

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 55 (1989-1990)
Heft: 128

Artikel: Die drei Alpentraversen von NFP 20 : erste Ergebnisse der Südtraverse
Autor: Frei, W. / Heitzmann, P. / Lehner, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-212654>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die drei Alpentraversen von NFP 20

Erste Ergebnisse der Südtraverse

Reflexionseismikteam von NFP 20 und CROP ITALIA*
mit 20 Bildern und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Dieser Artikel gibt einen Ueberblick über die Aktivitäten und bisherigen Ergebnisse von NFP-20. Neu sind die ersten Resultate der Südtraverse, einer reflexionsseismischen Linie von Gotthard Massiv zum Pobecken bei Chiasso.

Die erste Phase der Datenverarbeitung (bis und mit Stapelung) der Ost- und Westtraverse ist abgeschlossen. Die Profile sind nun in den Händen der Teams, die mit der Interpretation betraut sind.

Der Endrapport von NFP-20 ist im April 1991 zu erwarten.

Abstract

This paper provides an overview of the activities and results of NFP-20. New are the first results of the Southern Traverse, a reflection seismic profile from the Gotthard Massif to the Po basin.

The first phase of data processing of the eastern and western traverses is now completed and the results are in the hands of the interpreting teams.

The final report of NFP-20 is due in April 1991.

Einleitung

Der Schwerpunkt dieses dritten Berichtes über die Aktivitäten und Fortschritte von NFP-20 liegt bei den Feldaufnahmen und ersten Ergebnissen der Südtraverse (Bild 1). Es handelt sich um die dritte und letzte reflexionsseismische Alpentraverse von NFP-20. Sie liegt am Südabhang der Alpen und reicht vom Gotthard-Massiv bis zum Pobecken bei Chiasso. (Bild 2, 3, 4)

Von der Ost- und Westtraverse liegen neue Ergebnisse der Datenverarbeitung vor.

* Siehe S. 43, Autoren dieses Artikels: W. FREI, P. HEITZMANN, P. LEHNER, und P. VALASEK

Für diejenigen Leser, die mit den früheren Berichten von NFP-20 nicht vertraut sind, folgt hier zunächst ein Ueberblick über die Zielsetzung und die bisherigen Aktivitäten von NFP-20.

NFP-20 ist ein Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung mit dem Titel «Geologische Tiefenstruktur der Schweiz». Dieses Programm, dotiert mit einem Kredit von 12,2 Millionen Franken, begann im April 1986 und soll im April 1991 zum Abschluss kommen.

Am NFP-20 Programm sind alle Schweizerischen geologischen und geophysikalischen Institute beteiligt, ferner das Bundesamt für Umwelt, das Bundesamt für Energie, das Bundesamt für Landestopographie, das Institut für Geodäsie der ETHZ und eine Reihe von Privatfirmen. Gesamthaft sind etwa 100 Wissenschaftler in das Programm einbezogen.

Die Probleme der Krustentektonik sind nicht auf nationaler Ebene lösbar. Das NFP-20 Programm stellt ein Teilstück eines internationalen Programmes dar, das vom arktischen Ozean bis zum Mittelmeer reicht. Von den Alpenländern sind zur Zeit Frankreich, Italien, Deutschland und die Schweiz aktiv an diesem Programm der Krustenseismik beteiligt. Mit unserem östlichen Nachbarland Oesterreich sind Verhandlungen zur Mitwirkung im Gange.

In Zusammenarbeit mit CROP ITALIA wurde zur Vervollständigung der Westtraverse im Herbst 1987 der Grenzkamm der Walliser Alpen vom Zermattetal ins Val d'AYAS und vom Val d'Annivier ins Val Tournanche unterschossen. Ferner wurde im Zusammenhang mit der Südtraverse im Herbst 1988 die S-4 im Generosogebiet bis nach Porlezza am Luganersee verlängert (Bild 4).

In einem Internationalen Symposium «Deep structure of the Alps» im Dezember 1988 fand in Paris unter dem Patronat der Geologischen Gesellschaften der betreffenden Länder ein erster Austausch von Erfahrungen und ein Vergleich der Ergebnisse statt.

Von der Anwendung einer neuen Forschungsmethode darf man im allgemeinen neue Daten und einigen Erfolg erwarten. Was die Anwendung der Reflexionsseismik zur Erforschung der Alpen betrifft, waren zu Anfang vor allem die Leute vom Fach skeptisch. Grund zu dieser Skepsis war in erster Linie die enorme Komplexität der alpinen Strukturen und der fragliche akustische Kontrast in den hochmetamorphen Gesteinen der Zentralalpen. Die reflexionsseismischen Linien der Alpentraversen, die bis jetzt vorliegen sind in der Tat bedeutend schwieriger zu interpretieren als etwa Nordseeprofile. Die bisherigen Ergebnisse übertreffen jedoch unsere Erwartungen.

Die klassischen Alpenprofile, z.B. von E. ARGAND (1916) haben einen Tiefgang von etwa 10 km. Dieser Tiefgang wurde mit Hilfe axialer, zylindrischer Projektion längs den abtauchenden Flanken von axialen Kulminationen erreicht. Die grossräumige Anwendung dieser von ARGAND eingeführten Methode ist zwar heute umstritten, unbestritten jedoch ist, dass damit ein wesentlicher Schritt in der Erkenntnis der Alpentektonik ermöglicht wurde.

Basierend auf den Ergebnissen der Refraktionsseismik, gestützt auf die Erkenntnisse der Plattentektonik und stratigraphischen Zusammenhänge entstanden in den letzten Jahrzehnten die ersten grossräumigen Krustenprofile mit grösserem Tiefgang. Besondere Beachtung erhielten die ausbalancierten Profile von LAUBSCHER (1988), ferner die Profile von TRÜMPY (1988), MÜLLER (1976), MENARD (1984), HSÜ (1978), BUTLER (1986).

Diese Profile zeigen wesentliche Unterschiede in der Interpretation der tieferen Krustenstrukturen. Besonders deutlich zeigt sich der Freiraum unterhalb der Basis der Peninischen Decken, d.h. in jenen Tiefen, die ausserhalb der Reichweite der axialen Projektion liegen.

Zielsetzung

Das Ziel von NFP-20, gemäss des Ausführungsplanes, besteht darin, unsere Kenntnisse über den Untergrund der Schweiz wesentlich zu erweitern und die Bedeutung dieser Forschung für die Praxis aufzuzeigen.

Vom Standpunkt der Wissenschaft und Grundlagenforschung lässt sich die Zielsetzung des Programmes im Alpenraum wie folgt definieren:

Die Struktur und Gesteinsbeschaffenheit des tieferen Untergrundes der Schweiz ist weitgehend durch die alpine Gebirgsbildung geprägt. Die moderne Plattentektonik erklärt bekanntlich die alpinen Ketten als Kollisionszone zwischen der eurasiatischen und der afrikanischen Platte, genauer gesagt, dem adriatischen Sporn dieser Platte. In

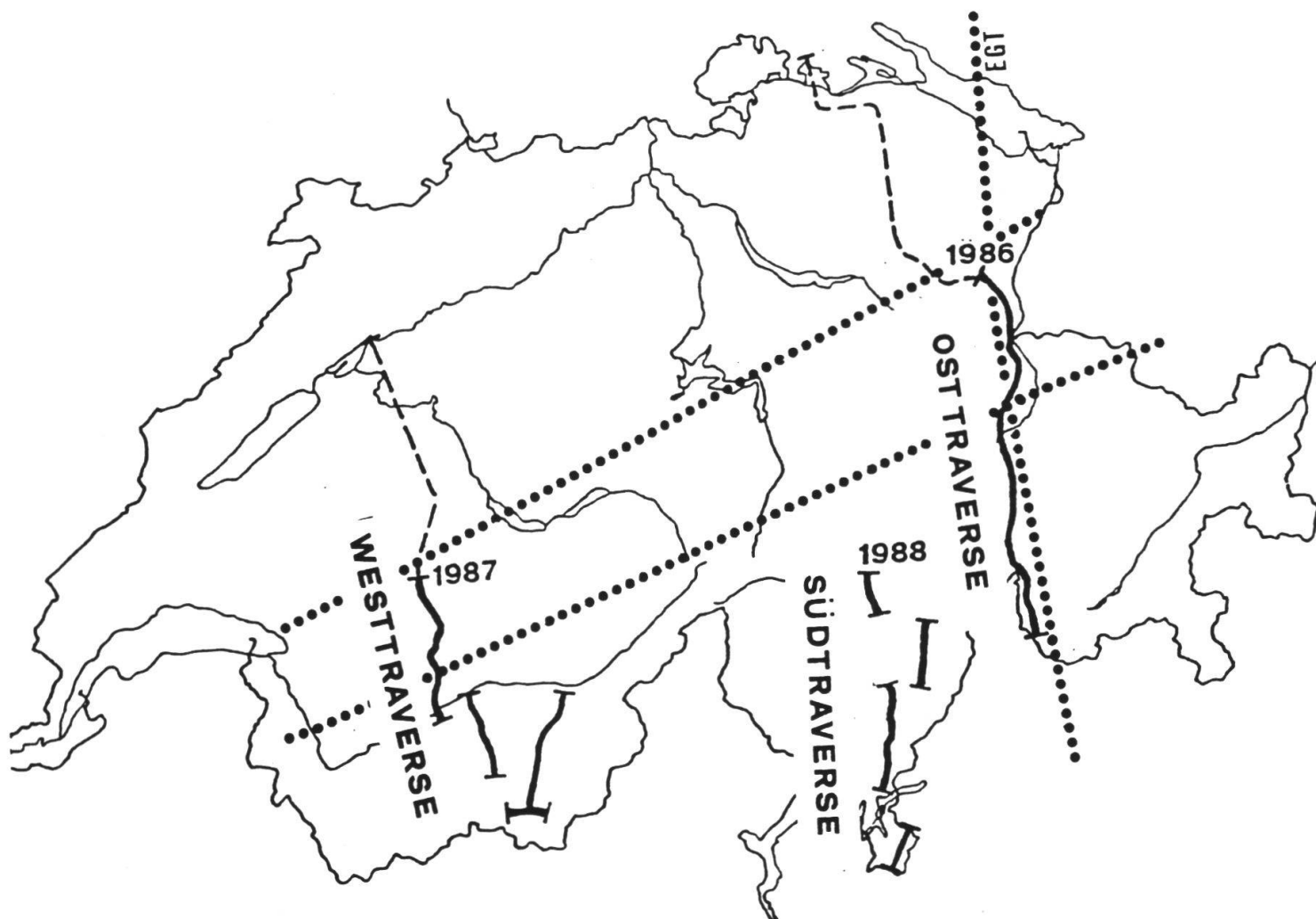


Bild 1 Trasse der drei reflexionsseismischen Alpentransversen von NFP-20. Die gestrichelten Abschnitte im Molassebecken werden in Zusammenarbeit mit der Erdölindustrie bearbeitet. Die Ost- und Westtraverse sind durch zwei refraktionsseismische Linien verbunden (punktierte Linien). Parallel zur Osttraverse verläuft die Refraktionslinie der EGT (Europäische Geotraverse).

diesem Kontext besteht somit die Aufgabe von NFP-20 darin, unsere Kenntnisse über die Struktur und Gesteinszusammensetzung dieser Kollisionsnarbe zu erweitern.

Das Alpenvorland wird von einer älteren, herzynischen Kruste unterlagert. Hier stellt sich die Frage, was passiert mit dieser Kruste, wenn sie in die alpine Kollisionszone bis in Tiefen von über 60 km abtaucht?

Was die Praxis betrifft, wird von NFP-20 erwartet, dass das Programm neue Daten liefert in Bezug auf Rohstoff- und Energiequellen, subterrane Verkehrswege, das Verständnis und die Vorhersage von Erdbeben, die Zirkulation von Grundwasser und andere Probleme.

Zusätzlich zu den grossräumigen Problemen der alpinen Tektonik müssen somit Fragen nach der wirtschaftlichen Nutzung beantwortet werden. Im Vordergrund stehen zur Zeit Fragen mit Bezug auf geothermische Energie, Erdgasmöglichkeiten beidseitig der Alpen und Erdbebensicherheit.

Die reflexionsseismischen Alpentraversen

Den Kern des Programmes bilden 3 reflexionsseismische Alpentraversen von je ca. 100 km Länge (Bild 1 & 2). Zusätzlich wurden ca. 20 Kurzprofile von 5 km Länge beidseitig der Traversen aufgenommen (SCHWEIZ ARBEITSGRUPPE REFLEXIONS SEISMIK 1988, FINKH et al. 1987)

Die reflexionsseismischen Profile stellen einen ersten Versuch dar, die Strukturprobleme der Alpen mit dieser für die Alpengeologie neuen Methode anzugehen. Die äusserst kostspielige und aufwendige Reflexionsseismik wurde von der Erdölindustrie für die Suche nach Erdöl und Erdgas entwickelt. Das Schweizerische Molassebecken zum Beispiel wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte von verschiedenen Erdölkonsortien mit einem weitmaschigen Netz von Seismiklinien bedeckt, die bis zum Nordrand der Massive reichen. Ein ähnliches Netz wurde von AGIP, der italienischen Staatsgesellschaft im Pobecken aufgenommen.

Feldaufnahmen

Die Feldaufnahmen von NFP-20 wurden in den Herbstmonaten der letzten drei Jahre ausgeführt. Die eigentlichen Arbeiten dauerten jeweils einen Monat in Raten von 3-5 km pro Tag. Mit den Vorarbeiten, Permitting und Bohrarbeiten wurde bereits im Frühjahr begonnen.

Die Firma Prakla Seismos, Hannover wurde mit der Vermessung der Osttraverse im Herbst 1986 und der Südtraverse im Herbst 1988 beauftragt. Die CGG (Compagnie générale de géophysique) besorgte die Feldaufnahmen der geländemässig schwierigen Westtraverse im Herbst 1987.

Als seismische Energiequellen dienten Vibratoren (Vibroseis) und Sprengschüsse (Sprengschusseismik). Zum Erfassen der untiefen Lagen (Quartärbedeckung usw.) wurde Fallgewichtseismik verwendet. Hier erwies sich die Vakimpak Methode (Vakuum Impakt) als besonders geeignet.

REFLEXIONSSEISMISCHE ALPENTRAVERSEN VON NFP 20

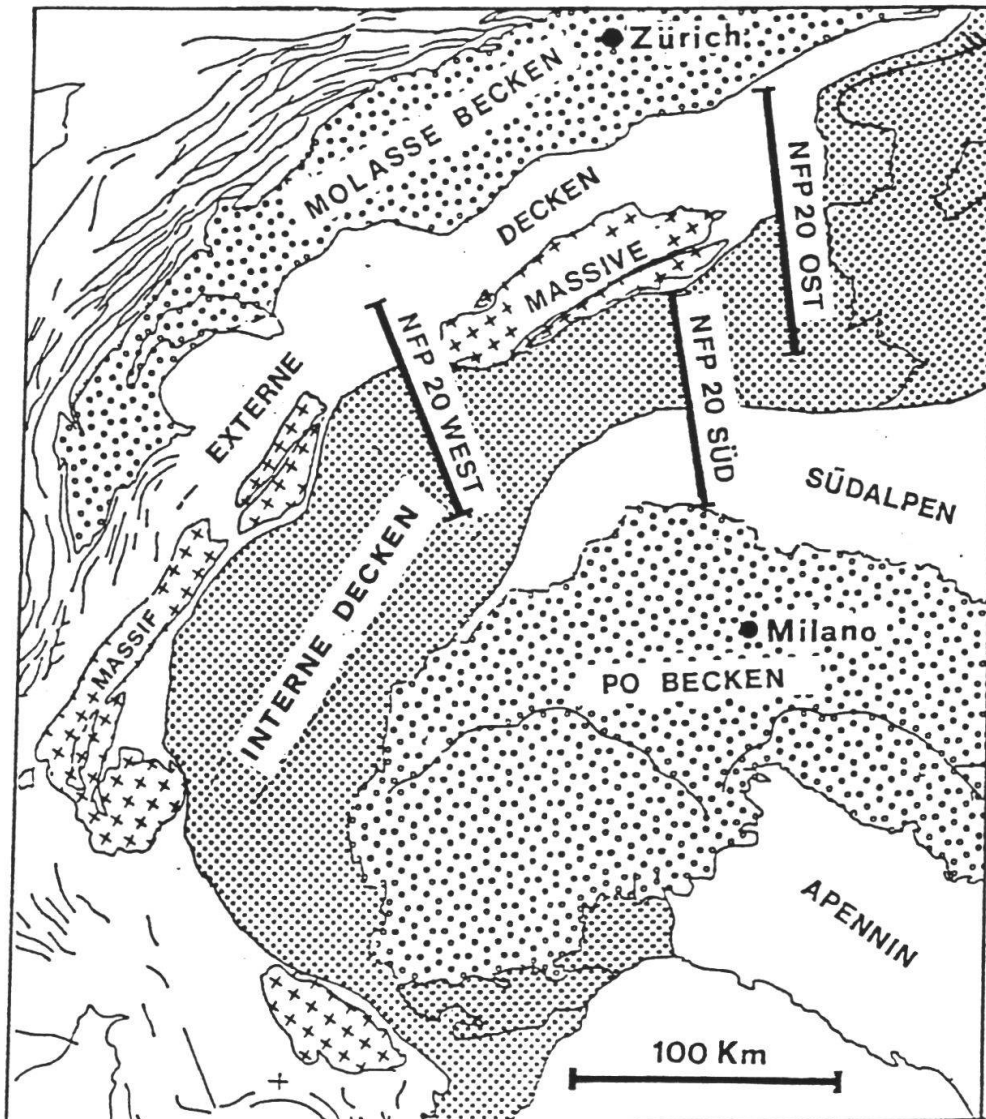


Bild 2 Tektonische Kartenskizze des Westalpenbogens mit dem Trasse der Alpentransversen. Die Ost- und Westtraverse beginnen am Südrand des Schweizerischen Molassebeckens, das hier von den externen Decken (Helvetische Decken und Préalpes) überlagert ist. Die Profile enden in der Nähe der Schweizergrenze im südlichen Teil des Penninikums. Die Südtraverse reicht vom Südrand des Gotthard Massives zum Nordrand des Po Beckens an der Schweizergrenze bei Chiasso.

