NFP 20 Geologische Tiefenstruktur der Schweiz : ein Bericht der Programmleitung

Autor(en): **Frei, W. / Heitzmann, P. / Lehner. P.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **58 (1991-1992)**

Heft 133

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-215199

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. 58, Nr. 133, Januar 1992 - S. 45-74

NFP 20 Geologische Tiefenstruktur der Schweiz Ein Bericht der Programmleitung*

von W. FREI, P. HEITZMANN, P. LEHNER

«Ihr werdet alles schön und doch verschieden finden und den zu reichen Schatz stets graben, nie ergründen.»

(Aus dem Gedicht »Die Alpen» von ALBRECHT von HALLER, 1728.)

NFP 20, ein Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds, wird nach 8 jähriger Dauer im Frühjahr 1993 zum Abschluss kommen. Im Herbst 1991 wurden die letzten reflexionsseismischen Profile aufgenommen - ein Profil quer zum Unterengadiner Fenster und ein Juraprofil vom Schwarzwald ins Molassebecken bei Olten.

In einem *Schlusssymposium* im Kongresszentrum *Interlaken* vom *4.-7. November 1992* sollen die Ergebnisse und Konsequenzen von NFP 20 einem breiten Publikum und der Presse vorgestellt werden. Was die alpine Seismik betrifft, kann NFP 20 nicht das Ende, sondern nur ein Anfang sein. Dieser Artikel gibt eine Uebersicht über den Verlauf von NFP 20 und einige interessante Ergebnisse.

I. Was sind Nationale Forschungsprogramme?

Nationale Forschungsprogramme ermöglichen dem Nationalfonds »gezielte Forschung zur Lösung wichtiger Gegenwartsprobleme». 12% des jährlichen Budgets von ca. 250 Millionen sind für die nationalen Programme reserviert. Die Themen werden jeweils von wissenschaftlichen Gremien dem Nationalfonds vorgeschlagen und schlussendlich vom Bundesrat beschlossen. Die Beteiligung wird öffentlich ausgeschrieben. z.Z. laufen 24 Programme, die sich mit Themen befassen wie: Sicherheitspolitik - Frauen in Recht und Gesellschaft - Künstliche Intelligenz und Robotik - Hochtemperatursupraleitung - Klimaänderung und Naturkatstrophen - usw.

Dieses letztere Thema, vor allem der Abschnitt Paläoklima dürfte für Geologen von besonderem Interesse sein. Zum Verständnis des heutigen Klimas ist eine gründliche Kenntnis der eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Klimaentwicklung unerlässlich. Daraus ergibt sich eine gute Gelegenheit für Erdwissenschafter, Sedimentologen, Limnologen, Palynologen, Mikropaläontologen, Glaziologen usw., um mit ihrer Forschung zur Lösung eines wichtigen Gegenwartsproblemes beizutragen. Besonders interessant für die heutige Zeit sind anscheinend die instabilen Uebergangszeiten von Warm- zu Kaltphasen mit erhöhter Katastrophenhäufigkeit.

Dr. W. FREI, Petrodata, Feldbachstrasse, CH-8714 Feldbach
Dr. P. HEITZMANN, Wobentalstr. 32, CH-3063 Ittingen
Dr. P. LEHNER, Speerstr. 39, CH-8805 Richterswil
* Dritter Bericht über Aktivitäten und Ergebnisse des Nationalen Forschungs-Programmes (NFP-20)

II. Die Etappen von NFP 20

1981: Der erste Entwurf zu einem Forschungsprogramm mit dem Titel »Erkundung der geologischen Tiefenstruktur der Schweiz» wurde von Prof. STEPHAN MÜLLER, ETHZ und Prof. ERNST NIGGLI, Universität Bern, dem Nationalfonds vorgelegt.

1984: Wahl der Expertenkommission.

1985: Der von der Expertenkommission ausgearbeitete Ausführungsplan wurde vom Bundesrat genehmigt und mit Fr. 10 Millionen dotiert. Davon waren Fr. 6 Millionen für Reflexionsseismik vorgesehen und Fr. 2 Millionen für Begleitprojekte reserviert, wie z.B. Refraktonsseismik, radiometrische Altersbestimmungen, Erdbebenmessungen, Präzisionsnivellement, geologische Feldaufnahmen, weitere Fr. 2 Millionen für Programmleitung und Reserven.

1986: Vermessung der Osttraverse E-1 vom Säntis an die Grenze Schweiz/Italien in Avers (Fig. l und 2). Die Ergebnisse waren gut und übertrafen die eher pessimistischen Erwartungen bei weitem.

1987: Vermessung der Westtraverse W-1 bis 4 von Zweisimmen nach Zinal resp. Visp - Zermatt ins Val d'Ayas (Italien) (Fig. 1, 2, 9, 11).

1988: Aufstockung von Fr. 1,1 Millionen zur Vermessung einer Südtraverse vom Gotthard nach Chiasso (Fig. 1 und 2). Die Begründung war, dass weder die Ost- noch die Westtraverse bis an den Südrand der Alpen reichen.

1989: Die guten Ergebnisse der 3 Einzeltraversen verstärkten den Wunsch nach zusätzlichen Profilen, um ein einigermassen dreidimensionales Bild der alpinen Strukturen zu erhalten. Man dachte dabei nicht an 3 D Seismik, die in den Alpen mit telemetrischen Methoden wohl möglich, aber ebenso un erschwinglich sein dürfte wie eine Tiefbohrung à la Bayreuth. Vorgeschlagen wurden einfüllende Profile zwischen den bestehenden Traversen und Pro file in der Streichrichtung der alpinen Strukturen.

1990: Eine Aufstockung von Fr. 3,3 Millionen ermöglichte die Vermessung folgender zusätzlicher Profile:

1. Profil E-2 und E-3 quer zur Osttraverse von Thusis nach Sent im Unter engadin (Fig. 1 und 2). Dieses Profil sollte vor allem Auskunft geben über die Krustenstruktur unter dem Engadiner Fenster und vorsorglich einen Anschluss an österreichische Krustenprofile garantieren.

2. Profile Z-1 bis Z-5 der Zentraltraverse vom Brünnigpass via Grimsel und Nufenen ins Valle Maggia, Locarno an die Schweizergrenze bei Agno (Fig. 1 und 2). Bereits bei der Planung wurden Bedenken geäussert, dass die steil stehenden Strukturen der merkwürdigen Querwurzel im Maggiatal und die Wurzelzone und Ivreazone bei Locarno mit Steilwinkelseismik nicht erfassbar wären und auch tiefere Einheiten ausblenden könnten.

3. Ein zusätzliches Profil im Unterwallis vom unteren Rhonetal bei Monthey via Martigny - Val de Bagne ins Valpellin nach Chatillion im Val d'Aosta (Italien) (Fig. 1, 2, 9). Hier ging es vor allem darum, die auf den früheren Profilen der Westtraverse sichtbare Verkeilung von Nord- und Südkruste unter der Basis des Penninikums räumlich zu erfassen.

1991: Kosteneinsparungen bei der 1990 Seismik, vor allem der Verzicht auf durch gehende Vibroseismik, ermöglichte die Aufnahme von zwei weiteren Profilen, die schon seit längerer Zeit auf der Wunschliste standen:

1. Ein Querprofil zum Unterengadiner Fenster (Fig. 1).

2. Ein Juraprofil vom Schwarzwald nach Olten (Fig. 1). Beide Profile werden in Zusammenarbeit mit Dekorp ausgeführt und zwar mit Studententeams der ETHZ und verschiedener Universitäten Deutschlands. Am Engadiner Profil beteiligte sich auch ein Messtrupp der Universität Leoben/Oesterreich.

Im Austausch mit der Petroleumindustrie wurden folgende reflexionsseismischen Profile erworben:

— Von British Petroleum ein Profil durch die Juraketten zwischen Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds mit zwei Querprofilen

— Von Petrosvibri-BEB Brigitta-Elverath ein Profil quer zur Westtraverse entlang des Val d'Jlliez im Unterwallis

— Von Swisspetrol/Sulzer zwei Profile am Nordende der Zentraltraverse im Raume Brünig - Melchtal - Sarnen

Wir sind den Erdölgesellschaften für ihr grosszügiges Entgegenkommen zu speziellem Dank verpflichtet, vor allem Dr. P. LAHUSEN von der Swisspetrol.

1992: Ausarbeitung eines Schlussrapportes, der in Buchform erscheinen soll. Vorgesehen ist ein Atlas mit seismischen Profilen und deren geologischer Interpretation. Geplant ist auch eine gekürzte, allgemein verständliche Version des Schlussrapportes, ebenfalls in Buchformat.

1993: Ablieferung des Schlussrapportes und Entlastung der Expertenkommission und der Programmleitung.

III. Was wurde erreicht?

«Ihr habt nun mehr als 15 Millionen Franken in den Boden gedonnert, was ist dabei herausgekommen?» Frage eines DRS Journalisten.

Von den nationalen Forschungsprogrammen wird erwartet, dass sie neue Daten und neue Konzepte liefern für die akademische Forschung und für die Praxis.

Die Forschungsarbeiten von NFP 20 begannen im Jahr 1986, dabei kam erstmalig Reflexionsseismik in den Alpen zum Einsatz. Die Ergebnisse sind gut. Angesichts der komplexen Struktur der kristallinen Gesteine der Alpen war das nicht selbstverständlich und verlangte einiges an Experimenten mit Sweeplänge, Stationsdichte usw. Der Alpengeologe war bisher für die Diagnose des tieferen Felsgrundes fast ausschliesslich auf Oberflächendaten angewiesen. Mit Hilfe der Reflexionsseismik können nun die Konturen der verschiedenen Gesteinsformationen im Untergrund sichtbar gemacht werden. Die Methode hat ihre bekannten Limiten, wie z.B. dass steilstehende Schichten mit Neigungen von über 30° nur mit sehr aufwendigen 3 D Seismik erfassbar sind.

In den Alpen, vor allem im zentralen Penninikum, profitierte NFP 20 jedoch vom Umstand, dass die alpinen Decken im Laufe der Orogenese in grosser Tiefe mehr oder weniger flach ausgewalzt worden sind. Das Penninikum besteht deshalb zur Hauptsache

aus ziemlich flachen Gesteinskörpern - die vielen Falten und Umbiegungen, die dem Gebirgswanderer ins Auge springen, sind sekundär.

Die Interpretation der alpinen Reflexionsseismik erfordert einiges an Wissen und Erfahrung. Für den Geologen bedeutet dies, dass er mit den Möglichkeiten und vor allem den Limiten der Reflexionsseismik vertraut sein muss, bevor er sich mit Farbstiften an die Profile heranmacht. Umgekehrt muss der Geophysiker mit der für ihn recht chaotischen Welt der Alpengeologie vertraut werden. Das Kriterium einer korrekten Interpretation ist geologisch nicht physikalisch.

Die Interpretation der Alpenprofile ist besonders schwierig, da in magmatischen und metamorphen Gesteinen kontinuierliche Reflexionen, wie wir sie von Sedimentgesteinen kennen, kaum vorkommen. Das ausgeprägte Reflexionsband der Moho z.B. zerfällt beim näheren Hinsehen in Einzelreflexionen, die selten länger als einige Kilometer sind. Für einen Erdölseismik gewohnten Geophysiker ist so etwas schockierend.

Trotz dieser Schwierigkeiten haben die Ergebnisse von NFP 20 unser Wissen um das grossräumige Deformationsbild der alpinen Kruste und den zeitlichen Ablauf der tektonischen Prozesse wesentlich erweitert. Die Konzepte der bisherigen geologischen und geophysikalischen Forschung wurden weitgehend bestätigt. Wir können weiterbauen ohne zuerst einzureissen.

Die guten Ergebnisse verdanken wir jedoch nicht allein der Reflexionsseismik, sondern der Kombination von Daten und Gedankengut von verschiedenen Disziplinen, mit andern Worten der Zusammenarbeit von Geophysikern und Geologen.

IV. Was ist neu für die Alpengeologie?

Selbst für den ausseralpinen Betrachter hat sich in den Alpenprofilen doch einiges geändert. Was die obersten 10 Kilometern der Ost- und Westalpen betrifft, konnten die Ergebnisse der früheren axialen Projektion bestätigt werden. Die neuen Erkenntnisse betreffen vor allem die Krustenstruktur unterhalb des Penninikums und die Struktur der Südalpen und der exteren Massive im Norden der Alpen.

1. Neu für die Alpengeologie ist das kontinuierliche Abtauchen der autochthonen Europäischen Kruste bis an den Südrand der Alpen. Die Alpen sind somit in der ganzen Länge als Fremdkörper auf die stabile Europäische Kontinentalplatte aufgefahren und pressen diese in die Tiefe.

2. Ebenfalls neu für die Alpengeologie ist die grossräumige Verkeilung der beiden kollidierenden Kontinente unterhalb des Penninikums. Der Adriatische Sporn der Afrikanischen Platte (auch Apulischer Sporn genannt) dringt keilförmig in die abtauchende Europäische Kruste ein. Diese wird im mittleren Krustenbereich aufgeschlitzt und der obere Teil samt den darüber liegenden Decken gehoben und nach Norden gekippt. Diese Art tektonischer Deformation wird nach H. MEISSNER Krokodilstruktur genannt.

   Der «traineau écraseur» von P. TERMIER, d.h. das ostalpine Deckenpaket wird so zum Oberkiefer eines afrikanischen Krokodils. Der tief in die Europäische Kruste eindringende adriatische Keil wird zu dessen Unterkiefer. Das europäische Krokodil hingegen stösst von Norden her defensiv mit der Schnauze in den Rachen des angriffigen afrikanischen Kollegen, usw.

Das Verkeilen und das sich gegenseitige Aufschlitzen und Aufblättern von kontinentalen Platten spielt sich in Tiefen von 20-60 km ab. Wir denken des halb nicht an starre Krustenkeile, sondern eher an mehr oder weniger flachliegende Schlingenstrukturen, wie wir sie heute steilgestellt im Kristallin der Südalpen antreffen. Das Westalpenprofil Z-1 bis Z-4 (Fig. 12) wurde in diesem Sinn interpretiert.

3. Die Ursache der axialen Kulminationen der Alpen war bereits vor 50 Jahren, d.h. zu unserer Studienzeit, ein heisses Thema. Handelt es sich um Querfalten oder Querwurzeln im Alpenbogen oder sind es Wärmedome? Als in den 80er Jahren die ersten Isohypsen der alpinen Moho erschienen, konnte die Frage präziser gestellt werden, nämlich:. Was füllt den Freiraum zwischen der Moho, die flach unter der Kulmination durchzieht, und der Aufwölbung des Penninikums und der Massive?

