

Herrn Univ.-Prof. Dr. K. METZ
zum 80. Geburtstag gewidmet

**Zum Stand der reflexionsseismischen
Lithosphärenforschung in den Varisziden,
Westalpen und Karpaten und deren
Aspekte für die ostalpinen
Forschungsarbeiten**

Von F. WEBER

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung - Summary

1. Einleitung
2. Physikalische Grundlagen der Reflexionsseismik und Besonderheiten der Tiefenreflexionsseismik
3. Struktur der Erdkruste
4. Ergebnisse tiefenreflexionsseismischer Untersuchungen in Nachbarländern
 - 4.1. Bundesrepublik Deutschland
 - 4.2. Schweiz - NFP-20
 - 4.3. Tschechoslowakei
 - 4.4. Ungarn
5. Historischer Überblick über die Tiefenreflexionsseismik in Österreich und Ergebnisse
6. Projekte und Vorschläge für tiefenreflexionsseismische Untersuchungen in Österreich

Zusammenfassung

Es werden die wichtigsten Ergebnisse der tiefenreflexionsseismischen Untersuchungen in den Nachbarländern zusammengefaßt und im Hinblick auf ihre Konsequenzen bei österreichischen Projekten analysiert. Beim DEKORP-Projekt in der BRD sind grundlegende methodische Erkenntnisse in der Datengewinnung und -Verarbeitung gewonnen worden. Die Zweiteilung der Kruste in eine wenig reflektierende Oberkruste und eine reflexionshäufige Unterkruste, der Nachweis von weitreichenden Überschiebungen und bis in die Unterkruste reichenden Störungszonen sowie Informationen zur Struktur der Mohorovičić-Diskontinuität sind wichtige Erkenntnisse. Die Ergebnisse des Schweizer Programms NFP-20 sind richtungsweisend für alle Arbeiten in jungen Gebirgen mit intensiver Tektonik. Das Vibroseisverfahren ist auch in Gebieten mit großer Krustenmächtigkeit geeignet und bietet eine hohe Auflösung in der Oberkruste sowie eine weitgehende Erfassung der Moho. Diese kann jedoch auch mittels Sprengseismik mit nur 1-facher Überdeckung erfaßt werden. Die sprengseismischen Messungen in der CSSR haben eine gut reflektierende Moho vor allem am passiven Kontinentalrand ergeben sowie Reflexionen, die als Deckengrenzen und bis in die Unterkruste reichende Störungen interpretiert wurden. In Ungarn resultierten die langjährigen tiefenseismischen Forschungen in der Erstellung einer Moho-Karte des Landes und durch die Kombination mit Magnetotellurik wurde die geologisch-lithologische Interpretation erleichtert. In Österreich werden etwa seit dem Jahre 1975 sporadische Untersuchungen im oststeirischen Tertiärbecken und in Vorarlberg, meist im Weitwinkelbereich, ausgeführt. Es wird ein Überblick über geplante Projekte und deren Ziele gegeben, die in den nächsten Jahren realisiert werden sollten.

Summary

The most important results of Deep Reflection Seismic measurements in the neighbouring countries are summarized and analysed with regard to consequences at Austrian projects. The german DEKORP-Project gave fundamental results in the acquisition and processing of reflection seismic data. Important new knowledges are the bisection of the crust with a poor reflecting upper-crust and

a strongly reflecting lower-crust, the existence of far reaching overthrusts, tectonic disturbances reaching down in the lower crust, further informations about the structure of the Mohorovičić discontinuity. The results of the Switzerland Project NFP-20 are direction pointing for all investigations in young alpine mountains with intensive tectonic style. The Vibroseis method is also well suited in areas with considerable thickness of the crust, gives an high resolution of the upper crust and detailed knowledge of the Moho. Reflections from this discontinuity could also get by dynamite seismic with single coverage. The investigations (dynamite) in the CSR yielded a good reflecting Moho especially at the passive continental margins. Furthermore reflections were interpreted as limits between nappes and deep reaching disturbances. The investigations in Hungary, performed since many years resulted in the construction of a Moho-map of the country. The geologic-lithologic interpretation was facilitated by the combination which the magnetotelluric method. In Austria sporadic measurements were performed since the year 1975 in the East Styria basin and in the Vorarlberg country, mostly as wide angle reflections. A general view is given about planned projects and their targets, which should be realized in the next years.

1. Einleitung

Die Bestrebungen zur Erforschung der festen Schale unseres Erdkörpers reichen bis in die Anfänge der Geophysik zurück und sind somit fast so alt wie die Geophysik selbst. Das Besondere an dem am Ende der 70er Jahre von der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik initiierten Lithosphärenprojekt besteht jedoch darin, daß in einer internationalen Kraftanstrengung die Lithosphäre in Raum und Zeit mit allen zur Verfügung stehenden geophysikalischen Verfahren untersucht werden sollte. Dazu wurden globale Profile über tausende Kilometer Länge geplant, die alle wichtigen geologischen Strukturelemente schneiden sollten. Vom methodischen Standpunkt aus kam von Anfang an der Reflexionsseismik, die sich in der Kohlenwasserstoffsuche weltweit bestens bewährt hatte, besondere Bedeutung zu. Es entstand daher 1979 in den USA das COCORP-Projekt (Consortium for Continental Reflection Profiling), das hauptsächlich von der National Science Foundation finan-

ziert wurde. Dabei gelang es, die digitale reflexionsseismische Datengewinnung, deren Hauptanwendung bei der Erdölsuche im Tiefenbereich unter 10 km lag, so zu adaptieren, daß nunmehr auch sozusagen routinemäßig die Mohorovičić-Diskontinuität erreicht werden konnte. Bisher wurden ca. 6000 km Profile gemessen, in denen eine Information über die Erdkruste von größtem Wert enthalten ist. Trotz der hohen Kosten wurden in rascher Folge in verschiedenen Ländern Anfang der 80er Jahre ähnliche Großforschungsprojekte etabliert; zu erwähnen sind hier ACORP in Australien, BIRPS in Großbritannien mit ca. 9000 km vorwiegend seeseismischer Profile, ECORS in Frankreich mit 2090 km Profil in einer ersten Phase, DEKORP in der BRD mit 2400 km Profilen, wobei eine Querverbindung zur europäischen Geotraverse und zum kontinentalen Tiefbohrprogramm besteht, ferner CROP in Italien. Wenn wir weiters die ebenfalls groß angelegten tiefenseismischen Forschungsprojekte in den osteuropäischen Staaten in Betracht ziehen, dann können wir als Geophysiker mit Genugtuung feststellen, daß das Internationale Lithosphärenprojekt bezüglich Reflexionsseismik in Europa überall große Resonanz gefunden hat; mit einer Ausnahme, nämlich Österreich. Dabei hat es auch bei uns nicht an Versuchen gefehlt, diese bedauerliche Situation zu ändern, bisher war jedoch die Kostenseite eine unübersteigbare Schranke.

Die bereits jetzt vorliegenden Resultate von rund 40.000 Profil-km gestatten den Schluß, daß wir in der Tiefenreflexionsseismik eine Methode und ein Hilfsmittel von hohem Auflösungsvermögen bis mindestens zum Erdmantel hin besitzen. Tektonik und Geodynamik wurden in vielen Bereichen auf eine neue Basis gestellt.

2. Physikalische Grundlagen der Reflexionsseismik und Besonderheiten der Tiefenreflexionsseismik

Unsere zentrale Informationsquelle ist die seismische Welle, die nahe der Erdoberfläche durch eine Sprengung erzeugt und in verschiedener Entfernung durch Miniseismographen, sogenannte Geophone, registriert wird. Die Ausbreitung im Untergrund erfolgt nach den Gesetzen der Wellentheorie und nach der Art des Wellenweges unterscheiden wir zwischen der Refraktions- und der Reflexionsseismik.

Die Refraktionsseismik beruht auf dem Brechungsgesetz und verwendet den unter dem kritischen Winkel eindringenden und total reflektierten Strahl. Es werden hier die Laufzeiten der ersten Einsätze gemessen und aus den Laufzeitkurven die Tiefe und Lage der Horizonte bestimmt.

Die Reflexionsseismik beruht auf dem Reflexionsgesetz und wir messen die Laufzeiten der an den Schichtgrenzen reflektierten Wellen. Auch die übrigen von der Optik wohlbekannten Gesetze wie Huygens und Fermat'sches Prinzip haben in der Seismik ihre Gültigkeit. Es könnte daher der Physiker zur Frage verleitet sein, ob denn dann die Seismik überhaupt ein eigenes Fachgebiet ist. Zur Abgrenzung der Geophysik von der Physik können folgende Merkmale einen Hinweis geben:

1. Während in der Physik Medien mit homogen-isotropen Eigenschaften vorliegen, besteht die Erdkruste aus Materialien großer Komplexität in den elastischen Eigenschaften.
2. Beim schrägen Auftreffen einer Welle auf einer Grenzfläche im Untergrund werden 2 gebrochene (P und S) und 2 reflektierte (P und S) Wellen erzeugt, was zu komplexen Energieverhältnissen führt.
3. Die unterschiedlichen Frequenzen von 10 - 20 Hz und damit die großen Wellenlängen von 300 - 600 m in der Tiefenseismik sind ein weiteres Charakteristikum.
4. Diese völlig verschiedenen Dimensionen der Untersuchungsobjekte und die zahlreichen Störfaktoren wie multiple Reflexionen, Beugungswellen, Oberflächenwellen, Bodenunruhe etc. erfordern eine spezifische Methodik der Datengewinnung und -bearbeitung, um diese Reflexionen überhaupt erst sichtbar zu machen.

In der Regel werden sowohl in der Angewandten als auch in der Tiefenreflexionsseismik die Kompressionswellen verwendet, obwohl die Scherwellen ebenfalls wertvolle Informationen liefern.

Anregung seismischer Wellen

Von den zahlreichen in der Explorationsseismik gebräuchlichen Anregungsverfahren haben sich in der Tiefenreflexionsseismik nur 2 Methoden durchgesetzt: die Spreng-

seismik und das Vibroseisverfahren. Bei der Sprengseismik werden Sprengladungen von 50 bis zu mehreren 100 kg, meist aufgeteilt in mehreren 30 bis 40 m tiefen Schußbohrungen, zur Detonation gebracht. Durch den kurzzeitigen Druckstoß (< 1 ms) entsteht ein scharfer seismischer Impuls. Ab einer Entfernung von mehreren m geht dann die Stoßwelle in den elastischen Bereich über und mit zunehmender Entfernung wird die elastische Welle immer tieffrequenter. Anders die Vibroseisanregung. Hier wird eine tonnenschwere Bodenplatte eines Vibrators in Schwingungen versetzt, wobei die Schwingfrequenz nach einer vorgegebenen Zeitfunktion verändert wird. Statt des kurzen, aber energiereichen Druckstoßes der Sprengseismik wird die Energie auf einen Schwingungszug von mehreren sec Dauer verteilt und zwar mit einer relativ kleinen Druckamplitude. Das verwendete Frequenzband liegt meist zwischen 15 - 80 Hz. Natürlich kann man mit einem solchen Vibrations-signal keine Laufzeiten messen, die kürzer als die Dauer des Vibrationsvorganges sind, erst das Korrelationsprinzip ermöglicht eine Signalauflösung. Die Autokorrelationsfunktion des Vibroseissignals gibt ein brauchbares, zeitlich kurzes Ortungssignal.

