Nationales Forschungsprogramm 20 "Geologische Tiefenstruktur der Schweiz" : Problemstellung und erste Resultate

Autor(en): **Finckh, P. / Frei, W. / Freeman, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **53 (1987)**

Heft 124

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-210913

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 54, Nr. 124, April 1987 - S. 59-74

Nationales Forschungsprogramm 20 «Geologische Tiefenstruktur der Schweiz»

Problemstellung und erste Resultate

Mit 14 Figuren

von P. FINCKH, W. FREI, R. FREEMAN, P. HEITZMANN, P. LEHNER*, St. MÜLLER, A PFIFFNER, P. VALASEK**

Abstract

This paper discusses the first, preliminary results of the research progamme 20 of the Swiss National Science Foundation. The main part of the programme consists of two Vibroseis profiles across the alps. The first profile in the eastern part of Switzerland was recorded in fall 1986 by Prakla Seismos. The data processing in currently in progress at the ETHZ in Zurich. In addition to vibrators, explosives (100-300 kg dynamite) were used as acoustic energy source for wide angle shots along the line and perpendicular to the line. First results of the on-line shots are reported in this paper.

Zusammenfassung

Anhand von reflexionsseismischen Profilen und einer vorläufigen Interpretation werden die ersten Ergebnisse des Nationalen Forschungsprogrammes NPF-20 präsentiert. Den Schwerpunkt des Programmes bilden zwei Vibroseis-Profile quer durch die Alpen, wovon das östliche im Herbst 1986 von Prakla-Seismos aufgenommen wurde. Sprengschußseismik wurde für Weitwinkelmessungen entlang und quer zum Profil verwendet. Die Aufwendige Datenverarbeitung (400 Feldbänder) ist zur Zeit an der ETHZ in vollem Gang. In diesem Artikel werden die Rohdaten und eine vorläufige Interpretation der Sprengschußseismik entlang des Profils diskutiert.

1. Einleitung

NFP-20 ist ein Nationales Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds. Ein Kredit von Fr. 10 Millionen, verteilt über 5 Jahre wurde vom Bundesrat zur Erforschung der alpinen Erdkruste zur Verfügung gestellt.

* Vortrag von Dr. P. LEHNER an der 77. Jahrestagung der geologischen Vereinigung in Basel am 6. März 1987.

** Dr. P. FINCKH, W. FREI, Dr. R. FREEMAN, Prof. Dr. St. MÜLLER, P. VALASEK, Institut für Geophysik, ETHZ, Hönggerberg, 8093 Zürich.
Prof. Dr. A. PFIFFNER und Dr. P. HEITZMANN, Geologisches Institut Universität Bern, Baltzerstrasse 1, 3012 Bern.
Dr. P. LEHNER, Speerstrasse 39, 8805 Richterswil.

Das Programm soll neue Grundlagen liefern zur Evaluation von Rohstoff- und Energiequellen, zur Beurteilung der Beschaffenheit des tiefern Gesteinsuntergrundes für subterrane Verkehrswege und Einrichtungen und zur Abschätzung des Erdbebenrisikos.

Zwei reflexionsseismische Traversen quer durch die Alpen bilden das Kernstück des Unternehmens *(Fig. 1)*.

Weitere 20 begleitende Einzelprojekte sind über ein breites erdwissenschaftliches Spektrum verteilt, wie Refraktionsseismik, Gravimetrie, Magnetik, Präzisionsnivellement (Hebungsbeträge), Isotopengeologie, Seismizität, usw.

Die Feldaufnahmen der Reflexionsseismik entlang der Osttraverse von Wildhaus am Säntis bis an die Schweizergrenze im Val Madris wurden im Herbst 1986 im Kontrakt mit Prakla-Seismos aus Hannover ausgeführt. Die Arbeiten auf der Westtraverse von Zermatt nach Visp und Zinal nach Zweisimmen sollen im Kontrakt mit CGG aus Paris im Herbst dieses Jahres beginnen. Das Tessiner Teilstück der Osttraverse wird im Herbst 1988 zur Ausführung kommen.

Was die Vorlandsegmente der beiden Traversen betrifft, soll versucht werden, aus den seismischen Aufnahmen der Erdölindustrie mit Hilfe spezieller EDV-Verfahren Information über die Struktur der Kruste bis in Tiefen von etwa 10 sek. Reflexionszeit zu erhalten.

Die seismische Datenverarbeitung wird in zwei Phasen ausgeführt. Die erste Phase, bis und mit Stapelung, an der ETH in Zürich mit einem Phönix System, die zweite Phase mit speziellen Programmen am Cray der EPF in Lausanne.

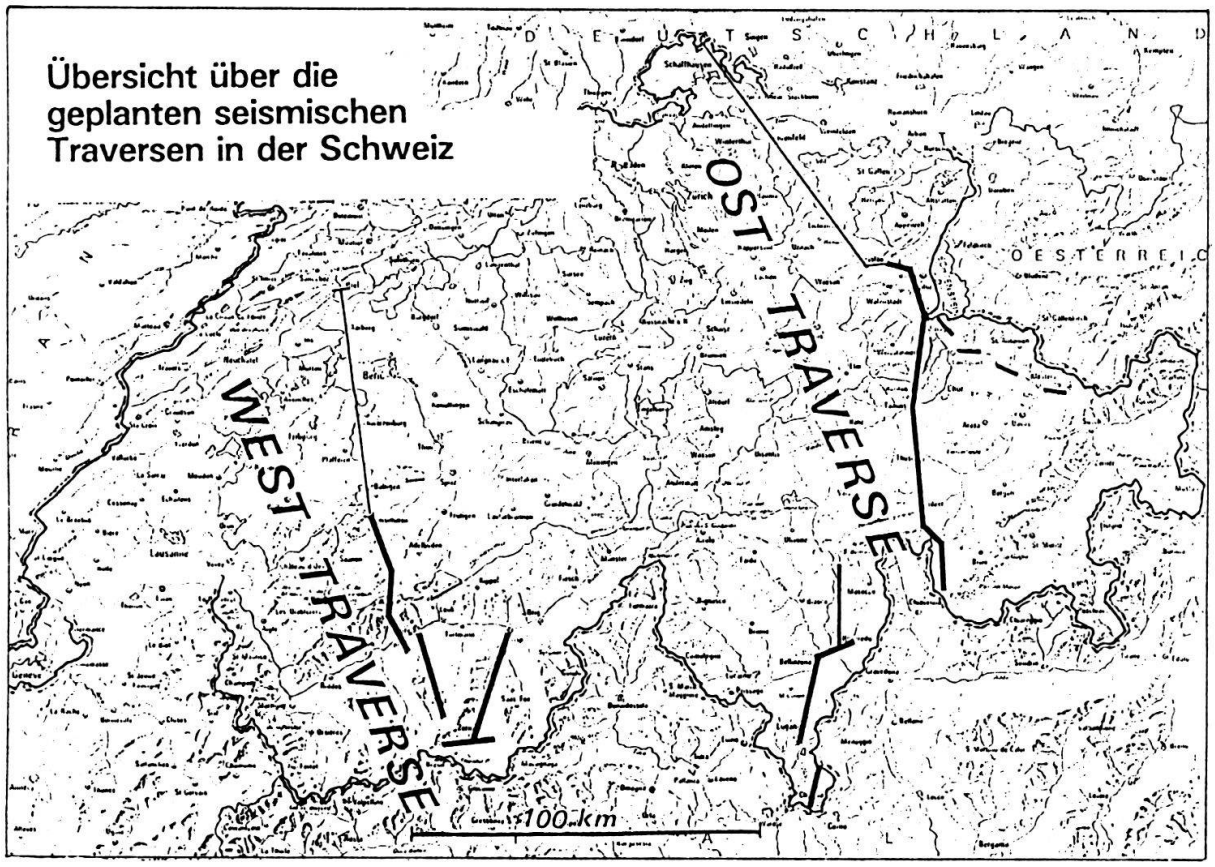

Fig. 1: Verlauf der Schweizerischen Seismik-Traversen. Dick ausgezogen, die eigentlichen Alpentraversen, die in der Zeitspanne 1986-88 aufgenommen werden. Die dünn ausgezogenen Profilabschnitte im Molassebecken werden von der Erdölindustrie im Austausch übernommen und für Forschungszwecke neu bearbeitet.

2. Geologische Fragestellung

Was die Struktur und den Aufbau der Erdkruste betrifft, nehmen die Alpen eine spezielle, privilegierte Stellung ein. Die Kruste unter den Alpen erscheint im Vergleich zur ausseralpinen, europäischen Kruste auf mehr als die zweifache Mächtigkeit zusammengestaucht. Es handelt sich hier um die immer noch aktive Kollissionsnarbe zwischen der Afrikanischen und der Eurasiatischen Platte.

