • auch in topographisch schwierigen Gebieten einsetzbar	• in der Regel keine repetitive Anregung möglich • nicht immer umweltverträglich • teure Bohrkosten • aufwendigere Bewilligunsverfahren • Nachtarbeit nicht gestattet
Vibroseis	• umweltfreundlich • repetitive Anregung möglich • Dosierbarkeit	• Einschränkungen in der Signalqualität in bezug auf das Auflösungsvermögen • Einsatz teurer Spezialfahrzuge • aufwendigere Elektronik im Feld • aufwendigere EDV • topographisch beschränkte Einsatzmöglichkeiten
Fallgewicht	• gute Signalqualität • repetitive Anregung möglich • umweltfreundlich • billigste Energiequelle	• geringe Eindringtiefe (bis 400 m) • topographisch beschränkte Einsatzmöglichkeiten

Bei der Dosierung von Sprengstoffladungen ist einerseits sicher zu stellen, dass die Energie für den anvisierten Tiefenbereich ausreicht. Andererseits nimmt mit zunehmender Ladungsmenge das Auflösungsvermögen, d.h. die Detailgenauigkeit, mit der kleinräumige Strukturelemente noch seismisch erfasst werden können, ab. Die Ladungsmengen bei Sprengseismik und die Anzahl der einzusetzenden Vibratoren sind während des Messvorgangs laufend auf veränderte Rahmenbedingungen wie umweltschützerische, topographische und oberflächengelogische Aspekte abzustimmen.

b) Die Abstände der Anregungspunkte und der Empfängerstationen

Die Datendichte entlang eines seismischen Profils wird durch a) den Abstand der gemeinsamen Tiefenpunkte und b) durch den Überdeckungsgrad, d.h. die Anzahl von Einzelaufzeichnungen, die mit verschiedenen Sender-/Emfängerkonfigurationen von jedem Tiefenpunkt gemacht werden, bestimmt.

Der Überdeckungsgrad (coverage oder multiplicity) ist direkt abhängig vom Abstand der Anregungspunkte und von der Anzahl Kanäle, die jede Anregung aufzeichnen.In Gebieten mit starker Bodenunruhe, verursacht durch Verkehr und Industrie, ist der Überdeckungsgrad durch Verkürzung der Anregungsabstände zu erhöhen. Eine Erhöhung der Anzahl Kanäle bei gleich bleibenden Enpfängerabständen ist nur dann sinnvoll, wenn grosse Tiefenbereiche erkundet werden, d.h. wenn die Länge der Auslage die anvisierte Maximaltiefe nicht übersteigt. Die maximale Anzahl Kanäle ist zudem für jede Registrierapparatur gerätespezifisch und nach oben begrenzt.

Der Abstand der gemeinsamen Tiefenpunkte ist die Hälfte des Abstandes der Empfängerstationen Er ist entscheidend für die laterale Detailgenauigkeit bei oberflächennahen Erkundungen

Wünschenswert wäre eine Annäherung an ein lineares Messdispositiv durch sehr kleine gegenseitige Abstände der Empfängerstationen und durch eine beliebig dichte Abfolge der Anregungspunkte, z.B. in der Grössenordnung von < 1 m. Aus Kostengründen ist dies nicht durchführbar. Die Praxis verlangt deshalb eine Abstimmung der Anregungs- und Empfängerabstände an die geologische Problemstellung und an wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Bei den repetitiven Anregungsarten Vibroseis und Fallgewicht bringt eine grössere Anzahl der an einem Punkt durchgeführten Vibrationen oder Schläge auch eine Erhöhung der pro Längeneinheit abgestrahlten seismischen Energie. Die in die unveränderte Empfängerauslage abgegebenen Anregungen werden durch die Registrierapparatur aufsummiert und das Resultat als Einzelaufzeichung gespeichert. Diese Mehrfachanregung an einem Punkt stellt aber rechnerisch für die EDV kein Mass mehr für die Datendichte dar, da die Summation schon im Feld geschieht. Sie ist jedoch energetisch gesehen für die Datenqualität von grosser Bedeutung in Gebieten mit starken externen Störeinflüssen (Industrie- und Verkehrslärm, starker Wind und Regen).

1.6 DAS VERFAHREN DER SEISMISCHEN EDV

Die seismische Datenverarbeitung geschah auf der Grundlage der hier kurz beschriebenen, verallgemeinerten Abfolge der EDV-Schritte. Eine nähere Erläuterung der einzelnen Operationen sprengt den Rahmen dieses Berichts. Dieses Kapitel richtet sich deshalb an Leser, die sich einen Überblick über die Einzelheiten der angewandten EDV verschaffen möchten.

Es versteht sich von selbst, dass sich die seismische EDV als "trial and error"-Verfahren in kein starres Ablaufschema zwängen lässt. Die EDV jedes Profils richtet sich nach geologischen Rahmenbedingungen und nach der Qualität der zu verarbeitenden Daten. Im Anhang der erweiterten Fassung dieses Berichts sind für jedes seismische Profil die angewandten EDV-Schritte in der Beschreibung des *seismic data processing* aufgeführt.

Allgemeiner Ablauf der reflexionsseismischen EDV

1) Reformatting of field tapes and gain recovery
Umschreiben der Felddaten auf ein internes Format wobei die durch die Feldapparatur vor der A/D-Wandlung angewandte, laufzeitvariable Verstärkung rückgängig gemacht wird.

2) Line geometry assignment
Zuordnung der Kanalnummern und Anregungspunkte jeder Aufzeichnung an ihre Positionen im Feld.

3) Topographic survey data assignment
Zuordnung der topographischen Koordinaten zu jeder Anregungs- und Empfängerposition entlang der Messlinie

4) Check plots and refraction analysis for field static corrections
Kontrollausspielungen der Rohdaten und Bestimmung der Geschwindigkeiten und Mächtigkeiten der oberflächennahen Schichten aufgrund der Ersteinsätze

5) Trace editing
Sichtung der Rohdaten und Elimination von toten Kanälen und Aufzeichnungen mit ungenügender Datenqualität

6) Application of field static corrections and elevation correction to floating datum
Anwendung von Korrekturen für Laufzeitverzögerungen durch die oberflächennahen Verwitterungschichten. Die Korrekturen beziehen sich auf ein variables Bezugsniveau, das aus einer Glättung des Profilhöhenreliefs abgeleitet wird.

7) Space variant analytical first break mute
Unterdrückung aller Signale, insbesondere der Refraktionseinsätze, die früher als die nutzbaren Reflexionsseinsätze eintreffen. Die gewählten Unterdrückungszeitfenster variieren entlang des Messprofils.

8) Data analysis for frequency content, time dependent amplitude decay and frequency dependent absorption
Analyse der Daten auf ihren Frequenzinhalt, ihren laufzeitabhängigen Amplitudenabfall und ihre frequenzabhängige Signalabsorption

9) Spherical divergence compensation
Korrektur für den geometrischen Effekt des tiefenabhängigen Amplitudenabfalls

10) Trace balancing
Amplitudenausgleich im Zeitbereich für unterschiedliche Signalstärken der einzelnen Anregungen und Empfängerstationen

11) Spectral balancing
Amplitudenausgleich im Frequenzbereich zur Unterdrückung tieffrequenter Oberflächenwellen und zur Kompensation der frequenzabhängigen Absorption

12) Time variant band pass filtering
Laufzeitvariabler Frequenzfilter zur Elimination tief- und hochfrequenter Störsignale

13) CDP - sort
Umordnen der Einzelaufzeichnungen in bezug auf ihre gemeinsamen Tiefenpunkte (CDP's)

14) Velocity analysis
Bestimmung der Reflektorgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Laufzeit und Position entlang der Messstrecke

15) NMO - correction and automatic stretch mute
Anwendung der laufzeitabhängigen, geometrischen Geschwindigkeitskorrektur und automatische Unterdrückung der Bereiche, in denen die damit verbundene Frequenzverzerrung das zulässige Mass überschreitet.

16) Residual surface consistent statics
Reststatische Korrekturen hergeleitet aus den oberflächengeologischen Randbedingungen.

17) Automatic residual subsurface constistent trim static corrections
Zeitliche Angleichung der Reflexionseinsätze durch Ermittlung von Laufzeitunterschieden hervorgerufen durch strukturelle Inhomogenitäten unterhalb der Verwitterungschichten.

18) Application of residual statics to data prior to initial velocity analysis
Anwendung der unter 16) und 17) abgeleiteten Korrekturwerte an den Daten unter Punkt 13). Ab diesem Punkt geht die EDV-Auswertung mit den Daten unter Punkt 13) weiter.

19) Time dependent τ–p filtering in the shot domain
Rücksortierierung ider Daten bezogen auf die Anregungspunkte und zwei-dimensionales Filtern zur Erhöhung des Nutz-/Störsignalverhältnisses und zur Verbesserung der lateralen Kontinuität der Reflexionsseinsätze.

20) Revised velocity analysis
Revidierte Geschwindigkeitsanalyse nach Anwendung der reststatischen Korrekturen und der τ-p Filterung (Punkte 18) und 19)).

21) NMO-correction and automatic stretch mute with new velocities
Gleich wie unter Punkt 15) aber mit den revidierten Geschwindigkeiten

22) CDP-stack
Stapelung der zu einem CDP gehörenden Einzelaufzeichnungen. Wenn angezeigt, kann die Stapelung selektiv nach bestimmten Sender-/Empfängerentfernungen erfolgen.

23) Time variant band pass filter for stacking noise suppression
Frequenzfilterung zur Entfernung des durch die Stapelung entstandenen Rauschpegels

24) Elevation correction to final permanent datum
Elevationskorrektur vom variablen auf ein über die ganze Profillänge konstantes Bezugsniveau

25) Final display
Darstellung der Schlussresultate in einem vom Geologen gewünschten Massstab.
Der Anhang des erweiterten Berichts enthält von jeder Messlinie einen seismischen Profilschnitt für die geologische Interpretation.

An einigen repräsentativen Linien wurde untersucht, ob nach Punkt 19) eine partielle Migration vor dem Stapeln *(Dip Move Out, DMO)* eine verbesserte Definition der Reflexionseinsätze ergibt. Die Versuche ergaben keine Erhöhung der Signalqualität, weshalb dieser EDV-Schritt nicht angewendet wurde.

1.7 ZUR GEOLOGISCHEN INTERPRETATION REFLEXIONSSEISMISCHER PROFILE

1.7.1 Die Art der Darstellung

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

Die *Kompressionsphase* seismischer Signale wird in diesem Bericht gemäss Konvention der *Society of Exploration Geophysicists (SEG)* mit der *negativen Auslenkung* wiedergegeben. Da das Quellensignal (Explosion oder Schlag) mit einer Kompression einsetzt, erfolgt auch der Einsatz einer Reflexion mit einer Kompression. Die Laufzeit eines Reflektors ist definiert als der Beginn der negativen Auslenkung (siehe Abb. 1.7).

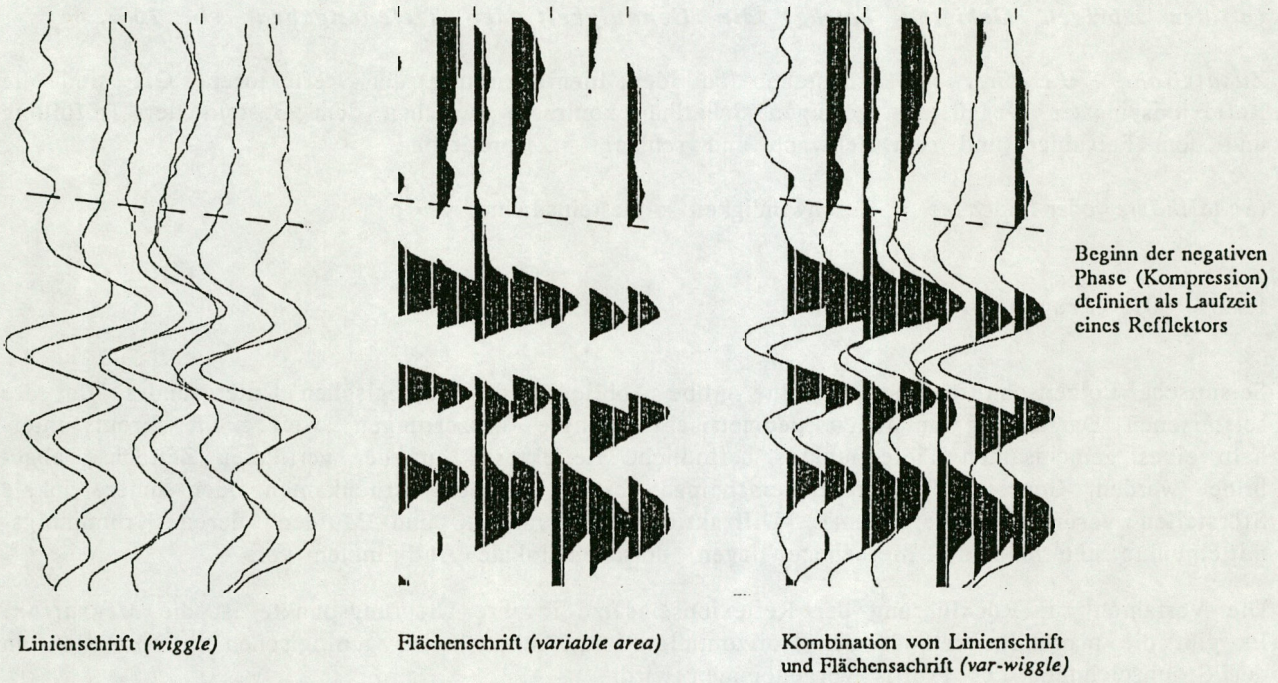


Abb. 1.7 : Die Darstellung seismischer Profile und die Definition eines Reflexionseinsatzes

1.7.2 Die Genauigkeit der Geschwindigkeiten bei der Umwandlung von Laufzeiten in Tiefenangaben

Die Einheit der Tiefenskala eines seismischen Profilschnittes ist in der Regel die Laufzeit. Die Umwandlung der Laufzeit in ein Längenmass erfordert möglichst genaue Angaben über die Geschwindigkeitsverteilung in vertikaler und lateraler Richtung.

Bei Seismik in engräumigen alpinen Verhältnissen ist die Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung im Untergrund mit den Methoden der seismischen EDV oft problematisch. In geologisch komplexen Gebieten mit ausserhalb der zwei-dimensionalen Schnittebene reflektierenden Strukturelementen und mit steil einfallenden Schichtgrenzen stossen die auf einfachen geologischen Verhältnissen beruhenden Analyseverfahren an ihre Grenzen. A priori Kenntnisse über die geologischen Strukturen und deren Lithologie sind eine wichtige Zusatzinformation bei der Abschätzung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten.

Ein schwieriges Gebiet in dieser Beziehung ist der Raum Eggeschwand / Kandersteg. Die Talfüllung setzt sich dort aus schlecht sortiertem, inhomogenem Bergsturzmaterial zusammen. Die seismische Energie wird im von grossen Blöcken durchsetzten Untergrund stark absorbiert und diffus zerstreut. Eindeutige für die Geschwindigkeitsableitung notwendige Reflexionseinsätze sind kaum vorhanden. Geschwindigkeitsbestimmungen im Quartär aufgrund von Refraktionseinsätzen geben ein uneinheitliches Bild. Für die Tiefenlage des Felsuntergrunds in diesem Gebiet ist ein Fehlertoleranzwert von +/-20% anzuwenden.

In den übrigen Gebieten beträgt die Genauigkeit der Tiefenangaben +/- 10%.

Zusätzliche Unsicherheiten bestehen bei der Identifizierung der Reflektoren. Oft sind die Reflexionseinsätze wegen des geringen Schallhärtekontrasts zwischen dem Gestein der Talfüllung und dem Felsuntergrund sehr schwach und schlecht interpretierbar.

(*Schallhärte* oder *Impedanz* = Geschwindigkeit x Gesteinsdichte, $v \times \rho$)

1.7.3 Die Frage der Migration

Seismische Lotzeitschnitte sind nur eine grobe Abbildung des geologischen Untergrundes. Bei der seismischen Darstellung entstehen geometrisch bedingte Verzerrungen, weil nicht direkt unterhalb eines gemeinsamen Tiefenpunktes befindliche Reflektoren auf der vertikalen Zeitachse abgebildet werden. Geneigte Reflektoren erscheinen zeitlich versetzt. Bruchkanten oder andere lokale Störstellen verursachen verwirrende Diffraktionserscheinungen, und Mulden, deren Krümmungsmittelpunkte unterhalb der Messebene liegen, täuschen lokale Antiklinalen vor.

Die Verfahren zur Rückführung der Reflexionseinsätze in ihre Ursprungspunkte ist die *Migration*. Es gibt die manuelle Methode der Horizontmigration, die nach der geologischen Interpretation an der Strichzeichnung des Profils vorgenommen wird.
Automatische Migrationsverfahren sind meistens ein letzter zusätzlicher Schritt in der seismischen EDV. Der auswertende Geologe benötigt jedoch für seine Interpretation immer die unmigrierten Profilschnitte. Die migrierte Version allein kann nur bei bestimmten lokalen Strukturen mehr Klarheit verschaffen, da die automatische Migration eine Reihe von Nebeneffekten verursacht, welche die Aussagekraft der Gesamtabbildung stark beeinträchtigen.

Zu den störenden Nebenwirkungen der Computermigration gehören Randeffekte an der seitlichen und unteren Begrenzung eines Profilschnitts. Für eine automatische Migration muss das Messprofil auf beiden Seiten der zu untersuchenden Strukturen eine minimale Einlauf- und Auslauflänge haben. In engen Bergtälern ist dies oft nicht realisierbar. Die zu migrierenden Strukturen müssen eine gute Reflexionsqualität aufweisen, damit die Migration eine reelle Verbesserung der lateralen Detailgenauigkeit erzielen kann.

Ein grosses Problem stellt sich mit der Energie, die seitlich, d.h. von Strukturelementen ausserhalb der Schnittebene, reflektiert und aufgezeichnet wird. Dies ist vor allem der Fall bei parallel zur Talachse verlaufenden Profilen, wo seitlich von den Flanken Energie zurückgeworfen wird. Die Rückführung der Reflexionseinsätze an ihren Ursprung im 3-dimensionalen Raum ist aber nur durchführbar, wenn auch die Datenerfassung 3-dimensional erfolgt.

Einige strukturell komplexe Profile wurden versuchsweise migriert. Eine Verbesserung der lateralen Strukturdefinitionen wurde nicht erreicht.

1.7.4 Legende für die Bezeichnung der Reflektoren

In den Abbildungen der Kapitel 2 - 7 sind die Reflektoren wie folgt bezeichnet:

A	Quartärinterne Strukturen
B	Felsoberkante, Basis Quartär
C	Strukturen im Felsuntergrund (ausser Autochthon)
D	Strukturen im Autochthon des Kandertals (Kapitel 4-7)
E - K	weitere Strukturen (Überschiebungen, Bruchflächen, Kontakte, etc.)

LITERATURANGABEN

[1] Die Messmethode der Reflexionsseismik *aus "Nagra informiert"; Nummer 1+1, Juni 1987; Dr. C. Sprecher, Nagra.*

[2] Nationales Forschungsprogramm 20 (NFP 20): Geologische Tiefenstruktur der Schweiz, Problemstellung, Arbeitsmethodik und erste Resultate; *Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 47, 17. November 1988; W. Frei, Dr. P. Lehner, Programmleitung NFP 20 und P. Valasek, Dept. of Geology and Geophysics, University of Wyoming, Laramie USA.*

[3] Angewandte Geophysik, Band 3 Seismik; *Springer Verlag Berlin, 1987; H. Militzer und F. Weber*

[4] Reflection Seismology; *John Wiley and Sons, New York,, 1987; Kenneth H. Waters*

2 DIE MESSUNGEN IM PIORA / LUKMANIER GEBIET

2.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Bei der Linie NEAT 9002 geht es darum, den Tiefgang der geotechnisch sehr problematischen Triassedimente der Piora-Zone näher zu bestimmen. Aus strukturgeologischen Überlegungen ist davon auszugehen, dass die Piora-Zone eine tiefgreifende Trennung zwischen Gotthard-Massiv und Lucomagno-Kristallin darstellt. Dies deutet sich etwa aus dem recht asymmetrischen Bau und der langen Ausdehnung der Zone im Streichen an. Der Selva Secca-Granit ist petrographisch mit dem Gotthard-Massiv zu korrelieren. Die Befunde der Bohrung Campo Solario deuten auf eine eher seichte Trennung zwischen dem Gotthard-Massiv und dem Selva Secca-Körper hin. Erschwerend für die reflexionsseismischen Untersuchungen ist der Umstand, dass die Piora-Zone relativ steil nach Norden einfällt. Eine zusätzliche Komplikation bildet der Selva Secca-Granitkörper, der die Piora-Zone östlich des Trassees zweiteilt.

Um die Auslage und Aufnahmegeometrie zu optimieren, wurde deshalb durch Modellierung versucht, die Strahlengänge zu analysieren. Das zugrundeliegende geologische Modell (**Abb. 2.2 und 2.3** auf Seiten 2.12 und 2.13) berücksichtigt sämtliche bekannten Strukturdaten, insbesondere auch die Messungen des Einfallens der Grenzflächen Kristallin - Sediment. Dazu wurden mehrere Arbeiten neueren Datums herbeigezogen (s. Prognoseprofile **Abb. 2.4 und Abb. 2.5,** Seiten 2.14 und 2.15, sowie Literaturliste Seite 2.9)

Da die Interpretation derart steil einfallender, komplizierter Strukturen a priori als schwierig einzustufen war, schien die Modellierung allein schon aus diesem Grunde angebracht. Das aus dem geologischen 3-dimensionalen Strahlengang Modell (**Abb. 2.6,** Seite 2.16) erhaltene synthetische Seismogramm (**Abb. 2.7,** Seite 2.17) stellte sich dann bei der Interpretation als wertvolle Hilfe heraus.

Aus der Beurteilung der strukturgeologischen Daten schien es am besten, eine asymmetrische Auslage von der Piora-Zone quer zum Streichen nach Norden auszulegen, in welche auch von Norden her hineingeschossen wurde. Wie Untersuchungen im Rahmen des NFP20 nahelegen, sind Kontaktflächen zwischen den Sedimenten der Piora-Zone und dem nördlich und südlich angrenzenden Kristallin potentielle Reflektoren.

2.2 DISKUSSION DER SEISMISCHEN UNTERSUCHUNGEN AUS DEM JAHRE 1972

Im Auftrag der Bauabteilung der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen führte die Prakla-Seismos GmbH im Jahre 1972 seismische Untersuchungen auf verschiedenen Messlinien zwischen der Bohrung "Gana Bubaira" und dem Lukmanier Stausee durch. Es kamen Durchschallungsmethoden und das refraktionsseismische Verfahren zur Anwendung. In der Tiefbohrung "Gana Bubaira" wurden Geophone und Sprengladungen für die Durchschallungsmessungen versenkt. Der Datenauswertung lag die geologische Modellvorstellung in **Abb. 2.8,** Seite 2.18 zugrunde. Mit den damals zur Verfügung stehenden Methoden wurden nur die Laufzeiten der zuerst ankommenden Wellen analysiert. Durch Variation des Geschwindigkeitsmodells lassen sich die Form und Tiefenlage supponierter geologischer Strukturelemente eingrenzen. Die Bandbreite der einzugebenden Geschwindigkeiten ist in hohem Masse beeinflusst durch das vorgegebene geologische Modell. In ihrem Bericht weist die Prakla denn auch darauf hin, dass *in die Einzelheiten der wiedergegebenen Querschnitte natürlich mehr oder weniger gravierend die Voraussetzungen der geologischen Modellvorstellung eingehen.*

Abb. 2.9, Seite 2.19 zeigt eine geologische Interpretation der Messungen aus dem Jahre 1972. Das Profil fällt mit der Linie NEAT9002-1, dem Hauptprofil unserer Messungen, zusammen. Die Auswertung erfolgte auf der Grundlage plausibler Geschwindigkeiten in den geologischen Einheiten des vorgegebenen Modells. Die zum damaligen Zeitpunkt verfügbaren Methoden sind nicht in der Lage, in Tiefen unterhalb 1800 m ü.M. Aussagen über die geologischen Strukturen zu machen.

2.3 DIE SEISMISCHEN FELDARBEITEN

2.3.1 Die Wahl der Aufnahmeparameter

Die den Messungen vorangegangene seismische Modellierung hatte zum Ziel, gesicherte a priori Kenntnisse für die Optimierung der Parameter zur Datenerfassung beizuziehen. Der im Angebot vorgeschlagene Durchführungsplan wurde um drei W-E parallel verlaufende Messprofile, Linien 2 - 4, zwischen Piano dei Canali und Gana Bubaira erweitert. Die Messauslagen auf allen Linien wurden miteinander verbunden, so dass sämtliche Schüsse im Untersuchungsgebiet auf allen Linien registriert werden konnten. Diese Massnahme erlaubte eine in Ansätzen drei-dimensionale Erkundung des Messgebiets mit relativ geringen Mehrkosten. Die flächendeckende Verteilung der Reflexionsspunkte ermöglicht eine linienförmige Gruppierung solcher Punkte mit beliebigen Azimuth zur Erstellung zusätzlicher Profilschnitte. Die zur Linie 1 parallel verlaufenden Profile 1W und 1E wurden auf diese Weise gebildet. Auf **Abb. 2.10**, Seite 2.20 sind die für die einzelnen Linien verwendeten Bänder von Reflexionsspunkten dargestellt.

Zur Überprüfung der Refraktionsgeschwindigkeiten und des regionalen Geschwindigkeitsmodells wurden Schüsse mit grösseren Ladungen (10 - 40 kg) an der Peripherie des Messgebietes gezündet. Die Schusspunkte befanden sich in bis zu 6 km Entfernung auf den verlängerten Achsen der Linien NEAT9002-1 - 4.

Die vorhandenen Mittel reichten nicht aus, um im topographisch schwierigen nördlichen Teilstück der Linie 1 mit der gleichen Datendichte zu registrieren. Zwischen der Lukmanier Passhöhe und der Hochebene "Piano dei Canali" wurden die Schuss- und Empfängerabstände vergrössert. Als Kompensation wurden auf diesem Teilstück die wenigen Schüsse mit grossen Ladungen (9 bis 15 kg) gezündet.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die auf den einzelnen Linien verwendeten Aufnahmeparameter:

LINIE	LÄNGE (m)	EMPFÄNGER ABSTAND (m)	SCHUSS - ABSTAND (m)	LADUNGS-MENGE (kg)
Linie NEAT9002-1				
Lukmanier - Piano dei Canali	2550	50	ø ca. 250	9 - 15
P. dei Canali - Gana Bubaira	1200	10	10	0.3
			60	1.5
G. Bubaira - Passo Predèlp	610	30	keine Schüsse	
Linie NEAT9002-2	1150	30	50	1.5
Linie NEAT9002-3	1030	30	50	1.5
Linie NEAT9002-4	1460	30	50	1.5

2.3.2 Planung und logistische Aspekte

Das Baudepartement und das Amt für Umweltschutz des Kantons Tessin, die Gemeinden Olivone, Quinto, Curaglia (GR) und vier Alpkorporationen mussten um ihre Zustimmung zur Durchführung der Feldarbeiten ersucht werden.

Die Hochebene "Piano dei Canali" und die nähere Umgebung sind ein Naturschutzgebiet. Es bestand die Auflage, dass in den Feuchtgebieten der Hochmoore nicht gebohrt und gesprengt werden durfte. Die Linie 2 musste am westlichen Ende aus diesem Grund ca. 200 m nach Süden verlegt werden.

Die Hochebene wird als Alp genutzt. Die Messungen konnten deshalb erst nach dem Alpabzug, d.h. ab anfangs September 1990, stattfinden.

Die nördliche Hälfte der Linie 1 befindet sich zu einem grossen Teil im Zielgebiet eines Artillerie-übungsgeländes, in dem während der Messungen geschossen werden sollte. Dank dem Entgegen-kommen des Kommandanten des Waffenplatzes Ceneri erfolgte während der kritischen Zeit der Registrierarbeiten ein reduzierter Übungsbetrieb.

Das Untersuchungsgebiet ist nur am Nordende von der Lukmanier Passhöhe über eine Strecke von 300 m mit Fahrzeugen zugänglich. Alle Transporte von Material und Ausrüstung wurden mit Helikoptern getätigt. Die Heliswiss AG, 6472 Erstfeld, konnte für die Helikoptertunterstützung aller Arbeiten verpflichtet werden.

Rechtzeitig vor Messbeginn mussten die Festlegung und Geländemarkierung des Verlaufs der Messlinien und die topographische Einmessung stattfinden. Im Anschluss erfolgten die Bohr-arbeiten zur Erstellung der Schusslöcher.

Die Firma Prakla-Seismos AG, D - 3000 Hannover, war mit der Durchführung der seismischen Feldaufnahme und mit dem Bohren der grossen Schusslöcher beauftragt. Beilage A1 im Anhang des erweiterten Berichts gibt Auskunft über die personelle Zusammensetzung und über die Ausrüstung des eingesetzten seismischen Messtrupps sowie der Helidrill Bohrmannschaften.

Der Zeitplan konnte dank der meist günstigen Witterungsbedingungen eingehalten werden und ist wie folgt:

DATUM	ARBEITEN
Ab Mai	Permitting Kanton Tessin (Bewilligungsverfahren), Geländerekognoszierungem, Planungsarbeiten, Erstellung synthetischer Seismogramme aufgrund gesicherter geologischen Angaben
13. Aug.	Beginn der Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
27. Aug.	Beginn der topographischen Einmessung durch Prakla-Seismos AG
31. Aug.	Beginn der Helidrill-Bohrabeiten durch Prakla-Seismos AG
3. Sept.	Abschluss der Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
5. Sept.	Abschluss der Helidrill-Bohrabeiten und der topographischen Einmessung durch Prakla-Seismos AG
12. Sept.	Beginn Laden der Schusslöcher durch Bereuter Sprengtechnik AG und GeoExpert ag
13. Sept.	Beginn seismische Feldaufnahme durch Prakla-Seismos AG und GeoExpert ag
17. Sept.	Abschluss der seismischen Feldaufnahme

2.3.3 Einzelheiten zum Ablauf der Feldarbeiten

a) Beschreibung der Bohrarbeiten

Mit dem Bohren der Schusslöcher wurden die Firmen Bereuter Sprengtechnik AG und Prakla-Seismos AG beauftragt. Die kleinere Anzahl tiefer Schusslöcher in unzugänglichem Gelände wurden durch zwei Helidrill-Mannschaften der Prakla-Seismos AG erstellt. Die grosse Anzahl untiefer Schusslöcher auf der Hochebene zwischen Piano dei Canali und Gana Bubaira bohrte die Bereuter Sprengtechnik AG.

Die Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG

Einsatz vom 13.8. bis 3.9.1990

Gestützt auf die bei den Bohrarbeiten im Kandertal gesammelten Erfahrungen konstruierte die Bereuter Sprengtechnik AG eine auf Kufen montierte Bohrlafette. Zur selbständigen Fortbewegung im Gelände dient eine auf der Lafette angebrachte pneumatische Seilwinde. Mittels eines 400 m langen Druckschlauchs ist es möglich, auf einer 800 m langen Strecke, in deren Mitte zwei 5 m^3 Kompressoren stehen, Schusslöcher zu bohren.

Auf diese Weise konnten während einer Bohrzeit von drei Wochen mit nur 3 Helikoptereinsätzen (Hinflug, eine Versetzung der Kompressoren und Abtransport) insgesamt 165 Schusslöcher auf den Linien 2-4 und auf einem Abschnitt von 1.2 km Länge auf der Linie 1 gebohrt werden.

Anzahl der gebohrten Schusslöcher durch die Bereuter Sprengtechnik AG

Linie 1	22	Löcher 4 m tief, ø 45 mm und
	88	Löcher 2.1 m tief, ø 35 mm
Linie 2	16	Löcher 4 m tief, ø 45 mm
Linie 3	20	Löcher 4 m tief, ø 45 mm
Linie 4	19	Löcher 4 m tief, ø 45 mm
Total	165	Löcher, 492.8 Bohrmeter

Zusammensetzung und Ausrüstung der Bohrequipe
- 2Mann
- 2 Kompressoren 5 m^3 mit ca, 1000 m Druckschlauch
- 1 Bohrgerät mit Ausrüstung
- PVC - Verrohrung (400 x 40 x 2 mm & 250 x 32 x 2 mm)

Die Helidrill-Bohrarbeiten durch die Prakla-Seismos AG

Einsatz vom 31.8. bis 5.9.90

Es kamen 4 Bohrgeräte vom Typ HD 0511, einer Eigenkonstruktion der Prakla-Seismos AG, zum Einsatz. Es handelt sich um mit dem Kompressor integrierte Einheiten, die sich für die Versetzung mit dem Helikopter in wenigen Minuten in drei Komponenten zerlegen lassen. Diese Geräte sind in der Lage, sowohl nach dem Rotationsprinzip wie auch mit einem Inlochhammer zu arbeiten.

Anzahl der gebohrten Löcher: 28 (264.5 Bohrmeter) an 19 Schusspunkten.

Schlechte Witterungsbedingungen am 31.8. und 1.9.90 verunmöglichten Helikoptereinsätze. Die Bohrtätigkeit war an diesen zwei Tagen stark reduziert.

Die personelle und apparative Zusammensetzung der Prakla Helidrill Bohrmannschaften und eine Zusammenfassung der ausgeführten Bohrarbeiten sind in Anhang A1 enthalten.

b) Die Abwicklung der Registrierarbeiten

Zeitlicher Ablauf

Mi 12. Sept.	Beginn Laden der Schusslöcher durch GeoExpert ag und Bereuter Sprengtechnik AG
Do 13. Sept.	Fortsetzung Laden der Schusslöcher und Verlegen der Messausrüstung durch Prakla-Seismos AG und GeoExpert ag
Fr 14. Sept.	Beendigung der Arbeiten vom Vortag und Beginn der Registrierungen, Aufräumarbeiten
Sa 15. Sept.	Bis 1100 Uhr keine Helikopterflüge wegen schlechter Sicht, damnach Beendigung der Registrierarbeiten und Beginn Abbau der Messauslage, Aufräumarbeiten
Mo 17. Sept.	Abbau, Aufräumarbeiten und Demobilisation Prakla-Seismos AG

Die äusseren Messbedingungen

Die Qualität der Ankoppelung sowohl auf der Schuss- wie auf der Empfängerseite war unterschiedlich. In den Bereichen der Geophonauslagen und Schusspunkte, die auf den stark verkarsteten Triasgesteinen liegen, konnte gegenüber den auf kristallinem Untergrund befindlichen Schuss- und Empfängerpositionen eine schlechtere Signalqualität festgestellt werden.

Die Witterung war während der beiden Registriertage günstig und hatte keinen Einfluss auf die Datenqualität. Schlechte Sichtverhältnisse verunmöglichten Helikopterflüge am Morgen des 15. Sept. und verursachten einen Messunterbruch von 4 Stunden.

Starke Induktionseinstreuungen von einer Hochspannungsleitung beeinflussten die Datenqualität auf dem nördlichsten Kilometer der Linie 1.

Vereinzelte Störungen durch den Artillerieschiessbetrieb, der nicht ganz eingestellt werden konnte, sind auf allen Linien zu verzeichnen.

Ein zeitlich variabler Störpegel wurde während der gesamten Messdauer festgestellt. Die Ursache könnte der Bahnverkehr in der Leventina sein. Die Entfernung zu den Kehrtunnels oberhalb Faido beträgt knapp 5 km.

Organisatorisches

Zur Bewältigung der personalintensiven Arbeiten beim Auslegen der Messausrüstung, beim Laden und Abschiessen der Schusslöcher und beim Aufräumen wurde der Prakla Messtrupp mit 14 Mann der GeoExpert ag aufgestockt. Diese Massnahme war mitentscheidend, dass die Messarbeiten in nur 4.5 Tagen, statt wie budgetiert in 6 Tagen, abgeschlossen werden konnten.

Die Prakla-Seismos AG und der Pilot der Heliswiss AG hatten unmittelbar vor unseren Messungen während einer mehr-wöchigen Kampagne für die Swisspetrol Tochter LEAG und für das Tiefengas Konsortium zusammengearbeitet. Dieses gut eingespielte Team leistete einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Abwicklung der Messarbeiten.

2.4 DIE EDV-AUSWERTUNG

Die komplexe Geologie des Untersuchungsgebiets und die zum Teil erheblichen Störeinflüsse (s. Kapitel 2.3.3, Seite 2.6) stellten die EDV vor einige Probleme. Eine Beschreibung des allgemeinen Ablaufs der reflexionsseismischen EDV befindet sich in Kapitel 1.6 auf Seite 1.18.

Eine zeitaufwendige Aufgabe war das manuelle Sichten der Rohdaten und die Elimination von Kanälen mit ungenügender Datenqualität.

Ein gewisser Aufwand stellte die Ermittlung der feldstatischen Korrekturwerte dar. Die Bestimmung der Geschwindigkeiten und Mächtigkeiten der oberflächennahen Schichten aufgrund der Refraktionseinsätze konnte nur beschränkt automatisiert werden und erfolgte über weite Strecken von Hand.

Die Analyse der Geschwindigkeitsverteilung im Untergrund war, wie erwartet, der schwierigste Teil der EDV-Auswertung. Die Analysen ergeben für verschiedene Sender-/Empfängerabstände an ein und demselben gemeinsamen Tiefenpunkt verschiedene Geschwindigkeitsfunktionen, die, auf die Daten angewandt, unterschiedliche Reflexionsmuster produzierten. Gemeinsam für die verschiedenen Geschwindigkeitsmodelle ist jedoch, dass sie alle, wenn auch bruchstückhaft, die nach Norden abtauchende Piora-Zone bis in Tiefen um das Meeresniveau abbilden. Die Versuche mit dem Verfahren des *Dip Move Out (DMO)* , eine bessere Fokussierung der Reflexionspunkte auf den geneigten Schichten zu erreichen, hatten keinen Erfolg.

Von allen 6 erstellten Profilen weist die Hauptlinie NEAT9002/1 die beste Datenqualität auf. Der Informationsgehalt der übrigen Linien NEAT9002-1W, 1E, 2, 3 und 4 ist gering. Aus diesem Grund sind die Resultate der Nebenlinien nur im Anhang A4 bis A9 der erweiterten Fassung dieses Berichts enthalten.

Die Hauptlinie 1 wurde mit verschiedenen Geschwindigkeitsmodellen automatischen *Migrationsversuchen* unterzogen. Die zur Verfügung stehenden Migrationsverfahren sind alle nur anwendbar für Schichtneigungen bis 45°. Die Piora Mulde mit den steiler als 45° einfallenden Strukturen ist für automatische Migrationsverfahren ein unlösbares Problem. Die Rückführung der Reflexionseinsätze in ihre wahre räumliche Lage muss über eine *manuelle Horizontmigration* erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die physikalischen Gesetze der Strahlenoptik nicht unbesehen angewendet werden dürfen. Das Gesetz von Einfallswinkel = Ausfallswinkel gilt für perfekte Spiegelebenen. Geologische Kontaktflächen sind alles andere als ebene Schichtgrenzen. Deren Oberfläche besteht optisch gesehen aus einer Vielzahl kleiner Spiegelebenen mit unterschiedlicher räumlicher Lage. Sie reflektieren Schallenergie von auftreffenden Wellenfronten nach dem Huygen'schen Prinzip in alle Richtungen.

2.5 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Bei der Auswertung der Seismik zeigte sich, dass nur die Hauptlinie NEAT9002-1 brauchbare Resultate liefert. Deshalb wurden von diesem Profil drei Versionen ausgespielt, die sich durch geringfügige Unterschiede im Geschwindigkeitsmodell voneinander unterscheiden. Um die Stichhaltigkeit der Reflexionen in den einzelnen Versionen zu überprüfen, wurden alle Reflexionen in ein einziges Profil übertragen. Das Produkt ist ein seismisches "Sammelprofil" (**Abb. 2.12**, Seite 2.22). In diesem "Sammelprofil" sind jene Reflexionen, die nur auf einer Ausspielung deutlich erkennbar sind, als dünne Striche wiedergegeben, während die auf zwei oder allen drei Versionen sichtbaren Reflexionen als dicke Striche gezeichnet sind. Praktisch alle Reflexionen dieses "Sammelprofils" tauchen steil nach Norden ein und bestätigen die Fortsetzung der an der Oberfläche beobachteten Strukturen in die Tiefe.

Die südlichsten Reflexionen (H) können in Übereinstimmung mit der geologischen Prognose als Nordrand des Lucomagno-Kristallins gedeutet werden. Der offenbar starke Impedanzkontrast zwischen den Para- und Orthogneisen des Lucomagno-Kristallins einerseits und den Metapeliten (Quarten-Schiefer) und Rauhwacken der Piora-Zone andererseits lassen diesen Reflektor meist in allen drei seismischen Versionen deutlich in Erscheinung treten (fetter Strich im Sammelprofil **Abb. 2.12,** Seite 2.22).

Etwas nördlich des Lucomagno-Piora-Kontaktes und parallel dazu liegt ein zweites Bündel von Reflexionen (I), das als Unterkante des Selva Secca-Granits interpretiert werden kann. Wiederum kann davon ausgegangen werden, dass der Kontakt zwischen den Rauhwacken oder Marmoren der Piora-Zone und den granitischen Gesteinen des Selva-Secca-Körpers für die Ausbildung der Reflexionen verantwortlich ist. Sowohl der Lucomagno-Nordrand als auch die Unterkante des Selva Secca-Granits lassen sich im seismischen Profil bis auf eine Tiefe von knapp 1.5 s TWT (*Two Way Time* = Reflexionslaufzeit) verfolgen.

Das bedeutet, dass die dazwischenliegende Zone von Dolomit und Rauhwacke (südliche Piora-Zone) bis weit unter das Tunnelniveau hinunterzieht.

Die horizontale Mächtigkeit der steilstehenden Sedimentzone beträgt auf der Höhe des geplanten Basistunnels ca. 400 m. Berücksichtigt man, dass die seismischen Profile unmigriert sind, ist vor allem die Lage der Piora-Zone im Vertikalschnitt mit einer Unsicherheit behaftet. Die Migration der seismischen Daten bei diesem steilen Einfallen ist sehr schwierig vollziehbar. Die Tendenz bestünde darin, dass die Grenzflächen eher steiler und etwas nach Süden verschoben würden. Die eigentliche Mächtigkeit der Piora-Zone würde dadurch nicht stark verändert, da beide Reflexionen (H und I) von einer Migration ungefähr gleich beeinflusst würden.

Als wichtige Reflektoren wurden auch die Oberkante des Selva Secca-Granits sowie die Grenze zwischen dem Gotthard-Kristallin und den Sedimenten der Piora-Zone eingestuft. Der Kontakt zwischen dem Gotthard-Massiv und der Piora-Zone sollte von der Station 260 an steil nach Norden einfallen, dürfte aber in der Tiefe stellenweise flachere Segmente aufweisen, wie dies die Oberflächenaufschlüsse an verschiedenen Orten (namentlich nördlich des Lago di Ritom) zeigen. Das seismische Profil zeigt im entsprechenden oberflächennahen Bereich keine Reflexionen. Allerdings zeigt sich etwas weiter nördlich in einer Tiefe von 0.25 bis 0.7 s TWT eine starke Reflexion (J), die mit den Triasgesteinen zwischen dem Gotthard-Massiv und dem Selva Secca-Granit korreliert werden kann. Dieselbe Reflexion geht oberhalb 0.25 s TWT in eine beinahe horizontale Lage über, was man vom Verlauf der Oberkante des Selva Secca-Körpers erwarten würde. Da diese Reflexion in der Tiefe mit dem projizierten Verlauf des Gotthard-Südrandes zusammenfällt, scheint die nördliche Sedimentzone in der Tiefe auszukeilen, was den Befunden der Bohrung Campo Solario entspricht. Allerdings reicht die Grenzfläche zwischen den beiden Kristallin-Körpern, die möglicherweise aus stark verschieferten Gneisen und somit aus einer bautechnisch ungünstigen Gesteinszone besteht, bis auf das Tunnelniveau hinunter.

Die mehr horizontalen Reflexionen auf 0.8 s TWT zwischen den CDPs 150 und 180, welche die Sedimentzone zwischen dem Selva Secca- und dem Lucomagno-Kristallin (Reflexionen H und I) zu versetzt, wird mit flachliegenden Scherzonen in Verbindung gebracht (Merz, 1989). Diese Scherzonen wurden während einer späten alpinen Deformationsphase ("Phase V" nach Chadwick, 1968) mit südwärts gerichteten Bewegungen gebildet. Neben der Bildung von Scherzonen verursachte diese Deformationsphase auch die Rückfaltung der früher angelegten Strukturen. Sie führte insbesondere auch zur Steilstellung und Überkippung der Piora-Zone.

Ein pessimistisches Szenarium muss davon ausgehen, dass sich die Piora-Zone von der Reflexion H (Nordkante Lucomagno-Kristallin) bis zur Reflexion J (Südkante Gotthard-Kristallin) erstreckt. Dies entspräche einer Mächtigkeit von 1.5 km. **Abb. 2.13** auf Seite 2.23 zeigt die aus der Seismik abgeleiteten geologischen Verhältnisse.

Zusammenfassung

- Die seismischen Aufnahmen bestätigen die Fortsetzung der steilen, nordfallenden Strukturen in die Tiefe.

- Die südliche Piora-Zone bildet eine tiefgreifende Trennung zwischen dem Lucomagno-Kristallin im Süden und dem Gotthard-Massiv bzw. Selva Secca-Granit im Norden. Auf der Höhe des geplanten Basistunnels muss mit einer 400 m mächtigen Zone von bautechnisch sehr ungünstigen Triassedimenten gerechnet werden.

- Der nördliche Teil der Piora-Zone scheint nur einen geringen Tiefgang zu besitzen. Die Trennfläche zwischen dem Gotthard-Kristallin und dem Selva Secca-Granit ist aber bis auf das Tunnelniveau verfolgbar.

- Möglicherweise ist mit Komplikationen durch Störungszonen zu rechnen, welche flach nach Norden einfallen und Aufschiebungen sind, die mit der späten Rückfaltungsphase angelegt wurden.

2.6 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Seismik

Eine sinnvolle Ergänzung der bisherigen Untersuchungen wäre eine seismische Linie im *Val Termine, vom Lukmanier Stausee bis Passo dell'Uomo.*

Die Datendichte ist auf dem nördlichen Abschnitt der Linie NEAT9002-1 wegen der schwierigen Topographie gering. Aus diesem Grunde sind die Reflexionen der nach Norden einfallenden Piora-Zone in Tiefen unter 1000 m ü.M. undeutlich definiert. Mit einer höheren Datendichte, d.h. kürzere Anregungs- und Empfängerabstände, kann der Tiefgang und die räumliche Lage der Piora-Zone wesentlich besser erfasst werden.

Das Val Termine liegt ca. 2 km weiter westlich als das geplante Tunneltrassee. Die westliche Ausdehnung der Piora-Zone ist, vor allem in Tiefen unter 1000 m ü.M., noch unbekannt. Der Nutzen eines Profils im Val Termine liegt einerseits in einer verbesserten Kartierung des Tiefgangs der Piora-Zone und andererseits in der Abklärung ihrer Ausdehnung nach Westen.

Das Val Termine ist mit robusten Geländefahrzeugen befahrbar. Die Kosten für seismische Feldaufnahmen sind deshalb wesentlich geringer als im übrigen Untersuchungsgebiet. Die Strasse zum Passo dell'Uomo ist gegenwärtig in einem schlechten Zustand. Sie wurde vor mehreren Jahren durch die Armee erstellt. Falls noch im laufenden Jahr (1991) Messungen stattfinden sollen, müsste die Ausbesse-rung so bald wie möglich erfolgen.

Tiefbohrung

Im Raume der *Alpe Gana* ist eine Tiefbohrung angezeigt. Diese Bohrung soll Gewissheit über die Beschaffung der Gesteine der Piora-Zone (Mehldolomit und Rauhwacke) verschaffen sowie den genauen Verlauf und die Internstrukturen der Piora-Zone (s.[1]). erkunden. Der genaue Standort der Bohrung ergibt sich aus einer Optimierung folgender Faktoren:

a) Zufahrtsmöglichkeiten

b) der erste Teil der Bohrung sollte durch das Kristallin führen, um die allfällige Verwitterungsschicht in den Sedimenten der Piora-Zone zu vermeiden

c) Kalibrierung der seismischen Daten (Vertikalbohrung nördlich der nach Norden einfallenden Piora-Zone, evtl. nach Süden geneigte Schrägbohrung)

LITERATUR

[1] CHADWICK, B. (1968): Deformation and Metamorphism in the Lukmanier Region, Central Switzerland. - Bull.Geol.Soc.Amer. 79, 1123-1150.

[2] ETTER, U. (1987): Stratigraphische und strukturgeologische Untersuchungen im gotthardmassivischen Mesozoikum zwischen dem Lukmanierpass und der Gegend von Ilanz. - Diss. Uni Bern.

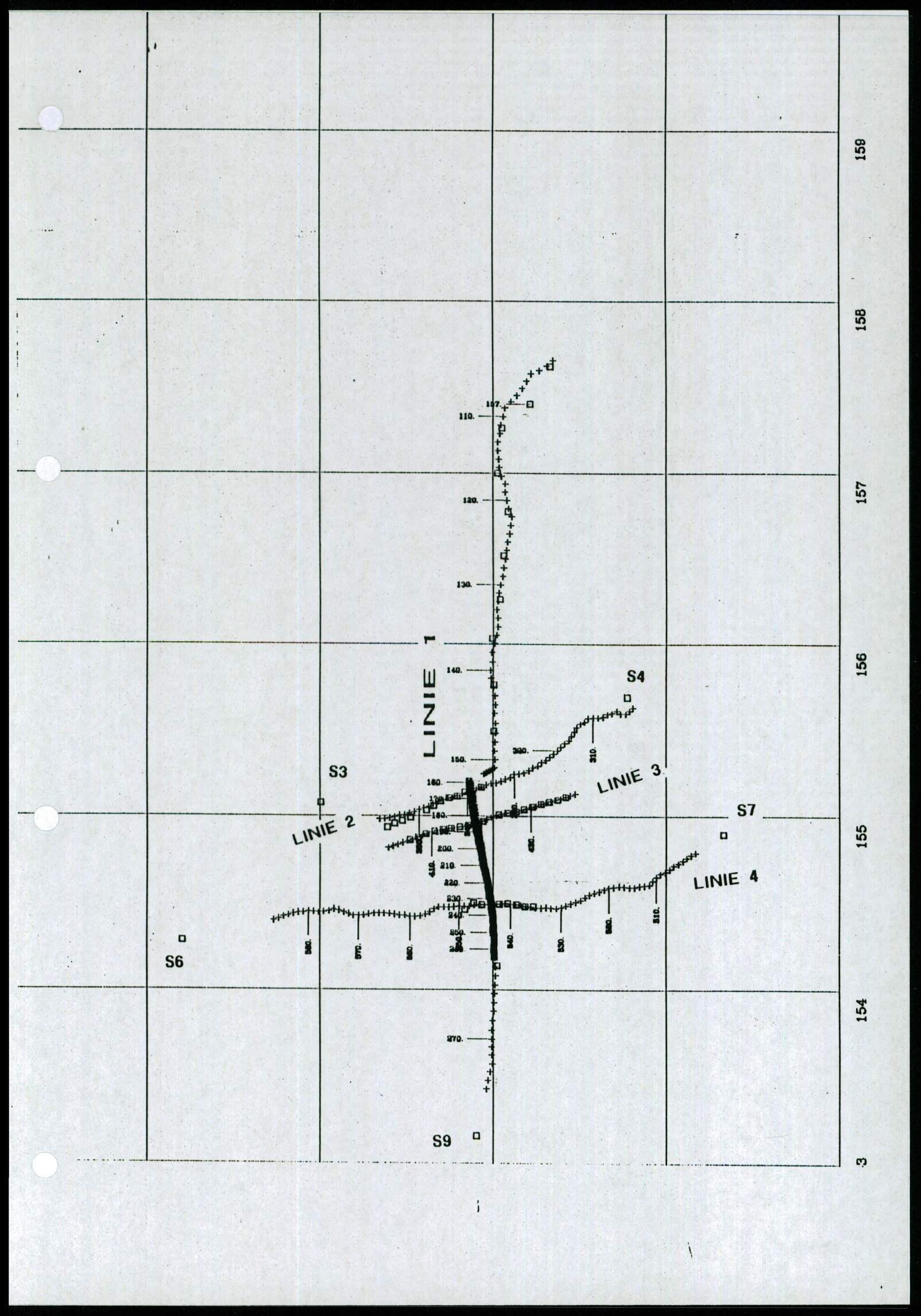
[3] MERZ, C. (1989): L' intrusif Medel-Cristallina (massif du Gotthard oriental). Partie 1: déformations alpines et relations socle-couverture. - Schweiz.mineral.petrogr.Mitt. 69, 55-71.

[4] MILNES, A.G. (1976): Strukturelle Probleme im Bereich der Schweizer Geotraverse - das Lukmanier-Massiv. - Schweiz.mineral.petrogr.Mitt. 56, 615-618.