Datenaufnahme

Diese erfolgt mit Miniseismographen, sogenannten Geophonen, die in der Anfangszeit je eines äquidistant auf einem Profil angeordnet waren. Heute arbeitet man mit Geophonbündelung, also einer linien- oder flächenhaften Anordnung zahlreicher Einzelgeophone, die durch Serien- und Parallelschaltung verbunden sind. Das hat den Zweck, Störwellen zu unterdrücken und das S/N-Verhältnis (Reflexions- zu Störenergie) zu verbessern.

Hier muß auch auf das Prinzip der Mehrfachüberdeckung eingegangen werden. Es werden die Sende- und Empfangslokationen so variiert, daß die verschiedenen Strahlen stets den gleichen Reflexionspunkt haben. In der Sprengseismik wird mit bis 24-facher Überdeckung gemessen, beim Vibroseis ist 48-fache Überdeckung heute Standard. Das bedingt zwar einen großen Aufwand bei der Durchführung der Messungen, bringt aber eine große Verbesserung der Datenqualität.

Für den Spezialfall der Tiefenreflexionsseismik wird folgendes Meßschema angegeben (BORTFELD et al. 1985):

- Verwendung von 4 - 6 schweren (ca. 16 t) Vibratoren, 96-fache Überdeckung
- 24 Geophone pro Spur, Geophongruppenabstand 80 m, 200-kanälige Meßapparatur, Sweeplänge bis 60 s. Aufstellungslänge der Geophonkabel ca. 20 km.

Die digitaleismischen Apparaturen, die standardmäßig heute 96 Kanäle beinhalten, wobei eine Erweiterung bis 1000 Kanäle möglich ist, stellen Spitzenprodukte des Instrumentenbaus überhaupt dar. Als Ergebnis liegt dann eine auf Magnetband gespeicherte Aufnahme, also Seismogramme als stationäre Wertereihen vor.

Die seismische Datenbearbeitung, das sog. Prozessing, kann nur kurz gestreift werden. Die wissenschaftlichen Ansätze werden von 2 Disziplinen geliefert, nämlich von der Informationstheorie und von der Wellentheorie. Eine Fülle von Rechenoperationen sind notwendig, bis ein Zeitprofil vorliegt, das die Ausgangsbasis jeder geologisch-strukturellen Interpretation darstellt. Die Durchführung der Rechnungen erfordert eine anspruchsvolle hardware mit peripheren Einheiten.

Als Ergebnis des Prozessings liegt dann bei der konventionellen reflexionsseismischen Profilvermessung ein Zeitprofil vor, bei dem mehrere Spuren der Feldaufnahme zusammengefaßt und die Lotzeiten dargestellt werden. Das Verfahren der Flächenschrift hat sich besonders bewährt. Die einzelnen Spuren spiegeln die Bodenbewegungen, ähnlich wie bei einem Seismogramm eines Erdbebens, wider, wobei die positiven Halbwellen beschnitten und zur besseren Sichtbarmachung geschwärzt werden. Dadurch treten die Reflexionen klar hervor.

Dieses Lotzeitprofil bildet nun die Arbeitsgrundlage für den Geophysiker und zwar in der anwendungsorientierten Erdölsuche genauso wie in der Tiefenseismik. Es können daraus bereits bedeutungsvolle geologische Aussagen gemacht werden. Die Tatsache des Auftretens von Reflexionen bedeutet, daß im Untergrund Schichtgrenzen vorhanden sind, an denen sich die elastischen Eigenschaften sprunghaft ändern; maßgeblich ist die seismische Impedanz, das Produkt aus Dichte und Geschwindigkeit. Aus der Zu- und Abnahme der Laufzeit kann auf das Einfallen der Horizonte geschlossen werden, Brüche machen sich u.a. durch ein Aufhören und Wiedereinsetzen der Reflexionen bemerkbar und anderes mehr. Bei Kenntnis der Geschwindigkeits-

funktion ist es dann unschwer möglich, das Zeit- in ein Tiefenprofil umzuwandeln und dann Strukturkarten der betreffenden Horizonte zu entwerfen.

Schwieriger ist die Auswertung bei stärker geneigten Horizonten, wo es zu einem komplizierten Strahlenverlauf kommt. Die einfachen geometrischen Beziehungen der Profilauswertung können dann nicht mehr angewendet werden und es wird die dreidimensionale Auswertung unerlässlich.

Das Bestechende an der Reflexionsseismik ist nun ihr hohes Auflösungsvermögen bei gleichzeitiger großer Tiefeneindringung. Bezüglich des Auflösungsvermögens müssen wir allerdings eine gewisse Einschränkung machen gegenüber dem bisher vermittelten, der Optik analogen Bild der Strahlengeometrie. Wir müssen dabei zu den physikalischen Grundlagen zurückkehren und auf das Fresnel'sche Prinzip verweisen, das eine Aussage über das laterale Auflösungsvermögen gestattet. Man arbeitet nun in der Tiefenseismik mit Wellenlängen im Bereich von hunderten m bis weniger als 1 km. Eine Modellrechnung zeigt, daß die zentrale Fresnel'sche Zone an der Moho im Bereich der Zentralalpen bereits einen Durchmesser von ca. 5 km besitzt, so daß geologische Strukturen und Reflektoren, deren Ausdehnung kleiner ist, nicht mehr sicher aufgelöst werden können.

3. Struktur der Erdkruste

Die Grenze zwischen Erdkruste und Mantel, die Mohorovičić-Diskontinuität, kann weltweit nachgewiesen werden und ist durch eine Geschwindigkeitsänderung von ca. 7,0 auf 8,0 km/s gekennzeichnet. Dagegen ist eine Trennung in Ober- und Unterkruste, dazwischen die Conrad-Diskontinuität mit einem Geschwindigkeitssprung von 6,5 auf 7,0 km/s nicht in allen Gebieten möglich (Abb.1).

Maßgeblich für die Entstehung einer Reflexion an einer Grenzfläche im Untergrund ist das Vorhandensein eines entsprechenden Reflexionskoeffizienten. Dieser ergibt sich bei senkrechtem Einfallen nach einer einfachen Formel aus den seismischen Impedanzen, d.i. das Produkt aus Dichte mal Geschwindigkeit. Unter Zugrundelegung von Mittelwerten der Dichte (2,7, 2,9, 3,3 g/cm³) und Geschwindigkeit (6,0, 6,7, 7,0, 8,0 km/s) in Ober-Unterkruste und Mantel, ergeben sich folgende Reflexionskoeffizienten. An der Conraddiskontinuität ein Wert von ca. 0,09 und an der Moho ein Wert von 0,135. Dabei soll zunächst unberücksichtigt

bleiben, daß sich der Reflexionskoeffizient in Abhängigkeit vom Azimut des Strahls ändert, wobei sich im Weitwinkelbereich ein Maximum ausbildet.

Mit zunehmender Kenntnis der Feinstruktur hat sich herausgestellt, daß die Kruste - vor allem in den orogenen Gebieten - wesentlich komplexer gebaut ist. Es treten Gradientenzonen auf mit einer stetigen Geschwindigkeitszunahme und vor allem Zonen mit einer markanten Geschwindigkeitsabnahme, die sogenannte low velocity-channels. In diesen kann die Geschwindigkeit auf Werte von 5,5 km/s zurückfallen und diese sind geodynamisch von besonderem Interesse. Wesentlich einfacher ist der Bau der ozeanischen Kruste, die meist nur eine Mächtigkeit von wenigen km besitzt.

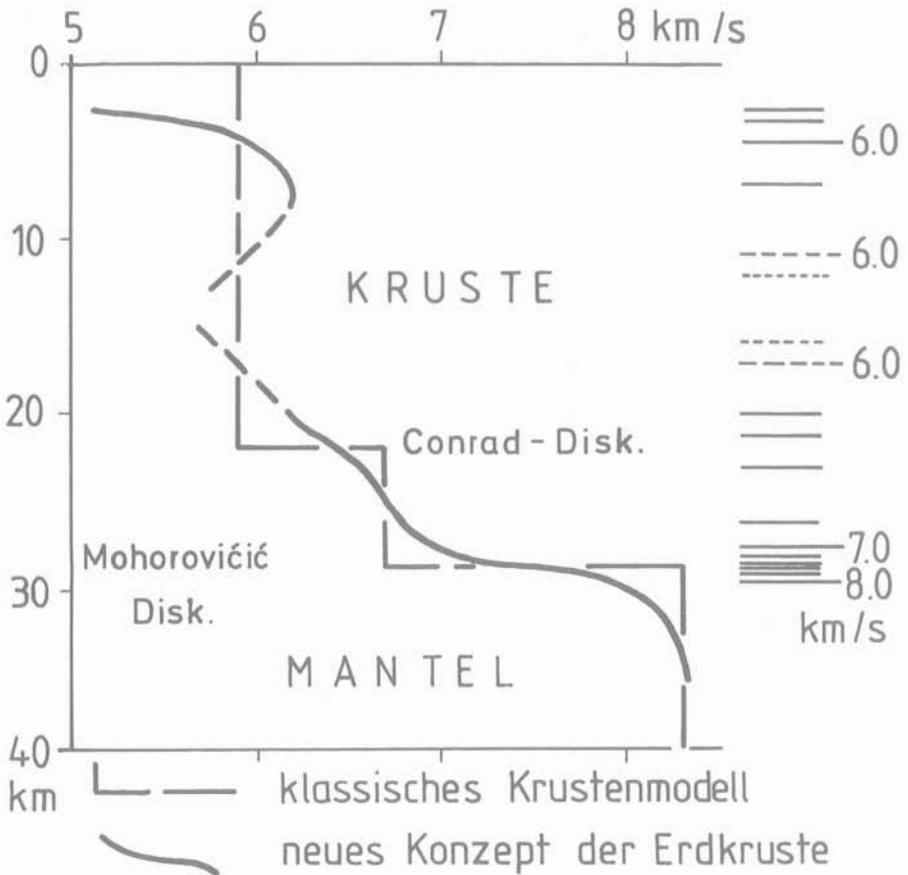


Abb.1: Modelle der Struktur der Erdkrusten; nach GIESE & MORELLI 1975

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist die, daß die bisher angenommenen scharfen Grenzen zwischen Ober- und Unterkruste bzw. Kruste und Mantel in der Form nicht existieren. Vor allem im Bereich der Moho gibt es gute Gründe für die Annahme, daß diese eine mehrere km mächtige Übergangszone mit einer lamellenartigen Struktur ist. Diese subhorizontalen Lamellen denkt man sich durch geologische Prozesse entstanden, die mit hohen Temperaturen und Herabsetzung der Viskosität verbunden sind (Abb.2).