Der Verlauf der Moho unter dieser Verdickung ist durch Refraktionsseismik einigermassen bekannt. Die Innenstruktur und der Aufbau der Narbe, in grösseren Tiefen, ist

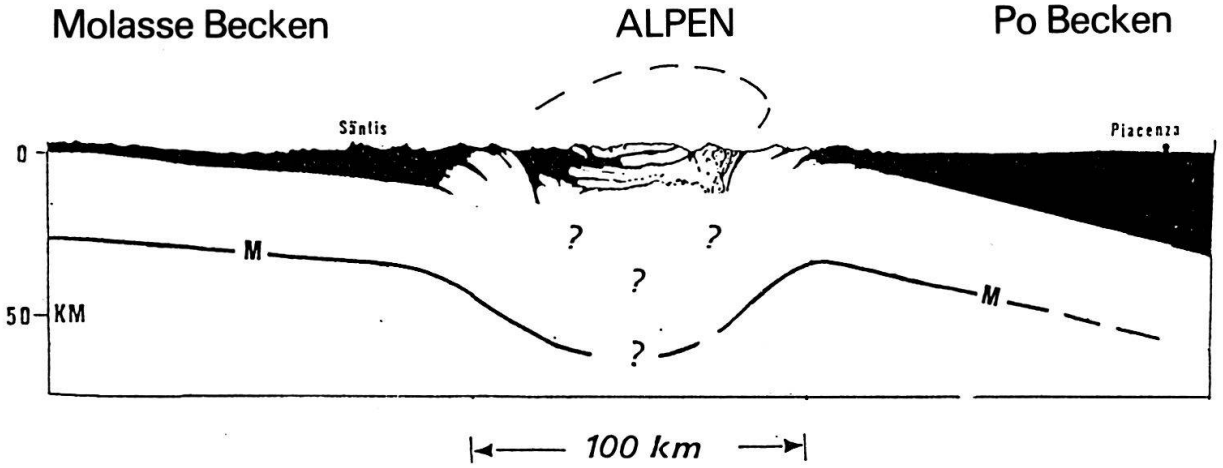

Fig. 2: Die Kruste unterhalb der Alpen ist im Vergleich zur ausseralpinen Kruste auf mehr als die zweifache Mächtigkeit zusammengestaucht. Der Verlauf der Moho (M) ist dank der Refraktionsseismik annähernd bekannt. Das alpine Axialgefälle von ca. 30° im Bereich der Osttraverse macht es möglich, Oberflächenstrukturen bis in eine Tiefe von etwa 10 km mit einiger Sicherheit zu projizieren.

jedoch noch so gut wie unbekannt *(Fig. 2)*. Das alpine Axialgefälle, von im Schnitt etwa 30° Neigung gegen Osten (ONO) erlaubt eine Projektion der Oberflächenstrukturen, vor allem des alpinen Deckenbaus bis in Tiefen von etwa 10 km.

Eine erste Reihe Fragen betrifft die Tektonik der Zentralmassive. Wie weit sind diese Schürflinge nach Norden transportiert? Auf welchem Krustenniveau sind sie abgeschürft? Wie weit und wie tief reichen sie nach Süden unter das penninische Deckenpaket?

Ein zweiter Fragenkreis im Bereich dieses nördlichen Segmentes der Osttraverse betrifft den Tiefgang und die Unterlage der penninischen Decken. Wie bereits AMPFERER (1906) zu Beginn dieses Jahrhunderts argumentierte, sollte ein Zusammenstauchen der Oberkruste und der Sedimente mit einem Abtauchen, nämlich der «Verschluckung» der viel schwereren Unterkruste und des obern Mantels gekoppelt sein. Das «wie» und «wo» dieser Verschluckung ist zur Zeit noch eine offene Frage. Für uns war vor allem fraglich,ob wir aus dem hoch metamorphen Kern der Alpen überhaupt Reflexionen erhalten würden.

3. Technische Daten

Vibroseismik und Sprengstoffseismik der Osttraverse von Wildhaus bis ins Val Madris wurden vom 26. August bis 26. September 1986 durchgeführt.

Für Vibroseis-Aufnahmen wurde mit folgenden Parametern gearbeitet *(Fig. 3):*

— Auslage: 240 aktive Geophongruppen zu 24 Geophonen
— Geophongruppenabstand: 80 m
— Vibrations-Abstand: 40 m
— Länge der Auslage: 19,2 km
— 6 Vibratoren mit je 12 t Auflage auf Vibratorplatte
— Sweep I (Wildhaus bis Taminatal): 20 sek.
— Sweep II (Taminatal bis Val Madris): 60 sek.

Die erste und letze Tagesproduktion wurden als Versuch mit verschiedenen Sweeps durchgeführt.

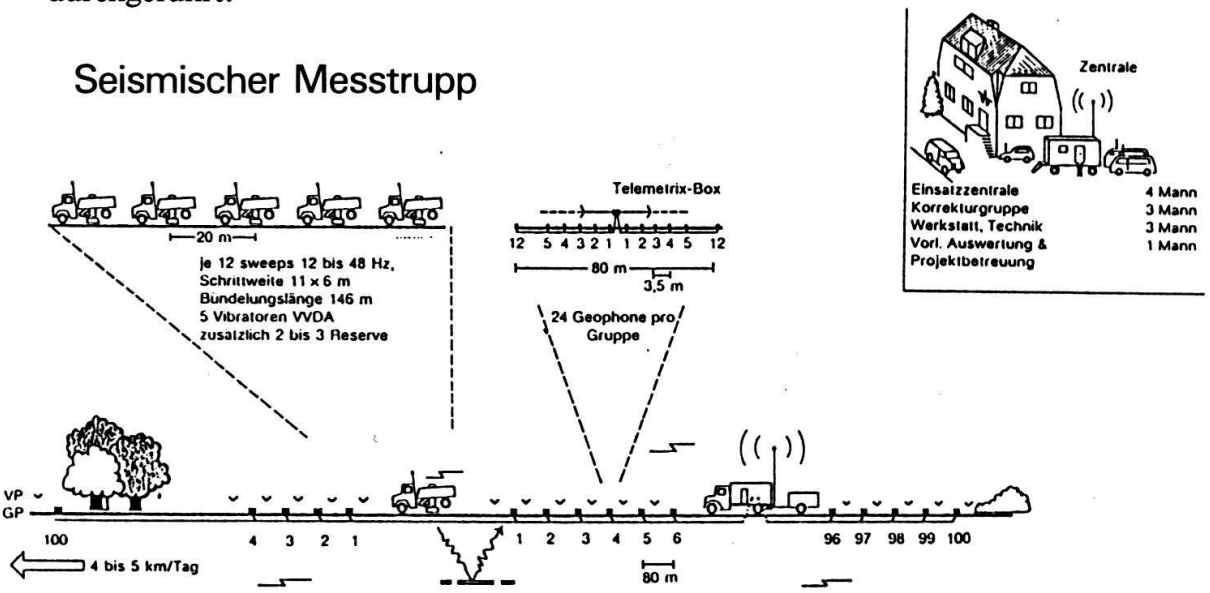

Fig. 3: Aufbau- und Einsatzschema eines Messtrupps für Vibrationsseismik, wie er für die Alpentraversen zum Einsatz kommt. Als zusätzliche Energiequelle werden Sprengschüsse in untiefen Bohrlöchern verwendet.

Die Sprengseismik gliederte sich in folgende Schusskategorien *(Fig. 4):*

— 39 Schüsse in der Hauptlinie
— 9 Fächerschüsse von Osten her in die Linie
— 6 Schüsse des EGT-Refraktionsseismik-Programms
— Zusätzlich wurden im Prättigau und im Rheinwald die DFS V-Auslage der ETH Zürich verwendet.

Der Entschluss, mit Weitwinkel-Sprengseismik nicht zu sparen, hatte verschiedene Gründe:

Erstens waren vor allem die «in-line» Schüsse eine Art Vorsichtsmassnahme, da nicht mit Sicherheit anzunehmen war, dass die Vibrationsenergie bis in Tiefen von 60 km ausreichen würde.

Zweitens sollten die Ergebnisse dieser Schüsse entlang der Linie als Gerüst und Wegleitung der Vibrationsseismik dienen. Die Weitwinkel-Fächerschüsse, quer zur Geophonauslage, ermöglichen in beschränktem Masse ein dreidimensionales Bild des Untergrundes zu erhalten. Im Idealfall produziert ein Fächerschuss aus 50 km ein zweites Seismikprofil im Abstand des Reflexionspunktes, d.h. auf etwa 25 km parallel zur Auslage.

Für die Weitwinkelschüsse werden in Bohrlöchern von etwa 30 m Tiefe Dynamitladungen von 100 bis 300 kg gezündet. Sehr zum Leidwesen der Geologen ist eine weiträumige Anwendung dieser Methode auf Grund der ausserordentlich hohen Kosten der Bohrarbeiten (10 - 20'000 Franken pro Loch) zur Zeit nicht möglich.