[5] PROBST, P. (1980): Die Bündnerschiefer des nördlichen Penninikums zwischen Valser Tal und Passo San Giacomo. - Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 153.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 2

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
2.1	Situationsplan	2.11
2.2	Prognose geologischer Querschnitt entlang NEAT9002-1	2.12
2.3	Prognose Isohypsenkarte, Grundlage für die seismische Modellierung	2.13
2.4	Prognoseprofil Etter 1990	2.14
2.5	Prognoseprofile Probst 1990	2.15
2.6	3 - D geologisches Modell der Strahlengänge	2.16
2.7	Synthetisches seismisches Profil entlang Linie NEAT9002-1	2.17
2.8	Geologische Modellvorstellung für Prakla Auswertung 1972	2.18
2.9	Geologische Interpretation Prakla Messungen 1972	2.19
2.10	Lageplan der verwendeten Reflexionspunkte und Refraktionslinien	2.20
2.11	Interpretiertes seismisches Profil NEAT9002-1	2.21
2.12	"Sammelprofil" NEAT9002-1 in Form einer Strichzeichnung	2.22
2.13	Geologische Interpretation Profil NEAT9002-1	2.23


LINIE 1
LINIE 2
LINIE 3
LINIE 4
S3
S4
S6
S7
S9
158
157
156
155
154
3

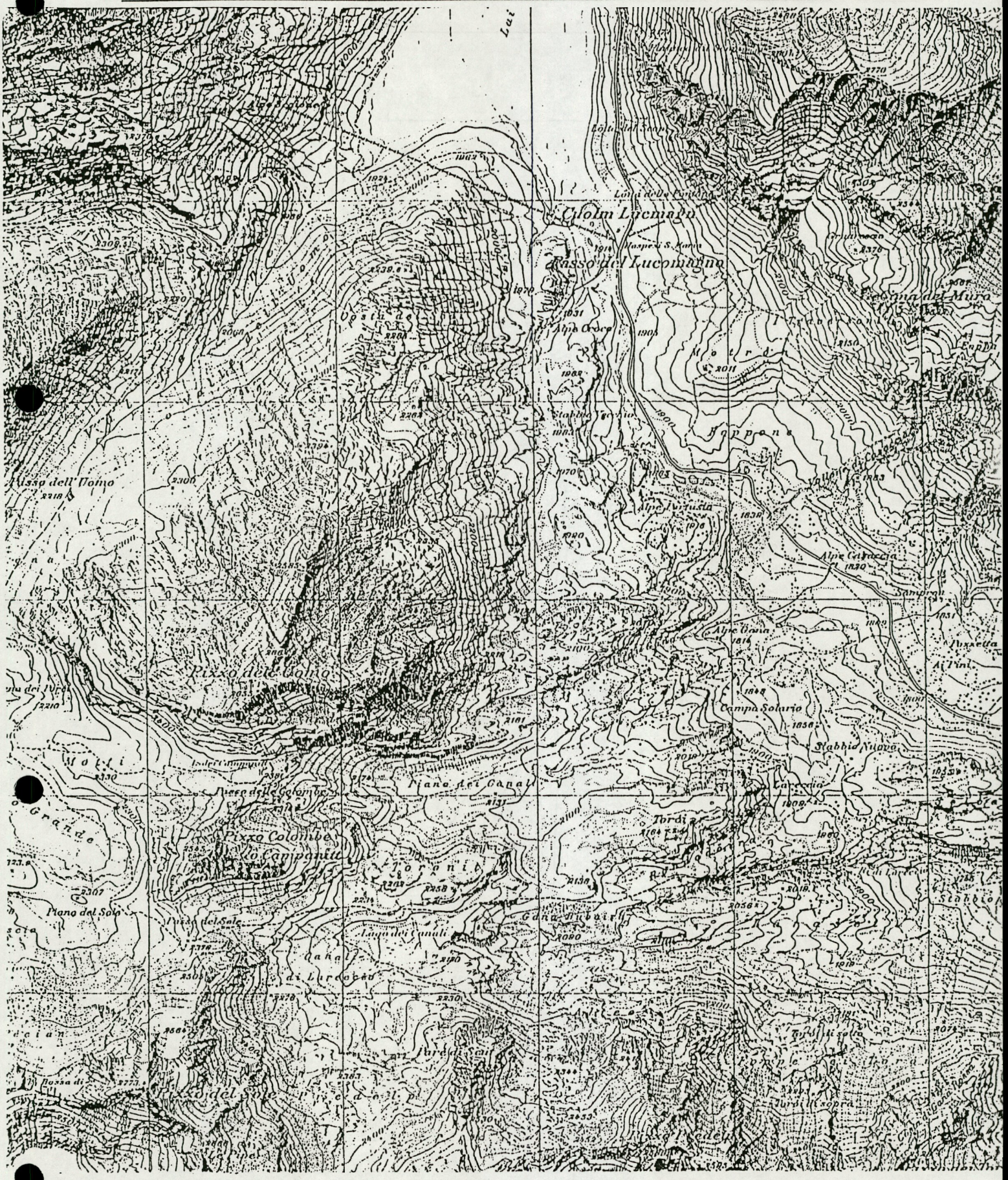
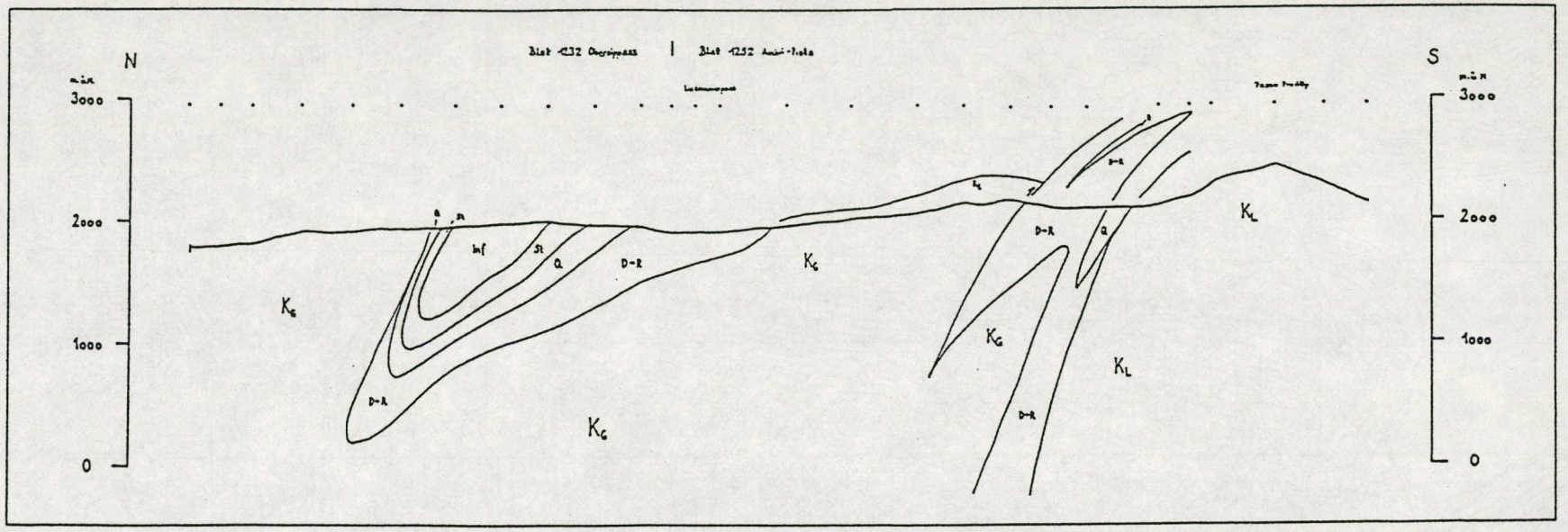


Abb. 2.1 Lageplan der seismischen Linien im Gebiet Piora / Lukmanier

Prognoseprofil NEAT 9002

(VERSION A)



Legende:

K_G	: Kristallin des Gotthardmassives	Inf	: Inferno-Serie, mill. und ob. Lias	} Bündnerschiefer
K_L	: Lucomagno-Kristallin	St	: Stgir-Serie, unt. Lias	
		Q	: Quartenschiefer, obere Trias	
		D+R	: Dolomite + Rauhwacken, unt. Trias	

. . . = Grenze der Isohypsenserie

Abb. 2.2 Prognose geologischer Querschnitt entlang NEAT9002-1

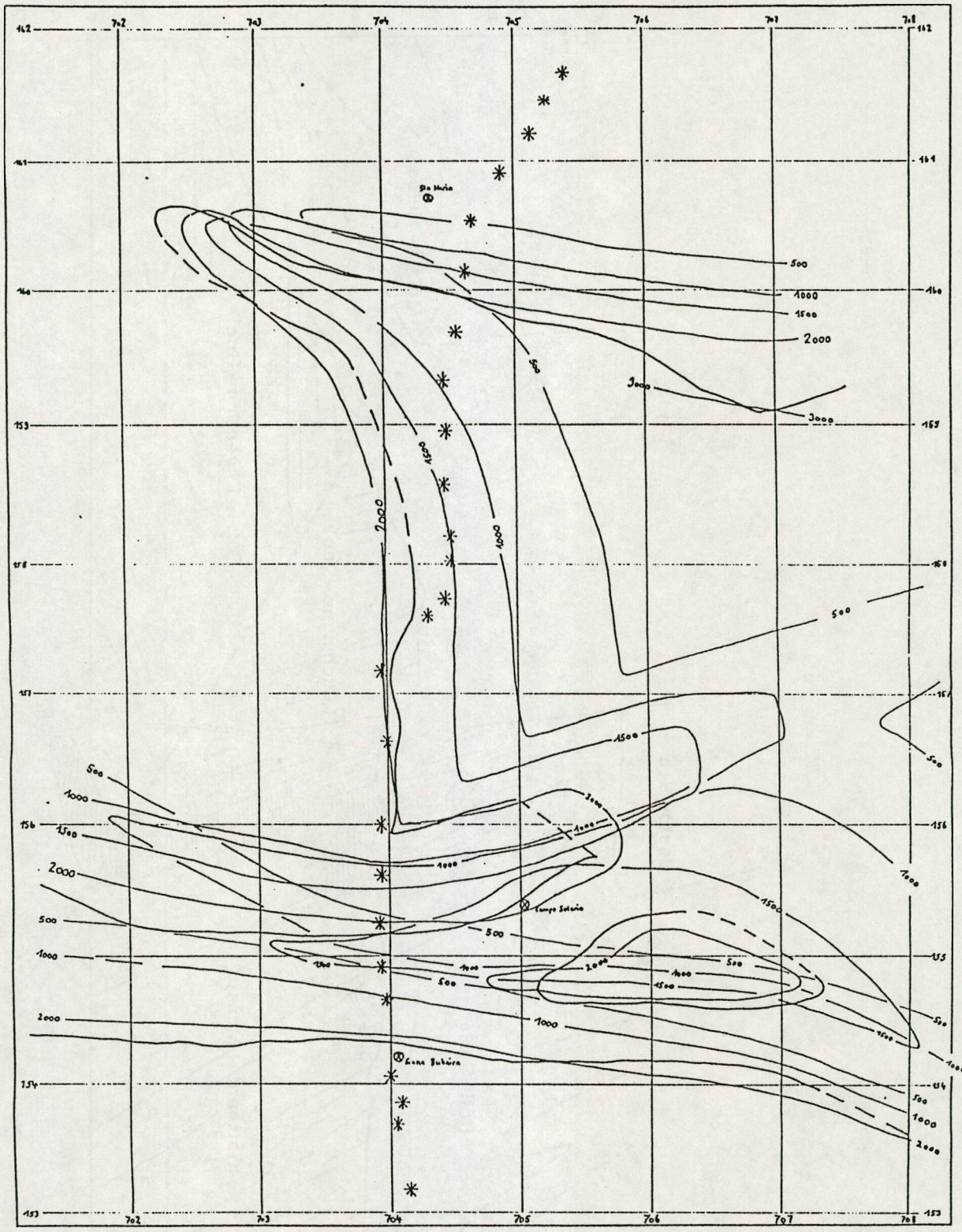
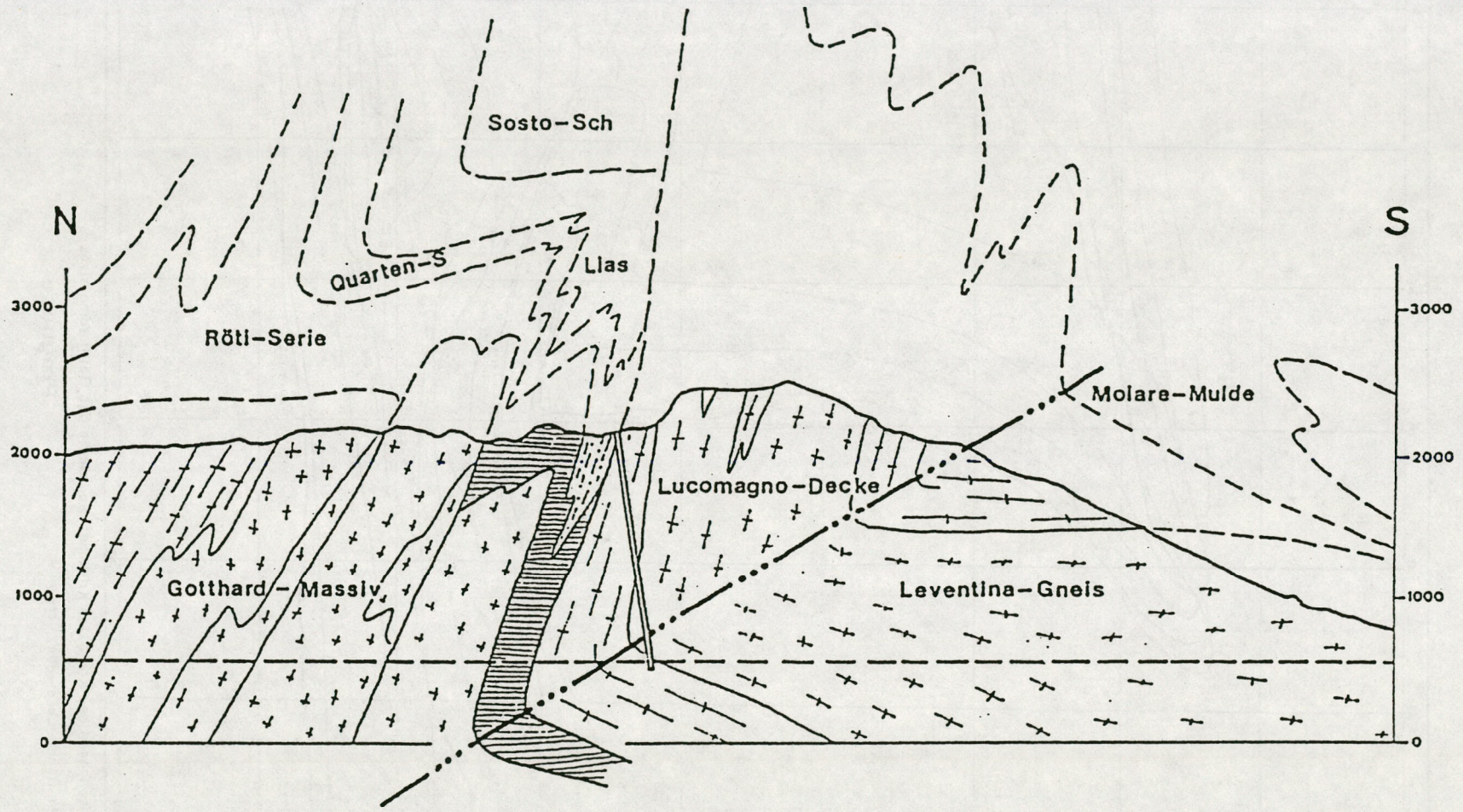
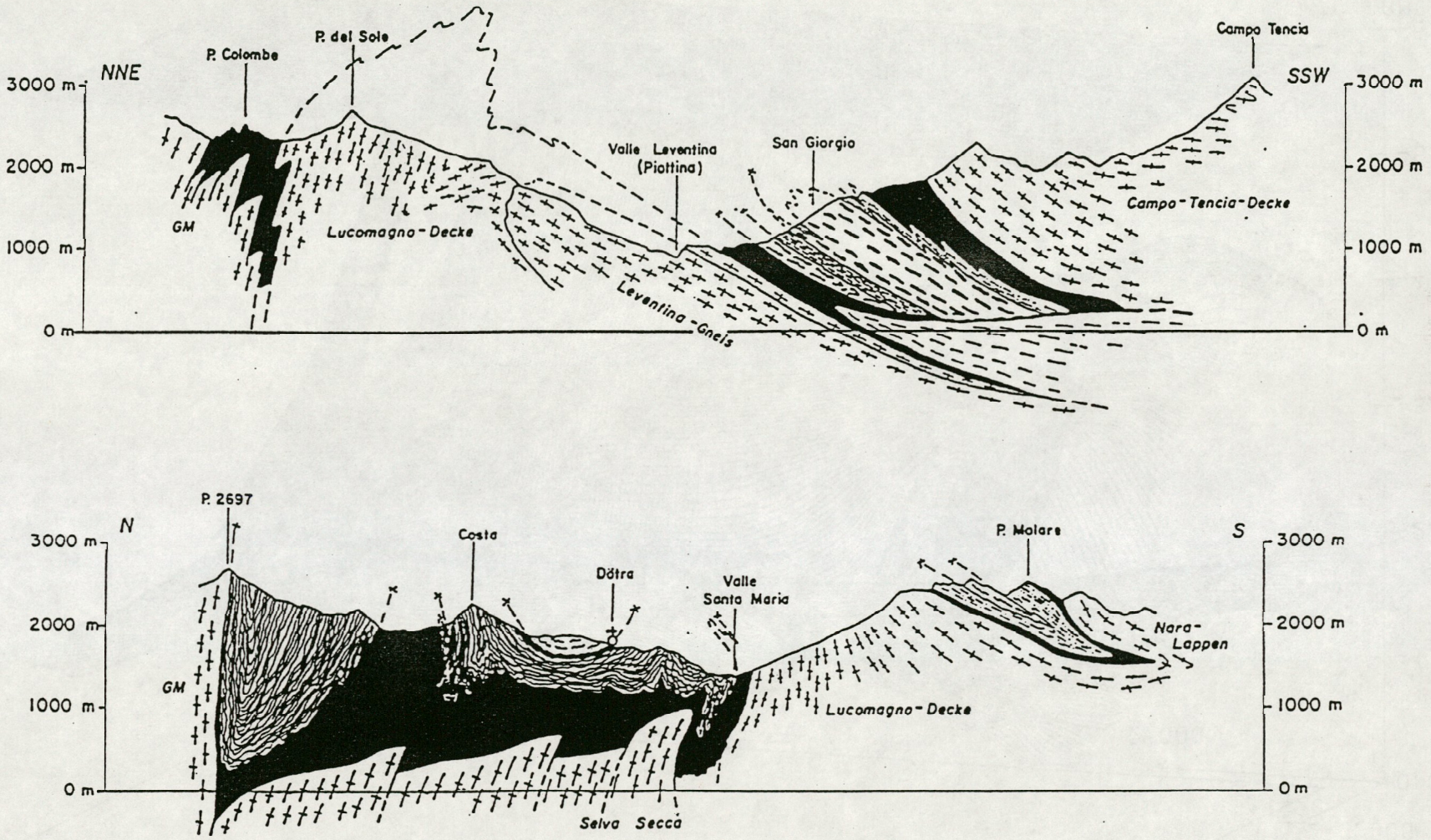


Abb. 2.3 Prognose Isohypsenkarte, Grundlage für die seismische Modellierung



Profil entlang der Ordinate 703'750 (Etter, Dezember 1990)

Abb. 2.4 Prognoseprofil *Etter 1990*



Profile 1.7 km westlich (oben) und 6 km östlich (unten) NEAT 9002-1 (Probst, 1980)

Abb. 2.5 Prognoseprofile *Probst 1990*

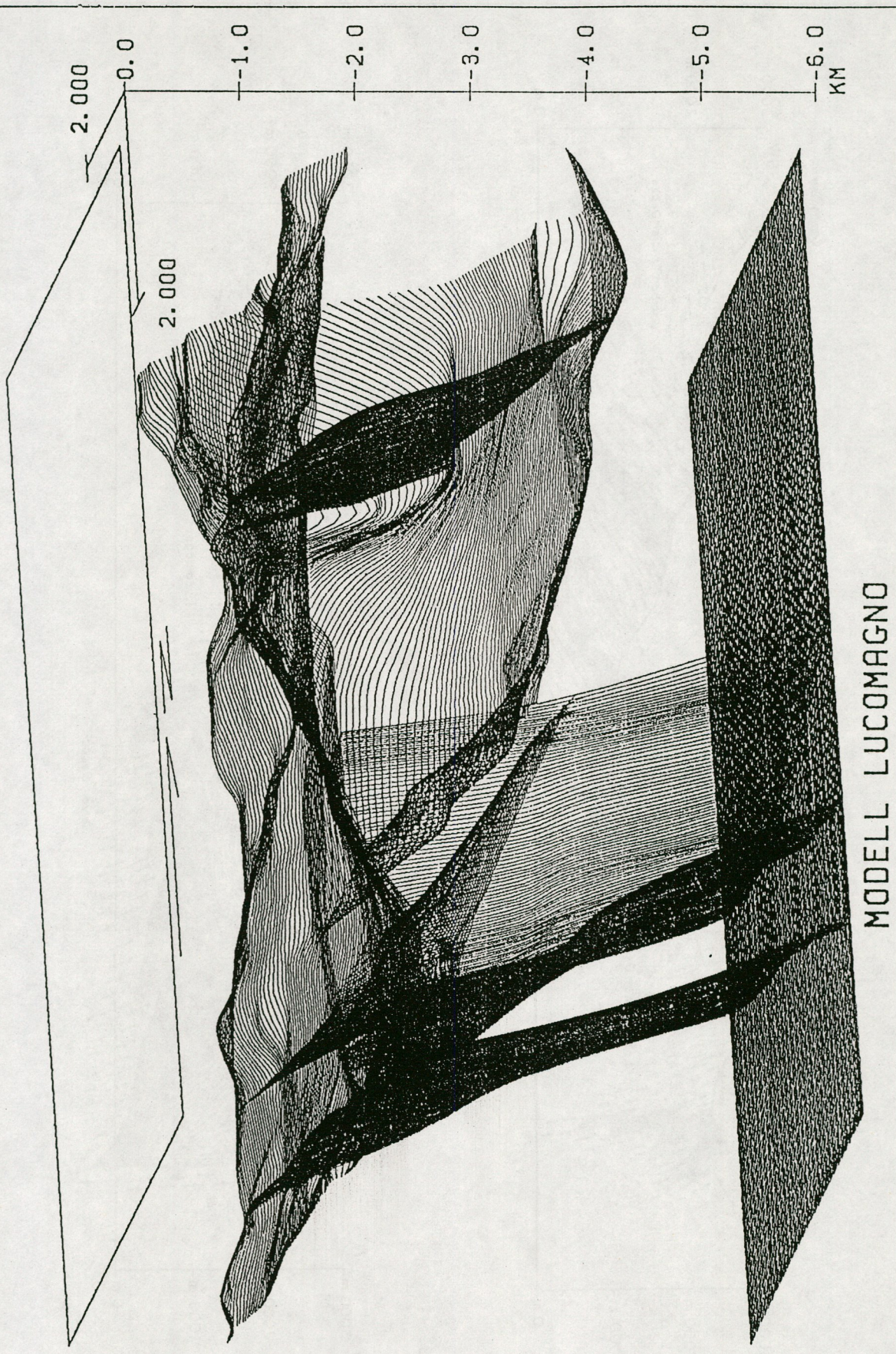


Abb. 2.6 3-dimensionales geologisches Profil der Strahlengänge

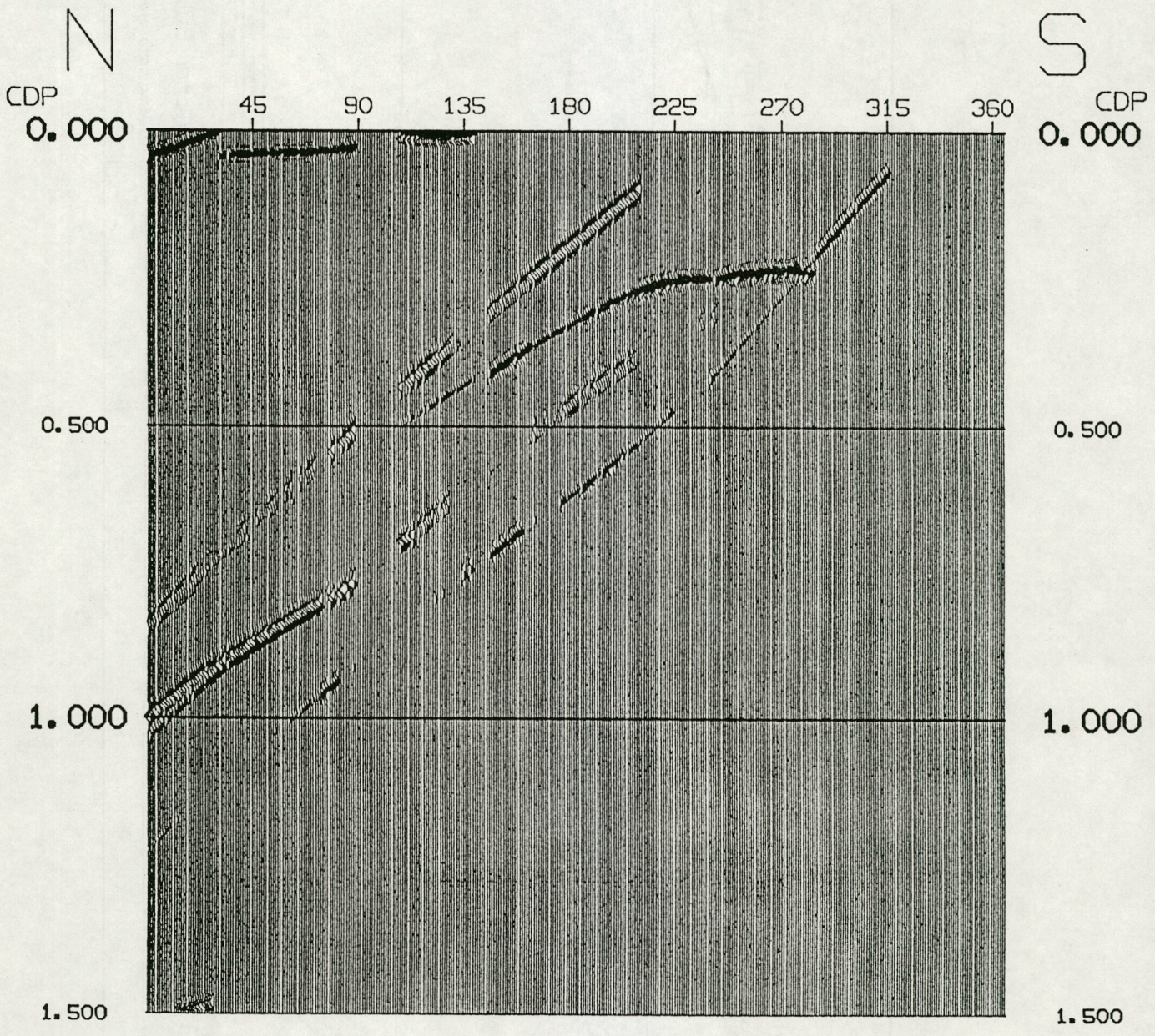


Abb. 2.7 Synthetisches seismisches Profil entlang Linie NEAT9002-1

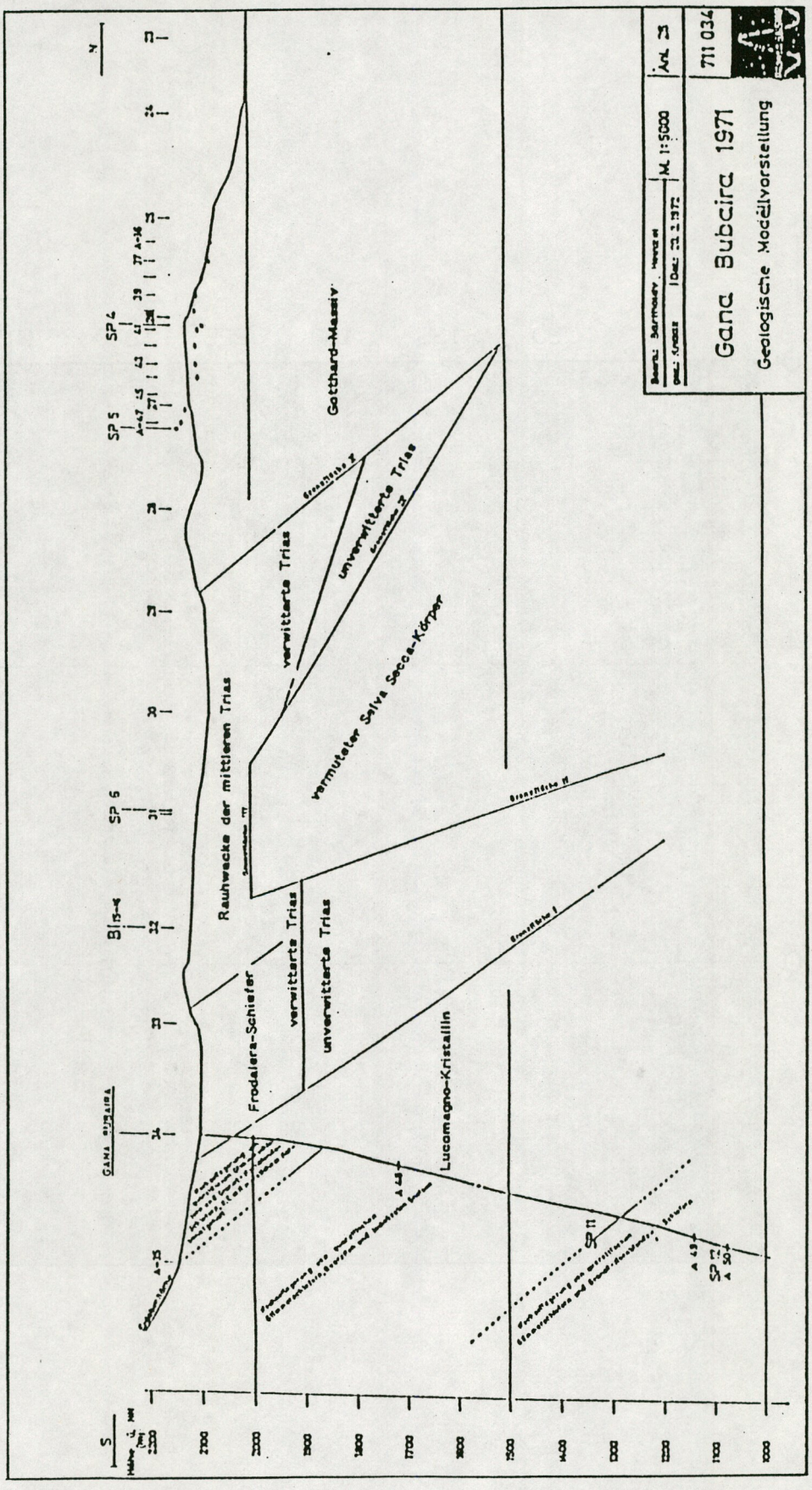


Abb. 2.8 Geologische Modellvorstellung für die Auswertung der Prakla Messungen 1972

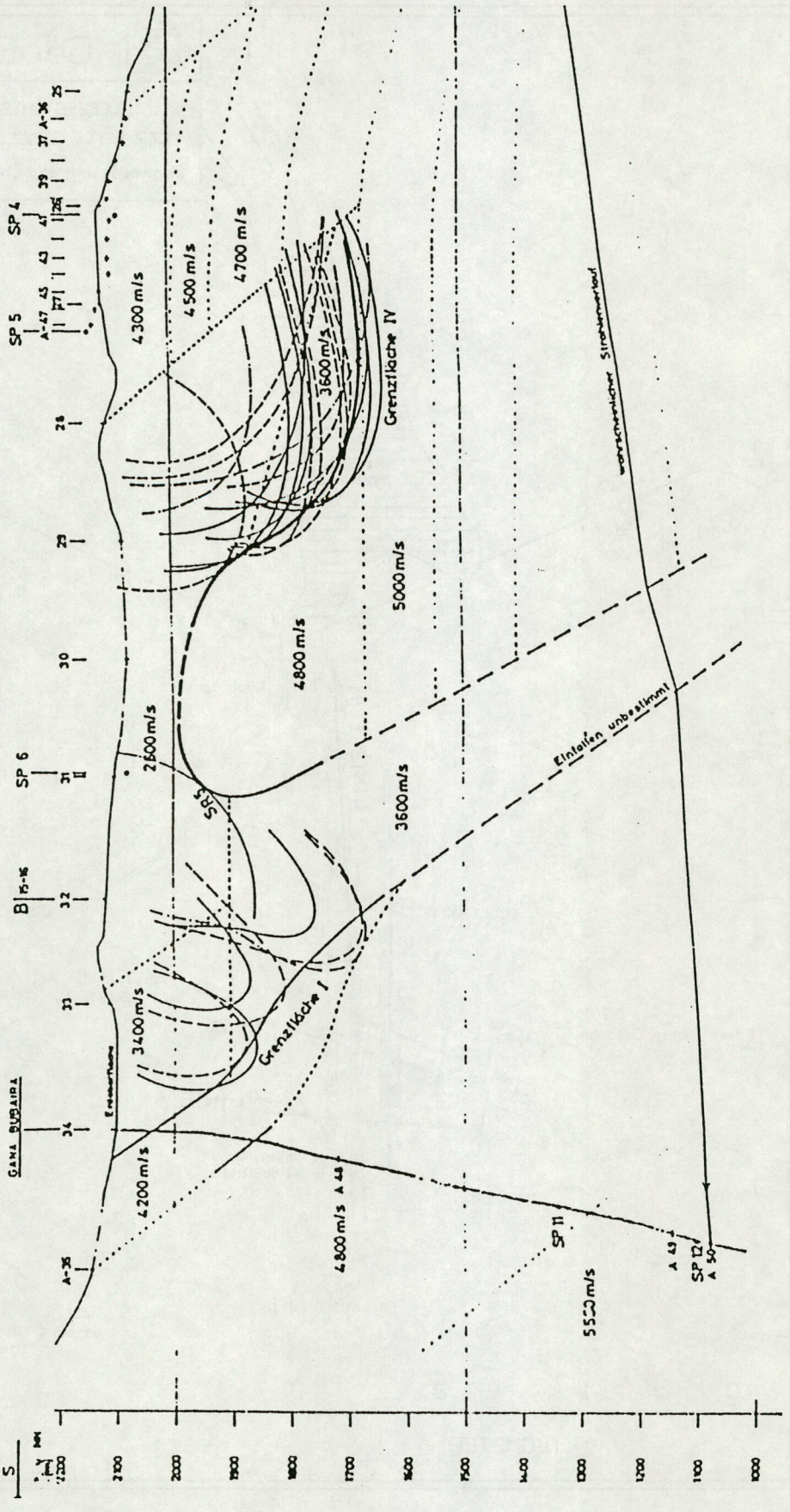


Abb. 2.9 Geologische Interpretation der Prakla Messungen 1972

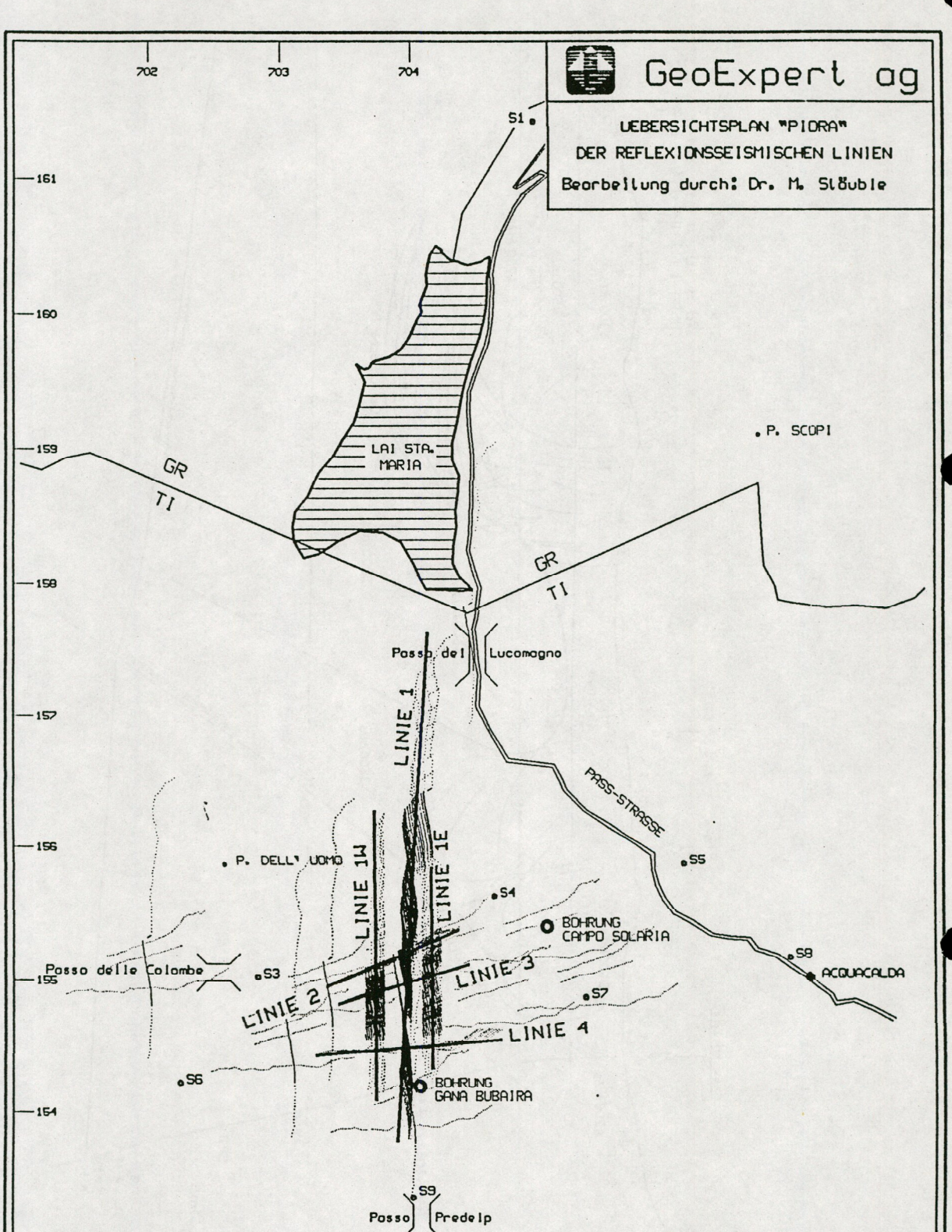


Abb. 2.10 Lageplan der verwendeten Reflexionspunkte und Refraktionslinien

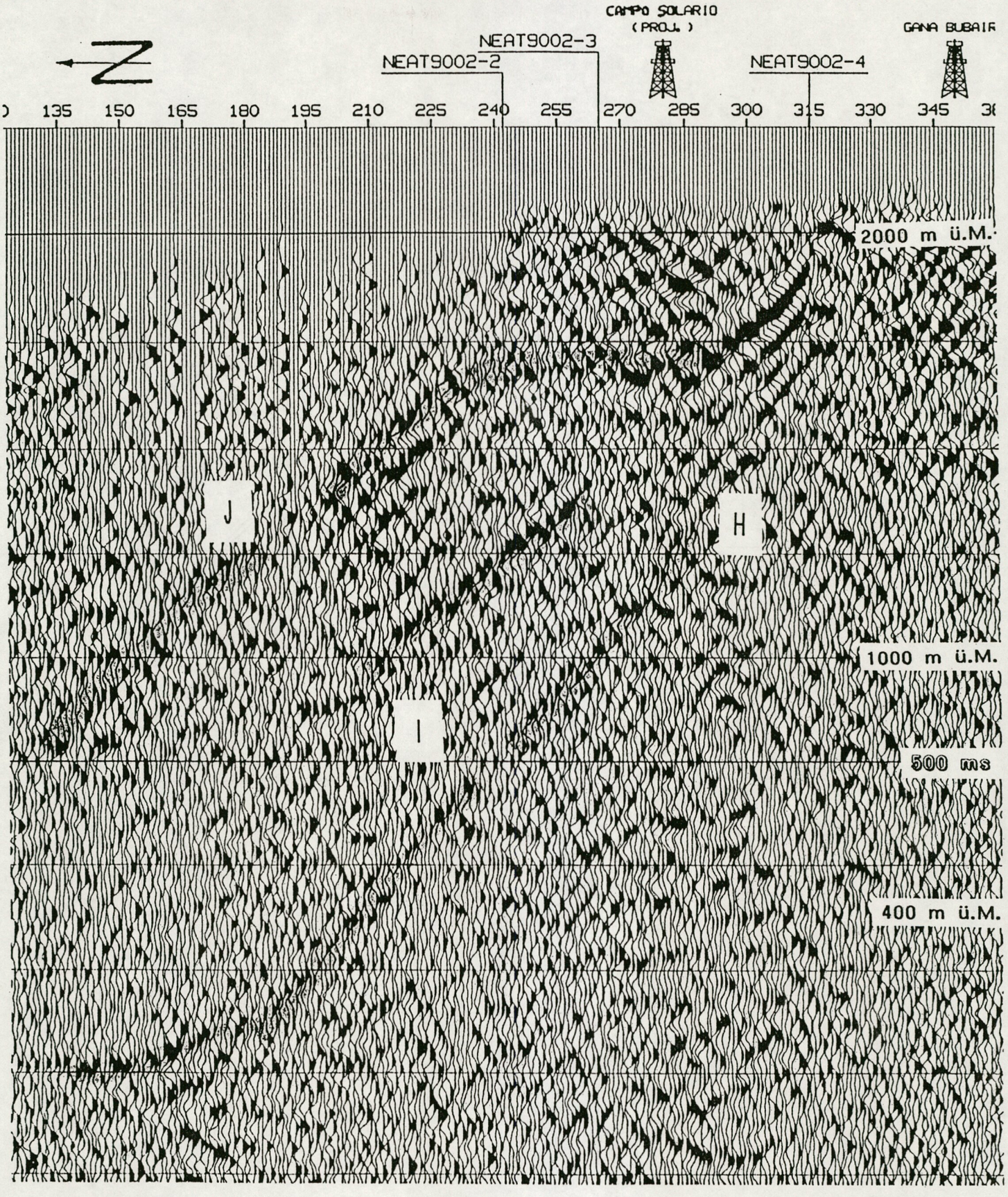


Abb. 2.11 Ausschnitt seismisches Profil NEAT902-1

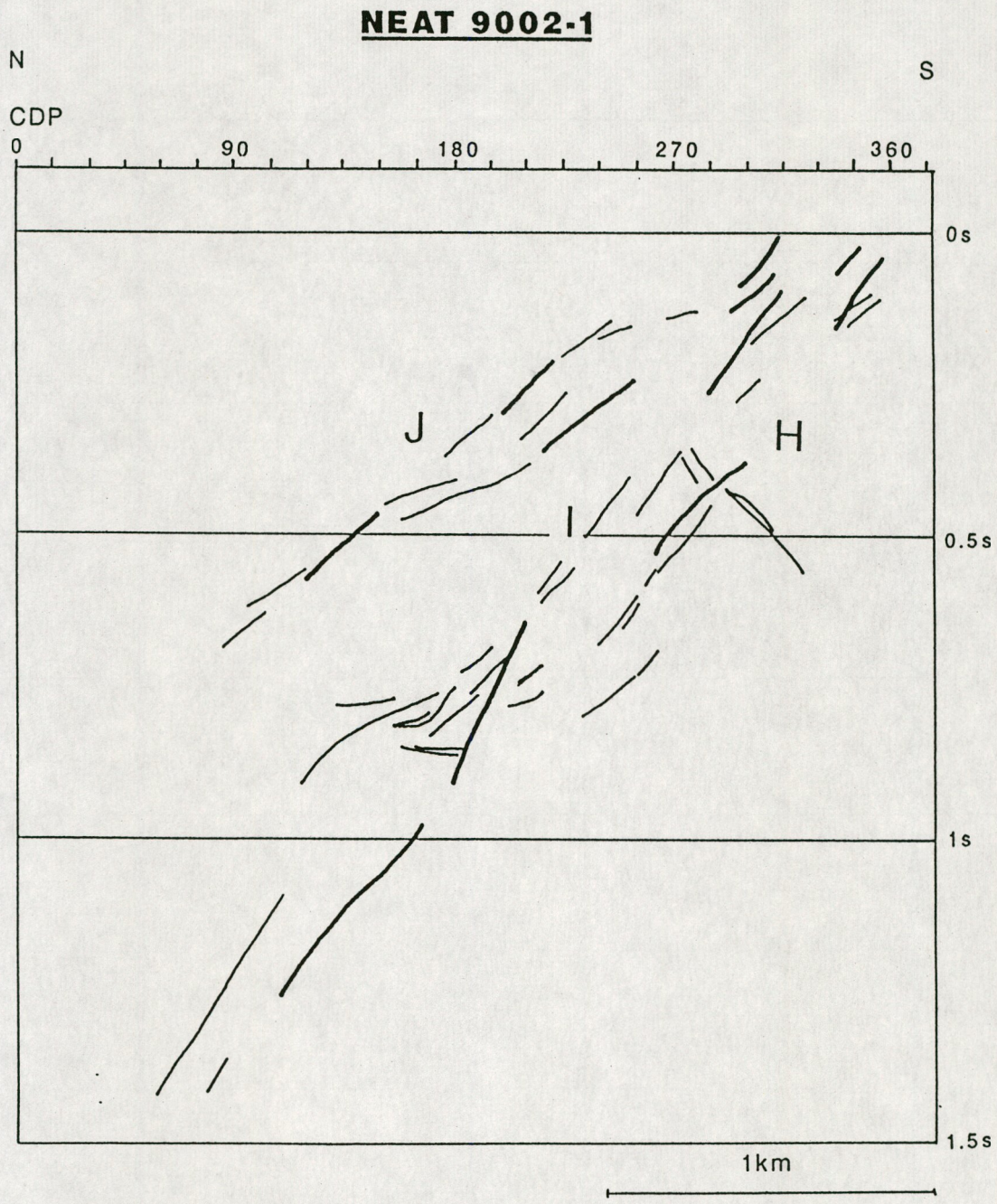


Abb. 2.12 "Sammelprofil" NEAT9002-1 in Form einer Strichzeichnung

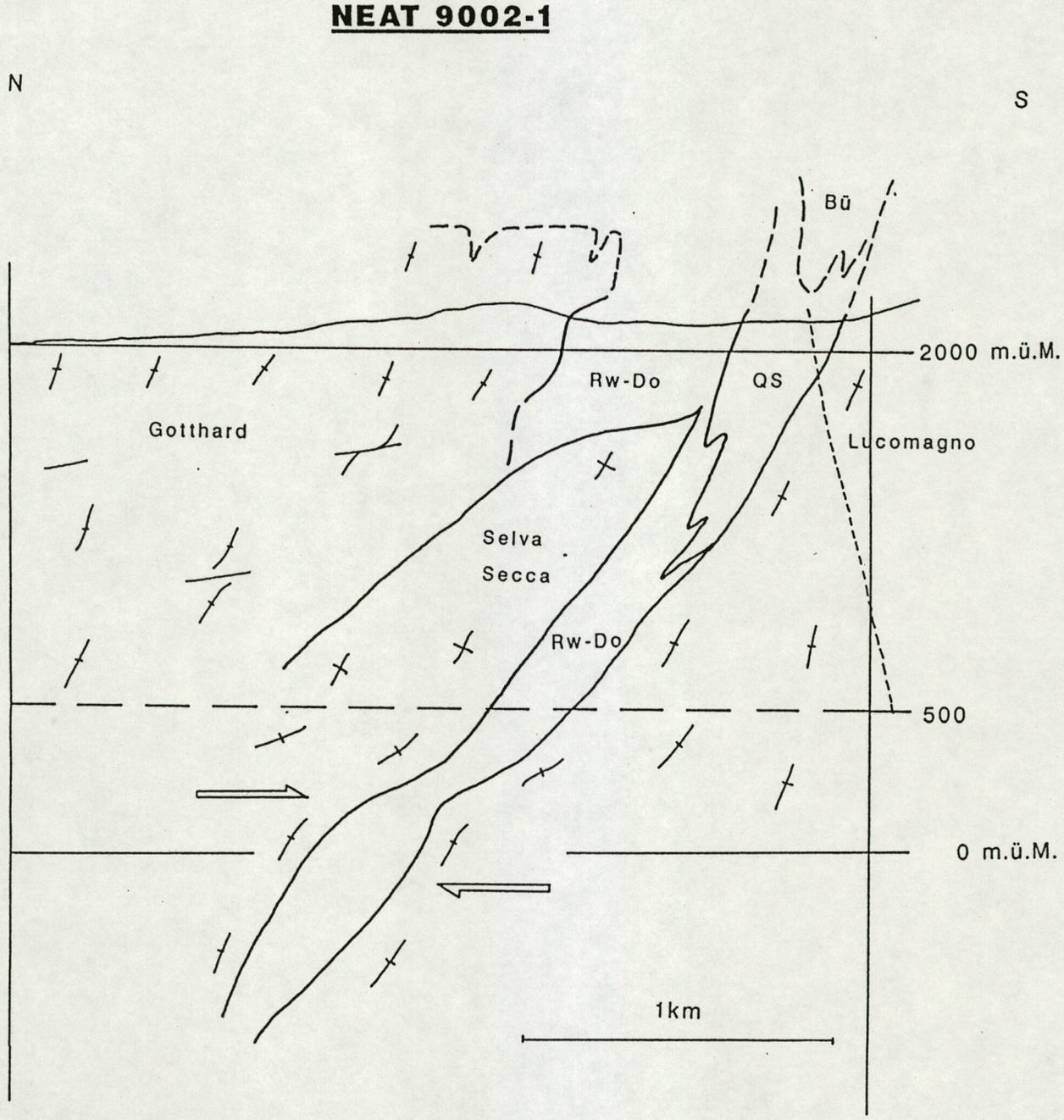


Abb. 2.13 Geologische Interpretation Profil NEAT9002-1

3

3 DIE MESSUNGEN IM ÖFITAL

3.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Im Öfital ging es vor allem darum, die quartäre Übertiefung dieses Seitentales zu erfassen. Dies ist bei einer Untertunnelung auf der Ostseite des Reusstals besonders kritisch. Entscheidend ist dabei der Umstand, dass die Felsoberkante im Haupttal weit tiefer liegt als der Basistunnel und somit mit canyon-artigen Einschnitten zu rechnen ist. Diese Verhältnisse sind in den Prognoseprofilen GOBA9001 und 9002 wiedergegeben (**Abb. 3.2** und **3.3** auf den Seiten 3.6 und 3.7).

3.2 DIE FELDARBEITEN

3.2.1 Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten

DATUM	ARBEITEN
Mai - Juli 1990	Permitting, kantonale Bewilligung
Aug./Sep. 1990	Detailpermitting (Grundeigentümer, Wasserkorporationen)
10. Sep. 1990	Beginn der Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
12. Sep. 1990	Abschluss der Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
24. Sep. 1990	Beginn seismische Feldaufnahme durch GeoExpert ag
26. Sep. 1990	Abschluss der seismischen Feldaufnahme

3.2.2 Das Messprogramm

Die Zielsetzung der Messungen ist die Bestimmung der Lockergesteinsmächtigkeit vor allem unter dem oberen Teil des Öfitals. Als Energiequelle für die Reflexionsseismik kam die Anregung mit einem Fallgewicht zur Anwendung, da aus Gründen des Gewässerschutzes im oberen Teil des Tals nicht gesprengt werden durfte. Der obere Teil der Linie GOBA9001 und die Querlinie GOBA9002 (Situationsplan **Abb. 3.1**, Seite 3.5) wurden mit der Reflexionsmethode vermessen. Der untere Teil von Linie GOBA9001, von der Siedlung Bitzi bis ans Ufer der Reuss, wurde mit Refraktionsseismik erkundet.

Für die Refraktionsseismik wurden an vier Positionen, S1 - S4, Schusslöcher gebohrt.

Ursprünglich war noch eine Querlinie GOBA9003 im obersten Bereich des Öfitals geplant. Wegen des unbegehbaren Geländes und der geringen Aussichten auf verwertbare Daten wurde diese Linie aus dem Programm gestrichen.

3.2.3 Die Bohrarbeiten

Ausführende Firma: Bereuter Sprengtechnik ag, 8604 Volketswil

Personal und Ausrüstung:
- 2 Mann
- 1 auf Lafette montiertes Bohrgerät Typ "Bencher"
- 1 Kompressor 7 m3
- 1 Raupengetriebenes Zugfahrzeug Typ "Yamaguchi"
- 1 PW Kombi

Der Bohrdurchmesser betrug 45 mm. Die Verrohrung erfolgte mit PVC-Rohren 400 x 40 x 2 mm.

Übersicht über die durchgeführten Bohrarbeiten

Bohrpunkt	Anzahl Löcher	Tiefe (m)	Bohrmeter (m)
S1	5	2.3 - 3.5	13.0
S2	4	4 x 1.5	6.0
S3	3	3 x 3.0	9.0
S4	4	4 x 3.5	14.0
Total	16		42.0

3.2.4 Die Registrierarbeiten

Ausführende Firma: GeoExpert ag

Eine Aufstellung über die personelle und apparative Zusammensetzung des seismischen Messtrupps befindet sich in Kapitel 1.3 *"Zur Organisation der Messungen"*, Seite 1.9.

a) Aufnahmeparameter

GOBA9001:

Profillänge	1560 m
Geophonabstände	
Refraktionsseismik (untere Profilhälfte)	10 m
Reflexionsseismik (obere Profilhälfte)	5 m
Abstände Fallgewichtsanregung	5 m
Anzahl Schläge pro Punkt	4
Anzahl Reflexionsanregungspunkte	84
Ladungsmenge Refraktionsschüsse	0.5 - 2 kg
Tiefe der Schusslöcher	1.5 - 3.5 m
Anzahl Refraktionsschüsse	14

GOBA9002

Profillänge	204 m
Geophonabstand	3 m
Abstände Fallgewichtsanregung	3 m
Anzahl Schläge pro Punkt	4
Anzahl Reflexionsanregungspunkte	53

b) Die äusseren Messbedingungen

Es herrschten für die Messungen günstige Witterungsbedingungen.

Die Bodenunruhe durch den Verkehr (Autobahn und SBB) war im unteren Teil des Tals beträchtlich. Starke Störeinstreuungen von 16 2/3 Hz sind auf den Empfängerstationen bis zu 100 m Entfernung von der Gotthardbahn zu verzeichnen.

Im unteren Teil der Refraktionslinie sind auf den Aufzeichnungen bei Schuss-/Empfänger-Abständen von über 250 m keine interpretierbaren Ersteinsätze mehr zu erkennen.

Die Qualität der *Reflexions*daten im oberen Teil des Öfitals ist zufriedenstellend.

3.3 DIE EDV-AUSWERTUNG

Der generelle Ablauf der reflexionsseismischen EDV ist in Kapitel 1.6, Seite 1.18 dargestellt.

Einige Schwierigkeiten ergaben sich bei der *Auswertung der Refraktionsdaten* auf den untersten 400 m des Profils. Die durch die starke Bodenunruhe verursachte schlechte Datenqualität verunmöglichte eine eindeutige Bestimmung der Ersteinsätze Der in **Abb. 3.4**, Seite 3.8 dargestellte Verlauf des Felduntergrundes zwischen den Schusspunkten S1 und S2 muss mit einer Fehlertoleranz von +/- 40% gedeutet werden. Insbesondere ist die Tiefenangabe unter Schusspunkt S1 nicht verlässlich.

3.4 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Im Öfital wurden die beiden reflexionsseismischen Profile GOBA9001 und 9002 sowie ein refraktionsseismisches Profil auf der talweitigen Verlängerung von GOBA9001 aufgenommen. Alle drei Profile galten der Abklärung der Quartärmächtigkeit, währenddem die relativ einfache Geologie des Felsuntergrundes bereits gut bekannt war und keine neuen Erkenntnisse erwarten liess.

Im Bereich der Stationen 118 bis 143 (**Abb. 3.4**, Seite 3.8) zeigt das refraktionsseismische Profil am Ausgang des Öfitals eine Quartärmächtigkeit von 60 bis 70 m an, die gegen das Reusstal hin rasch zunimmt. Die Verlässlichkeit der Daten nimmt westlich der Station 118 ab. Die Felsoberfläche ist im Reusstal tiefer als die im refraktionsseismischen Profil angegebenen 300 m ü.M. Im geologischen Profil (**Abb. 3.7**, Seite 3.11) wurde dieser Wert deshalb entsprechend nach unten korrigiert.

Im reflexionsseismischen Profil GOBA9001 (**Abb.3.5**, Seite 3.9) sind bis 0.2 s TWT (*Two Way Time* = Reflexionslaufzeit) mehrere parallel zur Oberfläche verlaufende Reflexionen zu sehen. Die am deutlichsten in Erscheinung tretende Reflexion B wird dabei der Grenze Quartär/Felsuntergrund zugeordnet. Durch Korrelation mit GOBA9001wird auch die Reflexion B in GOBA9002 (Abb 3.6, Seite 3.10) als Felsoberkante gedeutet. Aus dem Verlauf der Reflexion wird an der tiefsten Stelle, unter dem heutigen Lauf des Öfibachs, eine *Quartärmächtigkeit von 110 m* abgeleitet.