   Die NFP 20 Traversen zeigen, dass sich die abtauchende Nordkruste in südlicher Richtung stufenweise verdünnt (Fig. 12,17,19). In den Profilen vom Südrand der Alpen ist von der abtauchenden Kruste nur noch das Mohoband erkennbar. Dieses Mohoband ist eine Zone von auffallend starken Reflexionen an der Basis der Kruste. Es erstreckt sich über einen Intervall von etwa 1 Sekunde Reflexionszeit. Eine durchschnittliche Durchlaufgeschwindigkeit zwischen 6 und 7 km/sek. ergibt eine Mächtigkeit von 3-4 km. Das Band besteht wahrscheinlich aus einer Wechsellagerung von Mantel- und Krustenmaterial mit grossem akustischem Kontrast.

   Profile deuten an, dass die abtauchende Europäische Kruste sukzessive nach unten aufgeblättert wird. Als Abscherungshorizonte kommen verschiedene Horizonte im Dach oder innerhalb der Unterkruste in Frage bis hinunter auf das Mohoband. Der Grund dieses Aufblätterns ist nach dem Modell der Krokodiltektonik das Vordringen des adriatischen Sporns der Südkruste.

   Der Freiraum unter den Kulminationen füllt sich zunächst mit dem abgescherten Material der Nordkruste und sodann dem vordringeden Keil der Südkruste. Die axialen Kulminationen und Depressionen lassen sich somit durch ein unterschiedliches Vordringen des adriatischen Keils erklären.

4. Die externen Massive (Fig. 7, 8, 12) - das Aarmassiv und das Mt. Blanc-Aiguille Rouge Massiv wurden schon um die Jahrhundertwende als vom europäischen Sockel abgescherte und emporgestaute Einheiten gedeutet. Zur Diskussion stand der Horizontalbetrag der Verfrachtung und vor allem die Tektonik der Nord- bzw. der Nordwestfront der Massive.

   Die Profile W-5 im untern Rhonetal und Z-1 im Aaretal zwischen Meiringen und Handegg zeigen Ueberschiebungsbeträge von 10-15 km entlang der Front der Massive. In beiden Profilen stösst ein Kristallinkeil in die Kerbe zwischen der nach Norden abtauchenden Basis der Helvetischen Decken und dem autochthonen Mesozoikum in das Molassebecken vor. Es handelt sich hier vermutlich um eine der jüngsten Strukturen der alpinen Tektonik, im Zusammenhang mit der Hebung der Massive. Die Struktur der Nordfront der Massive wechselt jedoch von Profil zu Profil und ist zum Teil recht schwierig zu interpretieren. Der Südrand der Massive südlich der Rhein-Rhone Linie zeigt hingegen ein einheitliches Bild.
   Ein auffallendes Band von starken Reflexionen im Dach der Massive, das dem abtauchenden Helvetikum entspricht, lässt sich auf allen Traversen unter das Penninikum bis in die Wurzelzone durchziehen (Fig. 7, 12, 17). Die akustisch transparente Zone des Aarmassivs wird nach unten durch nach Norden bzw. nach Nordwesten einfallende Reflexionen begrenzt. Im Gesamtbild zeigt das Aarmassiv somit eine

Fächerstruktur mit einem weit nach Süden ausladenden Flügel. Es handelt sich hier nicht um eine Ueberschiebung in südlicher Richtung, sondern um ein Aufblättern der abtauchenden Kruste durch den nach Norden vorstossenden adriatischen Keil.

5. Die Deckenstruktur der Südalpen, wie sie von H. LAUBSCHER auf Grund von «material balance» Ueberlegungen postuliert war, wurde durch die NFP 20 Seismik bestätigt (Bild 19, 20, 21).

   Das insubrische Kristallin und die Lombardischen Kalkalpen zeigen sich als ein vom vorrückenden adriatischen Sporn abgestreiftes und nach Süden zurückgeworfenes Deckenpaket. Die Deckenstruktur in den Sedimenten der Lombardischen Kalkalpen war bereits früher bekannt, wenn auch nicht allgemein akzeptiert.

   AGIP Profile in der Poebene zeigen die Deckenfront unter der Molasse südlich von Mailand und Bergamo. Die Strukturen wurden vom Messiniano (oberstes Miozän) diskordant überlagert. Die grossen Oelakkumulationen dieser Gegend befinden sich in den Triassischen Dolomiten und Jurakalken einzelner Decken. Die Profile der Alta Brianza östlich von Como zeigen das Reflexionsband des Hauptdolomit dreifach übereinander gestapelt. Grössere Gasakkumulationen wurden in Messiniano und der darüberliegenden Molasse gefunden (VSP Bull. 54).

V. Was wurde getan für die geologische Praxis?

Die Verdoppelung der Moho am Südrand der Alpen und die Verkeilung der kontinentalen Krusten in der Tiefe unterhalb 20 km hat für die geplanten Alpendurchstiche kaum Konsequenzen. Im Ausführungsplan von 1985 war jedoch klar gesagt, dass NFP 20 neue Daten liefern soll in Bezug auf Rohstoffe, Energiequellen, subterane Verkehrswege, das Verständnis und die Vorhersage von Erdbeben, die Zirkulation des Grundwassers, Speichermöglichkeiten und andere Probleme.

Daraus erwuchs für NFP 20 als erstes die Aufgabe nach geeigneten Methoden und Instrumentarien zu suchen, die den Problemen in den untiefen Gesteinslagen und dem Lockergestein gerecht werden konnten. Diese Aufgabe steht mit der Tiefenseismik in direktem Zusammenhang, da bekanntlich das sogenannte Verwitterungsproblem, d.h. die Geschwindigkeitsverteilung in den obersten Lagen für die statischen Korrekturen sehr wichtig ist.

Die Ergebnisse der seismischen Messungen in den verschiedenen Alpentälern mit kleinen Sprengladungen und mit Fallgewichten als Energiequelle werden im Schlussbericht vorgestellt.

Das NFP 20 beteiligte sich im Rahmen des Projektes »Geothermoval» an der Suche nach geothermischer Energie im Kanton Wallis. Im Rhonetal und seinen Seitentälern gibt es bekanntlich mehr als ein Dutzend Thermalquellen, von denen Brigerbad, Leukerbad und Lavez les Bains kommerziell genutzt werden. Die Tiefenwässer in diesem Gebiet sind bedeutend wärmer als die Quellen bei Baden, Schinznach oder Valens.

Bisher wurden unter Beteiligung des NFP 20 sieben seismische Profile im Rhonetal aufgenommen. Die Messungen zeigen die Topographie der Felsoberfläche unter dem Lockergestein der Talfüllung (Fig. 9 und 22). Es sind Versuchsbohrungen in vermutlich thermalwasserführende Schichten bis in 500 m Tiefe vorgesehen. Der erste Bohrstandort befindet sich ca. 2 km SE von St. Maurice.

Die seismischen Ergebnisse sind insbesondere aus quartärgeologischen Gesichtspunkten aufschlussreich, betragen doch die Mächtigkeiten des Lockergesteins in der Talfüllung des Rhonetals bei Martigny rund 1000 m! Der Felsuntergund von der Schwelle bei St. Maurice bis Sion liegt mehrere hundert Meter unter dem heutigen Meeresspiegel. Auf den vier Querprofilen im Rhonetal zwischen Martigny und Sion erscheint in Tiefen von 100 bis 250 m eine regelmässig gebankte Sedimentserie, die wir als Seeablagerungen deuten. Auf einem Profil bei Bramois, d.h. ca 1,5 km östlich von Sion, beträgt die grösste Mächtigkeit des Lockergesteins über dem Fels nur noch 400 m. Seismische Signaturen von Seeablagerungen sind auf diesem Profil keine mehr vorhanden.

Der Genfersee dürfte sich im Vorfeld des sich zurückziehenden Rhonegletschers demnach bis nach Sion erstreckt haben. Die aus diesen seismischen Profilen gewonnenen Erkenntnisse erlauben genauere Angaben zur Erstellung einer Tiefenkarte des Felsuntergrundes zwischen St. Maurice und Sion, ein für Quartärgeologen nützlicher Beitrag zu den Fragen der Alpenrandseen und der übertieften Alpentäler.

VI. Was bleibt zu tun?

Gemäss Ausführungsplan hat das NFP 20 die Aufgaben «Nachwuchskräfte heranzubilden» und diese mit «fortgeschrittenen Methoden der seismischen Datenerfassung, EDV-Auswertung und Interpretation vertraut zu machen».

Die Ergebnisse des NFP 20 zeigen, dass die Reflexionsseismik auch in den tektonisch komplexen alpinen Verhältnissen brauchbare Information über die Struktur und Zusammensetzung des Felsuntergrundes liefert. Voraussetzung dazu ist eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen beratenden Geologen und Ingenieuren einerseits und dem ausführenden Geophysiker andererseits.

Ein Blick über die Landesgrenzen zeigt, dass die seismischen Erkundungsverfahren in unseren Nachbarländern besser bekannt und akzeptiert sind. Dies mag seine Gründe in der bei uns weitgehend fehlenden Bergbautradition haben. Die in der Schweiz geringe Nachfrage nach neuen geophysikalischen Prospektionsverfahren und die für seismsiche Untersuchungen relativ hohen Kosten für Datenerfassungs- und EDV-Anlagen haben nur zögernd und in geringem Ausmass ein qualifiziertes Angebot auf diesem Gebiet entstehen lassen.

Dank der in den vergangenen Jahren rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Mikroelektronik und der Computertechnologie stehen heute dem Geophysiker kompakte und kostengünstigere Datenerfassungs- und EDV-Geräte zur Verfügung. Sie ermöglichen den Einsatz seismischer Erkundungsverfahren für alle Tiefenbereiche, auch bei Abklärungen ingenieurgeologischer und umweltphysikalischer Natur, zu Preisen, die um ein Mehrfaches tiefer als vor zehn Jahren liegen.

Die Zukunft der Reflexionsseismik für Industrie und Forschung liegt in der durch die Erdölindustrie heute schon weit entwickelten und verbreitet angewandten drei-dimensionalen Datenerfassung und -auswertung. Gegenwärtig sind die Kosten für solche flächendeckende Seismik für ingenieurgeologische Anwendungen in den meisten Fällen immer noch prohibitiv. Es bestehen jedoch berechtigte Hoffnungen, dass in nicht allzu ferner Zukunft die 3-D Methode auch für kleinere Budgets erschwinglich wird.

Postscript

Wie sich das für ein gutes Forschungsprogramm gehört, hat NFP 20 eine Anzahl wichtiger Probleme der Alpengeologie gelöst und dafür im Sinne Hallers zweimal mehr neue aufgeworfen. Im Licht der Plattentektonik haben wir erstmalig eine kontinentale Kollisionszone tiefgründig und mit allen der Erdwissenschaft zu Verfügung stehenden Mitteln studiert und damit, so hoffen wir, neuen Schwung in die Alpengeologie gebracht.

Literatur

A. Was die Publikationen über die Ergebnisse von NFP 20 und unseren europäischen Partnern DEKORP (BRD) - ECORS (Frankreich) - CROP (Italien) betrifft, sind bereits zwei Sammelbände als Ergebnis von zwei Symposien erschienen.

1. Deep structures of the Alps - Paris Symposium.
   Herausgegeben von der Geologischen Gesellschaft der betreffenden Länder Mém.Soc.Géol.Suisse, Mém.Soc.Géol.France, Spec.Soc.Géol.Ital, 1990.
2. Deep Seismik Profiling of the Continental Lithosphere.
   Bayreuth Symposium, Geophys.Journal Int. 105, 1991.

Beide Bücher können bei Dr. P. HEITZMANN bestellt werden (Tel.031 67 76 85, FAX 031 67 76 81).

B Anstelle von zahlreichen Referenzen verweisen wir den für die Alpengeologie interessierten Leser auf den Artikel von Prof. R. Trümpy (47 Seiten) mit dem Titel: Plattentektonik und die Entstehung der Alpen. Naturforschende Gesellschaft Zürich, Heft 5, 1984.

Dieser Artikel wurde angeblich für Laien geschrieben, dürfte aber auch für den Geologen und Geophysiker saftig genug sein.

Fig. 1-22, S. 53-74 →

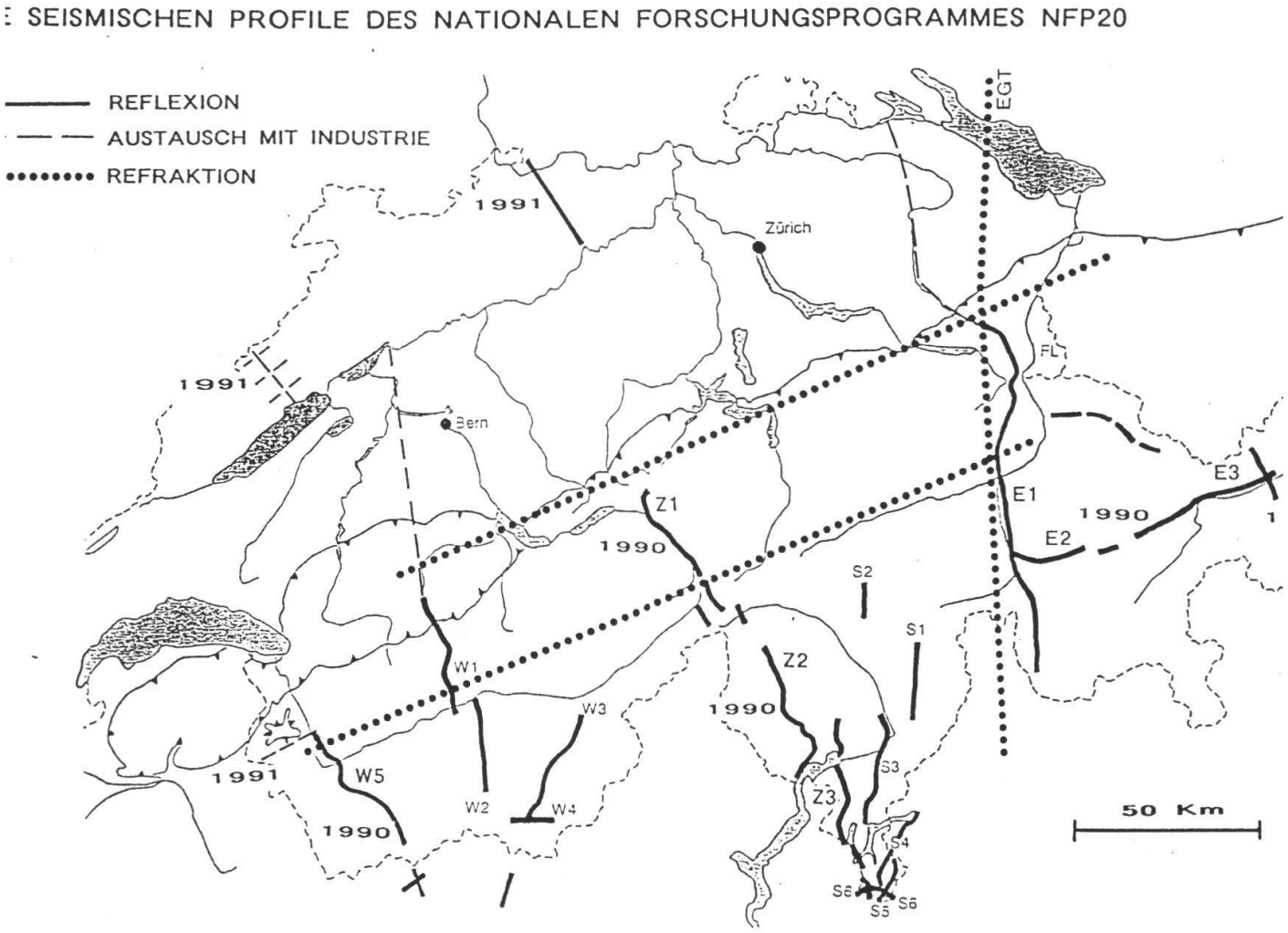


Fig. 1 Lage der seismischen Profile von NFP 20.
Die Feldaufnahmen erfolgten jeweils in den Herbstmonaten der Jahre 1986 bis 1991. Die mit EGT bezeichnete Refraktionslinie ist ein Teilstück der Europäischen Geotraverse. Die gestrichelten Linien wurden im Austausch mit Erdölfirmen erstanden.