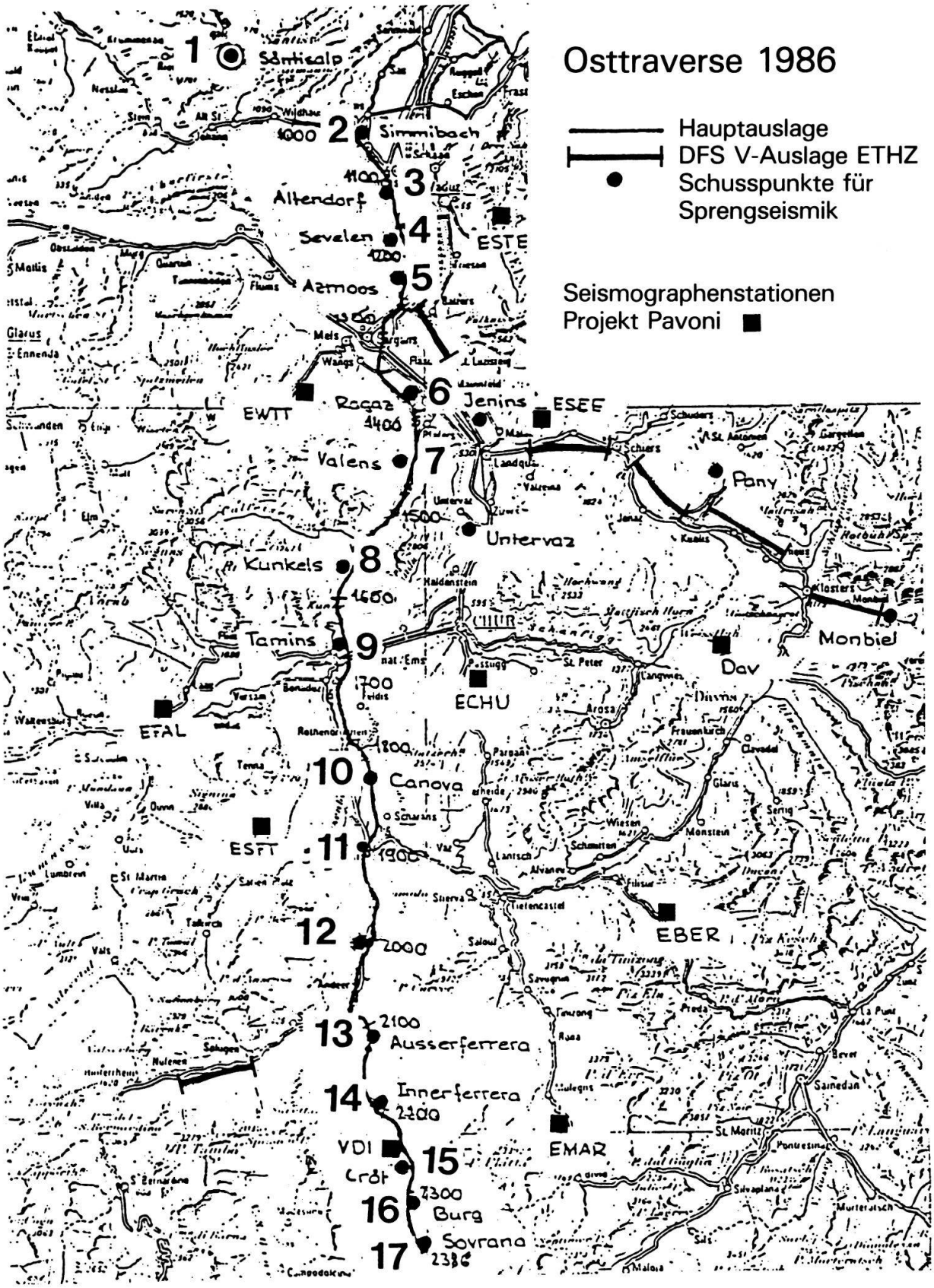

Fig. 4: Situationskarte der Vibroseis-Linie und der Weitwinkelsprengschuss-Seismik der Osttraverse. Seitliche Fächerschüsse in die Geophonauslage ermöglichen es, in beschränktem Mass ein dreidimensionales Bild der Tiefenstruktur zu gewinnen, da sich im Idealfall die Reflexionspunkte auf halber Distanz zur Auslage befinden.

4. Ergebnisse der Sprengschußseismik *(Fig. 5)*

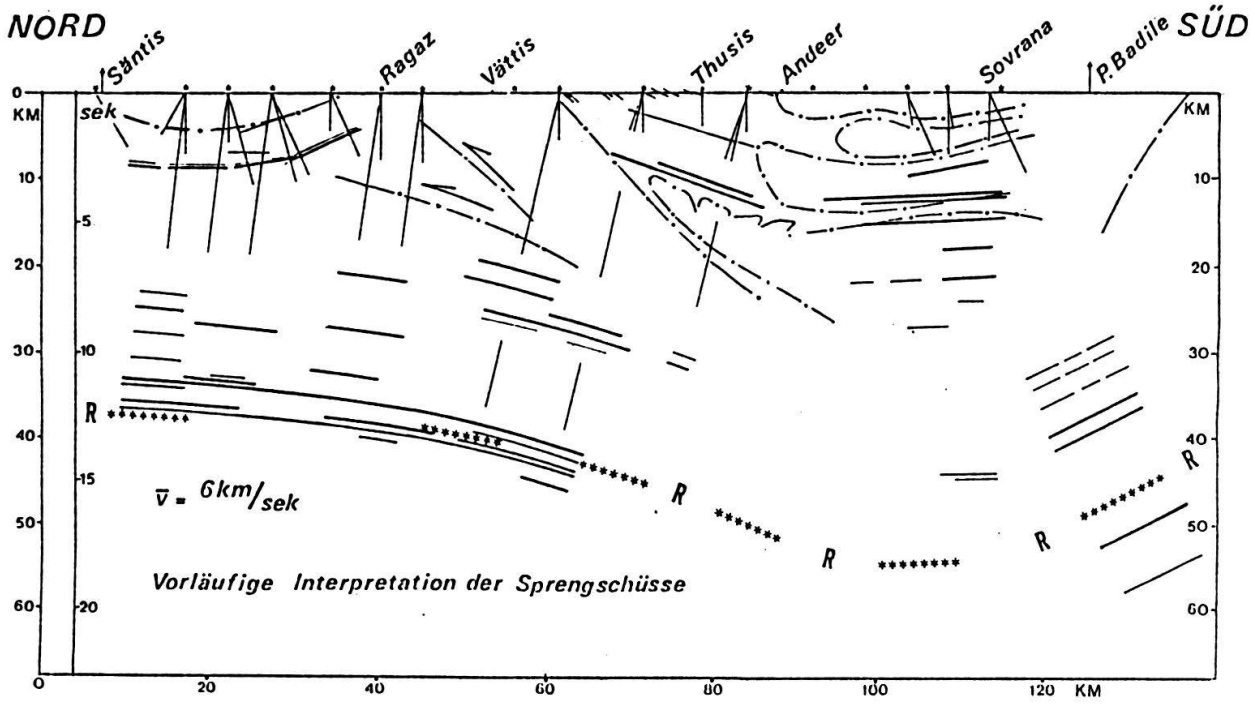

Fig. 5: Vorläufige Interpretation der Sprengschuss-Seismik entlang der Osttraverse. Geneigte Reflektoren sind in die korrekte Position migriert. Die Tiefenangaben sind jedoch ungenau, da keine Terrainkorrekturen angebracht sind, auch ist dem starken Axialgefälle (ca. 30°) gegen NO nicht Rechnung getragen.
R = MOHO nach Refraktionsdaten.

Auffallend im nördlichen Teil des Profils ist das regelmässige Abtauchen der Vorlandkruste unter die Alpen. Ein starkes Reflexionsbündel über der Moho, mit einer Mächtigkeit von etwa 4 km (1 Sekunde Reflexionszeit, v = ca. 7 km/sek.) lässt sich vom Säntis im Alpenvorland bis in die Gegend von Thusis unter die penninischen Decken verfolgen *(Fig. 6 - 12)*. Darüber folgt ebenfalls kaum deformiert mit den üblichen flachen Reflektoren die Unterkruste. Auf der Strecke Säntis - Sargans erscheint über der weitgehend transparenten Oberkruste der Triasmarker des Vorlandes *(Fig. 9)*.