Die über der Felsoberkante liegenden, meist horizontalen Reflexionen A bilden quartärinterne Strukturen ab.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit der Seismik keine Anzeichen einer grossen Übertiefung des Öfitals ausgemacht werden. Sowohl in der Refraktions- als auch in der Reflexionsseismik fehlen die Hinweise auf einen tiefen, engen, schluchtartig in den Felsuntergrund eingeschnittenen Quartärtrog.

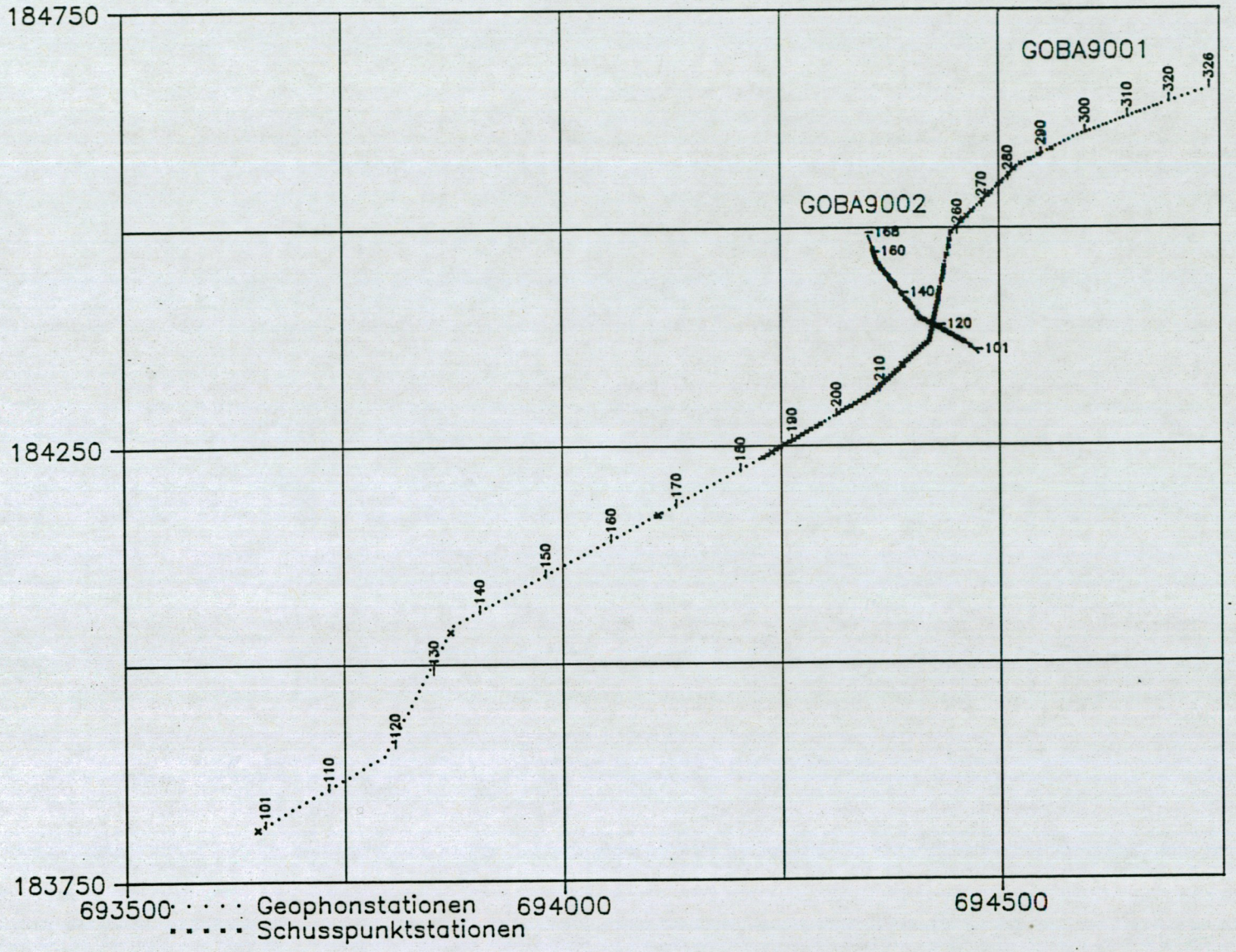
Die Quartärmächtigkeit des Öfitals beträgt im Untersuchungsgebiet maximal 130 m. Der Übergang in den tiefen Trog unter der Reuss erfolgt erst beim Talausgang.

3.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Im Moment werden keine weiteren Empfehlungen gemacht. Je nach Planung des Basistunnels ergeben sich im Ausgang des Schächentals ähnliche Problemstellungen wie im Öfital.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 3

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
3.1	Situationsplan	3.5
3.2	Geologische Prognose Linie GOBA9001	3.6
3.3	Geologische Prognose Linien GOBA9002 und GOBA9003	3.7
3.4	Refraktionsauswertung unteres Öfital	3.8
3.5	Reflexionsseismisches Profil GOBA9001	3.9
3.6	Reflexionsseismisches Profil GOBA9002	3.10
3.7	Geologischer Profilschnitt GOBA9001	3.11
3.8	Geologischer Profilschnitt GOBA9002	3.12


184750
184250
183750
693500
694000
694500
GOBA9001
GOBA9002
101
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
120
140
160
168
260
270
280
290
300
310
320
326
Geophonstationen
Schusspunktstationen

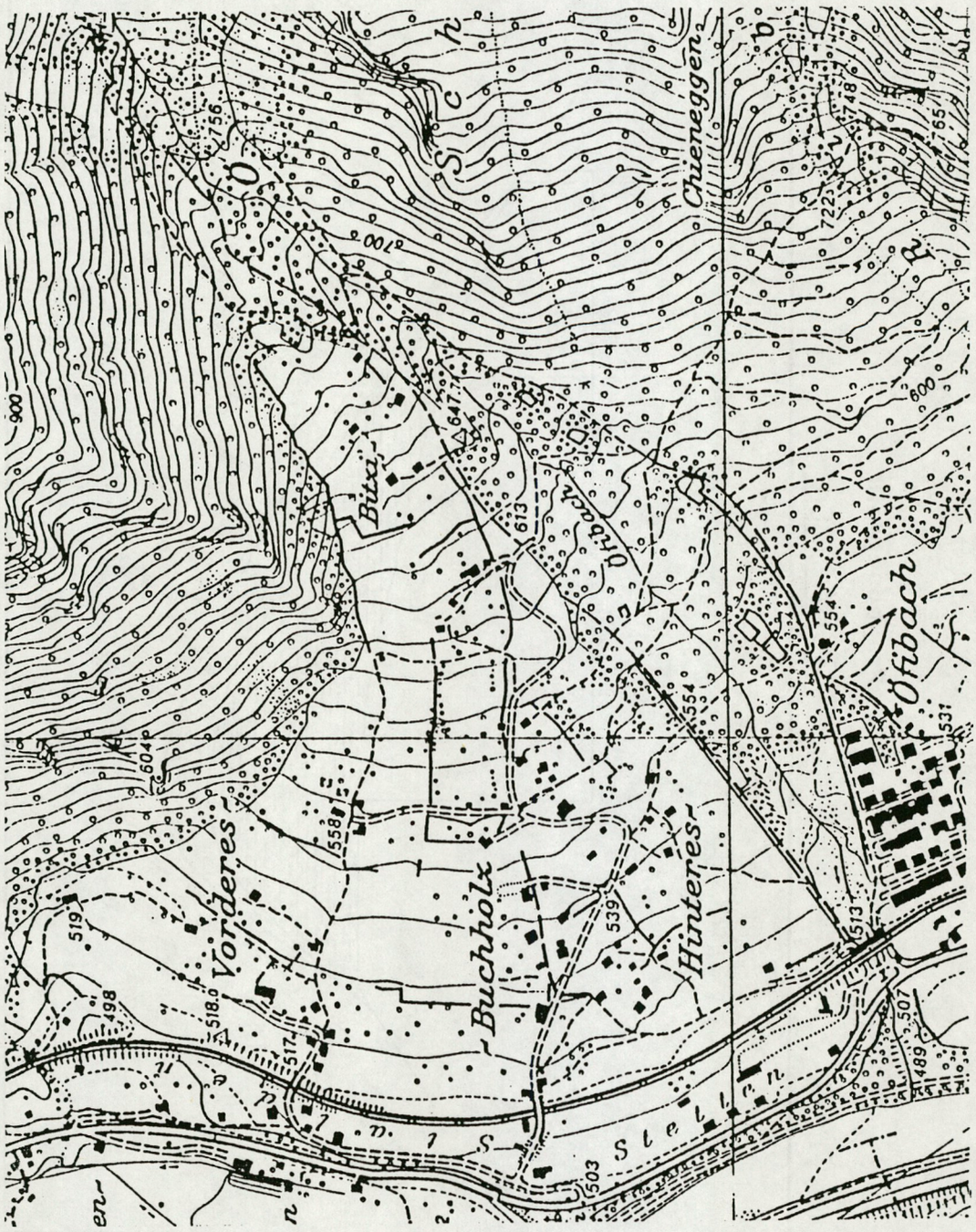


Abb. 3.1 Lageplan der seismischen Profile im Öfital

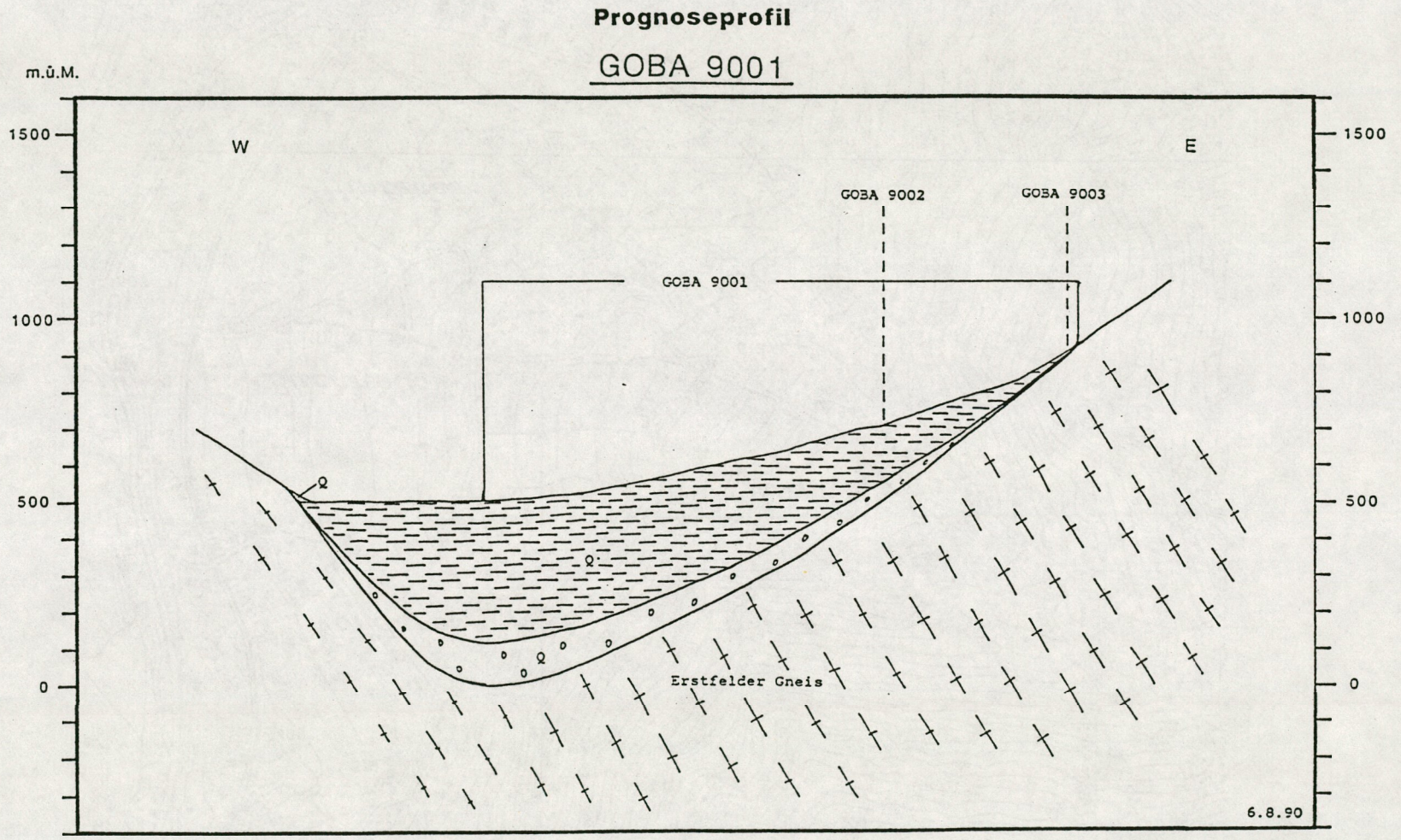


Abb. 3.2 Geologische Prognose Profil GOBA9001

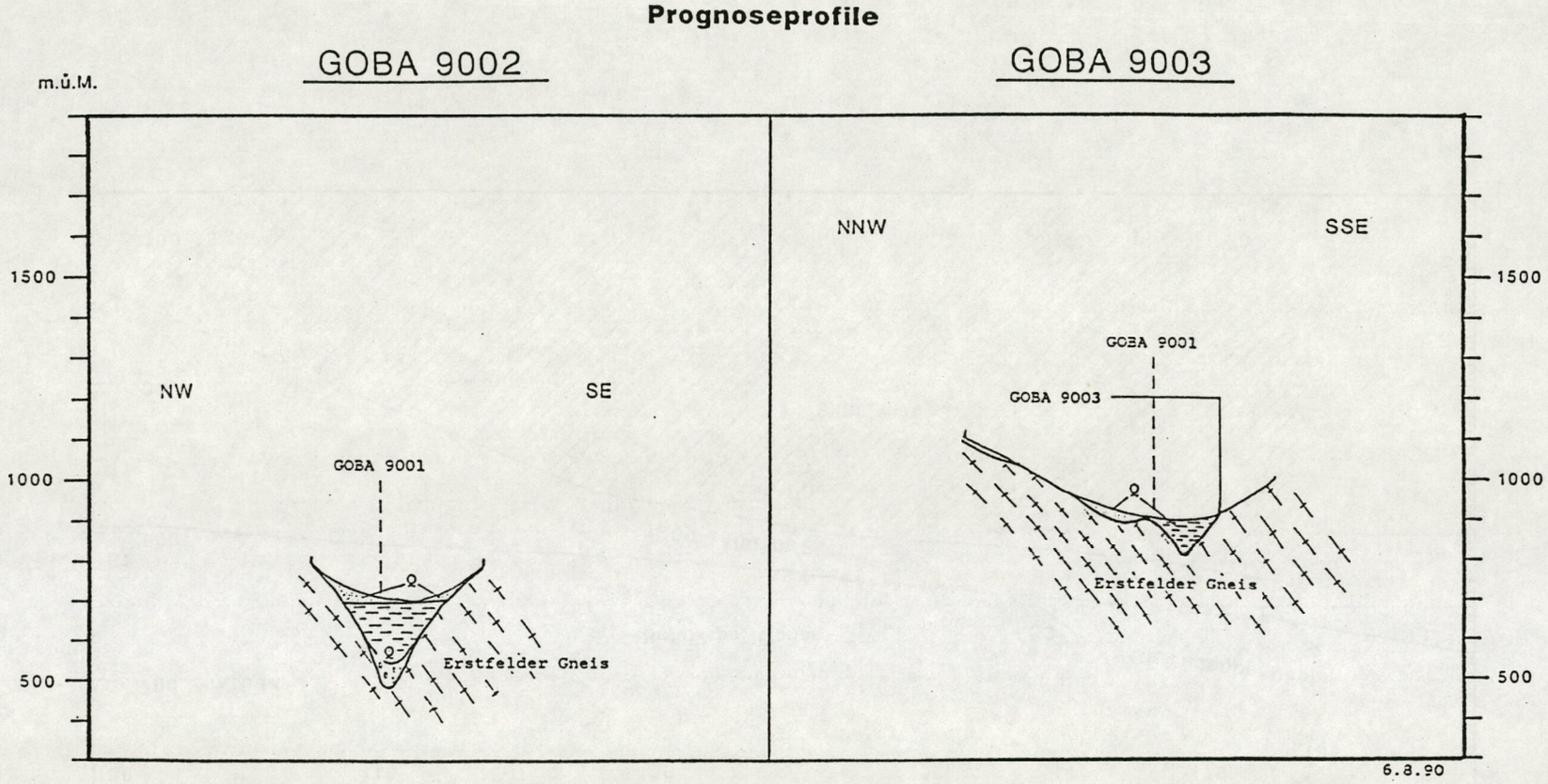


Abb. 3.3 Geologische Prognose Profile GOBA9002 und GOBA9003

AlpTransit Öfital: Auswertung Refraktionsseismik Linie GOBA9001

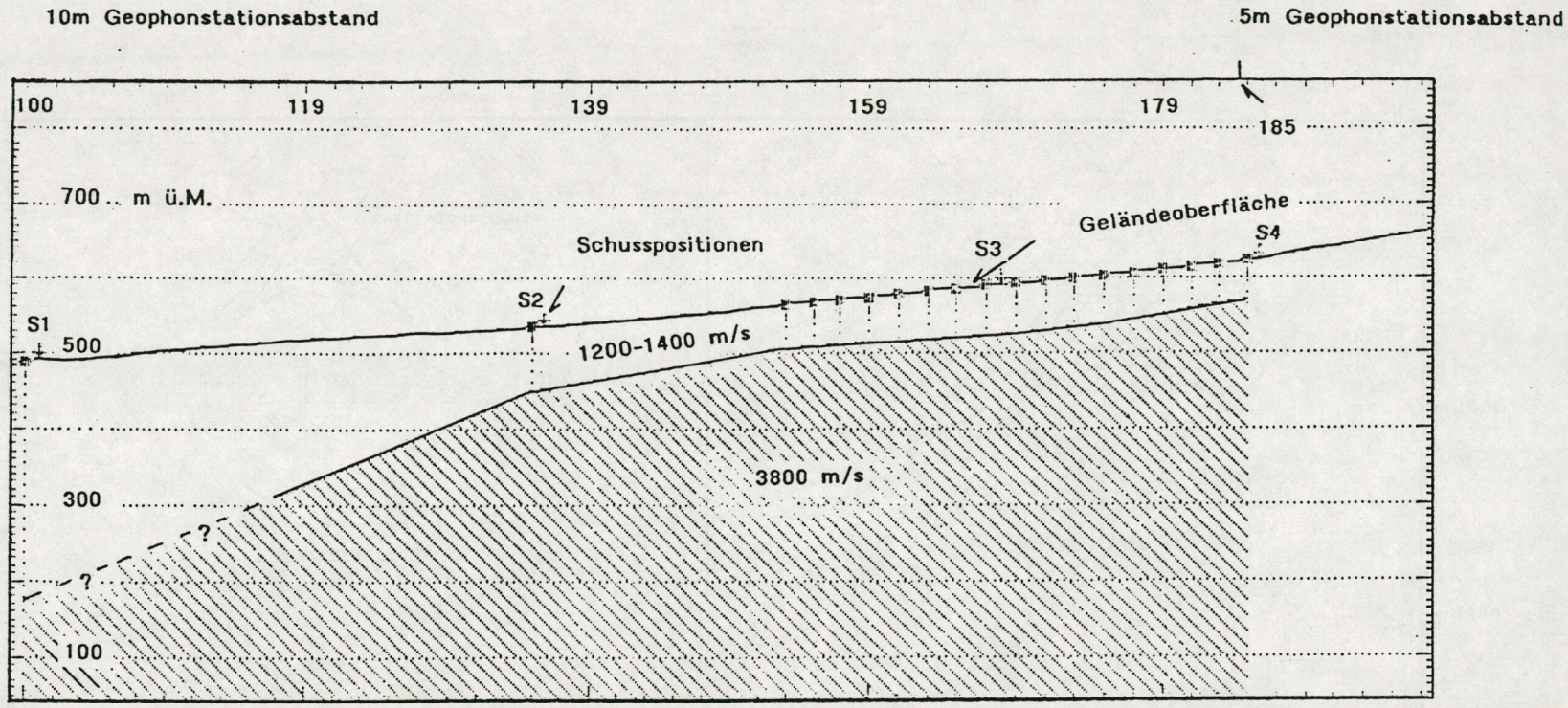


Abb. 3.4 Refraktionsauswertung unteres Öfital

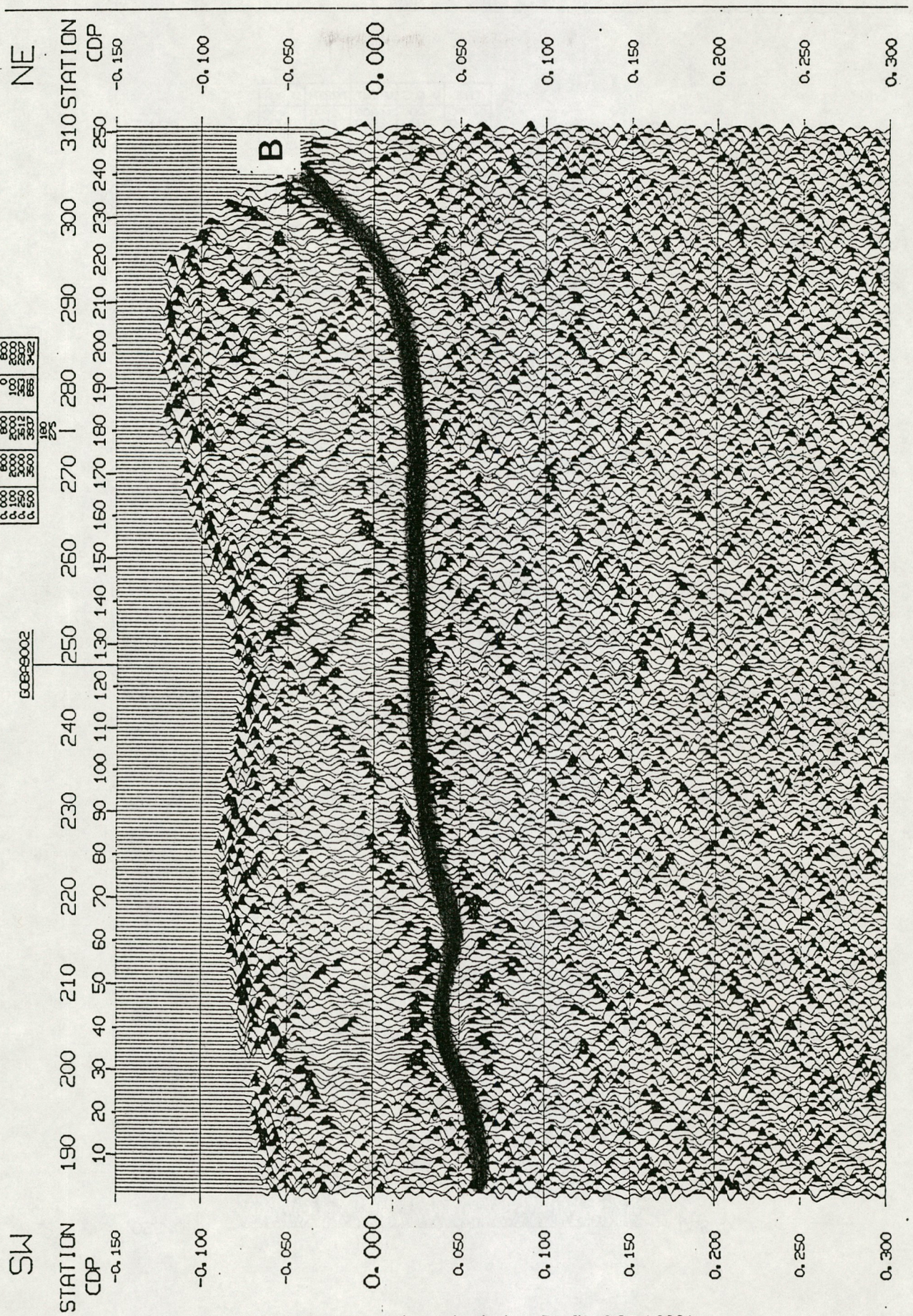


Abb. 3.5 Reflexionsseismisches Profil GOBA9001

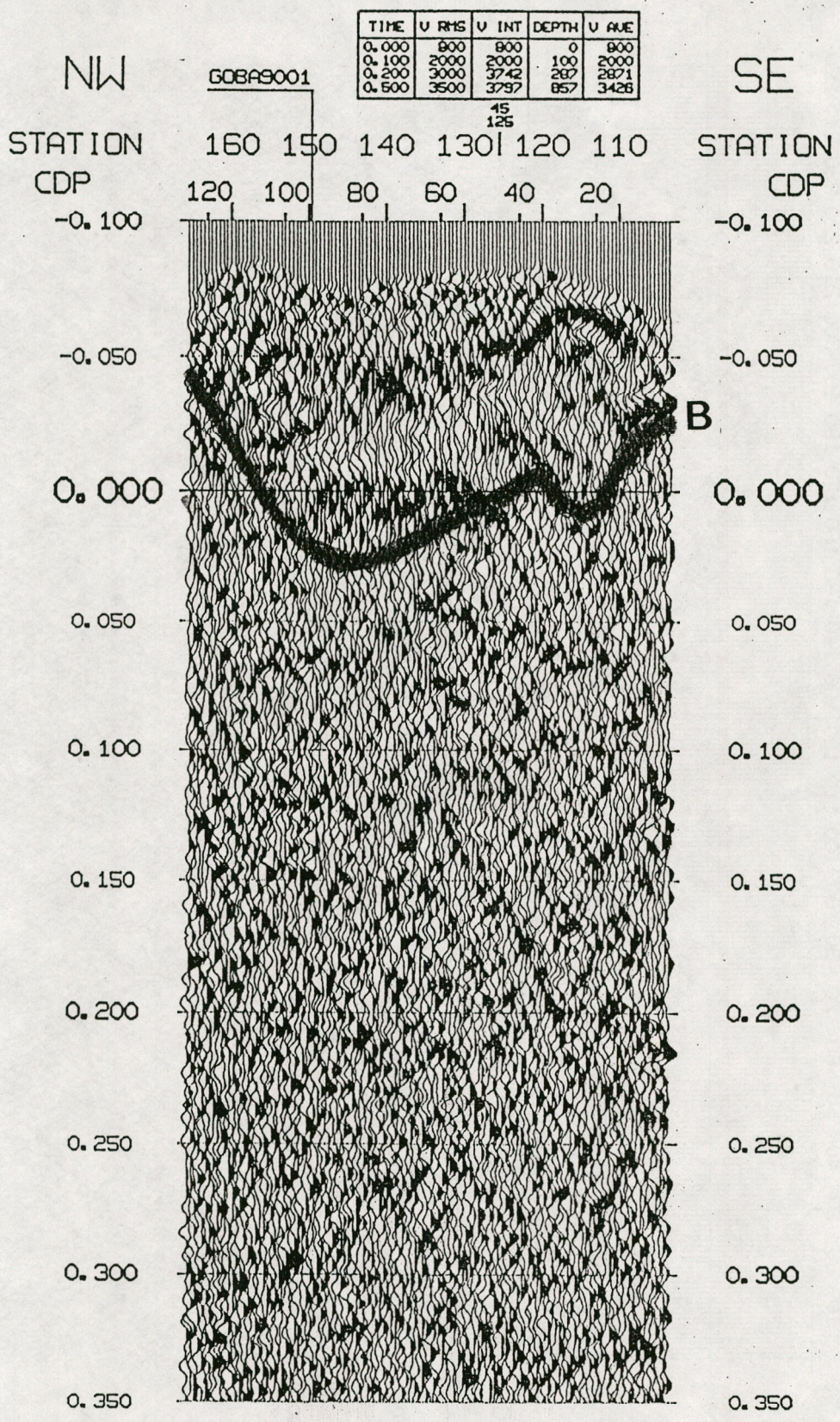


Abb. 3.6 Reflexionsseismisches Profil GOBA9002

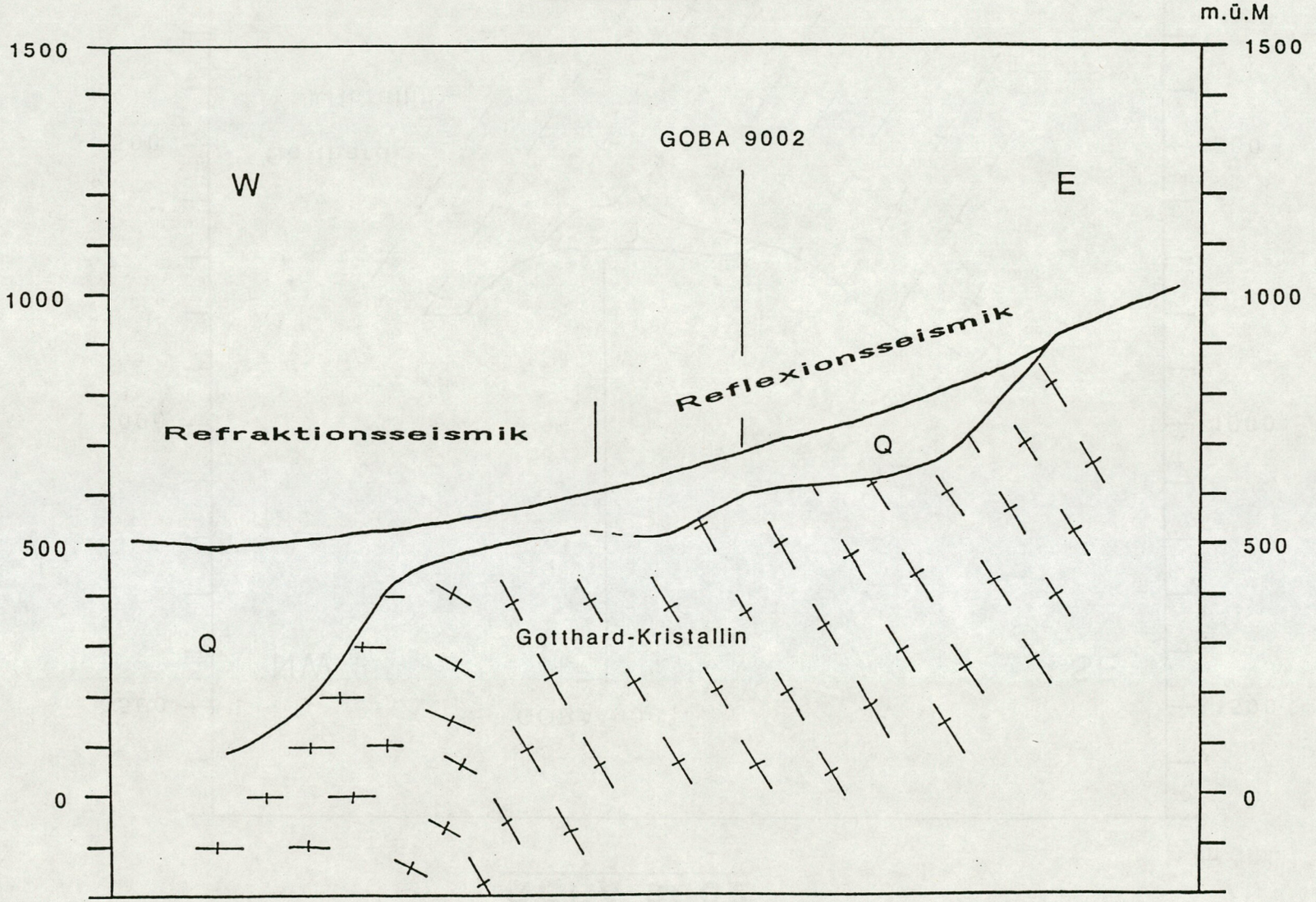


Abb. 3.7 Geologischer Profilschnitt GOBA9001

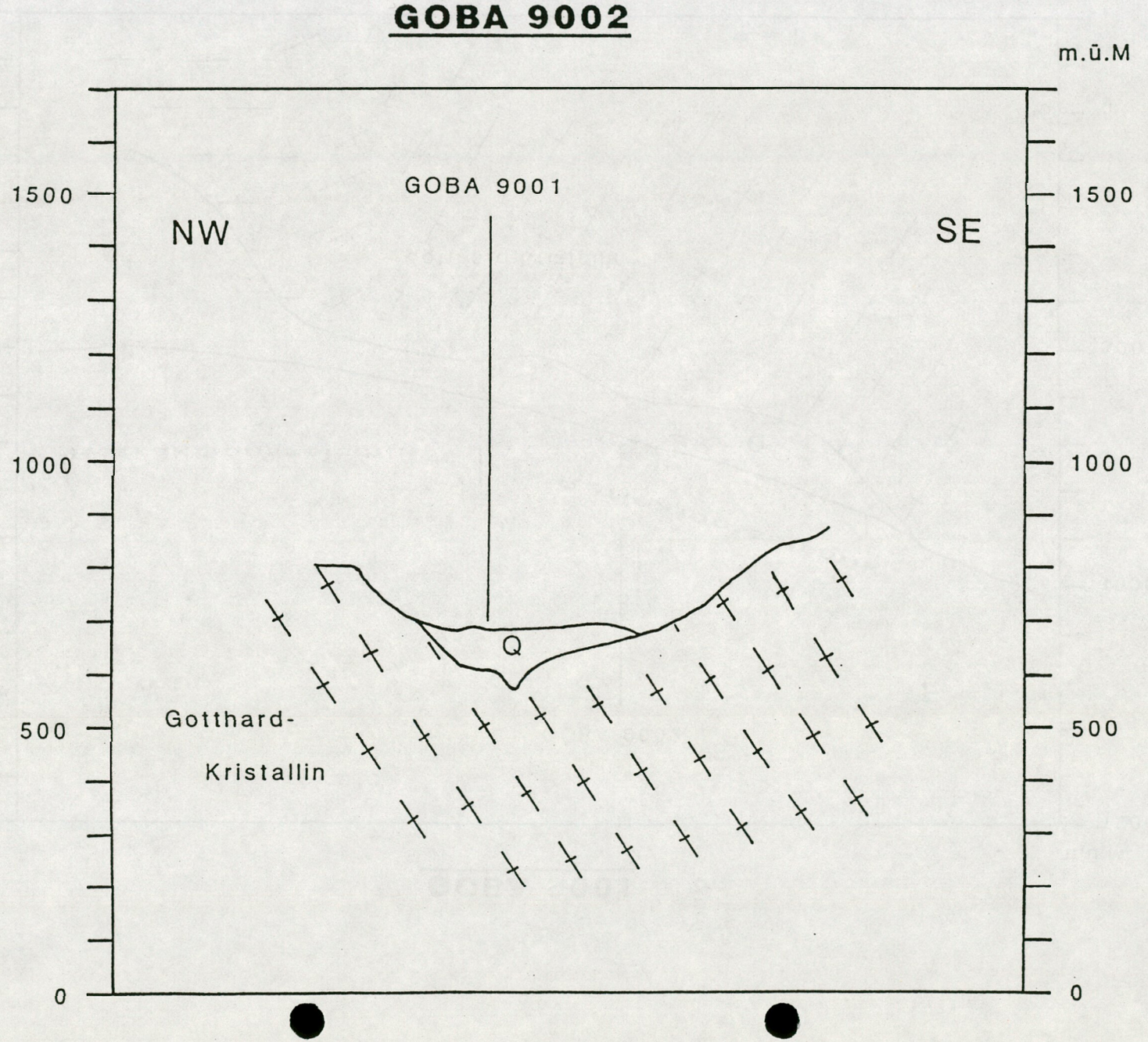


Abb. 3.8 Geologischer Profilschnitt GOBA9002

4

4 DIE MESSUNGEN IM GASTERNTAL

4.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Die seismischen Linien im Gasterntal dienen einerseits der Erkundung der Felsoberkante und sollen andererseits versuchen, die Strukturen des Gastern-Teilmassives und dessen autochthoner Sedimentbedeckung abzuklären.

Die Kenntnis der Mächtigkeit der Lockergesteinsmasse der Trogfüllung ist kritisch für die Unterquerung des Tales, wie dies die Erfahrung beim Bau des bestehenden Lötschbergtunnels drastisch vor Augen führte. Ein wichtiger Eckpunkt bei diesem Problemkreis ist die Bohrung bei Koord. 618 957 / 144 962, deren gesamte Bohrlänge von 220 m nur Lockergesteine erfasste. Die Anbindung der Linie LOET 9016 an diese Bohrung erlaubte eine Kalibrierung der Seismik mit den Bohrdaten.

Bei der Erkundung des Gebirgsbaus im tieferen Untergrund galt das Augenmerk der Lage und Geometrie der autochthonen Sedimente des Gastern-Massivs. Beim Bau des bestehenden Tunnels erfolgten Wassereinbrüche im Bereich der Triasdolomite und der schwarzen Schiefer (deren Alter noch unbekannt ist), beides Gesteinsschichten, welche die für die Seismik wichtigen hohen Impedanzkontraste zum Kristallin erwarten lassen.

4.2 DIE FELDARBEITEN

4.2.1 Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten

DATUM	ARBEITEN (s. Lagepläne **Abb. 4.1** und **4.2** auf Seiten 4.7 und 4.8)
Apr. - Jun 1990	Permitting, kantonale Bewilligung, Information der Gemeinden
Messungen 1. Phase Profile NEAT9001, LOET9010,11,12,13	
Mai - Jun 1990	Detailpermitting (Presse, Grundeigentümer, Alpkorporationen)
08. Jun 1990	Beginn topographische Einmessung druch Prakla-Seismos AG
11. Jun 1990	Beginn der Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
25. Jun 1990	Beginn seismische Feldaufnahme durch Prakla-Seismos AG und GeoExpert ag
11. Jul 1990	Abschluss der seismischen Feldaufnahme
Messungen 2. Phase Profile LOET9015,16,17	
Sept./Okt. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Alpkorporation, Grundeigentümer)
8. Okt. 1990	Beginn Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
15. Okt. 1990	Beginn seismische Feldaufnahme durch GeoExpert ag
18. Okt. 1990	Abschluss seismische Feldaufnahmen

4.2.2 Das Messprogramm

Das oberste 3.5 km lange Teilstück der Linie NEAT9001 verläuft längs der Talachse im Gasterntal. Wegen fehlender Zufahrtsmöglichkeiten für die Vibratoren wurde auf diesem Profil Sprengseismik angewandt. Das Vibroseisteilstück des Profils NEAT9001 von Kandersteg bis Reichenbach wird in Kapitel 7 behandelt.

Die Messungen wurden in zwei Phasen durchgeführt. Die *erste Phase vom 25.6. bis 3.7.1990* sollten Erfahrungswerte über die Erfolgsaussichten seismischer Methoden in diesem Gebiet liefern. Um sicher zu gehen, dass der Felsuntergrund kartiert werden konnte, wurde auf allen Profilen Sprengstoff als Energiequelle verwendet. Die Ladungsmengen bewegten sich zwischen 200 g und 300 g und wurden in 2 m tiefen Bohrlöchern gezündet. Auf Linie LOET9012 wurden Versuche mit Fallgewichtanregung durchgeführt. Die Anregungsabstände betrugen die Hälfte der Empfängerabstände. Die Auswertungen zeigen, dass in diesem Teil des Gasterntals die Energie des Fallgewichts für Reflexionen vom Felsuntergrund ausreicht.

Die gewonnenen Erkenntnisse führten zur Wahl der Parameter in der *zweiten Messphase im Oktober* . Die Linien LOET9016 & 17 führen durch dichtes Unterholz, wo nicht gebohrt werden konnte. Mit Abständen von 5 m für die Anregungspunkte und Empfängerstationen wurde mit dem Fallgewicht eine ausreichende Datenqualität erreicht.

Die verwendeten reflexionsseismischen Aufnahmeparameter sind unten tabellarisch festgehalten:

PROFIL NR.	MESS-DATUM 1990	LÄNGE in (m)	ANZAHL ANREGUNGSPUNKTE FALL-GEWICHT	SPRENG-SEISMIK	ABSTÄNDE ANREGUNG	EMPFÄNGER	FIRMA
NEAT9001	28.-29..6.	3'500		266	10	20	Prakla
LOET9011	26.6.-2.7.	760	27	62	10	10	GeoExpert
LOET9012	2.-3.7.	460	57	41	10 / 5	10	GeoExpert
LOET9013	3.7.	335		33	10	10	GeoExpert
LOET9015	15.10.	940		80	10	10	GeoExpert
LOET9016	16.-17.10.	1'070	250		5	5	GeoExpert
LOET9017	17.-18.10.	470	81		5	5	GeoExpert

4.2.3 Die Bohrarbeiten

Ausführende Firma: Bereuter Sprengtechnik ag, 8604 Volketswil

Personal und Ausrüstung während der 1. Phase:
- 2 Mann
- 1 raupengetriebnene Bohrlafette vom Typ "Klemm"
- 1 Kompressor 12 m^3
- 1 landwirtschaftliches Tranportfahrzeug Typ "Schilter"
- 1 PW Kombi

Personal und Ausrüstung während der 2. Phase:
- 2 Mann
- 1 auf Lafette montiertes Bohrgerät Typ "Bencher"
- 1 Kompressor 7 m^3
- 1 Raupengetriebenes Zugfahrzeug Typ "Yamaguchi"
- 1 PW Kombi

Es wurden 2.2 m tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 40 mm gebohrt. Die Verrohrung erfolgte mit PVC-Rohren 250 x 32 x 2 mm.

Übersicht über die durchgeführten Bohrarbeiten:

LINIE	ANZAHL LÖCHER	BOHR-METER
NEAT9001	266	558.6
LOET9011	62	130.2
LOET9012	41	86.1
LOET9013	33	69.3
LOET9015	80	168.0
TOTAL	482	1012.2

4.2.4 Die Registrierarbeiten

Die Messarbeiten auf dem 3.5 km langen Teilstück des Regionalprofils *NEAT9001* erfolgten durch die Prakla-Seismos AG, die übrigen Profile durch die GeoExpert ag.

Der Bericht der Prakla-Seismos AG über sämtliche im Kandertal durchgeführten Feldmessungen ist im Anhang A2 der erweiterten Fassung enthalten. Er gibt Auskunft über die personelle und apparative Zusammensetzung des Prakla Messtrupps.

Kapitel 1.3 Seite 1.9 enthält eine Übersicht über die personelle Zusammensetzung und die Ausrüstung des seismischen Messtrupps der GeoExpert ag.

Die äusseren Messbedingungen

Während der ersten Messphase vom 26.6.-3.7.1990 wurden die Arbeiten durch häufige Gewitter unterbrochen. Ein Blitzschlag in die Auslage auf Profil LOET9001 beschädigte die Registrierapparatur und verursachte einen Unterbruch der Messarbeiten von 4 Tagen.

Der Bahnverkehr des in der Nähe verlaufenden Lötschbergtunnels machte sich zeitweise durch starke Erschütterungen bemerkbar.

Die Datenqualität ist gesamthaft gesehen zufriedenstellend,

4.3 DIE EDV-AUSWERTUNG

Der generelle Ablauf der EDV ist in Kapitel 1.6, Seite 1.18 dargestellt.

Die Analyse der Geschwindigkeiten in der quartären Talfüllung ergibt mit bis zu 2800 m/s unüblich hohe Werte für Lockergestein. Die Geschwindigkeitsbestimmungen erfolgten auf der Grundlage sowohl refraktionsseismischer wie reflexionsseismischer Daten. Für die Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung und der Umwandlung der Laufzeiten in Tiefenangaben gelten die in Kapitel 1.7.2 auf Seite 1.22 gemachten Bemerkungen.

Der Versuch einer Migration der entlang der Talachse verlaufenden Linie NEAT9001 erbrachte für die Interpretation keine zusätzliche Klarheit. Der Grund für das negative Resultat liegt im geologisch komplexen Untergrund mit ausserhalb der Schnittebene reflektierenden Strukturelementen.

4.4 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Im Gasterntal wurden neben der Längslinie NEAT9001, die vor allem Informationen über die geologische Struktur und Tiefenlage des Gasternmassivs und Autochthons liefern sollte, mehrere kurze, quer zur Talachse verlaufende seismische Profile aufgenommen, welche die Form des Troges und die Mächtigkeit der Quartärfüllung erkunden sollten. Besondere Aufmerksamkeit galt dabei den Linien LOET9012, 9016 und 9017, die eine Kalibrierung der Seismik mit einer bei Koord 618 957 / 144 962 abgeteuften Bohrung boten. Diese Bohrung verblieb bis zur ihrer Endtiefe von 220 m in Lockergesteinen.

Das Profil LOET9016 (**Abb. 4.5**, Seite 4.11) zeigt bei 0.1 s TWT (*Two Way Time* = Reflexionslaufzeit) eine starke Reflexion (A), die auf den ersten Blick als Grenze Felsuntergrund/Quartär angesprochen werden könnte. Der Vergleich mit der Bohrung zeigt jedoch, dass die Felsoberkante in einer Tiefe von mindestens 0.2 s TWT liegen muss und dass die Reflexion A eine quartär-interne Struktur darstellen muss. Deshalb wird die schwächere und diskontinuierliche Reflexion B, die sich mit den u-förmigen Reflexionen B in LOET9012 (**Abb. 4.3**, Seite 4.9) und 9017 (**Abb. 4.6**, Seite 4.12) vergleichen lässt, als Felsoberfläche gedeutet.

Generell zeigen diese Linien, dass die niederfrequenten seismischen Signale (die relativ breiten weissen und schwarzen Bänder im Seismogramm) typisch sind für die Lockergesteinsfüllung. Die aus der Umrechnung der Zeit auf die Tiefe ermittelte Quartärmächtigkeit beträgt in der Trogachse zwischen 260 und 360 m, wobei die unterschiedlichen Geschwindigkeitsmodelle in den drei Linien LOET9012, 9016 und 9017 die grosse Streuung der Werte verursachen.

Die beträchtliche Übertiefung des Tals wird durch die andern seismischen Profile bestätigt; selbst im hinteren Teil des Gasterntals zeigt die Reflexion B der Linie LOET9013-B (**Abb. 4.4**, Seite 4.10) noch eine Quartärmächtigkeit von fast 200 m an. Im Gegensatz zu Eggeschwand und dem Öschinental, wo die Quartärtröge tief eingeschnittene, enge Täler bilden (Kap. 5.4 und 6.4), muss für den Quartärtrog im Gasterntal eher ein u-förmiger Querschnitt mit breiter, flacher Sohle angenommen werden.

Die grössten Quartärmächtigkeiten belegen die Linien LOET9011, 9015 und NEAT9001 (**Abb. 4.7, 4.8,** und **4.9,** auf Seiten 4.13-15) am Ausgang des Gasterntals. Hier berechnet sich der Felsgrund je nach berücksichtigtem Geschwindigkeitsmodell zu 300 bis 400 m unter der Oberfläche liegend. Dabei tauchen vor allem die nördlichen und westlichen Felswände des Talkessels sehr steil in die Tiefe. Zudem zeigt sich hier, dass die Tal-sohle nicht flach ist, sondern eine buckelförmige Erhebung aufweist. Letztere zeigt sich in den seismischen Profilen LOET9011 und 9015.

Mit dem Profil NEAT9001 (**Abb. 4.9,** Seite 4.15) können auch einige Angaben über die geologische Tiefenstruktur des Gasterntals gemacht werden. Die Oberflächenaufschlüsse liessen hauptsächlich nach Nordwesten einfallende Reflektoren erwarten. Dies gilt namentlich für die Kristallinoberfläche des Gastern-Massivs, dessen autochthone Sedimentbedeckung, sowie die doldenhorninternen Strukturen wie Überschiebungen und Faltenschenkel. Das seismische Profil zeigt nun aber auch süd- oder ost-fallende Reflexionen, die zum einen Teil als eine Zerschlitzung des Gastern-Massivs gedeutet werden, sich zum andern Teil aber auch einer Interpretation entziehen.

Der Top des Gastern-Granits taucht bei der Station 240 von der Oberfläche in westlicher Richtung ab. Dieser potentielle Reflektor ist an der Oberfläche gleichzeitig nahezu identisch mit der Basis der Doldenhorn-Decke. Im seismischen Profil sind im entsprechenden Bereich zwei Reflexionen, C und D_1, zu sehen. D_1 wird dem Top des Gastern-Granits, C dem Top des hier einsetzenden und gegen Norden mächtiger werdenden autochthonen Mesozoikums zugeordnet. Die in entgegengesetzter Richtung einfallende Reflexion K ist aber ein Indiz dafür, dass das Gastern-Massiv nicht ungestört nach Nordwesten abtaucht, sondern einen Schuppenbau besitzt. Dabei wird ein Keil kristalliner Gesteine nach Nordwesten auf autochthone Sedimente überschoben; die Reflexion K wird hierbei als Überschiebungsfläche gedeutet. Dieser strukturelle Stil kann auch auf der Nordflanke des Aarmassivs in der Ostschweiz beobachtet werden.

Die Reflexion D_2 wird dem Top des Kristallins im Liegenden der Überschiebung zugeordnet. Vor der Stirn des überschobenen Kristallins, zwischen dem Top des liegenden Kristallins (D_2) und der Basis der Doldenhorn-Decke, ist eine Zone mit mehreren Reflexionen auszumachen. Diese Zone wird als autochthones Mesozoikum interpretiert. Auch beim Bau des bestehenden Lötschbergtunnels konnte - allerdings in einem kleineren Massstab - eine Verschuppung des Gastern-Kristallins mit autochthonen Sedimenten festgestellt werden. Der Top des autochthonen Mesozoikums (C) und jener des Kristallins (D_2) werden mit den entsprechenden Reflexionen in der nördlich anschliessenden Linie NEAT 9001-Kandertal korreliert.

Die andern, z.T. deutlich in Erscheinung tretenden Reflexionen im Felsuntergrund konnten bisher nicht gedeutet werden. Es handelt sich dabei namentlich um die oberflächennahen, südostfallenden Reflexionen am Ausgang des Gasterntals, die sowohl in den seismischen Linien NEAT9001, LOET9011 und LOET9015 zu beobachten sind, sowie die ost- und westfallenden Reflexionen in NEAT9001, die zwischen den Stationen 440 und 600 in einer Tiefe von 0.9 bis 1.6 s TWT zu sehen sind. Bei letzteren handelt es sich möglicherweise um *"side swipes"*, d.h. um Abbildungen von ausserhalb der Profilschnittebene liegenden Reflektoren.

Die beiden Teilstücke der Linie NEAT9001 im Gasterntal und der Vibroseis Abschnitt von Kandersteg bis Reichenburg wurden zu einem geologischen Profilschnitt zusammengefügt. Die Interpretation befindet sich als Beilage am Schluss des Kapitels 7 *"Die Messungen im unteren Kandertal"*.

Zusammenfassung

- Das Gasterntal ist beträchtlich übertieft. Die grössten Quartärmächtigkeiten von 300 bis 400 m kommen am Talausgang vor, wobei aber auch im hinteren Teil des Gasterntals die Felsoberkante noch bis zu 200 m unter der Oberfläche liegt.

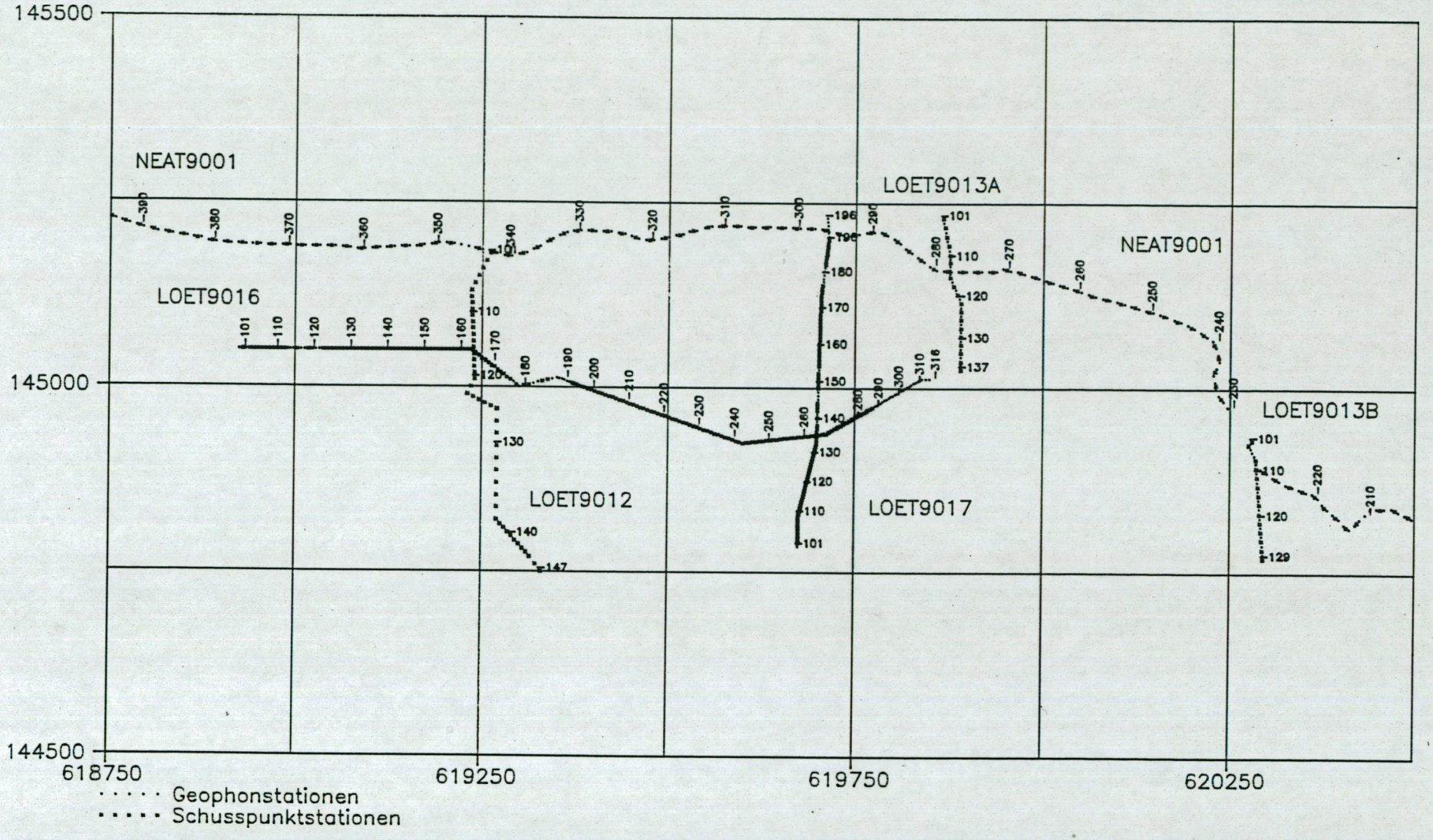
- Das Gastern-Massiv taucht nicht monoton nach Nordwesten ab. Vielmehr scheint eine Überschiebung vorzuliegen, die kristalline Gesteine auf das nordwestlich davon gelegene autochthone Mesozoikum überschoben hat.