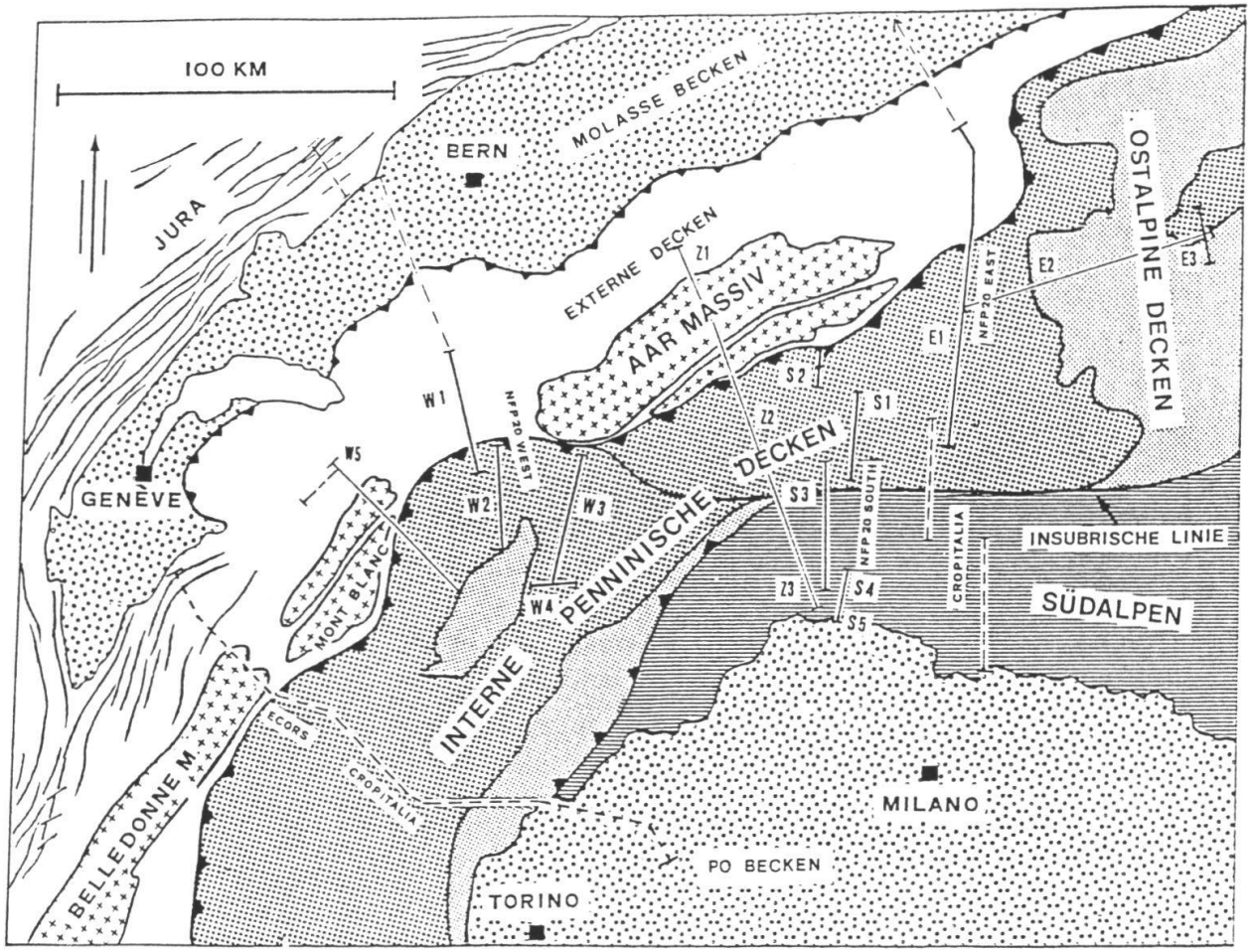
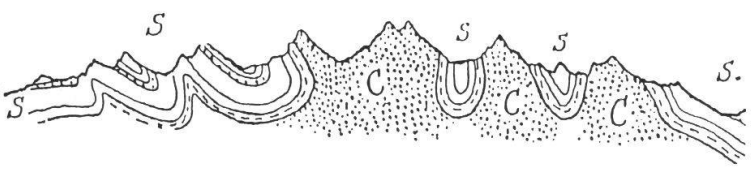
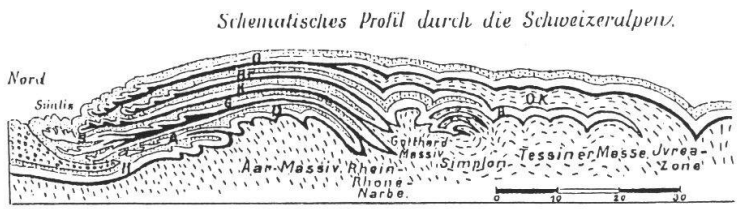


Fig. 2 Tektonische Karte mit der Lage der seismischen Profile von NFP 20.
ECORS (Etude continental et océanique par reflexion et refraction sismique) und CROP (Crosta Profonda Italia) in den Westalpen resp. Südalpen.



STUDER 1830

G.STUDER 1830



C. Schmidt, A. Buxtorf & H. Preiswerk. Geolog. Führer 1907.

C.SCHMIDT 1907

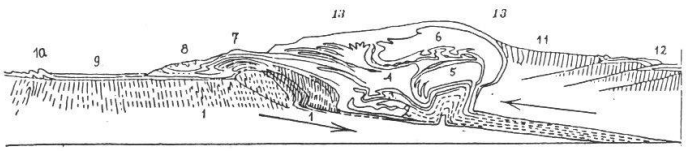
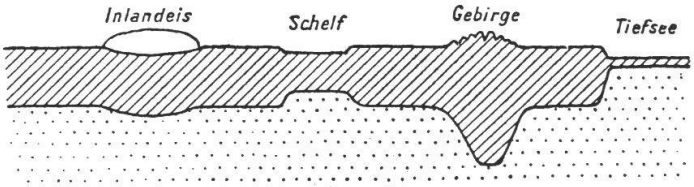


Fig. 18. Profil der Alpen in der insubrischen Dislokationsphase, nach E. Argand.

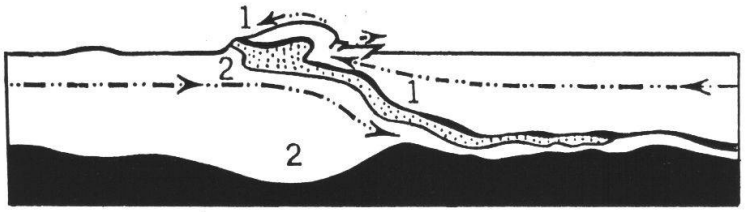
E.ARGAND 1911

WESTALPEN



Schnitt durch die Lithosphäre nach der Isostasielehre.

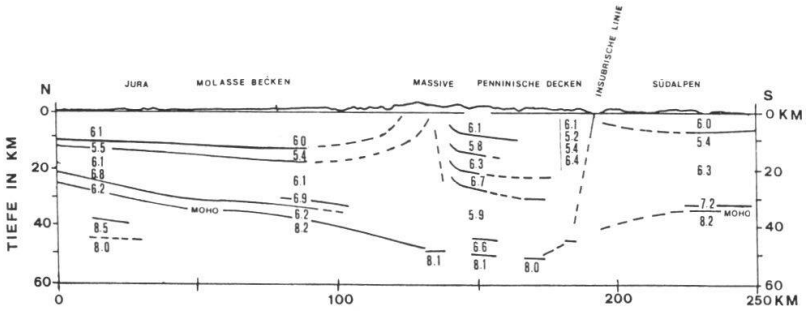
A.WEGENER 1924



E.ARGAND 1924

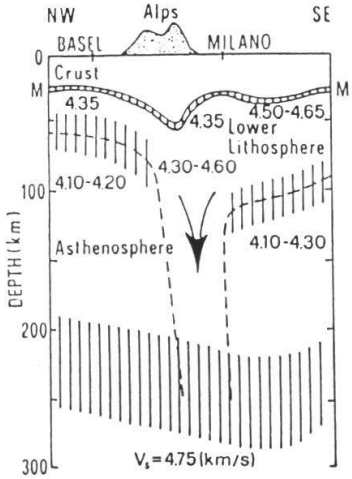
WESTALPEN

Fig. 3 Diese Serie von historischen Alpenprofilen ist als Einführung in die Problemstellung von NFP 20 gedacht. E. ARGAND, gestützt auf das von MOHOROVIC (1910), WEGENER, PRATT und AMPFERER entwickelte Gedankengut; entwarf die ersten Krustenprofile der Alpen.



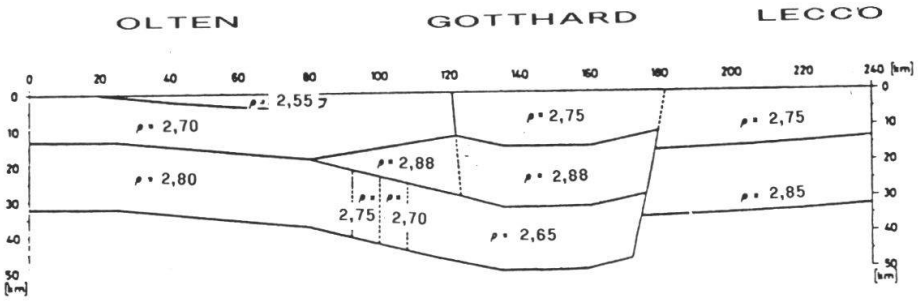
ST.MÜLLER 1976

REFRAKTIONSSEISMIK



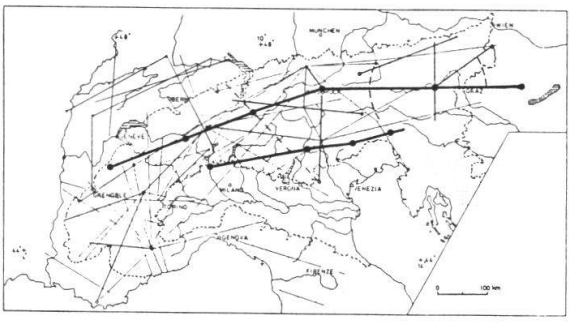
ST.MÜLLER 1979

SEISMIK-TOMOGRAPHIE. S-WELLEN



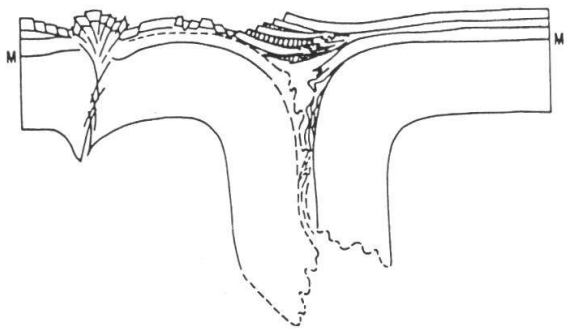
H.KAHLE 1980

DICHTEVERTEILUNG

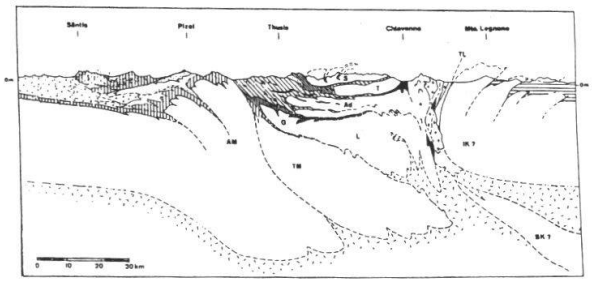


REFRAKTIONSPROFILE BIS 1976

Fig. 4 1956 hielt die Refraktionsseismik Einzug in die Alpen (Westalpen). Erste Ergebnisse aus den Zentralalpen erschienen in den sechziger Jahren (ANSORGE, 1968). Die ersten kontinuierlichen Längsprofile wurden in den siebziger Jahren aufgenommen. Damit begann die systematische Erforschung der tieferen Krustenstruktur der Alpen.

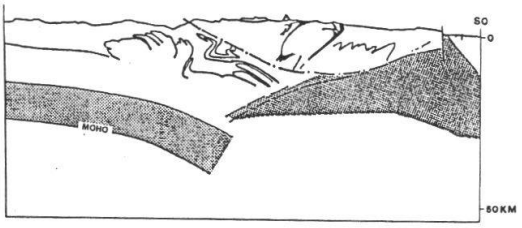


H.LAUBSCHER 1975



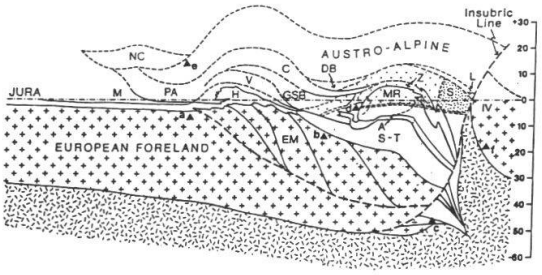
R.TRÜMPY 1986

OSTALPEN



H.LAUBSCHER 1986

WESTALPEN



J.PLATT 1986

WESTALPEN

D.ROEDER 1987

OSTALPEN

Fig. 5 Geologische Profile durch die Alpen vor NFP 20.
Das Axialgefälle beidseitig der Tessinerkulmination ermöglichte eine geometrisch einwandfreie Konstruktion von Profilen in den Walliser- und Bündneralpen bis in eine Tiefe von 10-15 km.
Diese Konstruktion, basiert auf axialer Projektion, setzte einen gewissen Zylindrismus der Alpinen Strukturen über Distanzen von 50-100 km voraus.