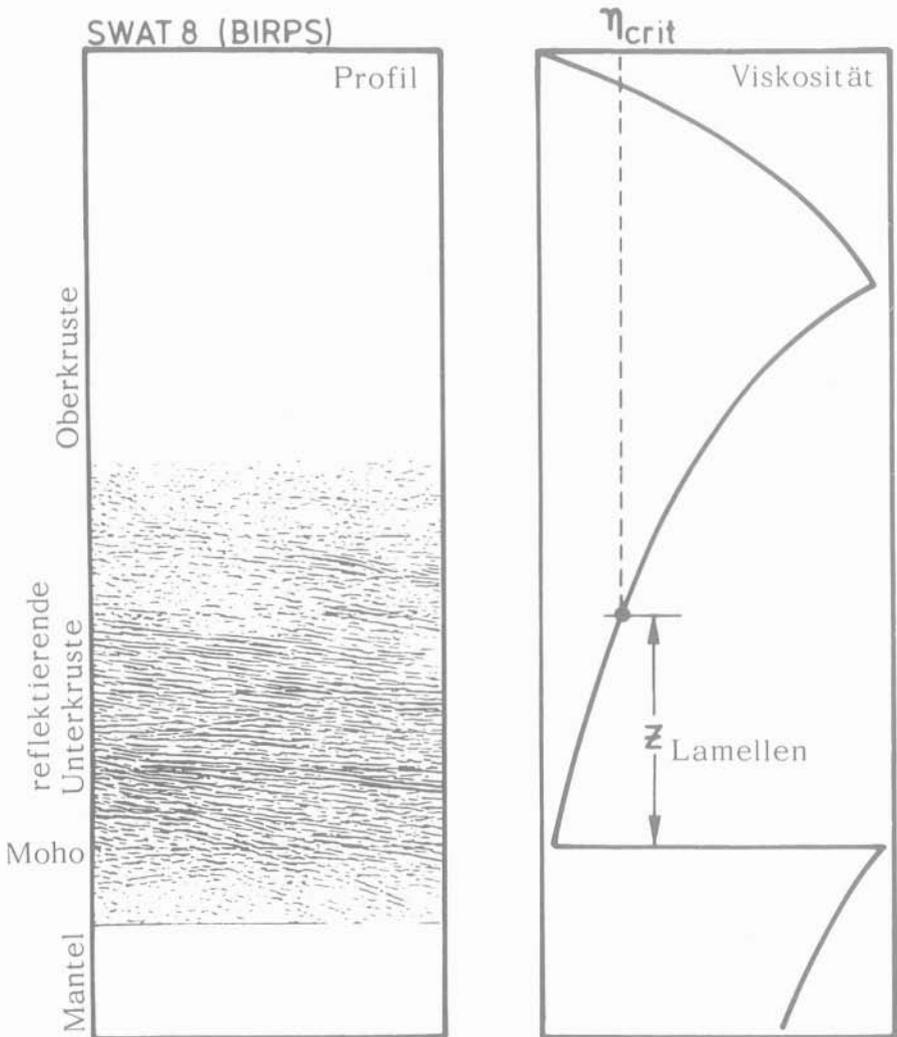


Abb.2: Interpretation einer gut reflektierenden, subhorizontal geschichteten Unterkruste in Europa (Beispiel Profil SWAT 8); nach TRAPPE et al. 1988

Es können dies sein Intrusionen, die sich horizontal ausbreiten; Metamorphosen als Folge von Anatexis oder eine dynamische Reflexionshorizontbildung als Folge von großräumigen Scherbewegungen und Überschiebungen im Bereich des Kanals niedriger Viskosität. Die Mindestdicke der Lamellen ergibt sich mit wenigen 100 m aus den Wellenlängen. Die Folgen haben sich z.T. bis in die Gegenwart erhalten. Eine statistische Bearbeitung des Auftretens von Tiefenreflexionen in den verschiedenen geologischen Einheiten hat markante Unterschiede erkennen lassen. In den alten Schilden ist die Reflektivität gering und auf die Oberkruste konzentriert. In den Kaledoniden und Varisziden dagegen liegt eine stark reflektierende Unterkruste vor. Phänomenologisch werden nach TRAPPE et al. (1988) mehrere Krustentypen unterschieden.

Auch die Länge der Reflexionselemente im Bereich der Moho zeigt charakteristische Zusammenhänge mit dem geologischen Alter und dem Wärmefluß, nämlich nur Werte von 1 - 2 km in den alten Schilden gegenüber Längserstreckungen von 5 km in den Varisziden.

4. Ergebnisse tiefenreflexionsseismischer Untersuchungen in Nachbarländern

4.1. Bundesrepublik Deutschland - DEKORP

Die Darstellung wichtiger regionaler Ergebnisse beginnt mit der Vorstellung des DEKORP = Deutsches kontinentales reflexionsseismisches Programm. Dieses Großforschungsprojekt der BRD umfaßt hunderte km tiefenreflexionsseismischer Profile, die etwa parallel und senkrecht auf das Streichen der variszischen Gebirgsstämme angeordnet sind. Die Erfahrungen bezüglich Organisation und Logistik, Technik der Feldmessungen, Auswertung und Interpretation, bilden einen Markstein in der seismischen Lithosphärenforschung.

Das DEKORP-Profil 2 S ist ca. 250 km lang und quert vom Taunus bis zur Schwäbischen Alb Rhenohherzynikum, Saxothuringikum und Moldanubikum. Eine typische Registrierung über alle 200 Spuren, ein sog. common shot-point gather, gestattet folgende qualitative Aussagen, die mit geringen Variationen im gesamten Variszikum Gültigkeit besitzen:

Im Zeitbereich (2-Wegzeit) bis 6 s treten nur schwache, sporadische Reflexionen auf oder er ist überhaupt reflexionsfrei; es existiert dagegen eine Häufung von Reflexionen meist guter Qualität, zwischen 6 und 10 s; unter 10 s ist die Aufnahme reflexionsleer (Abb.3).

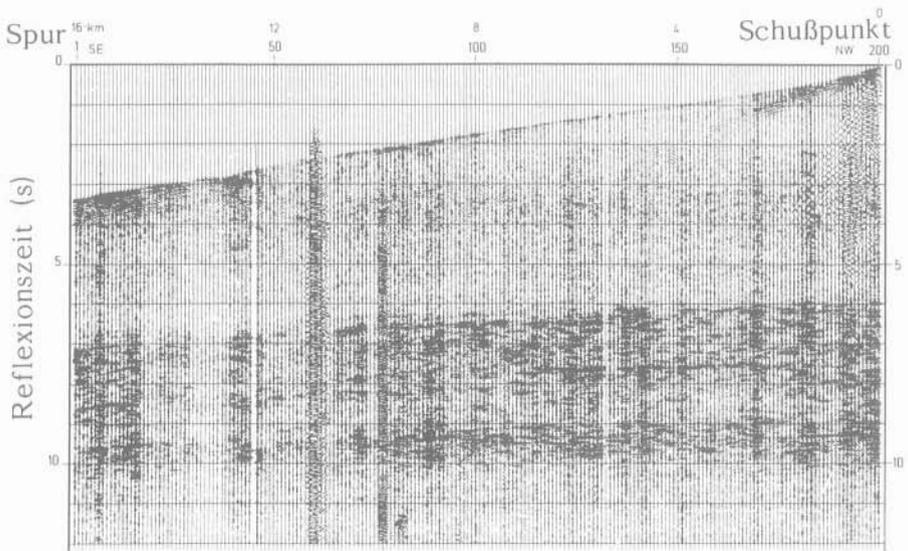


Abb.3: DEKORP 2-S, Aufstellung von SP 641.5, ungefiltert; nach BORTFELD et al. 1985

In Geologie übersetzt bedeutet dies, daß wir eine Zweiteilung der Kruste annehmen können, nämlich eine mehr homogene Oberkruste bis ca. 18 km Tiefe und eine stark reflektierende, daher elastisch inhomogene Unterkruste. Ein kräftiger Leithorizont zwischen 9 - 10 s kann unschwer als Moho identifiziert werden. Letztere liegt in einer Tiefe von 26 - 29 km. Im unmigrierten Zeitprofil fallen - vor allem zwischen 5 bis 10 s - besonders die Beugungswellen (Diffraktionen) auf, die stellenweise überhaupt dominieren. Das bedeutet, daß in der Unterkruste laterale Inhomogenitäten die Regel sind. Bemerkenswert sind ferner steil einfallende Reflexionen, die vielfach von tief hinabreichenden Störungen (Brüche, Überschiebungen) herrühren. Bemerkenswert ist die abrupte Abnahme der Reflexionsqualität im Bereich der Ries. Durch den bekannten Meteoriteneinschlag wurde die Oberkruste aufgeschmolzen und zer-

trümmert, so daß sich durch laterale Geschwindigkeitsvariationen und Streuung der Wellen ungünstige Reflexionsverhältnisse ergeben.

Die geologisch-tektonische Interpretation führt zu einem sehr komplexen Bauplan, der den unterschiedlichen Bauplan der 3 großen variszischen Zonen widerspiegelt. Im Rhenoherynikum herrscht eine intensive Horizontaltektonik, also vorherrschend Überschiebungen und dadurch Krustenverkürzung. Im Raum Dinkelsbühl wird ein nahezu reflexionsleeres Gebiet als Nahtzone zwischen ST und MN interpretiert.

Eine weitgehende Interpretation ist nur gerechtfertigt unter Einbeziehung gesicherter geologischer Erkenntnisse. Folgende 3 Entwicklungsstufen des gesamten mitteleuropäischen Variszikums bilden nach BORTFELD et al. 1985 die Ausgangsbasis der Interpretation:

- Am Beginn eine Hochdruckmetamorphose mit der Bildung von Granuliten und Eklogiten
- darauf folgt eine Phase der Mylonitisierung, von Scherbewegungen und intrakrustaler Überschiebungen;
- zuletzt eine Hochtemperaturmetamorphose mit Graniten und Migmatiten.

Diese Entwicklung versucht nun der Geophysiker auf Grund verschiedener Parameter aufzulösen, wie Reflexionsgeometrie, Einfallen, Reflexionsstärke, Intervallgeschwindigkeit.

Für starre Deformationen, wie tief hinabreichende Brüche, gibt es in der Reflexionsseismik bewährte Kriterien, so daß die angegebene Bruchtektonik eine gute Annahme bildet. Schwieriger sind Überschiebungen und somit ein Deckenbau aufzulösen. Neben Kriterien wie Reflexionsanordnung und -häufigkeit könnte eine detaillierte Geschwindigkeitsanalyse weiterhelfen.

Die Resultate im Moldanubikum verdienen deshalb unser besonderes Interesse, da die Meß- und Prozedingmethodik als Planungsgrundlage für die österreichischen Gebiete dieses Gebirgsstamms dienen können.

Im nördlichen Moldanubikum finden sich steiler SE fallende Reflexionselemente, die der Tiefe nach bis zur Moho reichen (Abb.4). Eine Annahme geht dahin, daß hier Teile der Unterkruste und des Oberen Mantels bis in die Höhere Oberkruste verfrachtet wurden.