4.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Bei Abtiefung einer Bohrung sollte diese durch eine seismische Linie mit den bisher aufgenommenen Linien vernetzt werden. Je nach Standort der Bohrung wäre eine Querlinie über die Talachse angezeigt. Dies erlaubt eine Extrapolation der Bohrdaten in die weitere Umgebung.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 4

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
4.1	Lageplan hinteres Gasterntal	4.7
4.2	Lageplan vorderes Gasterntal	4.8
4.3	Reflexionsseismisches Profil LOET9012	4.9
4.4	Reflexionsseismisches Profil LOET9013	4.10
4.5	Reflexionsseismisches Profil LOET9016	4.11
4.6	Reflexionsseismisches Profil LOET9017	4.12
4.7	Reflexionsseismisches Profil LOET9011	4.13
4.8	Reflexionsseismisches Profil LOET9015	4.14
4.9	Reflexionsseismisches Profil NEAT9001 Sprengseismik	4.15
4.10	Geologischer Profilschnitt LOET9012	4.16
4.11	Geologischer Profilschnitt LOET9013	4.17
4.12	Geologischer Profilschnitt LOET9016	4.18
4.13	Geologischer Profilschnitt LOET9017	4.19
4.14	Geologischer Profilschnitt LOET9011	4.20
4.15	Geologischer Profilschnitt LOET9015	4.21


145500
145000
144500
618750
619250
619750
620250
NEAT9001
LOET9013A
NEAT9001
LOET9016
LOET9013B
LOET9012
LOET9017
Geophonstationen
Schusspunktstationen

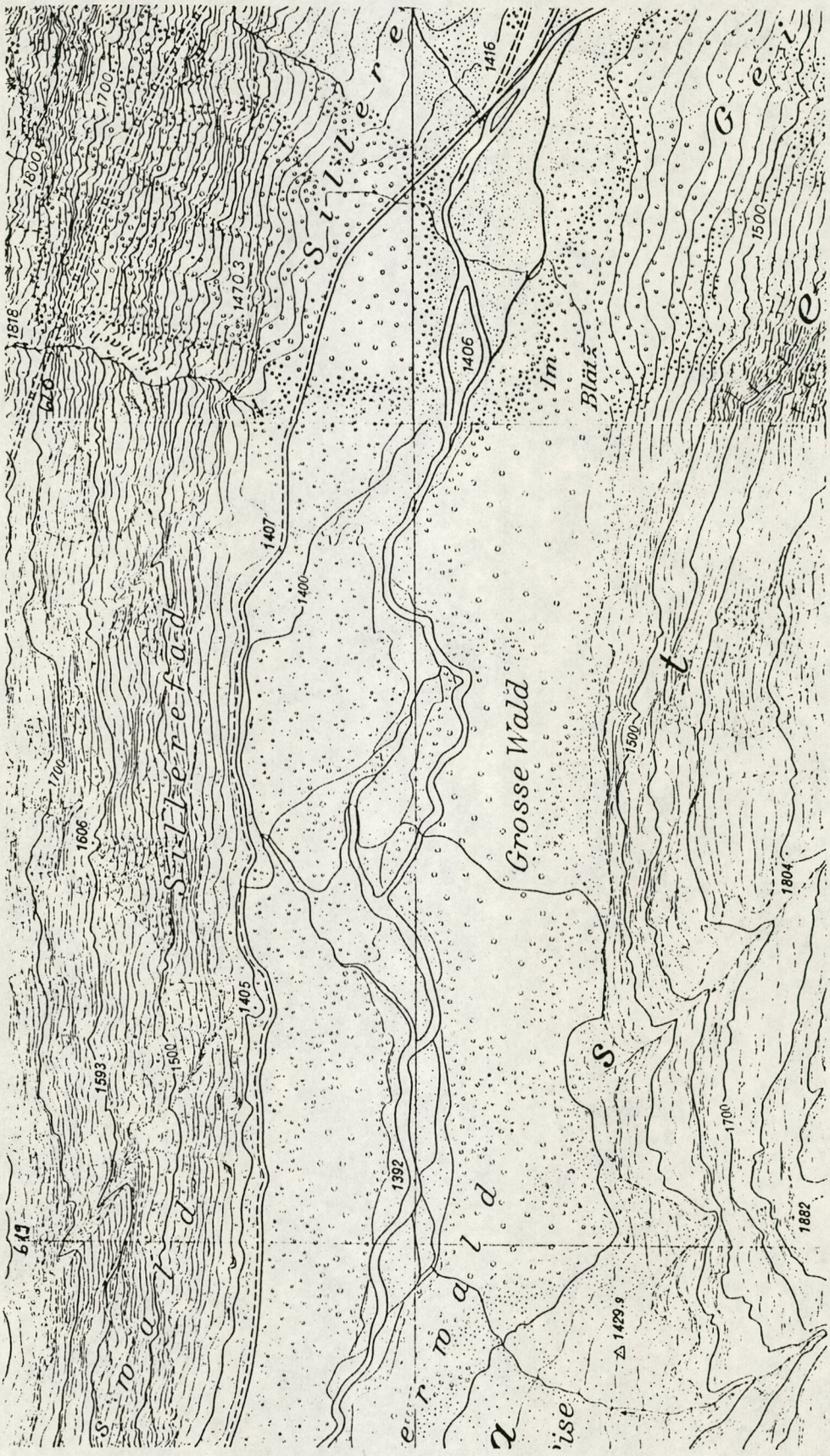
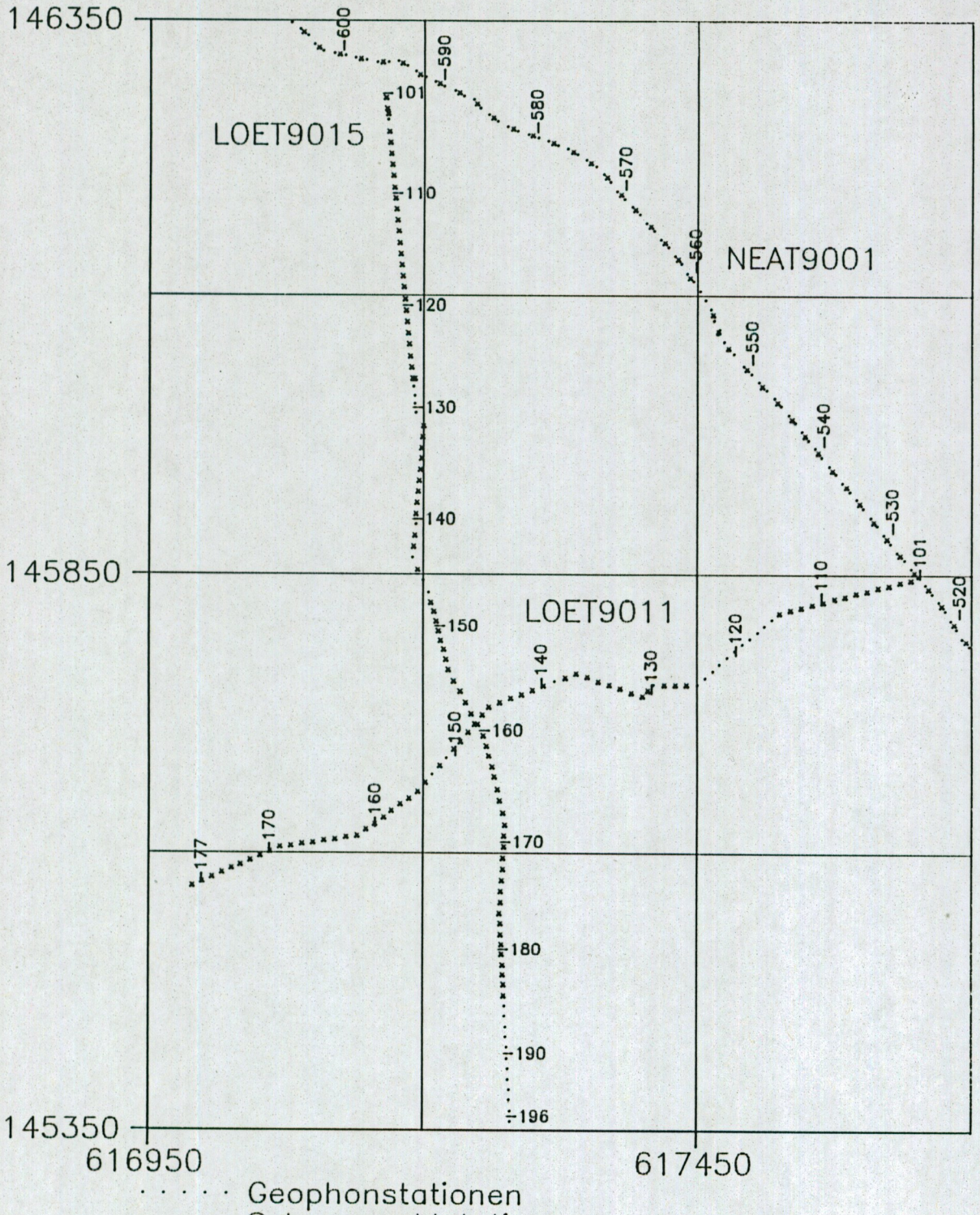


Abb. 4.1 Lageplan der seismischen Linien im hinteren Gasterntal


146350
145850
145350
616950
617450
LOET9015
NEAT9001
LOET9011
600
590
580
570
560
550
540
530
520
101
110
120
130
140
150
160
170
177
180
190
196
Geophonstationen
Schusspunktstationen

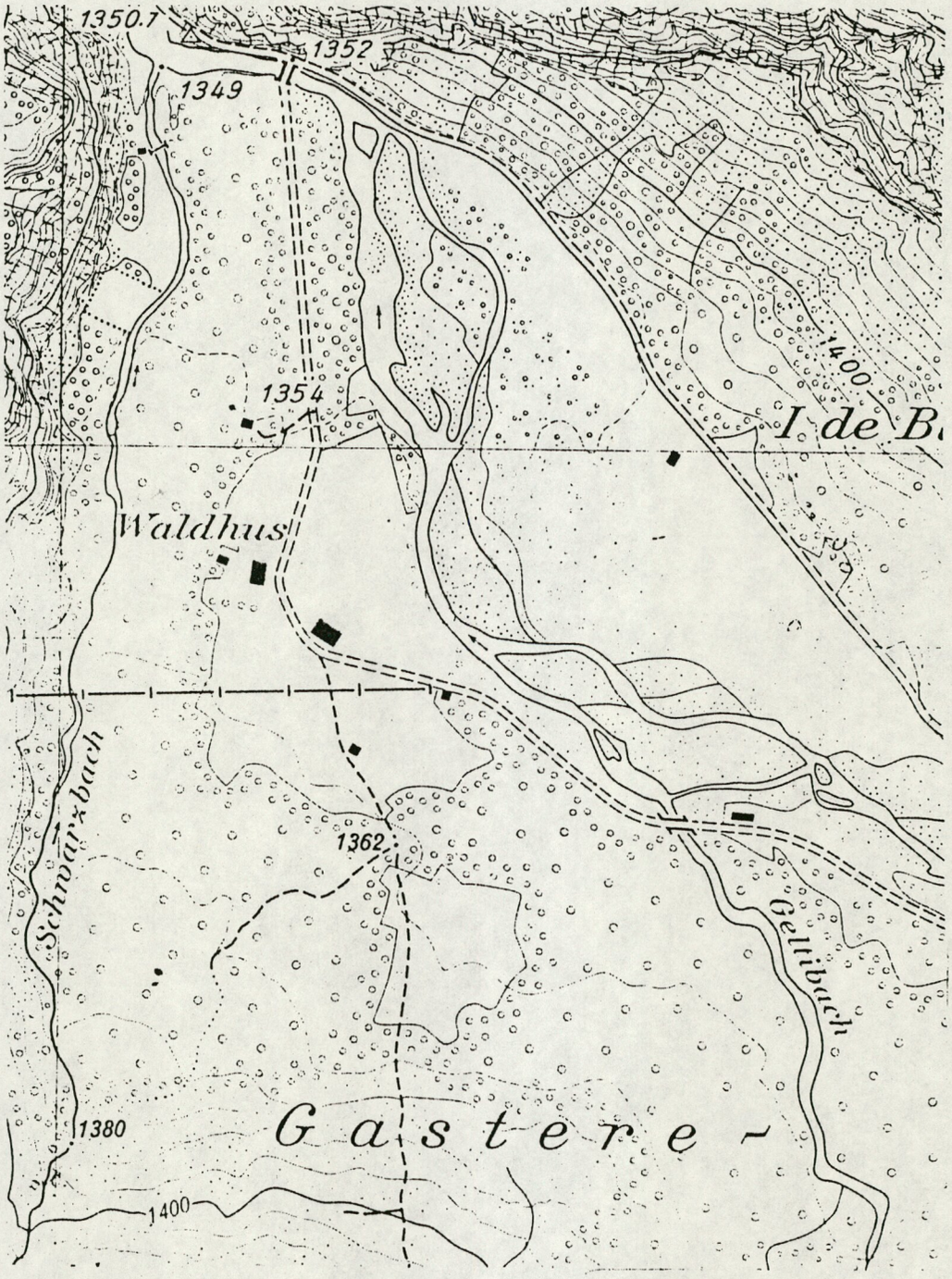


Abb. 4.2 Lageplan der seismischen Linien im vorderen Gasterntal

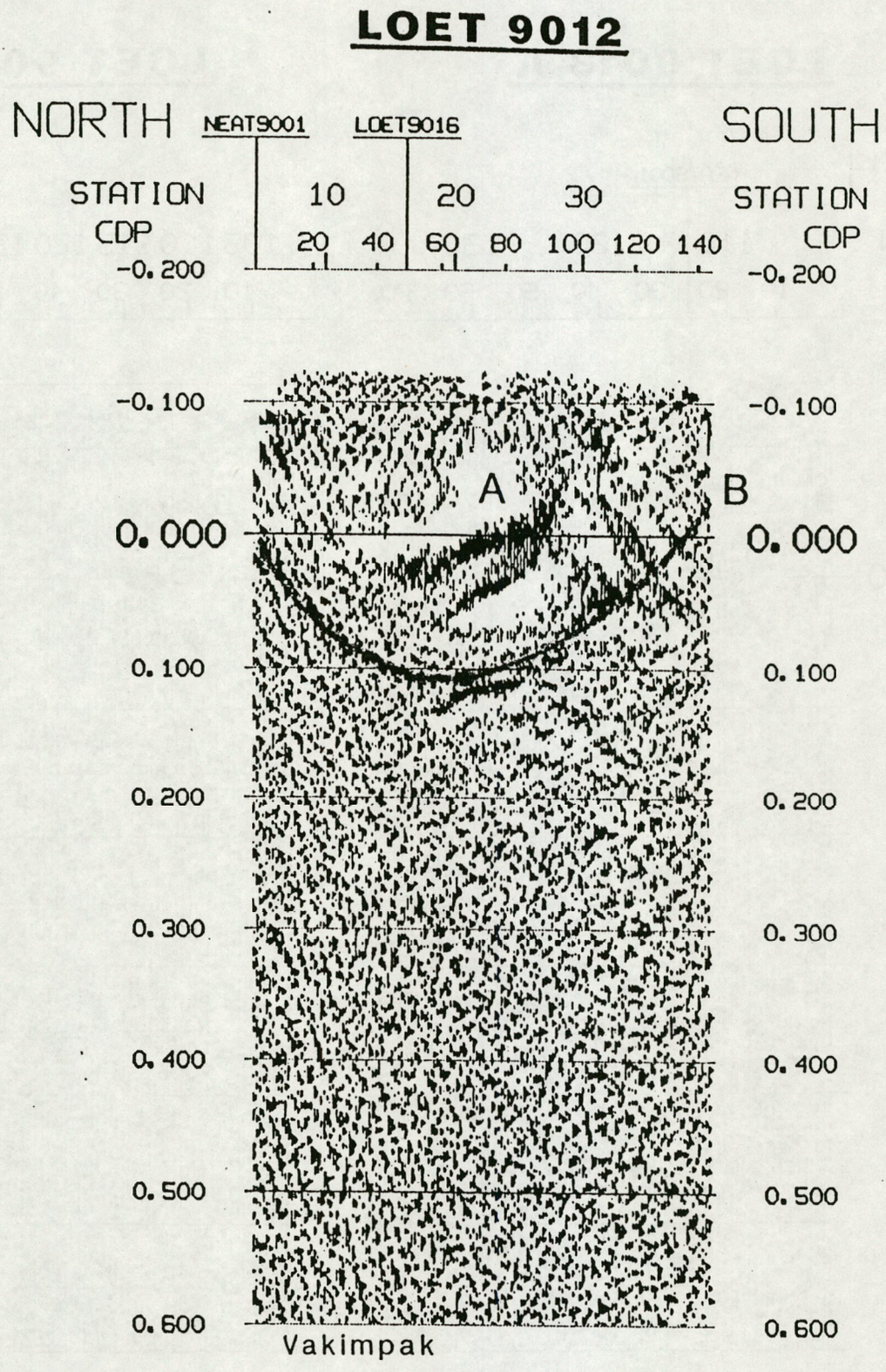


Abb. 4.3 Reflexionsseismisches Profil LOET9012

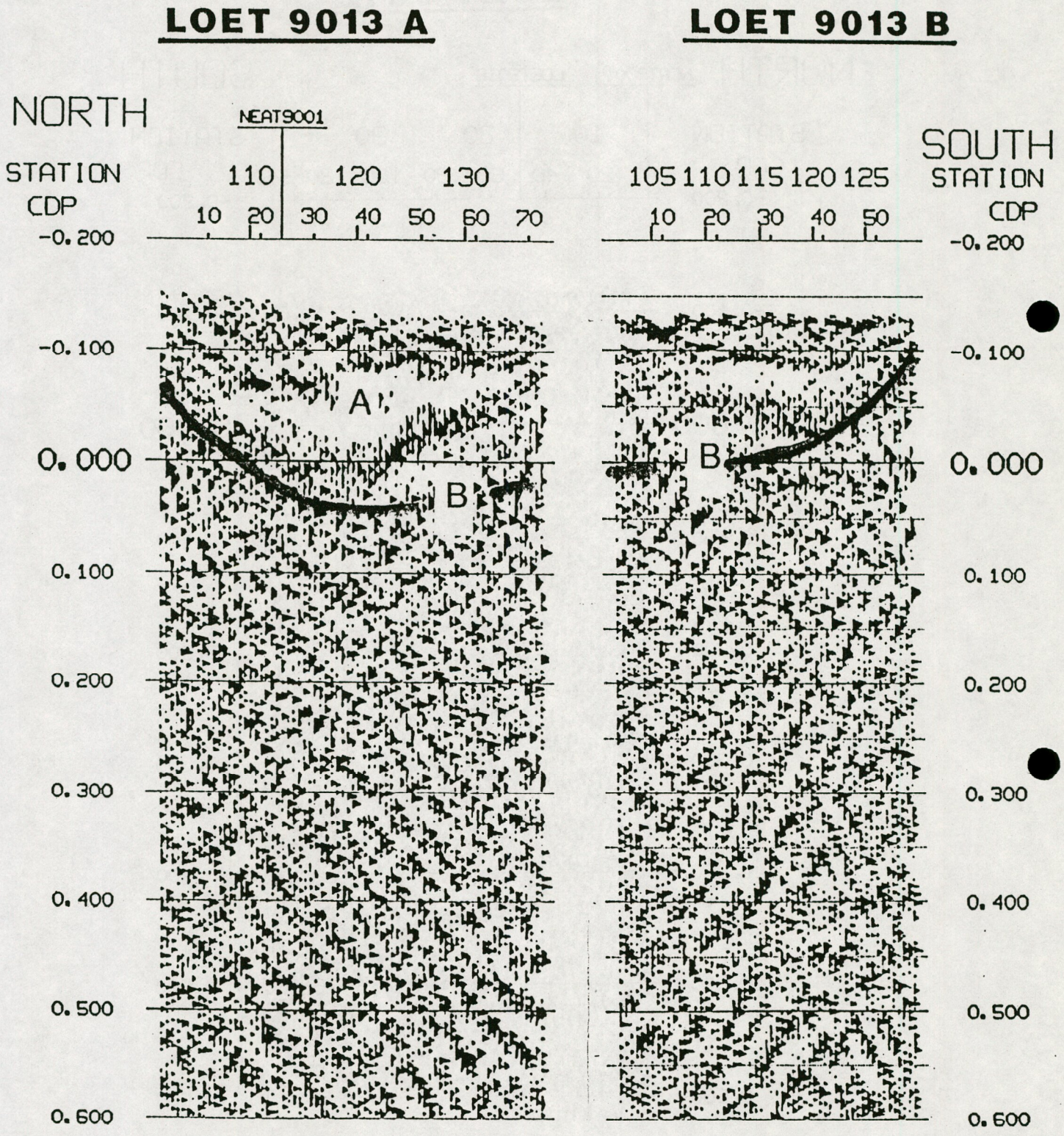


Abb. 4.4 Reflexionsseismisches Profil LOET9013

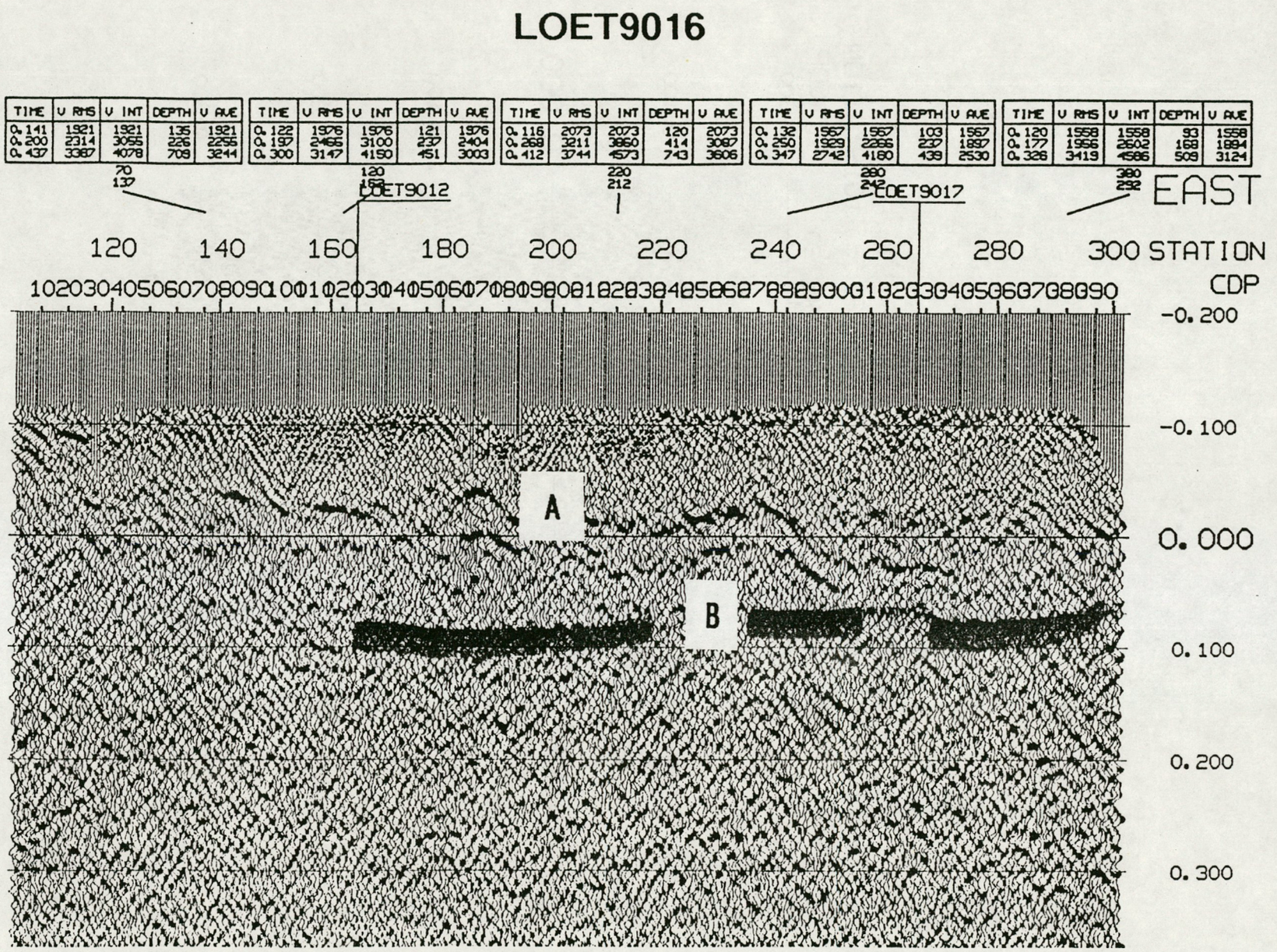


Abb. 4.5 Reflexionsseismisches Profil LOET9016

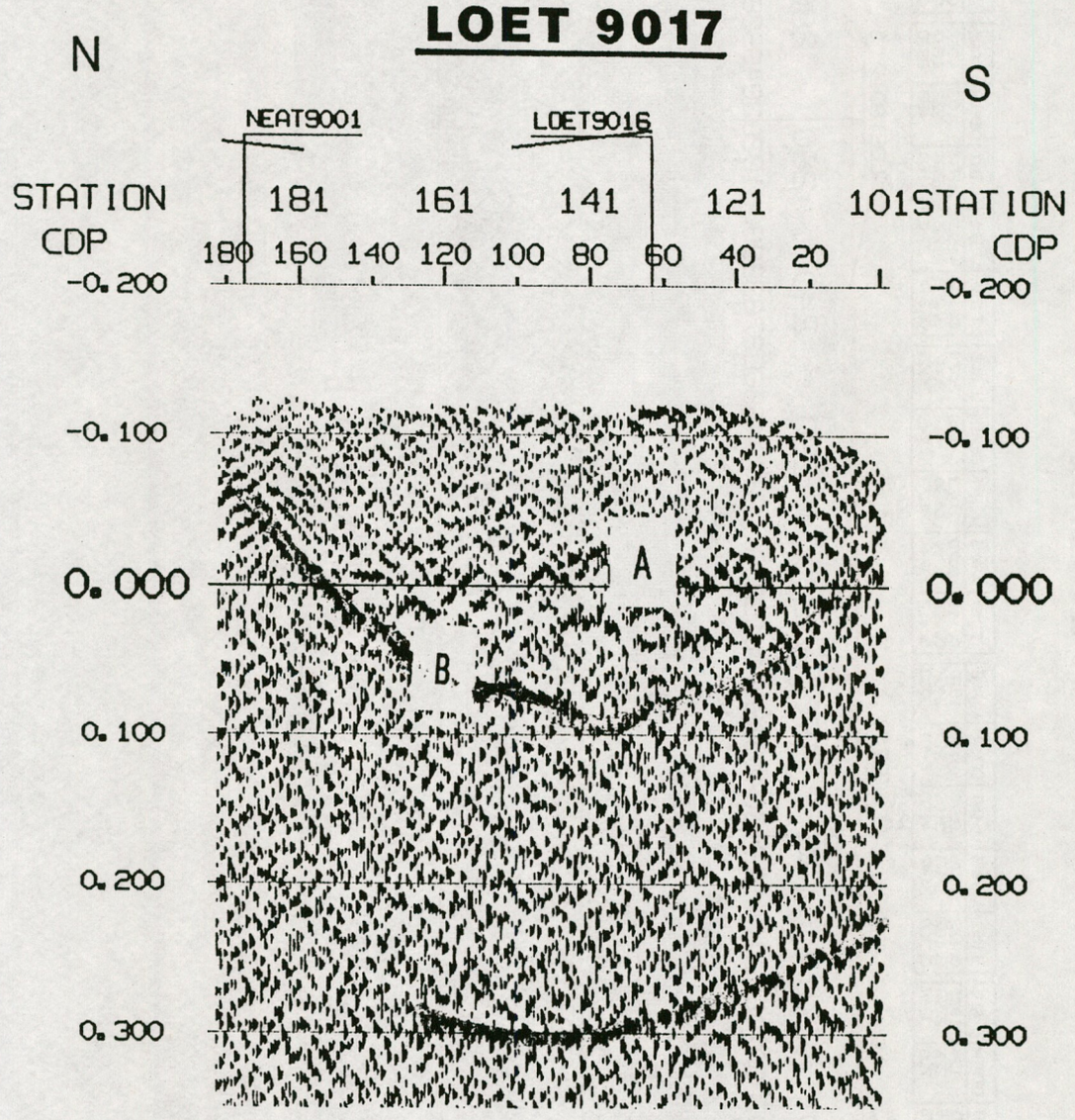


Abb. 4.6 Reflexionsseismisches Profil LOET9017

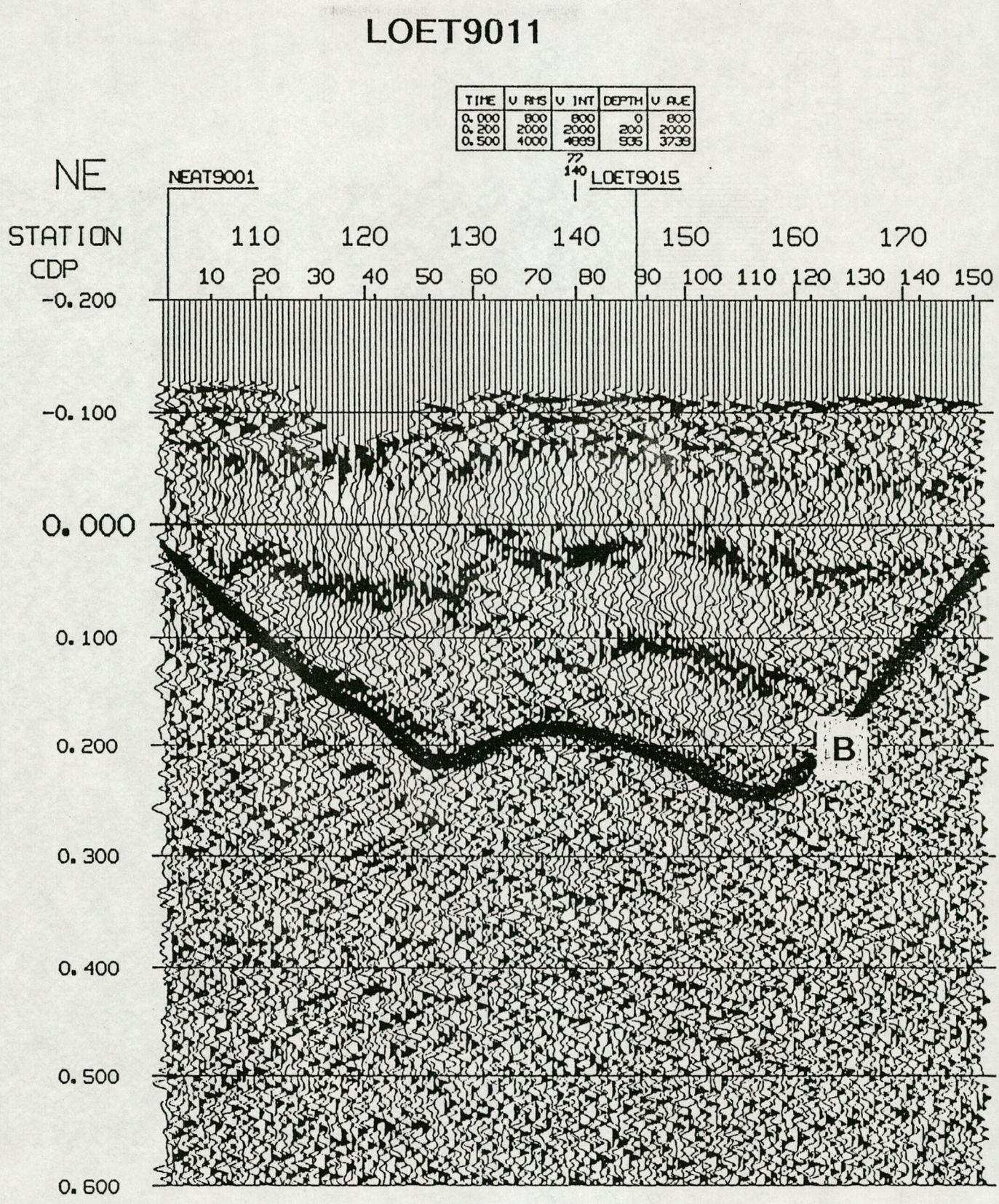


Abb. 4.7 Reflexionsseismisches Profil LOET9011

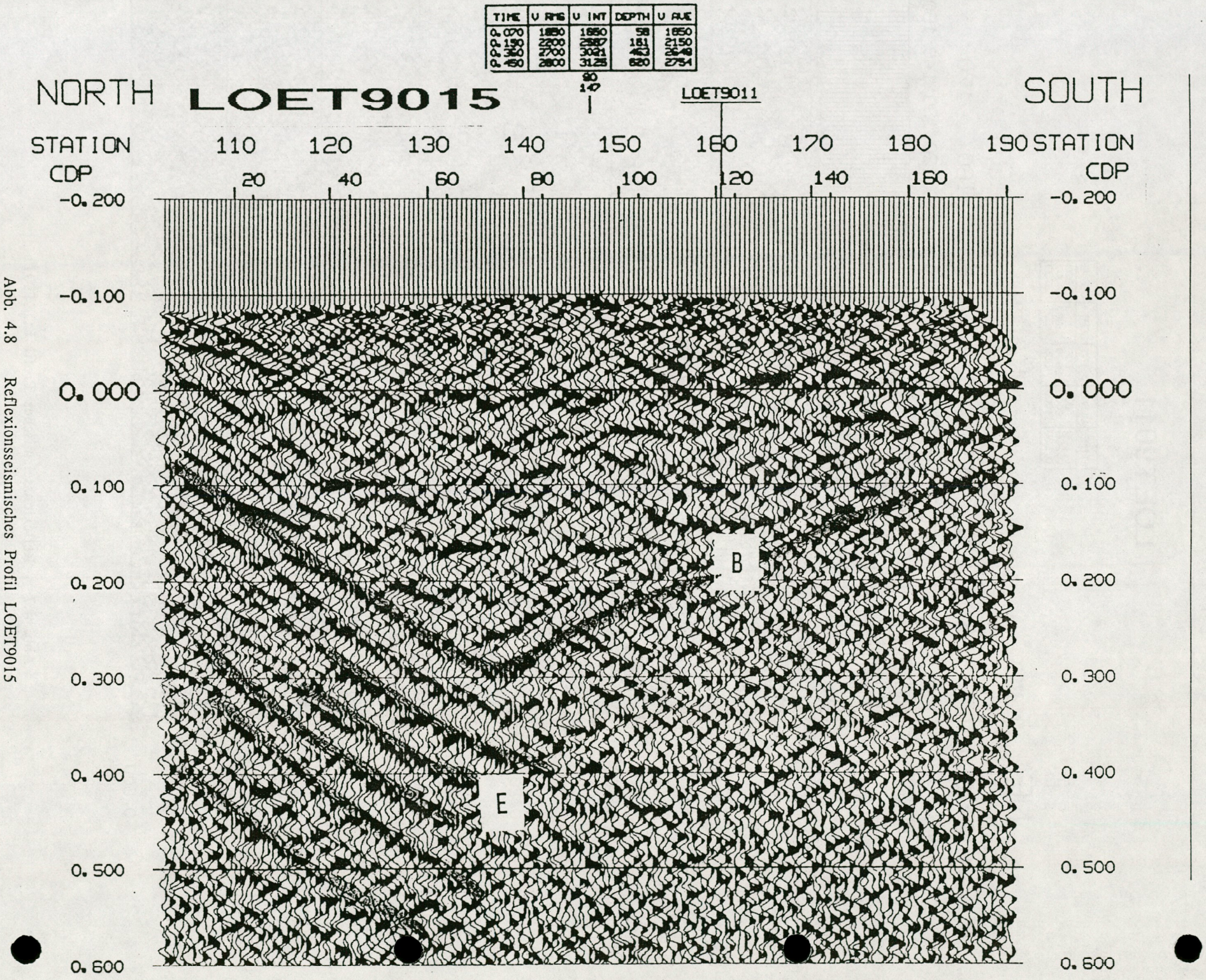


Abb. 4.8 Reflexionsseismisches Profil LOET9015

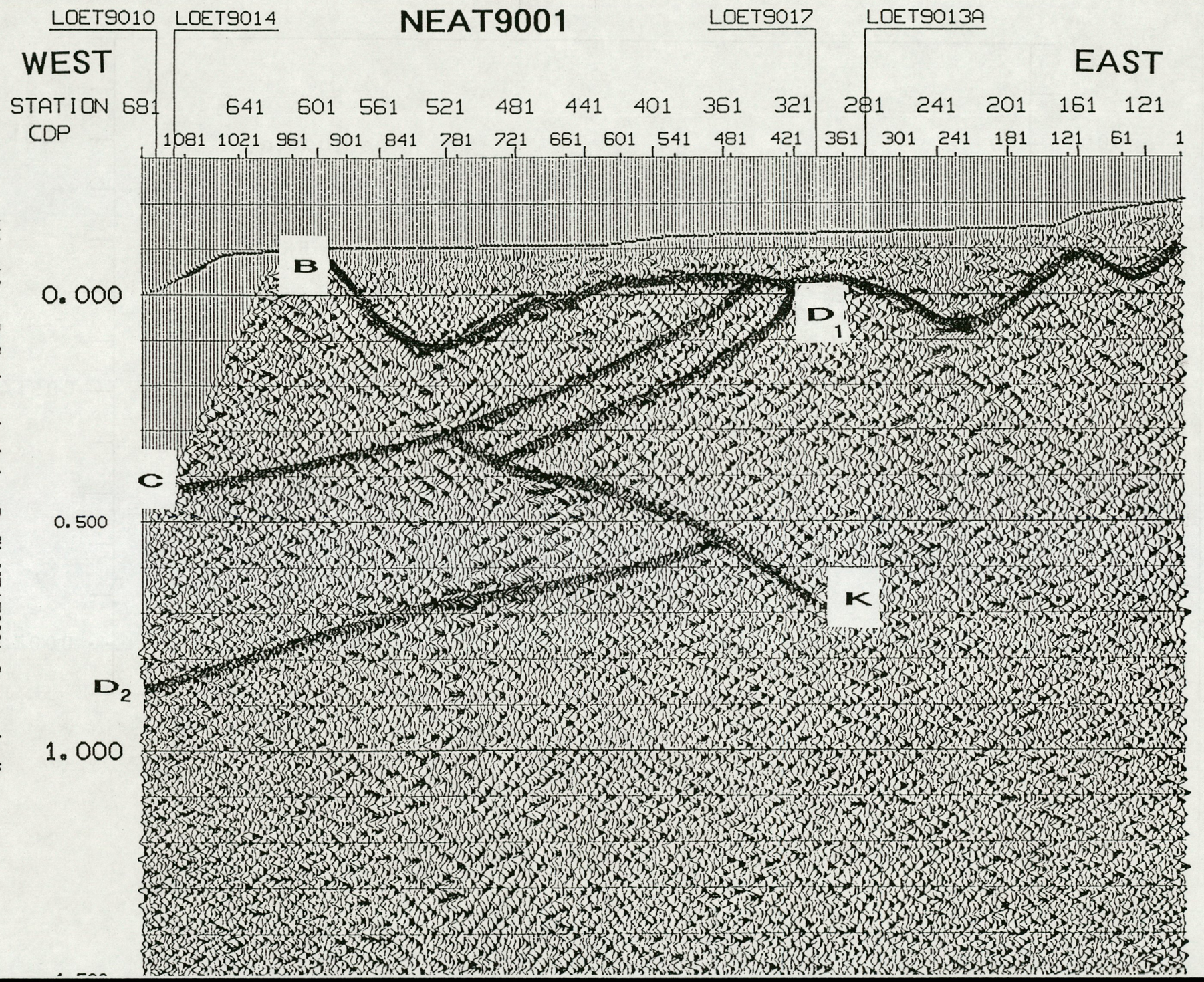


Abb. 4.9 Reflexionsseismisches Profil NEAT9001 Sprengseismik

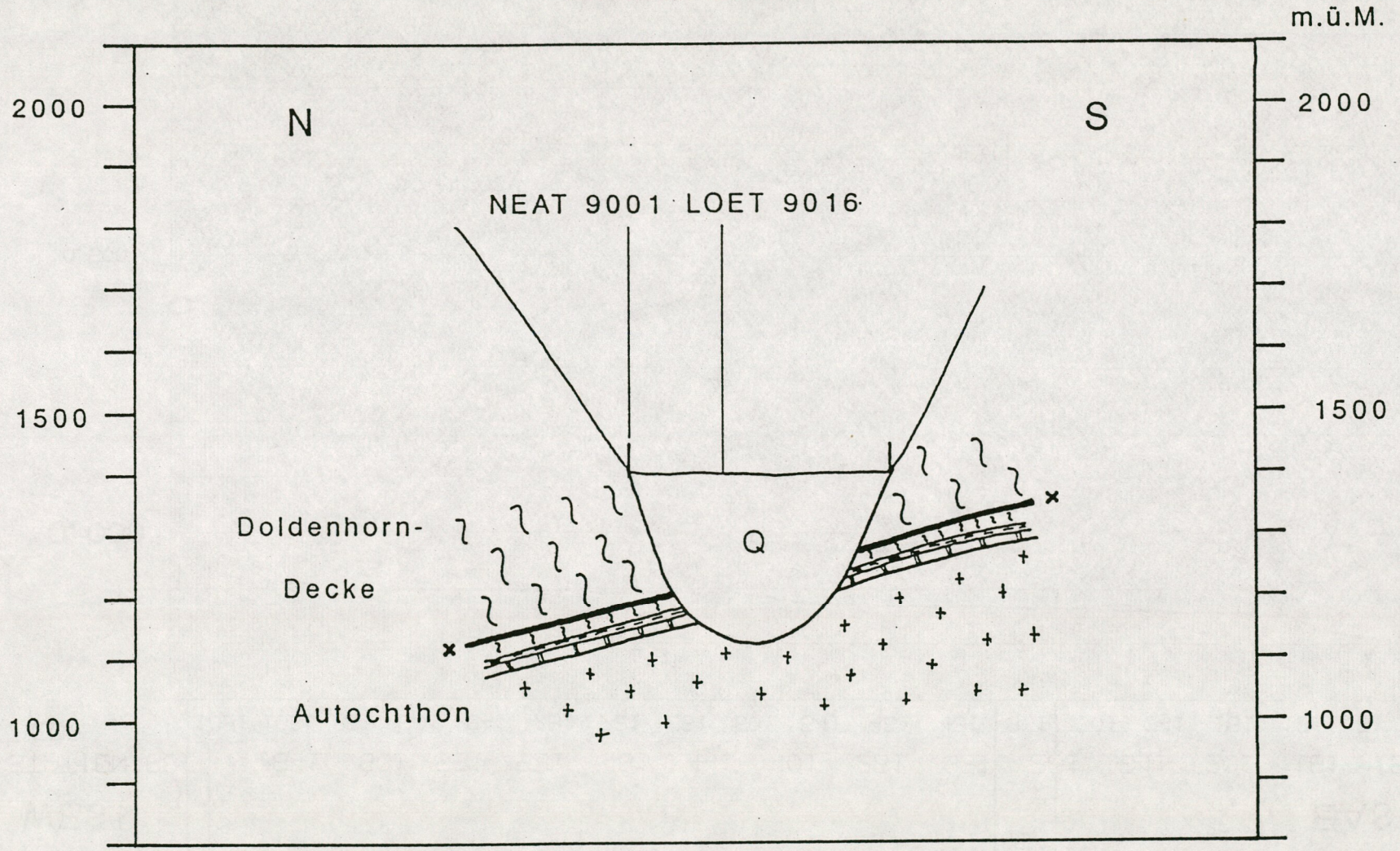


Abb. 4.10 Geologisches Profil LOET90012

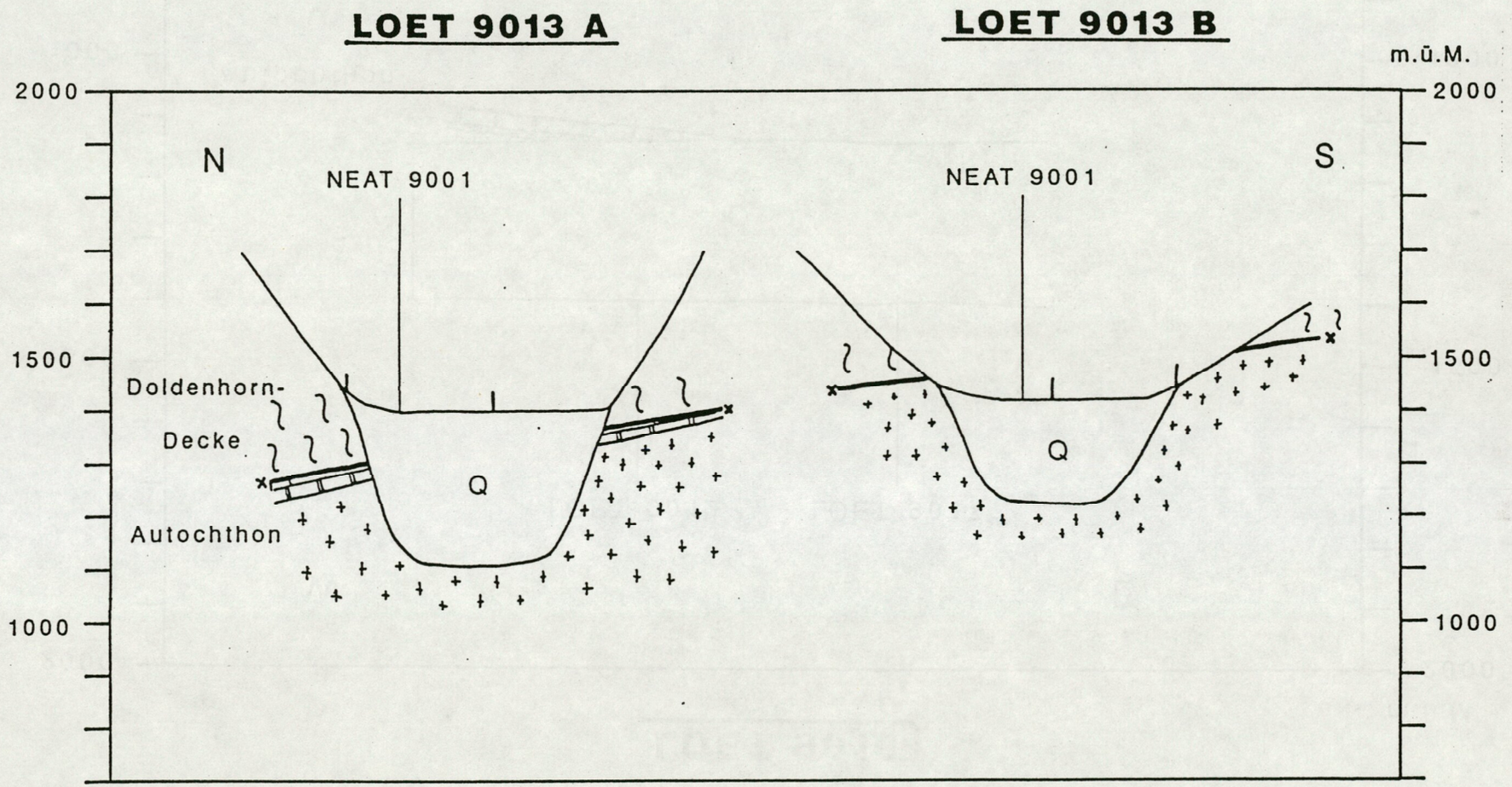


Abb. 4.11 Geologisches Profil LOET9013

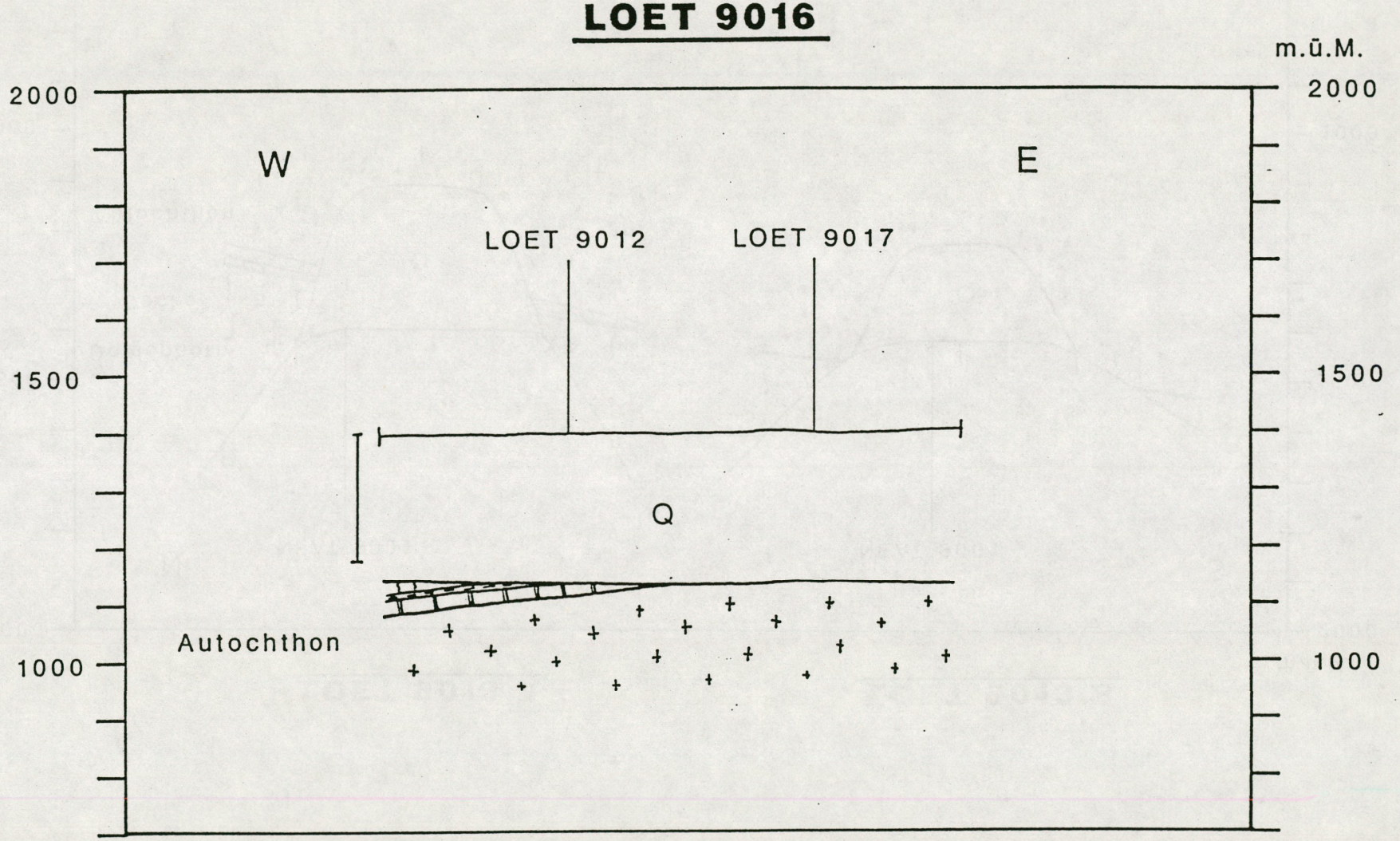


Abb. 4.12 Geologisches Profil LOET9016

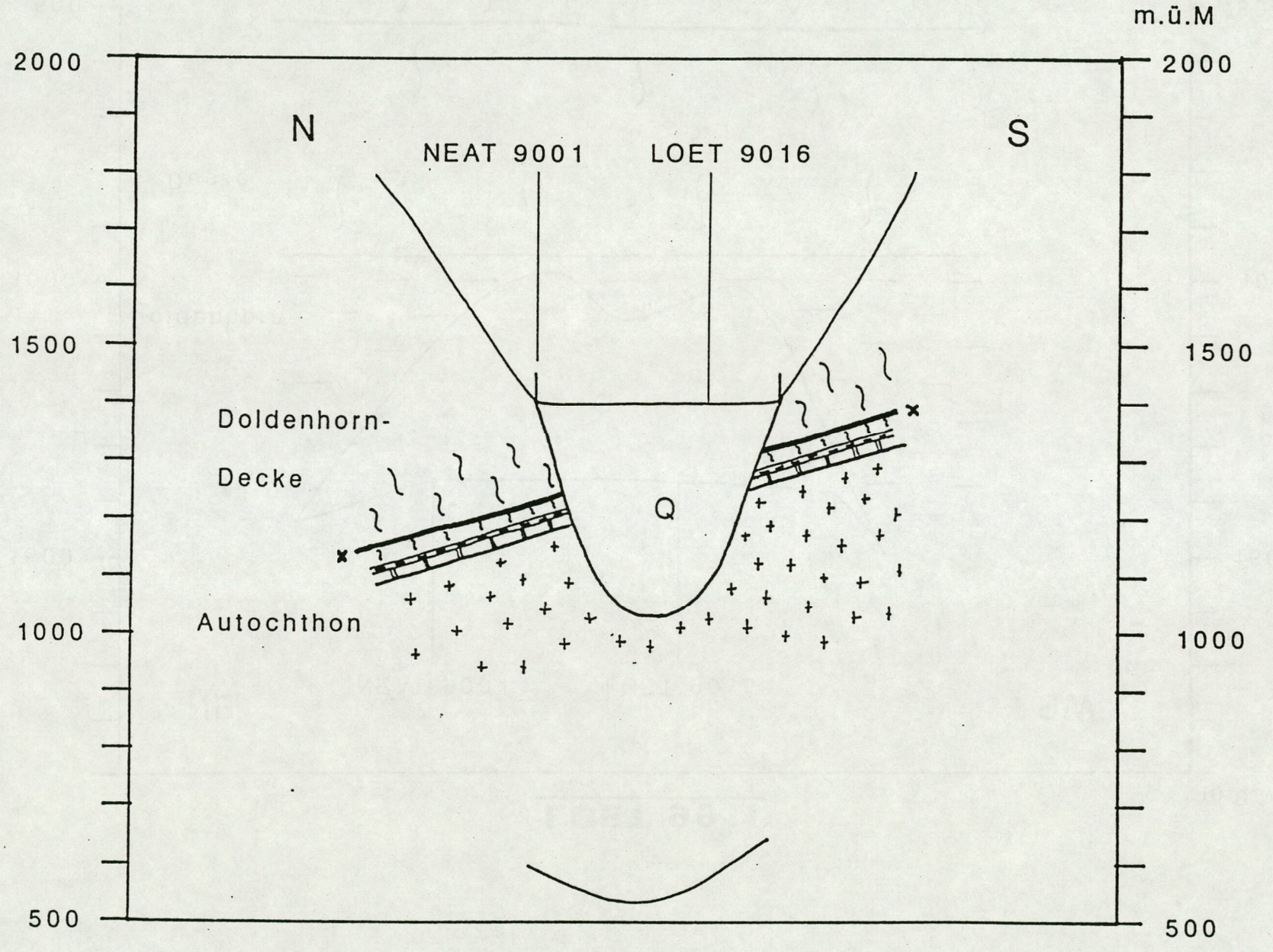


Abb. 4.13 Geologisches Profil LOET9017

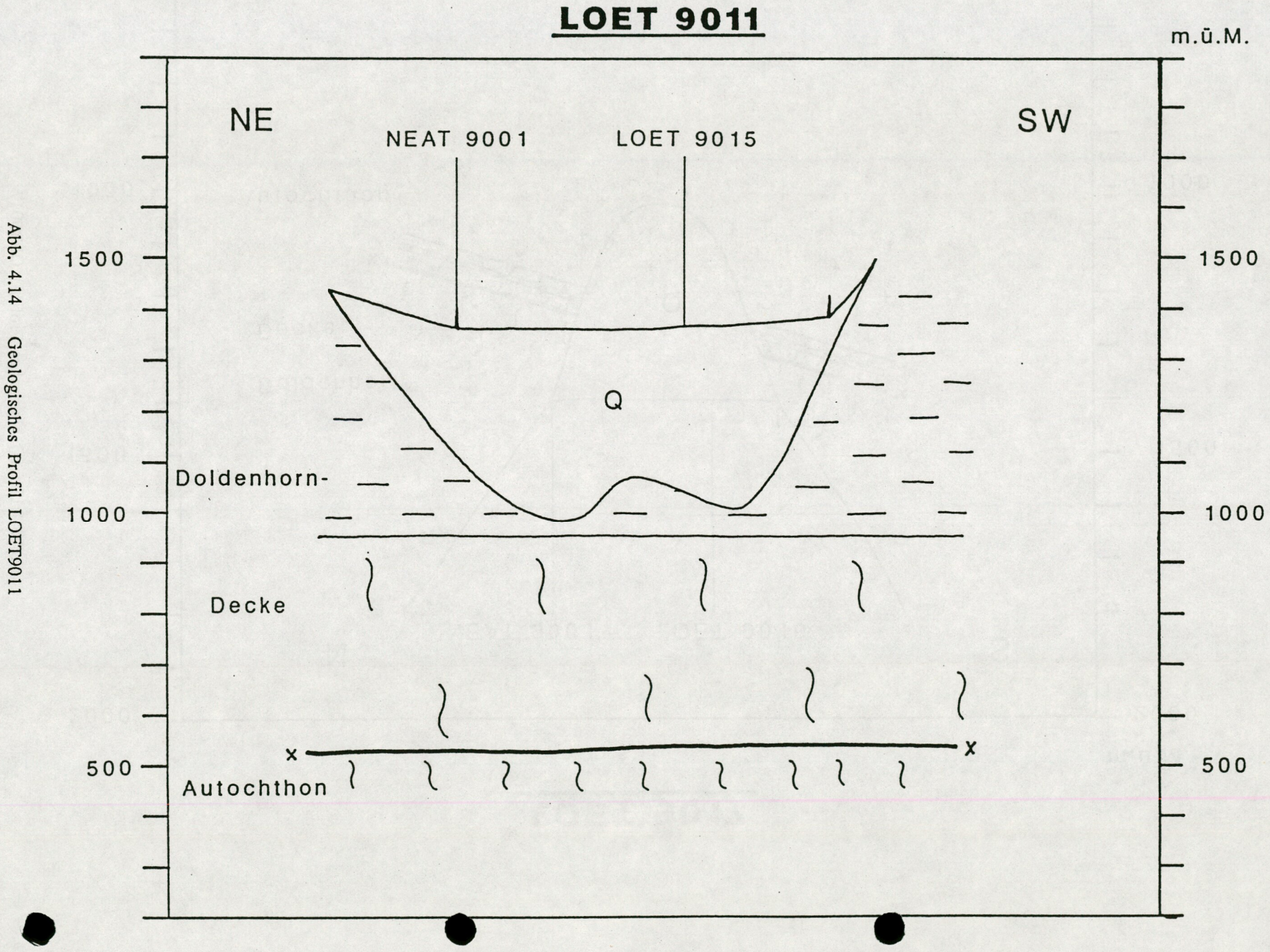


Abb. 4.14 Geologisches Profil LOET9011

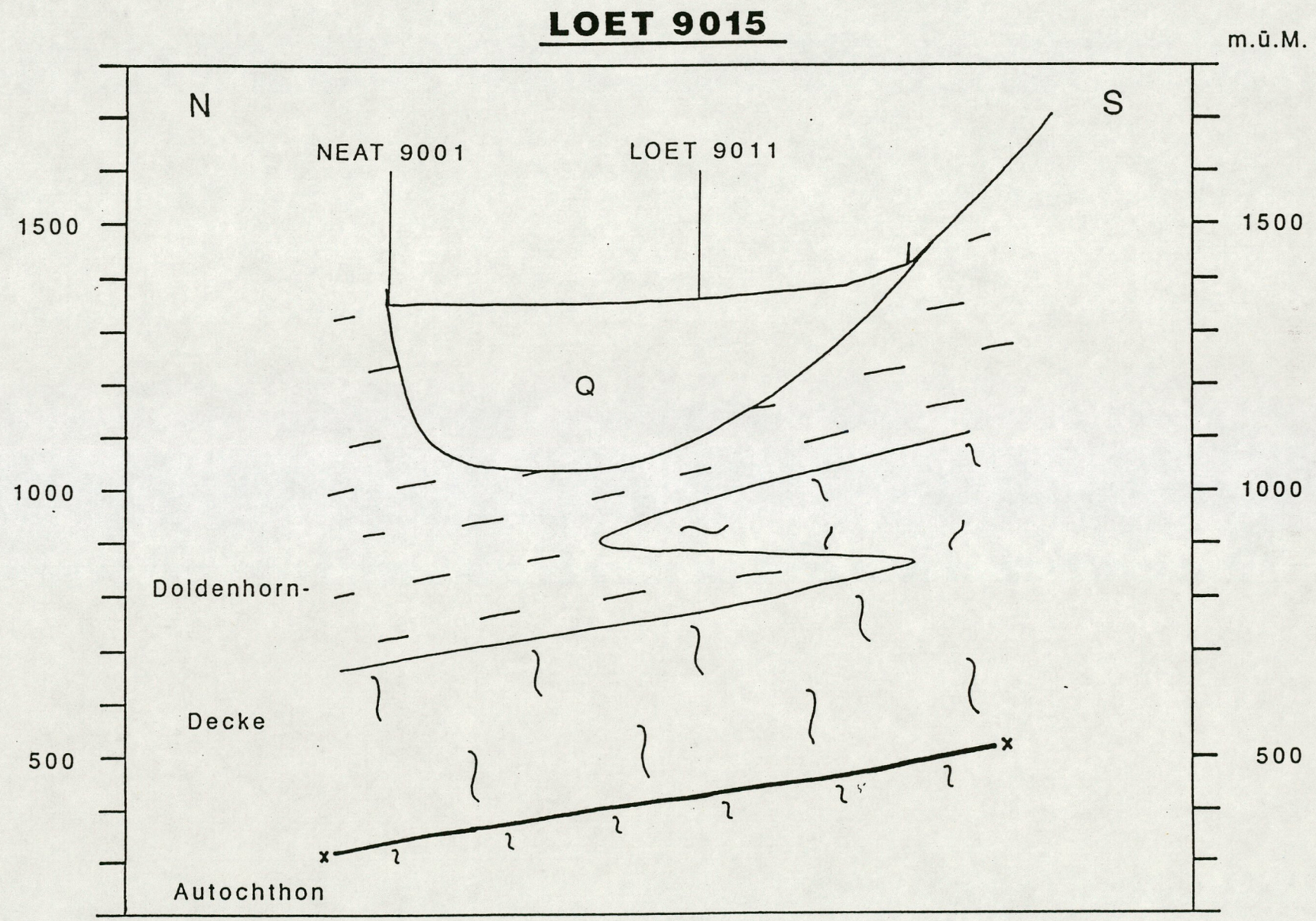


Abb. 4.15 Geologisches Profil LOET9015

5

5 DIE MESSUNGEN BEI EGGESCHWAND (KANDERSTEG)

Die regionale Linie NEAT9001 vom Gasterntal bis Reichenbach durchquert dieses Untersuchungsgebiet. Zur Klärung der lokalen Fragstellungen bei Eggeschwand sind die Ergebnisse dieses Vibroseis-Profils wegen der verwendeten Aufnahmeparameter von geringerer Bedeutung. Die Messungen auf dem Vibroseis Profil NEAT9001 zwischen Eggeschwand und Reichenbach werden in Kapitel 7 behandelt.