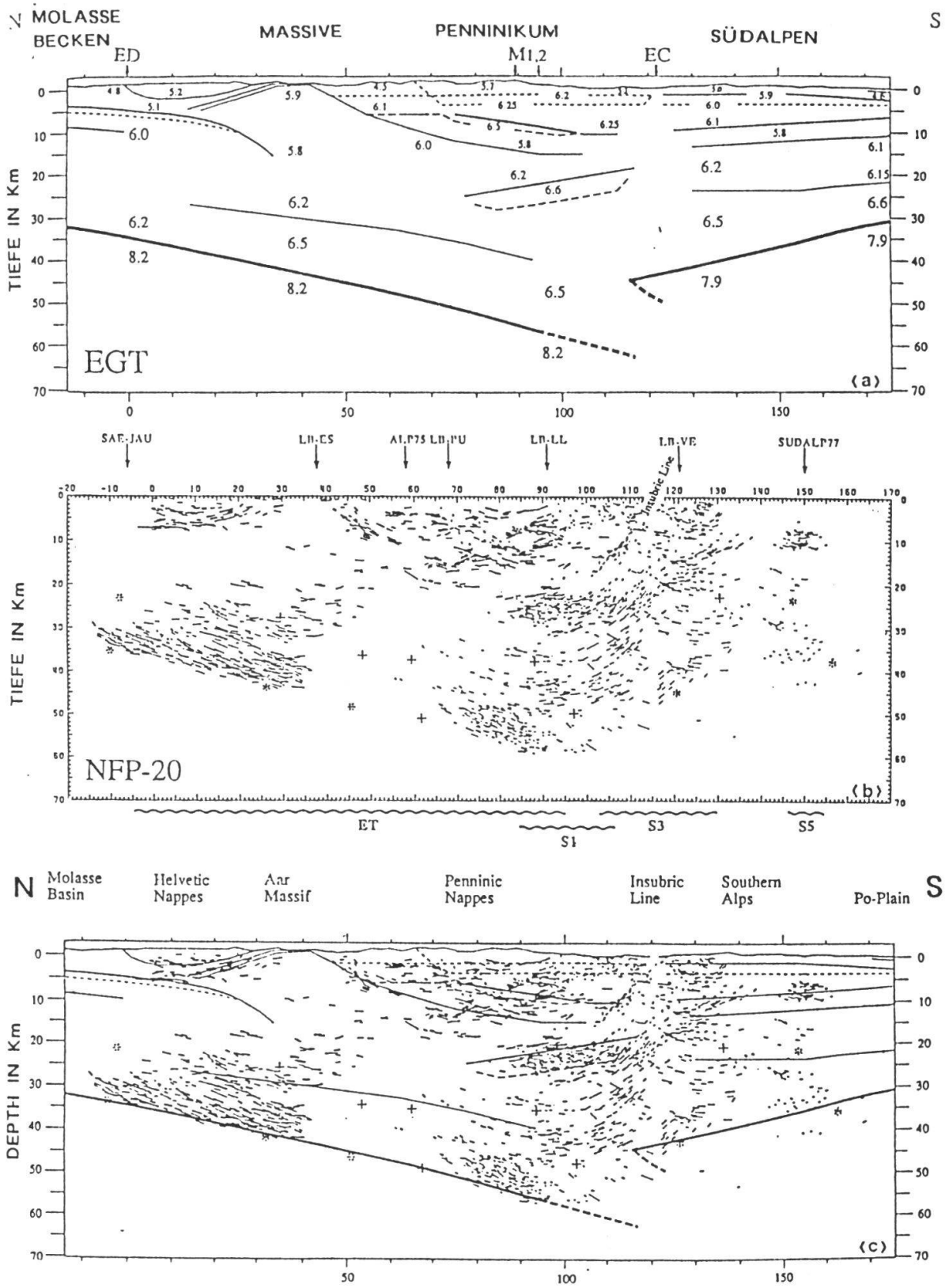


Fig. 6 Alpines Krustenprofil, basiert auf NFP 20 Seismik, nach einem Profil der Zürcher Arbeitsgruppe für Tiefenseismik (1990). Dieses Profil ist das Ergebnis einer kombinierten Auswertung von Refraktonsseismik (EGT und frühere Profile) und Reflexionsseismik von NFP 20 (E-1 und S-1, 2, 3). Gesicherte Weitwinkelreflektionen von Querprofilen sind mit Sternchen, unsichere mit Kreuzchen bezeichnet. Die Steilwinkel-Reflektionsseismik zeigt eine merkwürdige Lücke in der Reflektion von Unterkruste und Moho. Diese Lücke wird jedoch durch Refraktonsseismik und Weitwinkelreflektionen eindeutig überbrückt.

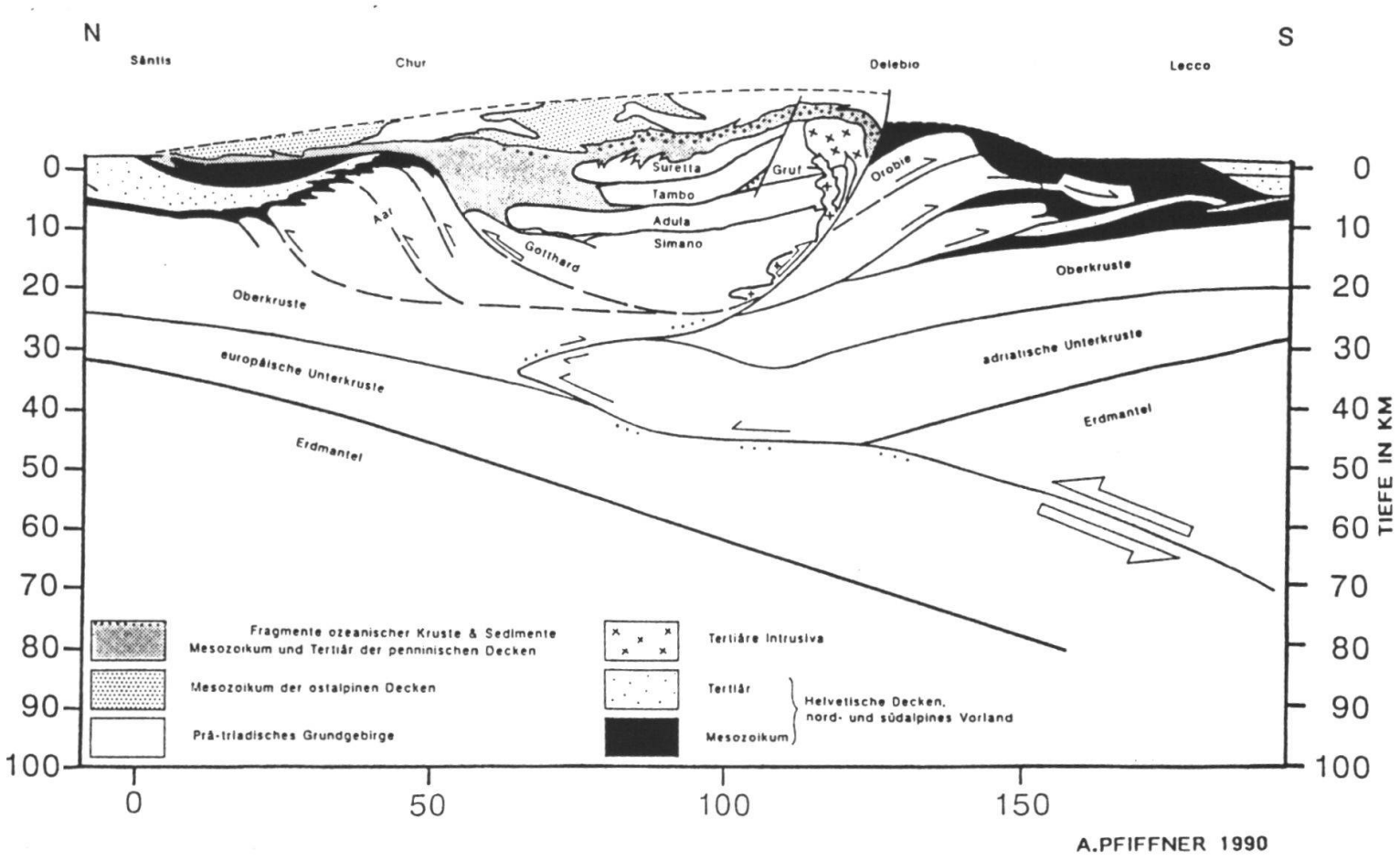


Fig. 7 Geologisches Krustenprofil entlang der Ost- und Südtraverse von A. PFIFFNER. Es handelt sich hier um die erste zusammenfassende geologische Interpretation der NFP 20 Seismik. Neu ist die Deckenstruktur des insubrischen Kristallins am Südrand der Alpen, das kontinuierliche Abtauchen der Europäischen Kruste bis an den Südrand der Alpen und das keilartige Vordringen des Adriatischen Sporns, der sogenannten Afrikanischen Kruste, unter die Alpen.

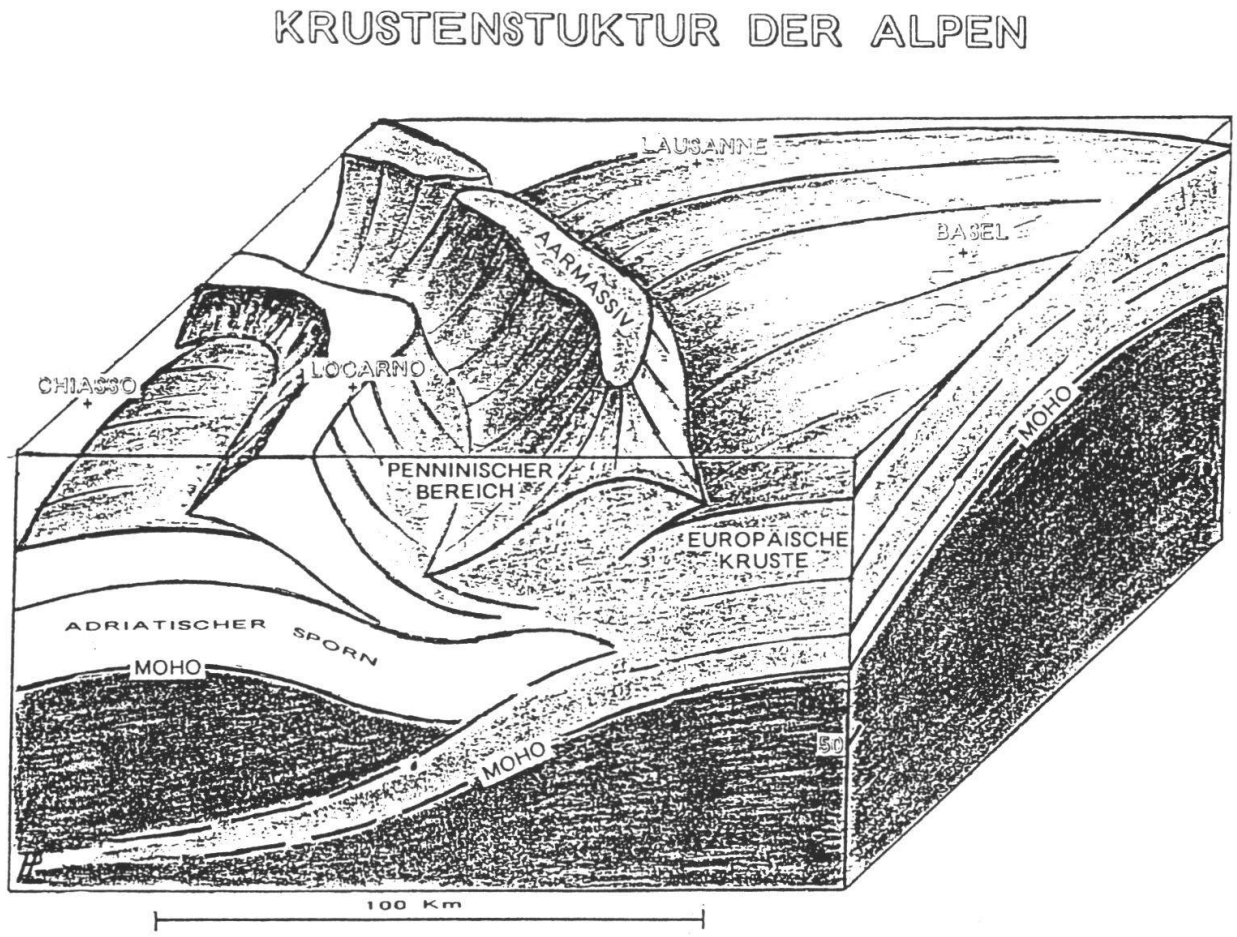


Fig. 8 Stark schematisiertes Blockdiagramm der Krustenstruktur der Alpen. Gezeigt ist die Stuktur des Grundgebirges der beiden kollidierenden Kontinentalschollen. Der Penninische Deckenstapel in der Mulde zwischen den Massiven im Norden und dem insubrischen Kristallin im Süden ist weggelassen. Dieses Diagramm ist eine stark vereinfachte Wiedergabe der Ergebnisse von 3D seismischer Modellierung der NFP 20 Seismik durch P. VALASEK von der ETHZ.