Datenverarbeitung

Was die Datenverarbeitung der Reflexionsseismik betrifft, wurde zu Beginn des Programmes beschlossen, diese intern an unseren Hochschulen durchzuführen und zwar mit Hilfe von Studenten unter Aufsicht eines erfahrenen Geophysikers.

Die entsprechenden Institute, nämlich die Institute für Geophysik der ETHZ und der Universität Lausanne wurden mit der nötigen Hard- und Software ausgestattet.

Zur Zeit wird die bekanntlich sehr aufwendige Datenverarbeitung der Reflexionsseismik an der ETHZ mit einem VAX-II Rechner und an der Universität Lausanne am CRAY-2 der EPFL durchgeführt.

Der schwierige und gewagte Entschluss zur internen Datenverarbeitung hat sich als lohnend erwiesen, da fortdauernd neue Methoden und Programme ausprobiert werden können und die sonst so kostspielige Computerzeit ausser Betracht fällt.

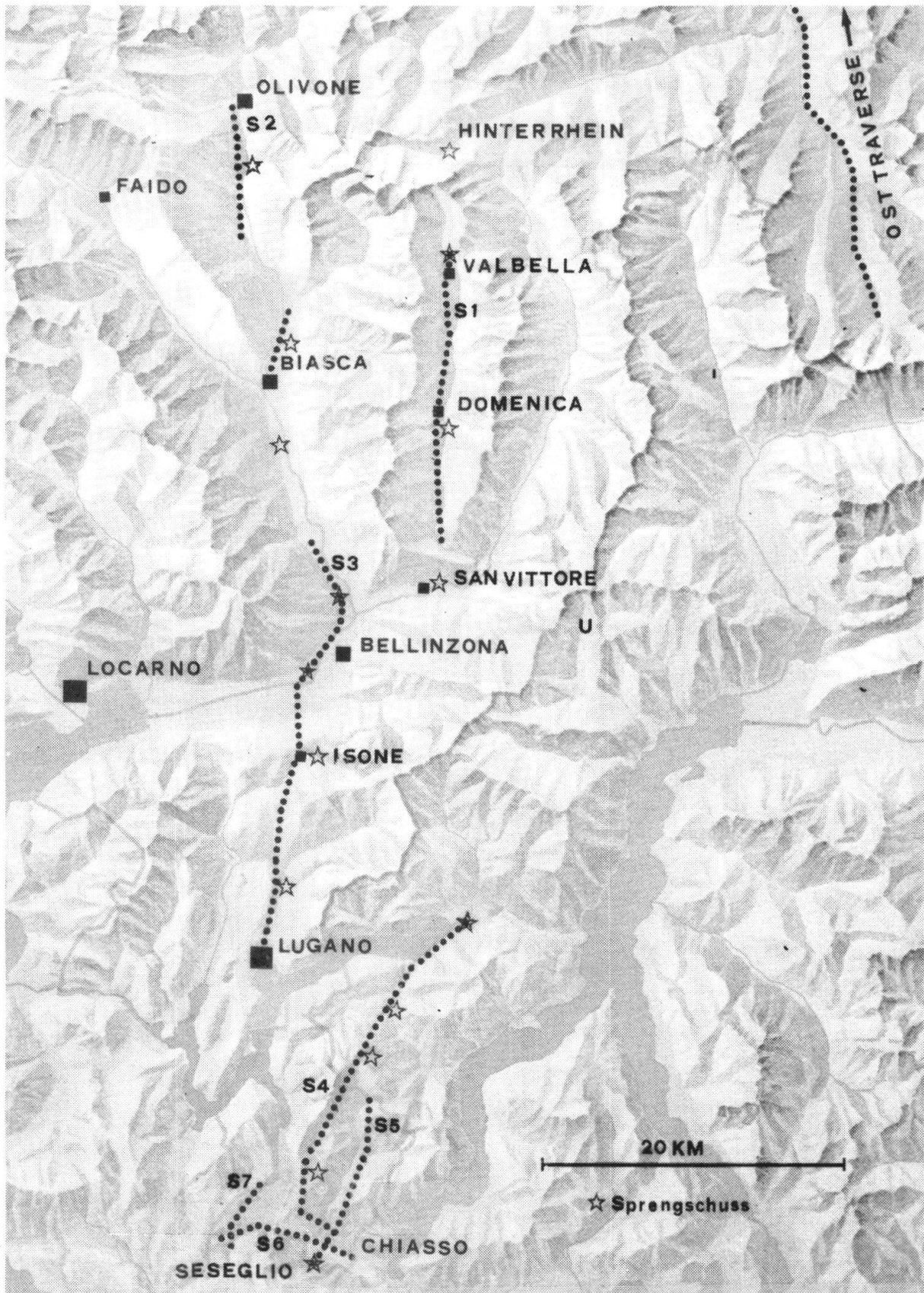


Bild 3 Reliefkarte der Südschweiz mit dem Trasse der Südtraverse von NFP-20 und den Schusspunkten der Sprengschusseismik. Das Teilstück von Bellavista am Mte. Generoso bis nach Porlezza wurde in Zusammenarbeit mit CROP ITALIA, dem EGT (Europäische Geotraverse) Partner von NFP-20 ausgeführt.

Die Südtraverse

Die Südtraverse wurde in das NFP-20 Programm aufgenommen um die Profile der Ost- Westtraverse nach Süden, über die Insubrische Linie hinaus, bis an den Rand des Pobeckens zu ergänzen.

Die einzelnen Teilstücke der Südtraverse bedecken die Südabdachung der Alpen im Gebiet des Kantons Tessin und dem italienischen Teil des Kantons Graubünden (Val Calanca, Misox) (Bild 4). Geologisch gesehen durchquert die Linie den östlichen Teil

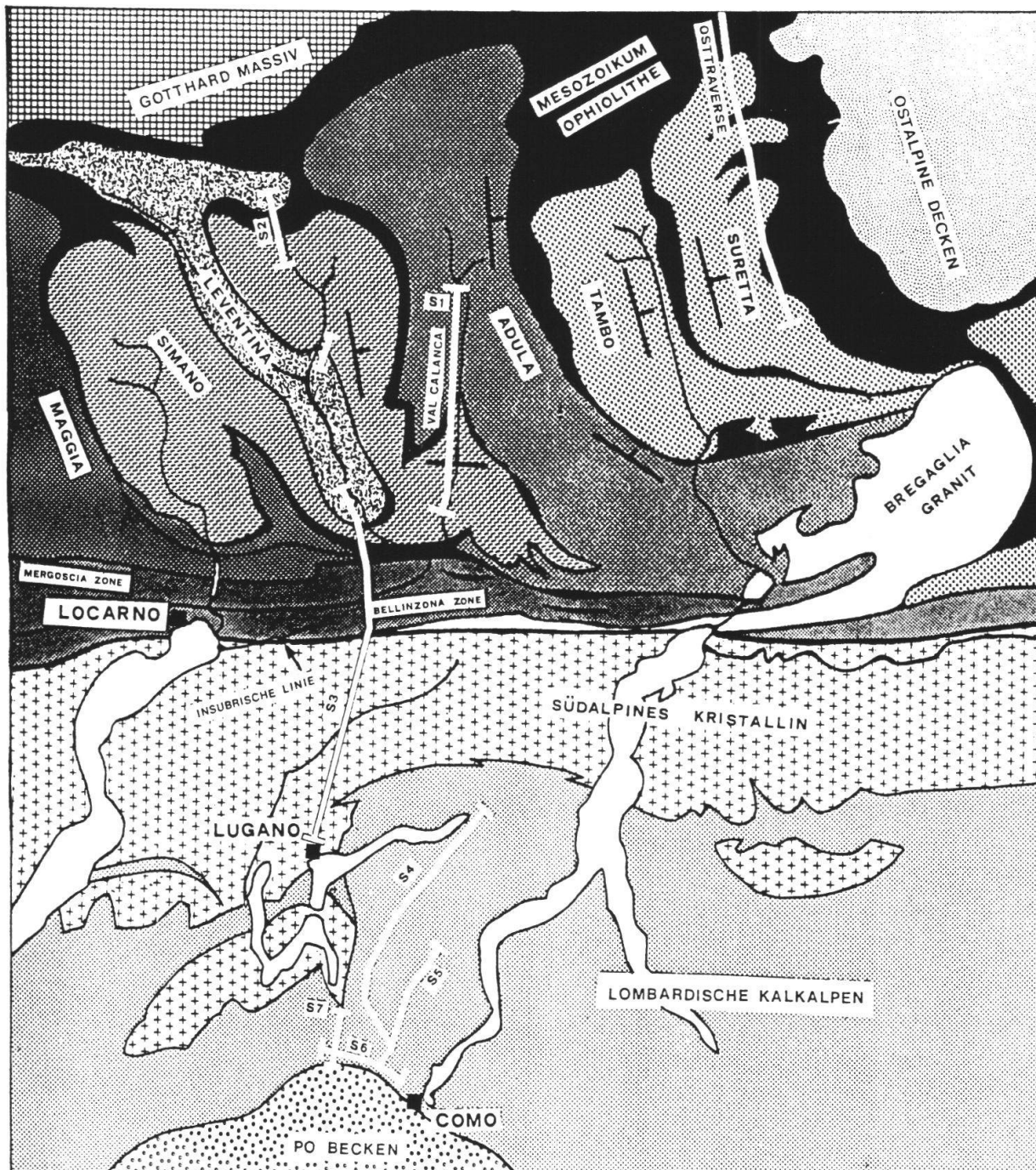


Bild 4 Tektonische Uebersichtskarte des Südfusses der Alpen mit den Trassees der seismischen Profile der Südtraverse.

der Tessiner Kulmination, während die Ost- und Westtraverse auf den nach Osten, resp. Westen abtauchenden Flanken dieser axialen Kulmination liegen. Das steile Axialgefälle gegen Osten (bis 30°) hat zur Folge, dass der Penninische Bereich der Südtraverse im Val Blenio, in der Riviera (Gebiet zwischen Bellinzona und Biasca) und im Val Calanca tektonisch 10-15 km tiefer liegt als im entsprechenden Teil der Osttraverse zwischen Andeer und Sovrana.

Da in der Leventina und Riviera die tiefsten bekannten Deckeneinheiten aufgeschlossen sind, nämlich die Leventinagneise, stellen sich hier folgende Fragen:

- Wie ist der zentralalpine Bereich unterhalb der Leventinagneise aufgebaut? Sind dort noch weitere Decken zu finden oder beginnt in dieser Tiefenlage die grobschollige Deformation der abtauchenden und aufgesplitterten Europäischen Kruste, wie das auf den Profilen von TRÜMPY (1988) zum Ausdruck kommt?
- Lassen sich die auf der Osttraverse festgestellten Penninischen Decken in Richtung Tessiner Kulmination durchziehen?
Hier kann die Validität der zylindrischen Axialprojektion, zum mindesten auf die Distanz von 25 km getestet werden. Das Splügenprofil der CROP ITALIA dürfte sich dabei als Zwischenglied nützlich erweisen.

Während das Profil S-1 am Ausgang des Val Calanca knapp die Wurzelzone anschneidet, überquert Profil S-3 auf der Linie Preonzo, Bellinzona, Isonne die Wurzelzone und die Insubrische Linie. Hier stellen sich die Fragen nach dem Tiefgang und der Geometrie dieser Strukturen.

Als alpine Wurzelzone wird der steil gestellte, nach Süden überkippte Teil der Penninischen Decken bezeichnet. Die Frage, ob die Penninischen Decken hier wirklich wurzelartig in der Tiefe enden, oder ob es sich lediglich um einen Knick im Deckenpaket handelt, wurde bereits von ARGAND (1916) gestellt.

Die Insubrische Linie, an der Oberfläche eine komplexe, steilstehende, höchstens 70-80° nach Norden einfallende Bruchzone, trennt die alpin metamorphen Gesteine der «Wurzelzone» vom Paläozoischen Grundgebirge der Südalpen. Dieses sogenannte «Insubrische Kristallin» bildet weiter im Süden die Unterlage der mächtigen Sedimentserien der Lombardischen Kalkalpen. Die Insubrische Linie, auch Periadriatische Linie genannt, spielt in der Alpentektonik eine wichtige Rolle, deren Bedeutung weit über den alpinen Bereich hinausgeht. Sie diente als Gleitschiene für die westwärts in Richtung Westalpen gerichtete Bewegung der Adriatischen Scholle. Ferner wurde das Penninische Deckenpaket entlang dieser Linie südwärts auf das Insubrische Kristallin aufgeschoben.

Auf der Strecke Isonne — Lugano sollte unter anderem die postulierte Deckennatur des «Insubrischen Kristallins» getestet werden (LAUBSCHER, 1986). Im Mendrisiotto und dem Gebiet des Mt. Generoso galt es, die Mächtigkeit der Sedimentbedeckung festzustellen und die Frage zu beantworten, ob die Lombardischen Kalkalpen ein Deckenpaket darstellen, dessen Südfront auf der Höhe von Milano, unter dem flachliegenden Plio-Pleistozän des Pobeckens zu suchen ist.

Feldaufnahmen der Südtraverse

Die Arbeiten für die Aufnahme der Südtraverse begannen bereits im Dezember 1987 mit der Information der Behörden der Kantone Tessin und Graubünden. Wegen der Feingliederung der Südschweiz erwies sich auch die Information der Gemeinden und

vor allem dann auch der Grundeigentümer als eine äusserst aufwendige Angelegenheit und für das «Permitting» musste, verglichen mit den vergangenen Jahren, wesentlich mehr Zeit aufgewendet werden.

Vom 5. September bis 4. Oktober wurden dann die eigentliche Feldaufnahmen mit der Firma Prakla-Seismos AG durchgeführt. Daneben kam auch die Equipe der ETH Zürich mit der DFS-V-Auslage an verschiedenen Standorten zum Einsatz.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt «Refraktonsseismik» von Dr. J. Ansorge wurde eine Sprengung von 1200 kg bei Brigels mit der 18 km langen Auslage im Valle Calanca aufgezeichnet.

Die Linie S-4 (Balerna-Salorino-Mte. Generoso) wurde in Zusammenarbeit mit CROP ITALIA nach Porlezza (I) verlängert.

Während der ganzen Dauer der Messkampagne herrschten ideale Witterungsverhältnisse. Starke Störeinflüsse von Bahn- und Strassenverkehr beeinträchtigten die Datenqualität trotz Nacharbeit in den Gegenden von Bellinzona, Tesserete-Lugano und Balerna/Chiasso. Als besonders störend erwies sich die Radiosenderanlage der PTT und von Radio Mte. Ceneri auf der Alpe del Tiglio.

Tabelle

Feldparameter der Südtraverse

Profil Nr.	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5		S-6	S-7	
SEGMENT					MUGGIO- MORBIO bis VP 235	MORBIO- SESEGLIO bis VP 236	bis VP 361	von VP 362	
Geophongruppenabstand	80	40	80	60	60	60	25	25	25
Anzahl der Kanäle	227	60	240	240	240	240	192	192(284)	192(284)
Ueberdeckung (nominal)		30	120	120	120	120	96	variable	(3-0)
Vibrator Stationsabstand		40	40	30	30	30	25	25	25
CDP (Common depth point)									
Abstand	40	20	20	15	15	15	12.5	12.5	12.5
Anzahl der Vibratoren		3	6	3	6	3	3	3	3
Anzahl vertikale Stapelung		4	2 (4)	8 (4)	2 (4)	4 (8)	4	4 (2)	4
Sweep Länge		20 (+6)	60 (+4)	20 (+14)	60 (+9)	20 (+14)	20 (+14)	20 (+10)	20 (+10)
Frequenzbandweite		10 - 60	10 - 40	18 - 48	10 - 48	10 - 48	10 - 60	10 - 60	10 - 60

Erste Ergebnisse der Sprengschusseismik

Penninische Zone: Das Val Calancaprofil S-1 (Bild 5 + 6) liefert interessante Hinweise über den Tiefgang der Penninischen Decken und deren Unterlage. Die gebankten Gneise der Adula und Simanodecke, flach gegen Norden einfallend, bilden die mächtigen Felswände des innern Val Calanca. Am Talausgang tauchen diese Gneise steil in die Wurzelzone ab.