NW

SE

MOLDANUBIKUM		
Keuper	Impaktbrekzie	Malm
Fränkische Plattform	Ries	Schwäb.A

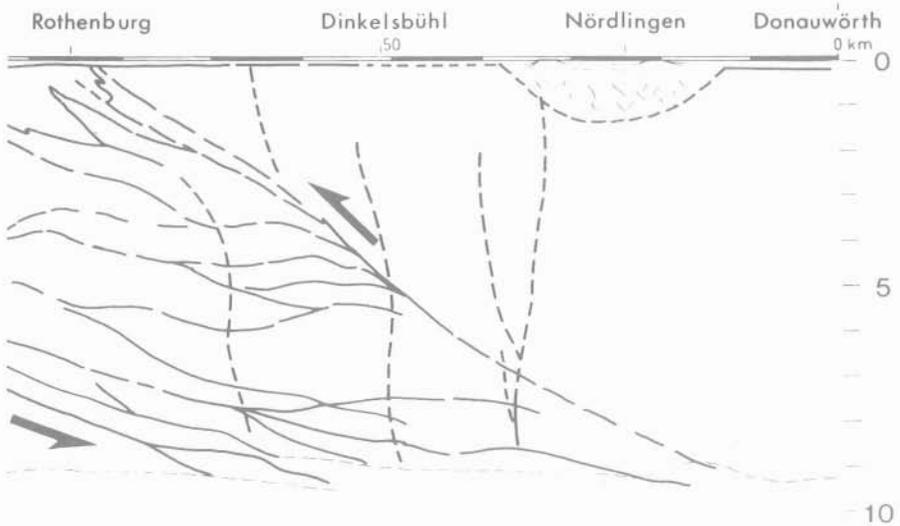
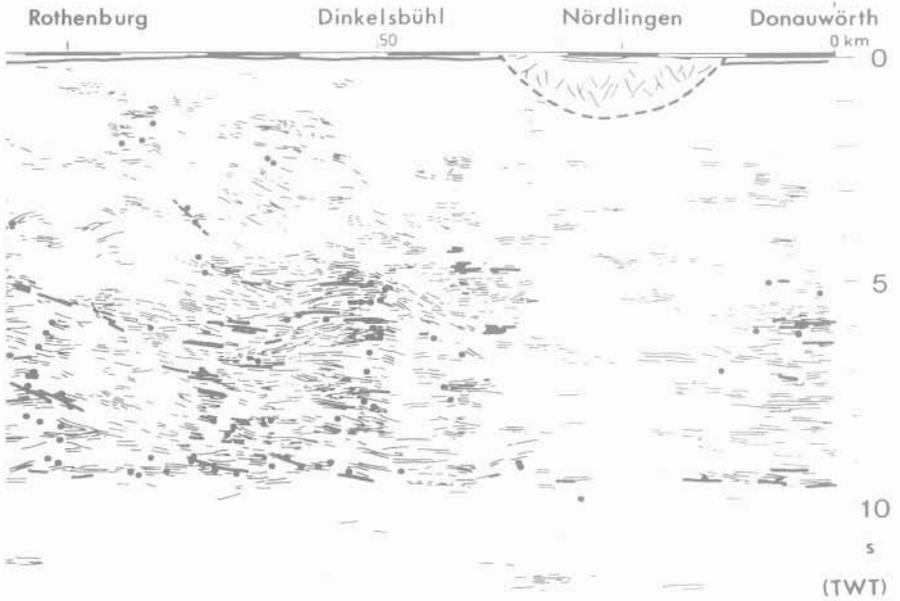


Abb.4: DEKORP 2-S, ausgewertetes Zeitprofil, migriert und geologisch-
strukturelle Interpretation; nach BORTFELD et al. 1985

Bemerkenswerte Resultate brachte ein ergänzendes Weitwinklexperiment, das im S von DEKORP 2 von Meßtrupps verschiedener deutscher Universitäten mit 24 Marsstationen (mobile Seismographen) durchgeführt wurde.

4.2. Schweiz - NFP-20

Obwohl die Ergebnisse der tiefenreflexionsseismischen Messungen noch nicht zur Gänze aufgearbeitet und auch nur erste Teilergebnisse publiziert sind, kann bereits jetzt davon ausgegangen werden, daß diese auch für die geplanten Arbeiten in den Ostalpen von grundlegender Bedeutung sind.

Die geologisch jüngere alpine Gebirgsbildung zu untersuchen war deshalb besonders erfolversprechend, da unsere Alpen zu den am besten erforschten Vertretern dieses Typus gehören. Auch hier wurde in den letzten Jahren mit Erfolg die Plattentheorie zur Erklärung der Geodynamik herangezogen.

Im Rahmen des Forschungsprogrammes NFP-20 des Schweizerischen Nationalfonds wurden von 1986 - 1988 drei Traversen mit einer Gesamtlänge von ca. 300 km reflexionsseismisch vermessen (Abb.5). Ergebnisse liegen vor allem von der Osttraverse vor, die sich von Wildhaus am Säntnis im N bis an die italienische Grenze in Val Madris im S erstreckt. Zusätzlich zur tragenden Vibroseismessung wurde auch eine einfach überdeckte sprengseismische Aufnahme durchgeführt, da es zunächst ungewiß war, ob man mit Vibroseisenergie eine Tiefeneindringung von 60 km erreichen würde. Weitwinkelfächerschüsse quer zum Hauptprofil gestatteten sogar eine gewisse dreidimensionale Aussage über die Untergrundstruktur. Rein von der seismischen Fragestellung her besteht gegenüber dem Variszikum ein wesentlicher Unterschied wegen der extremen Krustenverdickung, dem noch intensiveren Deckenbau und großräumig sehr steil einfallenden Strukturelementen, z.B. die Narbenzone. Entsprechend dem komplizierten Bauplan läßt sich vielfach keine einheitliche Reflexionscharakteristik erkennen. Eine solche weist noch am ehesten der nördliche Abschnitt mit den Helvetischen Decken auf, wobei auch gewisse Analogien zur variszischen Kruste bestehen. So ist praktisch durchgehend eine kräftige Mohoreflexion ausgebildet, die im Rheintal südlich Sargans bei ca. 12,5 s (ca. 37,5 km Tiefe) liegt (Abb.6).

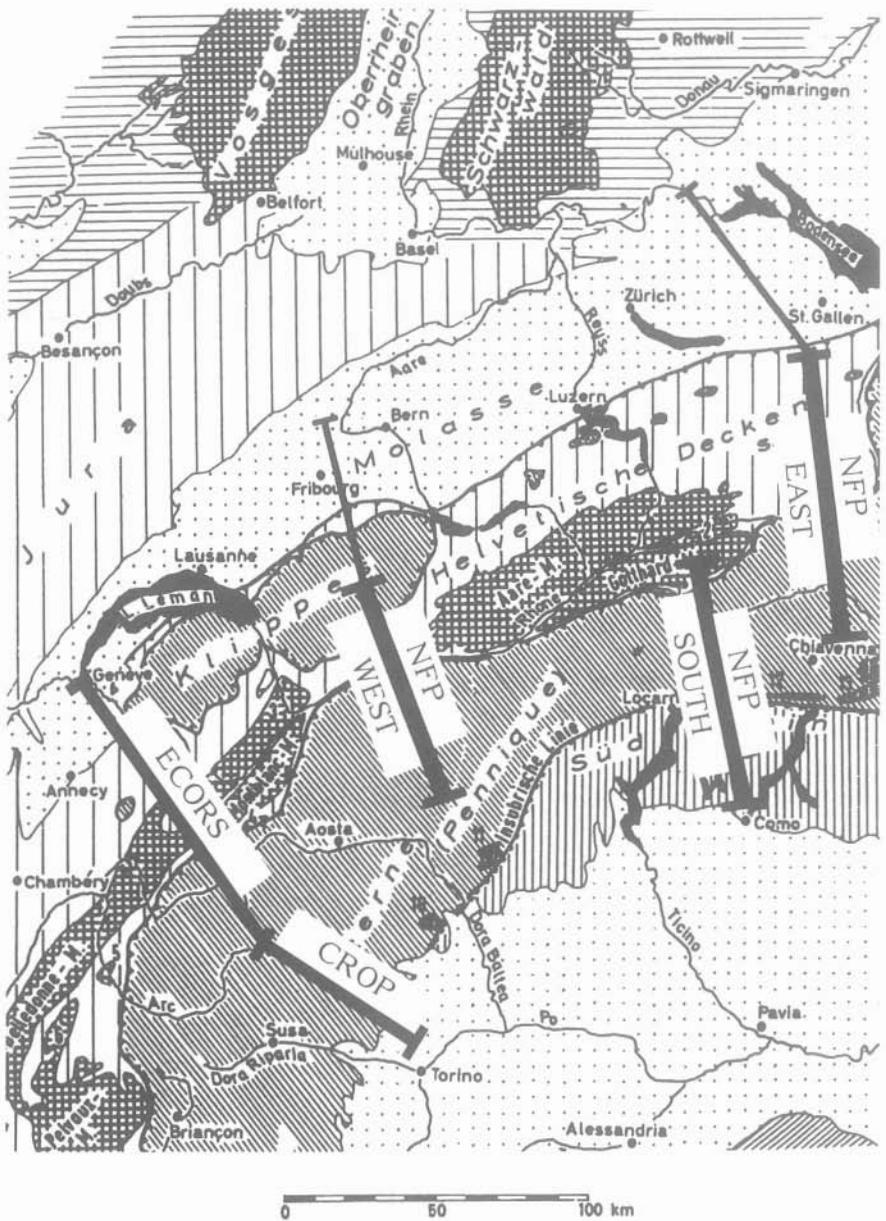


Abb.5: Tektonische Karte der Westalpen mit den Geotraversen von NFP-20, ECORS und CROP; nach KEPNER & LEHNER 1988