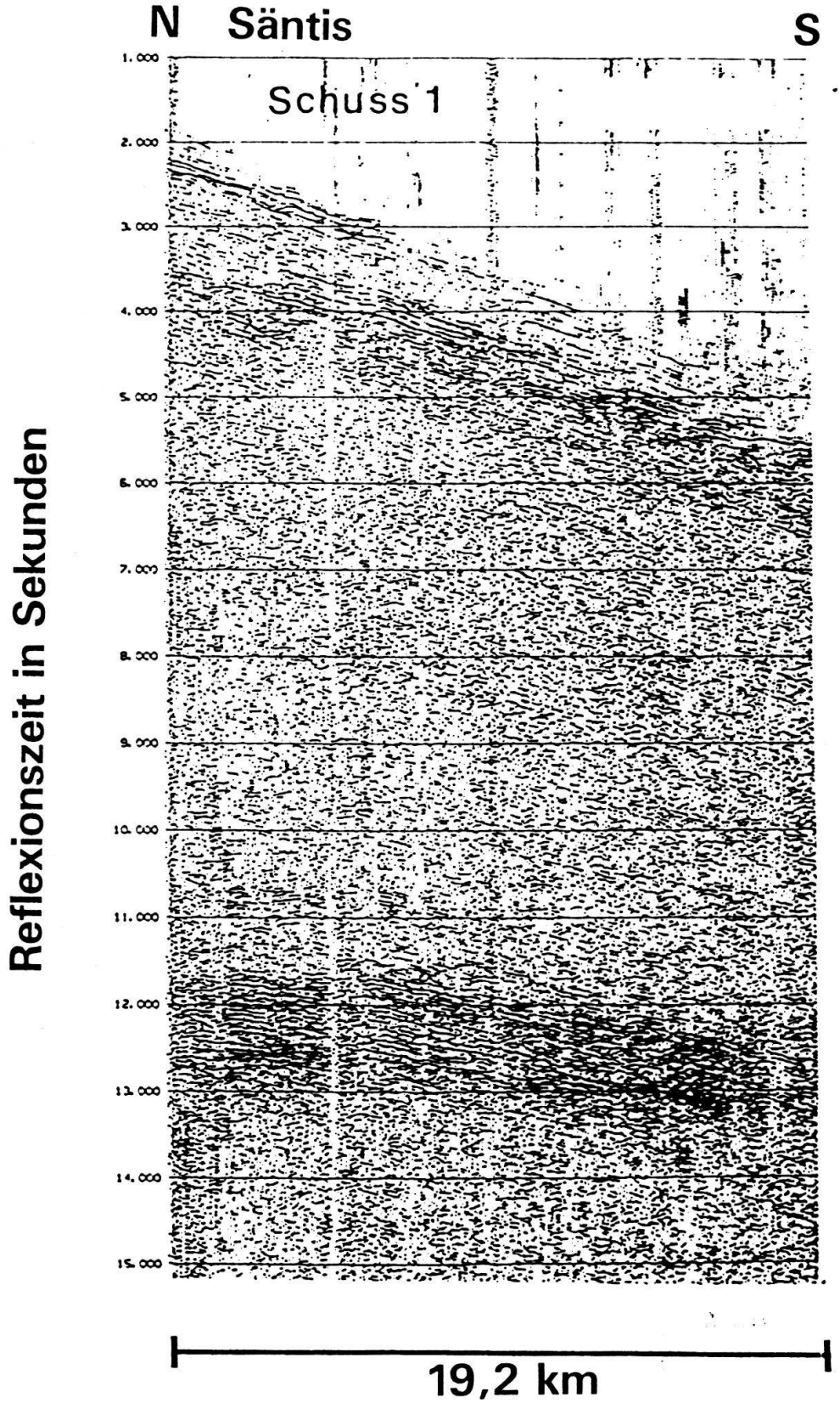

Fig. 6: Seismogramm von Sprengschuss 1, Säntisalp. Geophonauslage Wildhaus - Sargans (19,2 km). Die Distanz Säntisalp - Wildhaus beträgt ca. 8 km.

Auffallend ist das starke Reflexionsbündel über der Moho auf ca. 11.7 - 12.7 Reflexionszeit. Bei einer angenommenen mittleren Geschwindigkeit des akustischen Signals von 6 km/sek. lässt sich eine Tiefenlage der Moho von ca. 34 km berechnen. Im oberen Teil des Profils interferieren die direkten Wellen mit Reflexionen von der Basis der autochthonen Mesozoikums.

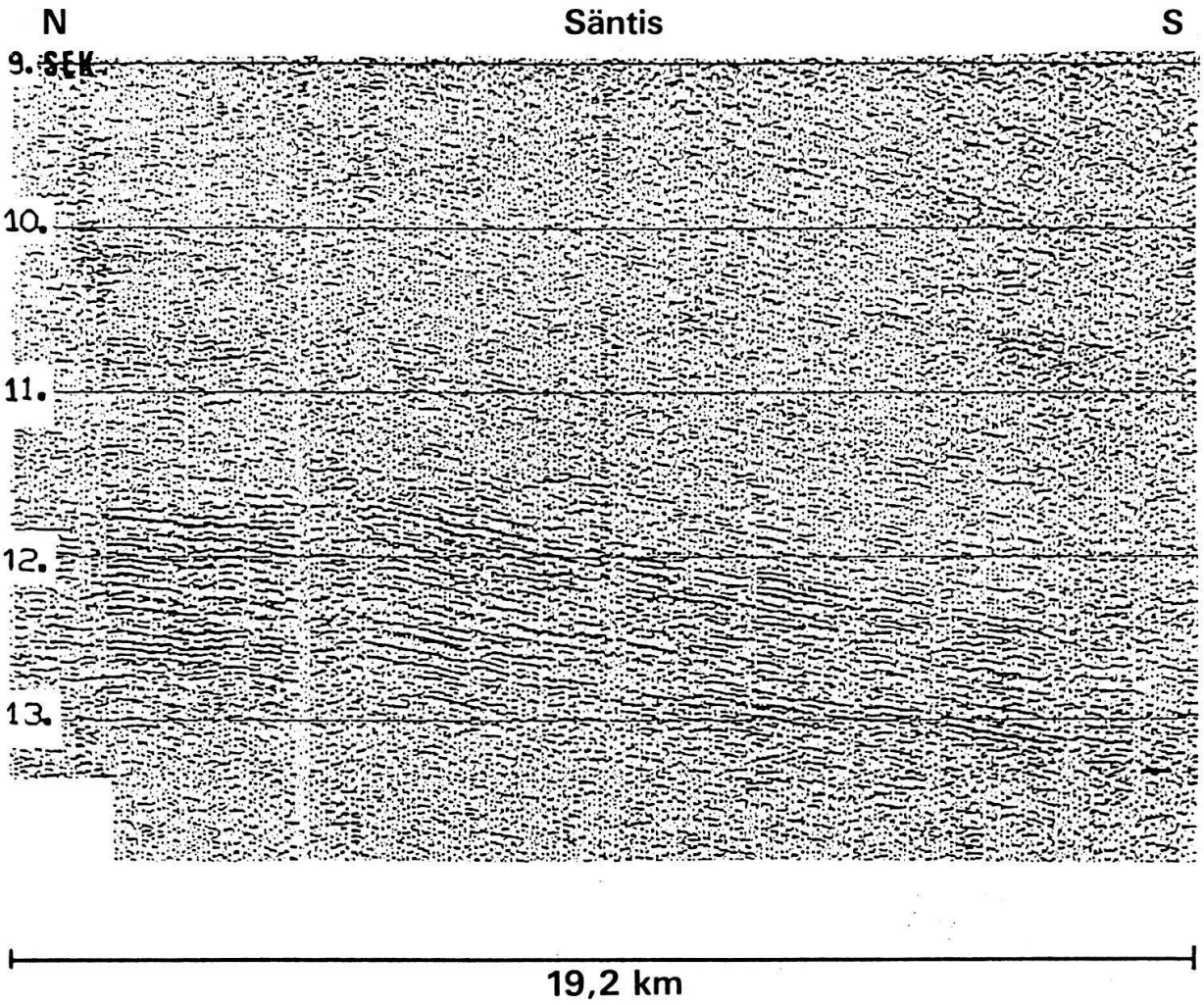

Fig. 7: Vergrösserung aus Fig. 6.
Das Reflexionsbündel oberhalb der Moho setzt sich aus Einzelreflexionen zusammen, die sich selten über mehr als 5 km korrelieren lassen. Zur Zeit wird diese Einheit als eine Übergangszone von Kruste und Mantel gedeutet, nämlich eine Wechsellagerung von Granulit oder Kinzigitgneissen mit ultrabasischen Lakkolithen, wie man das in der Ivreazone beobachten kann.