SÜD TRAVERSE

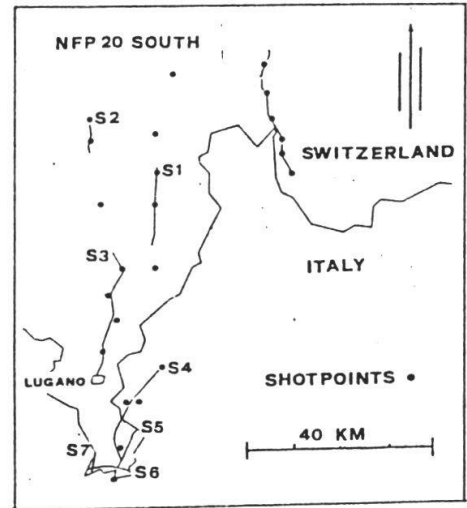
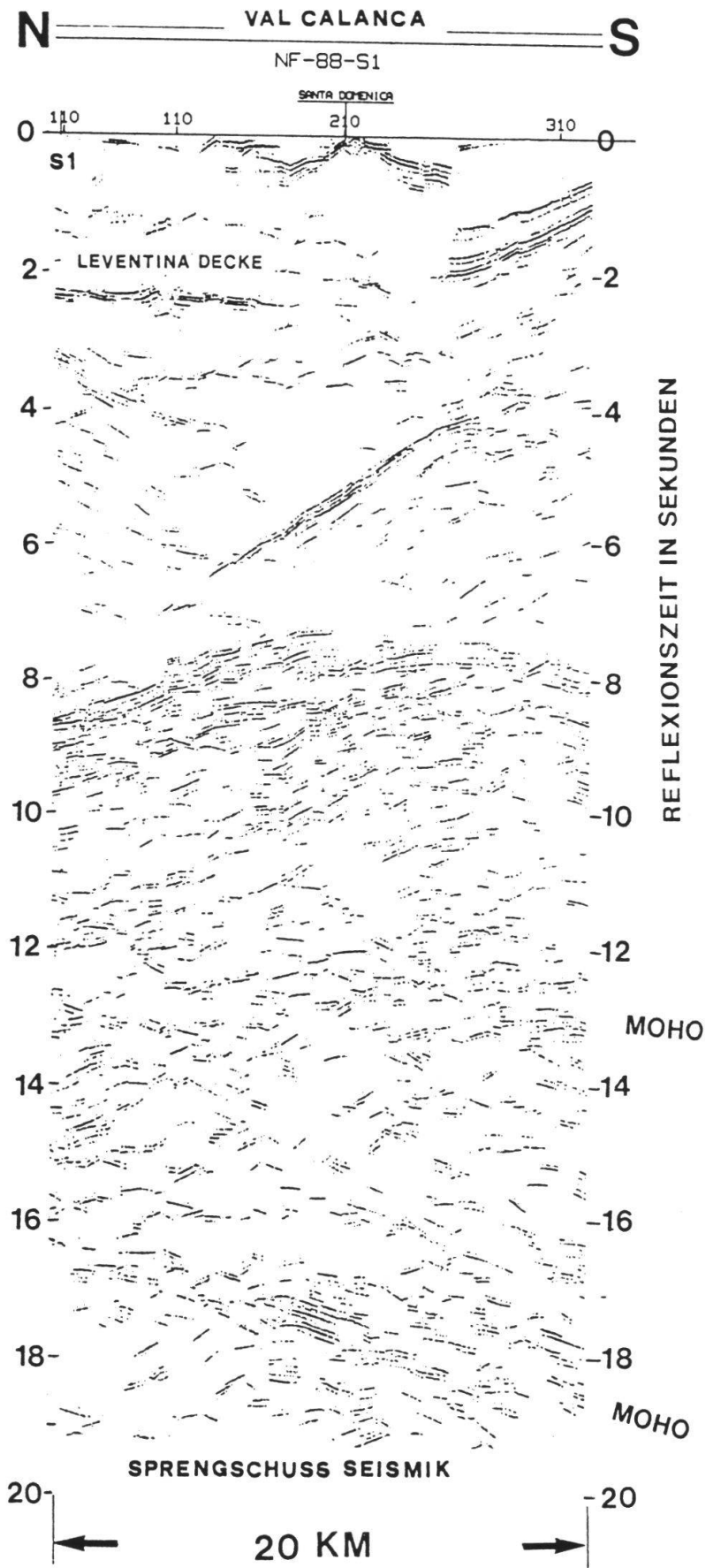


Bild 5

Sprengschussprofil S-I der Val Calanca. Auf ca. 2.5 sek. die Basis der Leventinagneise. Von 8 — 12.5 sek. die Unterkruste des Südkontinentes (Adriatische Platte). Zwischen 18 und 20 sek. die Moho der abtauchenden europäischen Kruste. Die durchschnittliche akustische Geschwindigkeit der Alpinen Kruste gemäss der Refraktionsseismik beträgt 6 km / Sekunde. Die Tiefenlage eines Reflektors in km unter dem Referenzniveau des Profils beträgt somit Reflexionszeit x 3.

SPRENGSCHUSSPROFIL VAL CALANCA

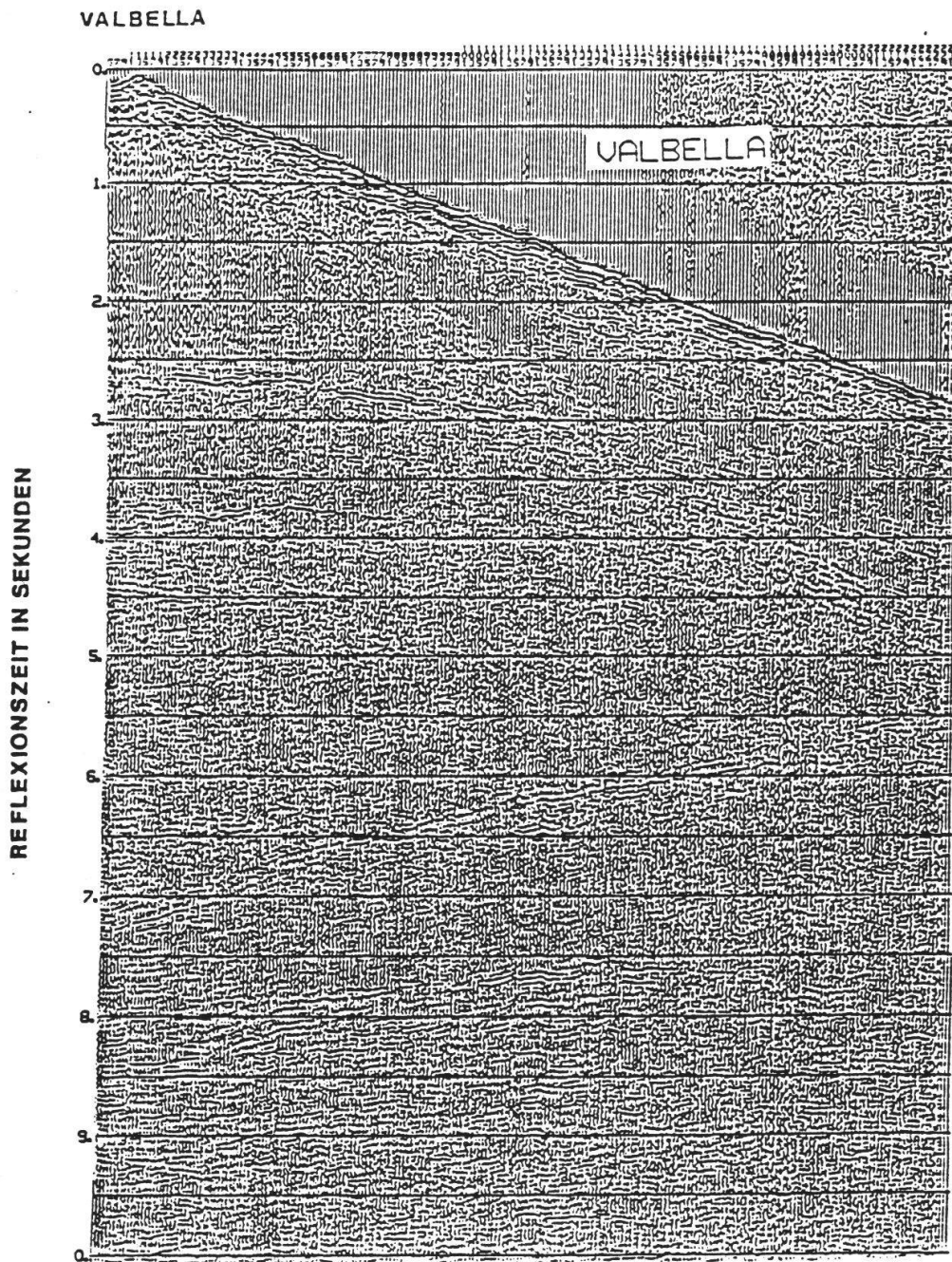


Bild 6 Originalprofil des Sprengschusses Valbella im Val Calanca. Auf 2.5 Sekunden vermutlich die Basis der Leventinagneise. Die Reflektoren auf ca. 3.7 und 4.5 Sekunden lassen vermuten, dass sich unter der Leventinadecke noch weitere Deckenpakete befinden.

Das Sprengschussprofil S-1 zeigt in ca. 2.7 Sekunden Tiefe (6-7 km) ein starkes Reflexionsbündel. Es dürfte sich um die Basis der Leventinagneise handeln, die von Westen her unter die Val Calanca einfallen. Die etwas tieferen, leicht nach Süden einfallenden Reflexionen deuten an, dass unter der Leventinadecke noch weitere Decken liegen.

Der ganze Penninische Komplex wird von einem von Süden nach Norden, quer durch das Profil laufenden Reflexion abgeschnitten. Es ist anzunehmen, dass es sich um die Insubrische Bruchzone handelt. (HEITZMANN 1987, Bild 7).

Im Tiefenbereich von 7.5 — 12 Sekunden (ungefähr 22 — 36 km) durchquert ein breites, in der Mitte leicht aufgewölbt Reflexionsband das Profil. Dieses Band fällt in der Tiefenlage mit einem Niveau hoher Refraktionsgeschwindigkeiten zusammen (Müller, 1980) (Bild 11). Darunter sinken die Geschwindigkeiten zurück auf 5.9 km/sek. Ein derartiger Geschwindigkeitszahn ist z.B. im nördlichen Alpenvorland charakteristisch für die Obergrenze der Unterkruste.

Das ziemlich steil nach Süden abtauchende Reflexionsband der Moho der Europäischen Kruste erscheint in einer Tiefe von 18-19 Sekunden (54-57 km).

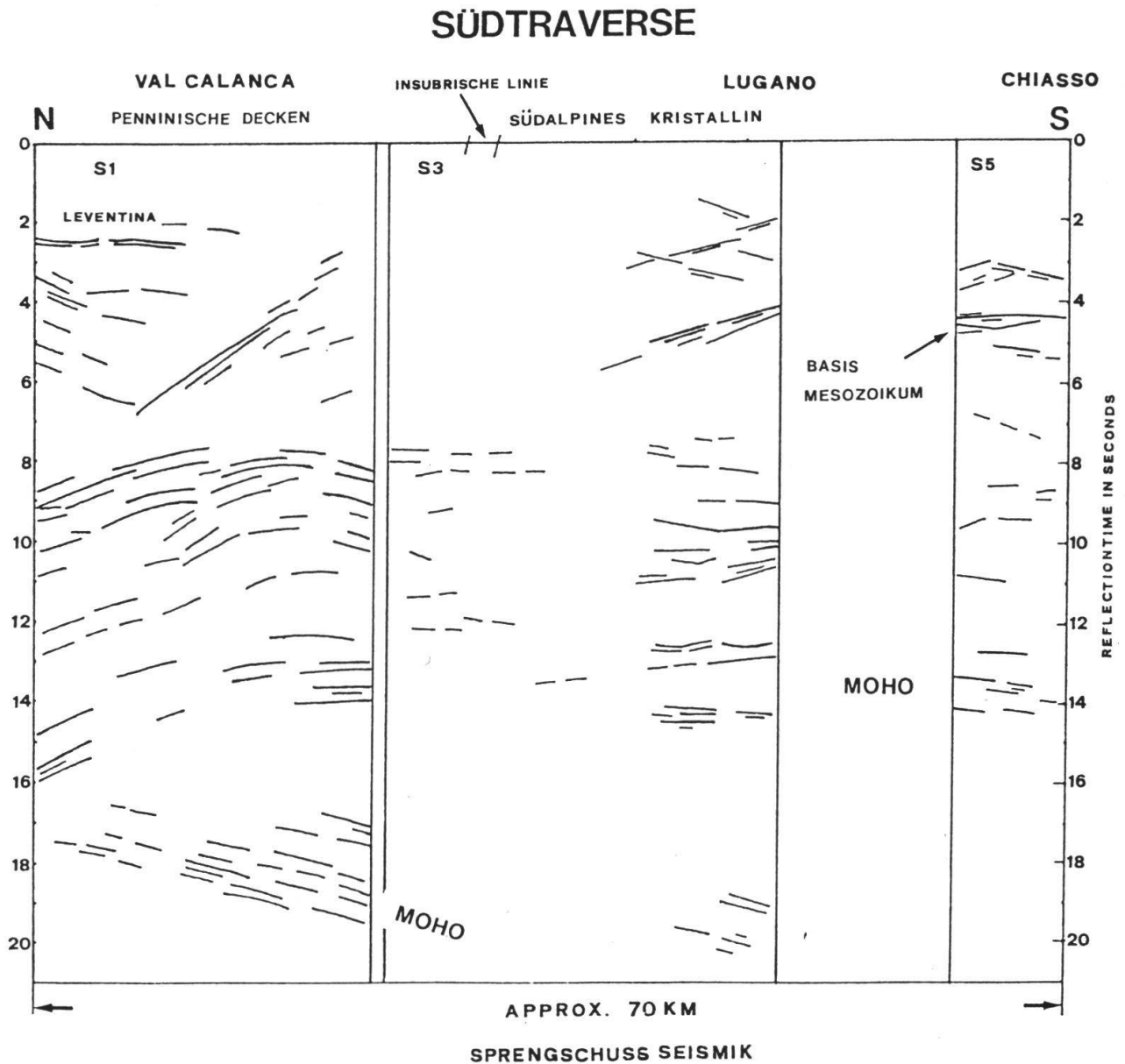


Bild 7 Vorläufige Strichzeichnung der Sprengschussprofile der Südtraverse. Die Unterkruste des Südkontinentes dringt nach Norden bis unter das Penninikum vor. Die ober Kruste erscheint abgestreift und nach Süden zurückgeworfen.

Die europäische Unterkruste und die Moho tauchen nach Süden gegen das Pobecken ab. Die Tiefenlage der Reflexionsmoho auf Profil S₁ und S₅ entspricht derjenigen der Refraktionsseismik (vergleiche Bild 11).

Das Regionalprofil auf Bild 8 zeigt eine mögliche Erklärung dieser Situation. Am Südennde der Südtraverse im Raume Chiasso zeigt sich in einer Tiefe von ca. 35 km ein Reflexionsband, das der Tiefenlage mit einer gesicherten Refraktionsmoho gut übereinstimmt. Diese Reflexionen lassen sich mit einigen Unterbrüchen nach Norden über Lugano hinaus bis an die Insubrische Linie durchziehen. Es ist somit nicht auszuschliessen, dass das breite Reflexionsband nördlich der Insubrischen Linie, zwischen 25 und 35 km Tiefe der südalpinen Unterkruste entspricht, die hier keilartig unter die Alpen vordringt.

Die südalpine Oberkruste, d.h. das Insubrische Kristallin, erscheint an der Insubrischen Linie zurückgestaucht und verschuppt.