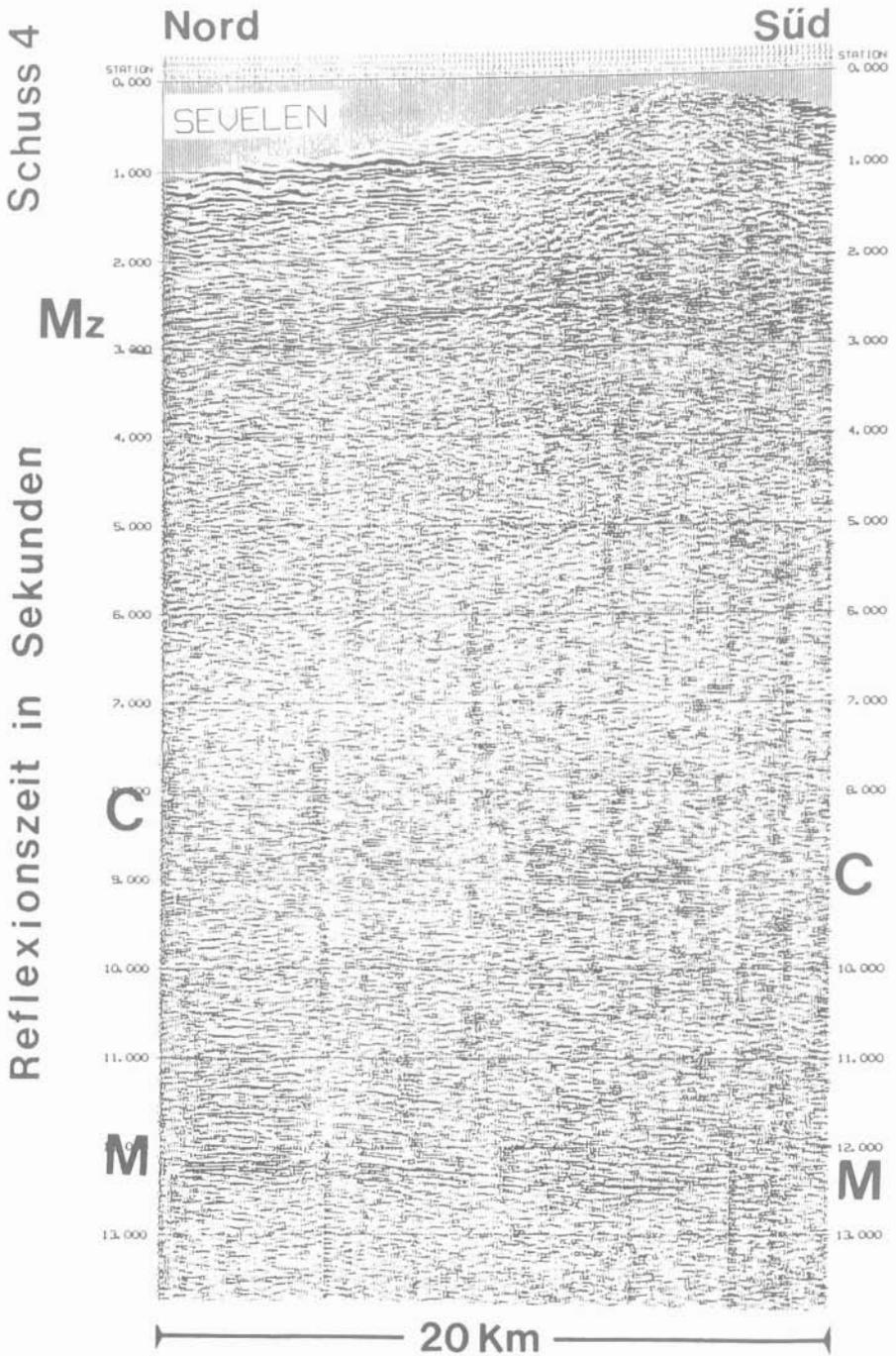


Abb.6: Reflexionsseismik Schweiz, Ostprofil S von Sargans;
nach LEHNER 1988

Typisch sind ferner zahlreiche kräftige Reflexionen, die sich allerdings selten über eine längere Strecke als 5 km korrelieren lassen. Diese werden als Übergangszone zwischen Kruste und Mantel gedeutet, etwa als Wechselagerung von hochmetamorphen Paragneisen und basischen Lakkolithen. Auch die Reflexionshäufigkeit in der Unterkruste ist vom Variszikum her geläufig, ebenso die Abgrenzung gegen die Oberkruste durch ein kräftiges Reflexionsband, der Conrad-Diskontinuität entsprechend. Daraus ergibt sich für die Unterkruste eine Mächtigkeit von ca. 12 km. Die Oberkruste erscheint elastisch weitgehend homogen, daher nahezu reflexionsfrei. Erst bei ca. 2,5 s macht sich ein seismischer Leithorizont bemerkbar, der der Basis des autochthonen Mesozoikums entspricht. Das Einfallen der Moho und der Unterkruste erfolgt ziemlich gleichmäßig nach S.

Im Aarmassiv findet man eine Antwort für die akustische Transparenz und somit Reflexionsleere; es herrschen steile isoklinale Falten und granitische Intrusionen vor, die mit der 2-D-Seismik nicht aufgelöst werden können.

Die Aufnahmen im Penninikum sind dadurch charakterisiert, daß zahlreiche Reflexionen guter Qualität vorliegen, die eine gute Korrelation mit der Oberflächengeologie gestatten, die bis in eine Tiefe von ca. 10 km extrapoliert werden kann. Die Entstehung dieser Reflexionen ist vermutlich auf den Impedanzunterschied zwischen den Gneiskernen und den trennenden mesozoischen Sedimenten zurückzuführen. Auch die Basis des penninischen Deckenstapels tritt vor allem bei Thussis als steil S fallende Reflexion deutlich heraus. Im südlichsten Profilstück lassen sich die flachliegenden Deckengrenzen von Suretta-Tambo und Aduladecke gut erkennen, die darunter anzunehmende Simanodecke fällt durch ein breites Reflexionsband zwischen ca. 4,0 - 5,0 s auf (Abb.7).

Die Moho tritt unter den penninischen Decken nicht oder nur sporadisch in Erscheinung, was im Gegensatz zu den Ergebnissen der Refraktionsseismik steht (Abb.8).

Das Westprofil zeigt ebenfalls gute Resultate, die Moho konnte von ca. 39 km Tiefe am Alpenrand bis auf 51 km unter dem Pennin durchverfolgt werden, wobei sie nach S als Reflexion abrupt abbricht. Die Reflexionsanordnung im Bereich der externen Massive wird so interpretiert, daß diese die Front eines von der Unterkruste abgescherten Teils der herzynischen Oberkruste bilden.

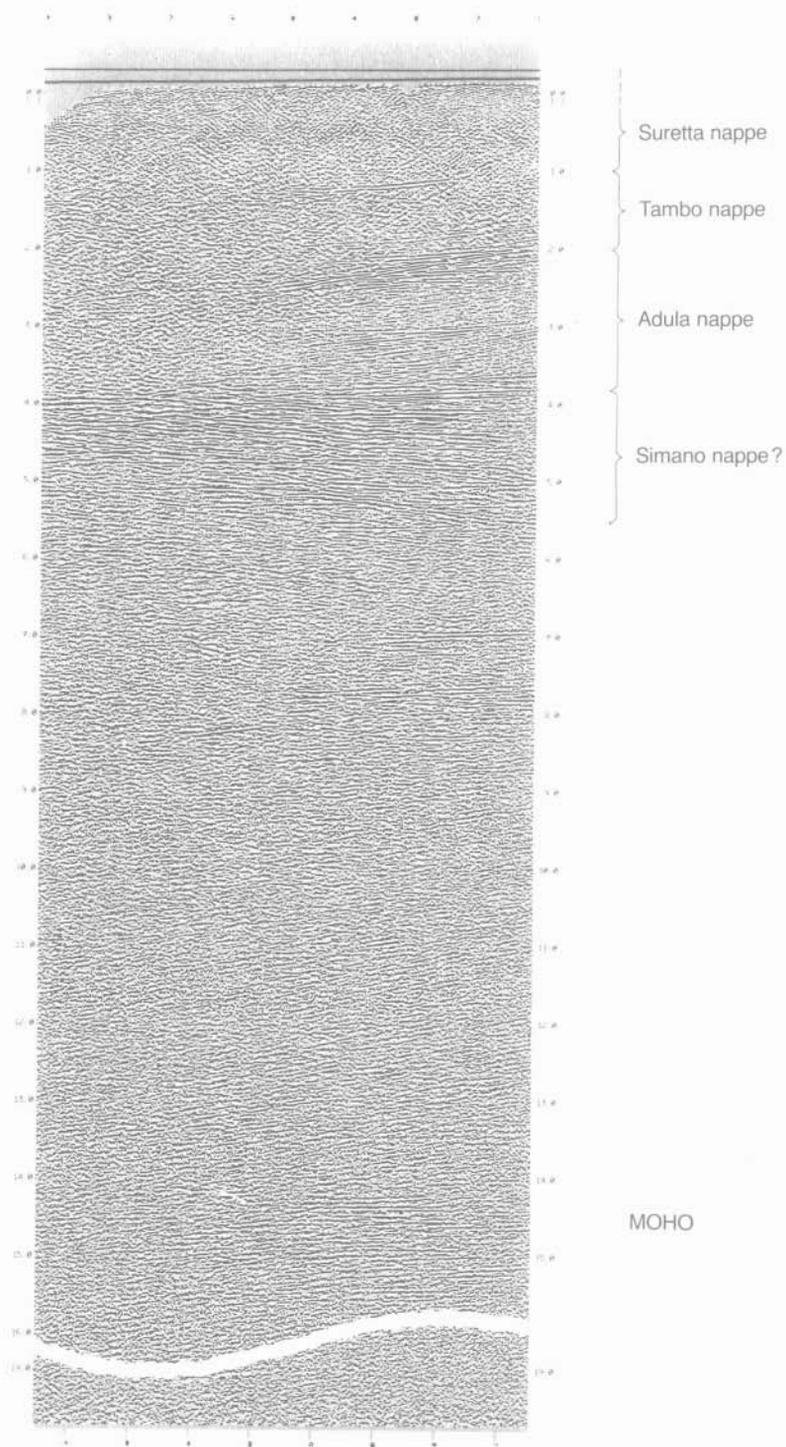


Abb.7: Reflexionsseismik Schweiz, 6,4 km langes Zeitprofil vom Südende der Osttraverse;
nach KEPPNER & LEHNER 1988

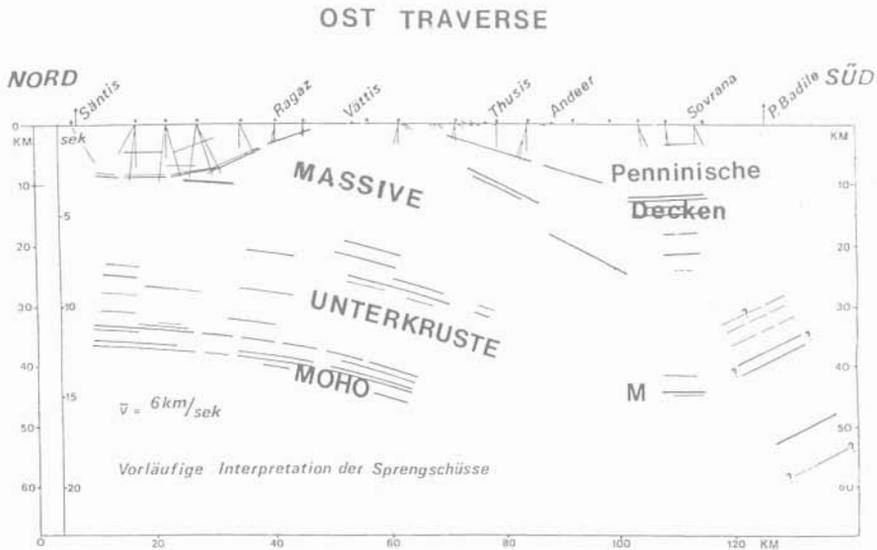


Abb.8: Vorläufige Interpretation der Osttraverse, Schweiz;
nach LEHNER 1988

4.3. Tschechoslowakei

Wenn man den alpinen Gebirgsstamm und dessen Unterbau weiter korrelieren will, muß man - die Ostalpen auslassend - einen Sprung bis in die Westkarpaten tun, wo tschechoslowakische Messungen (Sprengseismik) vorliegen. Da nur stark komprimierte Ergebnisse publiziert wurden, können nur vorläufige Schlußfolgerungen gezogen werden. Es sind auch diese Resultate aus österreichischer Sicht von Interesse, als eine Extrapolation auf die zu erwartenden Ergebnisse im Nördlichen Wiener Becken zulässig erscheint. Zu beachten ist, daß diese Arbeiten zur Gänze mittels Sprengseismik mit 12-facher Überdeckung erfolgten.