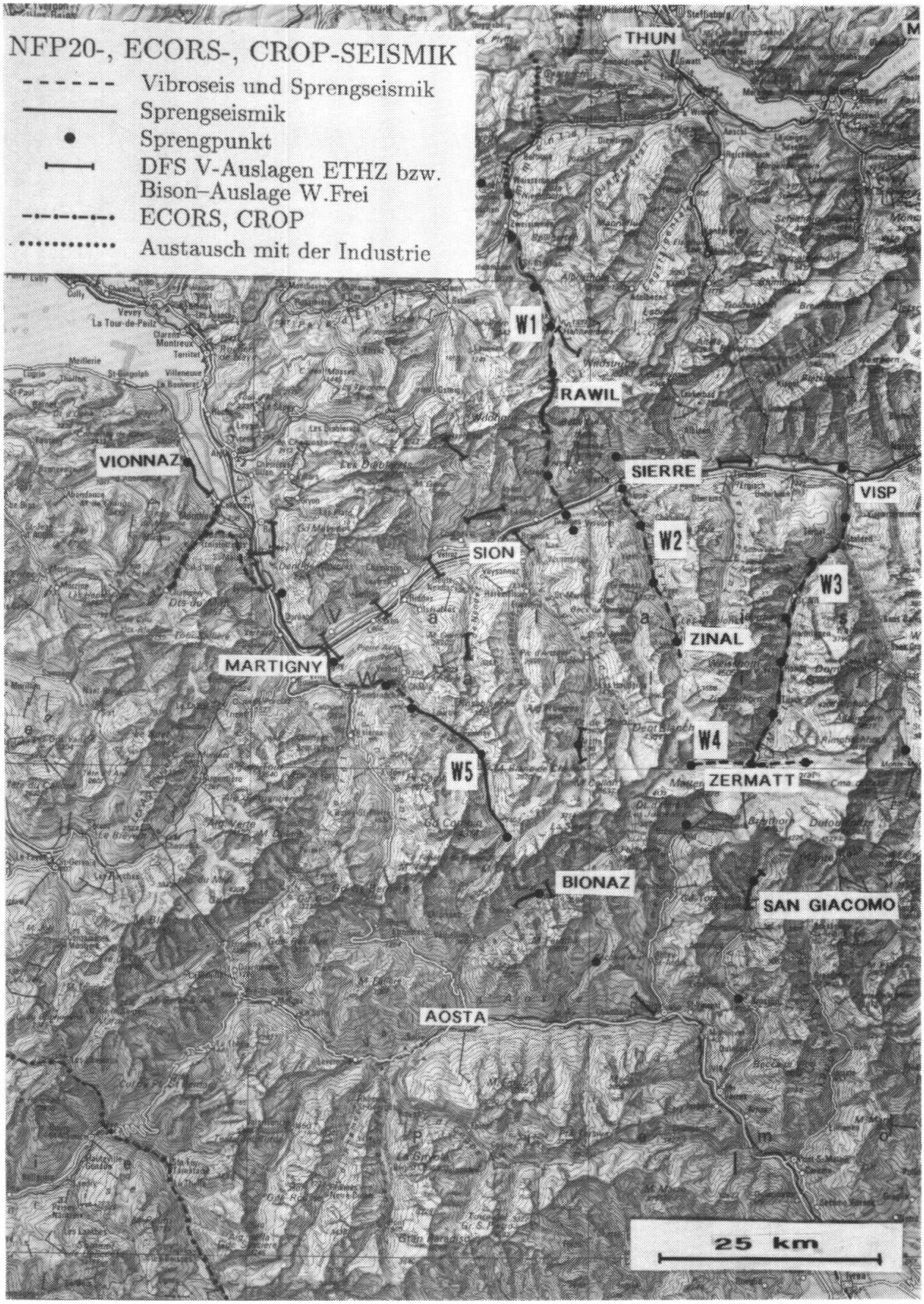


Fig. 9 Lage der NFP 20 Seismik Profile im Bereich der Westalpen.

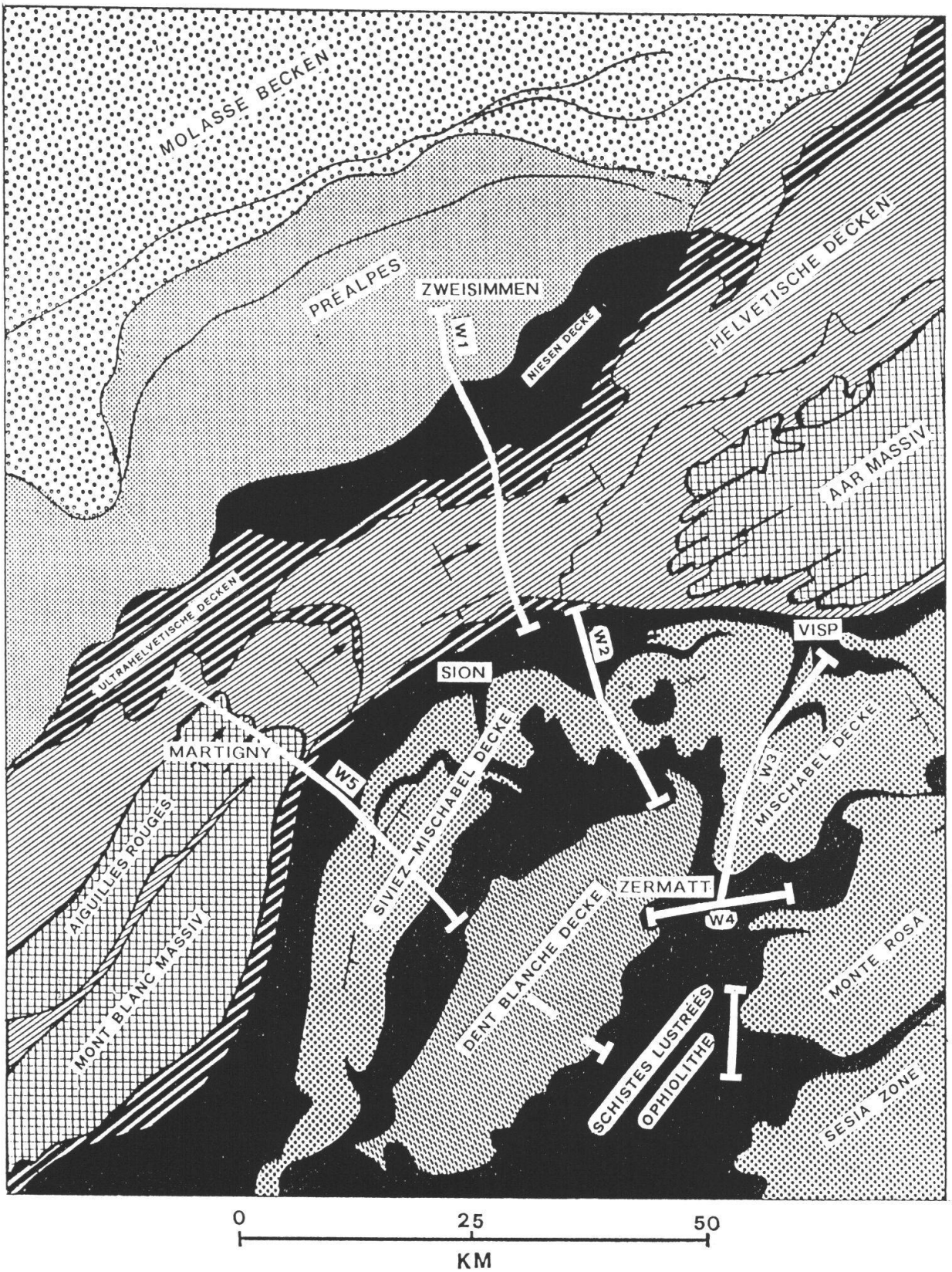


Fig. 10 Tektonsiche Karte der westlichen Schweizeralpen mit der Lage der NFP 20 Profile.

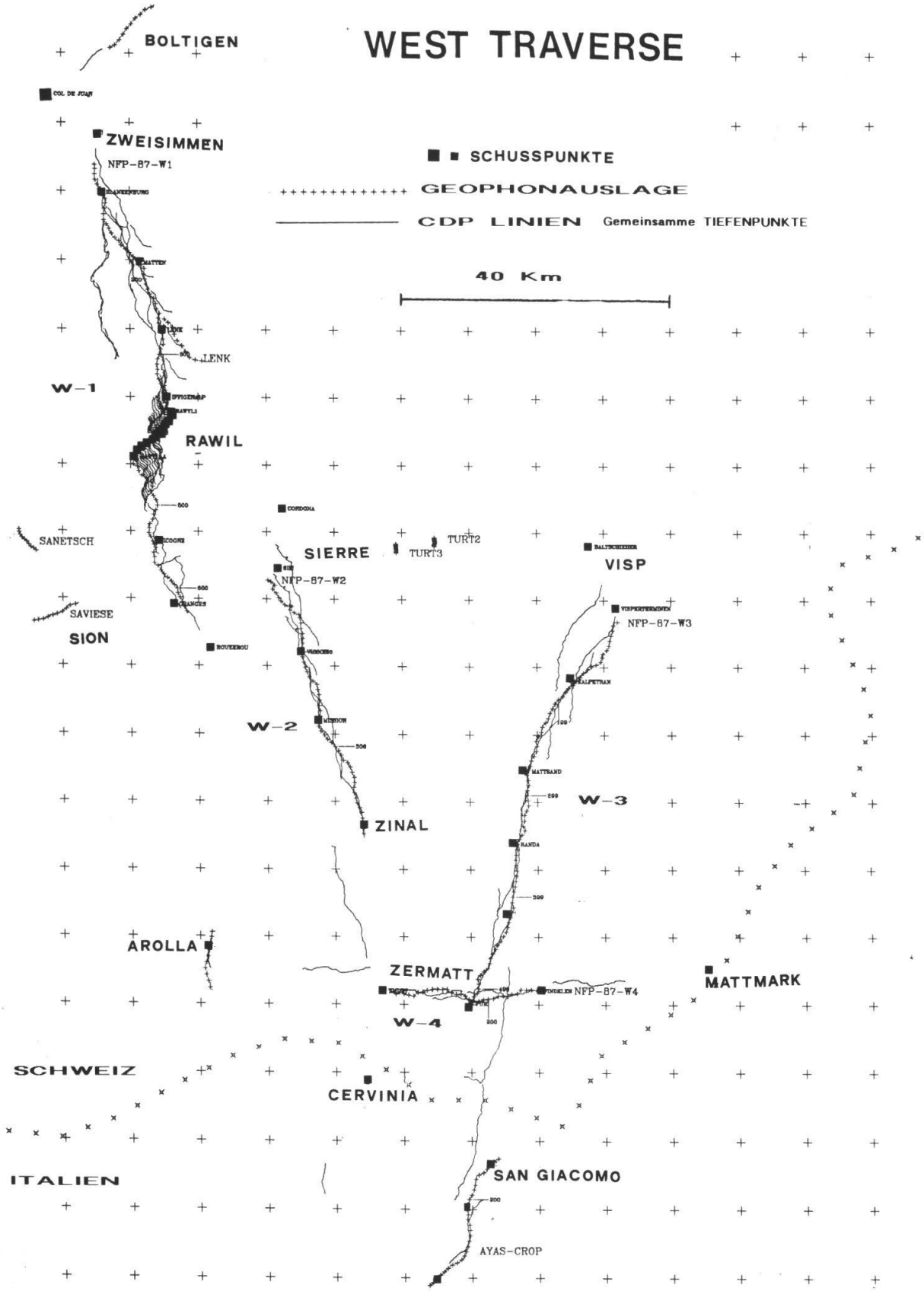


Fig. 11 Lagekarte der reflexionsseismischen Profile der Westtraverse. Es handelt sich um Vibro- und Sprengschussseismik. Von Interesse ist die Position der «Common depth points», d.h. die gemeinsamen Reflexionspunkte oder Tiefenpunkte der Mehrfachüberdeckung.
Die unwegsamen Gebirgskämme wurden jeweils mit Sprengschüssen von ca. 100 kg DNT unterschossen. Aus der Konfiguration der CDP's beidseitig der gewundenen Geophonauslage lässt sich in beschränktem Masse ein 3 D Bild der Reflektoren errechnen.

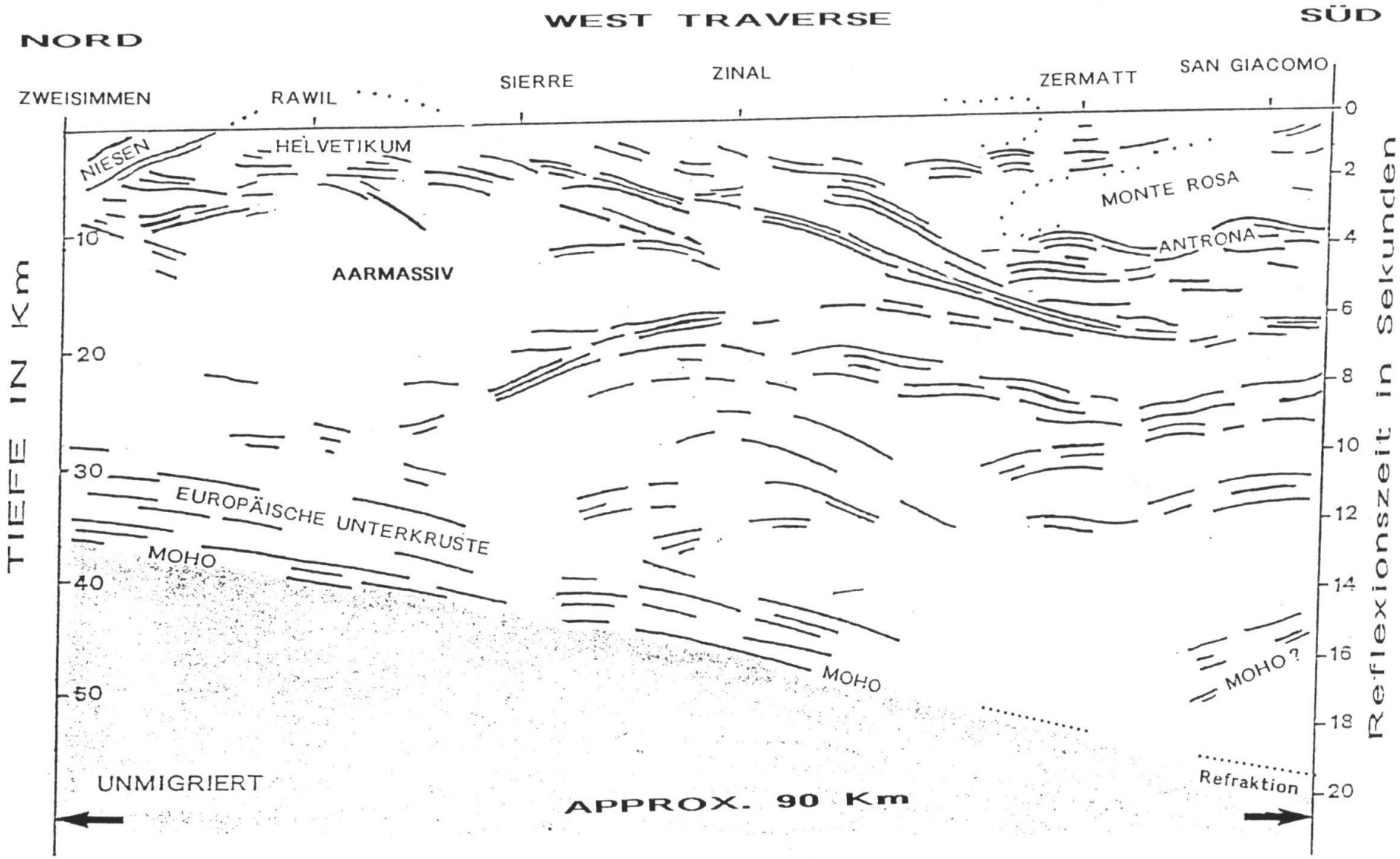


Fig. 12 Strichzeichnung mit geologischer Interpretation der reflexionsseismischen Profile der Westtraverse W1,23, (Zwei simmen - San Giacomo. Auf dem Profil sind akustisch transparente Intervalle von akustisch geschichteten auseinandergehalten. Bei der Interpretation wurde dem Baustil des Penninikums, wie er von den Aufschlüssen bekannt ist, Rechnung getragen. Es handelt sich bekanntlich um intensiv gefaltete, metamorphe Gesteine, die in grosser Tiefe unter hohen PT Bedingungen plastisch-duktil deformiert wurden.