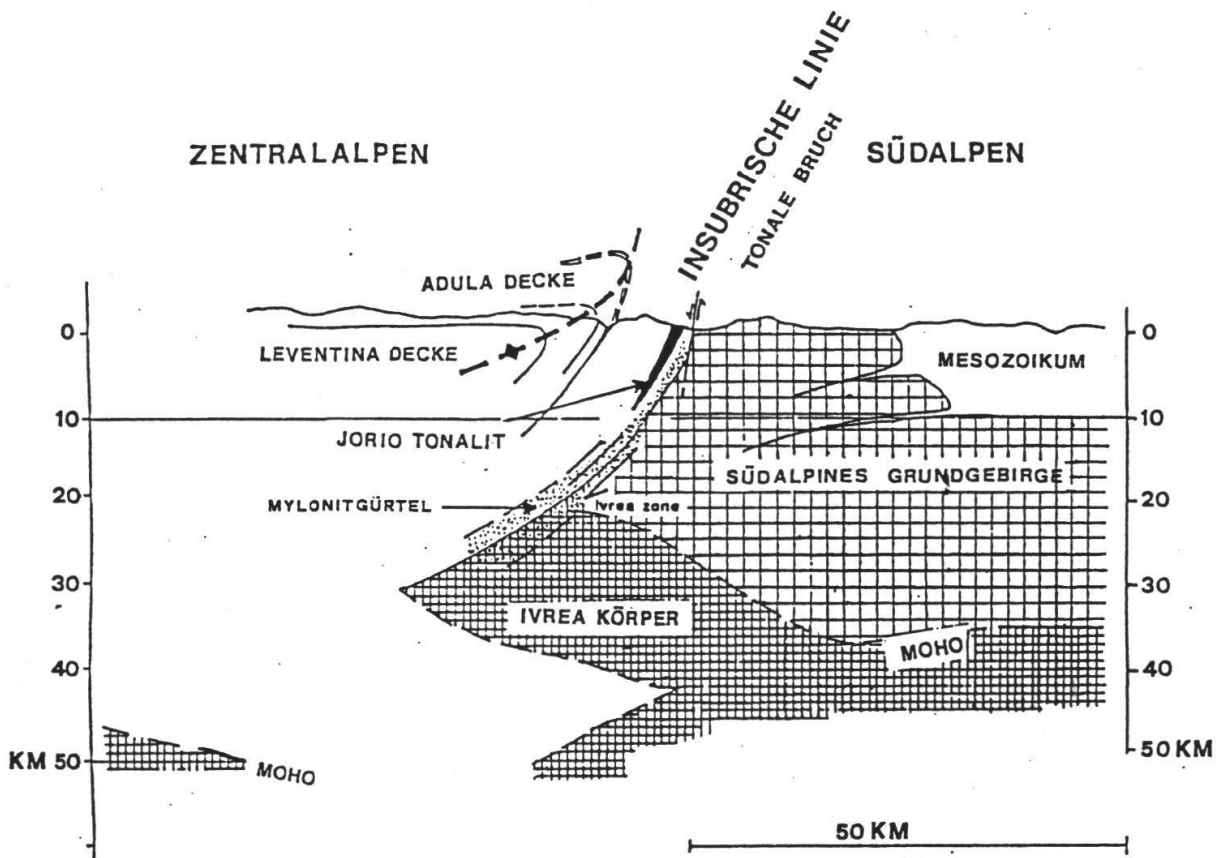


Bild 8 Prognostisches Profil durch die Insubrische Linie im Bereich der Südtraverse nach P. HEITZMANN (1987).

Diese Bruchzone trennt das alpin metamorphe Kristallin der «Wurzelzone» vom Paläozoischen «Grundgebirge» der Lombardischen Alpen.

Lokal sind Keile von unmetamorphen Mesozoischen Dolomiten in diese Störungszone eingeklemmt. Die Verschuppung des insubrischen Kristallins wurde von LAUBSCHER 1986 auf Grund von «material balance» Berechnungen der Südalpenprofile postuliert.

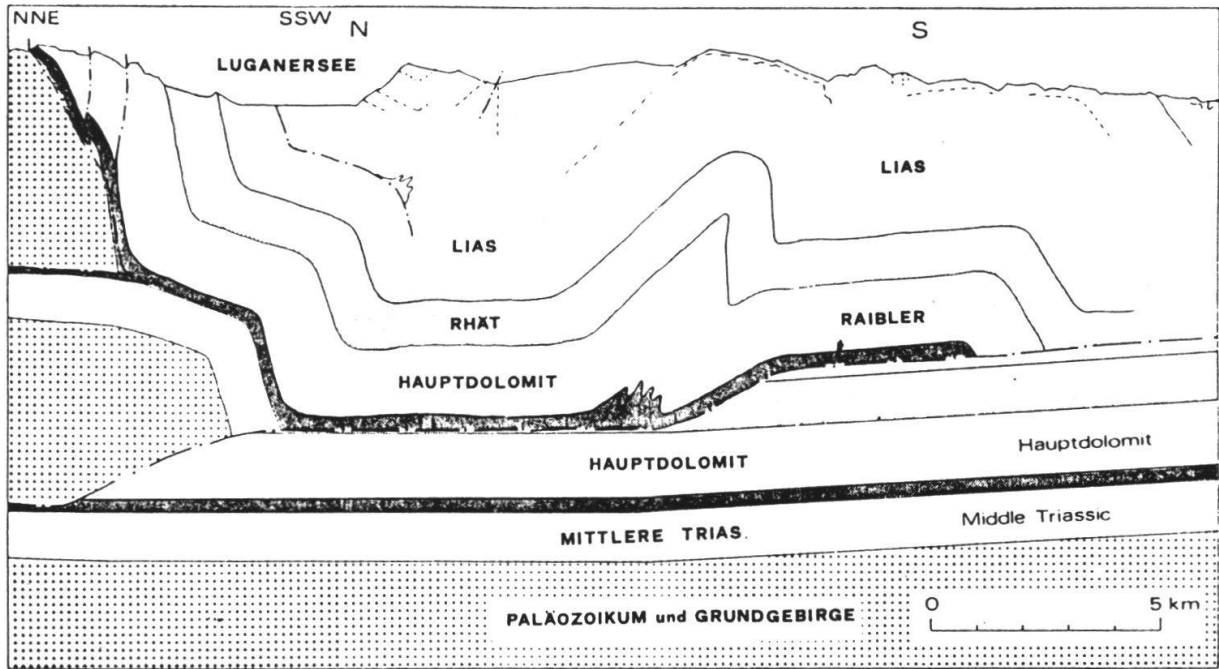


Bild 9a Geologisches Profil durch die Lombardischen Kalkalpen im Grenzgebiet Schweiz-Italien zwischen Lago di Como und Lago di Lugano nach H. LAUBSCHER (1985). Der Triassische Hauptdolomit und der darüberliegende Rhätische Conchodondolomit entsprechen den wichtigsten Reservoir Horizonten in den Oel- und Gasfeldern der Gegend Milano-Bergamo.

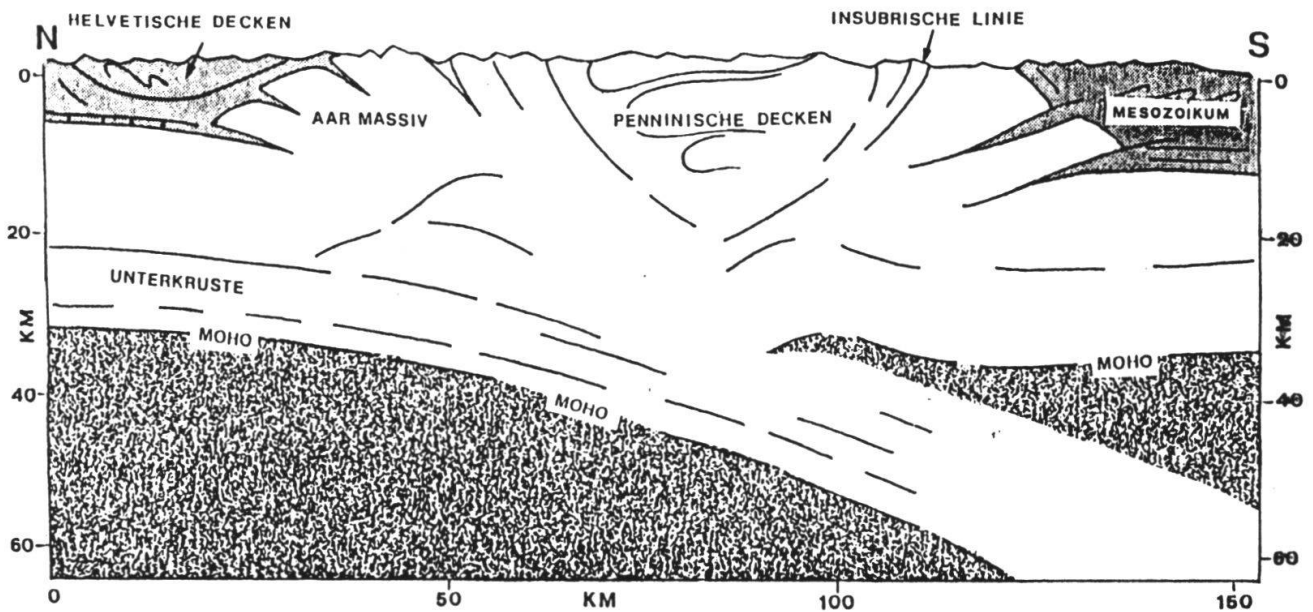


Bild 9b Profilskizze der Westalpen im Bereich der Südtraverse als vorläufige Arbeitshypothese.

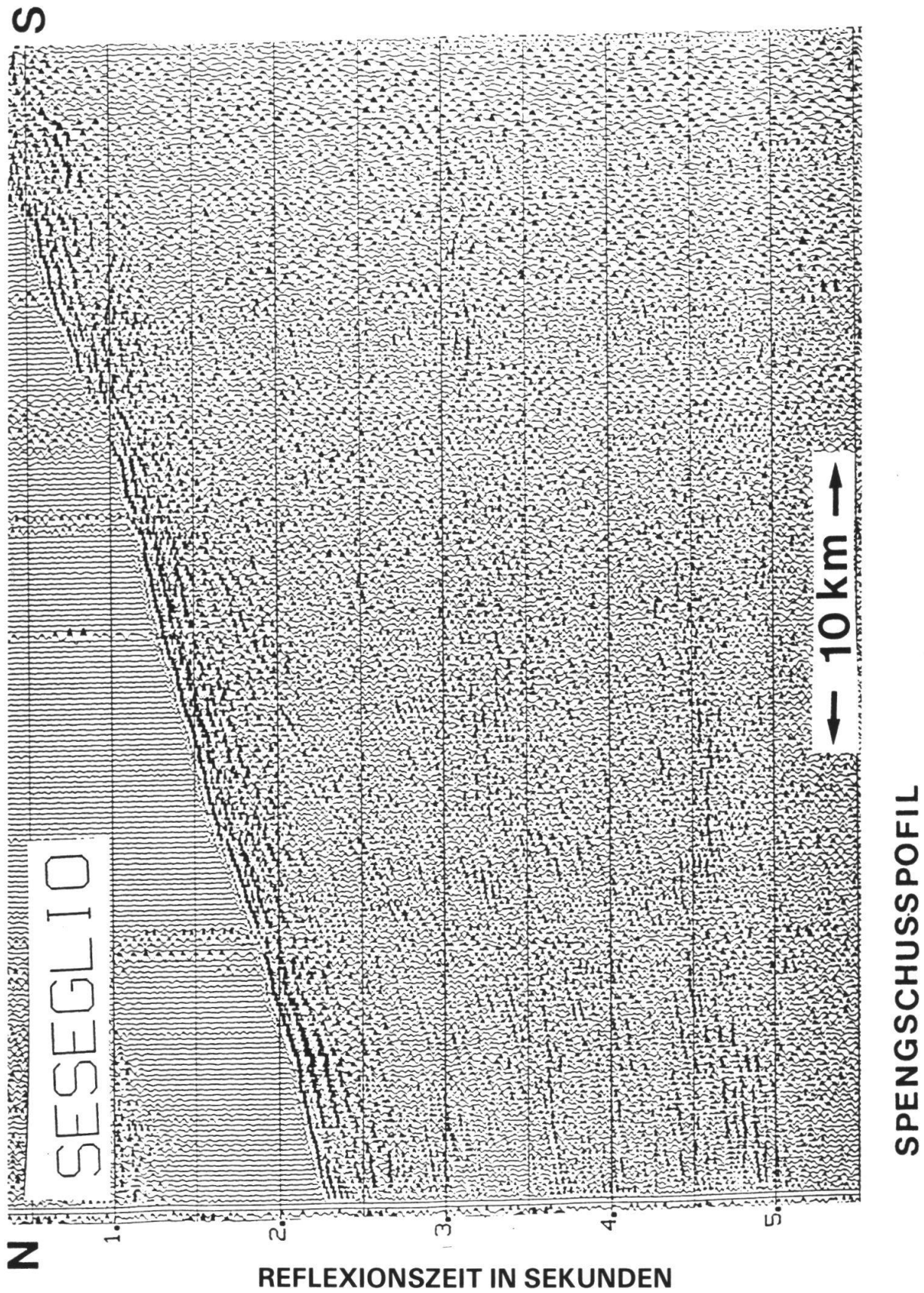


Bild 10 Profil des Sprengschusses Seseglio an der Grenze Schweiz-Italien bei Chiasso in die Geophonlinie S-5. Von ca. 5 sek. nach oben die Mesozoische Sedimentserie im Gebiet des Mte. Generoso.

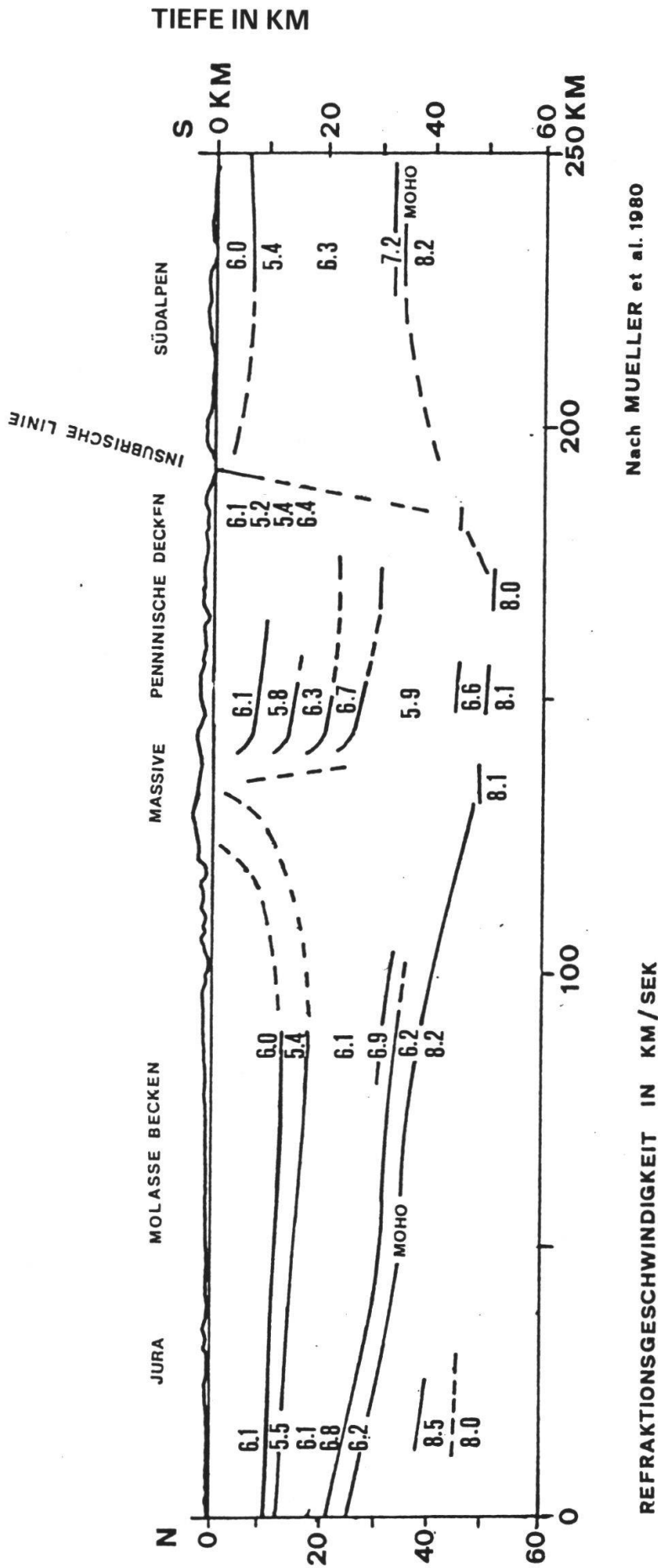


Bild 11
 Refraktionsprofil entlang der Schweizerischen Geotransverse von Basel nach Chiasso. Das Band, mit erhöhter Refraktionsgeschwindigkeit im Penninischen Bereich (6.7 km/sek), entspricht in der Tiefenlage dem auffallenden Band starker Reflexionen in 25-30 km Tiefe (Bild 7, 8, 9).

Das Sprengschussprofil der Linie S-5 im Mendrisiotto (Sprengschuss Seseglio, Bild 10) zeigt die grosse Sedimentmächtigkeit der Lombardischen Kalkalpen, östlich der Luganerlinie. Die Basis der Sedimente im Generosogebiet erscheint in einer Tiefe von etwa 5 Sekunden (10-12 km). Auffallend ist eine basale Lage von 3-4 km Mächtigkeit, ziemlich flachliegend und wenig deformiert. Es dürfte sich um die Dolomite der Trias handeln. Die darüber liegenden Sedimente (Rhät, Jura und Kreide) sind vermutlich abgeschert und mehrfach verschuppt und gefaltet (vergleiche Bilder 9).

Die Ost- und Westtraverse

Die reflexionsseismischen Feldaufnahmen dieser Traversen sind abgeschlossen. In Zusammenarbeit mit dem Geothermik-Projekt des Kantons Wallis (Geothermoval) sind noch eine Anzahl kurzer Querprofile durch das Rhonetal geplant. Es soll hier die Mächtigkeit der quartären Talfüllung und die für die Zirkulation der Tiefenwässer wichtige Grenze Kristallin / Mesozoikum vermessen werden.

Von der Ost- und Westtraverse liegen nun die Ergebnisse der ersten Phase der Datenverarbeitung vor (bis und mit Stapelung). Besondere Beachtung verdienen die Profile W-2, W-3 und W-4. Diese Profile, unter Kollegen «Swiss Gold» genannt (Geophysically objective line drawings) sind das Ergebnis einer speziellen Art der Datenverarbeitung, die der geologischen Interpretation entgegenkommt und für die Reproduktion im Kleinformat geeignet ist.

Die Profile der beiden Traversen sind nun in den Händen der Teams, die mit der geologischen Interpretation betraut sind. Gleichzeitig werden die Bänder am CRAY-II mit fortgeschrittenen Programmen, wie z.B. «prestack migration» nochmals überarbeitet. In enger Zusammenarbeit zwischen Geophysikern und Geologen werden die Profile sodann dreidimensional modelliert. Das verwendete Modellierungspaket «Sierra» erlaubt es unter anderem, das interpretierte Bild, nämlich geologische Profile und Isohypsen rückläufig in reflexionsseismische Profile zu übersetzen und damit die Validität der Interpretation zu testen.

Im Sammelprofil der Sprengschüsse entlang der Linie W-1 und W-2 der Westtraverse (Bilder 16 und 17) ist der Kontrast zwischen der feingliederigen Strukturierung der Penninischen Decken im Gegensatz zu der viel grobmaschigeren Struktur der darunter liegenden Kruste besonders auffallend. Das Profil (Bild 15) von A. ESCHER und A. STECK zeigt einen ersten Versuch, die von der Oberfläche bekannten Deckeneinheiten auf dem seismischen Profil zu identifizieren.

Dieses Deformationsbild wird in der Krustengeologie als «dünnhäutig» bezeichnet. Auf den Profilen des Zermattertales (Bild 16) und des Val d'Anniviers (Bild 17) kommt dies deutlich zum Ausdruck.

Analoge Verhältnisse zeigen sich auch im entsprechenden Abschnitt der Osttraverse (Bild 18). Auch hier konnten die Penninischen Decken ohne grössere Schwierigkeiten identifiziert werden (PFIFFNER, 1988). Bei den Bildern 16-18 zeigt sich, dass die Sprengseismik für die tieferen und die Vibroseismik für die untiefern Lagen eingesetzt werden muss.

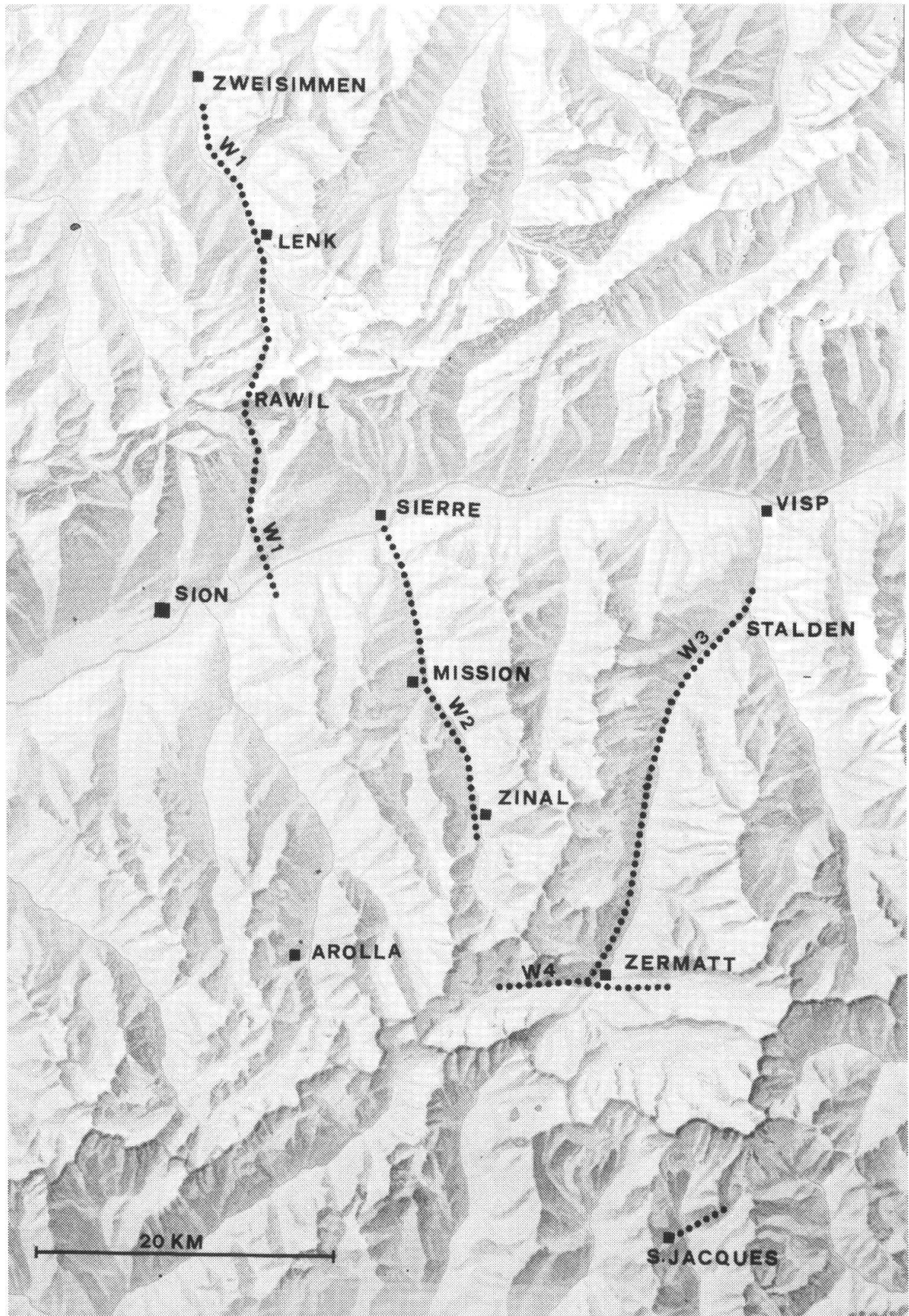


Bild 12 Relief Karte der Berner- und Walliser Alpen im Bereich der Westtraverse mit den Trassees der reflexionsseismischen Profile.

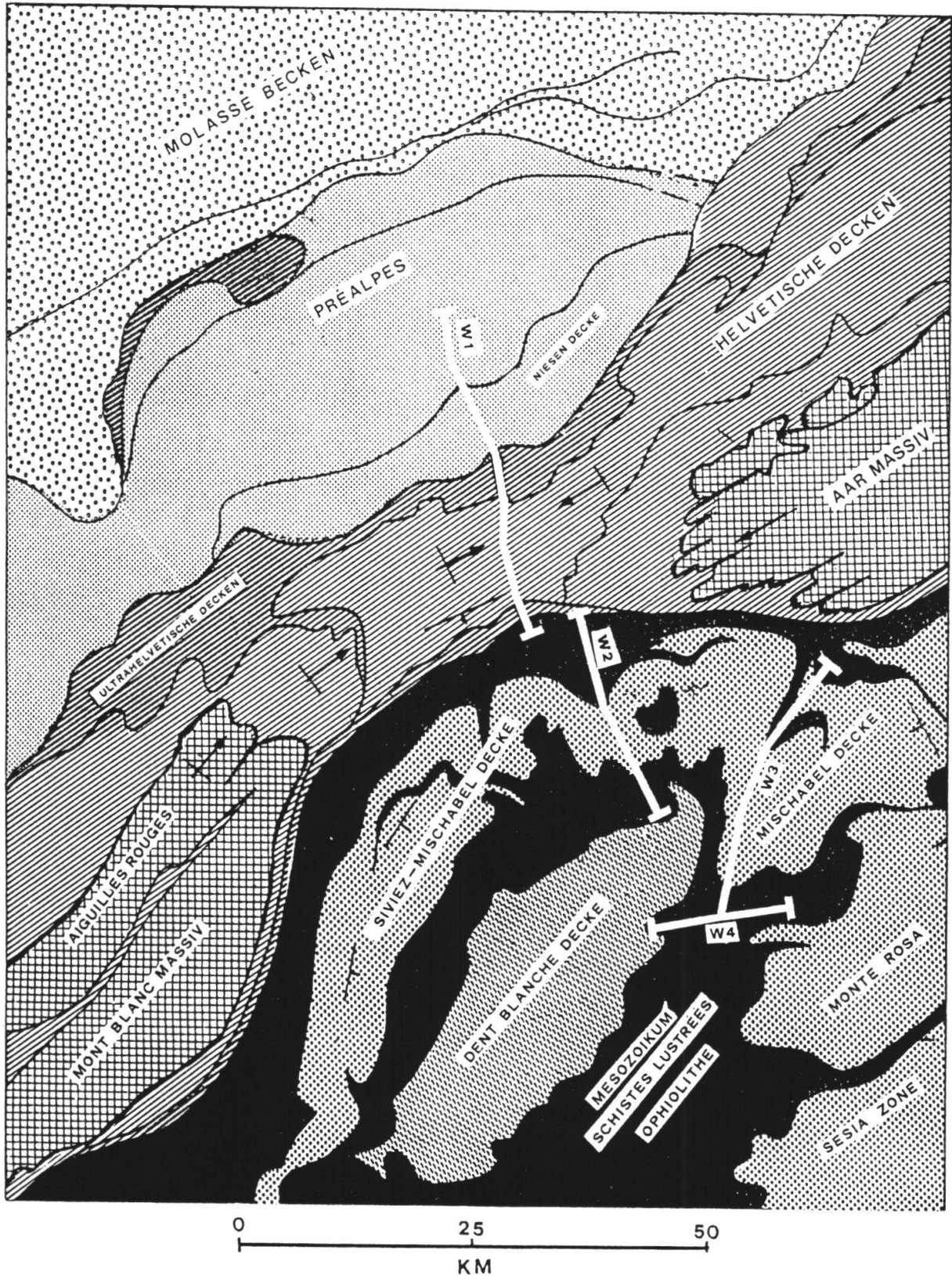


Bild 13 Tektonische Kartenskizze der Westalpen im Bereich der Westtraverse. Das Profil beginnt bei Zweisimmen im südlichen Molassebecken, das hier von den externen Decken (Préalpes, Niesendecke und Helvetische Decken) überlagert ist. Die Linie durchquert die Rawilsenke im Bereich der Massiv und erreicht die Penninische Front bei Montana am Nordrand des Rhonetals. Die basale Aufschiebung der Penninischen Decken lässt sich auf den Profilen Siere — Zinal und Stalden — Zermatt bis zur Schweizergrenze verfolgen.

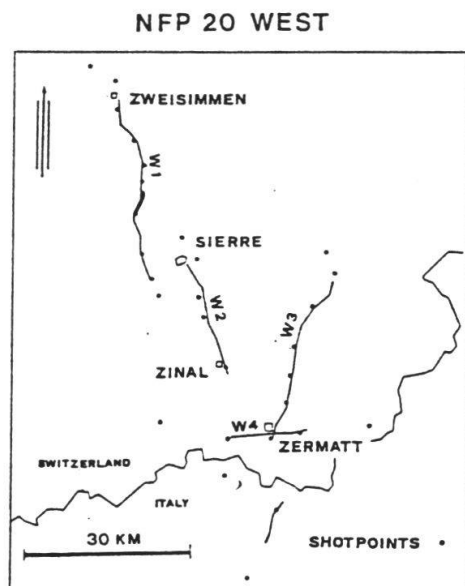
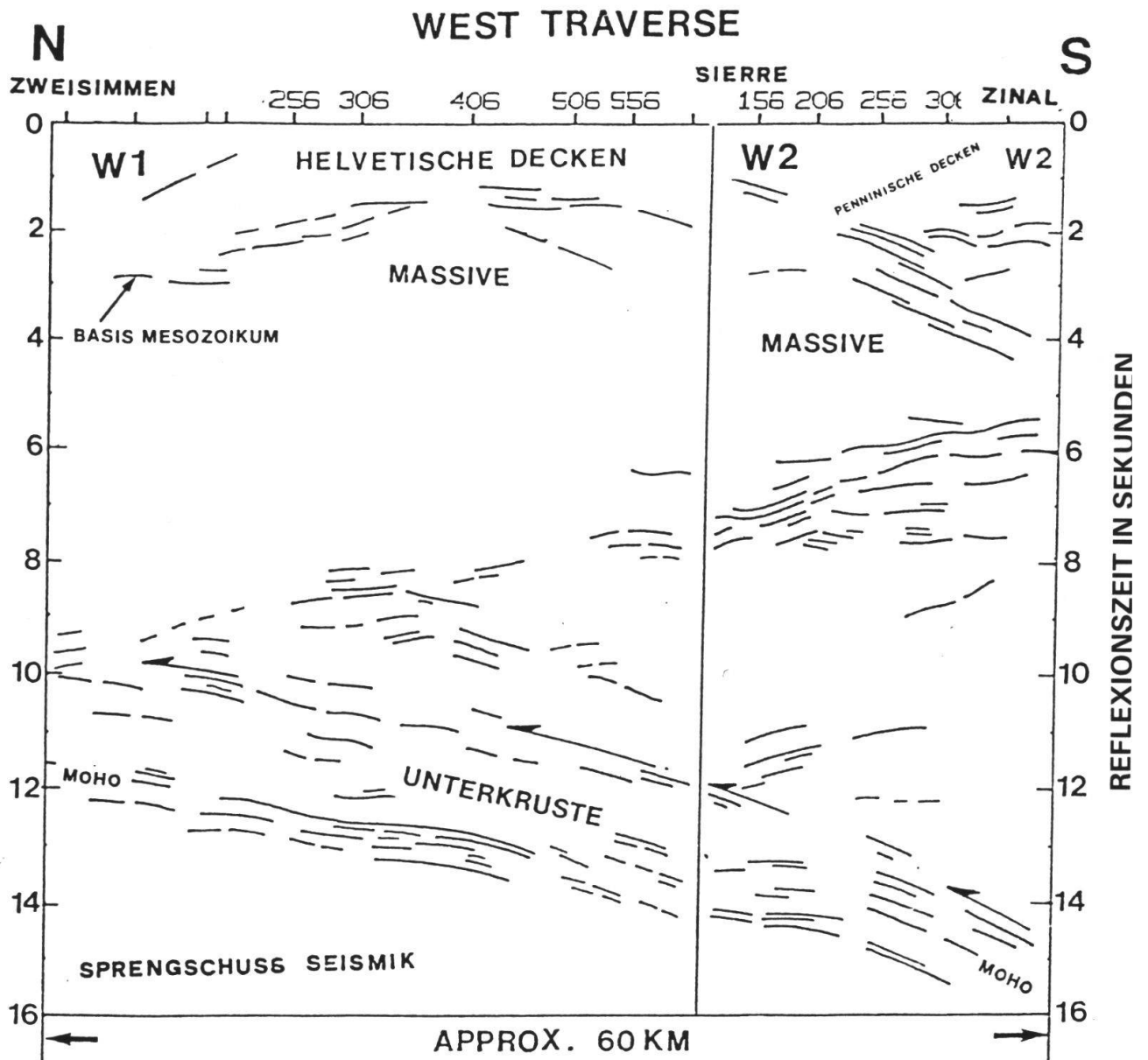


Bild 14 Strichzeichnung der kombinierten Sprengschussprofile der Westtraverse von Zweisimmen nach Zinal. Die abtauchende Penninische Deckenbasis lässt sich vom Rhonetal (Station 556) bis nach Zinal verfolgen. (Vergleiche Osttraverse Bild 22 und 23). Das nach Norden abtauchende Reflexionspaket zwischen 10 und 30 Sekunden deutet auf eine grossräumige Verteilung der Kontinentalen Kruste.

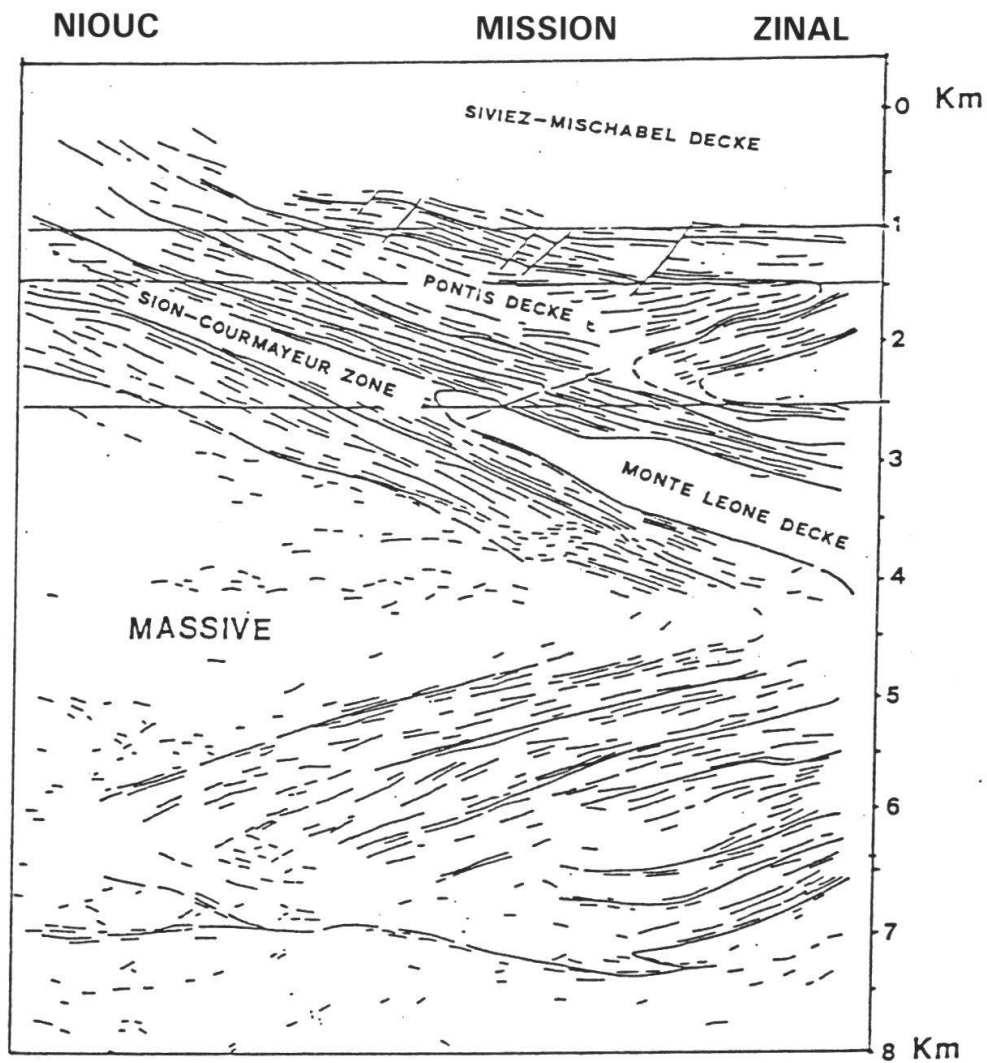


Bild 15a Vorläufige geologische Interpretation des Vibroseisprofils des Val d'Annivier nach A. ESCHER und A. STECK in L. DU BOIS, J. BESNARD, A. ESCHER, W. FREI, L. LEVATO, R. MARCHAND, R. OLIVIER, M. OUWEHAND, S. SELLAMI, A. STECK und J.J. WAGNER (1989) (in press).

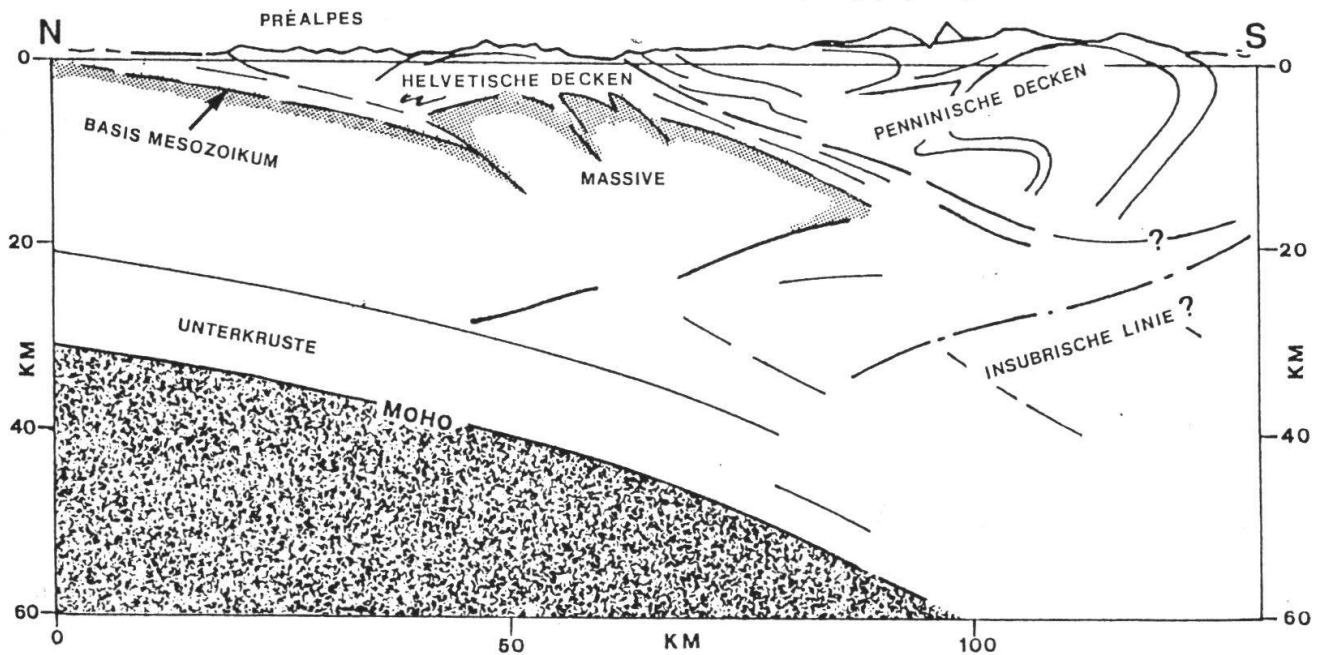


Bild 15b Profilskizze der Westalpen im Bereich der Westtraverse als vorläufige Arbeitshypothese.

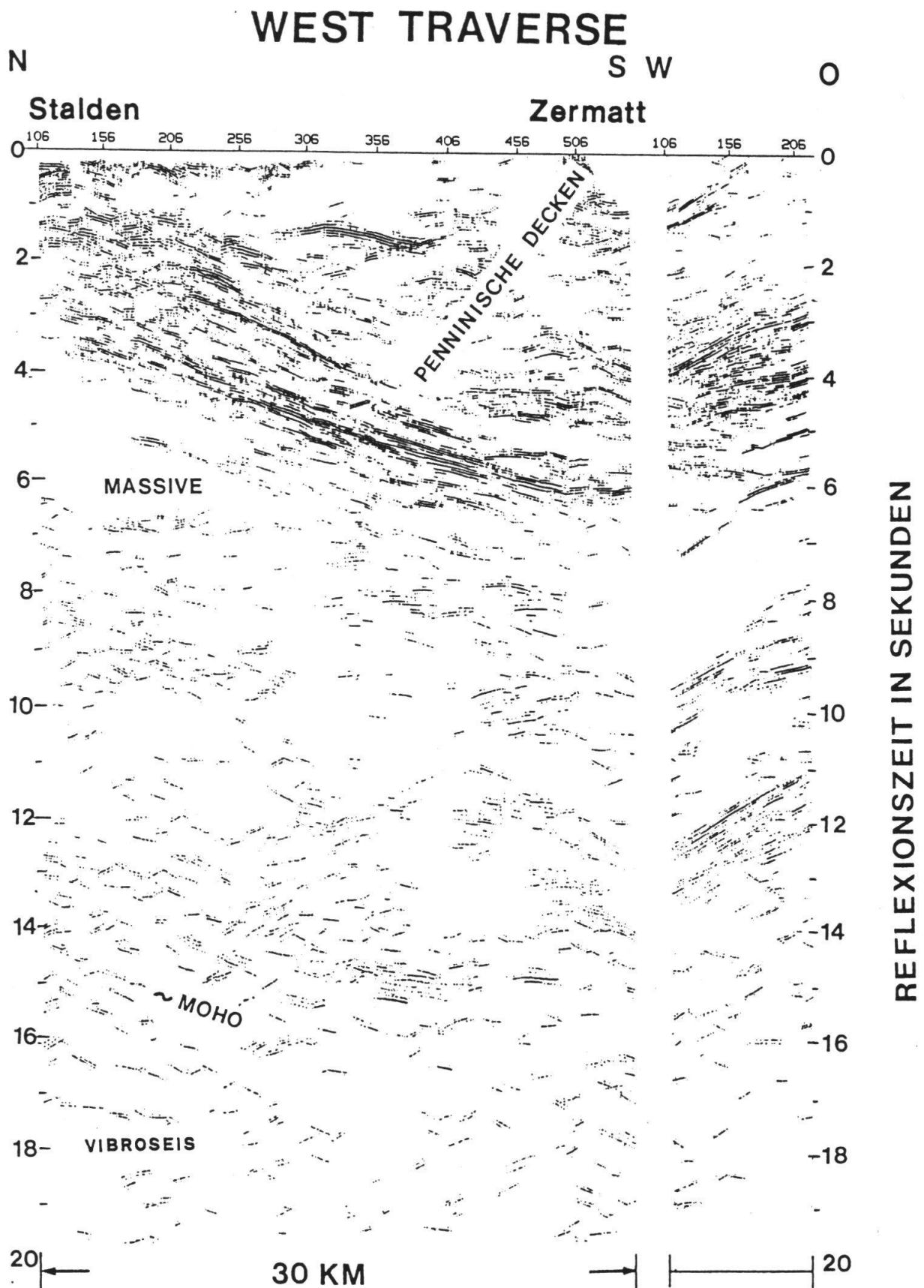


Bild 16a Vibroseisprofil Stalden - Zermatt. Das Querprofil bei Zermatt (Zmuttgletscher - Furri - Findeln-gletscher) zeigt das alpine Axialgefälle über der Moho. Die Wiedergabe der reflexionsseismischen Krustenprofile im Kleinformat erwies sich als ausserordentlich schwierig. Die wiedergegebenen seismischen Profile (Bilder 5, 16, 17 und 18a wurden mit speziellen Kohärenzfiltern bearbeitet und sodann von sporadischen Streupunkten, welche das Bild unnötig stören, gesäubert.

WEST TRAVERSE

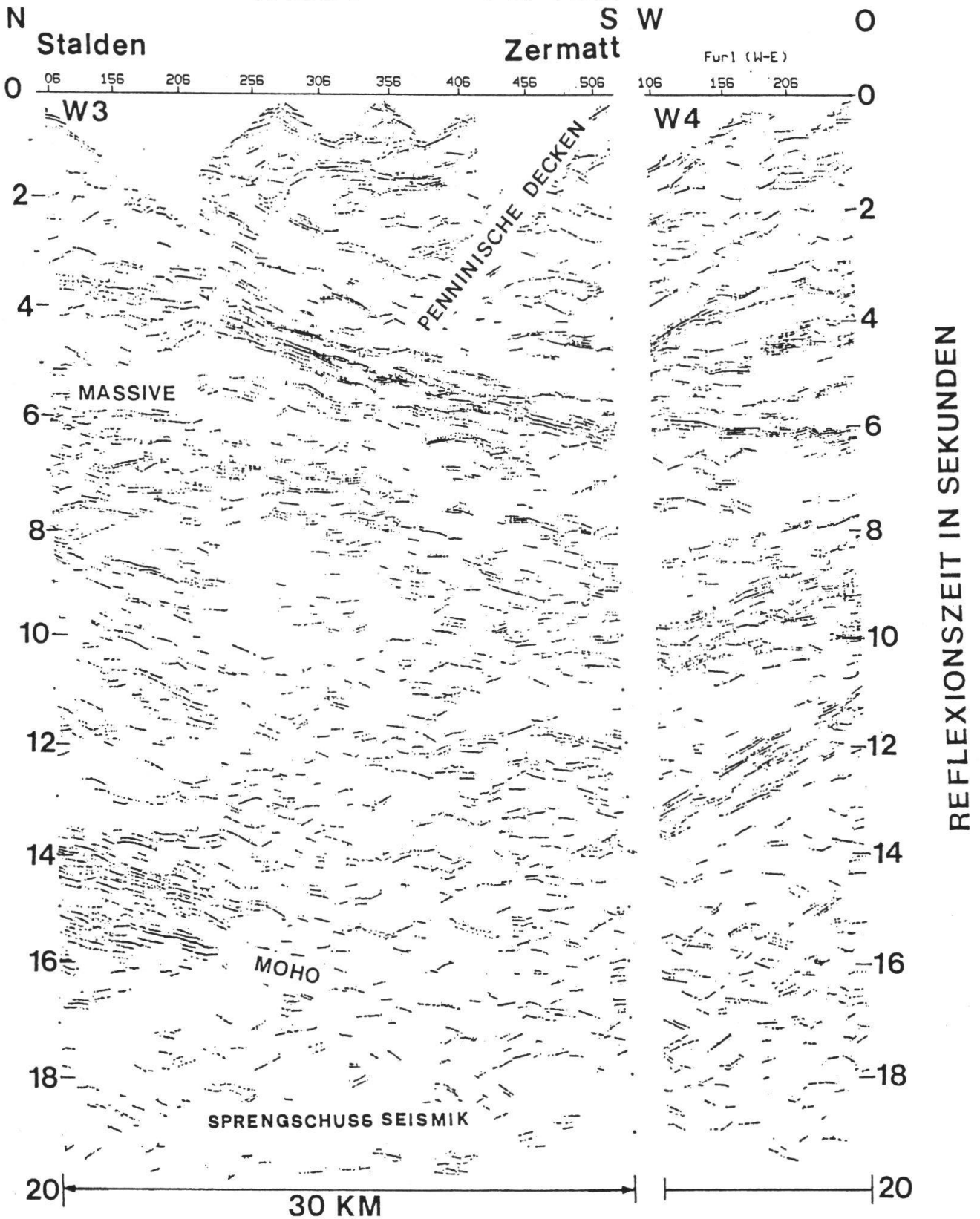
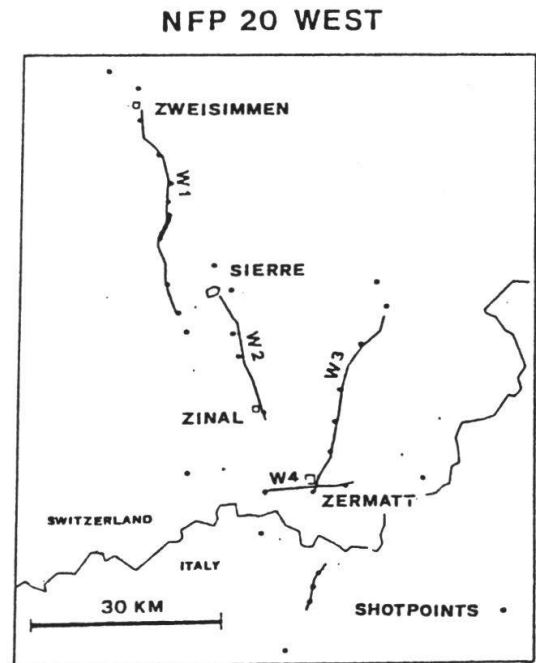
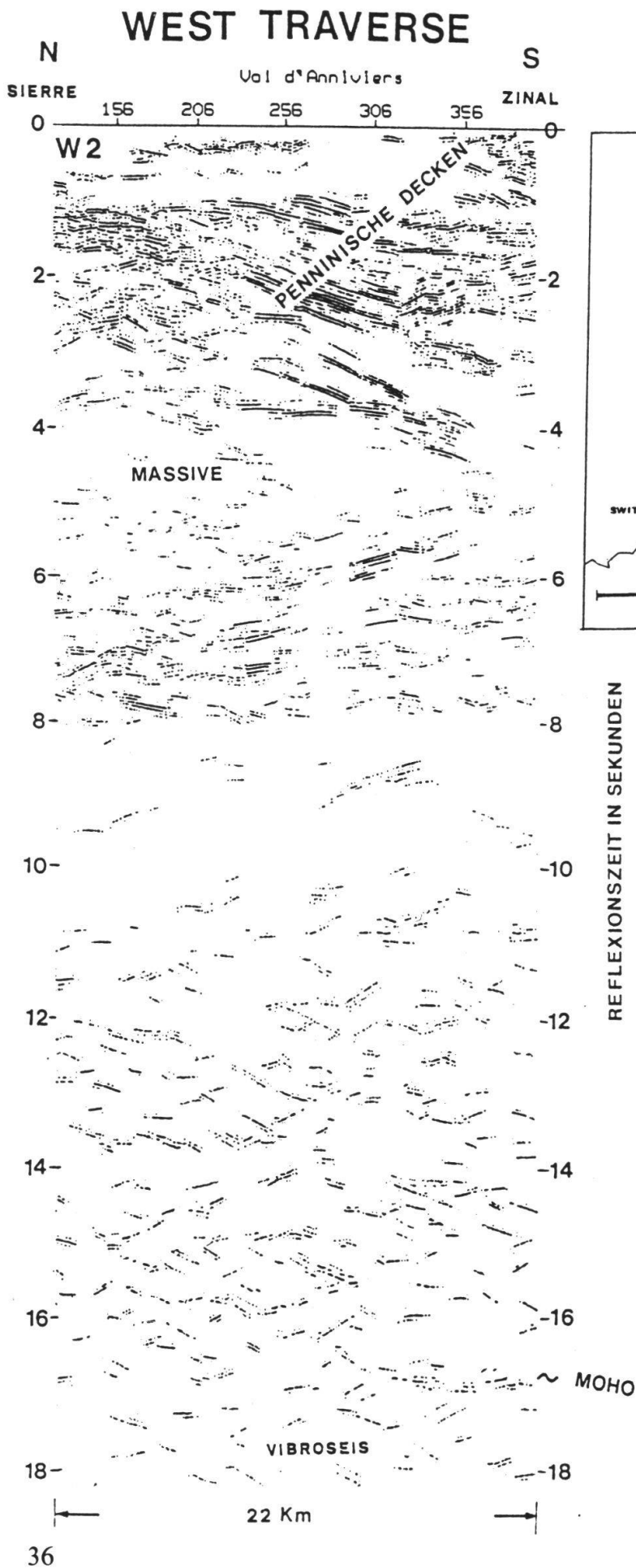


Bild 16b Die Sprengschussprofile W-3 und W-4 zeigen ein Mohoband das von 14-16 sek. am Nordrand auf 16-18 sek. in der Gegend von Zermatt abtaucht. Mit etwas Courage lässt sich die Moho flach unter die gemäss den alpinen Axialgefälle nach Westen abtauchenden Schichten durchziehen, die somit über dem Mohoband abgeschert scheinen.



REFLEXIONSZEIT IN SEKUNDEN

Bild 17a
Vibroseeisprofil des Val d'Annivier von Sierrre nach Zinal.

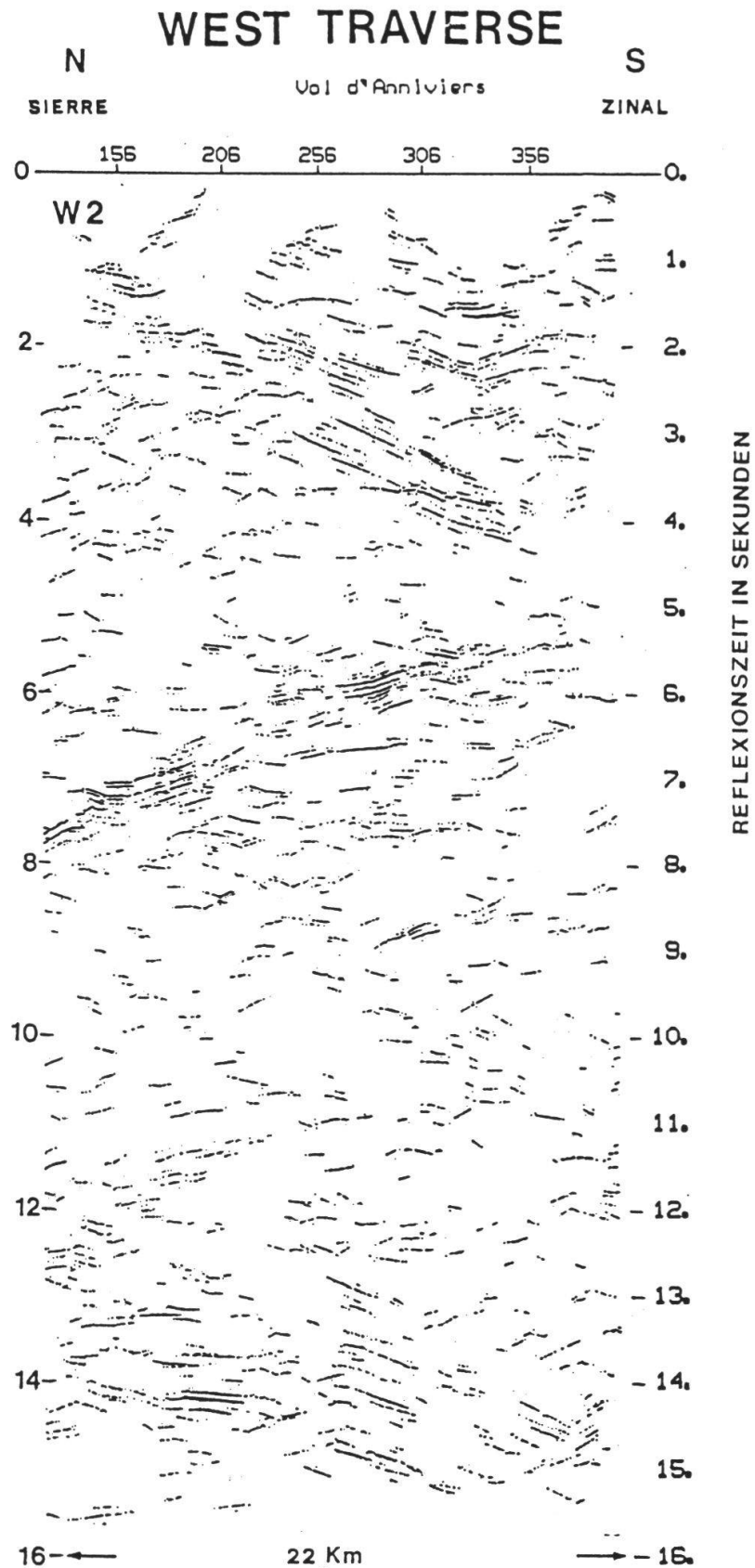


Bild 17b Sprengschussprofil des Val d'Anniviers. Das aus der Gegend von Zinal aus 6 sek. Tiefe nach Norden auf 10 sek. abtauchende Reflexionsbündel deutet auf eine grossräumige Verteilung der Europäischen und Adriatischen Kruste. Letztere stösst keilartig unter die nördliche Oberkruste vor und zwingt diese (Penninikum und Massive) nach oben auszuweichen, mit nach Süden zunehmenden Hebungsbeiträgen.

OST TRAVERSE

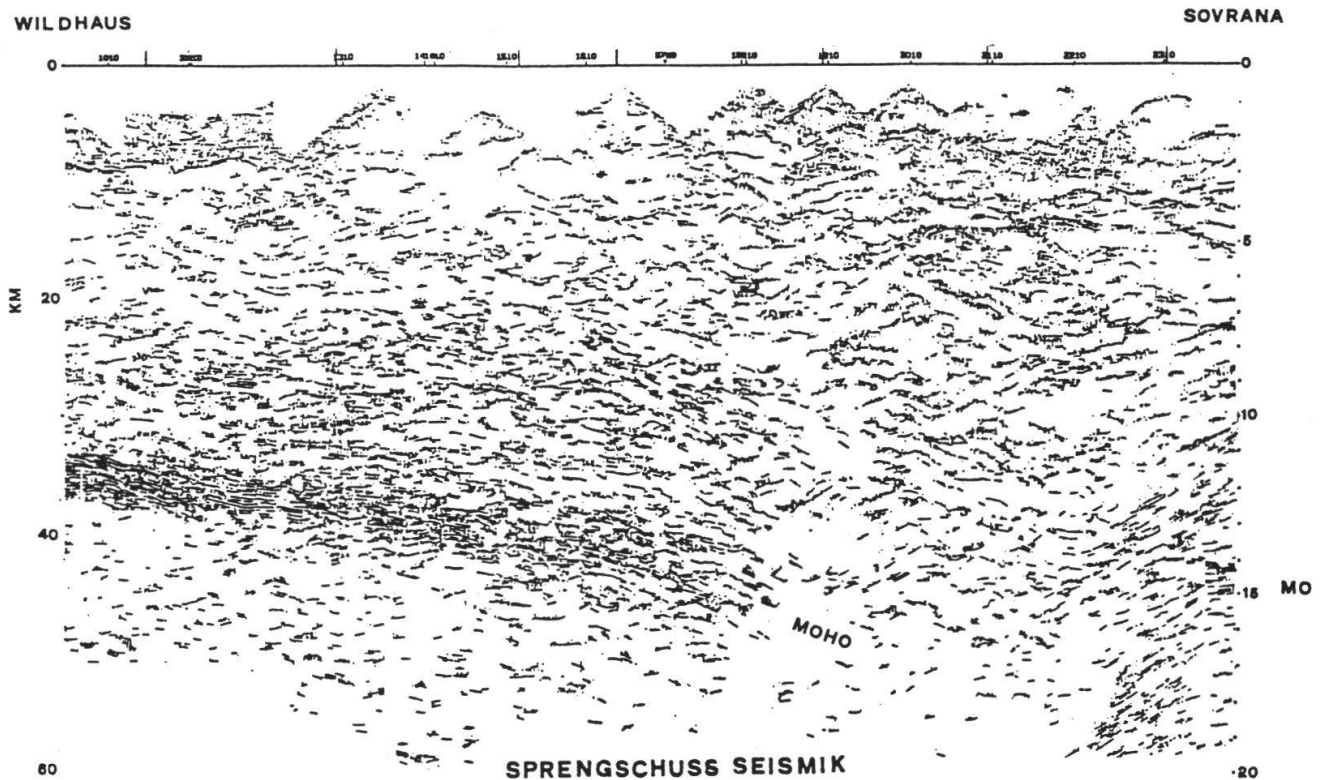
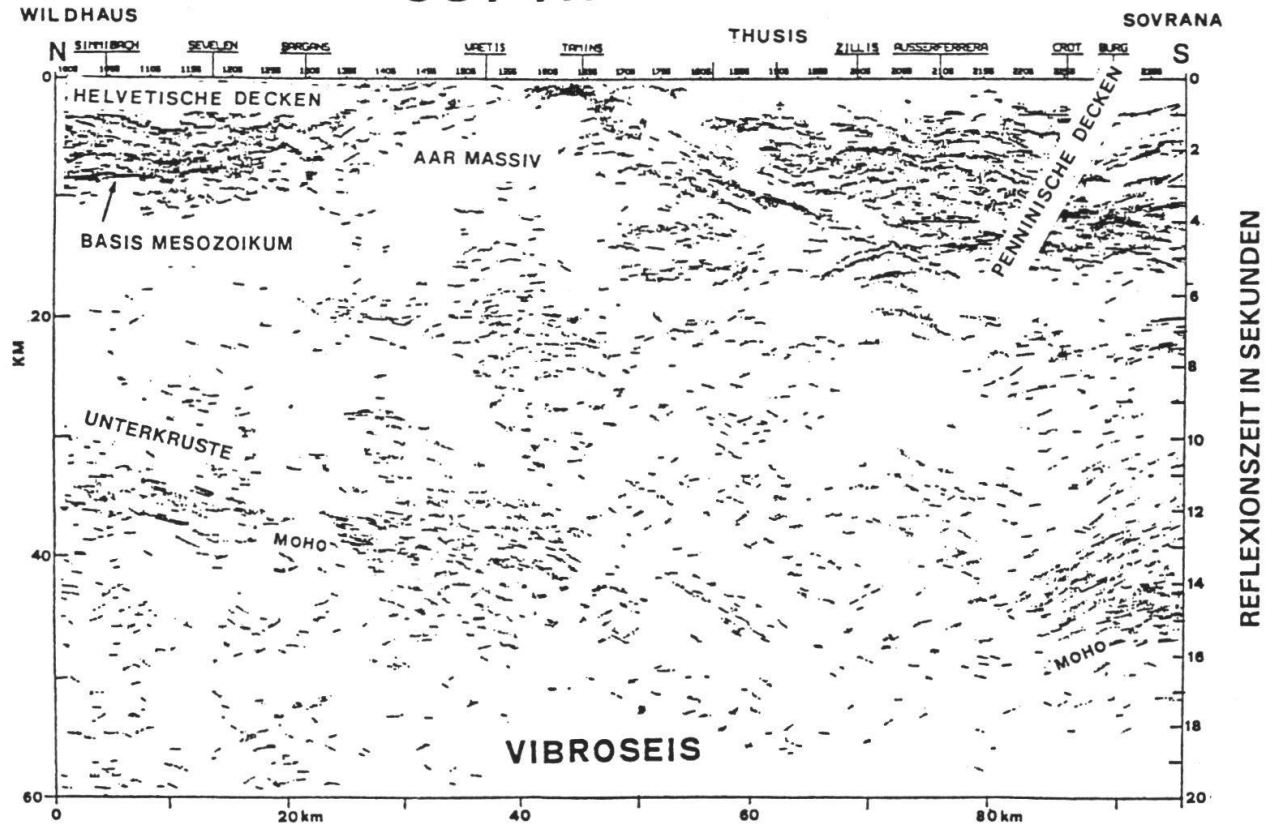


Bild 18a Vergleich von Vibroseis und Sprengschusseisimik der Osttraverse von Wildhaus am Santis nach Sovrana an der Grenze Schweiz-Italien.

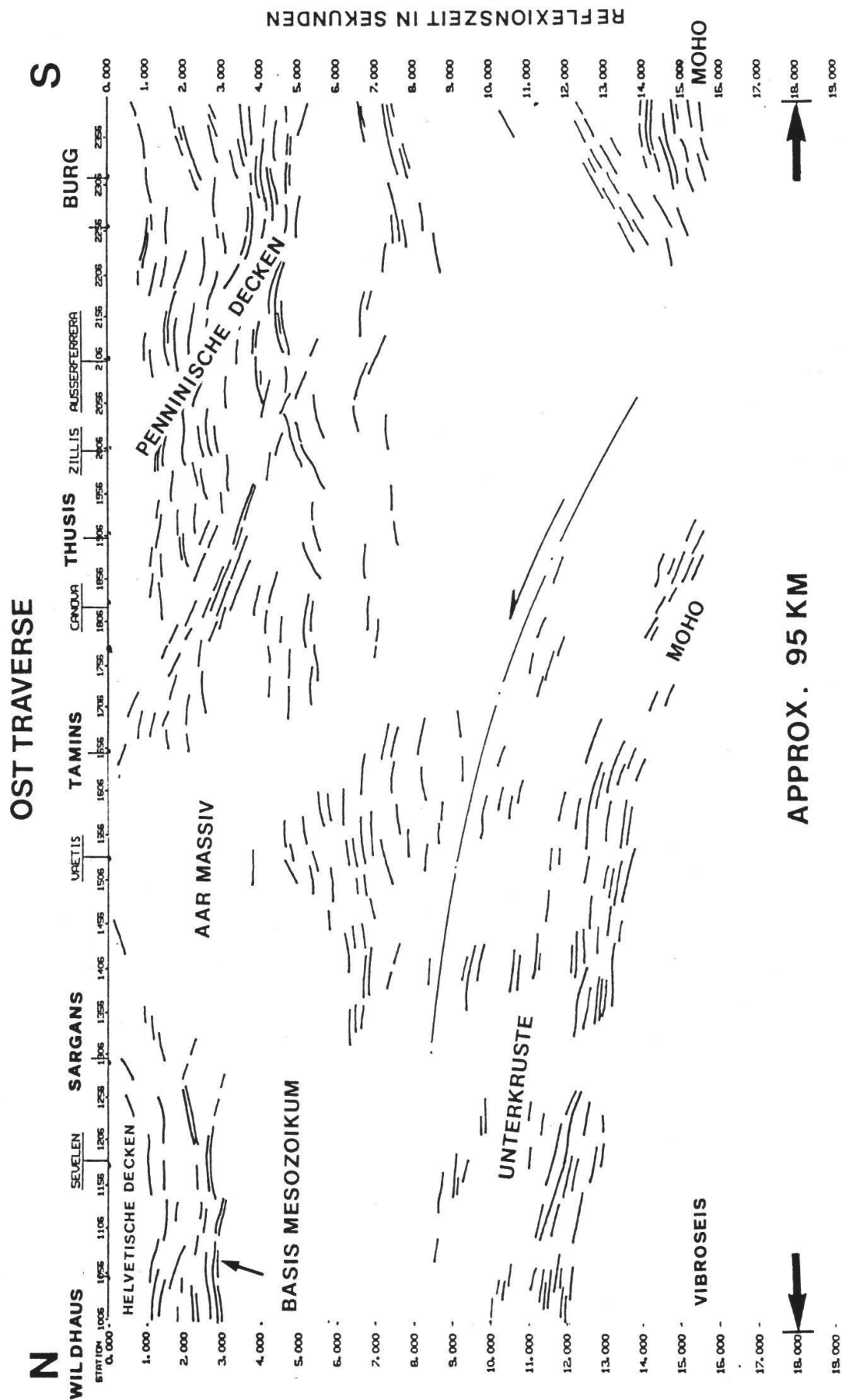


Bild 18b Strichzeichnung der Vibroseisprofile der Osttraverse. Der Sporn über der Unterkruste unter dem Aarmassiv entspricht einer Zone erhöhter Refraktionsgeschwindigkeit.