5.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Bei Eggeschwand ging es ausschliesslich um die Erkundung der Felsoberkante. Dabei war unklar, wie weit nach Süden mit einer glazialen Übertiefung zu rechnen war. Ebenfalls ist denkbar, dass der Riegel am Ausgang des Gasterntals von einer Schlucht durchbrochen ist. Jedenfalls bezeugen direkte Beobachtungen, dass der heutige Flusslauf nirgends auf dem anstehenden Fels verläuft.

Die Prognoseprofile (**Abb. 5.2** und **5.3** auf den Seiten 5.8 und 5.9) basieren auf den publizierten geologischen Karten und Profilen, sowie den Dissertationen aus neuerer Zeit (Schläppi, 1980; Burkhard, 1986; Zwahlen, 1986).

5.2 DIE FELDARBEITEN

5.2.1 Zeitlicher Ablauf der Feldarbeiten

DATUM	ARBEITEN
Apr. - Jun 1990	Permitting, kantonale Bewilligung, Information der Gemeinde Kandersteg
Messungen 1. Phase Profile LOET9010	
Mai - Jun 1990	Detailpermitting (Presse, Grundeigentümer)
25. Jun 1990	Beginn der Bohrarbeiten LOET9010 durch Bereuter Sprengtechnik AG
4. Jul 1990	Feldaufnahme durch GeoExpert ag
Messungen 2. Phase Profile LOET9014, 21	
Sept./Okt. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Grundeigentümer)
1. Okt. 1990	Beginn Bohrarbeiten durch Bereuter Sprengtechnik AG
12. Okt. 1990	Feldaufnahme LOET9021 durch GeoExpert ag
18. Okt. 1990	Feldaufnahme LOET9014 durch GeoExpert ag

5.2.2 Das Messprogramm

Die verwendeten reflexionsseismischen Aufnahmeparameter sind unten tabellarisch festgehalten:

PROFIL NR.	MESS-DATUM 1990	LÄNGE in (m)	ANZAHL ANREGUNGSPUNKTE FALL-GEWICHT	SPRENG-SEISMIK	ABSTÄNDE ANREGUNG	EMPFÄNGER
LOET9010	4.7.	475	59	44	10 / 5	5
LOET9014	13.10.	665	90	52	10 / 2.5	5
LOET9021	12.10.	435	10	70	5	5

Die Messungen wurden in zwei Phasen durchgeführt.In der *erstenPhase vom 25.6. bis 4.7.1990* sollten mit den Messungen auf der Linie LOET9010 Erfahrungswerte über die Erfolgsaussichten in diesem Gebiet gewonnen werden. Um sicher zu gehen, dass der Felsuntergrund kartiert werden konnte, wurde auf allen Profilen Sprengstoff als Energiequelle verwendet. Es wurden Sprengladungen zwischen 200 g und 300 g verwendet. Bei den Versuchen mit Fallgewichtanregung betrugen die Anregungsabstände die Hälfte der Empfängerabstände. Wegen schlechter Reflektivität des Untergrundes konnten keine schlüssigen Erkenntnisse über allfällige Vorzüge einer der beiden Anregungsarten gewonnen werden.

Bei den Messungen der *zweiten Phase vom 12. bis 13.10.1990* wurden die Anregungsabstände für das Fallgewicht auf dem Profil LOET9014 auf 2.5m und für Sprengseismik auf dem Profil LOET9021 auf 5 m reduziert.

5.2.3 Die Bohrarbeiten

Ausführende Firma: Bereuter Sprengtechnik ag, 8604 Volketswil

Personal und Ausrüstung während der 1. Phase:
- 2 Mann
- 1 raupengetriebnene Bohrlafette vom Typ "Klemm"
- 1 Kompressor 12 m^3
- 1 PW Kombi

Personal und Ausrüstung während der 2. Phase:
- 2 Mann
- 1 auf Lafette montiertes Bohrgerät Typ "Bencher"
- 1 Kompressor 7 m^3
- 1 Raupengetriebenes Zugfahrzeug Typ "Yamaguchi"
- 1 PW Kombi

Es wurden 2.2 m tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 40 mm gebohrt. Die Verrohrung erfolgte mit PVC-Rohren 250 x 32 x 2 mm.

Übersicht über die durchgeführten Bohrarbeiten:

LINIE	ANZAHL LÖCHER	BOHR-METER
LOET9010	44	92.4
LOET9014	52	109.2
LOET9021	70	147.0
TOTAL	166	348.6

5.2.4 Die Registrierarbeiten

Die Feldaufnahmen erfolgten durch die GeoExpert ag. Kapitel 1.3 auf Seite 1.9 enthält eine Aufstellung über die personelle und apparative Zusammensetzung des seismischen Messrupps.

Starker Regen verzögerte die Messungen auf dem Profil LOET9021.

Die nahe Lötschbergbahn war der dominierende Störfaktor auf allen drei Profilen. Ein grösseres Baugeschäft in unmttelbarer Nähe verursachte einige Bodenunruhe. Die Messperioden wurden deshalb in die Randstunden und auf Samstag (LOET9014) verlegt.

5.3 DIE EDV-AUSWERTUNG

Der generelle Ablauf der EDV ist in Kapitel 1.6, Seite 1.18 dargestellt.

Die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten gestaltete sich auf allen drei Profilen schwierig. Es fehlen markante Reflektoren für deren Ableitungen mit reflexionsseismischen Methoden. Die Analyse der Refraktionseinsätze ergab Variationen der Geschwindigkeiten in der obersten Schicht zwischen 700 m/s und 2600 m/s. Für das mit grossen Blöcken durchsetzte Bergsturzmaterial liessen sich keine repräsentativen Werte ermitteln. Weitere Bemerkungen zum Thema der Geschwindigkeitsverteilung und der Umwandlung der Laufzeiten in Tiefenangaben sind in Kapitel 1.7.2 Seite 1.22 enthalten.

Die Daten weisen wegen der starken Bodenunruhe einen hohen Störpegel auf. Eine marginale Verbesserung der Resultate wurde mit dem Verfahren der 2-dimensionalen Radon- oder τ-p Filterung erzielt.

5.4 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Bei Eggeschwand wurden die drei parallel zueinander verlaufenden Linien LOET9010, 9014 und 9021 (**Abb. 5.4, 5.5, 5.6,** und **5.7** auf Seiten 5.8 bis 5.11) aufgenommen. Mit dieser Anordnung sollten sowohl der Querschnitt des Quartärtroges als auch seine Entwicklung parallel zur Trogachse verfolgt und die Daten der Hauptlinie NEAT9001 ergänzt werden.

Das Profil LOET9014 spielt bei der Interpretation der Seismik bei Eggeschwand die Schlüsselrolle. Die deutlich sichtbare v-förmige Reflexion B wird mit der Felsoberkante korreliert. Diese liegt nach Tiefenumrechnung an der tiefsten Stelle des engen Quartärtroges auf einer Höhe von 1000 m.ü.M. Offenbar ist das Kandertal auch in seinem hintersten Bereich beträchtlich übertieft.

Durch den Vergleich mit LOET9014 konnte auch in LOE9021 die Reflexion B der Grenze Fels/Quartärsedimente zugeordnet werden; sie zeichnet ebenfalls den Verlauf eines tief eingeschnittenen V-Tales nach, das bis auf eine Tiefe von 870 m.ü.M. hinunterreicht. Die Achse des Quartärtroges liegt westlich der heutigen Talachse und weist gegen NW ein beträchtliches Gefälle auf (130 m Höhenunterschied zwischen LOET9014 und 9021).

Die Trogachse verläuft westlich der Hauptlinie NEAT9001, so dass letztere nicht die maximale Tiefe des Quartärtroges erfasste. Aus der grossen Übertiefung des Tals kann geschlossen werden, dass der Aufschluss zwischen Eggeschwand und Pt. 1189 nicht als anstehendes Gestein zu betrachten ist. Es muss sich dabei um einen grossen Block handeln, der als kompaktes Paket aus den Felswänden südöstlich von Eggeschwand abgerutscht ist; ein Phänomen, das auch in andern Bergsturzgebieten zu beobachten ist (Flimser Bergsturz). Ein Indiz für diese Interpretation ist auch die inhomogene Verteilung der durch Refraktionsanalyse gewonnenen Geschwindigkeiten. Diese schwanken lokal beträchtlich. Hohe Geschwindigkeitswerte wären durch grössere kompakte Blöcke erklärbar, tiefere Geschwindigkeiten durch aufgelockertes Bergsturzmaterial.

Die Reflexionen A oberhalb der Felsoberkante zeigen Strukturen innerhalb der Quartärfüllung. Die Reflexionen sind meist diskontinuierlich und von unterschiedlichen Intensitäten, was wie im Öschinental (Kap. 6.4) auf inhomogene Sedimente, z.B. Bergsturzmaterial, hindeuten könnte. Bei der starken, entlang der Oberfläche durchgehenden Reflexion in LOET9014 handelt es sich um Einsätze refraktierter Wellen und somit nicht um eine reelle Struktur.

Die horizontalen Reflexionen E im Felsuntergrund, die in LOET9014 und 9021 zu sehen sind, sind mit Strukturen innerhalb der Doldenhorn-Decke zu korrelieren. Ein möglicher Reflektor ist die Schichtgrenze zwischen den Berriasien-Mergeln und dem Öhrli-Kalk. Über die Kreide der Doldenhorn-Decke konnten mit der Seismik keine Informationen gewonnen werden. Die im geologischen Profil gezeichneten Kreidefalten entsprechen dem Stand der Prognoseprofile.

Die seismische Linie LOET9010, die in einer Dynamit- und einer Fallgewicht-Version aufgenommen wurde, lieferte weniger deutliche Daten. Lediglich die Reflexion B, die sowohl in der Dynamit- als auch in der Fallgewicht-Version zu sehen ist, kann durch die Korrelation mit den benachbarten Linien als Felsoberkante gedeutet werden. Auf beiden Linien zeigen sich in der quartären Talfüllung identische Reflexionsmuster (s. **Abb. 5.4** und **5.5** auf den Seiten 5.10 und 5.11).

Zusammenfassung

Das hinterste Kandertal ist glazial und fluviatil übertieft. Die Sohle des v-förmigen Troges vertieft sich nach Norden von 1000 m.ü.M. (LOET 9014) auf 870 m.ü.M. (LOET9021) und fällt dann bis Kandersteg auf 650 m.ü.M. ab (s.u.).

5.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Beim Abtiefen einer Bohrung sollte diese durch eine seismische Linie mit den bisher aufgenommenen Linien vernetzt werden. Je nach Standort der Bohrung wäre eine Querlinie über die Talachse angezeigt. Dies erlaubt eine Extrapolation der Bohrdaten in die weitere Umgebung.

LITERATUR

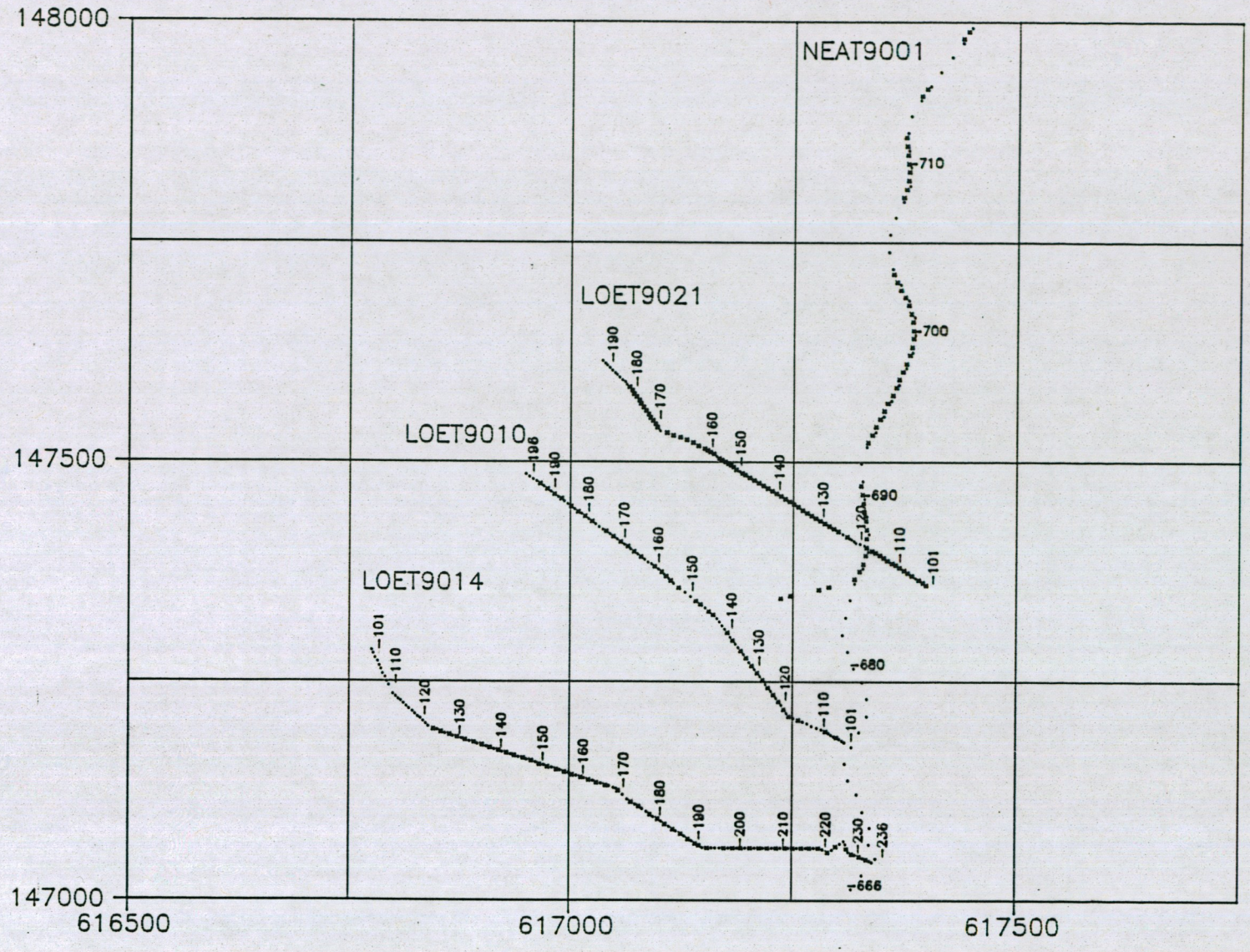
[1] BURKHARD, M. (1986): L' Helvétique de la bordure occidentale du Massif de l' Aar. - Diss. Uni Neuenburg.

[2] SCHLÄPPI, E. (1980): Geologische und tektonische Entwicklung der Doldenhorndecke und zugehöriger Elemente. Diss. Uni Bern.

[3] ZWAHLEN, P. (1986): Die Kandertalstörung, eine transversale Diskontinuität im Bau der helvetischen Decken. - Diss. Uni Bern.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 5

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
5.1	Lageplan seismische Linien Eggeschwand	5.7
5.2	Geologische Prognose Profil LOET9010	5.8
5.3	Geologische Prognose Profil LOET9014	5.9
5.4	Profilschnitt Sprengseismik LOET9010	5.10
5.5	Profilschnitt Fallgewichtseismik LOET9010	5.11
5.6	Seismisches Profil LOET9014	5.12
5.7	Seismisches Profil LOET9021	5.13
5.8	Geologischer Profilschnitt LOET9014	5.14
5.9	Geologischer Profilschnitt LOET9021	5.15


148000
147500
147000
616500
617000
617500
NEAT9001
710
LOET9021
700
LOET9010
690
LOET9014
680
666
Geophonstationen
Schusspunktstationen

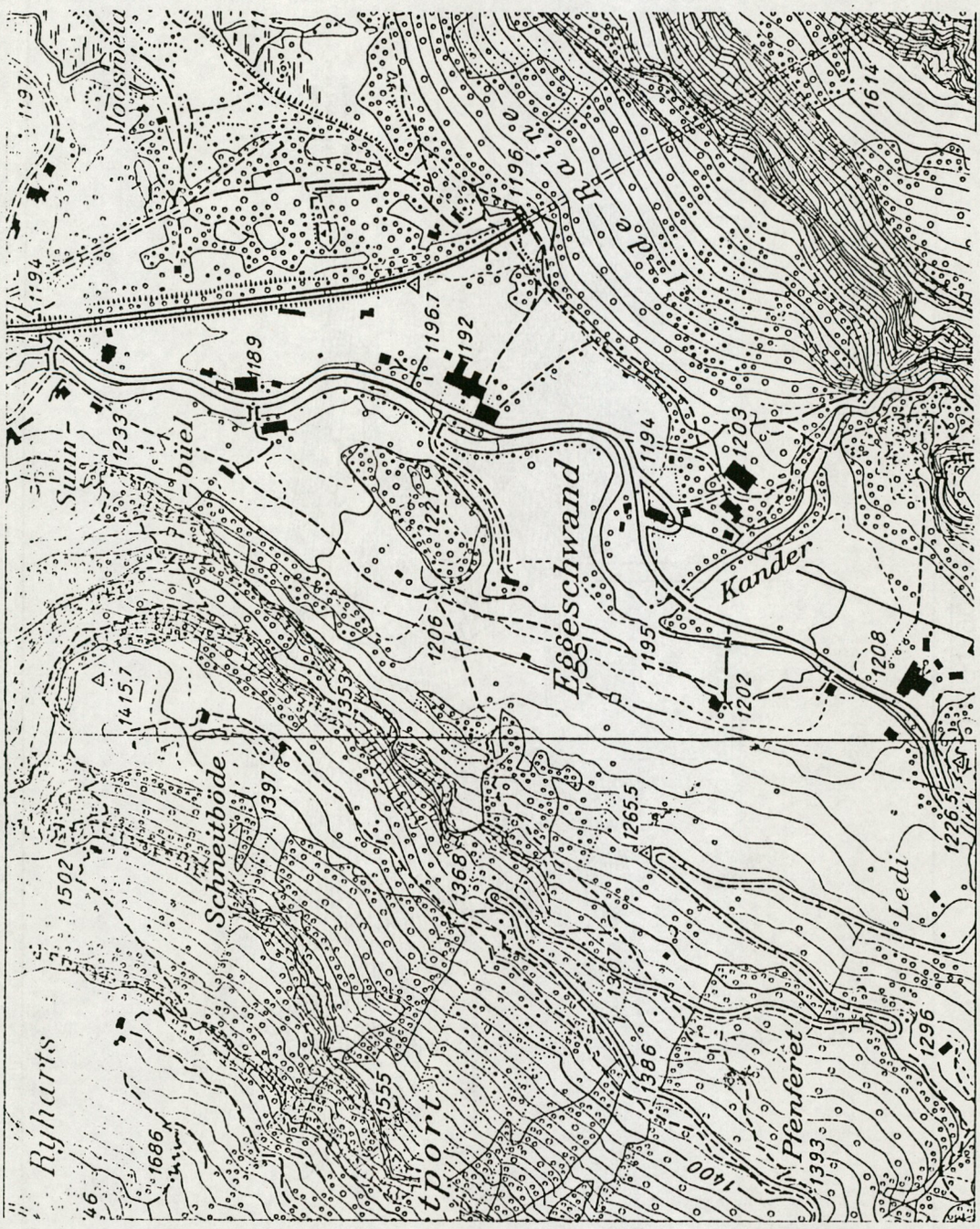


Abb. 5.1 Lageplan der seismischen Linien bei Eggeschwand

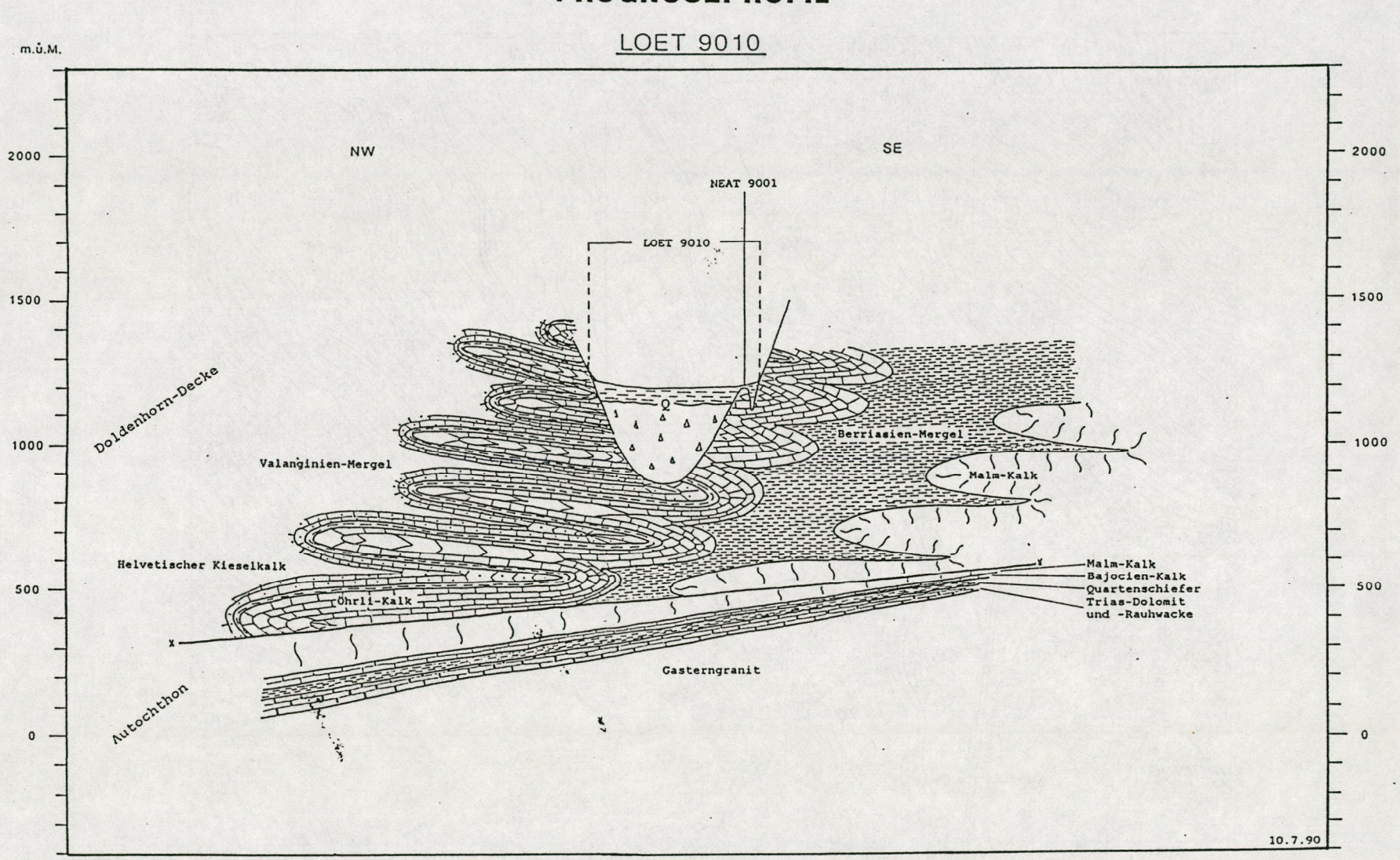


Abb. 5.2 Geologische Prognose Profil LOET90010

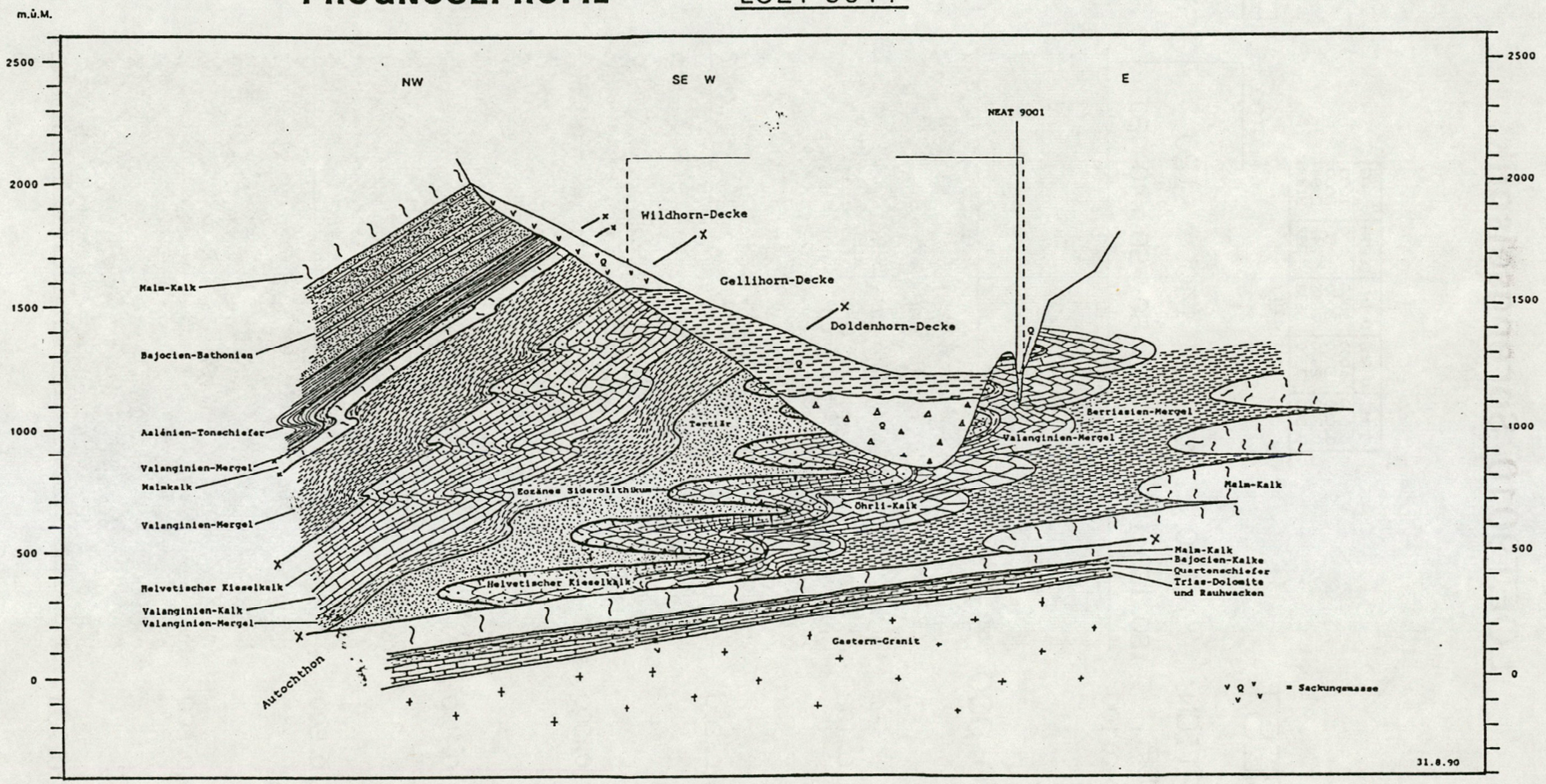


Abb. 5.3 Geologische Prognose Profil LOET9014

LOET9010 Sprengseismik

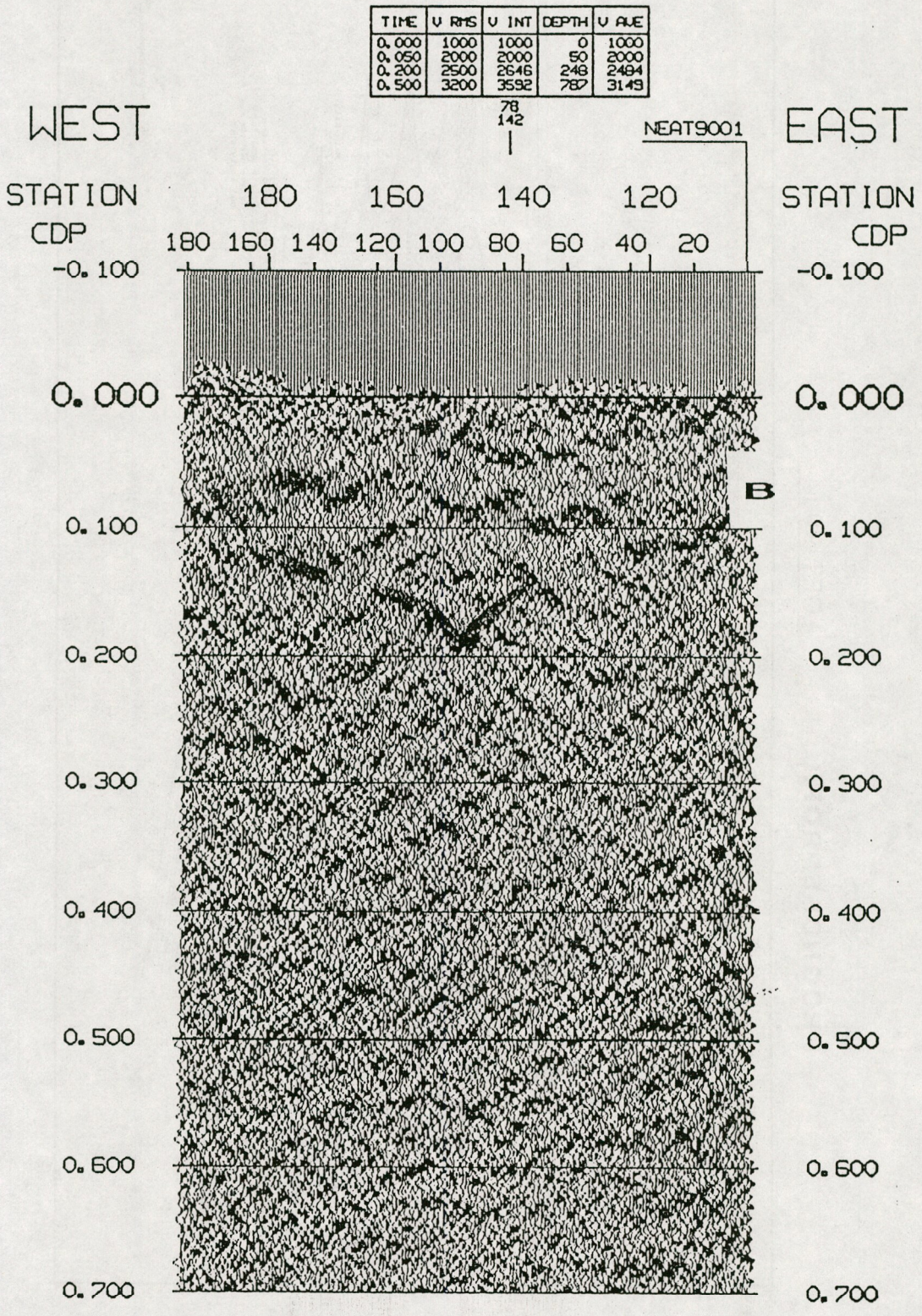


Abb. 5.4 Profilschnitt Sprengseismik LOET9010

LOET9010 Fallgewicht

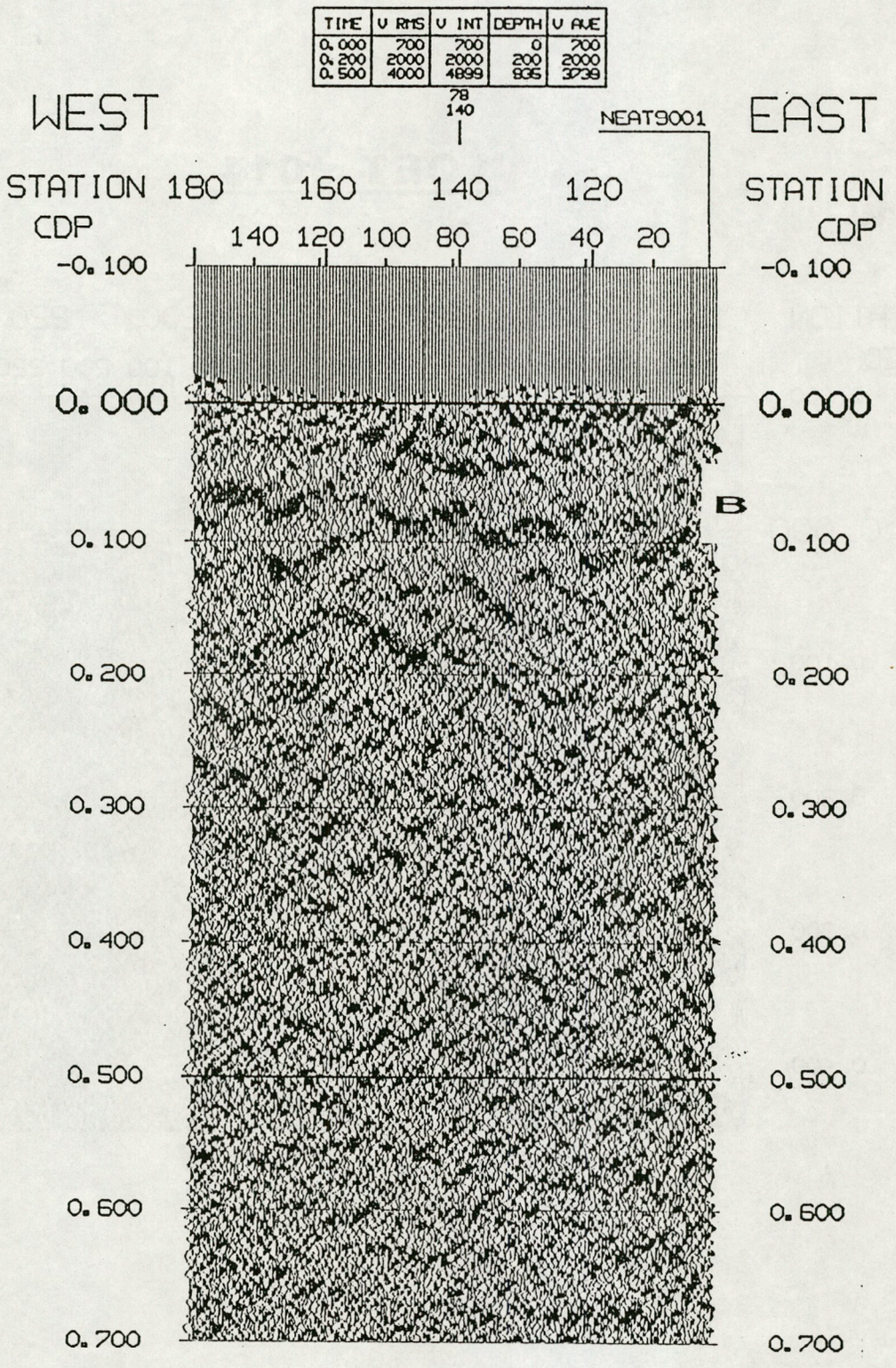


Abb. 5.5 Profilschnitt Fallgewichtseismik LOET9010

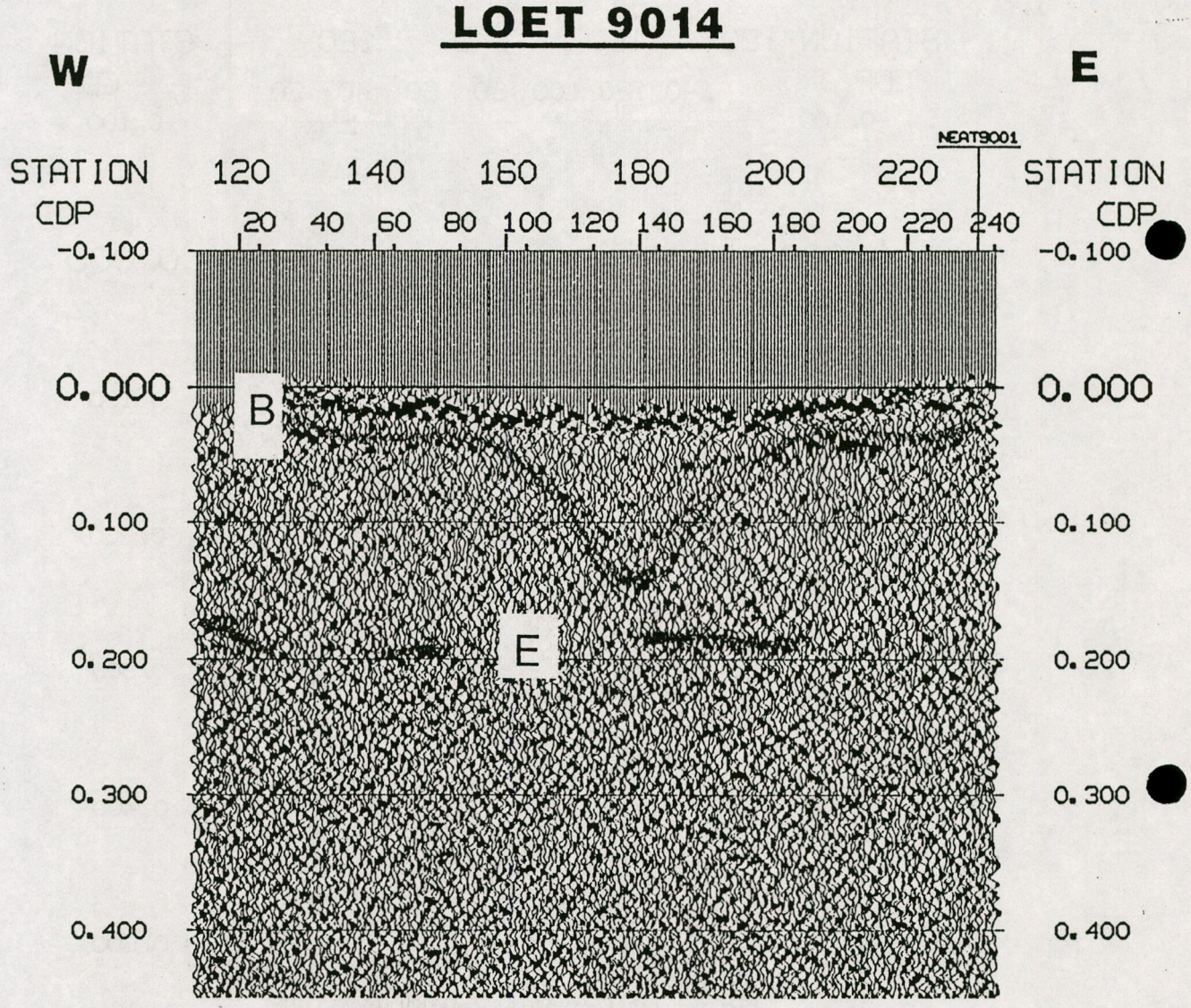


Abb. 5.6 Seismisches Profil LOET9014

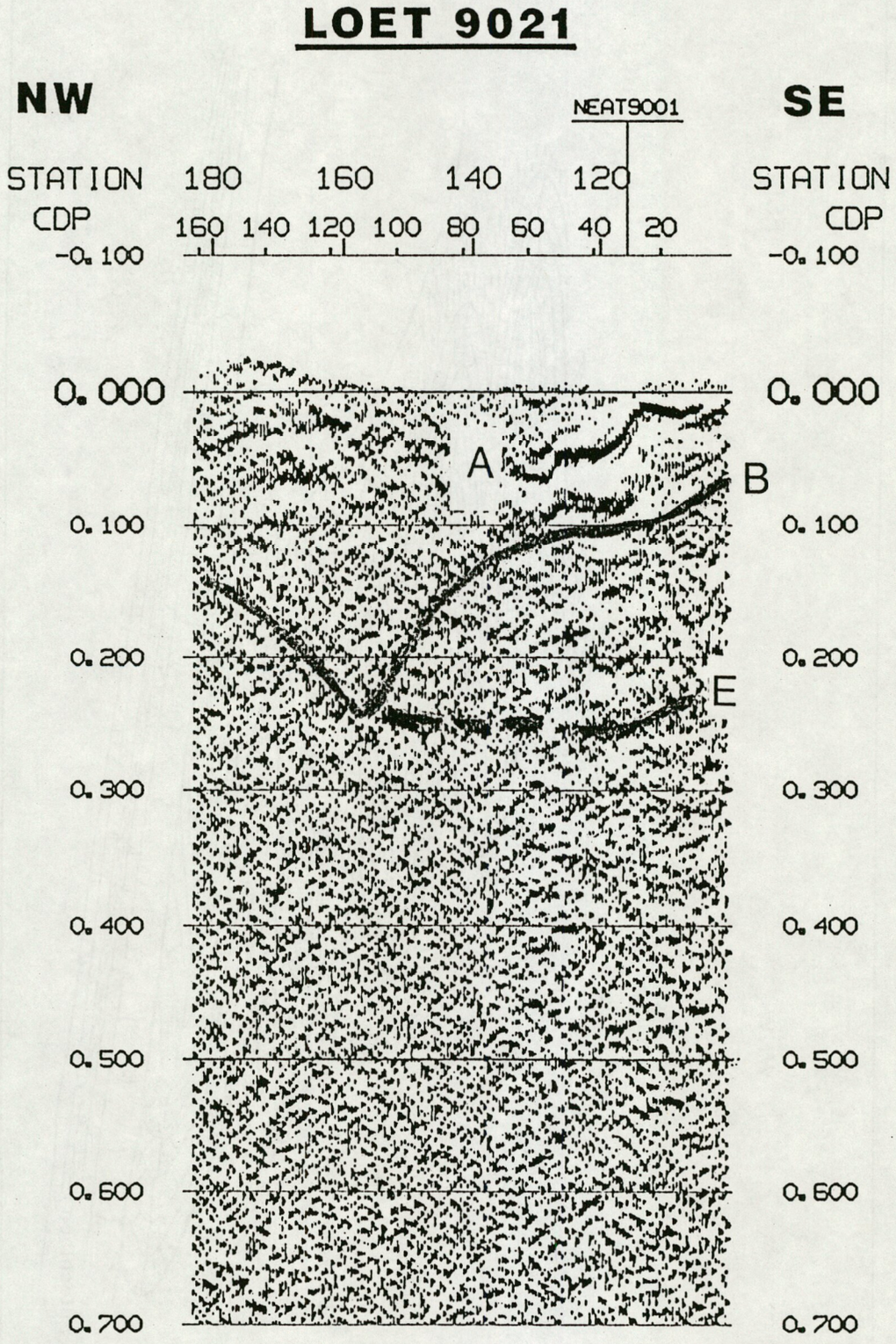


Abb. 5.7 Seismisches Profil LOET9021

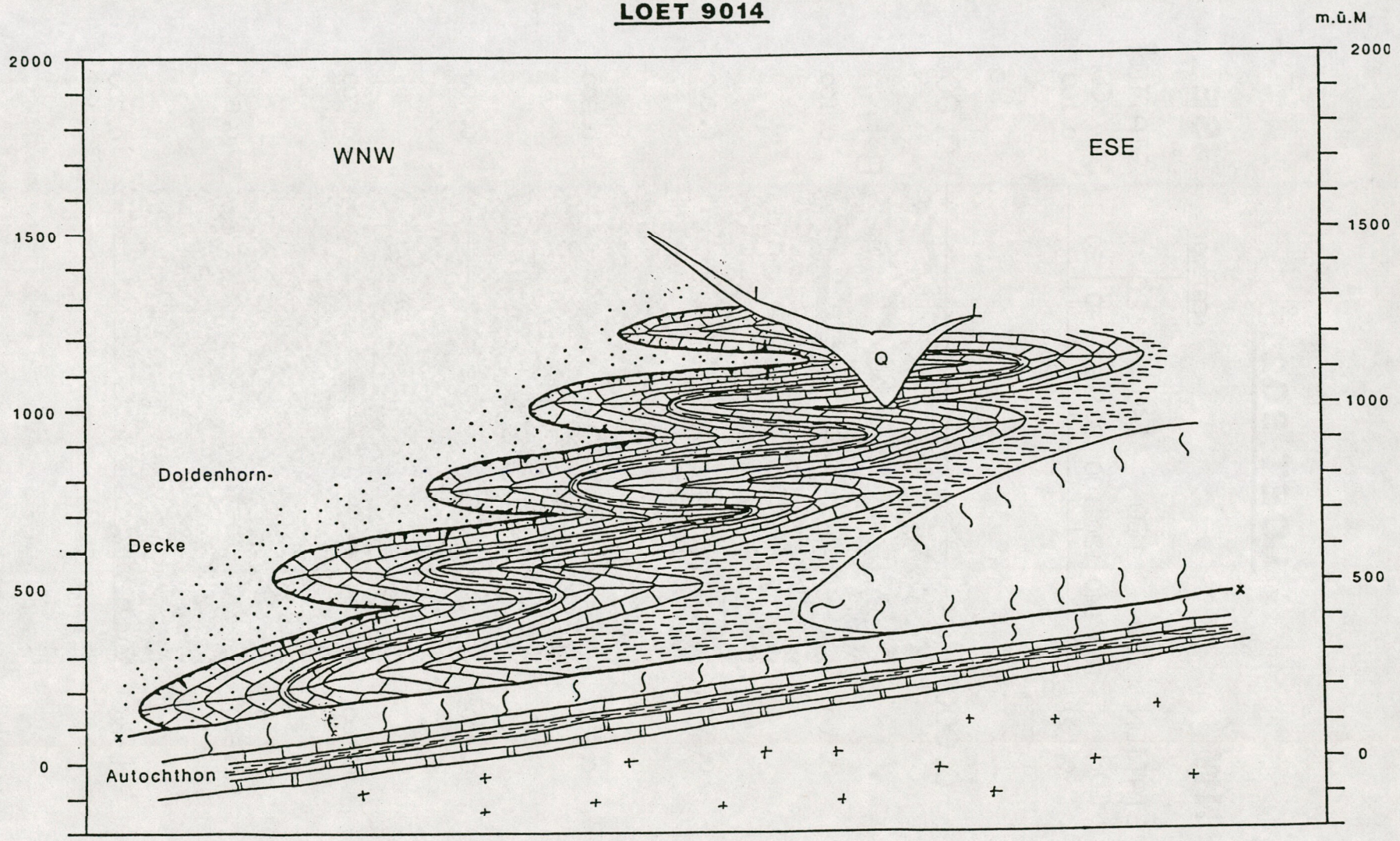


Abb. 5.8 Geologischer Profilschnitt LOET9014

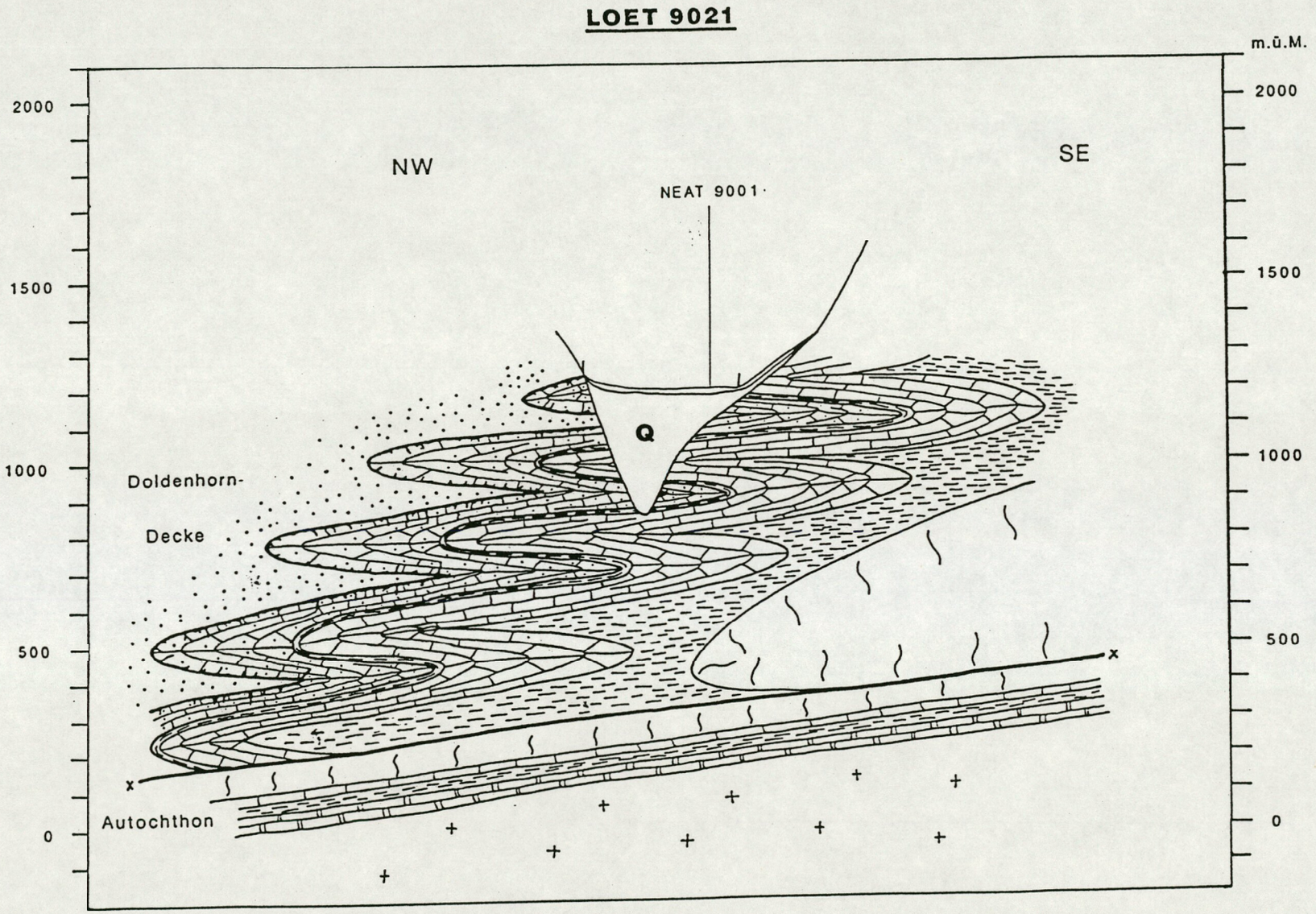


Abb. 5.9 Geologischer Profilschnitt LOET9021

6 DIE MESSUNGEN IM ÖSCHINENTAL

Die regionale Vibroseis Linie NEAT9001 vom Gasterntal bis Reichenbach verläuft im Untersuchungsgebiet parallel zum Profil LOET9007. Beide Linien zeigen übereinstimmende Resultate. Die Messungen auf dem Vibroseisprofil NEAT9001 im Gebiet Kandersteg werden in Kapitel 7 behandelt.