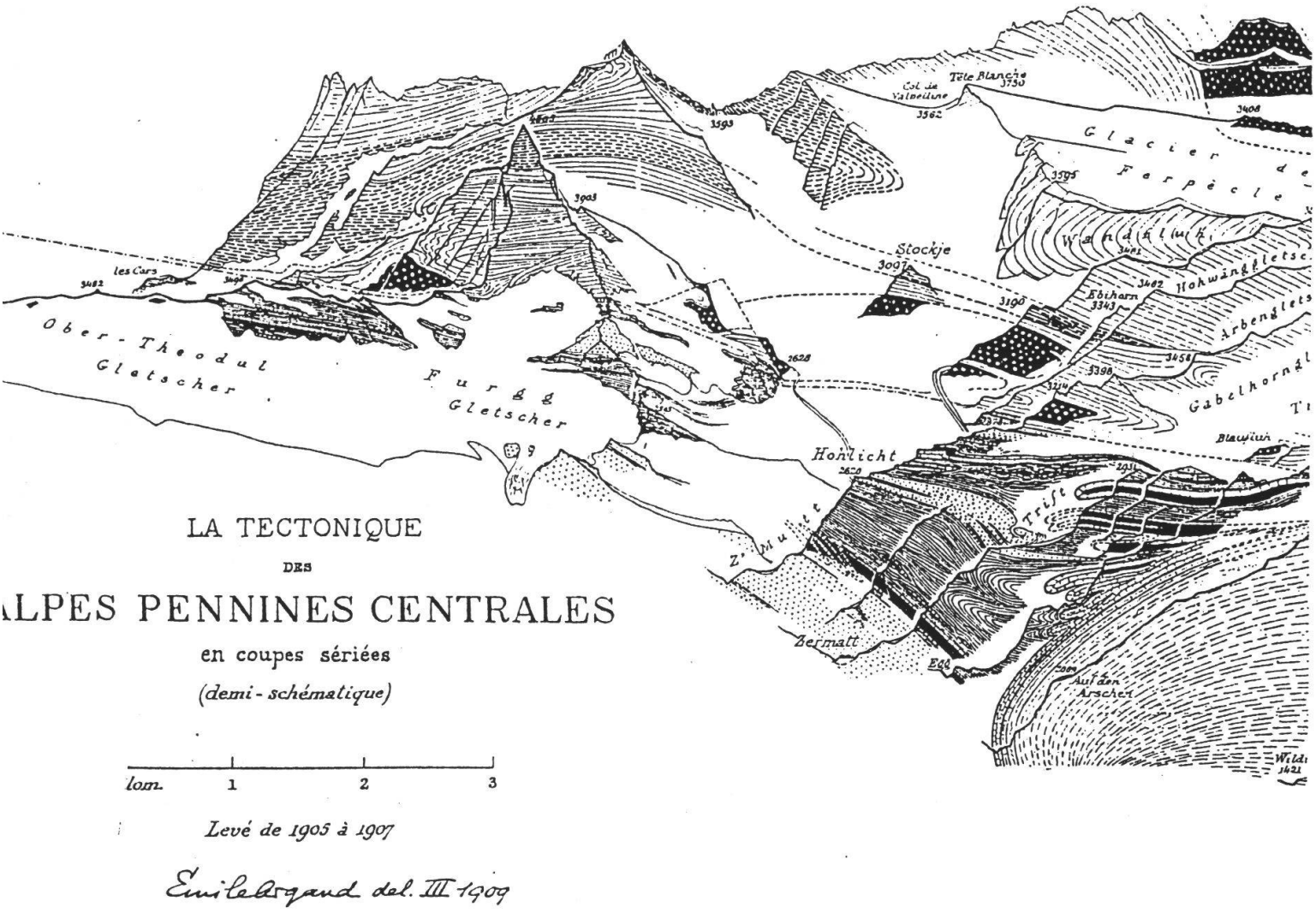
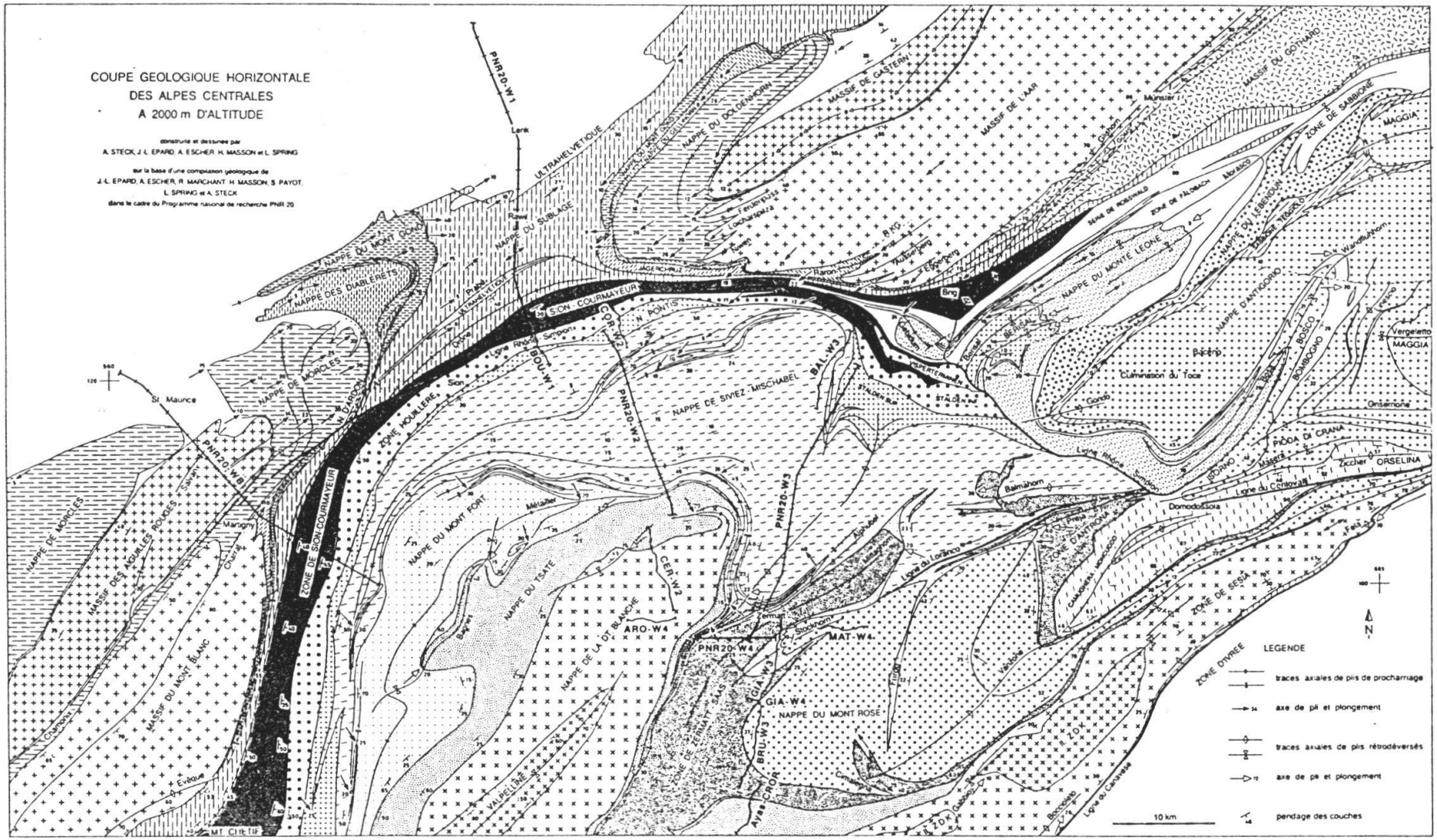


Fig. 13 Die Tektonik der zentralen Penninischen Alpen, anhand von Reihenprofilen (Halbschematisch von E. ARGAND, 1909).
Diese Kulissenprofile zeigen die Faltenstruktur der Gneise und Gabbros der Dent Blanche Decke über den Mesozoischen Metasedimenten der Zermatterzone. Rechts unten die Rückfalte der Mischabeldecke (vergl. Bild 10 und 14). Die relativ flach liegenden Ober- und Unterschenkel der verschiedenen Falten liefern bei genügendem akustischem Kontrast gute Reflektoren. Die steilen Umbiegungen bleiben mit konventionller Steilwinkelseismik unsichtbar.

GEOLOGISCHER HORIZONTALSCHNITT DER ZENTRALALPEN AUF 2000 m HÖHE


COUPE GEOLOGIQUE HORIZONTALE
DES ALPES CENTRALES
A 2000 m D'ALTITUDE
LEGENDE
traces axiales de plis de procharriage
axe de pli et plongement
traces axiales de plis rétrodéversés
axe de pli et plongement
pendage des couches
10 km
N
MAT-W4
GIA-W4
ARO-W4
PNR20-W4
PNR20-W1
PNR20-W2
PNR20-W3
NAPPE DU MONT ROSE
NAPPE DE SIVIEZ-MISCHABEL
NAPPE DU MONT FORT
NAPPE DU TSATE
NAPPE DE MORCLES
NAPPE DES DIABLERETS
NAPPE DU MONTE LEONE
NAPPE D'ANTIGORIO
MASSIF DU MONT BLANC
MASSIF DU GOTHARD
MASSIF DE L'AAR
MASSIF DE GASTERN
ZONE DE SION-COURMAYEUR
ZONE HOUILLERE
ZONE DE SESIA
ZONE DE SARBIONE
ULTRAHELVETIQUE
Lenk
Raron
Brig
Simplon
Domodossola
Locarno
Lugano
Bellinzona
Chiavenna
Sion
St. Maurice
Martigny
Evêque
MAGGIA
ORSELINA
PIODA DI CRANA
Vergeletto
Onsernone
Bosco
Bombogno
Cannobio
Verbania
Stockhorn
Balmhorn
Wandelhorn
Mischabel
Dent Blanche
Grand Combin
Gran Paradiso
Ligne du Simplon
Ligne du Lötschberg
Ligne du Cervinia
Ligne du Cenovaglia
Ligne Rhône-Simplon
Ligne du Loetschberg
Ligne du Carnevale
Vallée
Bagnes
Mattmark
Zermatt
Saas
Avas
Chor
Gondo
Bocciolo
Cervinia
Ayas
Gressoney
Lys
Sesia
Toce
Ticino
Maggia
Rhône
Rhone
Rodano
Rhone
Rhone
Rhone

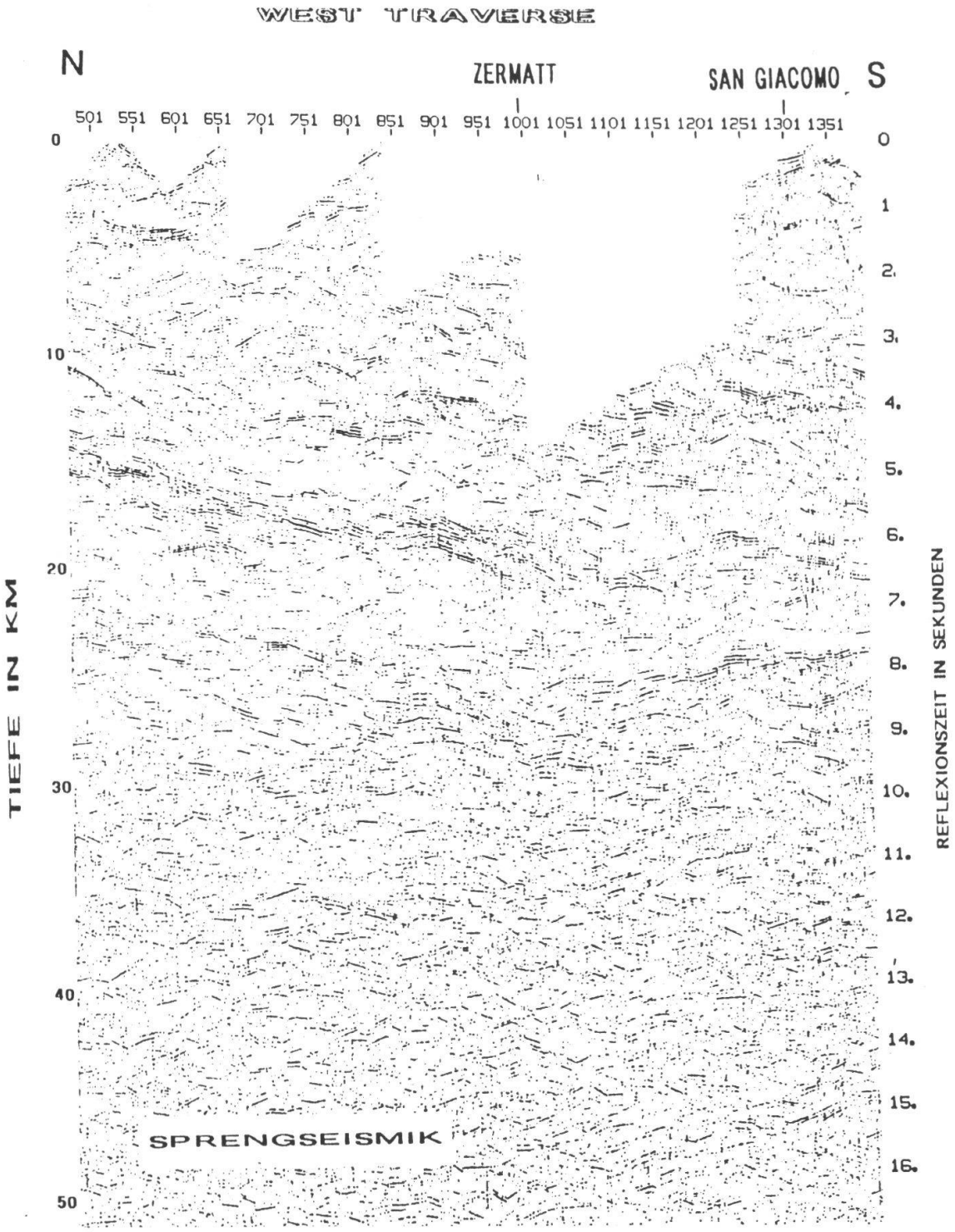


Fig. 15 Teilstück des Sprengschussprofiles der Westtraverse W-3. Der Grenzkamm zwischen dem Zermattertal im Norden und dem Val d'Ayas, einem Seitental des Aostatales, wurde mit einer Reihe von je drei Sprengschüssen unterschossen. Das Profil zeigt unter der sogenannten Basis des Penninikums (auf ca. 6,5 sek.) noch weitere flachliegende deckenartige Einheiten (vergl. Strichzeichnung Bild 10).