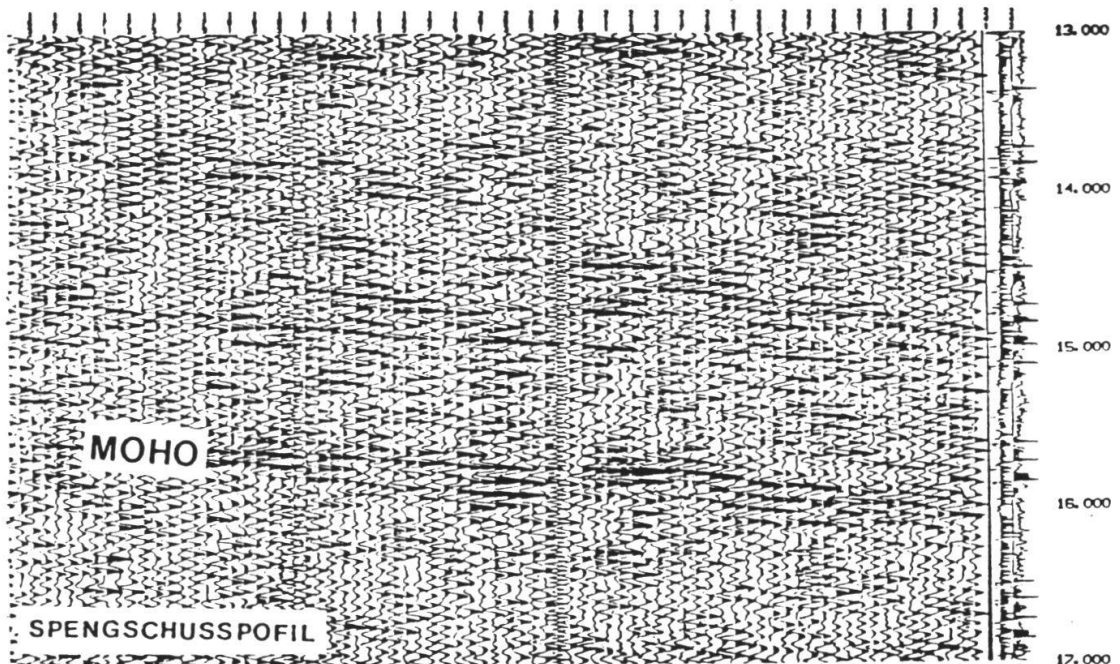
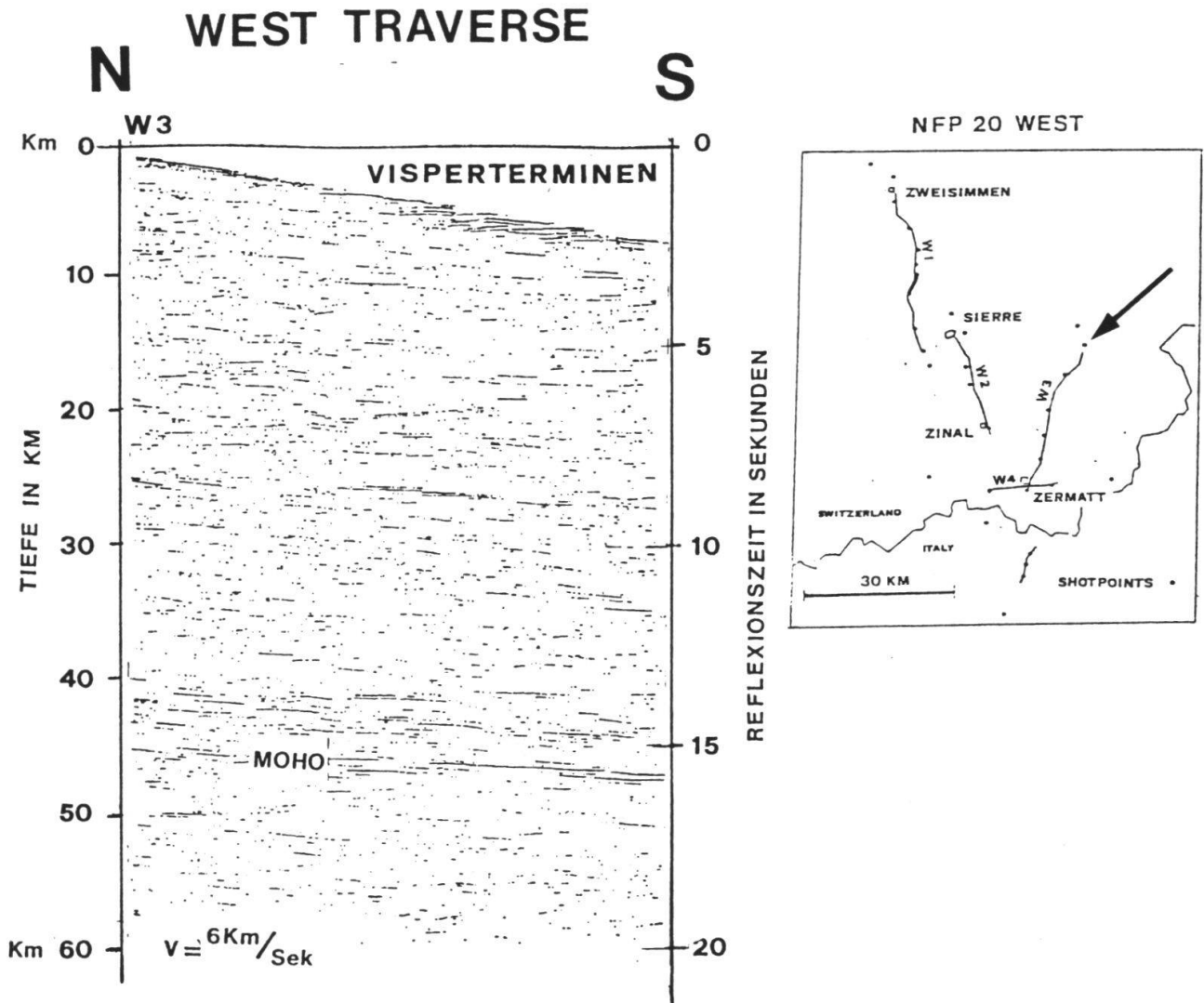


Bild 19 Profil des Sprengschusses Visperterminen (Schusspunkt im Talboden des Vispertals) in die Geophonlinie W-3 Stalden — Zermatt. Das Reflexionsband der Moho zeichnet sich auch in dieser Tiefenlage von ca. 48 km noch deutlich ab.

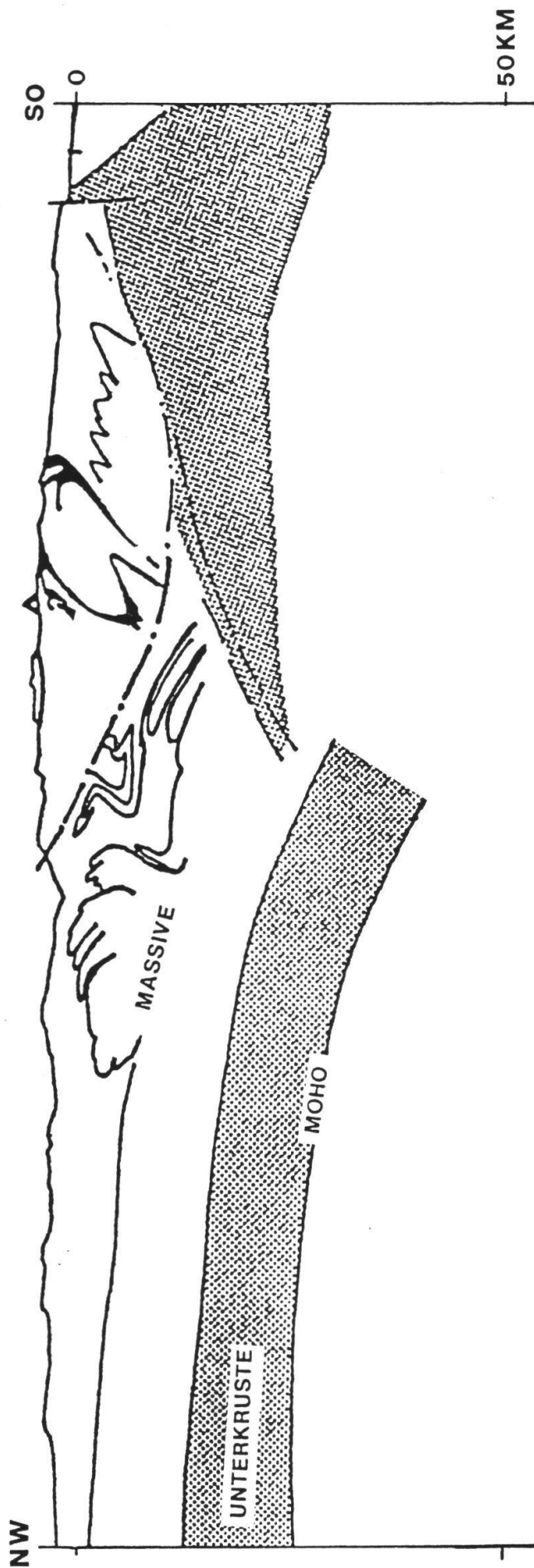


Bild 20 Krustenprofil der Westalpen im Bereich der Westtraverse nach H. LAUBSCHER (1988). Die nach Norden abtauchenden Reflektoren des Profiles Zweisimmen — Zinal werden mit dem keilförmig unter die Alpen vordringenden Sporns (Indenter) des Ivreakörpers in Verbindung gebracht. Diese grossräumige Verkeilung der kollidierenden Kontinente unterscheidet sich deutlich von der sogenannten «dünnhäutigen» Deformation des Penninischen Bereiches.

Was die Struktur der alpinen Kruste unterhalb des Penninikums betrifft, zeigen alle drei Traversen das kontinuierliche Abtauchen der MOHO und der Unterkruste (Bild 19). Das heisst, Mantel und Unterkruste der Eurasiatischen Platte tauchen zunächst nur wenig deformiert unter die Alpen ab, während sich darüber die kollidierenden Platten grossräumig verkeilen.

Das Krustenprofil von LAUBSCHER (1988) (Bild 20) bringt das auf der Westtraverse beobachtete Nordfallen unterhalb der Basis des Penninikums mit dem nach Norden vorstossenden Keil des Ivreakörpers in Verbindung. In ähnlicher Weise lassen sich die Strukturen dieses Intervalls der Süd- und Osttraverse erklären.

Vorläufige Schlussfolgerungen

Die reflexionsseismischen Daten der Alpenprofile von NFP-20 deuten auf eine grossräumige Verkeilung von nördlichen und südlichen Krustenelementen in der alpinen Kollisionszone. Die nach Süden abtauchende Europäische Kruste erscheint delaminiert oder aufgesplittet, durch keilförmig unter die Alpen vordringende Teile der südlichen (Adriatischen) Kruste. Ein wichtiger Abscherungshorizont liegt im mittleren Krustenbereich, über dem Dach der Unterkruste, ein tieferer vermutlich über dem stark reflektierenden «Mohoband» an der Basis der Unterkruste.

In der Krustentektonik ist die grossräumige Verkeilung von Krustenelementen als «Krokodilstruktur» bekannt geworden (MEISSNER 1989, MÜLLER 1989).

Ein Zusammenhang zwischen den unter die Alpen vordringenden Krusten-Keilen und axialen Kulminationen erscheint naheliegend.

Das relativ «dünnhäutige» Deformationsbild im Penninischen Bereich, das heisst im obersten Drittel der alpinen Kruste lässt sich voraussichtlich als Ergebnis des Zusammenstauens der durch Streckung ausgedünnten und von listrischen Brüchen durchzogenen Kruste der Mesozoischen Thetys deuten. Die eigentliche Kollision der Kontinentalschollen erzeugte grossräumige Strukturen ganz anderer Art.

Unsere Aufgabe ist es nun die Ergebnisse der Reflexionsseismik mit dem Daten anderer Disziplinen vor allem der Refraktionsseismik und Gravimetrie zu vergleichen. Besonders wichtig erscheint uns auch ein Austausch von Erfahrung und Ideen mit unseren EGT Partnern von ECORS (BOIS 1988, BAYER 1987) und Dekorp (BORTFELD 1985).

Zitierte Literatur:

- AR GRAND, E., *Eclog. geol. Helv.*, 14, 145-191 (1916)
BAYER, R. et al., *C.R. Acad. Sci. Paris*, 305, 1461-1470 (1987)
BOIS, C. and COURTILOT V., *EOS Transactions Amer. Geophys. Union*, 43, 977, 988-989 (1988)
BORTFELD, R.K. et al., *J. Geophys.*, 57, 137-163 (1985)
BUTLER, R. et al., *J. geol. Soc. Lond.*, 143, 857-873 (1986)
FINCKH, P. et al., *Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. u. -Ing.*, 53, 59-74 (1987)
HEITZMANN, P., *Geodynamica Acta*, 1, 183-192 (1987)
HSÜ, K., *Am. Jour. Sc.*, 279, 353-366 (1979)
LAUBSCHER, H. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 100, 1313-1328 (1988)
MEISSNER, R., *Terra nova*, 1, 17-28 (1989)
MÉNARD, G. and THOUVENOT, F., *Bull. Soc. géol. France*, 5, 147-156 (1984)
MÜLLER, St. and BANDA, E., *Terra cognita*, 3, 291-293 (1983)
MÜLLER, St. et al., *Eclog. geol. Helv.*, 73, 463-483 (1980)
MÜLLER, St. *Geol. Soc. (London) Special Publ.*, XX, 303-328 (1989)
MÜLLER, St. et al., *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 56, 685-692 (1976)
PFIFFNER, A. et al., *Geology*, 16, 987-990 (1988)
SCHEWEIZERISCHE ARBEITSGRUPPE FÜR REFLEXIONSSEISMIK, *Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. u. -Ing.*, 54, 1-30 (1988)
SCHWIEZERISCHE ARBEITSGRUPPE FÜR REFLEXIONSSEISMIK, *Vierteljahrsschrift Naturforsch. Ges. Zürich*, 133, 61-98 (1988)
TRÜMPY, R., *Neujahrsblatt No. 187, Naturforsch. Ges. Zürich*, 1-47 (1985)

Das Reflexionsseismikteam von NFP-20:

Institut für Geophysik, ETH-Zürich:

P. FINCKH, R. FREEMAN, K. HOLLIGER, St. MÜLLER, M. STÄUBLE & P. VALASEK

Institut de Géophysique, UNI-Lausanne:

L. Du BOIS, J. BESNARD, L. LEVATO, R. MARCHANT, R. OLIVIER & M. AUVEHAND

Laboratoire de Pétrophysique, UNI-Genève:

S. SELLAMI & J.J. WAGNER

Instituts de Géologie et de Minéralogie, UNI-Lausanne:

A. ESCHER & A. STECK

Geologisches und Mineralogisch-Petrographisches Institut, UNI-Bern:

A. PFIFFNER & E. NIGGLI

Institut für Geologie, UNI-Basel:

H. LAUBSCHER, T. ZINGG

Schweizerischer Nationalfonds, Bern:

P. FRICKER

Consultants NFP 20:

A. LAMER IFP & R. SCHOOP, ETHZ

University of Wyoming, Laramy USA:

S. SMITHSON

Programmleitung:

W. FREI, P. HEITZMANN & P. LEHNER

CROP ITALIA (Progetto speciale Crosta Profonda ITALIA):

M. BERNARDINI, Dipartimento di Idraulica, Trasporti e strade, Facoltà d'Ingegneria, Univ., Roma

R. NICOLICH, Istituto di Miniere e Geophysica Applicata, Univ., Trieste