6.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Im Öschinental galt es hauptsächlich, die Felsoberkante zu erkunden. Dies ist vor allem bei einer Linienführung östlich des Kandertals kritisch, denn ein weiteres Ausweichen nach Osten führt unweigerlich zu hohen Überlagerungen.

Durch ein Dispositiv mit zwei Querlinien im Öschinental und einer Verbindungslinie in der Längsachse des Öschinentals sollte die Einbindung der Daten in die Hauptlinie NEAT9001 gewährleistet sein. Zudem konnten von der Längslinie Informationen über die Tiefenlage der autochthonen Sedimente des Gasternmassivs erwartet werden, was einer sinnvollen Ergänzung der Linie NEAT9001 im Gasterntal gleichkommt.

6.2 DIE FELDARBEITEN

6.2.1 Zeitlicher Ablauf

DATUM	ARBEITEN
Apr. - Jun 1990	Permitting, kantonale Bewilligung, Information der Gemeinde Kandersteg
Mai - Jun 1990	Detailpermitting (Presse, Grundeigentümer)
15. Jun 1990	Beginn topographische Einmessung LOET9006 & 9 durch Prakla-Seismos AG
25.-27. Jun 1990	Feldaufnahme Linien LOET9006 & 9 durch Prakla-Seismos AG
Sept./Okt. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Grundeigentümer) Linie LOET9008
1.- 4. Okt. 1990	Bohrarbeiten LOET9008 durch Bereuter Sprengtechnik AG
10.11. Okt. 1990	Feldaufnahme LOET9008 durch GeoExpert ag
Ende Okt.. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Grundeigentümer) Linie LOET9007
22.-24. Okt 1990	Bohrarbeiten LOET9007 durch Bereuter Sprengtechnik AG
5.-6. Nov. 1990	Feldaufnahme LOET9007 durch GeoExpert ag

6.2.2 Das Messprogramm

Um ein dreidimensionales Bild der geologischen Tiefenstruktur zu erhalten, wurden im Öschinental vier miteinander vernetzte Linien aufgenommen. LOET9006 verläuft entlang des Öschibaches in der Talsohle, LOET9007 und 9008 kreuzen diese Hauptlinie im unteren bzw. oberen Teil des Öschinentals. Ein weiteres kurzes Längsprofil, LOET9009, wurde auf der durch den Bergsturz gebildeten Terrasse entlang der nördlichen Flanke des Öschinentals aufgenommen. (s. Lagepläne **Abb. 6.1, 6.2** und **6.3**, Seiten 6.7 bis 6.9)

Die Linien LOET9006 und LOET9009 sind auf ihrer ganzen Länge mit Fahrzeugen befahrbar. Die Anregung mit Vibroseis war deshalb das wirtschaftlichste Messverfahren. Aus organisatorischen Gründen wurden die Messungen in diesem Gebiet in drei Phasen durchgeführt.

Die verwendeten reflexionsseismischen Aufnahmeparameter sind unten tabellarisch festgehalten:

PROFIL NR.	MESS-DATUM 1990	LÄNGE in (m)	ANZAHL ANREGUNGSPUNKTE VIBRO-SEIS	SPRENG-SEISMIK	FALL-GEWICHT	ABSTÄNDE ANREGUNG	EMPFÄNGER	FIRMA
LOET9006	26.-27.6.	5040	351	18		10	10	Prakla
LOET9007	5.-6.11.	1195		38	142	10	10	GeoExpert
LOET9008	10.-11.10.	1190		113		10	10	GeoExpert
LOET9009	25.6.	1810	134			10	10	Prakla

6.2.3 Die Bohrarbeiten

Ausführende Firma: Bereuter Sprengtechnik ag, 8604 Volketswil

Zusammensetzung der Bohrmannschaft
- 2 Mann
- 1 Bohrlafette auf Kufen mit Seilwinde
- 1 raupengetriebenes Zug/Transportfahrzeug vom Typ "Yamaguchi"
- 1 Kompressor 7 m^3
- 1 PW Kombi

Es wurden 1.8 - 2.0 m tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 40 mm gebohrt. Für Refraktionsschüsse mit grösseren Ladungen wurde jedes 6. Loch 4 m tief gebohrt. Die Verrohrung erfolgte mit PVC-Rohren 250 x 32 x 2 mm.

Übersicht über die durchgeführten Bohrarbeiten:

LINIE	ANZAHL LÖCHER	BOHR-METER
LOET9007	38	79.8
LOET9008	113	237.3
TOTAL	151	317.1

6.2.4 Die Registrierarbeiten

In der Anlage A2 ist der Bericht der Prakla-Seismos AG über ihre im Kandertal durchgeführten Arbeiten mit einer Übersicht über das eingesetzte Personal und die Messausrüstung enthalten.

Kapitel 1.3 Seite 1.9 enthält eine Aufstellung über die personelle und apparative Zusammensetzung des seismischen Messrupps der GeoExpert ag.

Alle Messungen fanden bei guter Witterung statt.

Profil LOET9006 führt durch den Dorfkern von Kandersteg. Obwohl die Messungen in den späten Abendstunden stattfanden, ist die Datenqualität durch die Bodenunruhe und die 16 2/3 Hz Einstreuungen der Lötschbergbahn herabgesetzt.

Die Energieankoppelung der Schüsse in den Schuttfächern der nördlichen Talflanke des Öschinentals auf Profil LOET9008 war nicht optimal. Dies erklärt die schlechtere Datenqualität auf dieser Linie gegenüber der am Dorfausgang von Kandersteg liegenden Linie LOET9007, wo für die Anergung wie für die Empfänger gute Ankoppelungsbedingungen vorherrschten.

6.3 DIE EDV-AUSWERTUNG

Der generelle Ablauf der EDV ist in Kapitel 1.6, Seite 1.18 dargestellt.

Wie bei den Messungen im Gasterntal überraschen im Öschinental die hohen Geschwindigkeiten im Lockergestein des Quartärs mit Werte um 2500 m/s.

Auf den Linien LOET9007 und LOET9008 (**Abb. 6.8** und **6.9** auf Seiten 6.6.14 und 6.15) waren 4 Durchläufe zur Bestimmung der reststatischen Korrekturen notwendig, um die vorerst nur schwach sichtbare untere Begrenzung der Talfüllung besser hervortreten zu lassen.

6.4 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Mit den drei kurzen Profilen LOET9007, 9008 und 9009 (**Abb. 6.8, 6.9** und **6.10** auf den Seiten 6.14 bis 6.6) konnten die Basis und die internen Strukturen der Quartärsedimente erkannt werden, die Längslinie LOET9006 (**Abb. 6.7**, Seite 6.13) lieferte auch Daten von der Doldenhorn-Decke und dem Autochthon. Die besten Aufzeichnungen lieferte LOET9007 am Ausgang des Öschinentals. Diese Linie und ihre Vernetzung mit den übrigen Linien ermöglicht eine gute Korrelation der Reflexionen und deren einheitliche Deutung.

In LOET9007 zeigt die Reflexion B mit ihrer v-Form recht klar den Verlauf der Felsoberfläche an. Diese erreicht bei Station 150, also etwas südlich der heutigen Talachse, mit 0.37 s TWT (*Two Way Time* = Reflexionslaufzeit) ihre grösste Tiefe, was einer Höhe von 650 m.ü.M. entspricht. Diese starke Übertiefung des Tals ist wahrscheinlich auf glaziale und glaziofluviatile Erosion zurückzuführen, die in dieser Gegend, wo der Öschinen- und der Gastern-Üschinengletscher zusammenflossen, besonders gross gewesen sein dürfte.

Im Vergleich mit LOET9007 kann auch die Reflexion B in LOET9006 der Felsoberkante zugeordnet werden, obwohl beim Schnittpunkt der beiden Linien keine vollständige Übereinstimmung besteht. Die Diskrepanz ist mit seitlichen Reflexionen in LOET9006 zu erklären, die zu einer Abbildung der Trogschultern statt der Trogachse führen. Der Verlauf der Reflexion zeigt, dass die Felsoberfläche sowohl gegen den Öschinensee als auch gegen Kandersteg hin ansteigt und dass die grosse Übertiefung am Ausgang des Öschinentals ein lokal begrenztes Maximum darstellt. Allerdings ist die Quartärmächtigkeit auch im oberen Teil des Öschinentals noch beträchtlich; die Felsoberkante erreicht bis zum Öschinensee, wo die Daten von LOET9008 und 9009 vorliegen, nicht mehr als 900 m.ü.M.

In beiden Linien wird die Reflexion B der Felsoberkante zugeordnet, obwohl auch hier, aus denselben Gründen wie beim Schnittpunkt mit LOET9007, keine direkte Korrelation mit der Längslinie möglich ist. Ein Indiz für die Richtigkeit der Interpretation ist jedoch die Ähnlichkeit des Quartärtroges in den beiden parallel zueinander verlaufenden Linien LOET9007 und 9008. In beiden Profilen zeigt sich ein asymmetrischer Trog mit einer steilen südlichen und einer flachen nördlichen Flanke.

Die Reflexionen A, welche oberhalb der Felsoberfläche liegen, werden als quartär-interne Strukturen gedeutet. Zum Teil ist auch hier eine Korrelation unter den vier Öschinentalprofilen möglich, doch wird diese durch die Diskontinuität der Reflexionen häufig erschwert. Die Aufschlüsse im Öschinental zeigen, dass die obersten Bereiche der Quartärfüllung aus Bergsturzmaterial bestehen, d.h. aus einem unsortierten Sediment, dessen Korngrössenspektrum vom feinen Gesteinsmehl bis zu mehreren 1000 m^3 grossen Blöcken reichen kann. Dieses inhomogene Material erklärt die Diskontinuität und die stark unterschiedlichen Intensitäten der quartär-internen Reflexionen.

In LOET9007 wird demnach die kontinuierliche Reflexion A als Unterkante des Bergsturzes interpretiert. In LOET9008 und 9009, wo keine eindeutige Trennfläche zwischen dem Bergsturz und dem darunterliegenden Material auszumachen ist, musste die Grenze dort gezogen werden, wo sich der Charakter der seismischen Aufzeichnung ändert. Über die Art des unter dem Bergsturz liegenden Materials geben die seismischen Daten keine Auskunft.

Über die geologischen Verhältnisse im Felsuntergrund liefert nur die Längslinie LOET9006 Informationen. Zu sehen ist der von 0.72 s TWT im Osten auf 0.9 s TWT im Westen abtauchende Top des autochthonen Mesozoikums (C), der besonders zwischen den Stationen 340 und 440 als ein 0.2 s breites Bündel von Reflexionen deutlich in Erscheinung tritt. Auf 0.42 s TWT ist am Ostende des seismischen Profils die Reflexion E_1 zu beobachten, die sich im Bereich der Station 340 mit den Reflexionen des Autochthons vereinigt. Sie wird als Oberfläche eines nach Norden vorgeschobenen Keils von Malm-Kalk der Doldenhorn-Decke interpretiert, der direkt dem autochthonen Mesozoikum aufliegt. Die Reflexionen E_2, die ebenfalls Internstrukturen der Doldenhorn-Decke widerspiegeln müssen, können aufgrund ihrer Diskontinuität nicht gedeutet werden.

Über die Kreide der Doldenhorn-Decke konnten mit der Seismik keine Informationen gewonnen werden. Die im geologischen Profil gezeichneten Kreide-Falten entsprechen dem Stand der Prognoseprofile.

Zusammenfassung

Die seismischen Profile im Öschinental brachten folgende Ergebnisse:

- Das Öschinental ist stark übertieft. Die Felsoberkante liegt an ihrer tiefsten Stelle, 1 km östlich des Bahnhof Kandersteg, in einer Tiefe von 650 m.ü.M., und erreicht selbst in der Gegend des Öschinensees nicht mehr als 900 m.ü.M.

- Am Ausgang des Öschinentals konnte die Mächtigkeit des Bergsturzes dank einer deutlichen basalen Reflexion gut bestimmt und mit 200 m angegeben werden. Im oberen Teil des Öschinentals ist die entsprechende Grenze weniger gut zu sehen, weil die quartär-internen Reflexionen sehr zahlreich und vorwiegend diskontinuierlich sind. Über die Art des Materials im Liegenden des Bergsturzes lieferte die Seismik keine Informationen.

- Der Top des autochthonen Mesozoikums fällt von 200 m über Meer in der Gegend des Öschinensees kontinuierlich auf eine Tiefe von 400 m unter Meer westlich von Kandersteg.

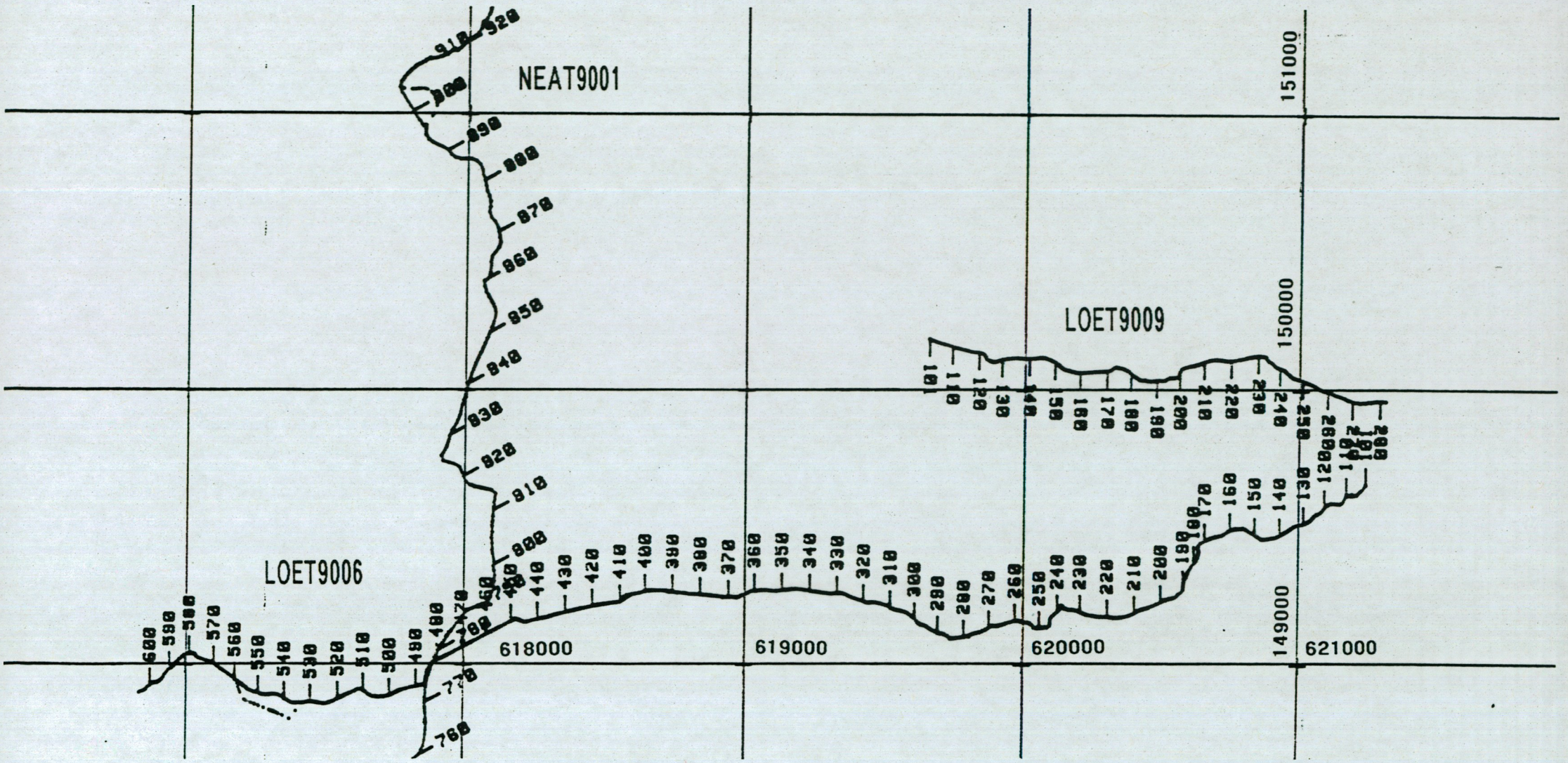
- Die Stirn der untersten Schuppe von Malm der Doldenhorn-Decke liegt im mittleren Abschnitt des Öschinentals, im Bereich der Linien LOET9007 und 9008.

6.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Bei Abtiefung einer Bohrung sollte diese durch eine seismische Linie mit den bisher aufgenommenen Linien vernetzt werden. Je nach Standort der Bohrung wäre eine Querlinie über die Talachse angezeigt. Dies erlaubt eine Extrapolation der Bohrdaten in die weitere Umgebung.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 6

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
6.1	Lageplan der seismischen Linien LOET9006 und LOET9009	6.7
6.2	Lageplan der seismischen Linien im oberen Öschinental	6.8
6.3	Lageplan der seismischen Linien im unteren Öschinental	6.9
6.4	Prognoseprofil LOET9006	6.10
6.5	Prognoseprofil LOET9007	6.11
6.6	Prognoseprofil LOET9008	6.12
6.7	Seismisches Profil LOET9006	6.13
6.8	Seismisches Profil LOET9007	6.14
6.9	Seismisches Profil LOET9008	6.15
6.10	Seismisches Profil LOET9009	6.16
6.11	Geologische Interpretation LOET9006	6.17
6.12	Geologische Interpretation LOET9007	6.18
6.13	Geologische Interpretation LOET9008	6.19
6.14	Geologische Interpretation LOET9009	6.20


NEAT9001
LOET9009
LOET9006
618000
619000
620000
621000
149000
150000
151000

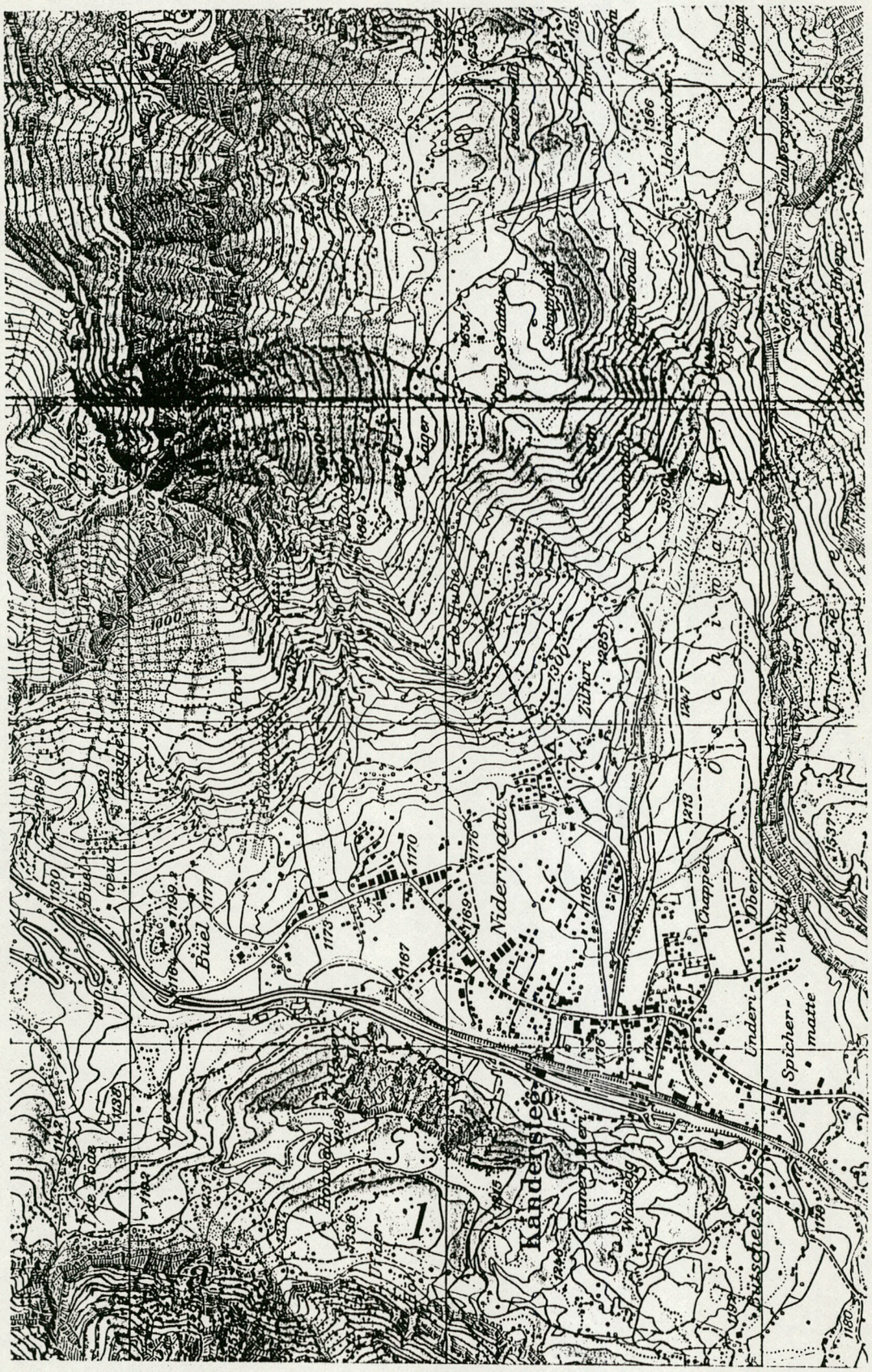
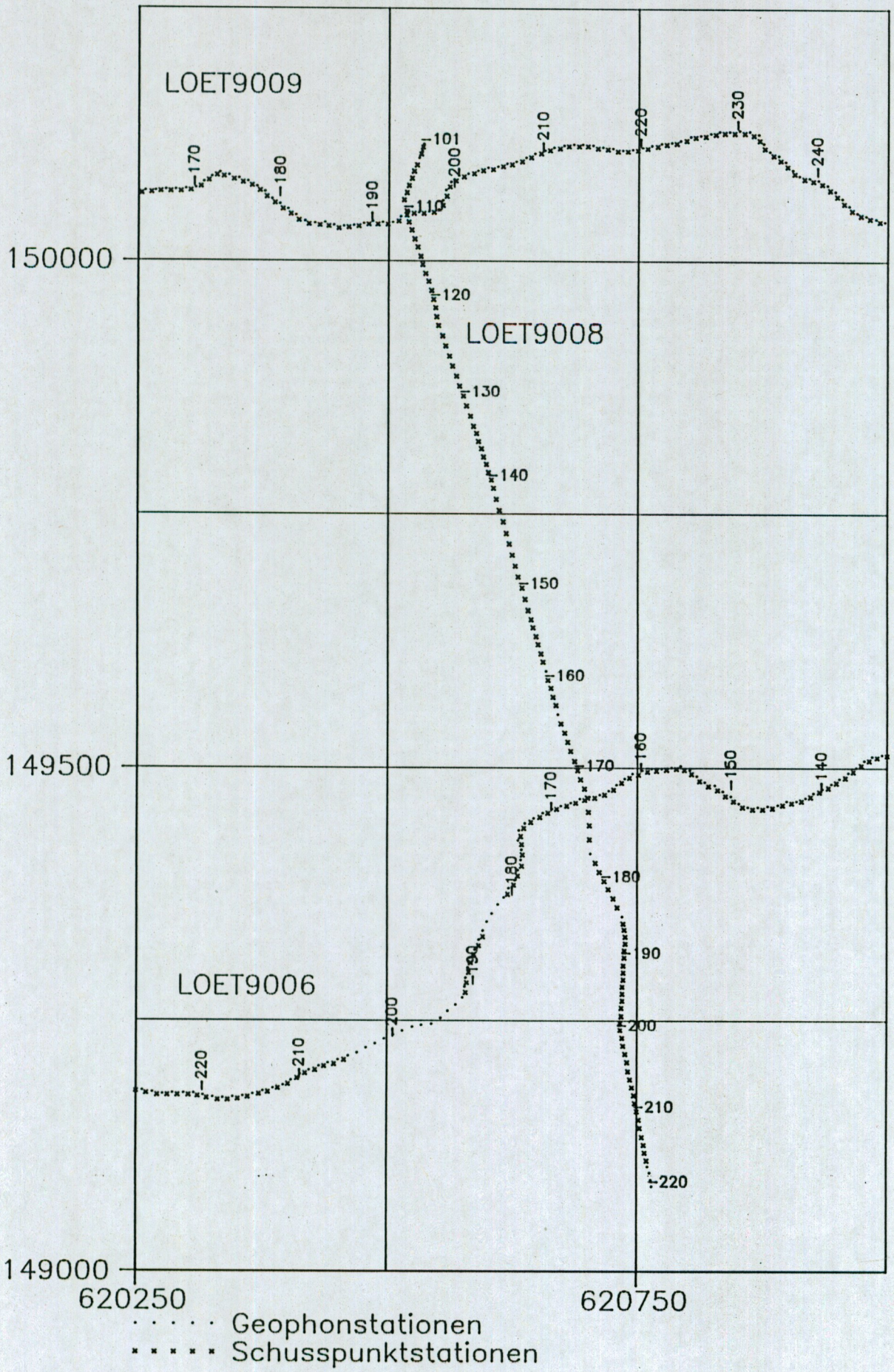


Abb. 6.1 Lageplan der seismischen Linien LOET9006 und LOET9009


LOET9009
LOET9008
LOET9006
150000
149500
149000
620250
620750
101
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
90
Geophonstationen
Schusspunktstationen

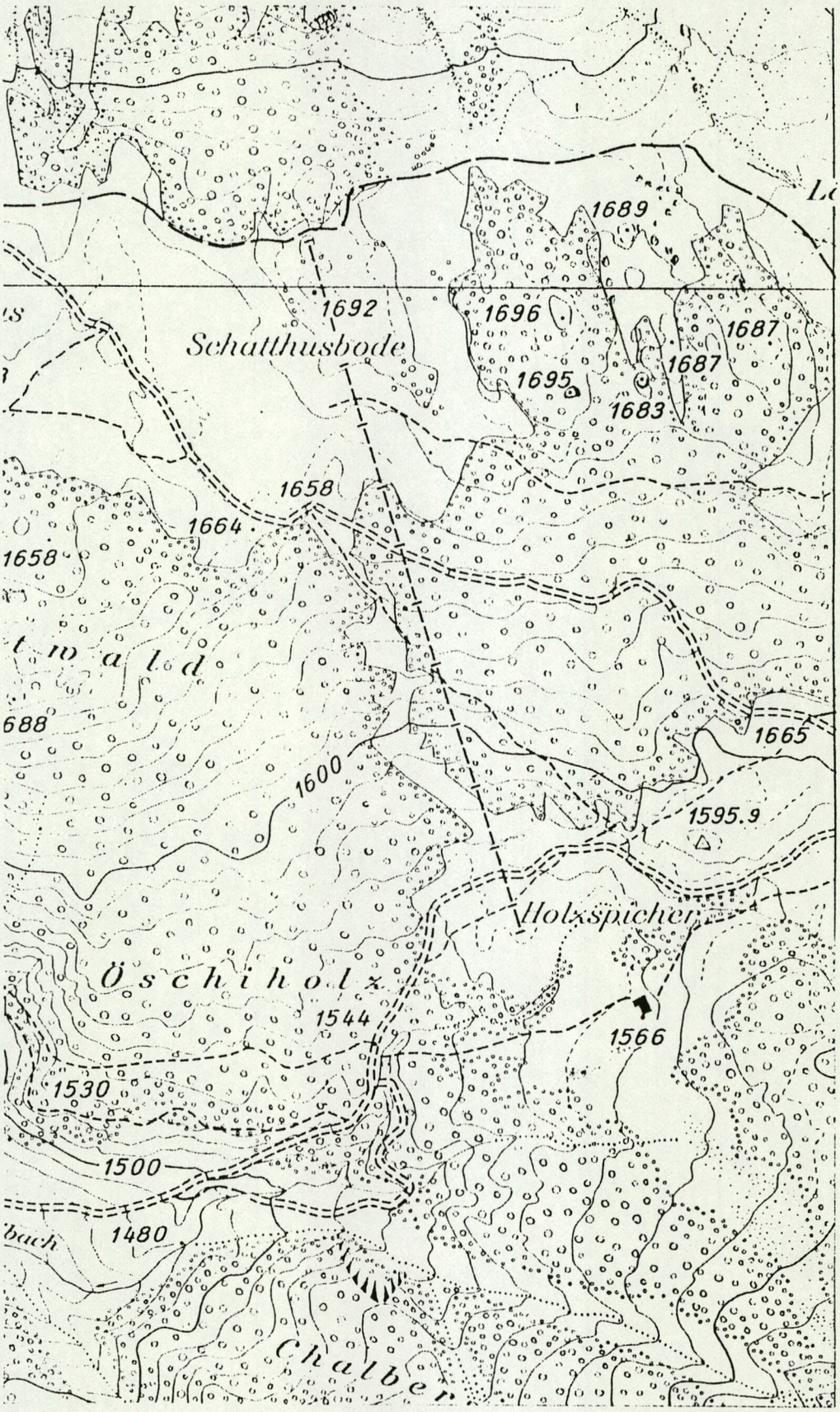
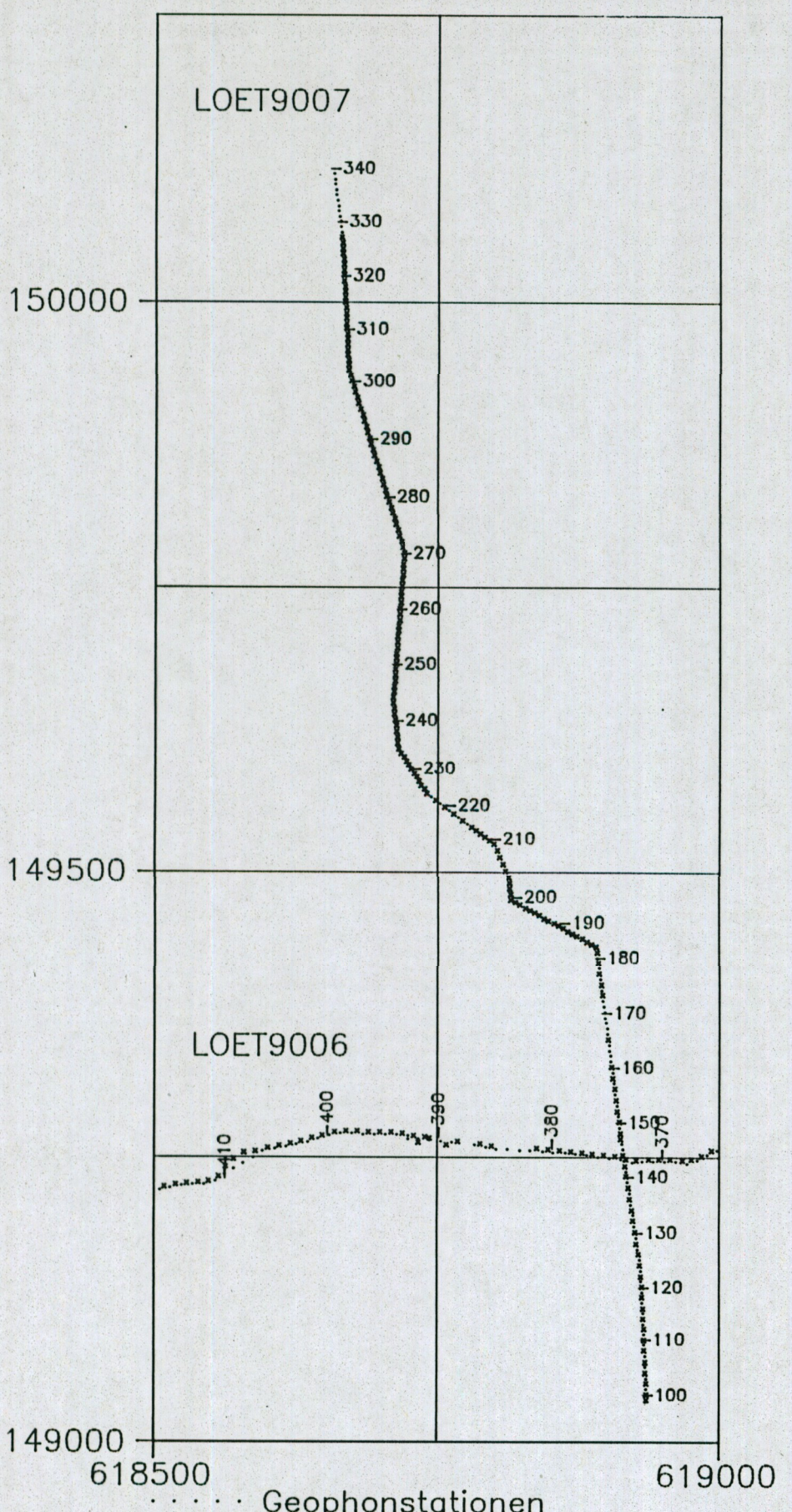


Abb. 6.2 Lageplan der seismischen Linien im oberen Öschinental


LOET9007
340
330
320
150000
310
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
149500
200
190
180
170
LOET9006
160
150
410
400
390
380
370
140
130
120
110
100
149000
618500
619000
Geophonstationen
Schusspunktstationen

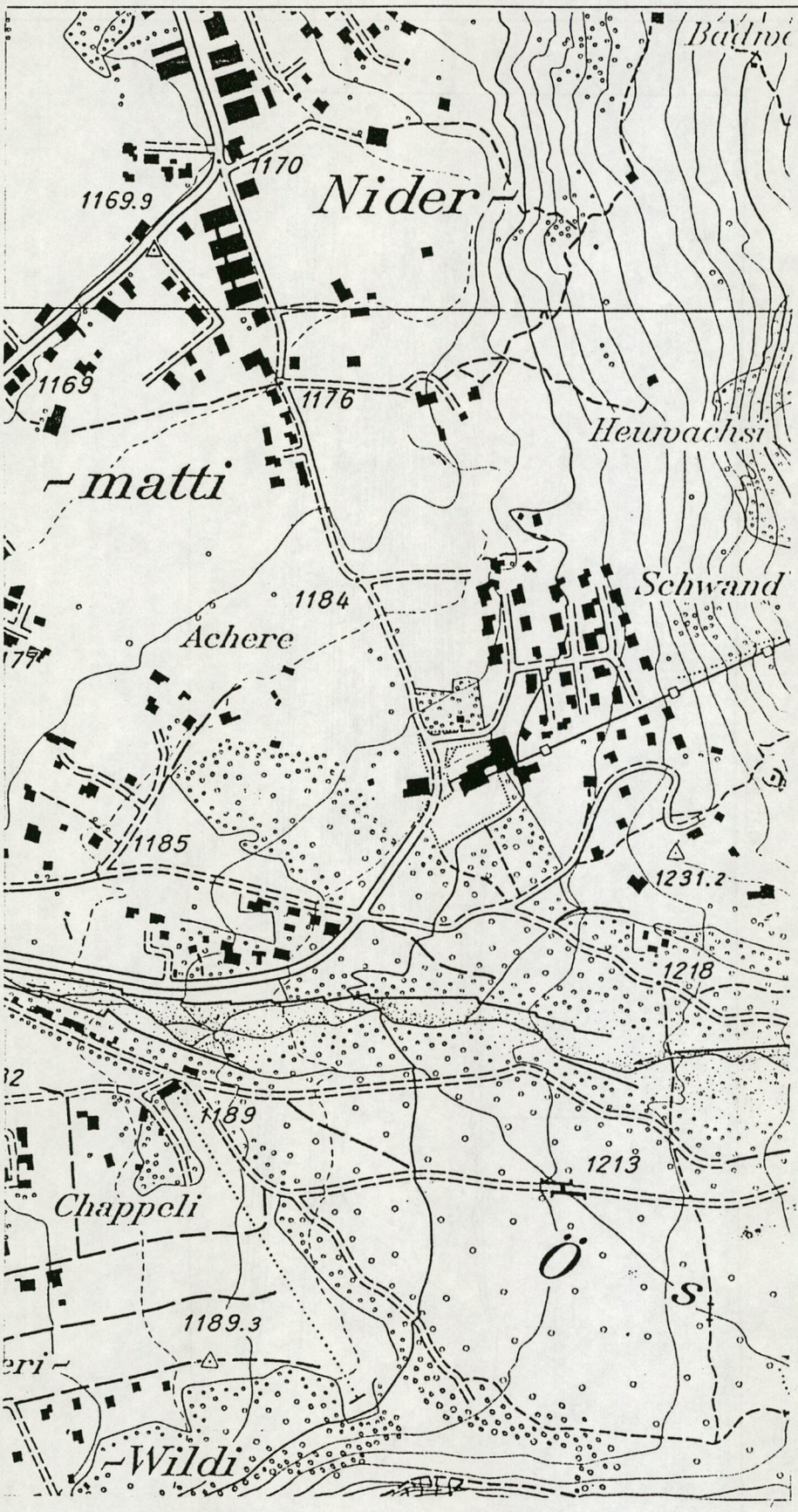


Abb. 6.3 Lageplan der seismischen Linien im unteren Öschinental

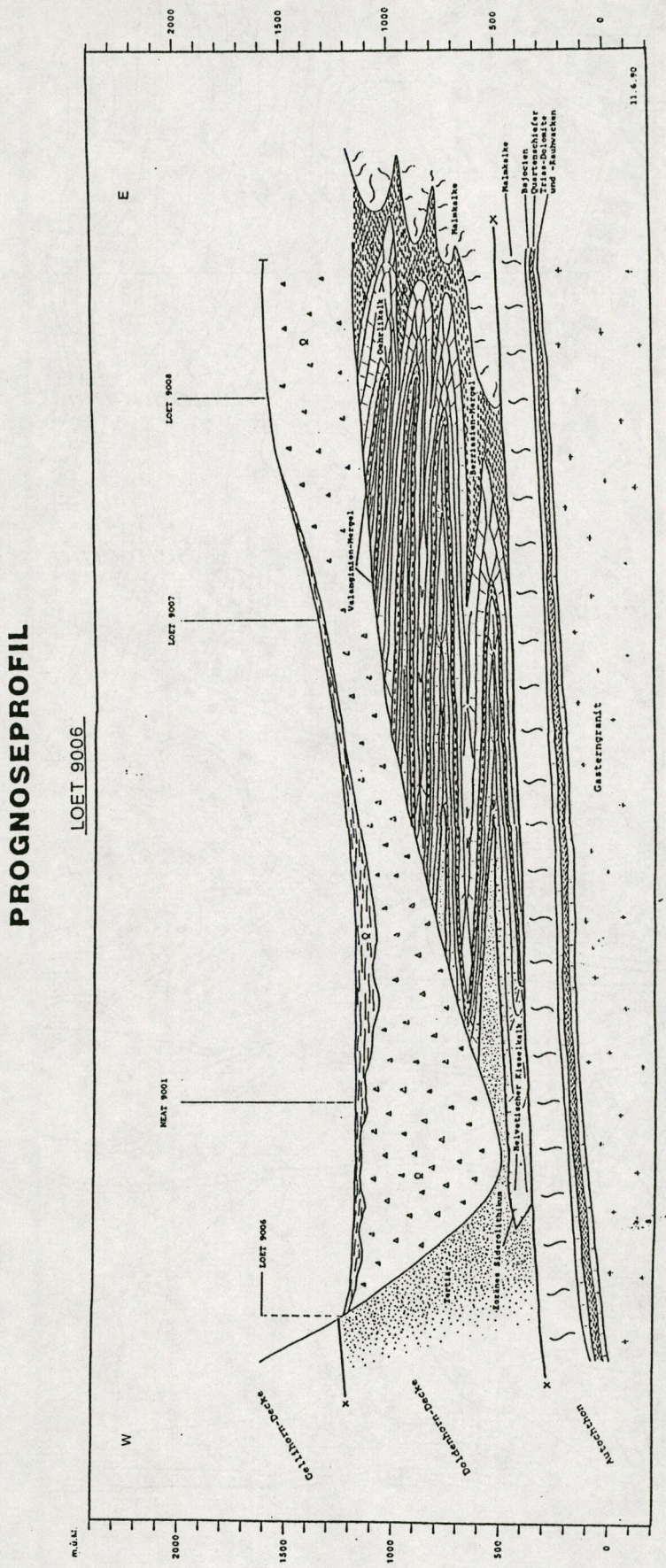


Abb. 6.4 Prognoseprofil LOET9006

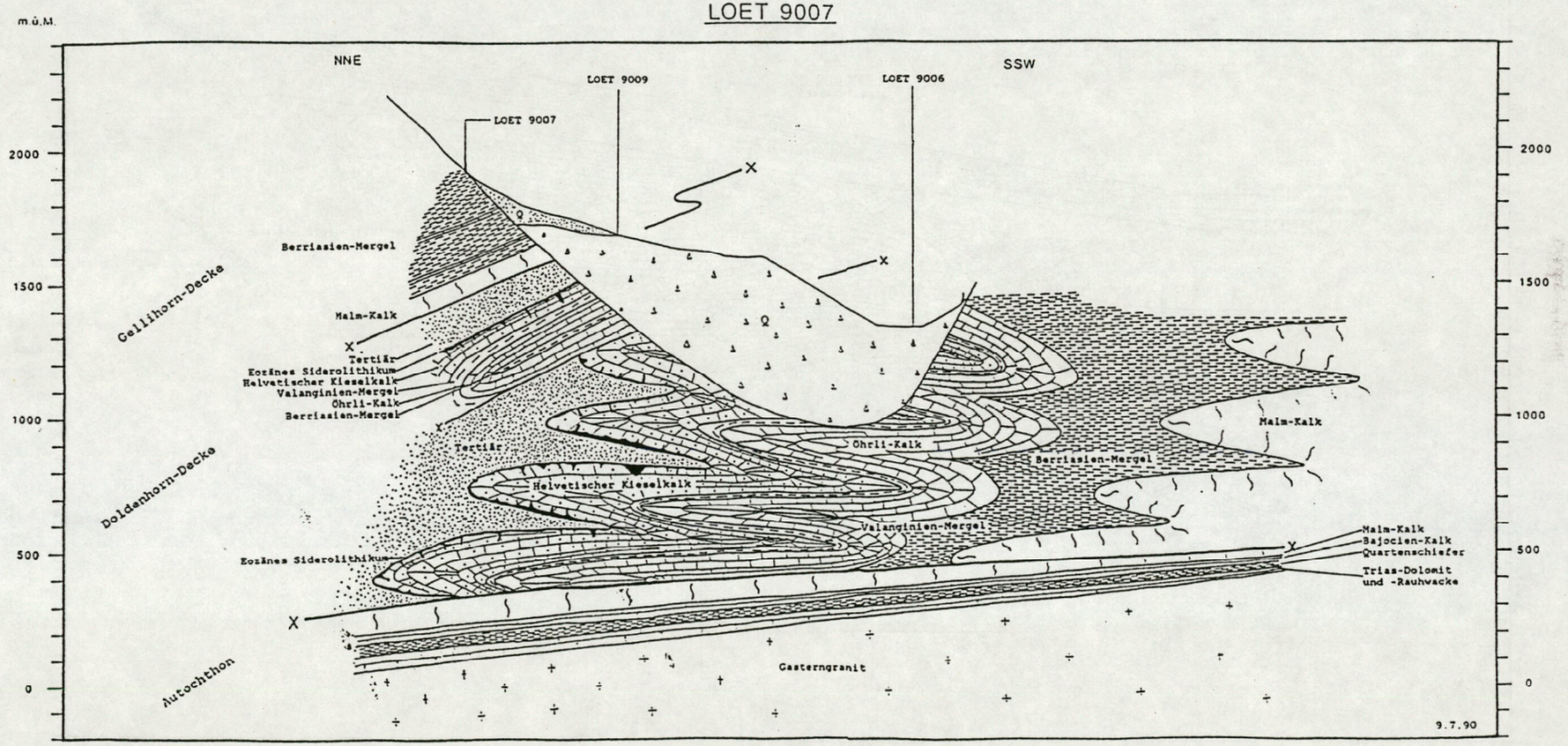


Abb. 6.5 Prognoseprofil LOET9007

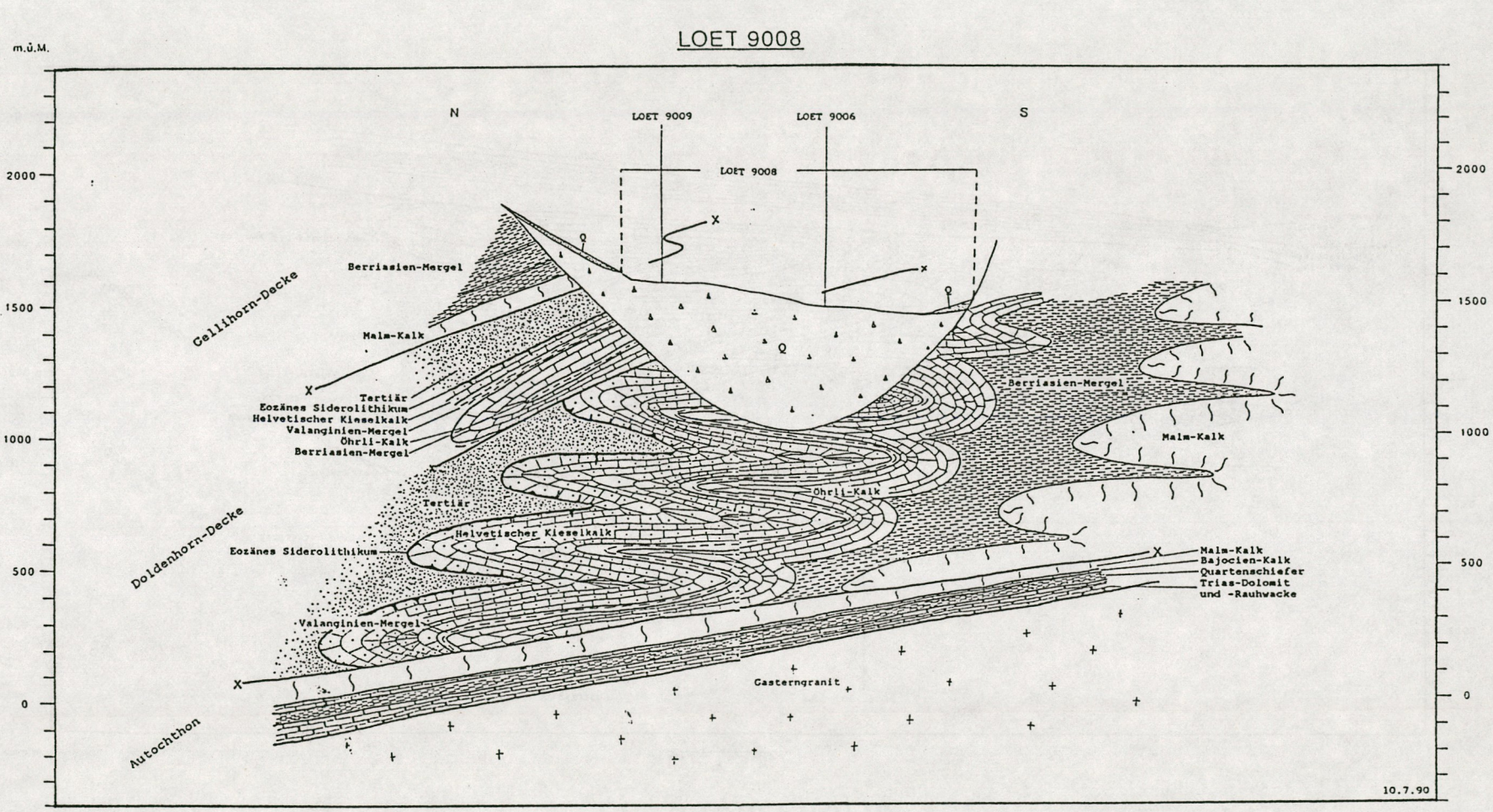


Abb. 6.6 Prognoseprofil LOET9008

LOET9006

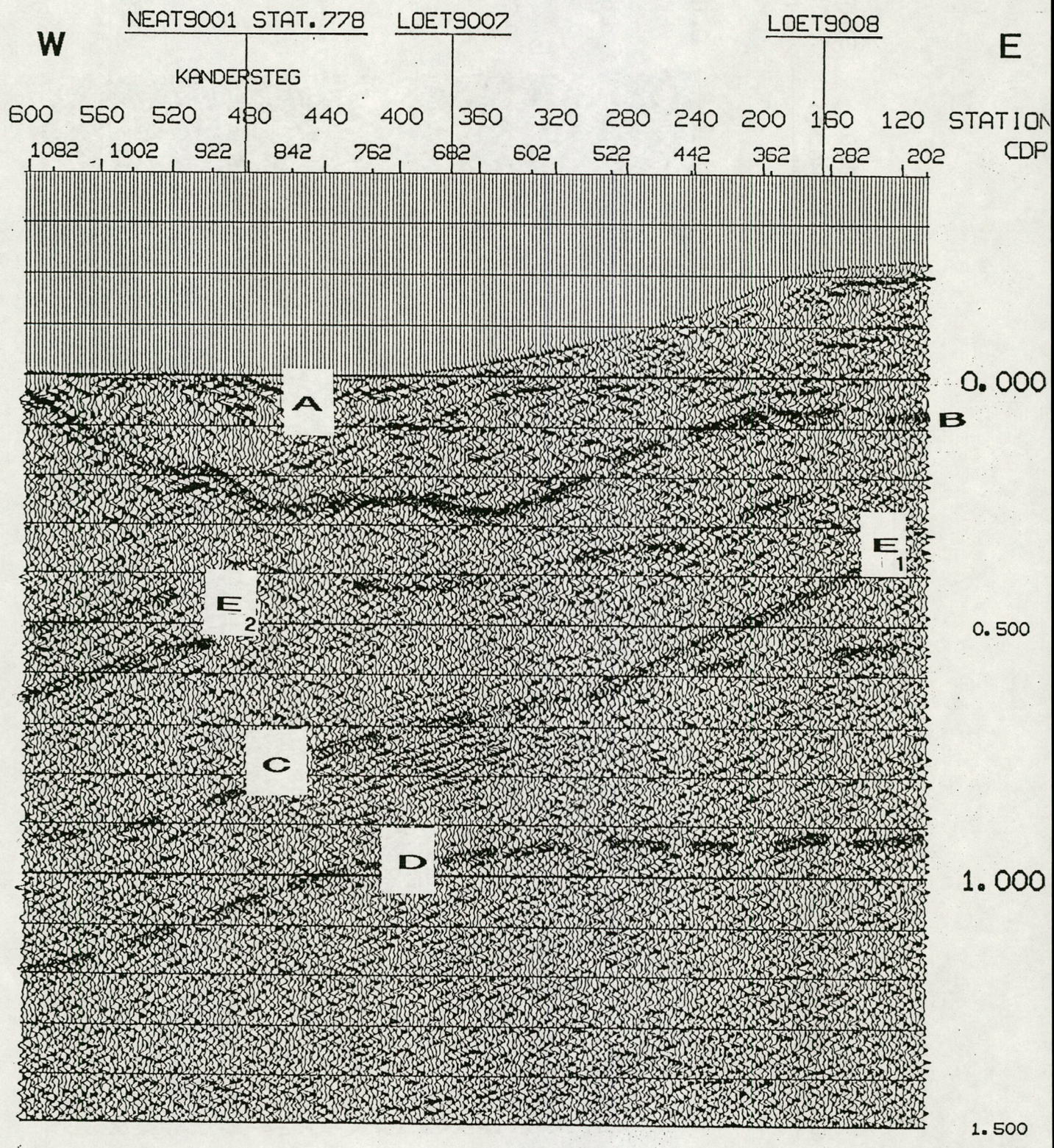


Abb. 6.7 Seismisches Profil LOET9006

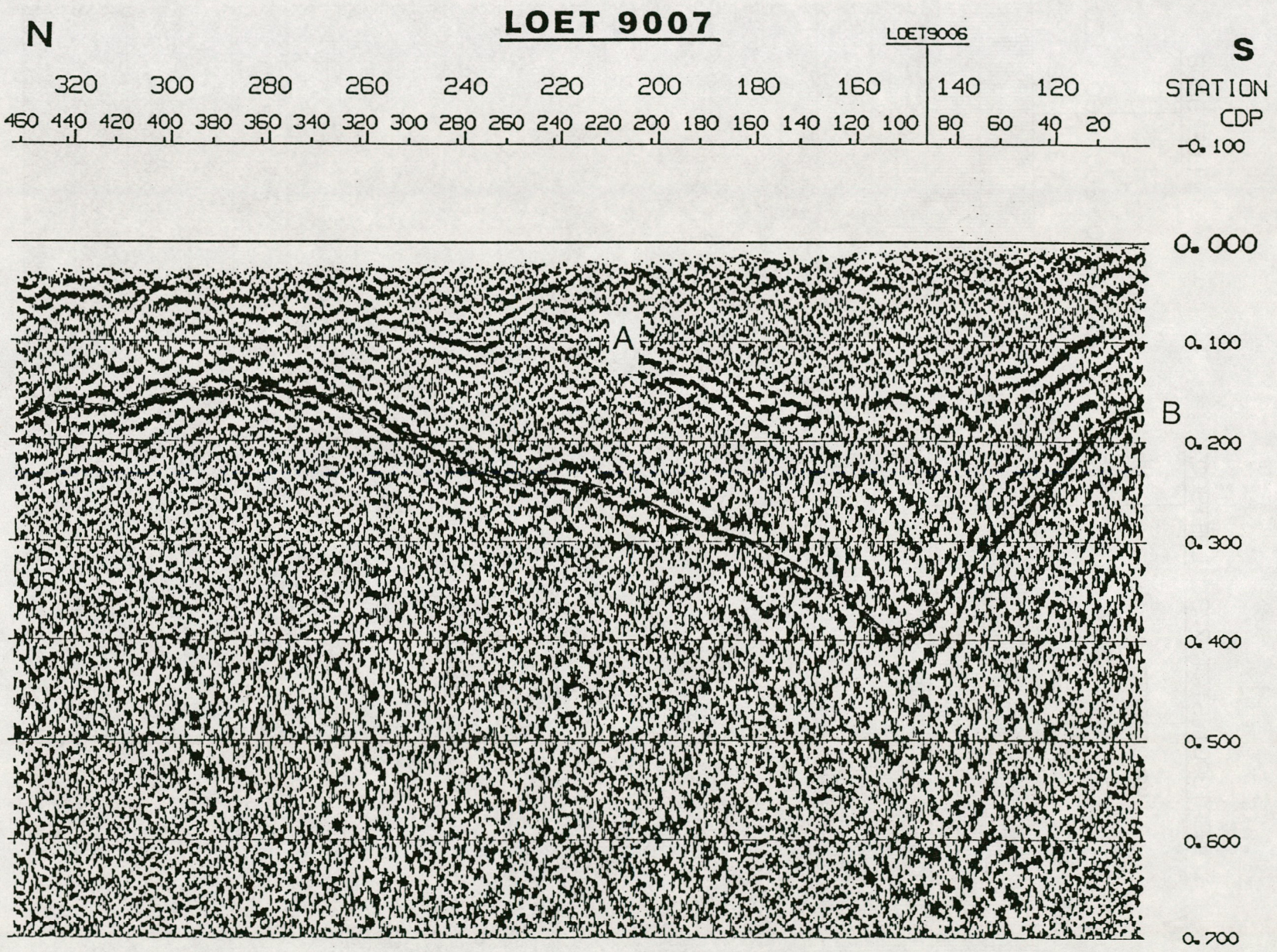


Abb. 6.8 Seismisches Profil LOET9007

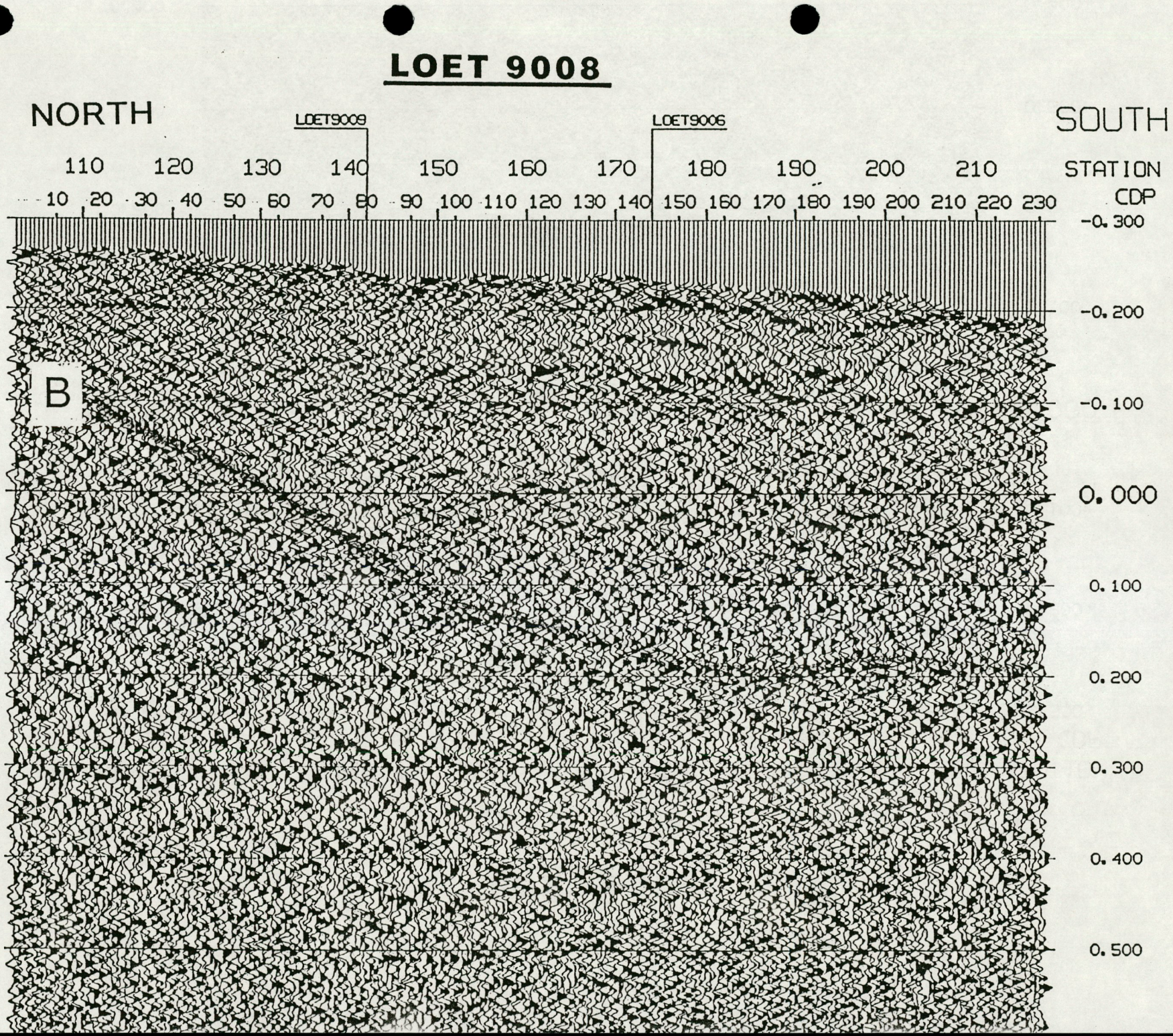


Abb. 6.9 Seismisches Profil LOET9008

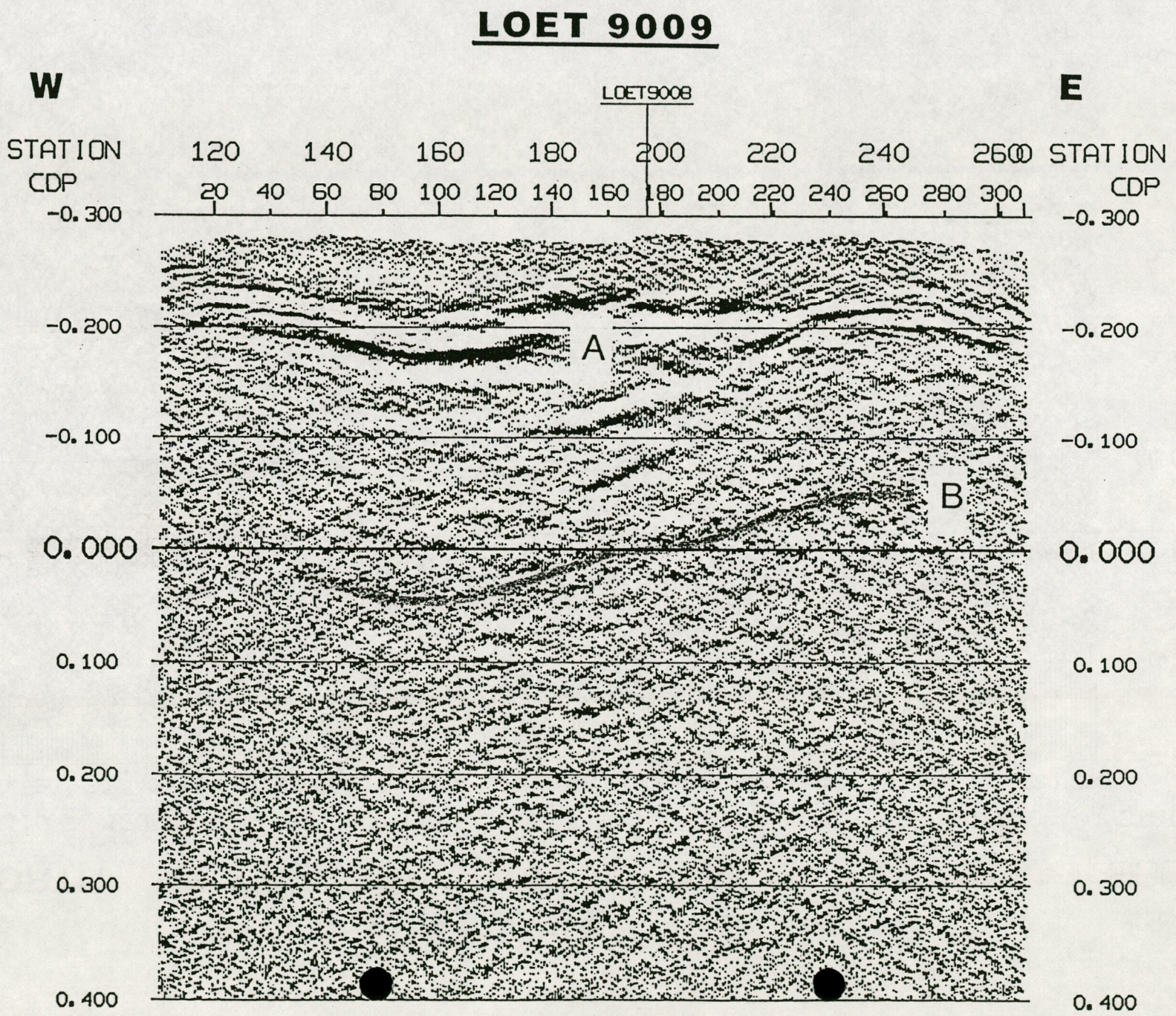


Abb. 6.10 Seismisches Profil LOET9009

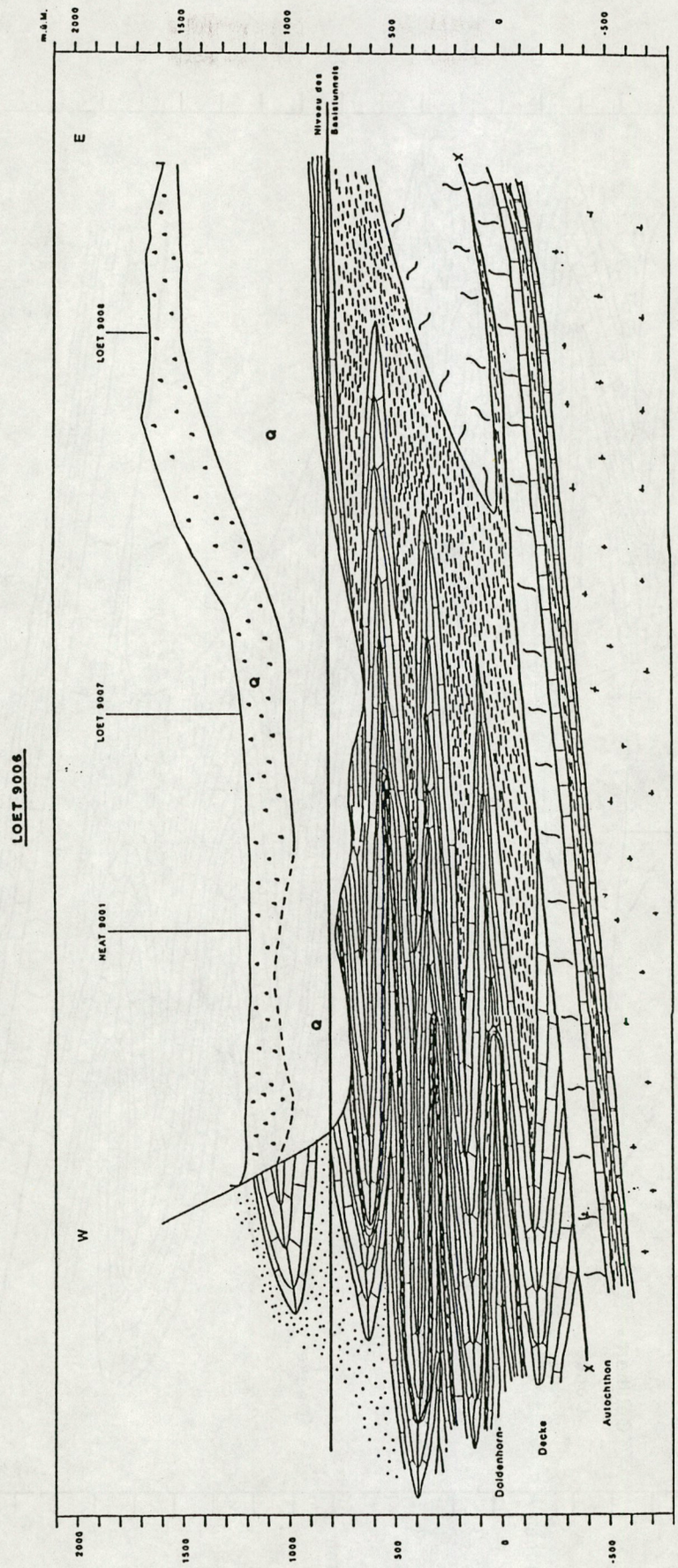


Abb. 6.11 Geologische Interpretation LOET9006

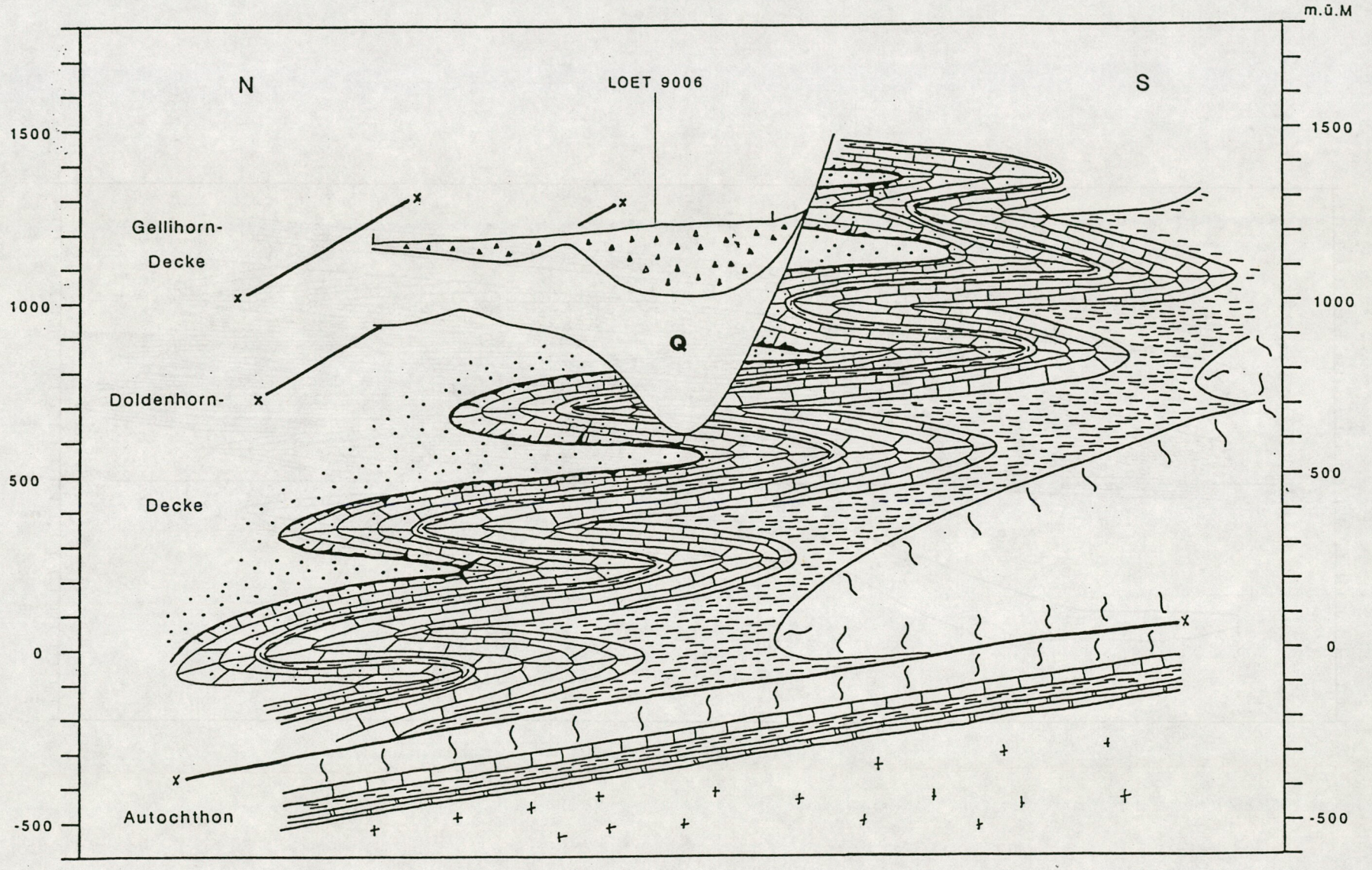


Abb. 6.12 Geologische Interpretation LOET9007

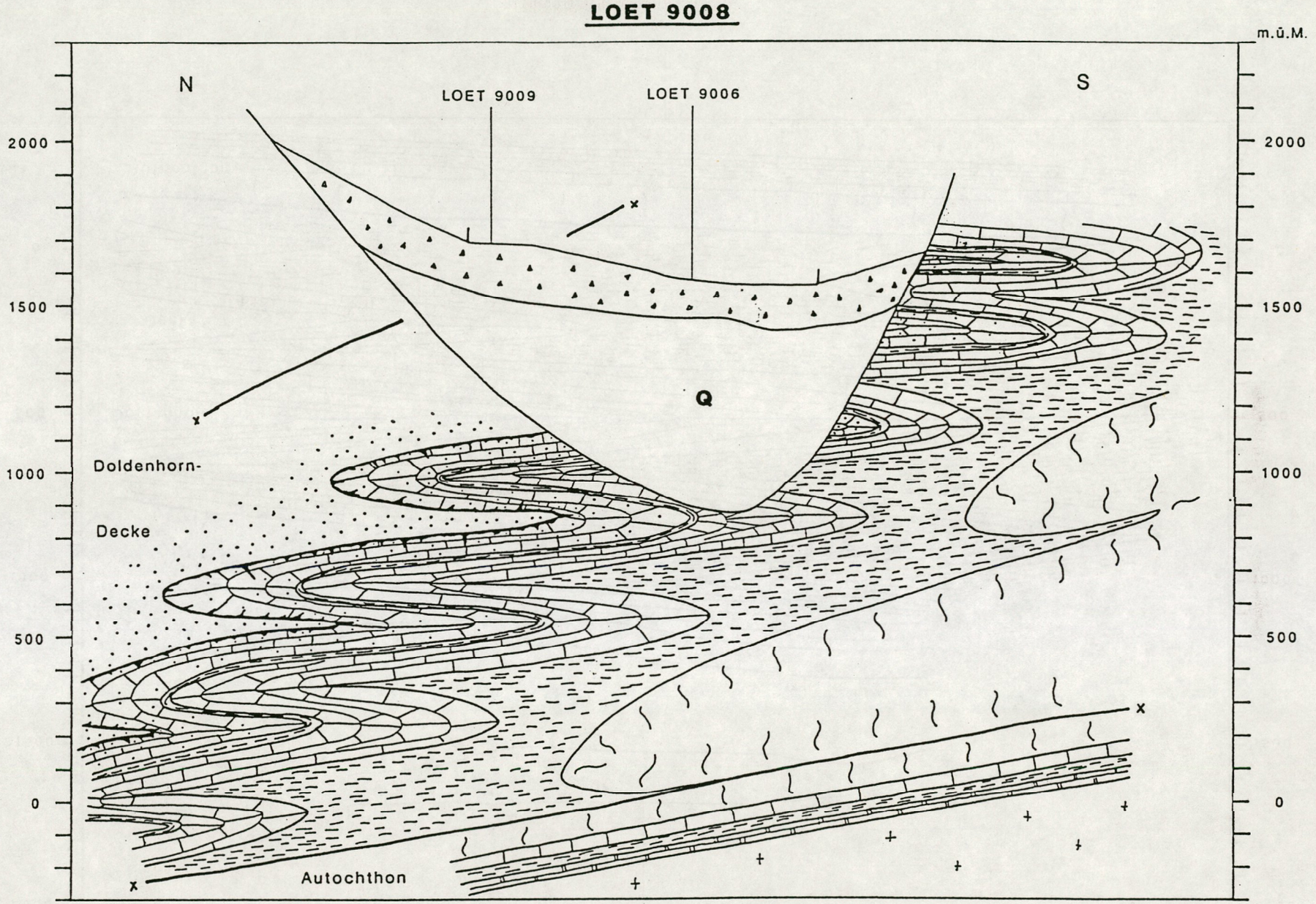


Abb. 6.13 Geologische Interpretation LOET9008

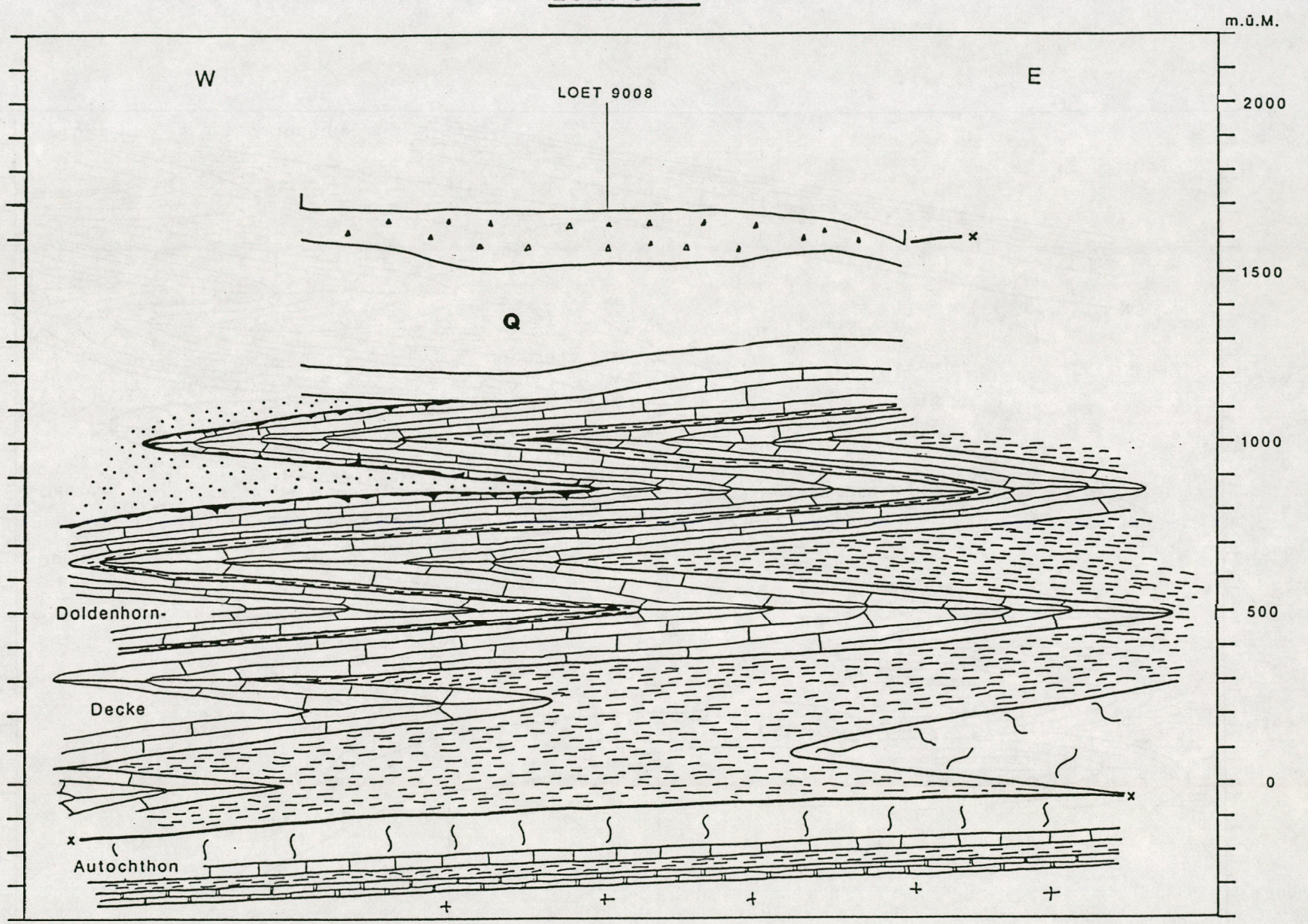


Abb. 6.14 Geologische Interpreatation LOET9009

7

7 DIE MESSUNGEN IM KANDERTAL (LINIEN NEAT9001, LOET9003, LOET9005, LOET9020)

7.1 ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Der Bau des Gebirges beidseits des Kandertals zwischen Kandersteg und Frutigen ist äusserst komplex, zudem sind auf der Ostseite die Aufschlussverhältnisse recht prekär. Bei Kandergrund besteht eine domartige Aufwölbung von tertiärem Flysch (Taveyannaz-Sandstein mit Schieferlagen), der die unteren Talhänge aufbaut. Dieser Flysch kann bautechnisch ungünstig sein (jedenfalls verschieden von den darüberliegenden Kalken der helvetischen Decken). Der Flysch lässt aber auch keinen Einblick in den strukturellen Bau des Gebirges gewinnen.

Ein Hauptanliegen der seismischen Untersuchungen bestand somit darin, allgemeine Kenntnisse über den tektonischen Bau zu gewinnen. Speziell sollte die Grenzfläche zwischen dem tertiären Flysch und den Kreide-kalken der Wildhorn-Decke, die Tiefenlage der mesozoischen Unterlage dieses Flysches, und die Lage der Schuppenzone im Liegenden der Niesen-Decke erkundet werden.

Zusätzlich sollte die Mächtigkeit der Lockergesteinsfüllung erkundet werden. Namentlich im Bereiche der Querung der Engstlige ist mit einer canyon-artigen Vertiefung zu rechnen.

Die Prognoseprofile (**Abb. 7.5** und **7.6**, Seiten 7.13 und 7.14) zeigen den heutigen Stand des Wissens, wobei die grosse Unsicherheit bezüg-lich der tektonischen Stellung des tertiären Flysches besonders auffallend ist.

7.2 DIE FELDARBEITEN

7.2.1 Der zeitliche Ablauf

DATUM	ARBEITEN
Apr. - Jun 1990	Permitting, kantonale Bewilligung, Information der Gemeinden
Mai - Jun 1990	Detailpermitting (Presse, Grundeigentümer)
8. Jun 1990	Beginn topographische Einmessung durch Prakla-Seismos AG
2.-6.7.1990	Feldaufnahme Linie NEAT9001 Vibroseis durch Prakla-Seismos AG
9.-10.7.1990	Feldaufnahme Linie LOET9003 durch Prakla-Seismos AG
5.-11.7. 1990	Feldaufnahme Linie LOET9005 durch GeoExpert ag
Sept./Okt. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Grundeigentümer) Linie LOET9020
Ende Okt.. 1990	Detailpermitting (Bewilligungen Grundeigentümer) Linie LOET9020
24.-26. Okt 1990	Bohrarbeiten LOET9020 durch Bereuter Sprengtechnik AG
7. Nov. 1990	Feldaufnahme LOET9020 durch GeoExpert ag

7.2.2 Das Messprogramm

Die Linie NEAT9001 (s. **Abb. 7.1** *"Regionaler Übersichtsplan"* auf Seite 7.9) beginnt zuhinterst im Gasterntal. Wegen fehlender Zufahrtsmöglichkeiten für Lastwagen führt die Linie als Sprengseismikprofil bis Ausgang des Gasterntals. Die Arbeiten und die Resultate dieses Abschnitts sind in Kapitel 4 *"Die Messungen im Gasterntal"* beschrieben. In diesem Kapitel wird der Vibroseisabschnitt von Eggeschwand (oberhalb Kandersteg) bis Reichenbach behandelt. Bei der Festlegung der Linienwahl wurde darauf geachtet, dass eine möglichst grosse Entfernung zur Lötschbergbahn und zur Kantonsstrasse Spiez - Kandersteg eingehalten werden konnte.

Wegen der tagsüber störenden Bodenunruhe fanden alle Vibroseismessungen nachts zwischen 2000 Uhr und 0500 Uhr statt.

Das Profil LOET9003 (**Abb. 7.2,** Seite 7.10) durchquert das Kandertal bei Frutigen und führt auf der östlichen Talflanke bis auf 1550 m ü.M. Im Talboden durch das Dorf Frutigen und im Anstieg zur westlichen Talflanke konnte Vibroseis als seismische Quelle eingesetzt werden. Auf der abschüssigen östlichen Flanke kam aus topographischen Gründen nur Sprengseismik in Frage.

Das Profil LOET9005 (**Abb. 7.3,** Seite 7.11) quer über das Kandertal bei Kandergrund musste aus logistischen Gründen in zwei seitlich versetzte Linien aufgeteilt werden. Linie LOET9005-A durchquert den Talgrund auf 850 m ü.M. Das Profil LOET9005-B führt die östliche Talflanke hinauf bis 1450 m ü.M. Beide Linien sind Sprengseismikprofile.

Die Linie LOET90020 (**Abb. 7.4,** Seite 7.12) wurde nachträglich ins Programm aufgenommen. Sie verläuft parallel zur Achse des Kandertals bei Tellenburg oberhalb Frutigen und ist ein Sprengseismikprofil.

Die verwendeten reflexionsseismischen Aufnahmeparameter sind unten tabellarisch festgehalten:

PROFIL NR.	MESS-DATUM 1990	LÄNGE in (m)	ANZAHL ANREGUNGSPUNKTE VIBRO-SEIS	SPRENG-SEISMIK	ABSTÄNDE ANREGUNG (m)	EMPFÄNGER (m)	FIRMA
NEAT9001	2.-6.7.	29'900	1'676		10	20	Prakla
LOET9003	9.-10.7.	4680	154	122	10	10	Prakla
LOET9005	5.-11.7.	2220	34	143	10	10	GeoExpert
LOET9020	7.11.	830		76	10	5	GeoExpert

7.2.3 Die Bohrarbeiten

Die Bohrarbeiten auf den Linien LOET9005 und LOET90020 wurden durch die Firma Bereuter Sprengtechnik AG durchgeführt. Das Bohren der Schusslöcher auf der Linie LOET9003 erfolgte durch die Firma Prakla-Seismos AG. Im Anhang A2 ist eine Liste über die Zusammensetzung der Bohrmannschaften der Prakla-Seismos AG enthalten.

Zusammensetzung der Bohrequipe der Bereuter Sprengtechnik ag, 8604 Volketswil

- 2 Mann
- 1 raupengetriebene Bohrlafette vom Type "Klemm" ((auf Linie LOET9005)
- 1 Bohrlafette auf Kufen mit pneumatischer Seilwinde (auf Linie LOET90020)
- 1 raupengetriebenes Zug/Transportfahrzeug vom Typ "Yamaguchi"
- 1 Kompressor 12 m^3 (LOET9003) / 7 m^3 (LOET9020)
- 1 PW Kombi

Es wurden 1.8 - 2.0 m tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 40 mm gebohrt. Für Refraktionsschüsse mit grösseren Ladungen wurde jedes 6. Loch 4 m tief gebohrt. Die Verrohrung erfolgte mit PVC-Rohren 250 x 32 x 2 mm.

Übersicht über die durchgeführten Bohrarbeiten:

LINIE	ANZAHL LÖCHER	BOHR-METER
LOET9003	122	256.2
LOET9005	143	300.3
LOET9020	76	159.6
TOTAL	341	446.1

7.2.4 Die Registrierarbeiten

In der Anlage A2 ist der Bericht der Prakla-Seismos AG über ihre im Kandertal durchgeführten Arbeiten mit einer Übersicht über das eingesetzte Personal und die Messausrüstung enthalten.

Kapitel 1.3 auf Seite 1.9 gibt Auskunft über die personelle und apparative Zusammensetzung des seismischen Messrupps der GeoExpert ag.

Alle Messungen fanden bei guter Witterung statt.

Erhöhte Bodenunruhe in den Dörfern Kandersteg und Frutigen führte auf den entsprechenden Steckenabschnitten der Linien NEAT9001 und LOET9003 zu einer Beeinträchtigung der Datenqualität. Stellenweise sind 16 2/3 Hz Interferenzen von der Lötschbergbahn zu verzeichnen.

7.3 DIE EDV-AUSWERTUNG

Der generelle Ablauf der EDV ist in Kapitel 1.6, Seite 1.18 dargestellt.

Die Bestimmung der Geschwindigkeiten und der Mächtigkeiten der Talfüllungen zur Ermittlung der statischen Korrekturen musste bei den Daten der Profile NEAT9001 und LOET9003 in mehreren Iterationen durchgeführt werden. Die komplexen Strukturen und von der Seite einfallende Reflexions- und Refraktionseinsätze erschwerten die Ableitung eines oberflächengeologischen Modells.

Die Geschwindigkeiten im Quartär des Kandertals bei Frutigen weist mit 2400 m/s für Lockergestein unüblich hohe Werte auf. Es besteht auch eine Diskrepanz der aus den Refraktions- und Reflexionseinsätzen abgeleiteten Quartärgeschwindigkeiten auf dem Profil LOET9003 (**Abb. 7.7**, Seite 7.15). Erst die an den gestapelten Daten überprüfbare Plausibilität der feldstatischen Korrekturwerte erhärtete die Richtigkeit der höheren, aus den Reflexionseinsätzen abgeleiteten Geschwindigkeiten. Der ganze EDV-Ablauf beginnend nach der Anwendung der revidierten feldstatischen Korrekturen musste wiederholt werden.

Für die Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung und der Umwandlung der Laufzeiten in Tiefenangaben gelten die in Kapitel 1.7.2 auf Seite 1.22 gemachten Bemerkungen.

7.4 DIE GEOLOGISCHE INTERPRETATION

Um die komplizierte Tiefenstruktur des Kandertals zu erkunden, wurde von Reichenbach im Norden bis zum Eingang des Gasterntals im Süden ein Vibroseisprofil entlang der Talachse aufgenommen. Damit sollte versucht werden, den Verlauf des aarmassivischen Kristallins mit seinem autochthonen Mesozoikum unter dem Kandertal zu verfolgen, sowie die nördliche Erstreckung der Doldenhorn- und Gellihorn-Decke abzuklären. Weiteres Augenmerk galt dem Gebirgsbau im Raume Kandergrund-Frutigen-Reichenbach, wo bisher keine Angaben über die geologischen Verhältnisse im Liegenden des an der Oberfläche anstehenden Taveyannaz-Sandsteins gemacht werden konnten.

Mit den Querlinien LOET9003, 9005-A und 9005-B sollten einerseits die Quartärfüllungen des Kandertals und des Engstligentals, andererseits die Basis der Wildhorn-Decke an der Ostflanke des Kandertals erkundet werden. Vom Vibroseisprofil LOET9003 wurden auch Informationen aus dem tieferen Felsuntergrund erwartet. Ein weiteres kurzes Profil, LOET9020, verläuft parallel zur Linie NEAT9001 und sollte deren Daten über die Tiefenlage der Felsoberkante ergänzen. (**Abb. 7.7**, **7.8** und **7.9** auf Seiten 7.15-7.17).

Im Vibroseis-Profil NEAT9001 (**Abb. 7.15** in der Sichtmappe am Schluss dieses Kapitels) tritt die kontinuierliche, z.T. doppelte Reflexion B deutlich hervor. Sie kann, in Übereinstimmung mit den geologischen Prognosen und den seismischen Querprofilen, als Felsoberkante gedeutet werden. Einzig im Raume Kandersteg ist die Reflexion B etwas schwächer ausgebildet. Dort besteht jedoch eine gute Kontrolle der Felsoberfläche durch die Linien bei Eggeschwand und im Öschinental. Die Gegend von Kandersteg zeigt die grösste glaziale Übertiefung im Kandertal, mit Quartärmächtigkeiten von mehr als 500 m. Dagegen zeigt vor allem der Abschnitt zwischen Frutigen und Reichenbach nur noch eine geringe Übertiefung, mit Quartärmächtigkeiten von weniger als 100 m.

Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die seismischen Aufnahmen nicht immer der Talachse folgten. Im Abschnitt Mitholz-Frutigen verlief die Linie häufig entlang der westlichen Talflanke, wodurch im seismischen Profil nicht die maximale Quartärmächtigkeit abgebildet wurde. Ein Wechsel der Linienführung von der Talachse zum Talhang und umgekehrt führt im seismischen Profil unweigerlich zu geneigten Reflexionen (da z.B. Reflektoren von der gegenüberliegenden Talflanke registriert werden). Derartige unregelmässig verlaufende Reflexionen täuschen Mächtigkeitsschwankungen der Quartärfüllung und das Vorhandensein von Felsriegeln vor. Im geologischen Profil sind derartige Artefakte eliminiert worden, indem jeweilen die Sohle des Quartärtroges dargestellt wurde.

Die quartär-internen Reflexionen A bei Kandersteg können durch Korrelation mit den Linien LOET9006 und 9007 den Bergsturzmassen des Öschinentals zugeordnet werden, die dort die obersten Bereiche der Quartärfüllung bilden. Auch in den andern seismischen Profilen zeigen sich quartär-intern diverse subhorizontale Reflexionen (A), die aber nicht weiter gedeutet werden können als dass sie horizontal geschichtete Sedimente vermuten lassen.

Über die Quartärfüllung des Enstligentals konnte auch LOET9003 keine eindeutigen Hinweise geben; die im geologischen Profil gestrichelt dargestellte Felsoberkante zeichnet den Verlauf einer schwachen Reflexion nach, die jedoch nicht sehr deutlich in Erscheinung tritt.

Über die Strukturen im Felsuntergrund lieferten hauptsächlich die Linien NEAT9001 und LOET9003 Angaben.

Im Profil NEAT 9001 kann die Reflexion C, die von 0.5 s TWT (*Two Way Time* = Reflexionlaufzeit) am Südende der Linie auf 1.6 s TWT bei Kandergrund abfällt, und von dort mit schwachem Gefälle bis Reichenbach zu verfolgen ist, der Oberkante des aarmassivischen autochthonen Mesozoikums zugeordnet werden. Die in etwas grösserer Tiefe parallel zu C verlaufenden Reflexion D kann als Oberkante des Kristallins gedeutet werden. Der Sprung vom überschobenen Aarmassiv auf das mehrere km tiefer liegende eigentliche Autochthon des Vorlandes muss sich also erst weiter nördlich vollziehen.

Die Reflexionen C und D lassen sich mit den entsprechenden Reflexionen in NEAT 9001-Gasterntal, LOET 9003 und 9006 korrelieren, was ihre Interpretation als zuverlässig einstufen lässt. Allerdings führen unterschiedliche Geschwindigkeitsmodelle dazu, dass die Tiefenumrechnung der Reflexionen nicht in allen Linien die gleichen Werte ergibt. Dies kann beim Schnittpunkt zweier Linie zu Diskrepanzen in der Tiefenlage der Reflektoren führen.

Die Informationen über die geologischen Verhältnisse im Hangenden des autochthonen Mesozoikums sind sowohl in NEAT9001 als auch in LOET9003 spärlicher. Wohl können Bündel diskontinuierlicher Reflexionen oder Bereiche mit unterschiedlichem seismischem Charakter ausgemacht werden, was aber nicht für eine vollständige geologische Interpretation ausreicht. In den seismischen Profilen sind einige prominente Reflexionen herausgehoben, um das generelle Muster des Einfalles zu charakterisieren.

Mit der Querlinie LOET9003 konnten vor allem über die Gegend von Frutigen Informationen gewonnen werden.

Die Aufzeichnungen in LOET9003 besitzen westlich und östlich der Station 300 einen unterschiedlichen Charakter. Während im Westteil der Linie zwischen 0 und 1.1 s TWT eine Vielzahl horizontaler Reflexionen (G) zu beobachten ist, ist dasselbe Intervall östlich der Station 300 bis auf die deutliche Reflexion F nahe der Oberfläche strukturlos.

Die Reflexionen G westlich der Station 300 überraschen durch ihre einheitliche horizontale Lage. In den geologischen Prognosen wurden im Raume Frutigen nach Westen tauchende Deckenkontakte und Schichten erwartet. Es muss nun aber angenommen werden, dass sowohl die Niesen-Decke als auch die darunterliegenden Einheiten, namentlich Gipszone, Schattwaldschichten und Ultrahelvetikum, flach liegen und sich unter der Flanke des Niesen in geringer Tiefe befinden. Diese Aussage ist allenfalls für die Projektierung eines Niesen-Tunnels von Bedeutung.

Durch diesen Befund wird der Raum zwischen dem autochthonen Mesozoikum und den penninischen und ultra-helvetischen Decken noch grösser. Die Oberkante des autochthonen Mesozoikums, das in LOET9003 in Übereinstimmung mit NEAT9001 in der Reflexion C abgebildet wird, liegt umgerechnet in einer Tiefe von 1800 bis 2300 m unter Meer (die grosse Unsicherheit ergibt sich aus den unterschiedlichen Geschwindigkeitsmodellen in LOET9003 und NEAT9001). Dies bedeutet, dass bis zu den obengenannten Decken ein Intervall von 2 bis 2.5 km besteht, über das nur wenige Angaben vorliegen. Das seismische Profil zeigt in diesem Bereich die horizontalen, diskontinuierlichen Reflexionen G, die ca. 0.3 s über dem autochthonen Mesozoikum scheinbar ohne scharfe Grenze einsetzen und sich bis nahe an die Oberfläche erstrecken. Es ist möglich, dass die Reflexionen im unteren Teil den Übergang von den feinkörnigen Globigerinenschiefern in den Nordhelvetischen Flysch (NHF) abbilden, und dass die gesamte, gut 2 km mächtige Abfolge eine horizontal liegende, normalstratigraphische Abfolge von Tertiär bildet. Der im Kandertal anstehende Taveyannaz-Sandstein wäre dann das oberste Schichtglied dieser (aarmassivischen) autochthonen Schichtreihe. Die Reflexionen werden dabei auf die Wechsellagerung von Sandstein und Mergel innerhalb des turbiditischen NHF zurückgeführt.

Denkbar ist auch, dass die Serie gegen oben bereits in Molasseablagerungen übergeht, sei dies in die flyschähnliche Untere Meeresmolasse (UMM) oder gar bis in die Untere Süsswassermolasse (USM). Eine allfällige USM liesse in dieser subalpinen Position grobklastische Schüttungen mit grossen lateralen Fazieswechseln erwarten. Die Wechsellagerung von Konglomerat, Sandstein und Mergel würde die nötigen Impedanzkontraste und das Erscheinungsbild des seismischen Profils hinreichend erklären. Ein ähnlich reflektives Bild der USM zeigen auch die seismischen Profile, die im Rahmen des NFP20 in der Ostschweiz aufgenommen wurden. Falls die autochthone tertiäre Abfolge tatsächlich bis in die Molasse reichen sollte, müsste der bei Frutigen anstehende Taveyannaz-Sandstein allerdings mit einem tektonischen Kontakt auf dieser Serie liegen. Denkbar wäre, dass es sich dabei um die nördliche Fortsetzung des Tertiärs der Gellihorn-Decke handelt.

Der unterschiedliche seismische Charakter von LOET9003 westlich und östlich der Station 300 kann verschiedene Ursachen haben. Einerseits ist es möglich, dass die unterschiedliche seismische Ausbildung einen tatsächlichen lithologischen Unterschied im Untergrund widerspiegelt, z.B. einen Fazieswechsel von heterolithischen Gesteinen im Westen zu vorwiegend feinkörnigen Gesteinen im Osten; derartige Fazieswechsel sind sowohl in marinen als auch in fluviatilen Sedimenten häufig zu beobachten. Andererseits könnte dieser Unterschied auch auf den verschiedenen Energiequellen beruhen: der Ostteil des Profils wurde mittels Sprengseismik, der Westteil mittels Vibroseis aufgenommen.

Die Reflexionen, die den Top des autochthonen Mesozoikums (C) und des aarmassivischen kristallinen Grundgebirges (D) markieren, sind ähnlich zu NEAT9001 nur schwach ausgebildet. Um der Unsicherheit in der Interpretation Rechnung zu tragen, sind sie im geologischen Profil nur gestrichelt gezeichnet.

Sollte bei Frutigen das ganze Intervall vom Top des autochthonen Mesozoikums bis zur Oberfläche aus einer mächtigen Tertiär-Serie bestehen, wäre zu erwarten, dass sich letztere über eine grössere Distanz gegen Süden erstreckt und möglicherweise im Raume Kandersteg die Gellihorn-Decke und den frontalen Teil der Doldenhorn-Decke unterlagert. Die Gellihorn-Decke besitzt ihren Ausbiss mit der Topographie bei der Station 970 des seismischen Profils NEAT9001. In dieser Gegend können jedoch keine deutlichen Reflexionen ausgemacht werden. Möglicherweise ist das reflektive Band zwischen 0.5 und 0.7 s TWT zwischen den Stationen 1150 und 1280 mit der Basis der Gellihorn-Decke zu korrelieren. Diese würde sich demnach im Untergrund bis etwas südlich von Frutigen erstrecken.

Auch von der Doldenhorn-Decke konnten mit der Seismik nur wenige Daten gewonnen werden. Als einziges können nordfallende Reflexionen zwischen dem Südende des Profils NEAT9001 und der Station 735, und eher südfallende Reflexionen nördlich der Station 735 ausgemacht werden. Dies könnte mit einer Versteilung der doldenhorn-internen Faltenschenkel (bzw. Achsenebenen) und Überschiebungsbahnen im Stirnbereich der Deckfalte erklärt werden. Auch im Üschinental kann beobachtet werden, dass die nordfallenden Achsenebenen der Kreide-Falten gegen Norden in eine horizontale oder gar südfallende Lage übergehen.

Da die Informationen über die helvetischen Decken meist nur auf der Interpretation des seismischen Charakters und auf Tendenzen im Verlauf diskontinuierlicher Reflexionen beruhen, sind einige der entsprechenden Strukturen im geologischen Profil nur als gestrichelte Linien dargestellt.

Neben den beiden Vibroseis-Profilen NEAT9001 und LOET9003 lieferten auch die kurzen Linien LOET9005B und 9020, jedoch in geringerem Masse, Informationen über den Felsuntergrund. In LOET9020 (**Abb. 7.10**, Seite 7.18) zeigt sich ein Bündel starker Reflexionen (G) zwischen den Stationen 200 und 250 in einer Tiefe von 0.7 s TWT. Das 0.1 s breite Band leicht nach Norden geneigter Reflexionen zeigt jedoch weder gegen Norden noch gegen Süden eine Fortsetzung und kann auch nicht mit den benachbarten Linien NEAT9001, LOET9003 und 9005 korreliert werden. Das Reflexionsbündel liegt innerhalb des breiten Bandes von Reflexionen in den Profilen NEAT9001 und LOET9003, die aus den tertiären Sedimenten der Taveyannaz-Gruppe stammen. Dieses Band zeigt wohl etwas deutlichere Reflexionen im Bereich des Bündels G in LOET9020, aber in etwas geringerer Tiefe. Eine Deutung des Reflexionsbündels G in LOET9020 ist vorderhand aber nicht möglich.

Das seismische Profil LOET9005-B zeichnet ein sehr ähnliches Bild der Ostflanke des Kandertals wie LOET9003. In beiden Profilen dürfte die Reflexion F, in Übereinstimmung mit den geologischen Prognosen, die Basis der Wildhorn-Decke darstellen. Diese verläuft fast hangparallel und besitzt keinen grossen Tiefgang. Die deutliche Ausbildung der Reflexion F ist auf den starken Impedanzkontrast zwischen den Kreide-Kalken der Wildhorn-Decke und der darunterliegenden Sandstein-Mergel-Abfolge der Taveyannaz-Serie zurückzuführen.

Zusammenfassung

- Im seismischen Profil NEAT9001 wird der Verlauf der Felsoberkante durch eine deutliche Reflexion abgebildet. Diese zeigt, dass die glaziale Übertiefung des Kandertals im Raume Kandersteg am grössten ist und gegen Reichenbach zu kontinuierlich abnimmt. Diese Befunde werden durch die LOET-Querprofile bestätigt. Im Engstligental konnte die Felsoberkante nicht sicher erkannt werden.

- Das Kristallin und das autochthone Mesozoikum des Aarmassivs fallen bis Kandergrund steil nach Norden ein; von Kandergrund bis Reichenbach ist ihr Gefälle nur noch gering.

- Im Bereich Frutigen-Reichenbach liegt möglicherweise eine über 2 km mächtige, normalstratigraphische Abfolge von Nordhelvetischem Tertiär. Möglicherweise sind daran auch Sedimente der UMM und USM beteiligt. Darüber liegt, wie die Profile LOET9003 und 9005B zeigen, die Wildhorn-Decke, deren basale Überschiebung auf der Ostflanke des Kandertals beinahe hangparallel verläuft. Beide Tunnelvarianten (Ost- und Westseite des Kandertals) führen über längere Distanzen durch die Sandstein-Tonschiefer-Abfolgen des Nordhelvetischen Flysches.

- Die Niesen-Decke und ihre ultrahelvetische Unterlage tauchen flach gegen Westen ein.

7.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN

Auf der Westseite des Kandertals ist eine seismische Linie auf der Flanke des Engstligentals angezeigt, um das Einfallen des Kontaktes Tertiär (Nordhelvetischer Flysch) - Wildhorn-Decke zu erkunden. Eine mögliche Lokation wäre das Strässchen nach Achsetenberg (Koord. 615/156 - 614/155).