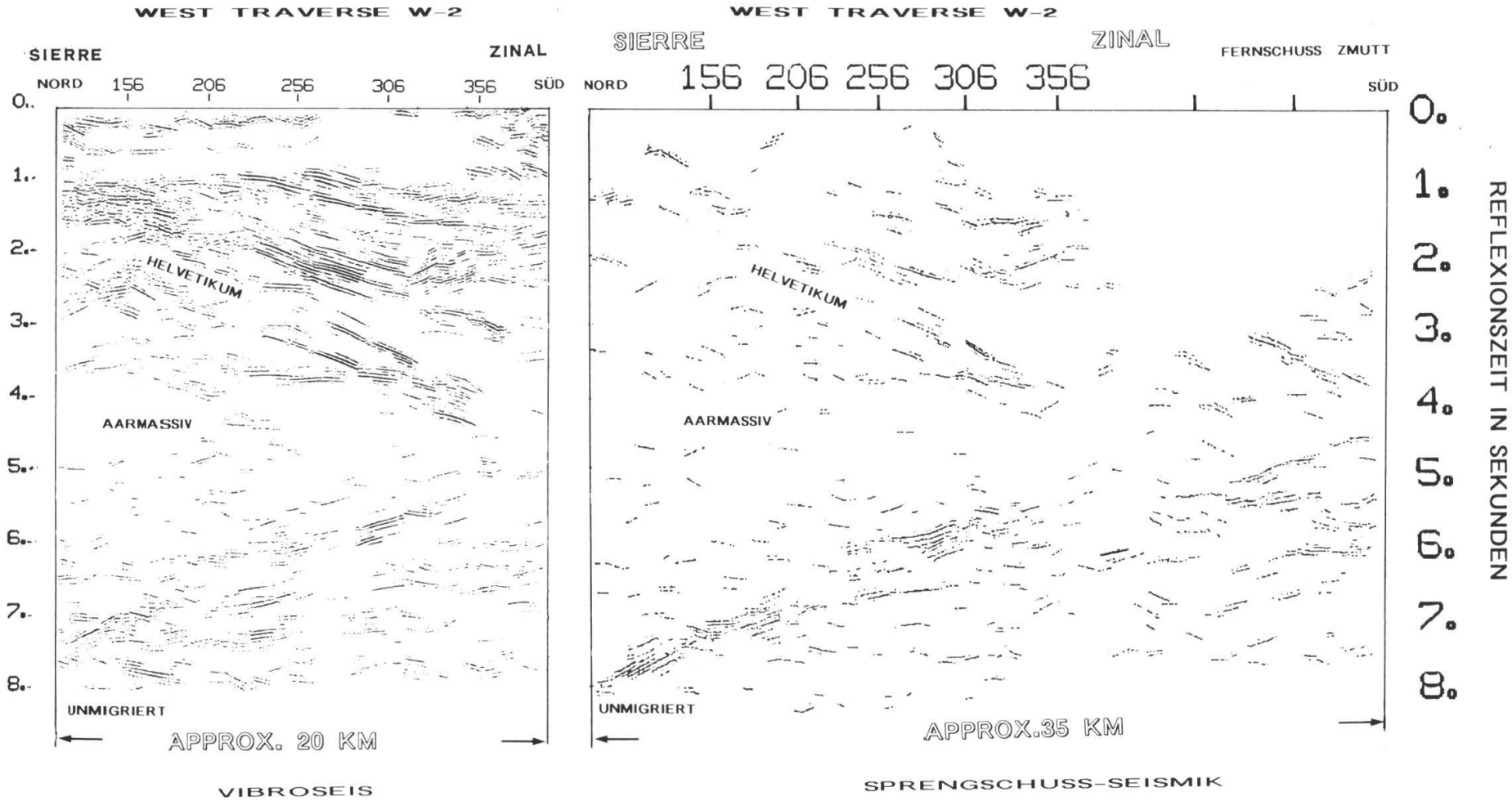


Fig. 16 NFP 20 Profil W2 von Sierre nach Zinal resp. Zmutt bei Zermatt. Die beiden Profile (Vibroseis links, Sprengschüsse rechts) zeigen ein nach Norden unter die externen Massive einfallendes Band von Reflexionen. Die Auflösung des Vibroseisprofils ist eindeutig besser. Das Sprengschussprofil hat den Vorteil, dass es mit einem Schuss im Zermattertal nach Süden verlängert werden konnte, was wesentlich zum Verständnis der Strukturen beiträgt.

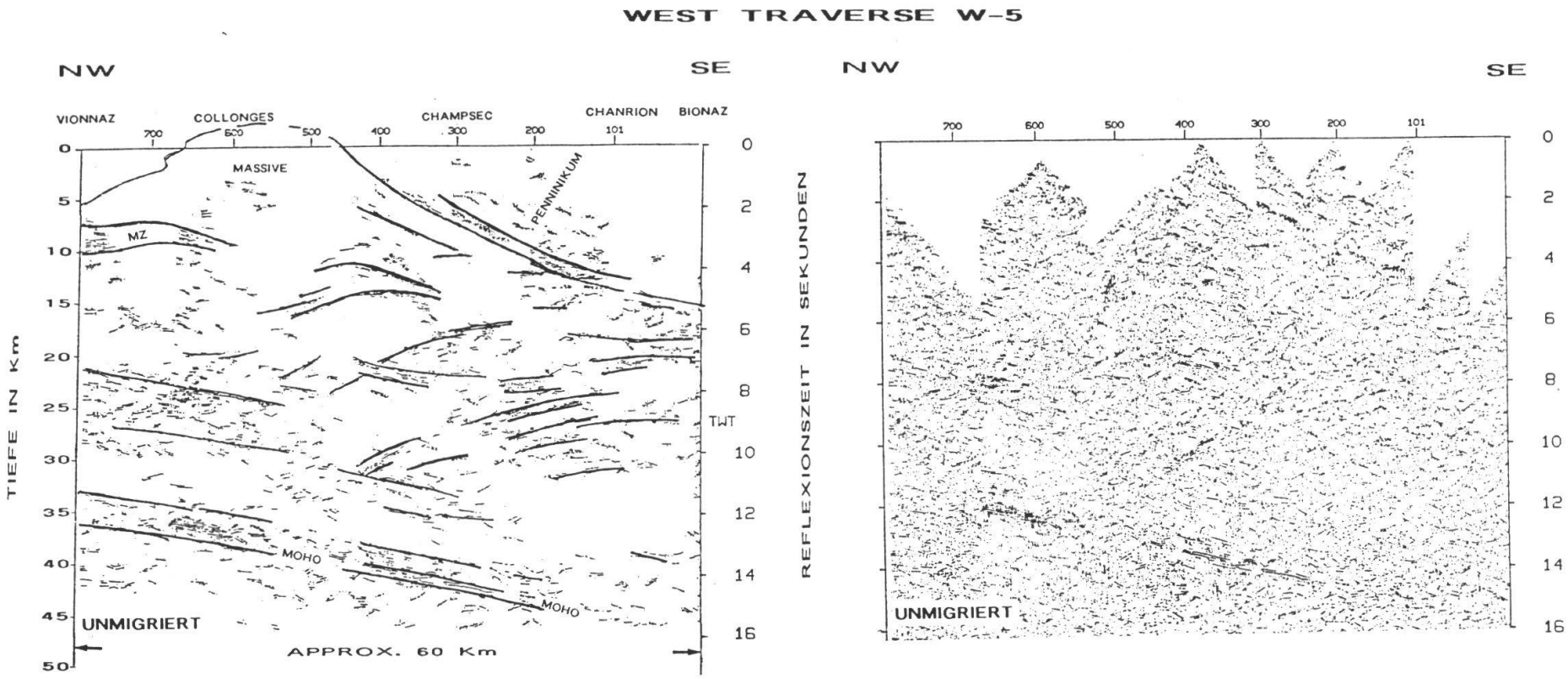


Fig. 17 Sprengschussprofil W-5 der Westalpen von Vionaz im unteren Rhonetal nach Bionaz im Valpeline.

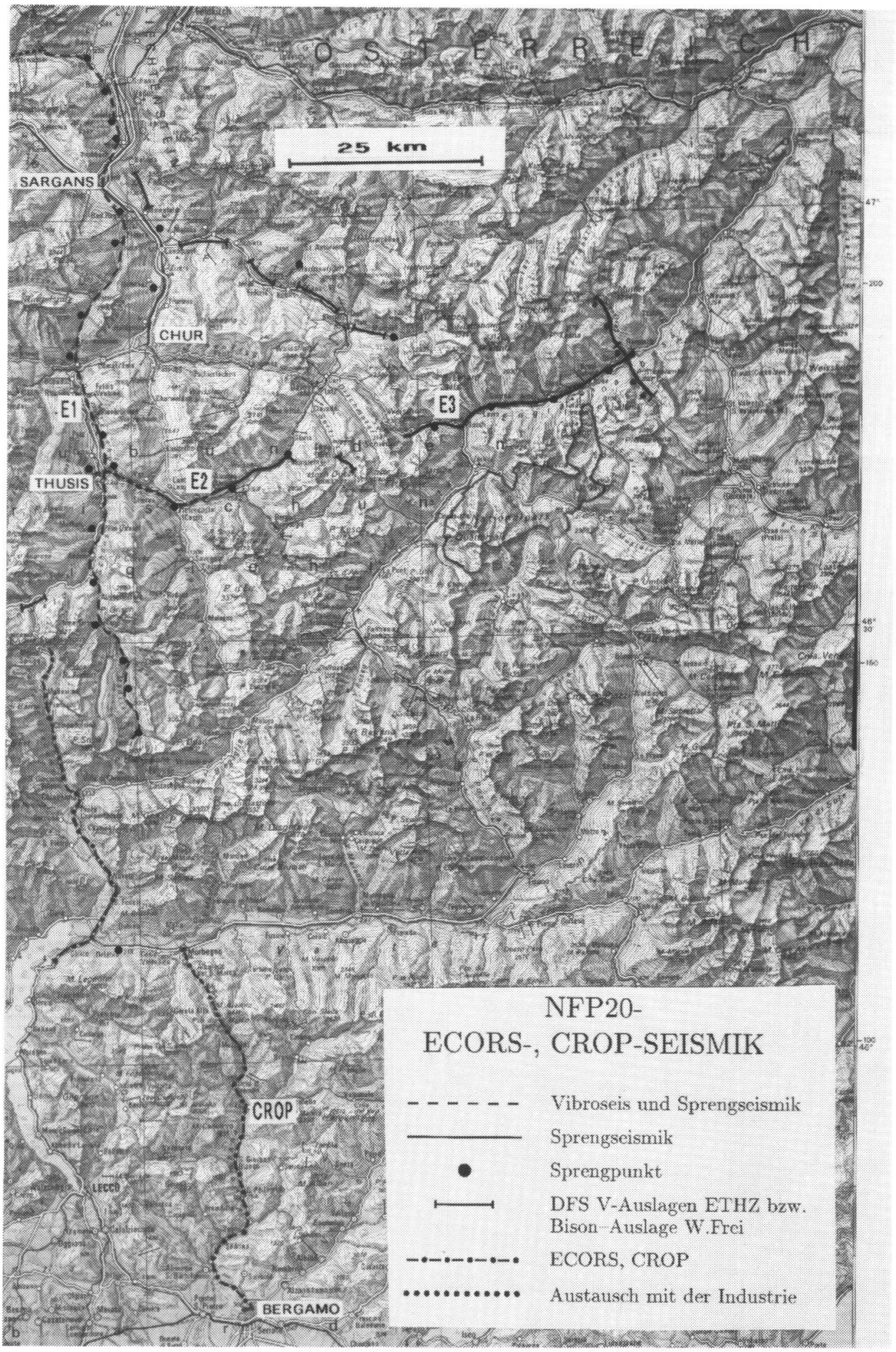


Fig. 18 Lage der NFP 20 Profile der Stüdtraverse S-1 bis S-7 und der Zentraltraverse Z-1 bis Z-3.

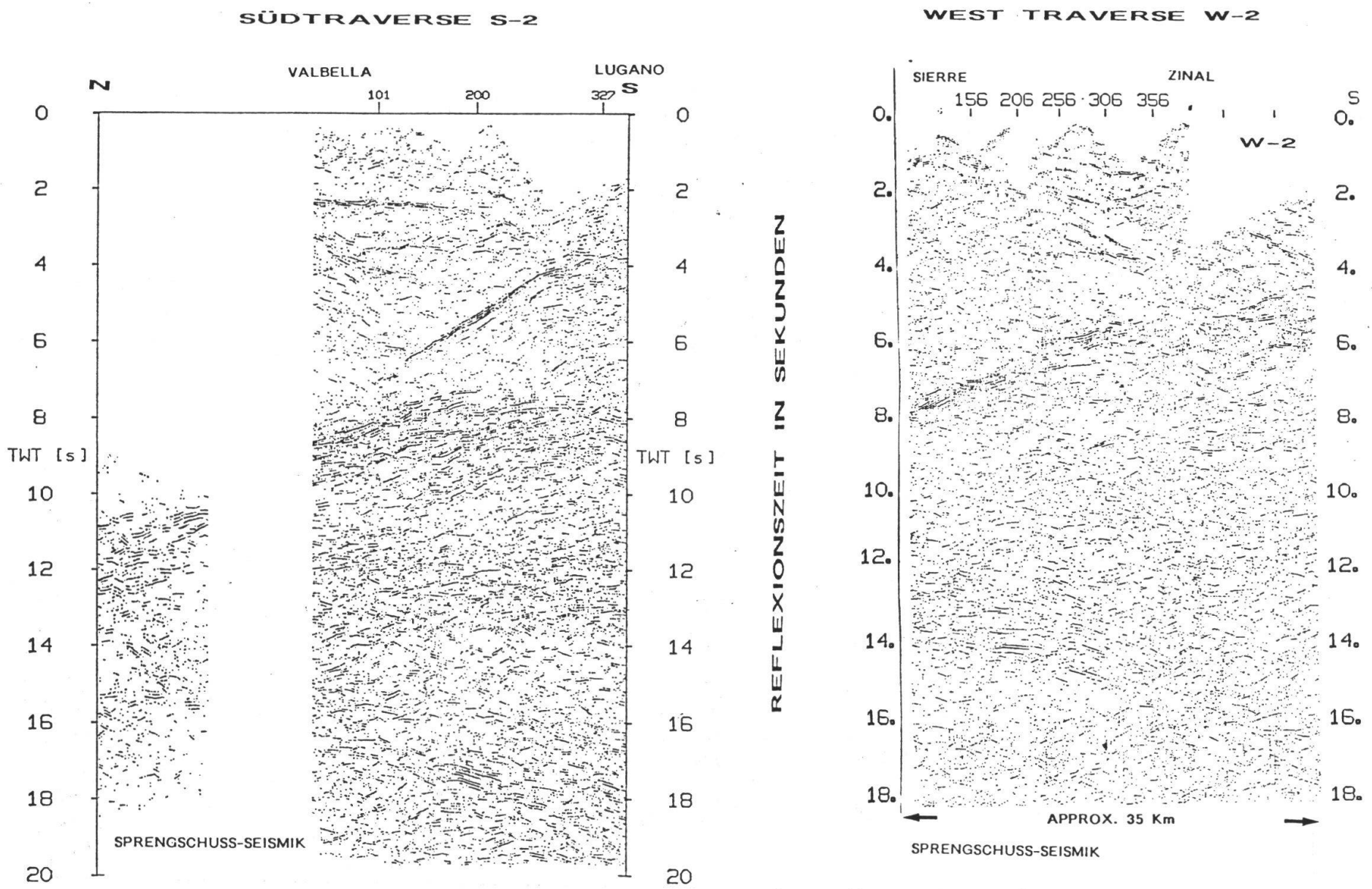


Fig. 19 Sprengschussprofil der Südtraverse von Breil (Brigels) im Vorderrheintal nach Chiasso.

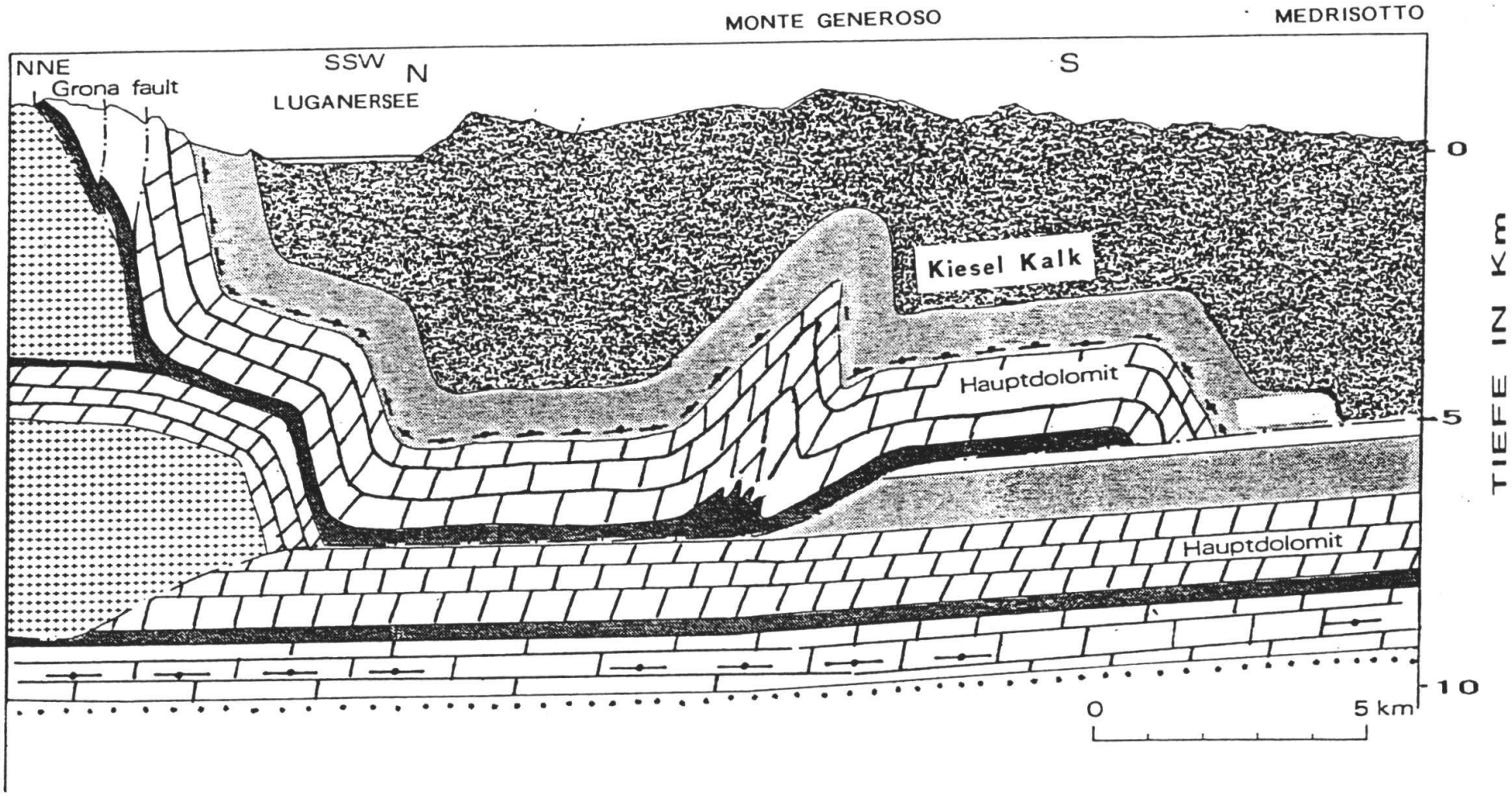


Fig. 20 Tektonisches Profil durch die Lombardischen Kalkalpen vom Monte Grona über den Monte Generoso nach Chiasso vereinfacht nach H. LAUBSCHER, 1985. Dieses Profil (vor NFP 20) postulierte auf Grund von «material balance» Ueberlegungen eine Verdoppelung der Mesozoischen Sedimentserie im sogenannten Generosobecken.

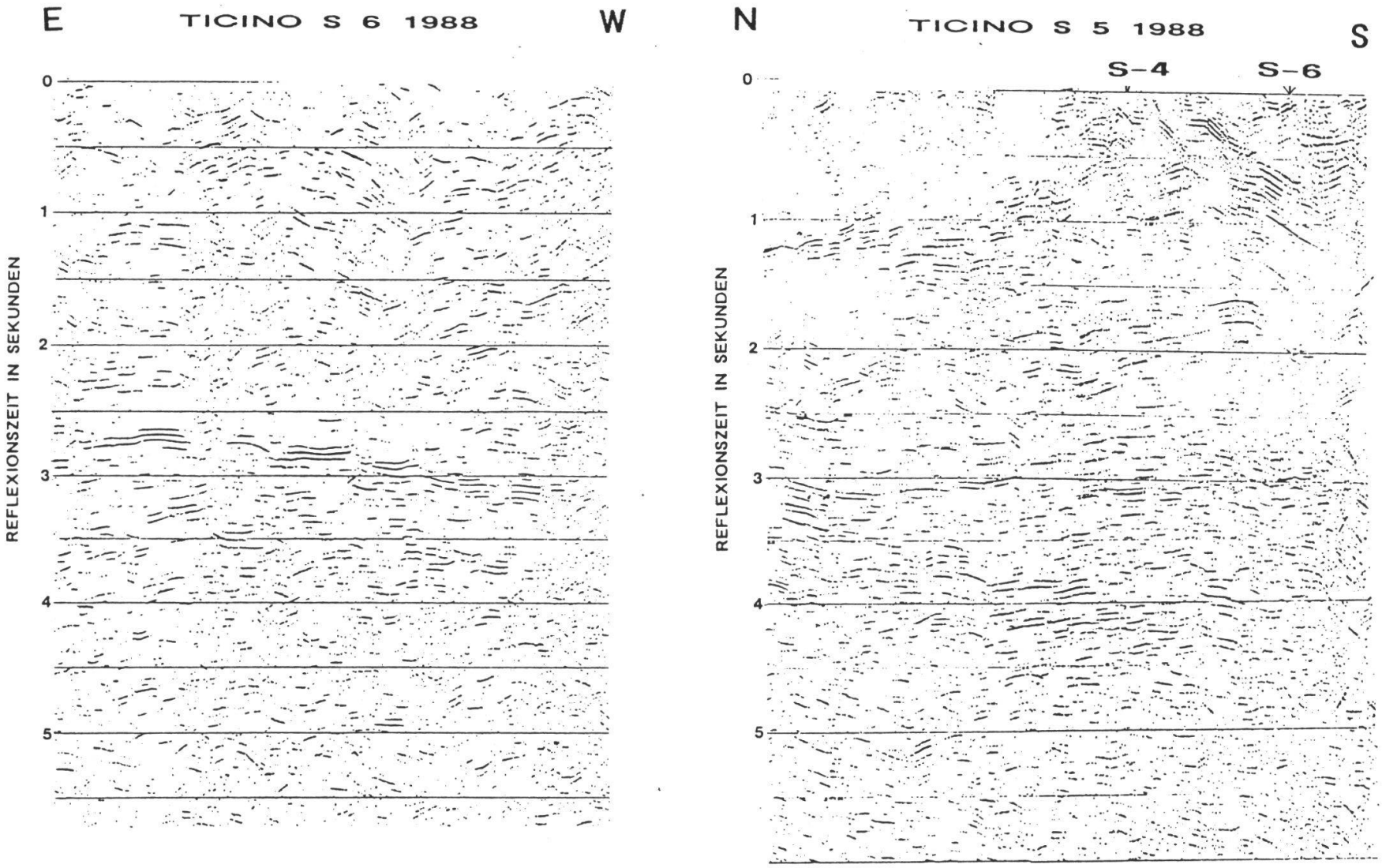
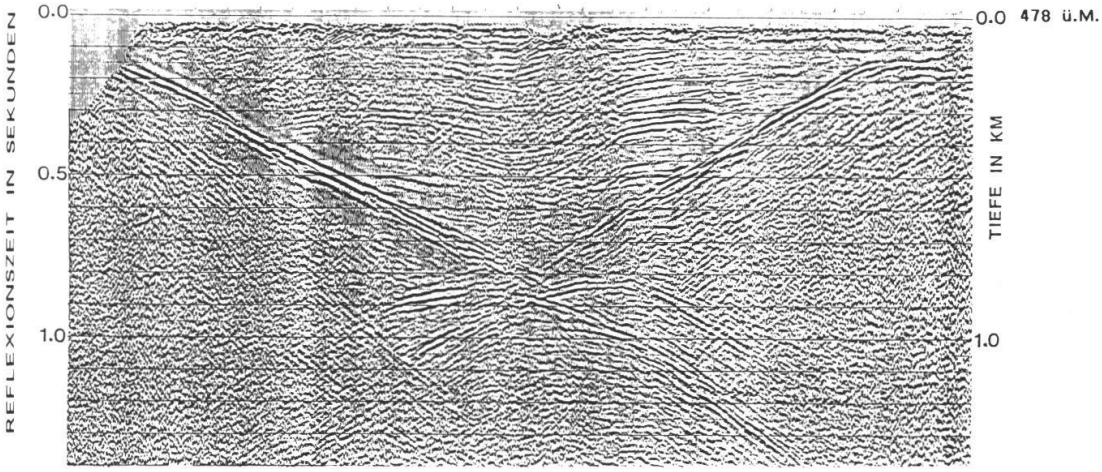


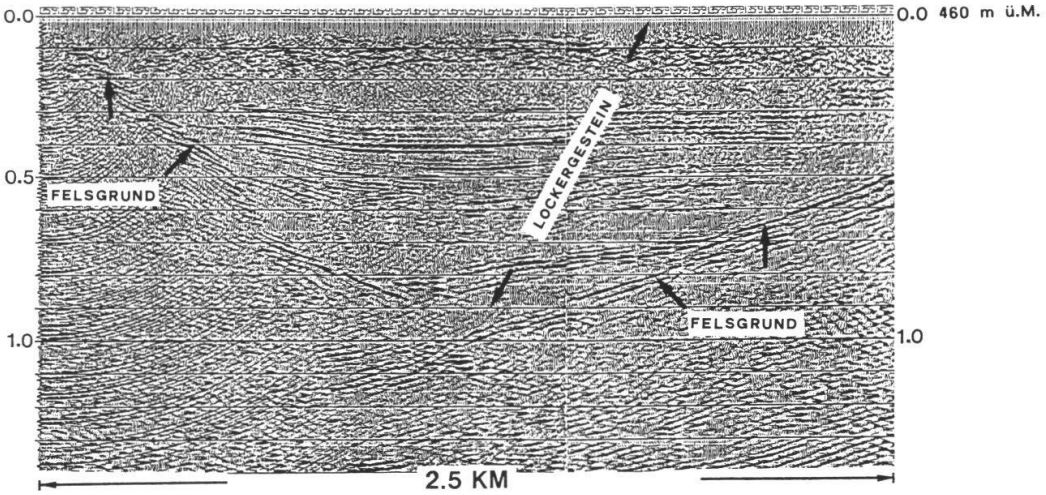
Fig. 21 Vibroseisprofile S-6 und S-4 der Südtraverse im Mendrisiotto.
Auf ca. 3 sek. vermutlich der Top der autochthonen Trias-Rhätserie, darüber die nach Süden überschobenen Mesozoischen Decken der Lombardischen Kalkalpen.

PROFILE DURCH DAS RHONETAL

PROFIL VETROZ



PROFIL MARTIGNY



PROJET GEOTHERMOVAL

PLAN DE LA SITUATION DES COUPES SISMIQUES

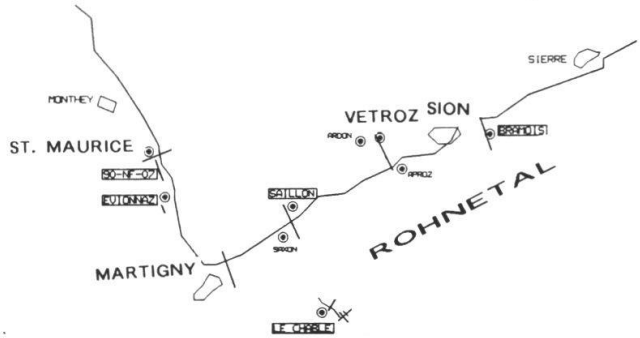


Fig. 22 Reflexionsseismische Profile durch das Rhonetal, oben das Profil Vetroz bei Sion, unten das von Martigny. Erstaunlich ist die starke Uebertiefung des Tales mit einer Füllung von ca. 1 km Lockergestein. Die geschichteten Lagen in mittlerer Höhe sind vermutlich Lakustrine Pelite, welche unmittelbar während dem Rückzug des Eises abgelagert wurden. Diese Profile wurden in Zusammenarbeit mit Geothermoval finanziert und aufgenommen.