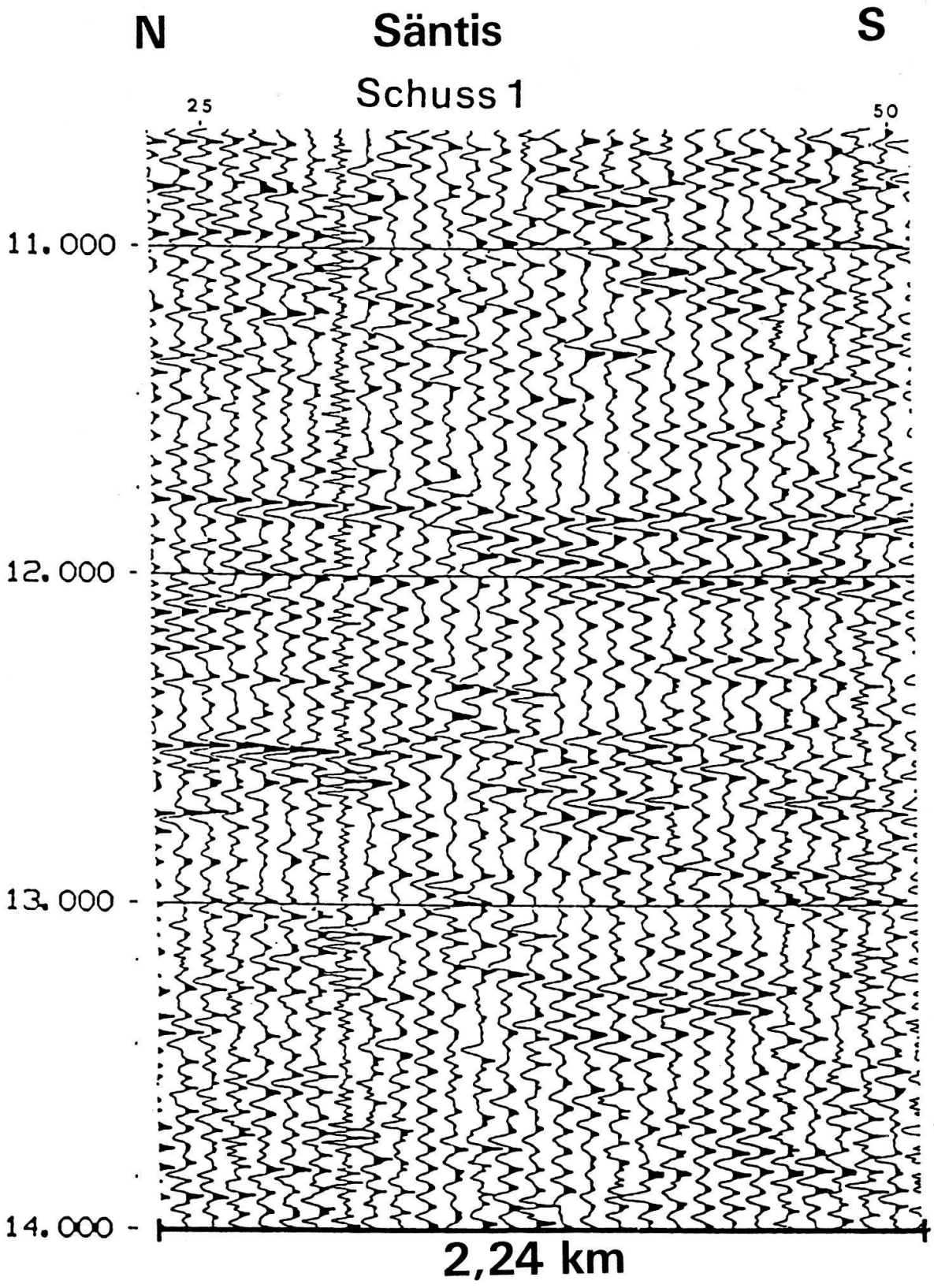

Fig. 8: Detail von Fig. 6
Dieses stark horizontal auseinandergezogene Profil zeigt die Aufnahmen der einzelnen Geophonestationen, hier im Abstand von 80 m. Eine Geophonstation besteht aus 24 Geophonen, deren gekoppelte und digitalisierte Signale einzeln abgerufen werden können. Die gesamte Auslage besteht aus 240 Stationen. Das typische Reflektorenbündel der Moho erscheint in einer Tiefenlage von ca. 11.7 bis 12.7 Sek. Reflexionszeit.

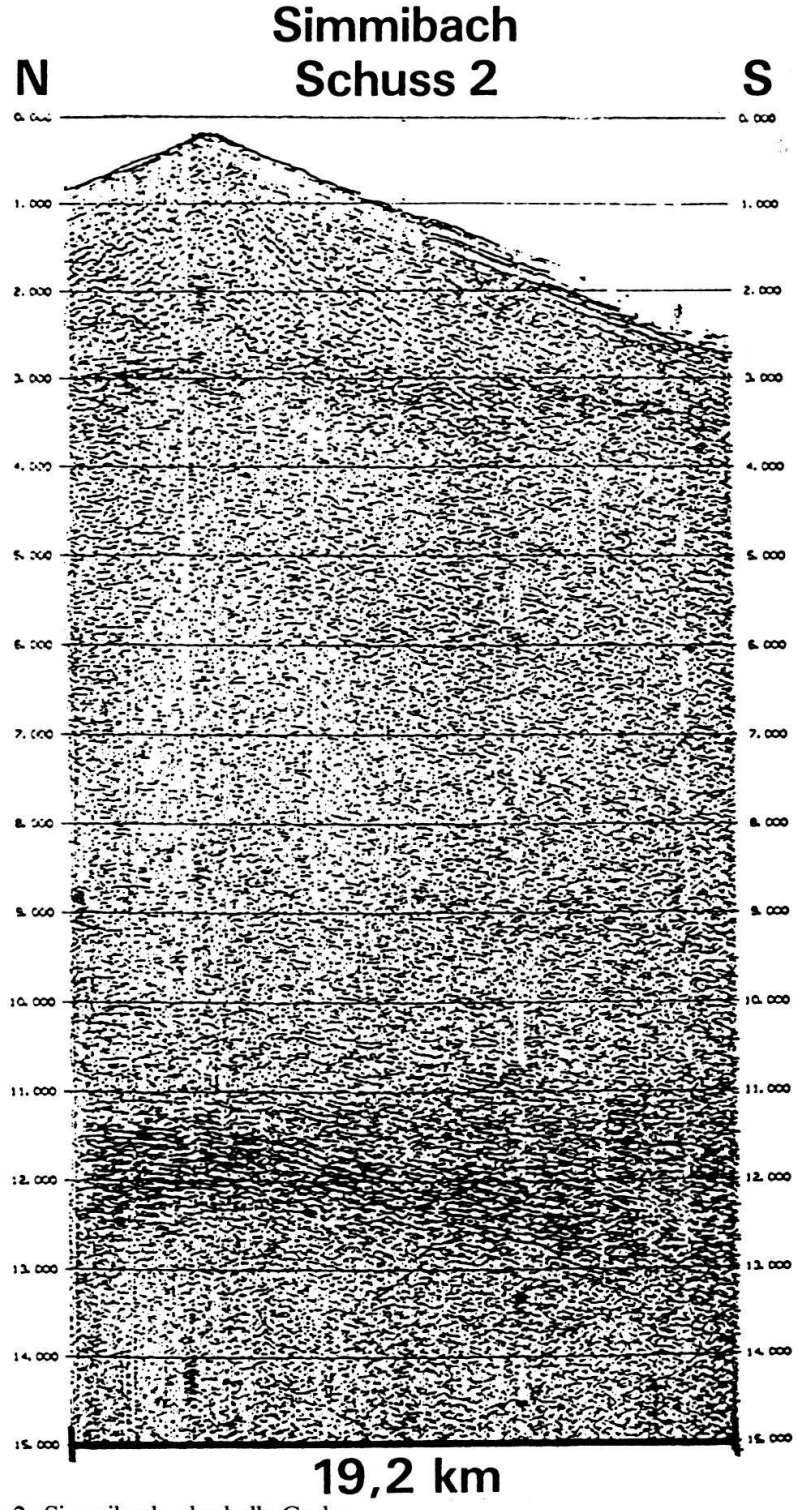

Fig. 9: Sprengschuss 2, Simmibach oberhalb Grabs.
Im tiefern Teil das Reflexionsbündel der Moho, darüber bis ca. 8 sek. gute Reflexionen in der Unterkruste. Auf ca. 3 sek. der autochthone Triasmarker des Alpenvorlandes.

Die Frage nach dem Grund der akustischen Transparenz der Oberkruste lässt sich im Bereich des Aarmassivs beantworten. Dieses Krustensegment ist nahezu vertikal strukturiert, mit steilen isoklinalen Falten und ebenfalls steilstehenden granitischen Intrusionen. Derartige Strukturen lassen sich höchstens mit 3D Seismik erfassen. Für den Strahlengang der Routine Reflexionsseismik sind derartig tektonisierte Einheiten transparent.