Für einen allfälligen Niesentunnel wären zur Abklärung des Verlaufes der geotechnisch ungünstigen Gipszone, Schattwaldschichten und Ultrahelvetikum seismische Profile auf der Südostflanke des Niesen angezeigt. Eine denkbare Lokation befindet sich u.a. auf dem Fahrsträsschen Reichenbach - Senggi.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IN KAPITEL 7

Abb. Nr.	Abbildung	Seite
7.1	Regionaler Übersichtsplan mit Linie NEAT9001	7.9
7.2	Lageplan seismische Linie LOET9003	7.10
7.3	Lageplan seismische Linie LOET9005	7.11
7.4	Lageplan seismische Linie LOET9020	7.12
7.5	Prognoseprofil LOET9003	7.13
7.6	Prognoseprofil LOET9005	7.14
7.7	Seismisches Profil LOET9003	7.15
7.8	Seismisches Profil LOET9005-A	7.16
7.9	Seismisches Profil LOET9005-B	7.17
7.10	Seismisches Profil LOET9020	7.18
7.11	Geologische Interpretation LOET9003	7.19
7.12	Geologische Interpretation LOET9005	7.20
7.13	Geologische Interpretation LOET9020	7.21
7.14	Seismisches Profil NEAT9001 (Kandersteg - Reichenbach)	Sichtmappe
7.15	Geologische Interpretation Profil NEAT9001	Sichtmappe

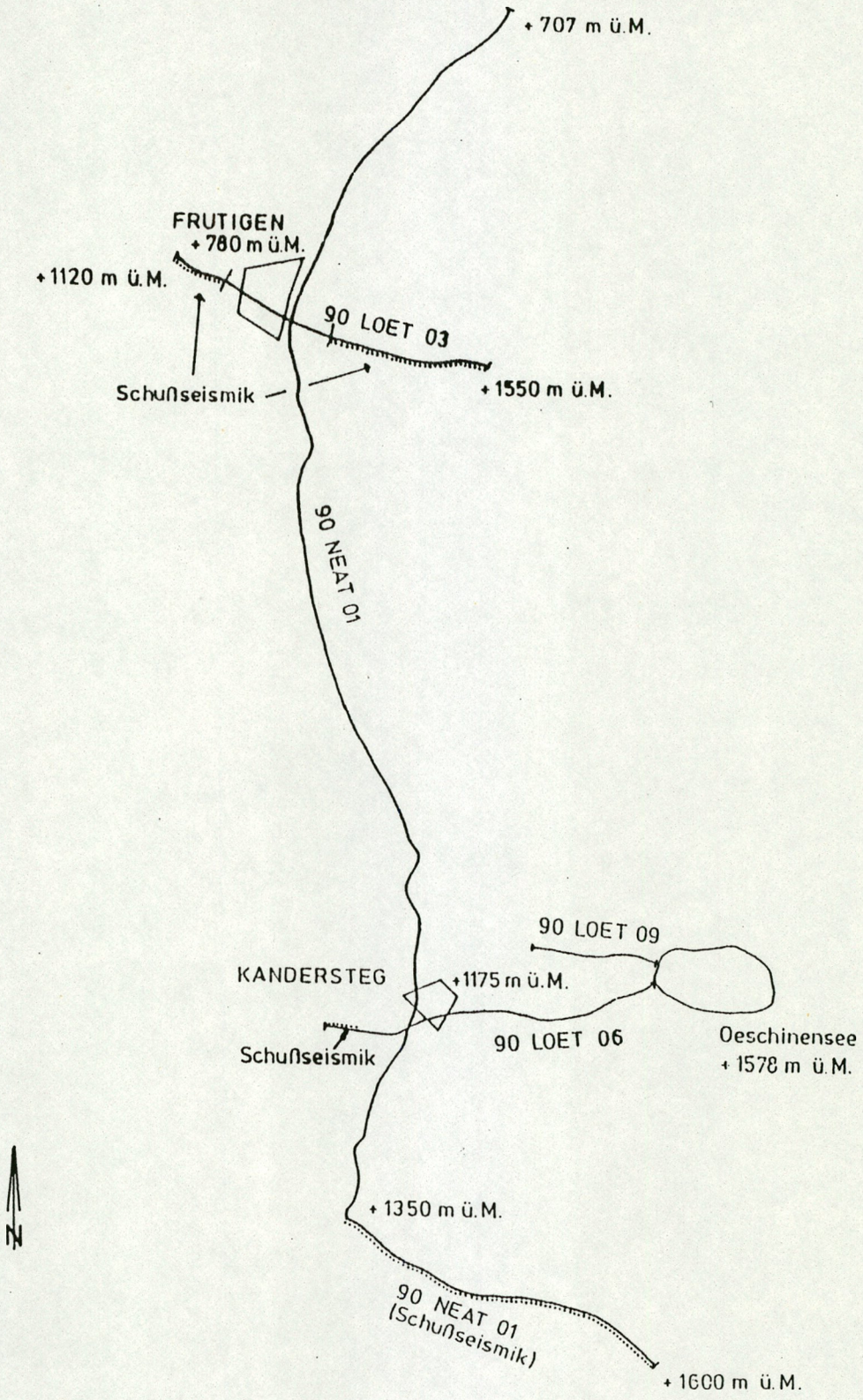
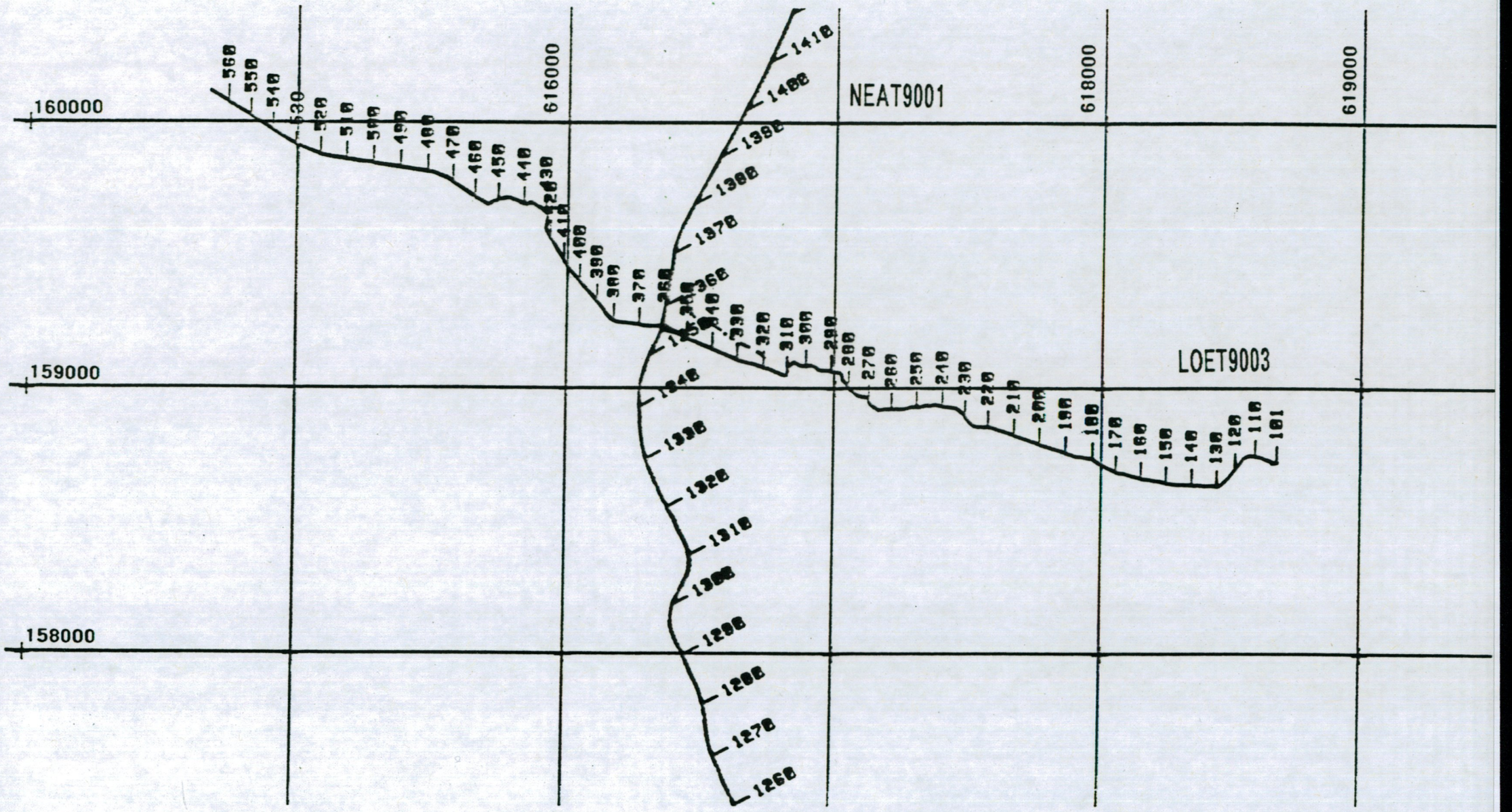


Abb. 7.1 Regionaler Übersichtsplan mit Linie NEAT9001


160000
159000
158000
616000
618000
619000
NEAT9001
LOET9003

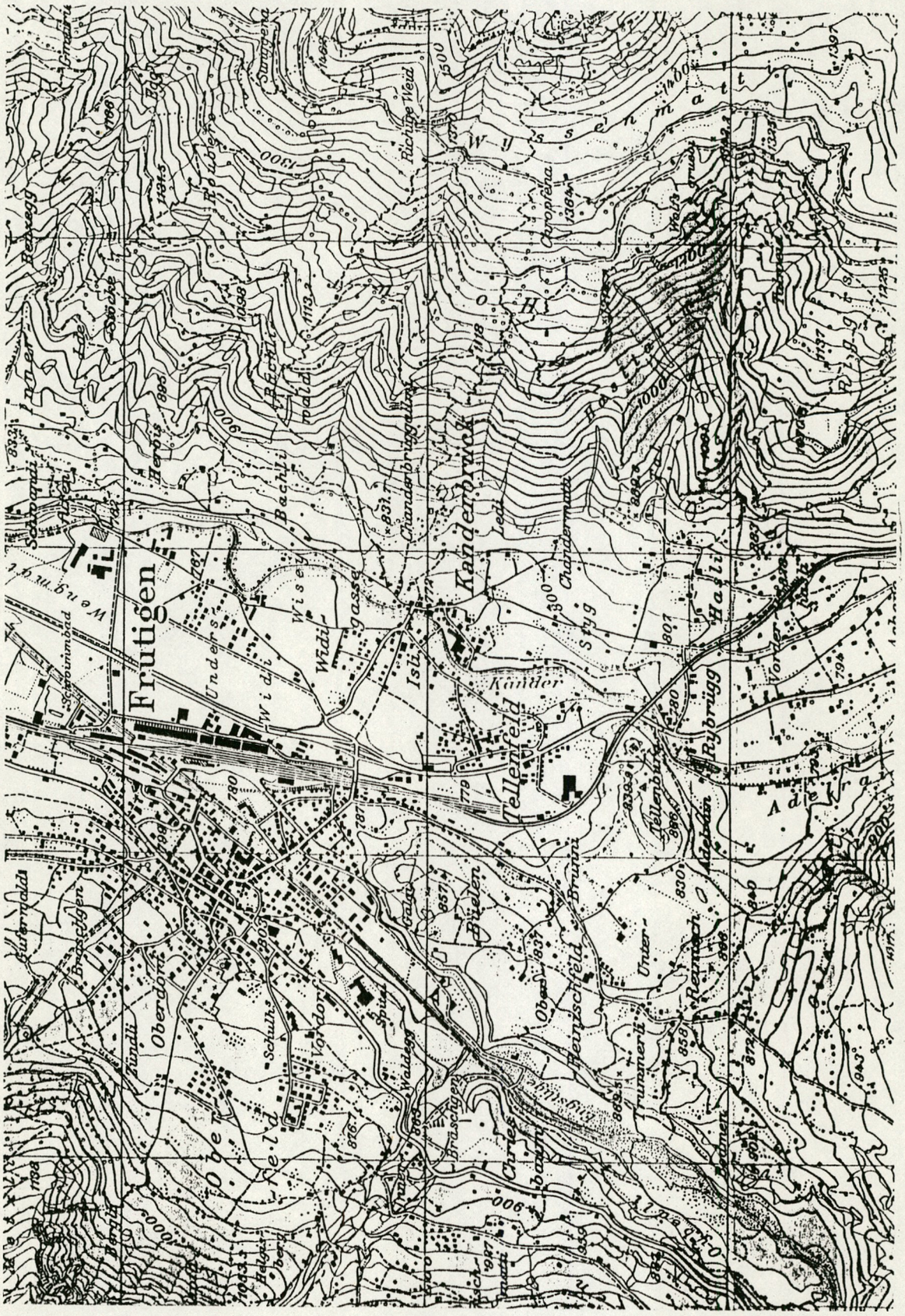
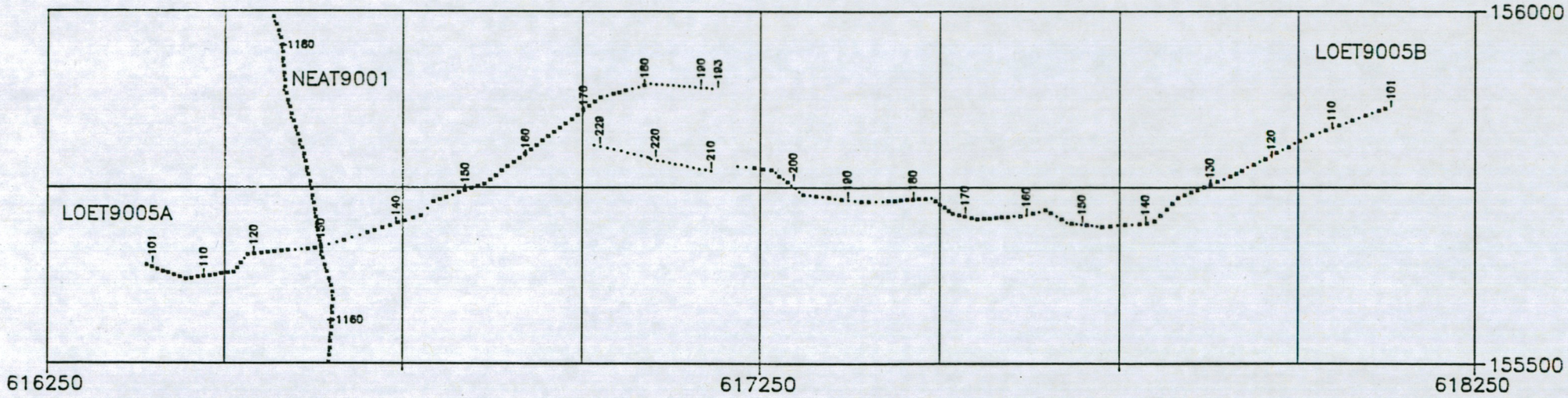


Abb. 7.2 Lageplan seismische Linie LOET9003


156000
155500
616250
617250
618250
NEAT9001
LOET9005A
LOET9005B
1160
1160
101
110
120
130
140
150
160
170
180
190
193
229
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
101
Geophonstationen
Schusspunktstationen

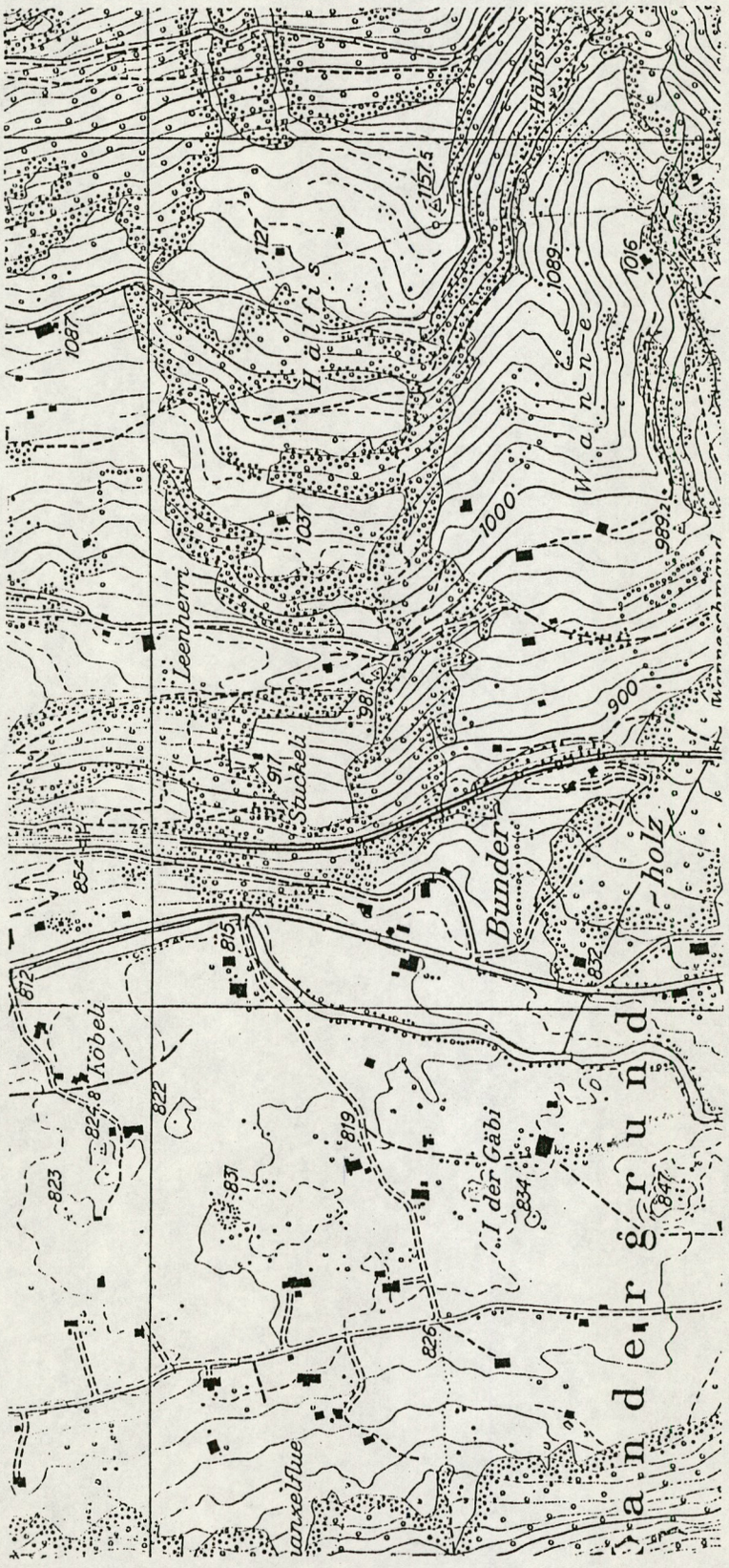
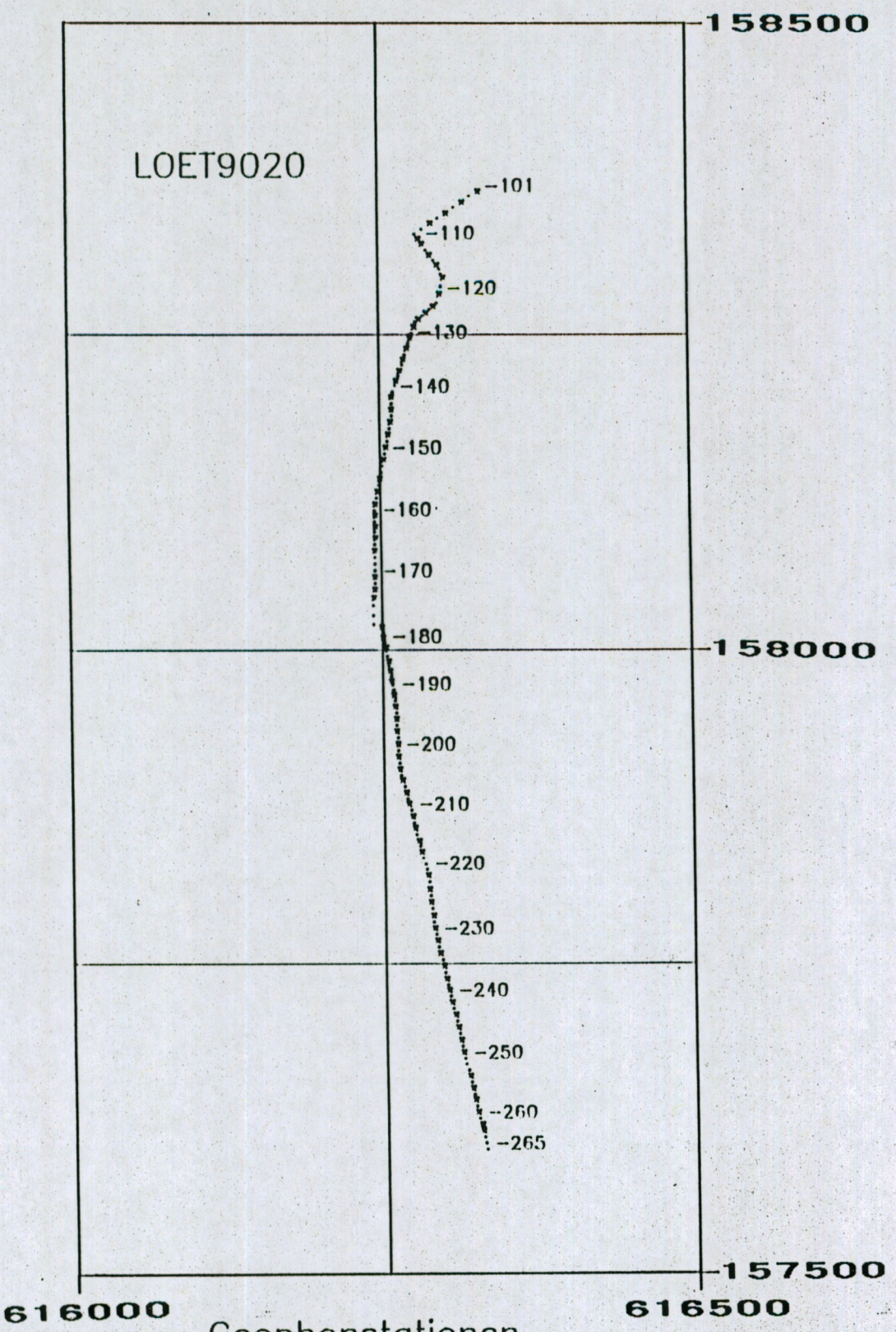


Abb. 7.3 Lageplan seismische Linie LOET9005


158500
LOET9020
101
110
120
130
140
150
160
170
180
158000
190
200
210
220
230
240
250
260
265
157500
616000
616500
Geophonstationen
Schusspunktstationen

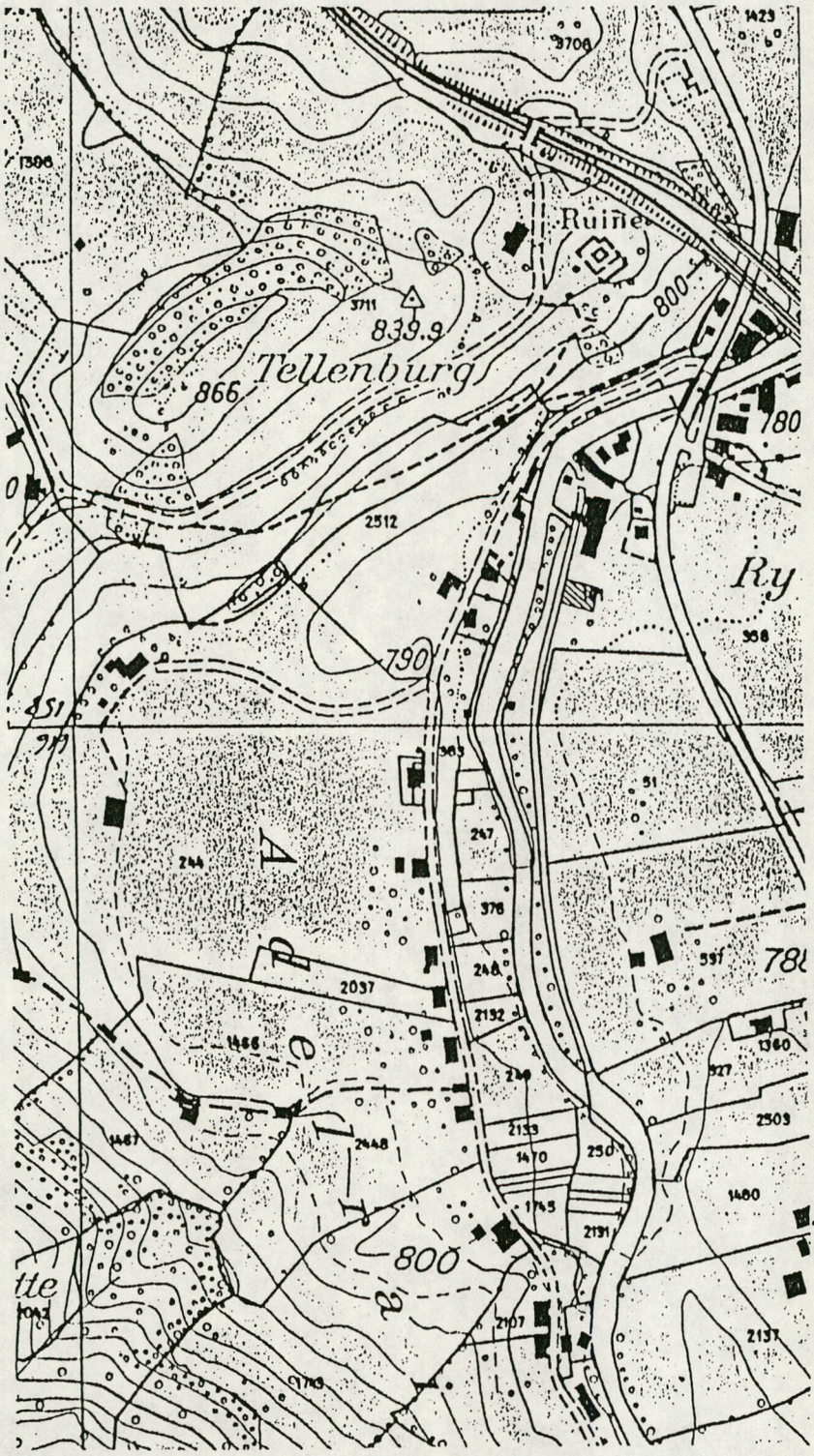


Abb. 7.4 Lageplan seismische Linie LOET9020

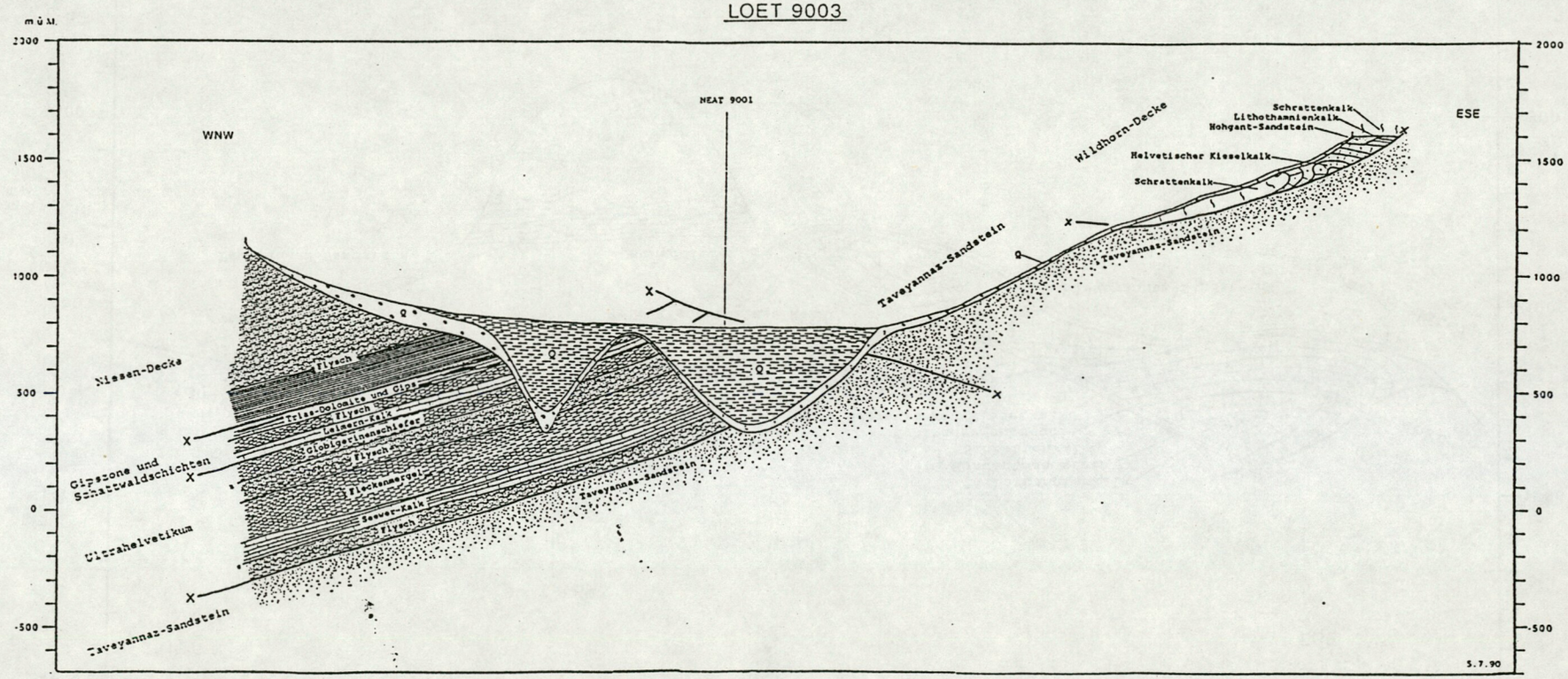


Abb. 7.5 Prognoseprofil LOET9003

PROGNOSEPROFIL

LOET 9005

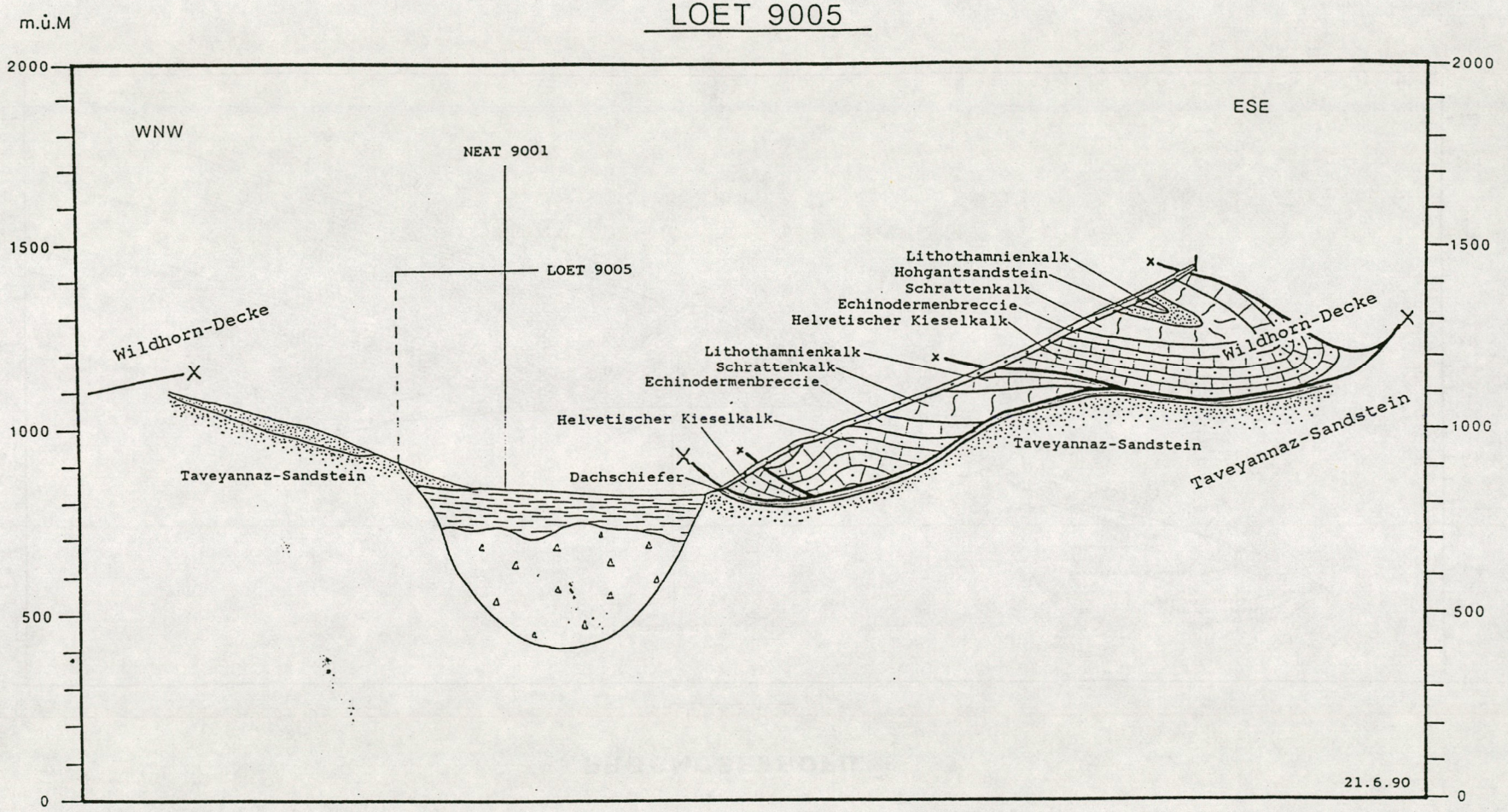


Abb. 7.6 Prognoseprofil 9005

LOET9003

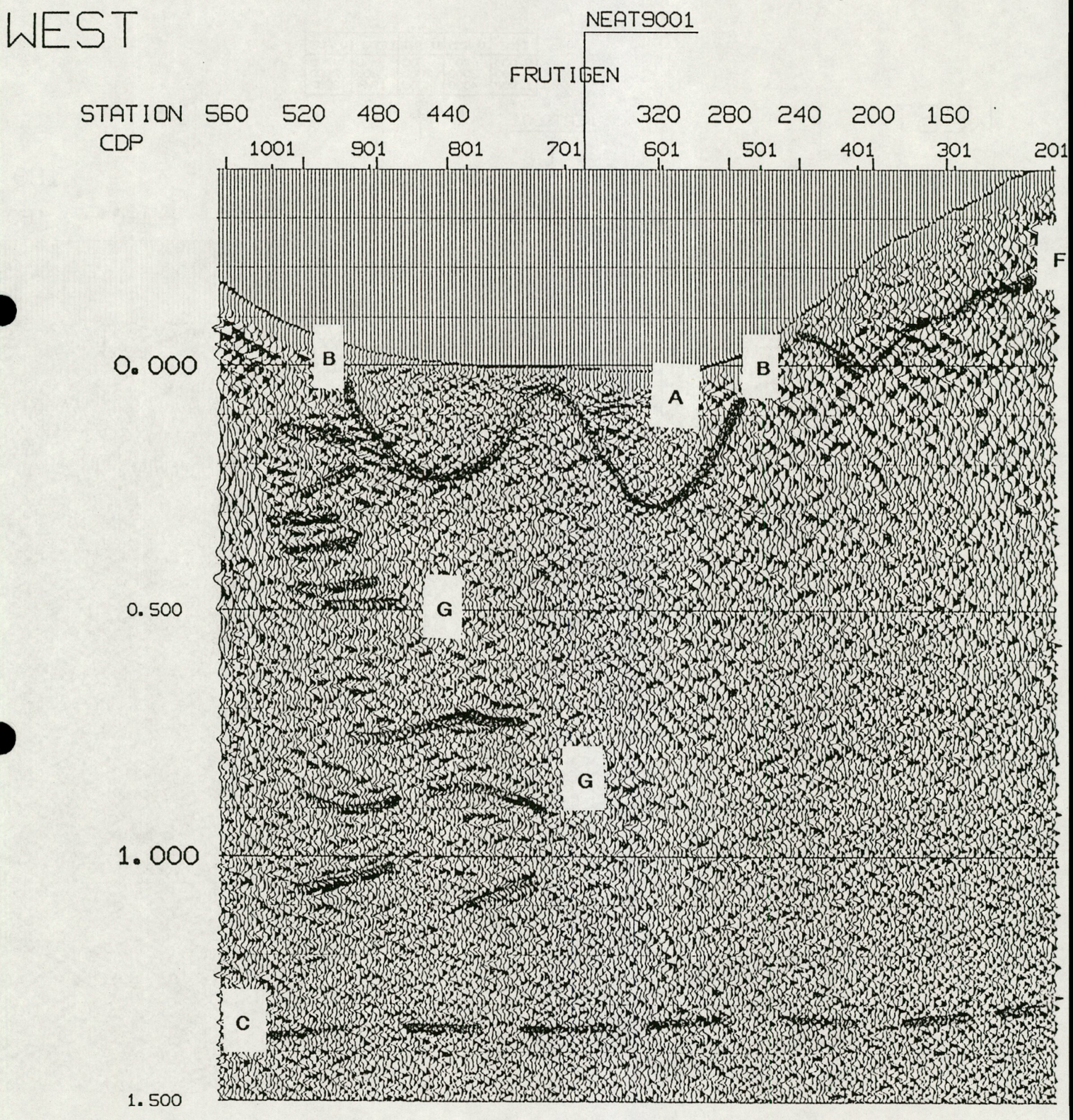


Abb. 7.7 Seismisches Profil LOET9003

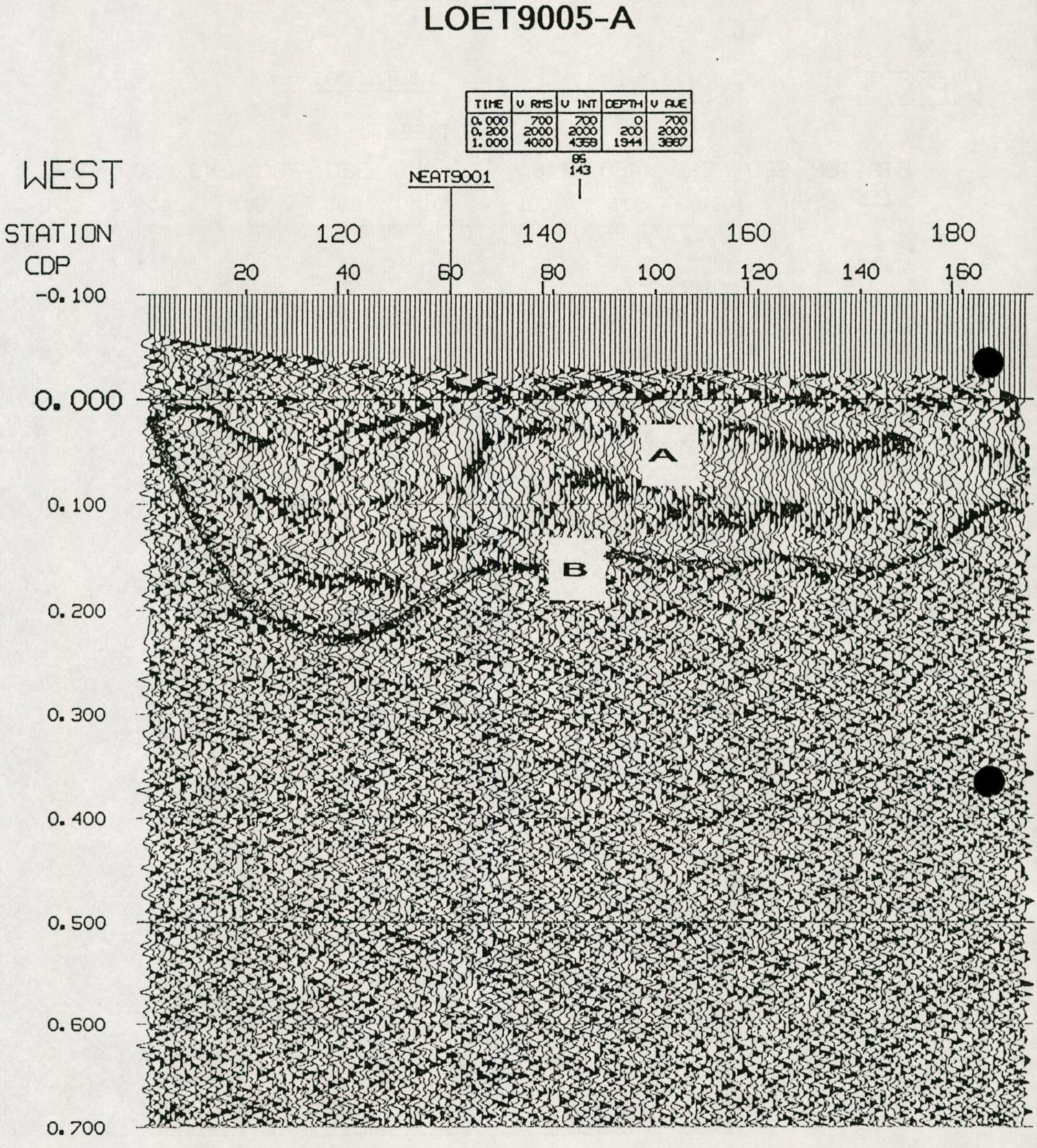


Abb. 7.8 Seismisches Profil LOET9005-A

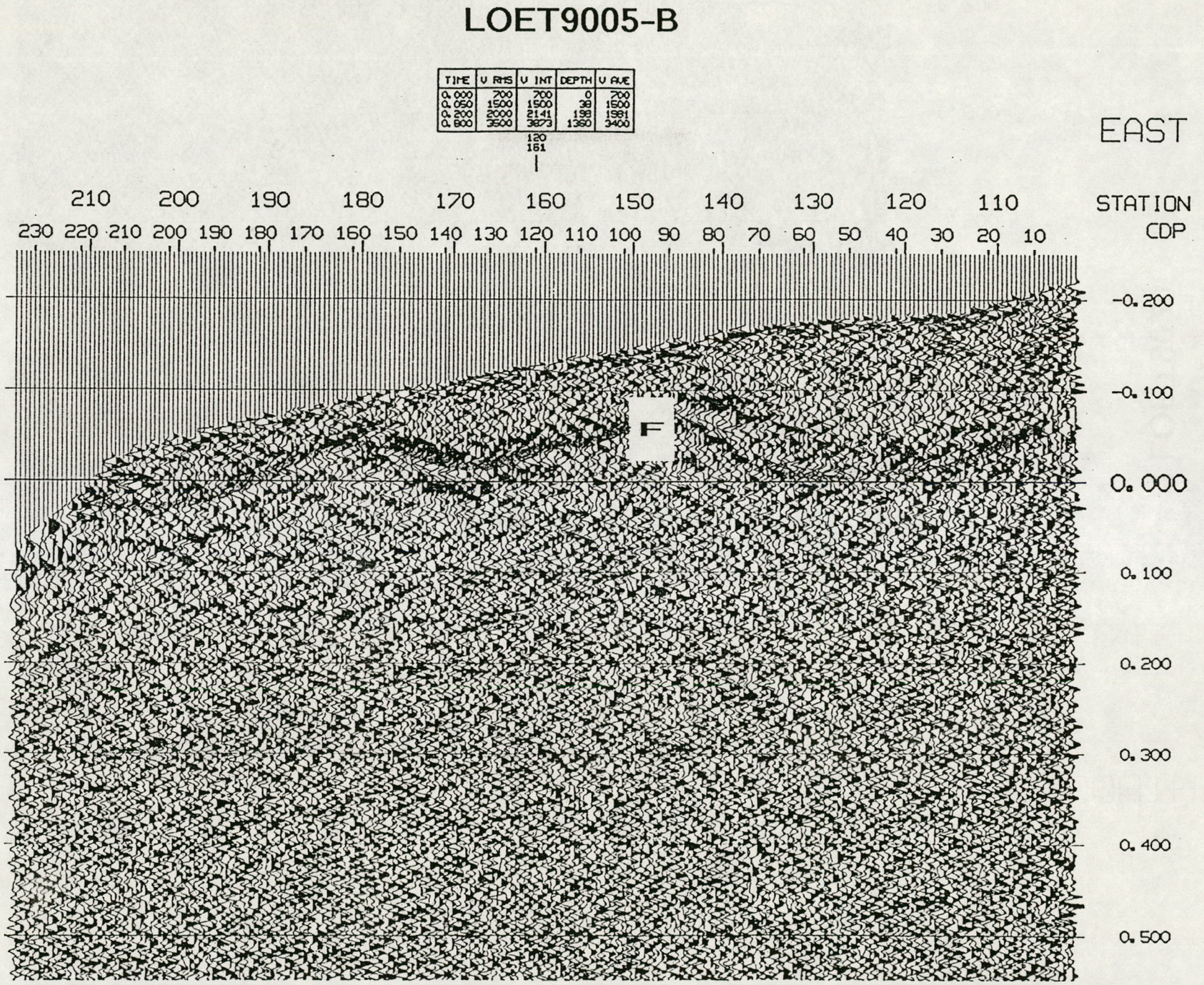


Abb. 7.9 Seismisches Profil LOET9005-B

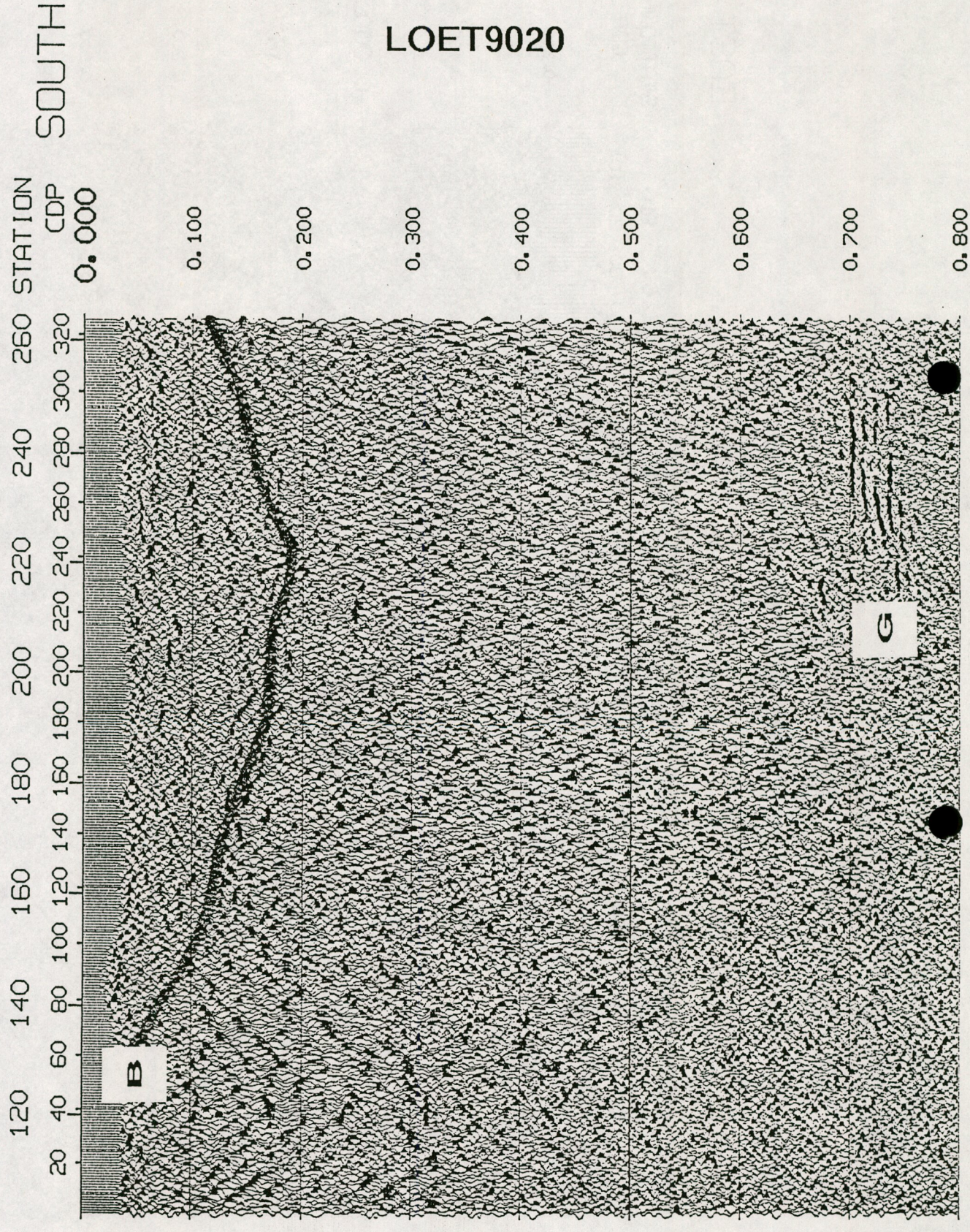


Abb. 7.10 Seismisches Profil LOET9020

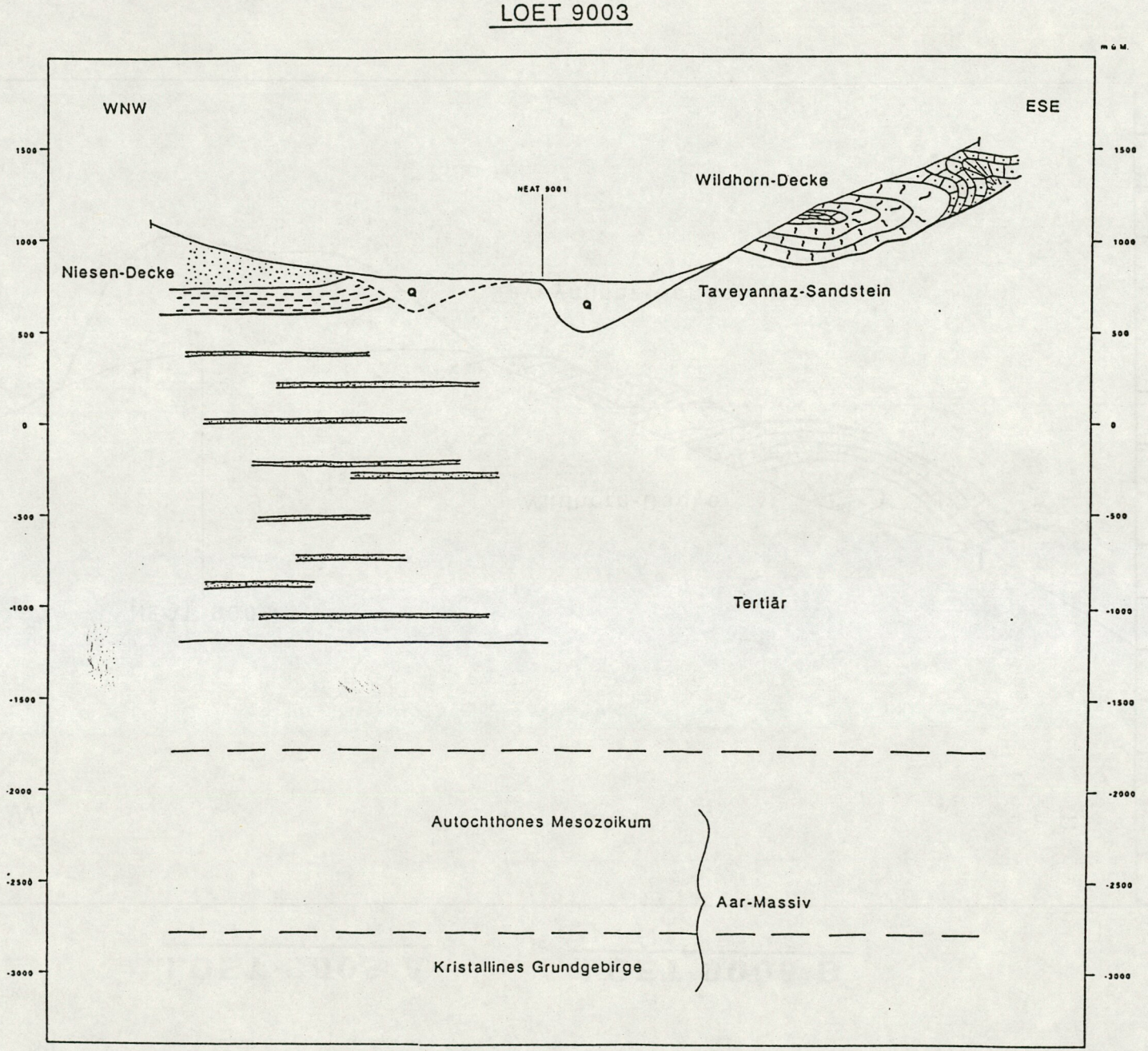


Abb. 7.11 Geologische Interpretation LOET9003

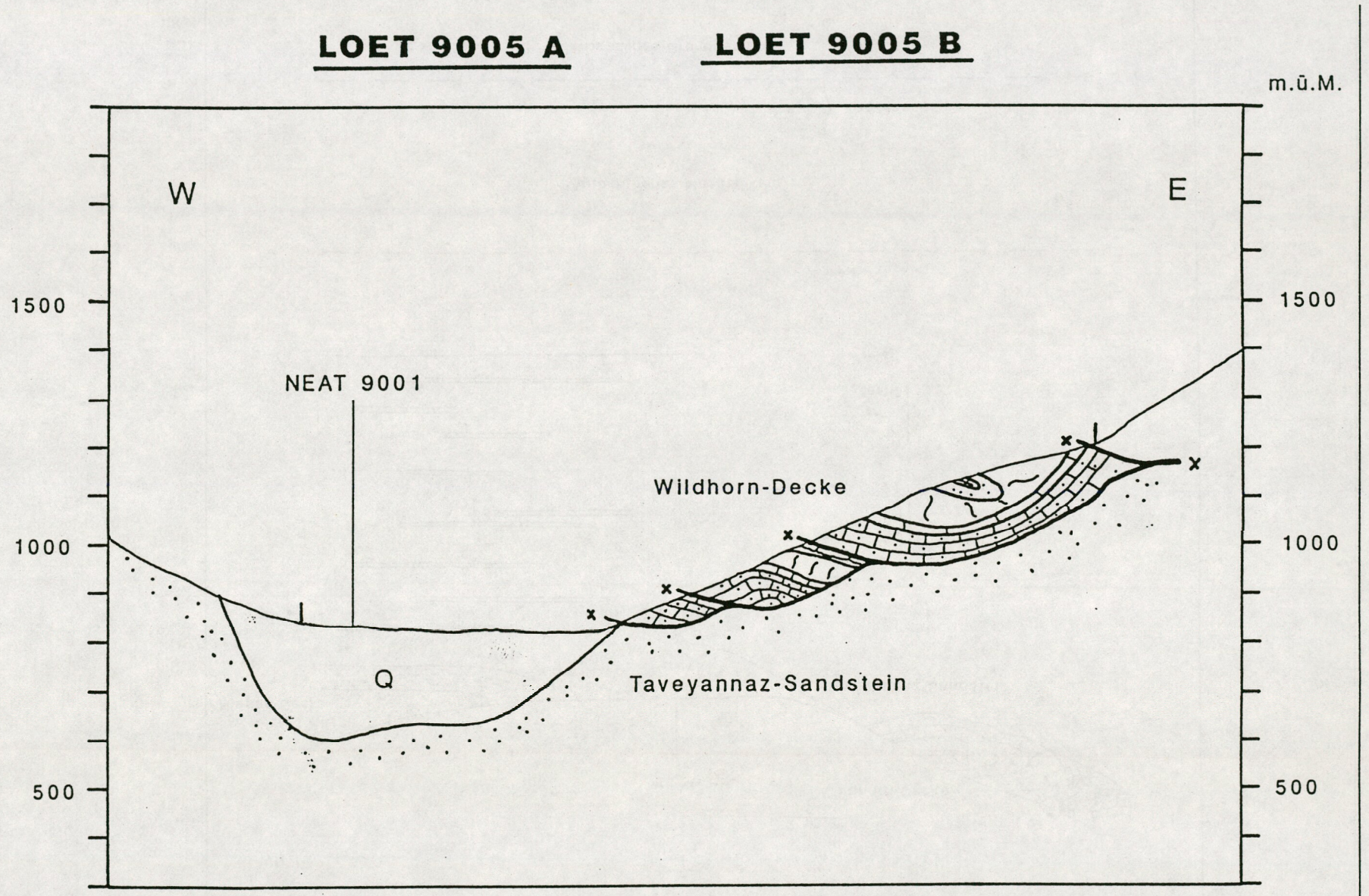


Abb. 7.12 Geologische Interpretation LOET9005

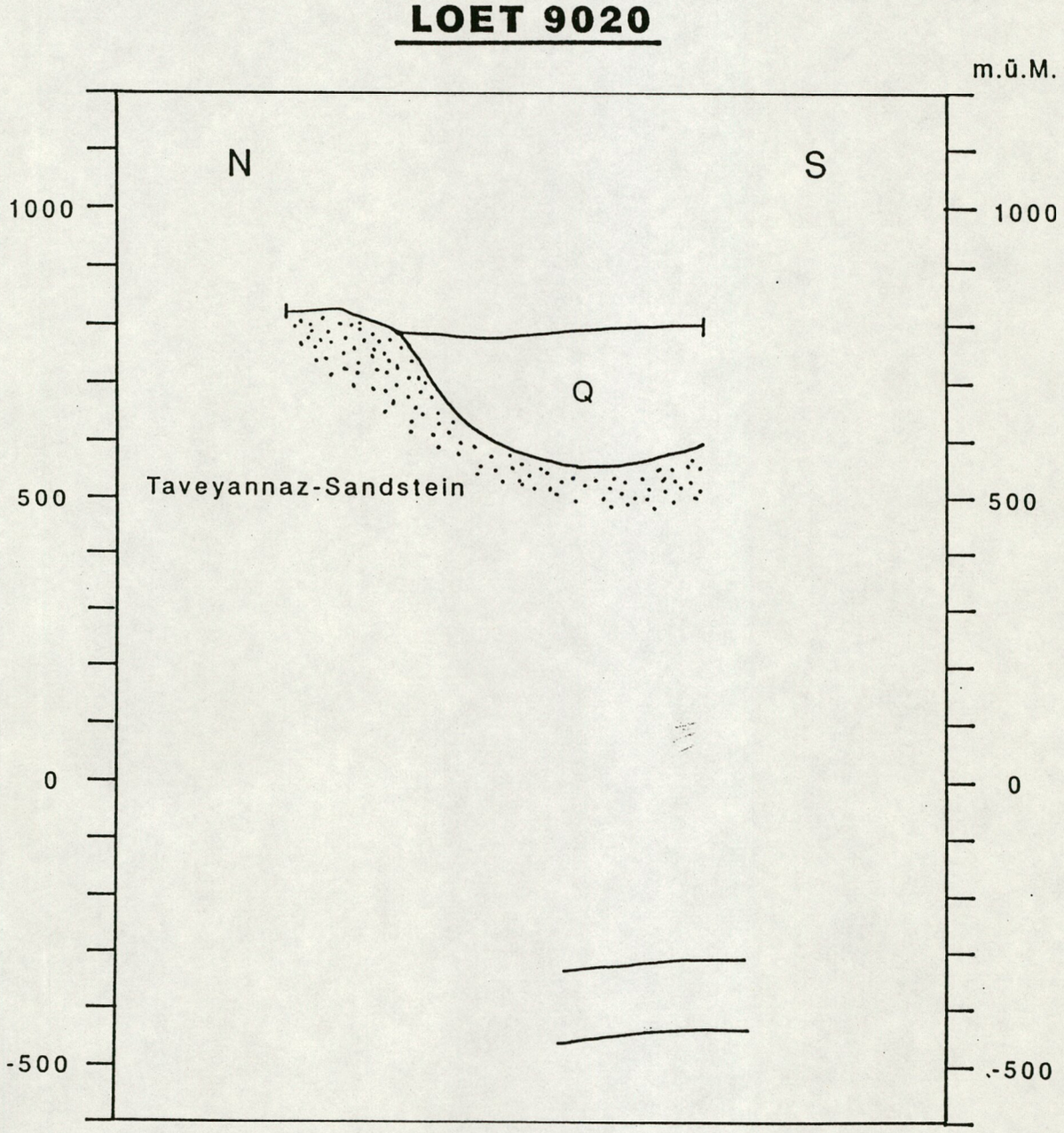


Abb. 7.13 Geologische Interpretation LOET9020