Das Profil, das vom Donaubecken im Osten bis in die Fortsetzung des Wiener Beckens im W reicht, ist wegen der Übertragbarkeit der zu erwartenden Ergebnisse auf den Osten Österreichs bedeutungsvoll. Die Moho ist als zusammenhängendes Reflexionsband nur unter dem pannonischen Bereich identifizierbar. Hier ist auch die bekannte Erfahrung einer stark reflektierenden Unterkruste zu machen, die im W erst wieder im Bratislava-Massiv in Erscheinung tritt (Abb.9).

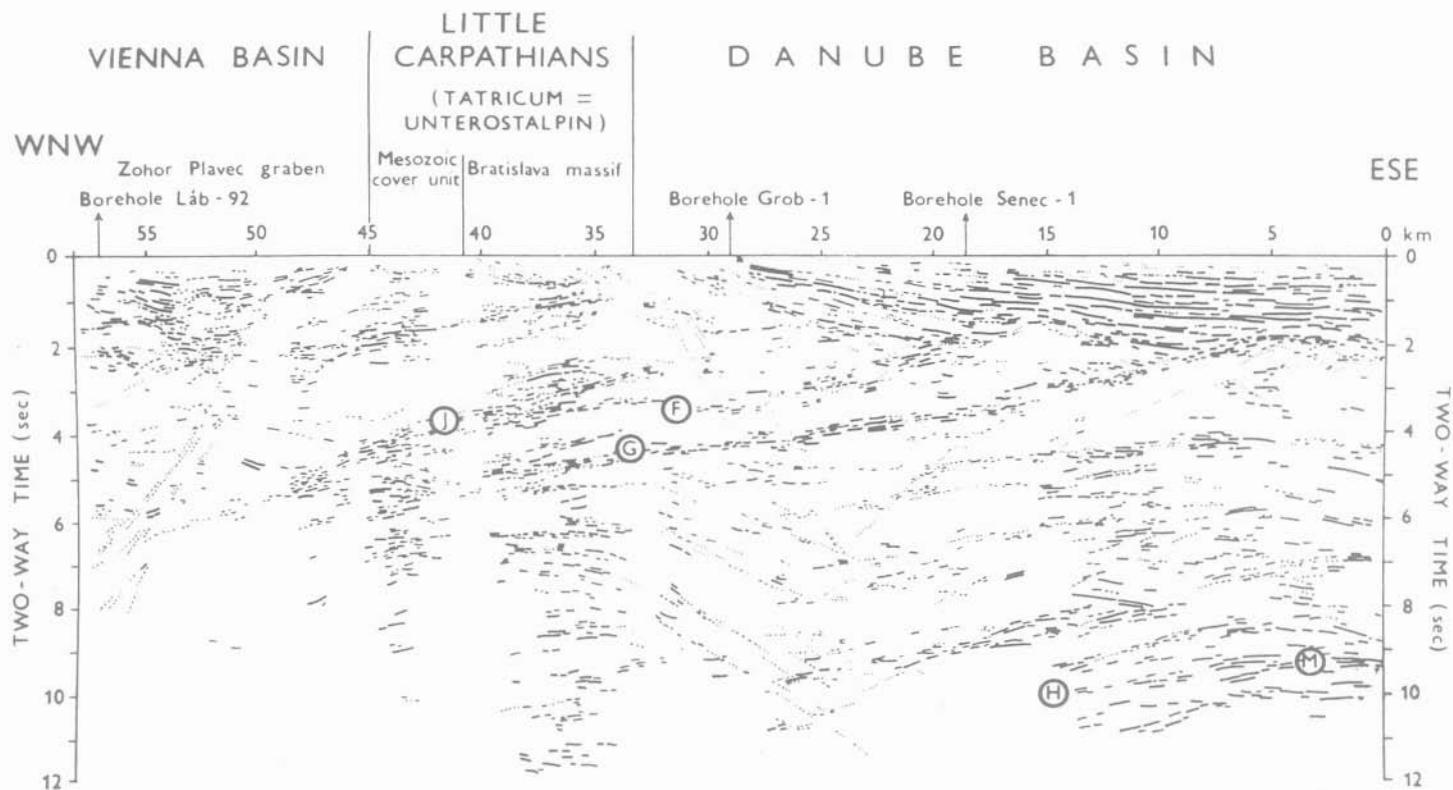


Abb.9: Tiefenreflexionsseismisches Profil 3T im Westen der CSSR; nach TOMEK et al. 1987

Die Sedimente der Beckenfüllung in den oberen 2 s prägen sich durch zahlreiche Reflexionsbänder deutlich ab. Im Untergrund der Fortsetzung des Wiener Beckens zeigen sich zahlreiche steilstehende Reflexionen, die als Brüche anzusehen sind. Auch die im Bereich des Donau Beckens über weite Strecken verfolgbaren Reflexionselemente F und G werden als schräg geschnittene Bruchflächen gedeutet. Die Existenz von zahlreichen Diffraktionen kann vermutet werden.

4.4. Ungarn

Die reflexionsseismische Lithosphärenforschung, ausgeführt vom Eötvös Lorand Institut, hat in Ungarn eine große Tradition. Schon frühzeitig wurden refraktionsseismische und reflexionsseismische Weitwinkelmessungen im Rahmen des internationalen Profilvernetzes ausgeführt, auf die seit den 70er Jahren digitale seismische Registrierungen mit Laufzeiten bis 30 s folgten. Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnte bereits eine Strukturkarte der Moho konstruiert werden. Die Interpretation der Reflektoren wird durch die Resultate magnetotellurischer Messungen erleichtert, insbesondere hinsichtlich der Lithologie. Die Mohorovičićdiskontinuität konnte stets erreicht werden, wobei auch ihr Charakter als Übergangzone sich bestätigt hat. Als ein Beispiel wird das Profil Mk-1 vorgestellt, das von der österreichischen Grenze bei Ödenburg nach SE zum Plattensee verläuft (Abb.10). Bemerkenswert ist, daß auch noch Reflexionen mit herausragender Amplitude im Laufzeitintervall zwischen 15 - 16 s registriert wurden, entsprechend einer Teufe von ca. 53 km. In dieser Teufe erfolgt auch eine Geschwindigkeitsabnahme, sodaß die durch die Magnetotellurik unterstützte Annahme berechtigt ist, wonach es sich hier um die Grenze zur Asthenosphäre handelt (POSGAY 1986).

Die ungarischen Erfahrungen - vor allem, was den Raum NW des Plattensees betrifft - dürften sich zwanglos auf die benachbarten österreichischen Gebiete, nämlich Südliches Wiener Becken und Oststeirisches Becken, übertragen lassen.

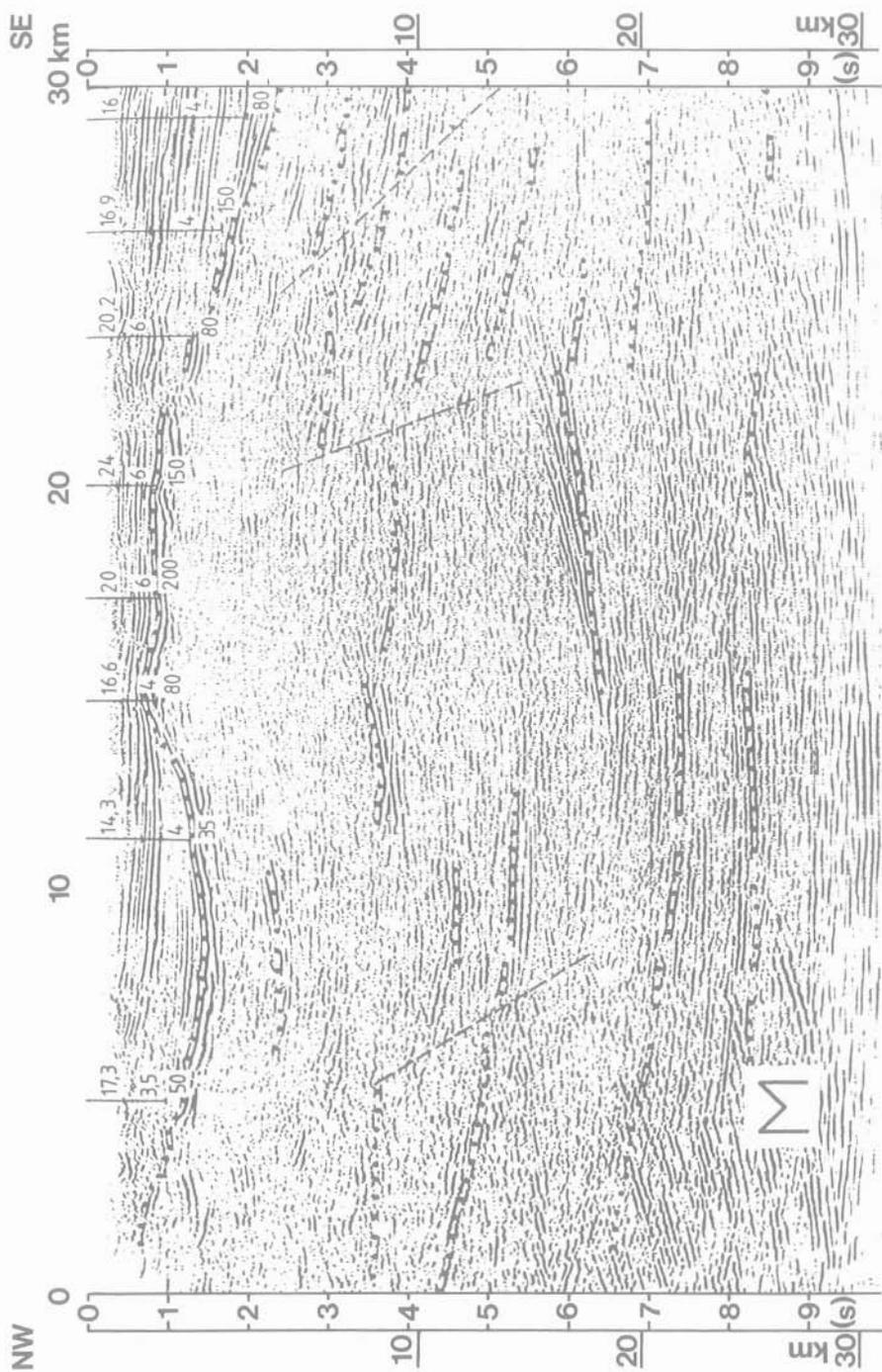


Abb.10: Zeitprofil Mk-1, Ungarn Bakony Geb.; nach POSGAY et al. 1986

5. Historischer Überblick über die Tiefenreflexionsseismik in Österreich und Ergebnisse

Bei Betrachtung dieses Istzustandes ist die Frage naheliegend, wo stehen wir in Österreich? Die Antwort ist in gewisser Weise enttäuschend, als wir uns im Vergleich zu den Nachbarstaaten erst in der Anfangsphase befinden. Dabei hat es nie an Interesse gefehlt. Bereits im Jahre 1956 wurde von 2 Meßtrupps der ÖMV und der RAG versucht, die Schwallecksprengung in der Wachau im Nahbereich für die Tiefenreflexionsseismik zu registrieren. Infolge Fehlens von Schußbohrungen war man gezwungen, Sprengungen für andere Aufgaben, vornehmlich auch für Tiefenrefraktionsseismik, auszunutzen. Ein wichtiges Datum bildet hierbei die Aufnahme beim Schußpunkt E (Lavantsee) des Alpenlängsprofiles 1975, wo mit 2 analogseismischen Apparaturen der Geophysik Institute Leoben und Wien im Nahbereich registriert wurde. Wichtig ist dabei der grundsätzliche Nachweis, daß sogar unter diesen ungünstigen Randbedingungen Reflexionen aus dem Moho- und Submohobereich erhalten wurden. Auch im Fernbereich konnte in 130 km Entfernung von einem Meßtrupp der ÖMV AG bei St. Pantaleon die Moho erfaßt werden.