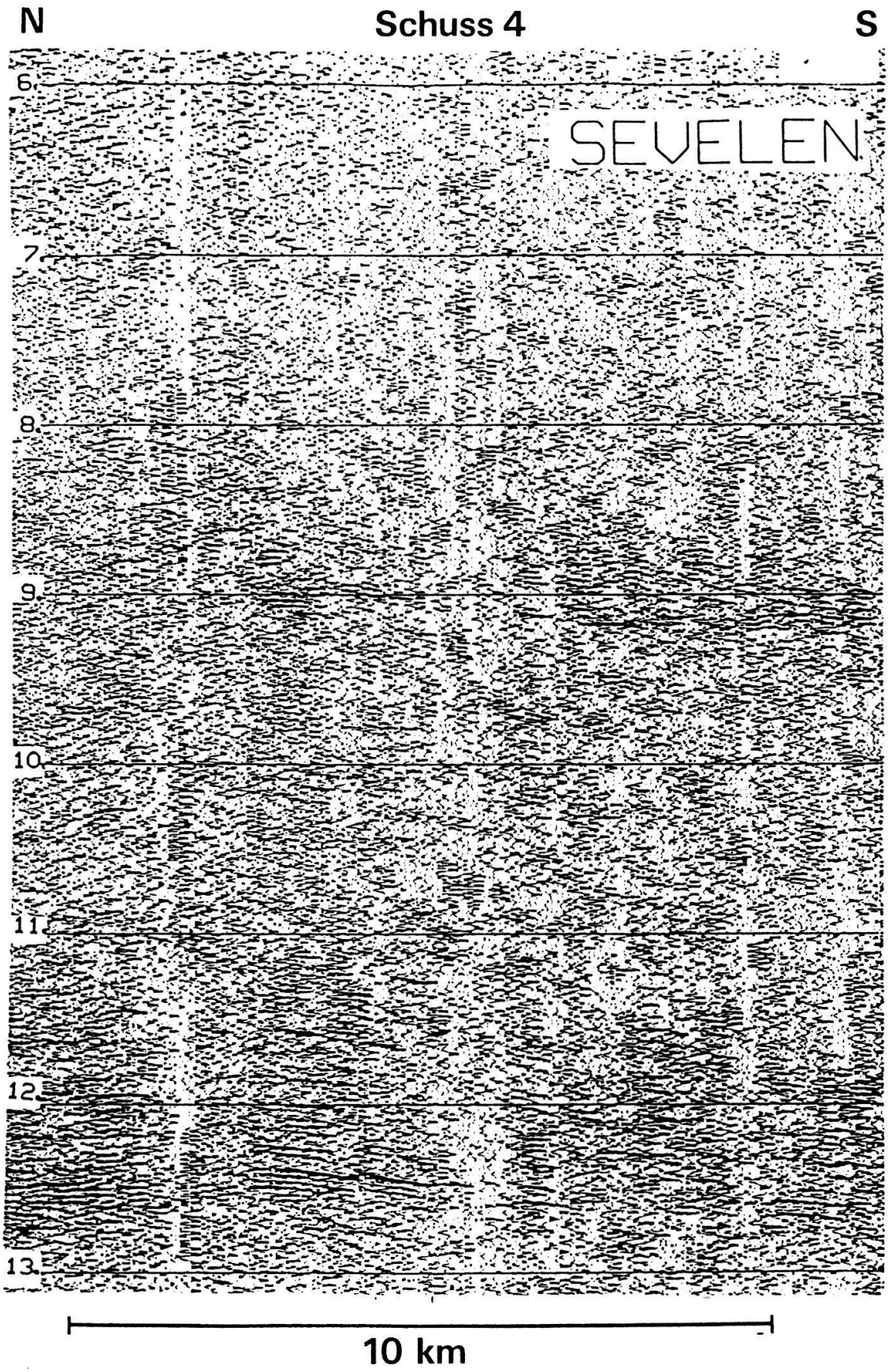

Fig. 10: Teilstück von Sprengschuss 4, Sevelen.
Das Reflexionsbündel oberhalb der Moho zwischen 12 und 13 sek., darüber die horizontal strukturierte Unterkruste. Eine Mächtigkeit von ca. 4 Sek. (10-15 km) ist typisch für die variskische Unterkruste des Alpenvorlandes. Häufig erscheint ein starker Reflektor an deren Obergrenze.

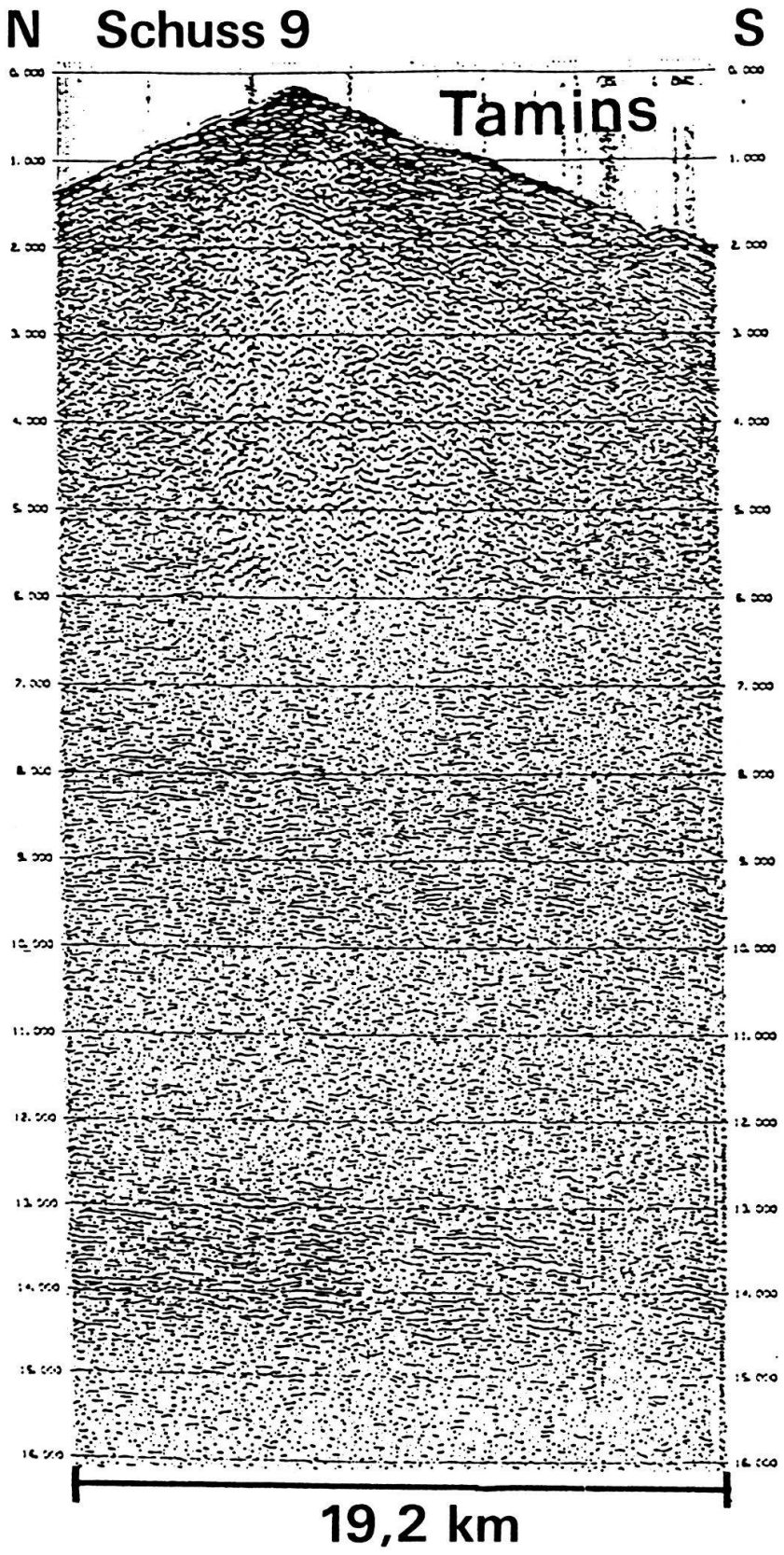

Fig. 11: Sprengschuss 9, Tamins.
Die Unterkrustenfacies mit flachliegenden Reflektoren ist bedeutend mächtiger als im Vorland. Die Oberkruste, die hier vorwiegend aus den ± vertikal strukturierten Gneissen des Aar- und Gotthardmassivs besteht, ist akustisch transparent. Die Moho ist hier auf ca. 14.3 Sek. Reflexionszeit erkennbar, die Obergrenze der Unterkruste auf ca. 8 Sek.

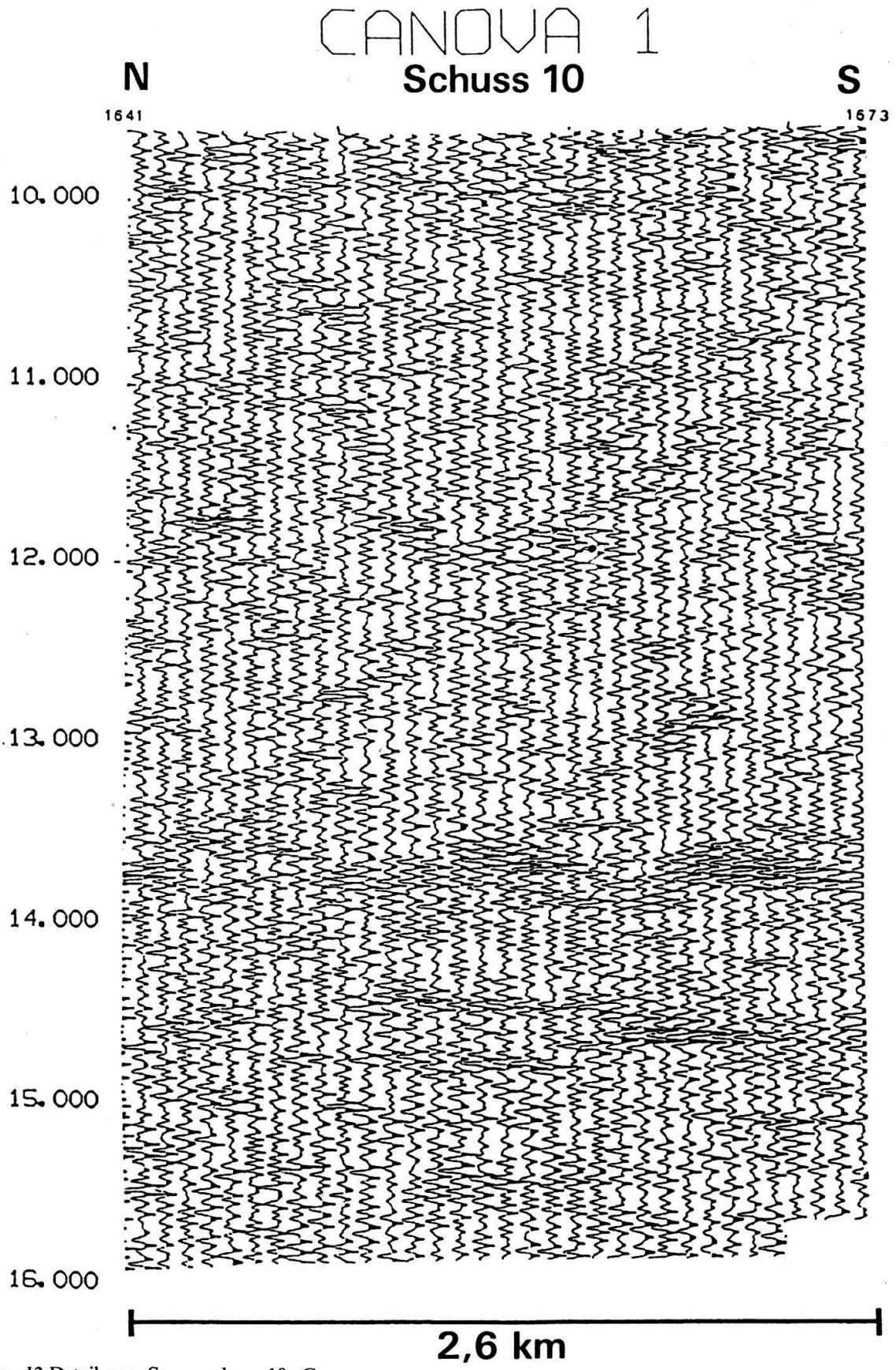

Fig. 12: Detail von Sprengschuss 10, Canova.
Die Reflexionen von Unterkruste und Moho lassen sich vom Säntisgebiet im Alpenvorland bis ins Domleschg durchgehend verfolgen. Sie fehlen jedoch zwischen Schuss 10, Canova und Schuss 14, Innerferrera. Hier ist das Reflexionsband der Moho mit etwas gutem Willen, zwischen ca. 13.8 und 14.8 Reflexionszeit noch gut zu erkennen.

Das Aarmassiv erscheint in unserem, stark vereinfachten Bild als zusammengestauchte Oberkruste, die über der flachgelagerten Unterkruste abgeschert ist.

Ein starker, nach Süden einfallender Reflektor im Domleschg (Schuss 10, 11, 12) entspricht vermutlich der Basis der mächtigen Bündnerschiefer *(Fig. 13).*

Über erwarten gut sind die Reflexionen aus dem Bereich der penninischen Decken, Tambo, Suretta und Adula *(Fig. 14).* Es stand nämlich nicht fest, ob in diesen metamorphen Serien genügend akustischer Kontrast vorhanden wäre. Die akustisch äusserst harten Marmolagen in den mesozoischen Deckentrennern spielen da vermutlich eine Rolle. Die Tatsache, dass die mesozoischen Deckentrenner mit ihren Rauhwacken und Kalken seismisch erfassbar sind, dürfte für die praktische Geologie, besonders für die Alpendurchstiche, von Bedeutung sein.

Schwieriger zu erklären ist das Fehlen von Reflexionen unterhalb der Decken. Die typischen Reflexionen der von Norden her mit etwa 15° unter die Alpen abtauchenden Unterkruste und der Moho sind südlich von Canova (Schuss 12 - 14) nicht mehr erkennbar.

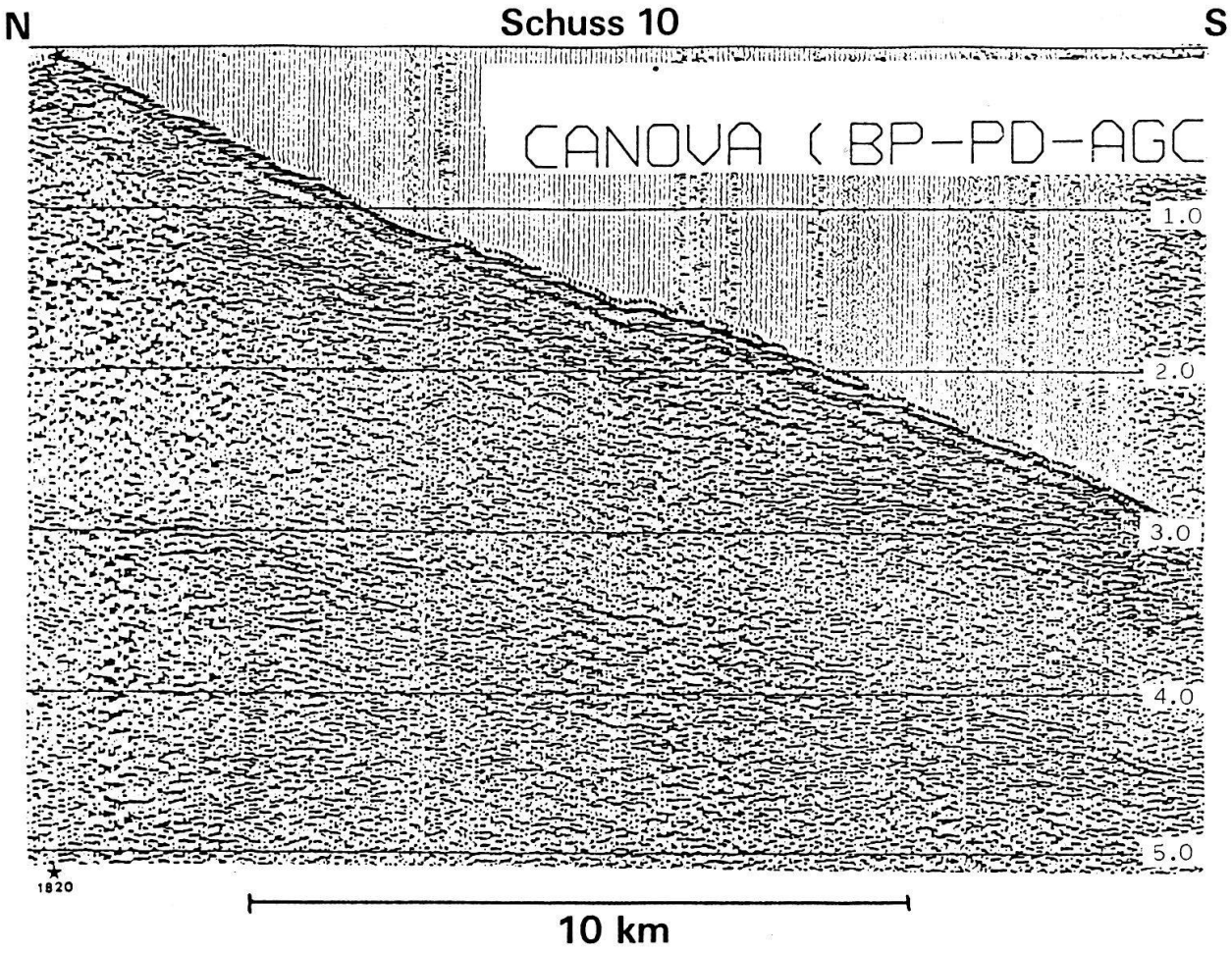

Fig. 13: Segment von Sprengschuss 10, Canova.
Das nach Süden einfallende Reflexionsbündel zwischen 2.75 und 4.75 sek. dürfte der Basis der mächtigen Bündnerschiefer im Domleschg entsprechen.