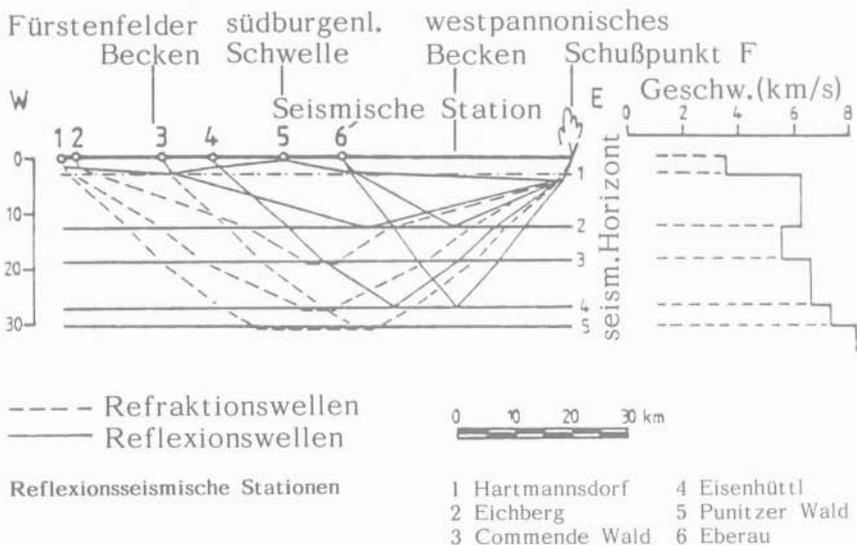
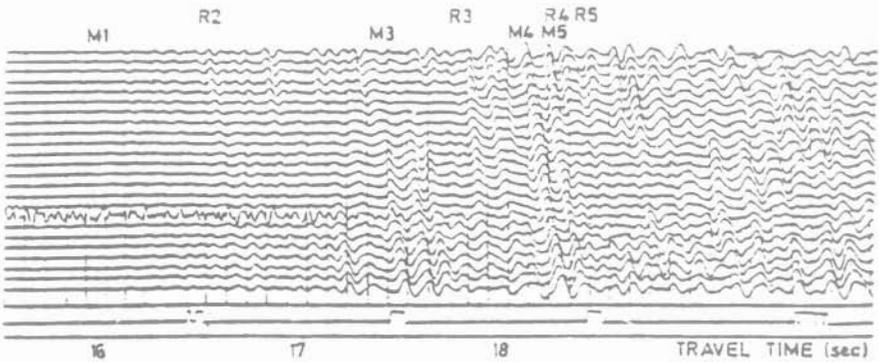
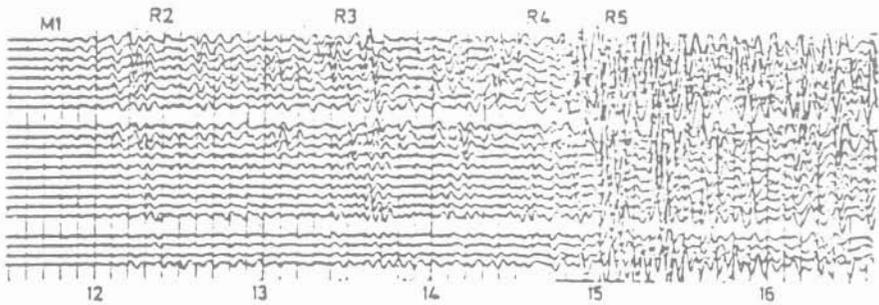


Abb.11: Beispiele tiefenreflexionsseismischer Messungen und Ergebnisse auf der Geotransverse des Geodynamikprofils; nach WEBER et al. 1981

Station 1 Distanz von SP F 90.7 km



Station 4 Distanz von SP F 63.8 km



Aus dem Schußpunkt F des Alpenlängsprofils 1975 (bei Körmend in Westungarn) wurden in den Jahren 1975 - 1977 mehrere Male Sprengungen mit größeren Ladungen durchgeführt. Diese wurden ausgenützt, um etwa auf der Höhe von Fürstenfeld bis Gleisdorf im Weitwinkelbereich mitzuregistrieren (Abb.11). Vor allem die mit einer digital-seismischen Apparatur gemachten Aufnahmen zeigen Reflexionen von der Conrad- und Mohodiskontinuität von ausgezeichneter Qualität. Im Jahre 1981 konnte endlich mit Hilfe des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung eine Bohrung im südlichen Burgenland abgeteuft werden, in der verschiedene Versuche zur Erzielung optimaler Feldparameter ausgeführt wurden. Es gelang dabei der methodisch wichtige Nachweis, daß mit nur 20 kg-Ladungen bei guter Energieausbreitung selbst bei Einfachüberdeckung die Moho einwandfrei empfangen werden konnte (Abb.12).

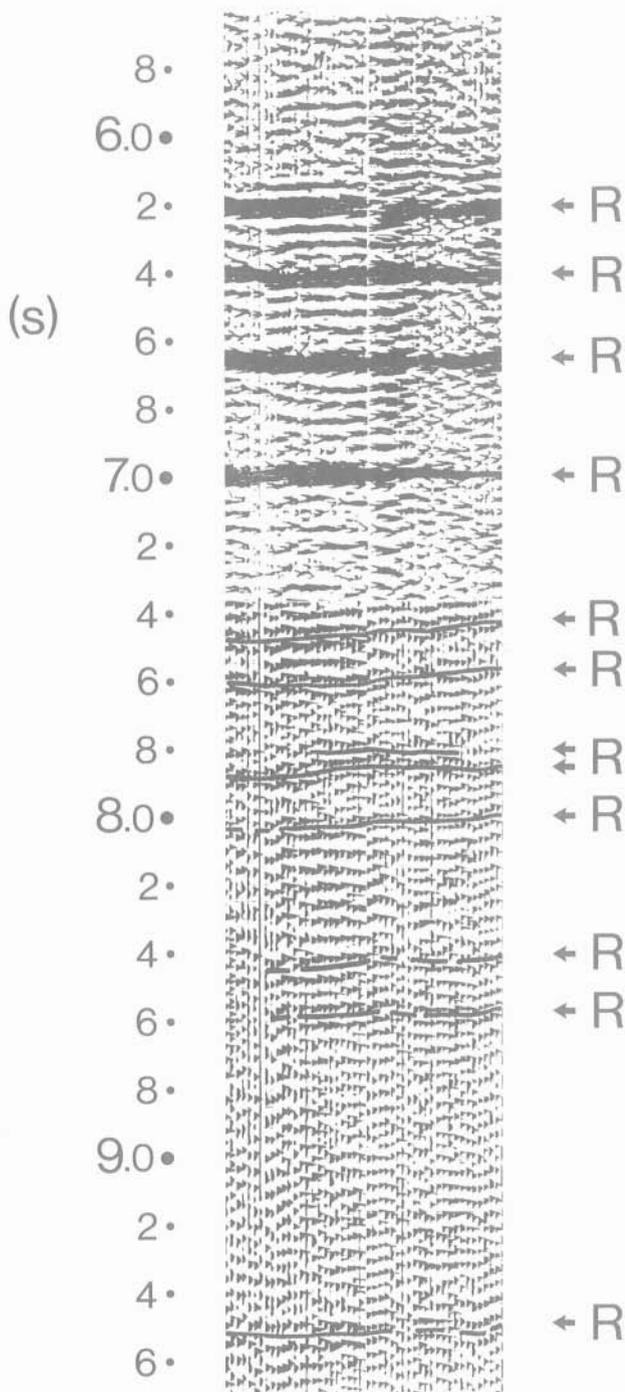


Abb.12: Ausschnitt aus einer Registrierung der Tiefenseismik Nikitsch (Burgenland) 1981

6. Projekte und Vorschläge für tiefenreflexionsseismische Untersuchungen in Österreich

Unter Berücksichtigung pragmatischer Gesichtspunkte, vor allem auch der Kostenminimierung, erscheinen die nachfolgenden Projekte realistisch. Die Erfahrungen in den Nachbarstaaten sind dabei eine wichtige Planungsgrundlage. Die Frage Sprengseismik oder Vibroseis sollte nicht als Prinzipienfrage betrachtet werden; es ist in jedem Fall daran gedacht, mit einer sprengseismischen Messung mit 1-3-facher Überdeckung zu beginnen, ehe die wesentlich aufwendigere Vibroseismessung zum Einsatz gelangt.

1. Oststeirisches Tertiärbecken

In diesem sind aufgrund des guten Energiedurchgangs ausgezeichnete Voraussetzungen für die tiefenseismische Lithosphärenforschung gegeben. Für das Jahr 1990 ist ein reflexionsseismisches Geschwindigkeitsprofil mit einer Aufstellungslänge der Spaltungsaufstellung von 40 km und zentralen Schußpunkt bei Ilz geplant. Ziel ist ein verfeinertes Geschwindigkeitsmodell gegenüber den bisherigen, vor allem auf refraktionsseismischen Daten und den sporadischen, relativ kurzen reflexionsseismischen Aufstellungen herrührenden Annahmen.

Realisiert werden sollte auch die bereits vor mehreren Jahren geplante Fortsetzung des jugoslawischen tiefenseismischen Profils Pula - Marburg. Dieses hätte auf der Strecke Mureck - Hartberg eine Länge von ca. 65 km.