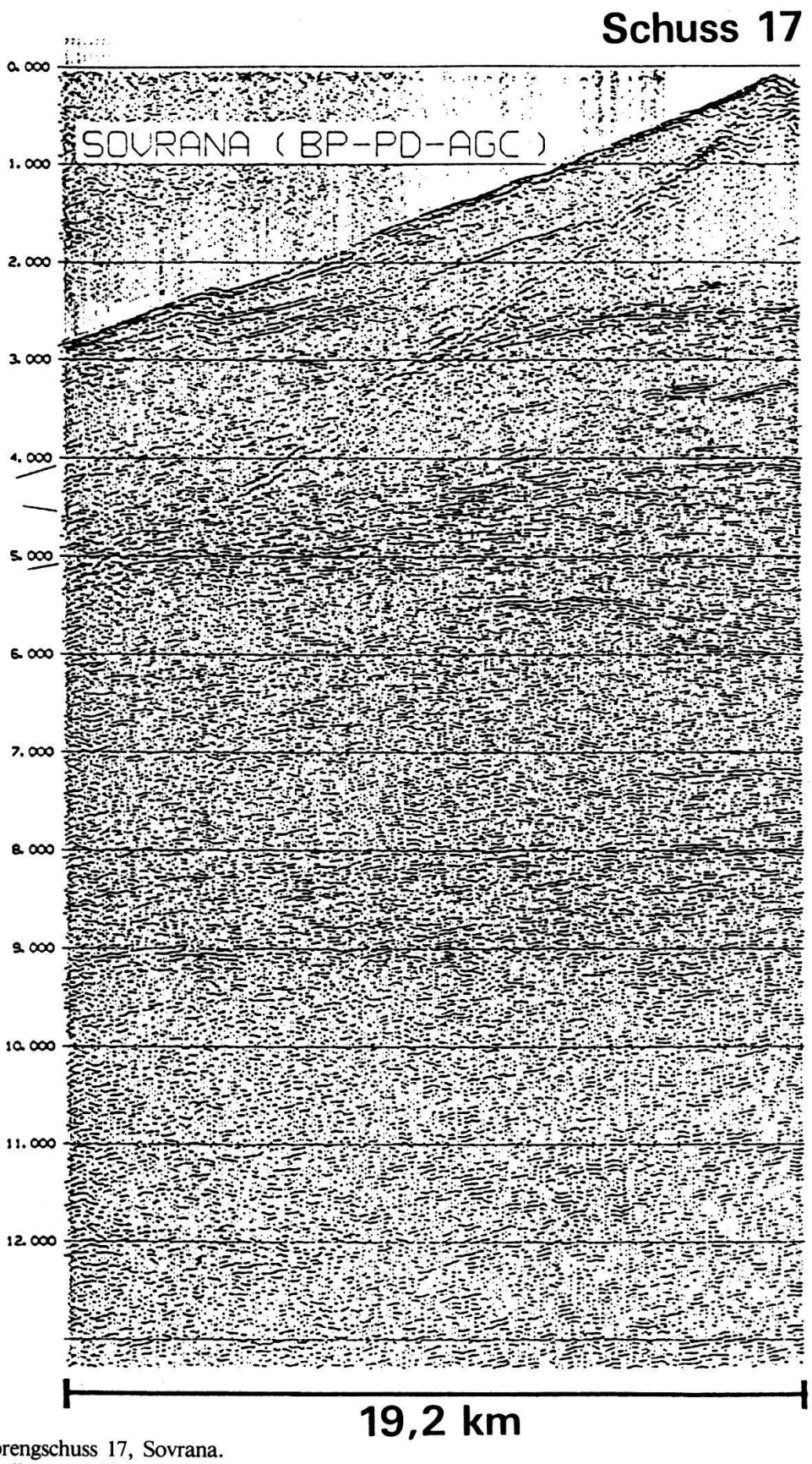

Fig. 14: Sprengschuss 17, Sovrana.
In diesem südlichsten Abschnitt des Profils erscheinen zahlreiche auffallend kräftige Reflexionen im Interval zwischen 1 und 9 sek. Es handelt sich um die hochmetamorphen penninischen Decken im axialen Bereich des alpinen Orogens. Als Reflektoren kommen vor allem die mesozoischen Deckentrenner in Frage.

Im südlichsten Segment der Traverse, im Val Madris, erscheinen erneut steil nach Norden einfallende Reflektoren aus dem Niveau der Unterkruste und der Moho. Erstaunlicherweise zeigt die Refraktionsseismik im Bereich der fehlenden Moho der Reflexionsseismik eindeutige Mohoeinsätze. Es ist denkbar, dass in der Moholücke der Reflexionsseismik die herzynische Unterkruste steil in eine Verschluckungszone abtaucht, wie das in Krustenprofilen von St. MÜLLER et al. (1980, 1986) und H. LAUBSCHER (1985) dargestellt ist. Quer durch die zur Zeit im Aufstieg begriffene alpine Verschluckungszone würde sich dann eine neue, noch unvollständig strukturierte, alpine Moho bilden.

Dass in diesem axialen Bereich der alpinen Narbe Moho und Unterkruste stark tektonisiert sein müssen, kommt in den Alpenprofilen von R. TRÜMPY (1985) deutlich zum Ausdruck. Auch dies würde die Transparenz dieser Schichten für den steilen Strahlengang der Reflexionsseismik erklären.

Falls es sich jedoch zeigen sollte, dass die herzynische Unterkruste unter den Alpen zwar nach unten durchbiegt, sich jedoch ununterbrochen nach Süden fortsetzt, müsste eine Verschluckungszone südlich der Alpen angenommen werden, wie das in den Bewegungsmodellen von WERNER and KISSLING (1985) angedeutet wird.

Unsere Daten sind jedoch noch zu ungenau und räumlich zu begrenzt, um diesem Problem ernsthaft auf den Leib zu rücken.

Was das unterschiedliche tektonische Verhalten von Ober- und Unterkruste betrifft, dürfte ferner von Interesse sein, dass nach den Angaben der Refraktionsseismik die Moho flach unter der Tessiner Kulmination durchzieht, d.h. das alpine Axialgefälle nach Ost und West nicht mit macht. Eine vorläufige Interpretation unserer Fächerschüsse im Osten der Traverse bestätigen diese Annahme. Auch diese Beobachtung lässt sich als eine Abscherung der Oberkruste über der flach strukturierten Unterkruste deuten. Interessanterweise sind auch die Erdbebenherde der Rheintallinie mit wenigen Ausnahmen auf Tiefen oberhalb 12 km, das heisst auf die spröde Oberkruste beschränkt.

Zur Zeit warten wir mit Spannung auf die Ergebnisse der gestapelten Vibroseismik und der weiter verarbeiteten Sprengschußseismik, auch werden wir im Herbst erneut Gelegenheit haben, auf der Westtraverse speziell diesen Zusammenhängen nachzugehen.

Die aufwendige EDV der voluminösen Feldarbeiten (400 Bänder) ist zur Zeit noch in vollem Gange, endgültige Resultate sind kaum vor Ende 1987 zu erwarten. Aus diesem Grunde wurde beschlossen, Rohdaten und vorläufige Interpretationen, mit der nötigen Warnung versehen, vorzeitig zu publizieren.

Literaturverzeichnis

AMPFERER, O., (1906), Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrbuch k.k. Geol. Reichsanstalt, Wien, 56: 539-622.

LAUBSCHER, H.P., (1985), The tectonics of the Western and Southern Alps: Correlation between surface observations and deep strucuture. In: D.A. Galson and St. Müller (Editors), Second EGT Workshop - The Southern Segment. European Science Foundation, Strasbourg, pp. 93-101.

MÜLLER, St., ANSORGE, J., EGLOFF, R. and KISSLING., (1980), A crustal cross section along the Swiss Geotraverse from the Rhinegraben to the Po plain. Eclogae geol. Helv., 73: 463-485.

MÜLLER, St. PANZA, G.F., (1986), Evidence for a deep-reaching lithosphesic root under the alpine arc. Dev. in Geotectonics. vol. 21. Elsevier Adam.

TRÜMPY, R., (1985), Plattentektonik und die Entstehung der Alpen. Naturforsch. Gesellschaft Zürich. Heft 5.

WERNER, D. and KISSLING, E., (1985), Gravity anomalies and dynamics of the Swiss Alps. Tectonophysics, 117: 97-108.