Wesentlich schwieriger durchzuführen, aber von hohem Aussagewert, wäre ein Profil, das im S bei Pöllau im nördlichen Randbereich des Oststeirischen Beckens beginnt und über die Fischbacher Alpen in NW-Richtung zum Mürztal verläuft. Diese Linie sollte zunächst abklären, inwieweit im Detail die "pannonische" Struktur der Unterkruste in nördlicher Richtung verläuft. Nach ARIC, 1981, wäre aufgrund seismologischer Untersuchungen im Mürztal eine tief hinabreichende Störungszone zu erwarten. In der Oberkruste wäre die Fragestellung interessant, ob sich Hinweise auf das Vorhandensein des Pennins gewinnen lassen. Die Länge dieses Profils beträgt ca. 40 km. Das Alpenlängsprofil 1975 hat bereits gezeigt, daß der Übergang zum ostal-

pinen Bauplan im Bereich der Moho erst westlich Graz stattfindet, wobei anscheinend ein verhältnismäßig steiler Abfall der Krusten-Mantelgrenze ausgebildet ist. Einzelheiten der Struktur in Ober- und Unterkruste sind in Anbetracht des Meßpunktabstandes von 5 km nicht zu erwarten. Hier könnte eine reflexionsseismische Linie wesentliche Erkenntnisse bringen, die im SE im Weststeirischen Becken beginnt, über das Gosaubecken von Kainach weiter über die Gleinalpe führt und im NW im Fohnsdorfer Tertiärbecken endet. Die Profillänge würde mindestens 35 km betragen.

In den letzten Jahren konnten insoferne wichtige Voraussetzungen für eigene tiefenreflexionsseismische Messungen geschaffen werden, als die Leobner Arbeitsgruppe über zwei 48-kanalige Apparaturen, Type Sercel 338 sowie über eine entsprechende Hard- und Software für das Prozessing verfügt. Das Fehlen von tieferen Schußbohrungen, die für das Abtun der relativ großen Sprengladungen erforderlich sind, hat bisher vor allem eine ausgedehntere Meßkampagne verhindert. Es wurde daher zwischenzeitlich versucht, wenigstens im Weitwinkelbereich die größeren Schüsse des Schweizer Forschungsprojekts NFP-20 mitzuregistrieren. Zu diesem Zweck wurden in den Jahren 1986 - 1988 auf Vorarlberger Seite geeignete Lokationen für die Auslage von ca. 5 km langen Profilen ausgewählt. Solche Registrierungen wurden bisher vorgenommen auf der Bieler Höhe, Garneratal, Laterns, Damüls, Paznauntal. Es konnten somit aus Entfernungen vom Schußpunkt bis 210 km Reflexionen befriedigender Qualität bis zur Mohorovičić-Discontinuität, die im Tiefenbereich von ca. 40 km liegt, erhalten werden. Dies ist von grundsätzlicher Bedeutung, als es zeigt, daß selbst bei einfacher Überdeckung Eindringtiefen bis zur Grenze des Erdmantels trotz geologisch komplex gebauter Oberkruste erreicht werden können, wenn die Energieanregung entspricht.

2. Niederösterreich - Moldanubikum

Das umfangreiche Meßprogramm des DEKORP-Projekts der BRD, das grundlegende Einsichten in den Tiefbau der Varisziden gebracht hat, legt es nahe, im österreichischen Anteil des Moldanubikums wenigstens ein Versuchsprogramm zu starten. Auch der Forschungsschwerpunkt über die Varisziden des FWF (Leitung Prof. Höck, Salzburg)

erfordert eine Ergänzung hinsichtlich der Tiefenstruktur. Ein erster Schritt dazu ist ein für das Jahr 1989 gemeinsam mit dem Institut für Geophysik der Universität Wien geplantes Versuchsprogramm am Nebelstein. Dazu stehen für die Sprengseismik 2 über 200 m tiefe Bohrungen der Fa.Minerex zur Verfügung, aus denen ein ca. 10 km langes, W-E verlaufendes Profil gemessen werden soll. Die Profilrichtung sollte möglichst senkrecht auf das regionale Streichen des Gebirgsstammes verlaufen. Für eine weitergehende Aussage wäre eine etwa 85 km lange Linie erforderlich, die von der Staatsgrenze bei Weitra im W bis in den Raum Eggenburg im E verläuft.

3. Tirol

Im konkreten Planungsstadium befindet sich ein Profil, das im wesentlichen von der bayrischen Grenze über das Achenseetal zum Inntal bei Jenbach führt und im S durch das Zillertal verläuft. Der Gipfelbereich der Zillertaler Alpen muß eventuell beidseitig unterschossen werden, um den Anschluß an eine Linie im Ahrntal zu gewinnen. Von hier verläuft eine längere Traverse, die die Judikarienlinie quert, bis in die Poebene. Im N sollte ein Anschluß an ein Profil des DEKORP-Projektes erfolgen. Von der Problemstellung her bietet sich ein Vergleich mit der Schweizer Geotraverse an. Das Profil hat eine Gesamtlänge von ca. 70 km.

Literatur

- ARIC, K.: Deutung krustenseismischer und seismologischer Ergebnisse im Zusammenhang mit der Tektonik des Alpenostrandes.- Sitzungsberichte der Österr.Akad. Wiss., Math.-naturw.Kl., Abt.I, **190**, H. 8-10, 236-312, 1981.
- ARIC, K., GUTDEUTSCH, R., KLINGER, G. & LENHARDT, W.: Seismological Studies in the Eastern Alps.- In: Geodynamics of the Eastern Alps. Ed. by H.W.FLÜGEL & P.FAUPL, Wien 1987.
- ALJINOVIC, B.: Karta dubina Mohoroviciceva diskontinuiteta na podrucju Jugoslavije.- NAFTA **37**, 3, 127-130, 1986.
- BROWN, L.D., BARAZANGI, M., KAUFMANN, S. & OLIVER, J.: The first decade of COCORP: 1974 - 1984.- In: Reflection Seismology: A Global Perspective, M.BARAZANGI & L.D.BROWN (eds.), 107-120.- Geodynamics Series, **13**, American Geophysical Union, Washington, 1986.
- BORMANN, P., SCHULZE, A., APITZ, E., BANKWITZ, P. & KLINGE, K.-D.: Methods and results of an interpretation of deep seismic investigations in the G.D.R.- Gerlands Beiträge zur Geophysik **94**, 259-268, 1985.
- DEKORP Research Group (R.K.BORTFELD et al.): First results and preliminary interpretation of deep reflection seismic recordings along profile DEKORP 2 - South.- Journ.Geophys. **57**:137-163, 1985.
- DEKORP Research Group: Results of deep reflection seismic profiling in the Oberpfalz (Bavaria).- Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society **89**, 353-360, 1987.
- DEKORP Research Group: Results of the DEKORP 4/KTB Oberpfalz deep seismic reflection investigations.- Journ.Geophys., **62**, 69-101, 1988.
- DOHR, G.: Ein Beitrag der Reflexionsseismik zur Erforschung des tieferen Untergrundes.- Geologische Rundschau **46**, 17-26, 1975.
- FINCKH, P., FREI, W., FREEMAN, R., HEITZMANN, P., LEHNER, P., MÜLLER, St., PFIFFNER, A., VALASEK, P.: Nationales Forschungsprogramm 20 "Geologische Tiefenstruktur der Schweiz".- Bull.Ver.schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., **54**, Nr.124, 59-74, April 1987.

- GUTDEUTSCH, R. & ARIC, K.: Geophysical Aspects of the Crustal Structures of the Eastern Alps. Tectonic Block Models Based on the Seismicity in the Eastern Alpine-Carpathian and Pannonian Area.- In: Geodynamics of the Eastern Alps, ed. by H.W.FLÜGEL & P.FAUPL, Wien 1987.
- GIESE, P. & MORELLI, C.: Crustal structure in Italy.- *Quaderni Ric.Scient. CNR* 90, 453-489, 1975.
- KEPPNER, G. & LEHNER, P.: Geotraversing the Swiss Alps.- *First Break*, 6, No.4, 106-108, 1988.
- LIEBSCHER, H.J.: Reflexionshorizonte der tieferen Erdkruste im bayrischen Alpenvorland aus der Reflexionsseismik.- *Zeitschr.f.Geophys.*, 28, 162-184, 1962.
- LIEBSCHER, H.-J.: Deutungsversuche für die Struktur der tieferen Erdkruste nach reflexionsseismischen und gravimetrischen Messungen im deutschen Alpenvorland.- *Zeitschr.f.Geophys.* 30, 51-96 und 115-126, 1964.
- LEHNER, P.: Erste Ergebnisse der Alpentraversen von NFP-20 "Geologische Tiefenstruktur der Schweiz".- *Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 133/2, 61-98, 1988.
- MEISSNER, R. & BARTELTSEN, H.: Seismic reflection and refraction studies for investigation fault zones along the geotraverse rhenohertzynikum.- *Tectonophysics*, 64, 59-84, 1980.
- MEISSNER, R. & KUSZNIR, N.: Crustal viscosity and the reflectivity of the lower crust.- *Annales Geophysicae*, 5B, 365-374, 1987.
- MEISSNER, R., WEVER, Th. & FLÜH, E.: The Moho in Europe-Implications for crustal development.- *Annales Geophysicae* 5B, 357-364, 1987.
- MEISSNER, R.: The "Moho" as a transition zone.- *Geophys. Surv.*, 1, 195-216, 1973.
- MORELLI, C.: Le ricerche sulla crosta profonda: Nuove frontiere per la geofisica.- *Appendice agli Atti del 5° Convegno*, Rom 1987.
- MÜLLER, St., EGLOFF, R. & ANSORGE, J.: Struktur des tieferen Untergrundes entlang der Schweizer Geotraverse.- *Schweiz.mineral.petrogr.Mitt.*, 56, 685 - 692, 1976.
- POSGAY, K., ALBU, I., PETROVICS, I. & RANER, G.: Character of the Earth's Crust and Upper Mantle of the Basis of Seismic Reflection Measurements in Hungary.- *Earth evolution scienc.*, 3-4, 272-279, 1981.

- SCHMÖLLER, R., WALACH, G. & WEBER, F.: Ergebnisse tiefenseismischer und gravimetrischer Untersuchungen zur Krustenstruktur der Ostalpen und der alpin-pannonischen Übergangszone.- Freiburger Forschungshefte, Serie C - Geowissenschaften-Geophysik, 1989.
- TRAPPE, H., WEVER, Th. & MEISSNER, R.: Crustal reflectivity pattern and its relation to geological provinces.- Geophysical Prospecting, **36**, 265-281, 1988.
- TOMEK, C., DVORAKOVA, L. & IBRMAJER, I.: Crustal profiles of active continental collisional belt: Czechoslovak deep seismic reflection profiling in the West Carpathians.- Geophys.J.R.astr.Soc., **89**, 383-388, 1987.
- WEBER, F., JANSCHKEK, H., MAURITSCH, H., OBERLADSTÄTTER, M., SCHMÖLLER, R. & WALACH, G.: Activities of the institute of geophysics of the Mining University Leoben in the international geodynamic project.- In: Results of the Austrian Investigations in the International Geodynamics, Project 1972-1979, Wien 1981.
- WEVER, Th., TRAPPE, H. & MEISSNER, R.: Possible relations between crustal reflectivity, crustal age, heat flow, and viscosity of the continents.- Annales Geophysicae **5B**, 255-266, 1987.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr. Franz WEBER, Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben, Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben.