

2.8.90

MITTEILUNGEN

DER ABTEILUNG FÜR
GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE
AM LANDESMUSEUM JOANNEUM



Beiträge zur Geophysik

Schriftleitung:
J.Flack & Dr.R.Niederl

Mitt.Abt.Geol.Paläont.Landesmus.Joanneum

Heft 48

Graz 1990

Für Form und Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich

Eigentümer und Verleger: Abteilung für Geologie und Paläontologie am Landesmuseum Joanneum,
Raubergasse 10, A-8010 Graz.

Satz: T.SCHMID

Layout: J.FLACK

Druck: Steiermärkische Landesdruckerei, Graz-2166-90

Beiträge zur Geophysik

Inhalt

- WEBER, F.: Zum Stand der reflexionsseismischen
Lithosphärenforschung in den Varisziden, West-
alpen und Karpaten und deren Aspekte für die
ostalpinen Forschungsarbeiten 3
- WEBER, F. & HARTMANN, G.: Geologisch-lager-
stättenkundliche Ergebnisse refraktionsseismischer
Messungen im Feeberger Tertiär bei Judenburg 35
- AIGNER, H., GRATZER, R. & SCHMID, Ch.:
Graphit-Prospektion Lärchkogel bei Hohentauern
und Teichengraben bei Kalwang 47

Schriftleitung:
J. Flack & Dr. R. Niederl

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.

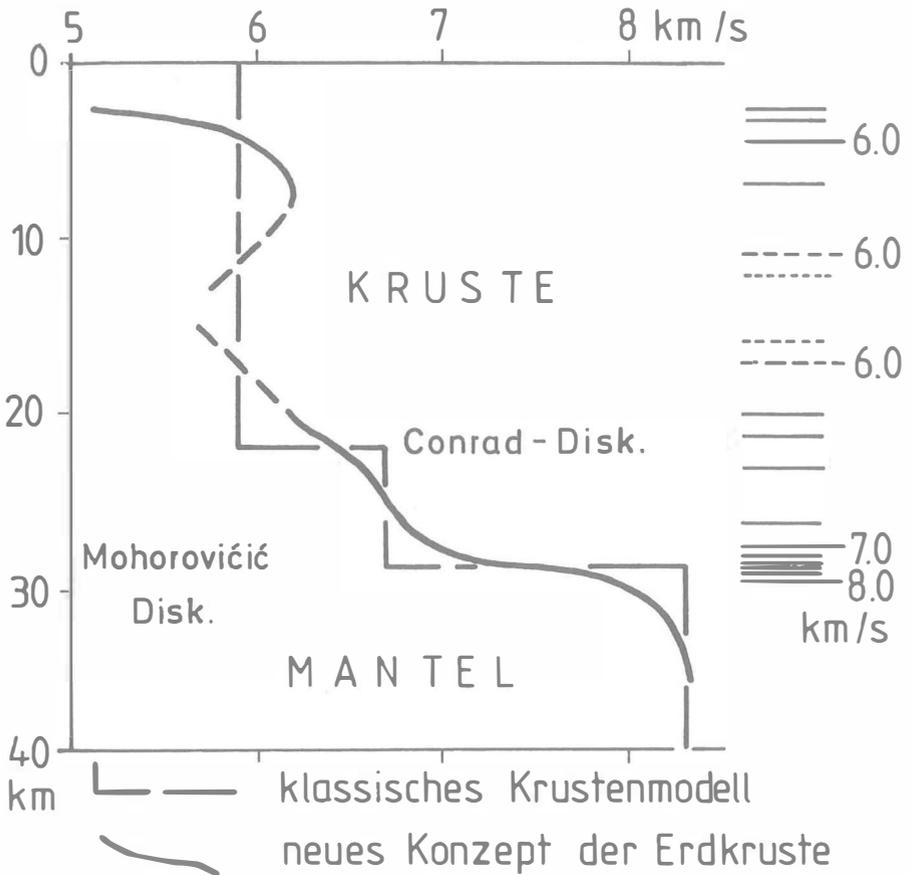


Abb.1: Modelle der Struktur der Erdkrusten; nach GIESE & MORELLI 1975

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).

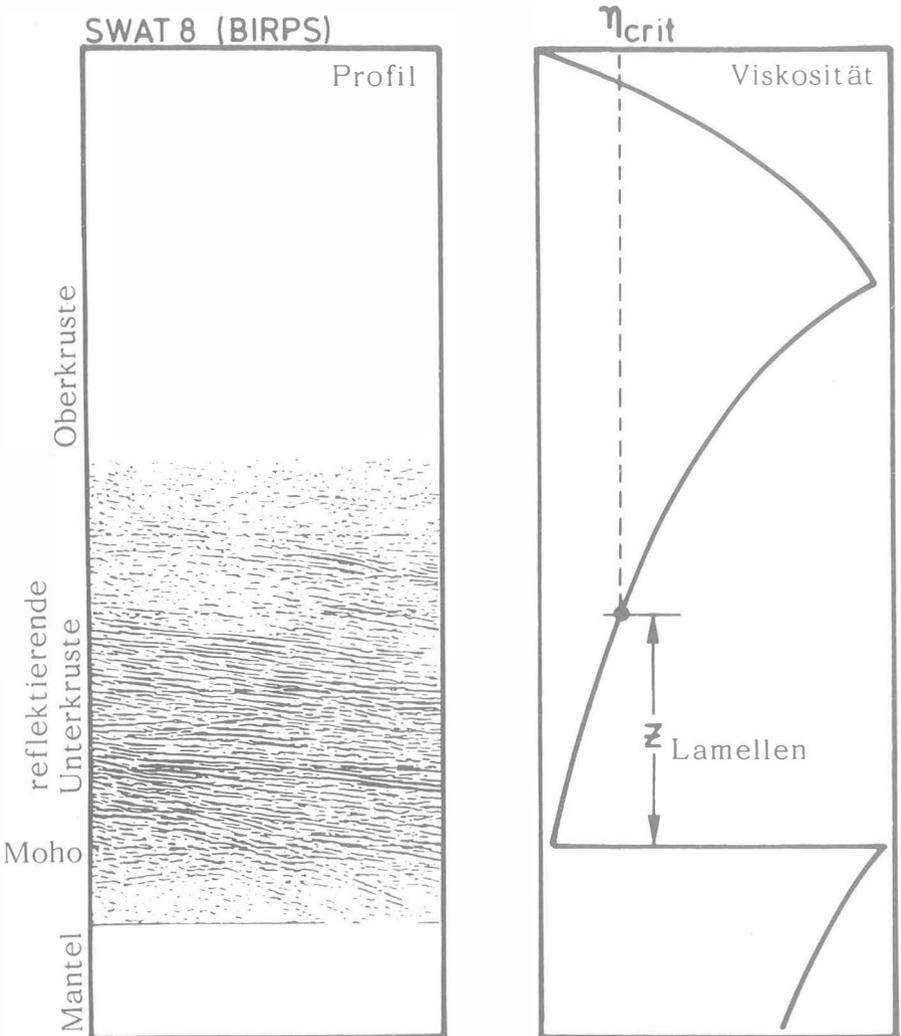


Abb.2: Interpretation einer gut reflektierenden, subhorizontal geschichteten Unterkruste in Europa (Beispiel Profil SWAT 8); nach TRAPPE et al. 1988

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).

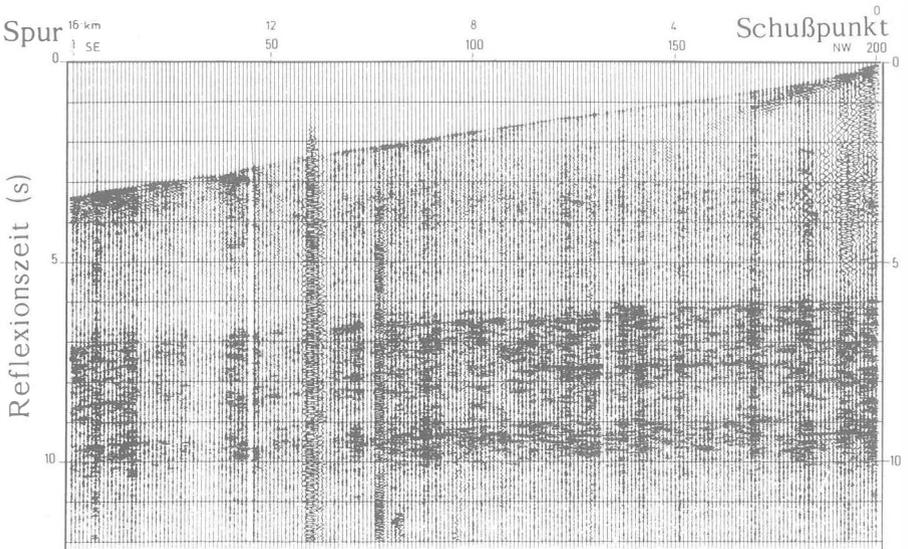


Abb.3: DEKORP 2-S, Aufstellung von SP 641.5, ungefiltert;
nach BORTFELD et al. 1985

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

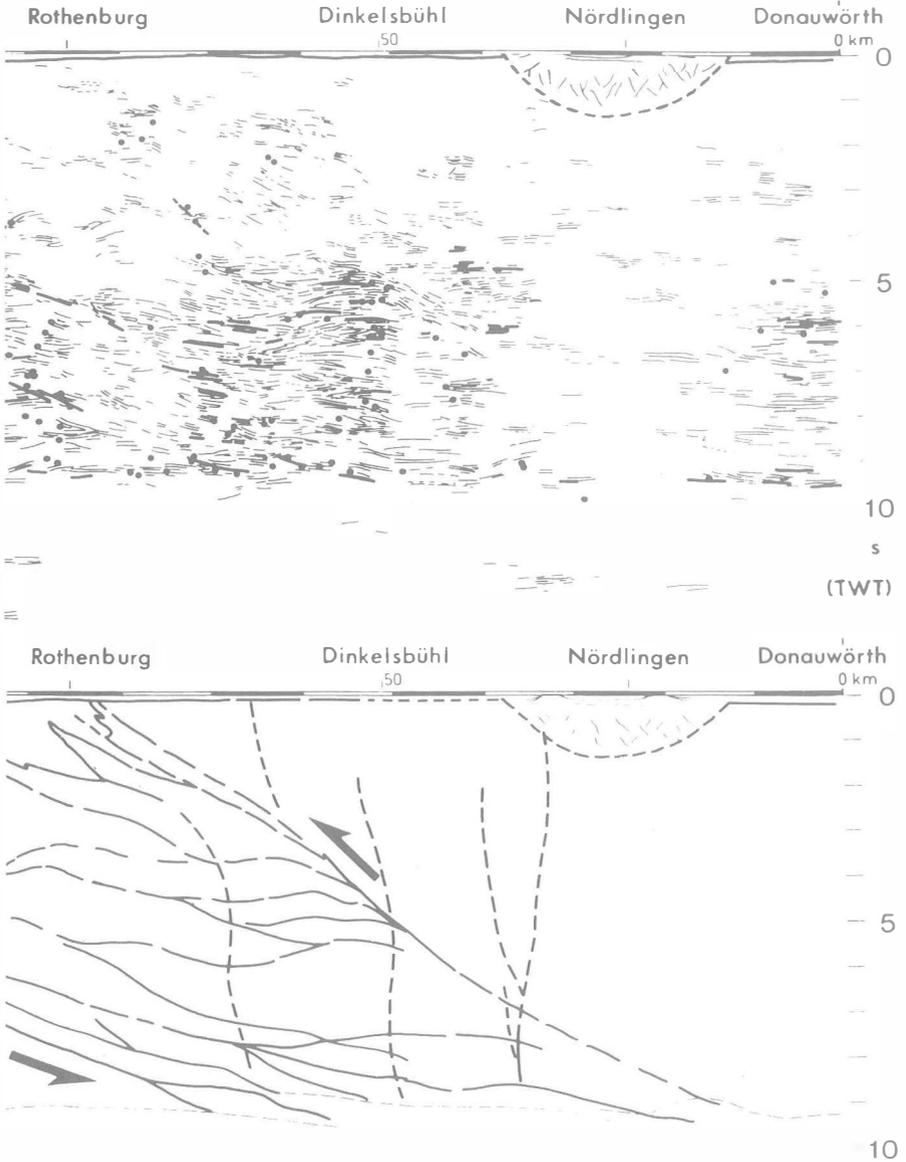


Abb.4: DEKORP 2-S, ausgewertetes Zeitprofil, migriert und geologisch-
strukturelle Interpretation; nach BORTFELD et al. 1985

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 erfolgversprechend, 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).

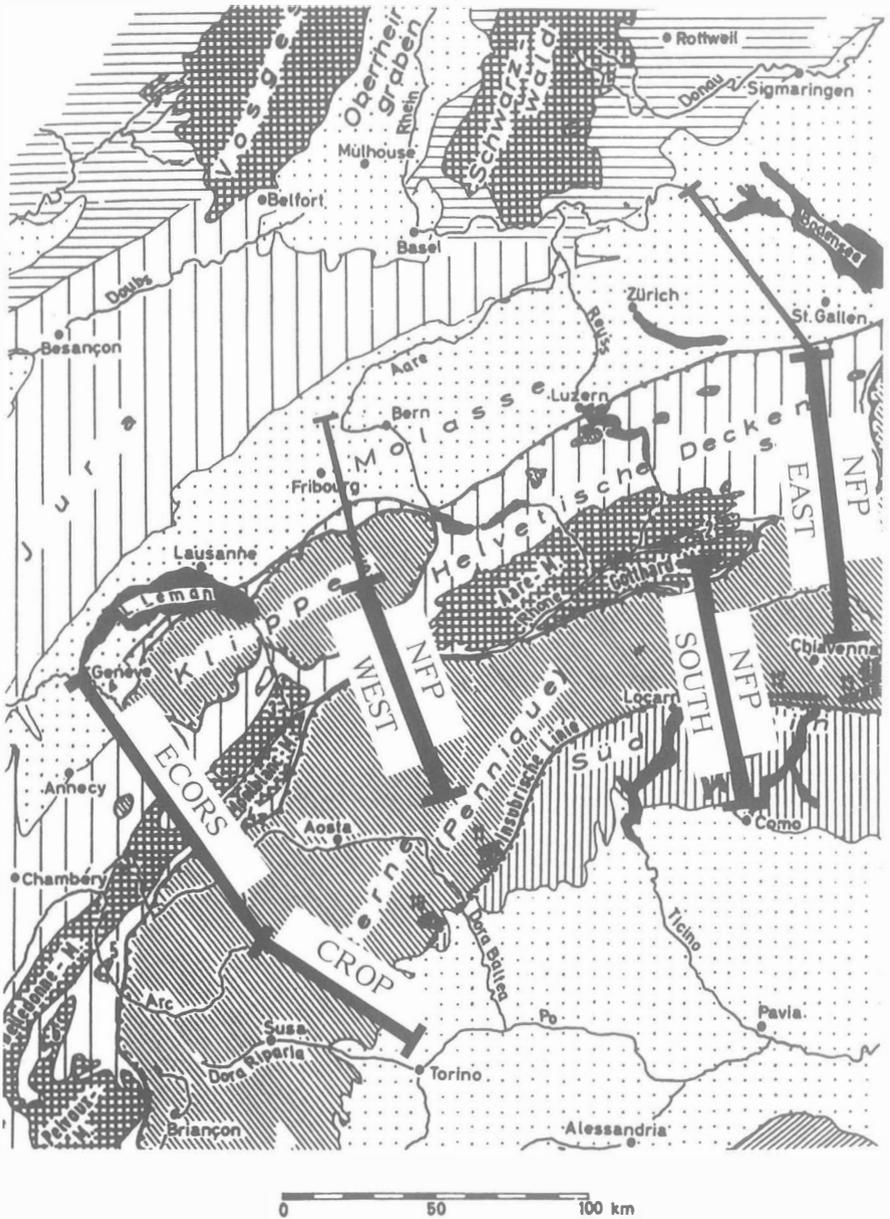


Abb.5: Tektonische Karte der Westalpen mit den Geotransversen von NFP-20, ECORS und CROP; nach KEPNER & LEHNER 1988

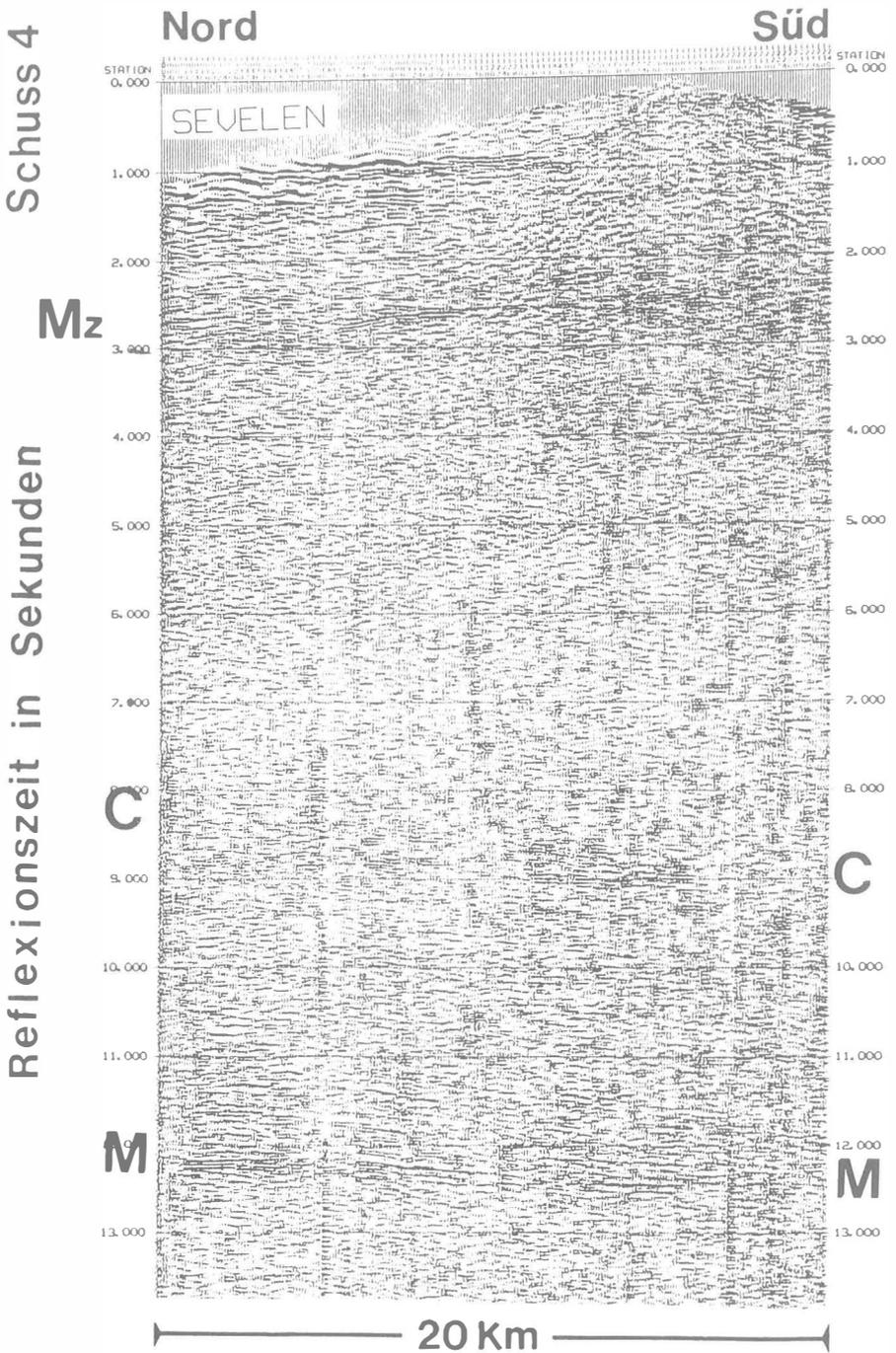


Abb.6: Reflexionsseismik Schweiz, Ostprofil S von Sargans;
nach LEHNER 1988

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.

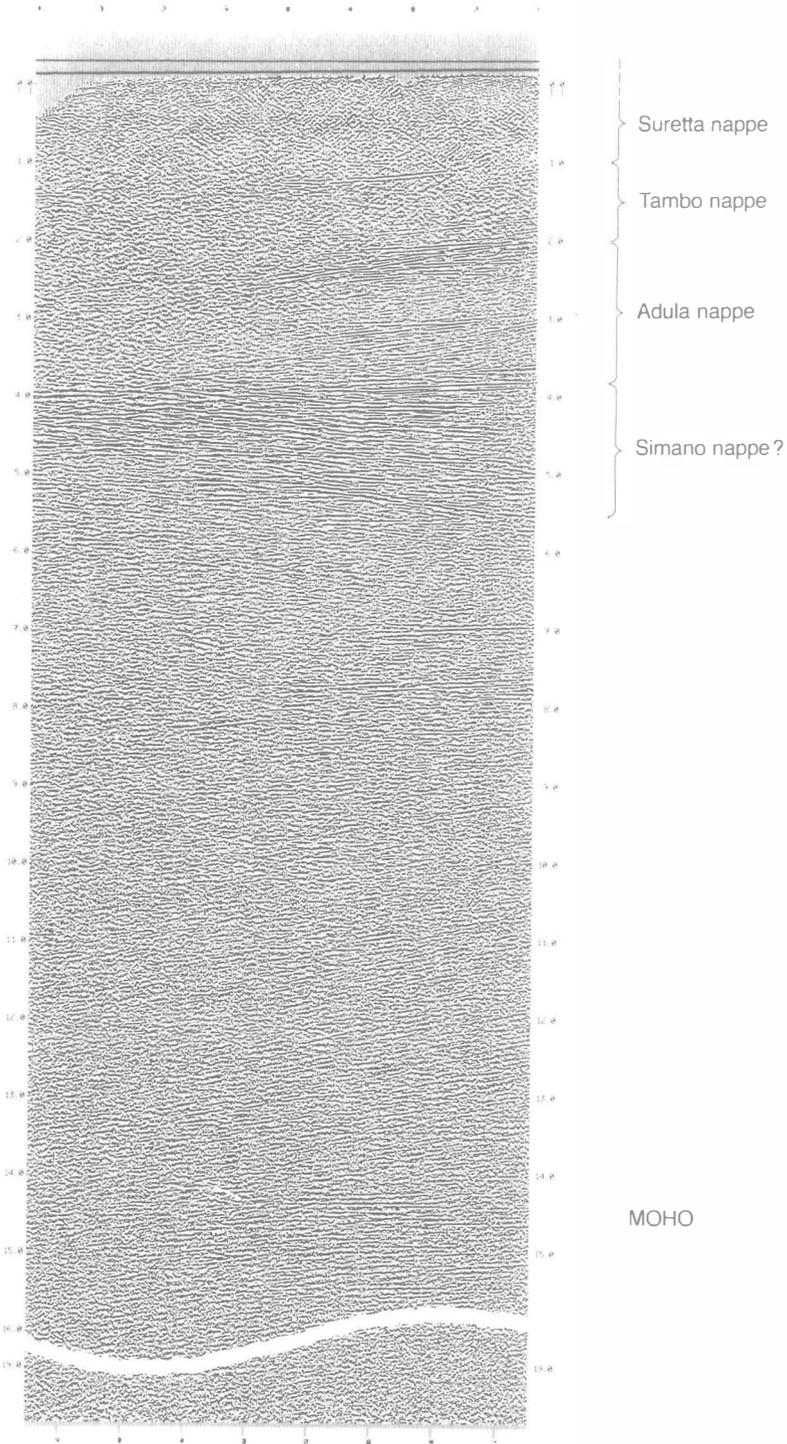


Abb. 7: Reflexionsseismik Schweiz, 6,4 km langes Zeitprofil vom Südende der Osttraverse; nach KEPPNER & LEHNER 1988

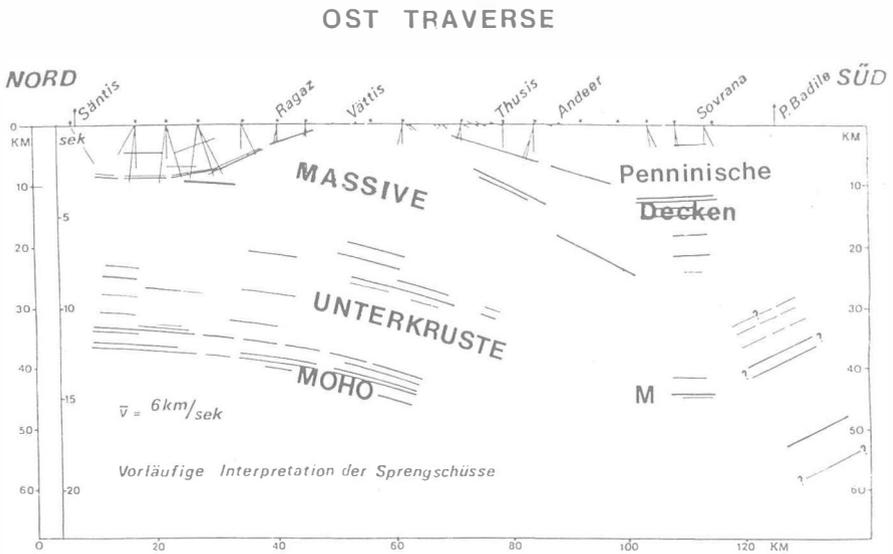


Abb.8: Vorläufige Interpretation der Osttraverse, Schweiz;
nach LEHNER 1988

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).

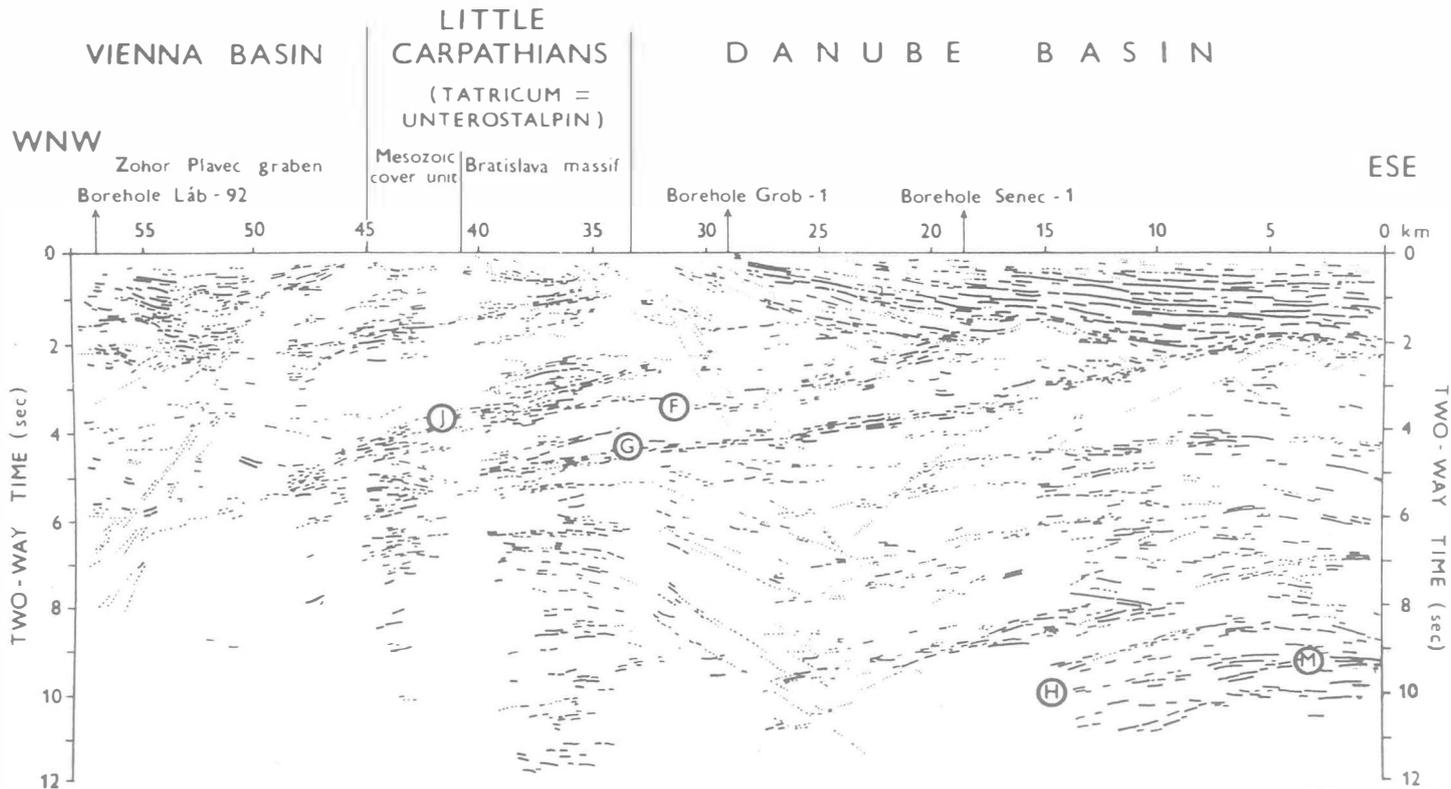


Abb.9: Tiefenreflexionsseismisches Profil 3T im Westen der CSSR; nach TOMEK et al. 1987

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 Profilnetzes 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.

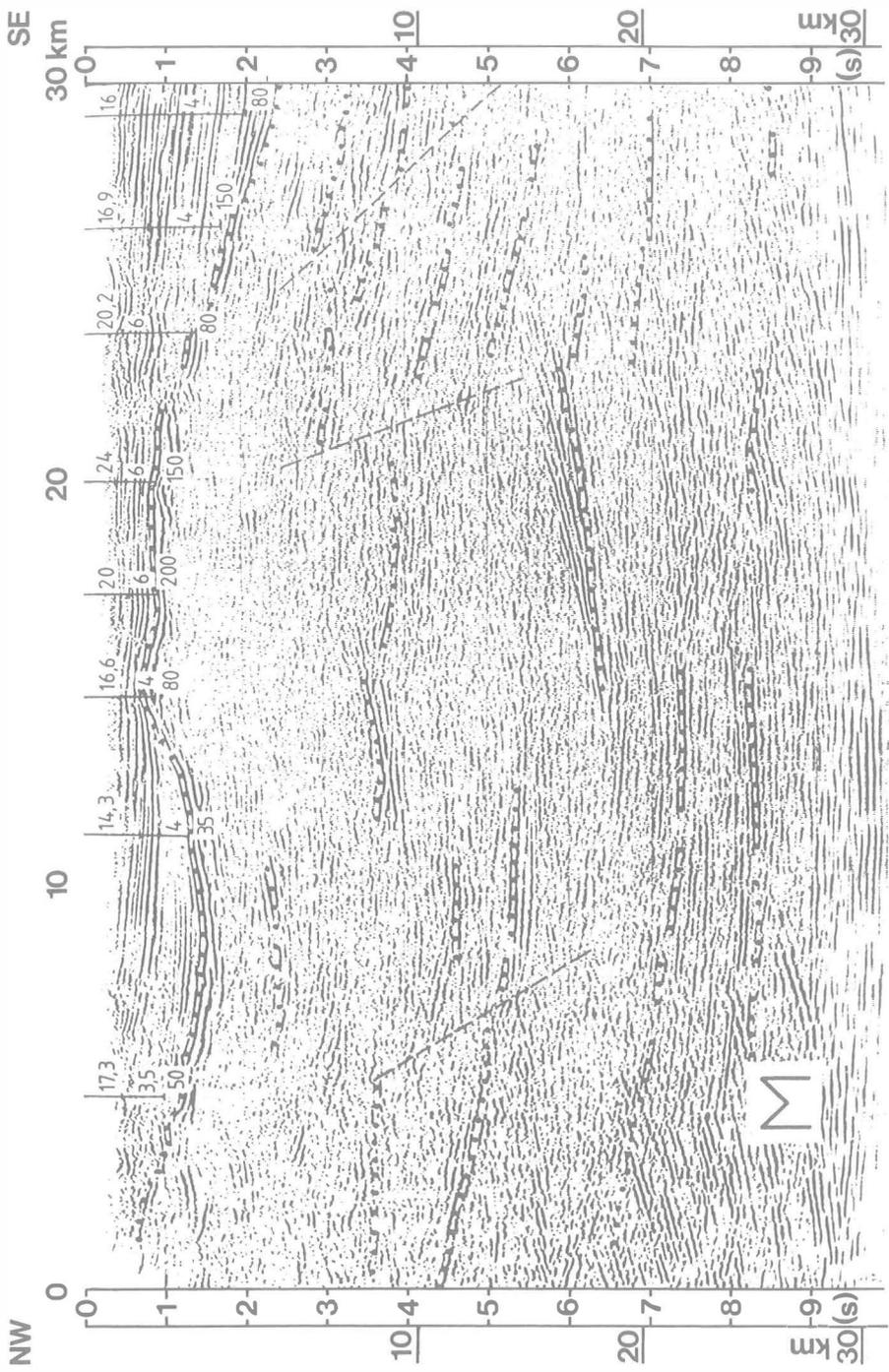


Abb.10: Zeitprofil Mk-1, Ungarn Bakony Geb.; nach POSGAY et al. 1986

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 Alpenlängsprofils 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.

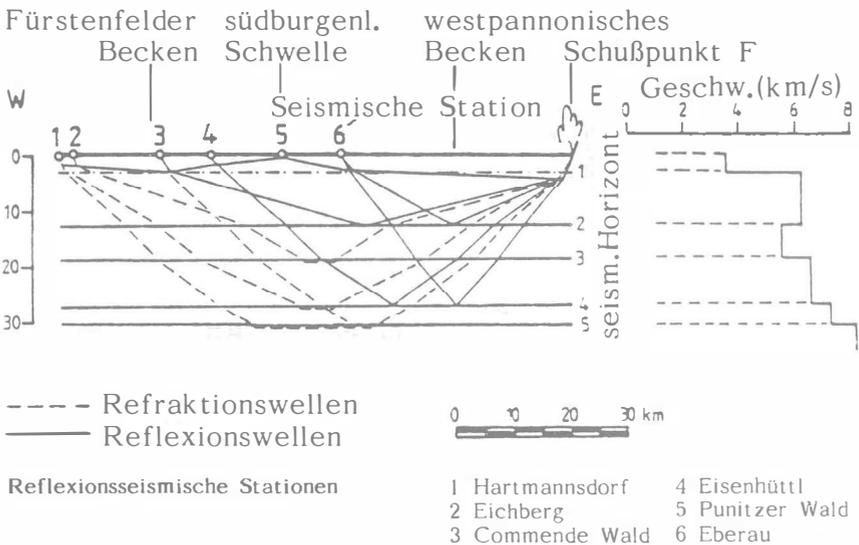
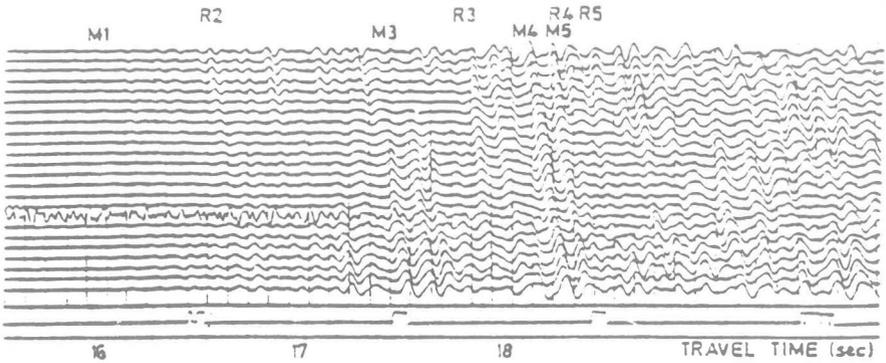
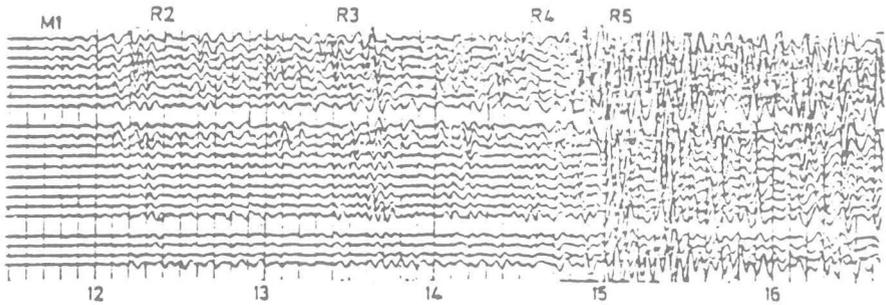


Abb.11: Beispiele tiefenreflexionsseismischer Messungen und Ergebnisse auf der Geotransverse des Geodynamikprofils; nach WEBER et al. 1981

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).

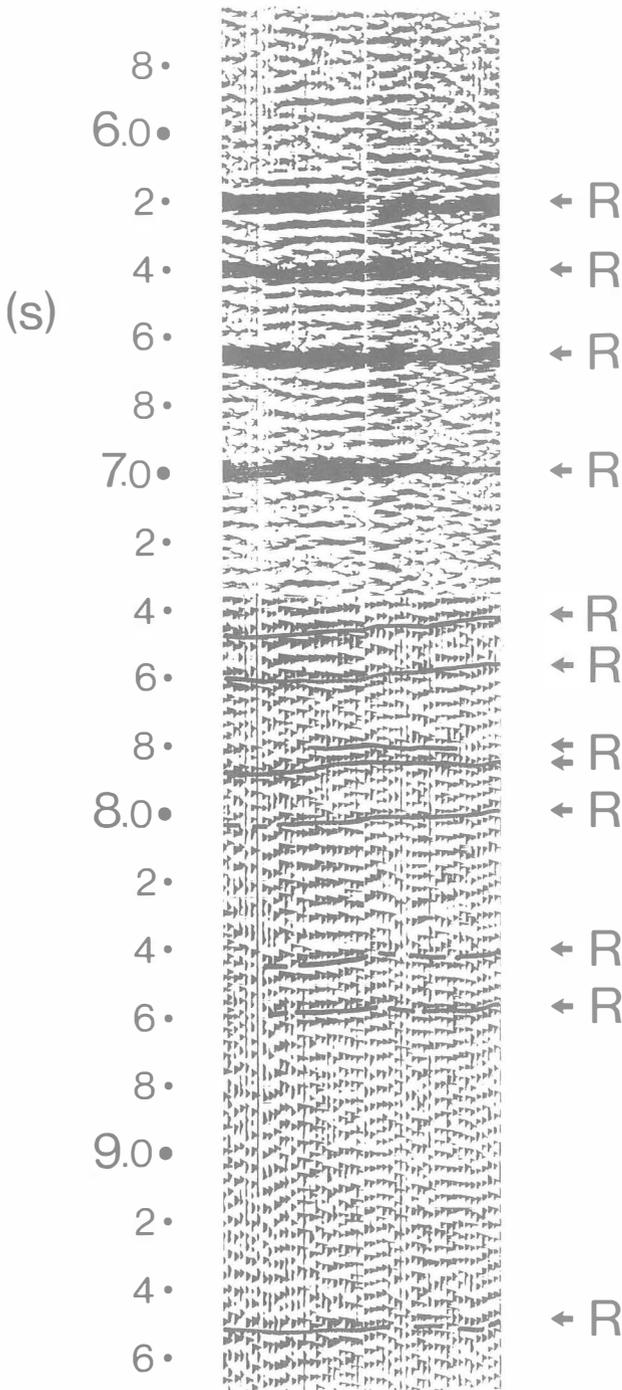


Abb.12: Ausschnitt aus einer Registrierung der Tiefenseismik Nikitsch (Burgenland) 1981

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 insofern 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.FAUP, 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.

Geologisch-lagerstättenkundliche Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen im Feeberger Tertiär bei Judenburg

Von F. WEBER & G. HARTMANN

Mit 7 Beilagen

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1. Einleitung, historischer Überblick
2. Meßprogramm
3. Auswertung
4. Ergebnisse
 - 4.1. Profile
 - 4.2. Karten
5. Geologisch-lagerstättenkundliche Interpretation
6. Danksagung
7. Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Nach einer Vorerkundung im Jahre 1987 wurde 1988 ein refraktionsseismisches Meßprogramm zur Untersuchung des Feeberger Tertiärvorkommens im Hinblick auf dessen kohlengeologische Bedeutung durchgeführt. Insgesamt wurden 7 Profile mit einer Gesamtlänge von 5,7 km gemessen, wozu 45 Schußpunkte erforderlich waren. Es wurden dabei 3 ausgeprägte NW-SE streichende Mulden gefunden bzw. deren Vorhandensein nach den geologischen und Bergbauunterlagen bestätigt. In den Mulden liegt im allgemeinen ein seismischer Vier- bis Fünfschichtfall vor, der sich an den Flanken und über den Aufragungen des kristallinen Untergrundes bis zum Zweischichtfall reduziert. Es dürfte dabei der mergelbetonte Anteil des Tertiärs (Karpát ?) durch Geschwindigkeiten von 2500 m/s, die Sandsteinserie durch Werte von 2700 - 2950 m/s charakterisiert sein. Schwierigkeiten bereitet die lithologische Zuordnung eines streckenweise auftretenden Horizonts mit $V = 3000 - 3300$ m/s, der entweder den Basiskonglomeraten und -sandsteinen oder dem verwitterten Kristallin entsprechen dürfte. Das unverwitterte Kristallin (Glimmerschiefer, Marmore, Pegmatite) ist durch Geschwindigkeiten von 3350 - 4000 m/s gekennzeichnet.

Im Tertiär konnte eine nach SE zu fortschreitende Transgression in den einzelnen Mulden nachgewiesen werden. Es wird eine störungsbedingte Anlage der Mulden angenommen und auf die Rolle der Verkarstung in den Marmoren hingewiesen.

Die Grubhof-N-Mulde weist einen asymmetrischen Bau mit der größten Tiefe im NW und einer Mächtigkeit von über 80 m, die Grubhof-S-Mulde Mächtigkeiten von 30 m, inklusive Kristallinzersatz ca. 80 m, auf. Beide Muldenzonen werden durch einen NW-SE streichenden Kristallinrücken getrennt, der in der streichenden Fortsetzung nach S umbiegt. Die Erhardbauermulde im E erscheint mit etwa 0,5 km Breite und über 80 m Tiefe in der Querausdehnung etwas größer zu sein als die anderen beiden Mulden; in dieser ging auch der Bergbau im 19. Jahrhundert um. Ein Teil der Mulde scheint nach SW bis zum Jacklbauer zu reichen. Während die Erhardbauermulde vermutlich weitgehend ausgekohlt ist, sollte die Kohleführung der beiden Grubhofmulden durch Bohrungen überprüft werden.

1. Einleitung, historischer Überblick

Die refraktionsseismische Vermessungskampagne im Feeberger Tertiärgebiet erfolgte im Zuge der Erforschung kohlehöffiger Gebiete der Steiermark, für die bereits gewisse positive Indikationen vorlagen. Das dem weit größeren Fohnsdorfer Becken im Süden benachbarte Feeberger Tertiärvorkommen ist ein traditionelles Bergbaugebiet. Vor allem in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichte der Abbau beachtliche Ausmaße, wofür aus damaliger Sicht wohl die geringe Tiefenlage der Kohlehorizonte entscheidend war. Die historische Entwicklung der Bergbautätigkeit und der Prospektion bis in die jüngste Gegenwart wurde kürzlich von A.WEISS und L.WEBER (1983) eingehend dargestellt. Als ein wesentliches Ergebnis dieser früheren Aktivitäten kann festgehalten werden, daß im Raum Feeberg 3 getrennte NW-SE streichende Tertiärmulden auftreten, die anscheinend durch Kristallinrücken getrennt werden. Präzise Angaben über die Tertiärmächtigkeiten und über die Lagerungsverhältnisse fehlen weitgehend, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß die Bergbautätigkeit sich vornehmlich auf die NE Mulde (Erhardbauer-Mulde) beschränkte. Darüberhinaus bietet lediglich die von W.PETRASCHECK (1922-1925) erwähnte, im Jahre 1921 beim Grubhof abgeteufte Bohrung, die bei 70 m Teufe das Grundgebirge erreicht haben soll, einen Anhaltspunkt.

Die Angaben über die Flözmächtigkeiten sind teilweise derart, daß ebenfalls eine kritische Revision erforderlich ist. Nach A. MILLER von HAUENFELS (in W. PETRASCHECK, 1922-1925) läge in der NE Mulde ein 12 - 16 m mächtiges Liegendflöz, darüber ein 6 - 8 m mächtiges zweites Kohleflöz und darüber ein Hangendflöz von 4 - 6 m Mächtigkeit vor, welche nach diesem Autor zu einem einzigen gefalteten Flöz zusammenzufassen wären. Für die seismische Methodik wichtig ist die Angabe dieses Autors, wonach über dem Grundgebirgsrand ein mächtiges Basiskonglomerat liegt, da dadurch der Geschwindigkeitsunterschied zum liegenden Grundgebirge minimiert wird, oder gänzlich fehlt. Ansonsten werden in der tertiären Schichtfolge lediglich feinkörnige Sandsteine und Schiefer erwähnt. Es fehlt zwar eine genauere paläontologische Untersuchung dieser Schichtfolge, es kann jedoch aufgrund der Analogie zum benachbarten Fohnsdorfer Becken angenommen werden, daß das Feeberger Tertiär altersmäßig ebenfalls ins Karpat zu stellen ist.

2. Meßprogramm

Das refraktionsseismische Meßprogramm war darauf ausgelegt, daß durch die seismischen Profile eine Tiefeneindringung von etwa 100 m gegeben sein sollte. Schwierigkeiten bezüglich der Anlage der Profile bestanden wegen der geringen Breite der Tertiärmulden. Auf Grund der ungenügenden Oberflächenaufschlüsse mußte auch damit gerech-

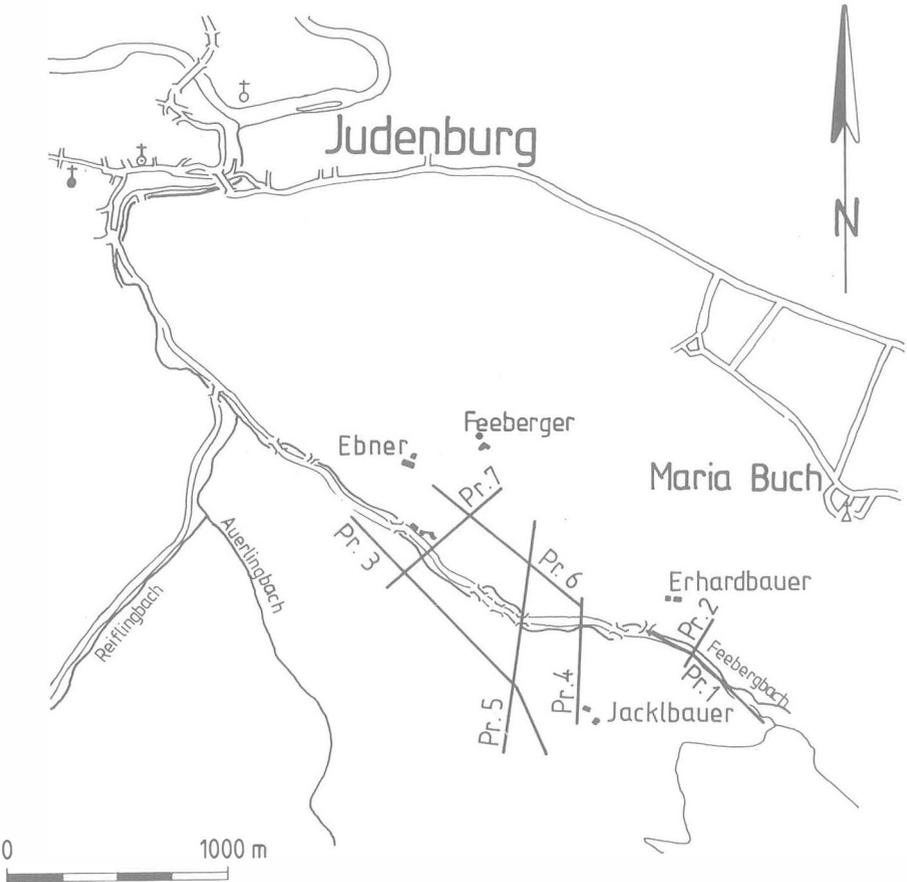


Abb.1: Übersichtslageplan der Meßgebiete

net werden, daß die angegebenen geologischen Grenzen der Tertiärerstreckung nicht immer zutreffen würden. Es konnten weiters bereits bei der Projektierung zusätzliche Hinweise für das Auftreten der vermuteten Aufragungen des kristallinen Untergrunds gefunden werden: So stehen bei der ersten Spitzkehre der Zufahrtsstraße zum Gehöft Ebner Gneise und stark mylonitisierte Glimmerschiefer an. In den höheren Bereichen der Talflanken finden sich häufig große Blöcke von Glimmerschiefer, die auf einen geringen Transportweg schließen lassen. In der Nähe der Abzweigung der Zufahrtsstraße zum Jacklbauer treten Marmore auf und am Ende des Profils 4 wurden in einer Bodensenke Pegmatite gefunden, die vermutlich aus einer alten Strecke stammen.

Die Feldarbeiten zu diesem Projekt wurden im September 1987 und im Zeitraum August bis September 1988 durchgeführt. Die geologische Grundlage für die Anordnung der Profile bildete die geologische Skizze von HABIB (1977). Die Anlage des Meßnetzes erfolgte in der Weise, daß in jeder Mulde nach Möglichkeit ein Längsprofil in der vermuteten Muldenachse und mehrere Querprofile angelegt wurden. Insgesamt wurden 7 Profile gemessen (Lage der Profile siehe Abb.1). Die Schußpunktabstände betragen 120 bzw. 180 m, die Geophonabstände betragen in der Regel 20 m, in Ausnahmefällen wurde dieser Abstand auf 10 m herabgesetzt. Die Registrierung erfolgte mit einer 24-kanäligen digitaleismischen Apparatur, Marke Geometrics-ES-2415. Der Energiedurchgang war in der Regel gut, sodaß nur geringe Ladungsmengen von 5 - 40 dag erforderlich waren. Als Fixpunkt für die geodätische Vermessung diente der Katastertriangulierungspunkt 340-161 in der Nähe des Grubhofes.

3. Auswertung

Die ersten Einsätze der direkten und refraktierten Wellen werden zu Laufzeitkurven zusammengefaßt. Aus diesen ergibt sich bereits bei qualitativer Betrachtung ein Hinweis über die Zahl der auftretenden Schichten und über die Lagerungsverhältnisse. Durch die Methode der Mehrfachüberdeckung werden diese Aussagen wesentlich gestützt. Die Laufzeitkurven des Meßgebietes lassen erkennen, daß 4 - 5 Schichtglieder auftreten. Unmittelbar an der Oberfläche befindet sich eine nur wenige Meter mächtige Ver-

witterungsschicht (V_1 -Horizont), die durch Geschwindigkeiten von 500 - 700 m charakterisiert ist, wobei lokal auch wesentlich niedrigere und höhere Werte auftreten können. Der V_2 -Refraktor weist Geschwindigkeiten von 1320 - 1670 m/s auf und ist mit dem Quartär oder lokal auch verwittertem Tertiär zu parallelisieren. Häufig ist eine Abgrenzung dieser beiden Refraktoren nicht möglich, sodaß eine Mischgeschwindigkeit von 1000 - 1400 m/s auftritt. Die Geschwindigkeiten des unverwitterten Tertiärs (V_3 -Horizont) liegen im Intervall 2200 - 2700 m/s. In manchen Bereichen erfolgt eine Geschwindigkeitsabnahme auf etwa 2100 m/s, was auf fazielle Ursachen (Dominanz von Tonen ?) zurückzuführen sein dürfte. Der V_4 -Horizont liegt geschwindigkeitsmäßig im Bereich von 2700 - 2950 m/s und dürfte daher vorwiegend aus stärker verfestigten Sandsteinen bestehen. Die Geschwindigkeiten des V_5 -Refraktors bewegen sich zwischen 3000 - 3300 m/s. Die lithologische Zuordnung dieses Horizonts ist schwierig, es könnte sich hier einerseits um verfestigte tertiäre Gesteine (Konglomerate) handeln, andererseits wäre auch verwittertes Kristallin möglich. Im Liegenden dieser Refraktoren treten häufig Geschwindigkeitsäste mit 3350 bis über 4000 m/s auf, die mit Sicherheit dem Kristallin zuzuordnen sind.

Die Auswertung der refraktionsseismischen Messungen erfolgte nach dem Interceptzeit-Verfahren und mit einem EDV-Programm, das auf der Plus-Minus Methode von HAGEDOORN (1959) beruht. Die Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Methode besteht darin, daß eine vollständige Untergrundsüberdeckung vorliegt und Gegenschüsse gemessen wurden. Es werden sodann Plus-Zeiten definiert, aus denen sich die Refraktorgrenze als die Pluslinie Null ergibt und zwar erhält man sie an jedem Geophonpunkt als Summe der beiden Teillaufzeiten minus der Gesamtlaufzeit. Durch Multiplikation des Pluswertes mit einer Konstanten erfolgt sodann die Umrechnung in Tiefen, sodaß durch diese Tiefenberechnung bei jedem Geophonpunkt ein vollständiges Relief des betreffenden Refraktors erhalten wird. Die Minuslinien ergeben sich als Differenz bestimmter Laufzeiten und gestatten es, daraus die Refraktorgeschwindigkeiten zu berechnen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß auch ein unregelmäßiges Relief noch entsprechend genau erfaßt werden kann und weiters laterale Geschwindigkeitsänderungen erkannt und in Rechnung gestellt werden können. Die Neigungen der Horizonte sollten allerdings ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

4. Ergebnisse

4.1. Profile

Profil 1 (siehe Beilage 1):

Das Profil 1 war als Längsprofil durch die Erhardbauermulde geplant und hat grundsätzliche Erkenntnisse bezüglich Geschwindigkeitsverteilung und Struktur des Feeberger Tertiärs erbracht. So konnte das Normalgeschwindigkeitsprofil des Fünfschichtfalls festgestellt werden, der sich gegen die Flankenbereiche hin zu einem Vierschichtfall reduziert. Auch das kräftige Relief des kristallinen Untergrunds kam zum Ausdruck, als sich zwei Teilmulden abzeichneten, die durch einen Untergrundrücken getrennt sind. Die maximal gemessene Tertiärmächtigkeit beträgt im Profil in der nördlichen Teilmulde ca. 80 m, in der südlichen dagegen ca. 90 m.

Profil 2 (siehe Beilage 2):

Dieses ist ein Querprofil in der Erhardbauermulde, das auf Grund der örtlichen Gegebenheiten den Untergrund nicht erreicht hat. Bemerkenswert sind im V_4 -Refraktor die hohen Geschwindigkeiten von 2900 - 2930 m/s, was für stärker verfestigte Sandsteine spricht. Dieser Horizont zeigt in der Profilmitte eine antiklinale Aufwölbung, deren südwestlicher Schenkel steiler nach Süden einfällt.

Profil 3 (siehe Beilage 3):

Dieses Profil beginnt ca. 200 m westlich des Grubhofes und verläuft in NW-SE Richtung fast genau in der Achsenrichtung der südlichen Grubhofmulde. Im NW verblieb das Profil im tieferen Tertiär, während im SE das Auskeilen desselben und das Auftauchen des kristallinen Untergrunds gut verfolgt werden konnte. Ganz allgemein herrscht auf diesem Profil ein seismischer Vierschichtfall vor, wobei sich bezüglich des Refraktors mit $V = 3200$ bis 3300 m/s die erwähnte Problematik bezüglich der lithologischen Zuordnung ergibt (Konglomerat oder verwittertes Kristallin). Der sichere Hardrock mit Geschwindigkeiten von $3700 - 4100$ m/s zeigt ein ziemlich gleichmäßiges Ansteigen in SE Richtung. Bei SP 15 ist bei einer Tertiärmächtigkeit von ca. 30 m nur mehr ein einheitlicher tertiärer Refraktor mit $V = 2500$ m/s vorhanden, der ca. 100 m SE SP 16 auskeilt. Am restlichen Teil des Profils steht das Kristallin unter einer geringmächtigen Verwitterungsschicht an.

Profil 4:

Dieses Profil kreuzt jene Queraufwölbung, die die Grubhofbauermulden von der Erhardbauermulde trennt. Es deutet alles darauf hin, daß in geringer Tiefe der kristalline Untergrund ansteht. Lediglich im Bereich des Feeberggrabens dürfte noch ein Rest von Tertiär vorhanden sein. Dort sind auch Hinweise auf eine Bergbautätigkeit zu früherer Zeit gegeben. Nach der Kuppe südlich des Feebergbachs stehen an den Flanken eines ca. 10 m tiefen Grabens Sandsteine mit Braunkohlespuren an. Der Refraktor mit einer Geschwindigkeit $V = 2700$ m/s erreicht in diesem Bereich eine Mächtigkeit von ca. 15 m. Der darunterliegende Horizont mit Geschwindigkeiten von ca. 3500 m/s gehört mit Sicherheit bereits dem kristallinen Untergrund an. Dieser tritt etwa bei der Kreuzung mit Profil 6 zutage, wo Marmore anstehen.

Profil 5 (siehe Beilage 4):

Dieses Profil quert mit NS-Verlauf den Ostteil der beiden Grubhofmulden. Bemerkenswert ist die Aufragung zwischen SP 26 und 27, wo unter einer geringmächtigen Verwitterungsschicht anscheinend verwittertes Kristallin ansteht. Während der nördliche Profilmittelteil innerhalb des Tertiärs verblieb, läßt sich im südlichen Abschnitt das Auskeilen des Tertiärs etwa bei der Kreuzung mit Profil 3 gut verfolgen.

Profil 6 (siehe Beilage 5):

Dieses erstreckt sich in der Längsrichtung der nördlich des Grubhofes gelegenen Mulde, wobei der NW-Profilmittelteil anscheinend noch im zentralen Muldenbereich verblieb. Bemerkenswert sind die konstanten Geschwindigkeiten innerhalb des Tertiärs, die in den oberen Partien 2500 m/s und in dem mächtigeren unteren Teil 2900 m/s betragen. Mindestens im unteren Teil des Tertiärs scheinen die Sandsteine zu dominieren. Das Tertiär dürfte wenig östlich SP 36 auskeilen, wobei die extrem niedrigen Geschwindigkeitswerte von 1300 m/s auf stärkere Verwitterung hinweisen. Die Kuppe im südöstlichsten Profilmittelteil läßt erkennen, daß das Kristallin tiefgründig (bis ca. 30 m Tiefe) verwittert ist.

Profil 7:

Ähnlich wie das Parallelprofil 5 quert es die beiden Grubhofmulden. Der die beiden Profile trennende Rücken kommt in diesem Profil klar zum Ausdruck. Es dürfte je-

doch das Kristallin hier tiefgründig verwittert sein, wofür die verhältnismäßig niedrigen Geschwindigkeitswerte sprechen. Beim Feebergbach ist eine Störung im Untergrund möglich, durch die die nach Süden einfallenden tertiären Schichten abgeschnitten werden. Auch am nördlichen Randbereich der Schwelle ist eine tektonische Anlage nicht auszuschließen.

Das Tertiär der südlichen Grubhofmulde ist hier nur noch ca. 30 m mächtig.

4.2. Karten

Auf Grund der Schwierigkeit in der genauen Parallelierung der seismischen Refraktoren mit der Tertiärbasis wurde eine Strukturkarte (siehe Beilage 6) des Refraktors mit der höchsten Geschwindigkeit gezeichnet. Diese entspricht also der Oberkante des unverwitterten Kristallins und nur in Teilen des Meßgebietes praktisch der Tertiärbasis. Es läßt sich in dieser Karte die Dreiteilung des Tertiärgebietes in getrennte Mulden klar erkennen. Auch die Asymmetrie der Grundgebirgsmulden, deren Zentrum im NW gelegen ist, zeichnet sich gut ab. Die tektonische Begrenzung der südlichen Grubhofmulde im SW wurde in der Linienführung berücksichtigt. Das NW-SE Streichen der nachgewiesenen und vermuteten tektonischen Linien erfolgt etwa parallel zum regionalen Streichen des Kristallins.

Die Isopachenkarte (siehe Beilage 7) der Refraktoren mit Geschwindigkeiten kleiner als 2950 m/s läßt erkennen, daß maximale Tertiärmächtigkeiten von ca. 80 m zu erwarten sind. In der südlichen Grubhofmulde könnte die Tertiärmächtigkeit nach dem Kartenbild zwar etwas geringer sein, doch ist zu berücksichtigen, daß das Zentrum der Mulde im N durch Seismik nicht erfaßt wurde. Es läßt sich auch erkennen, daß die von der Geologie angenommene Verbreitung des Tertiärs nicht unbeträchtlich von der auf Grund der Seismik anzunehmenden Grenze abweicht.

5. Geologisch-lagerstättenkundliche Interpretation

Unter der geologisch gerechtfertigten Voraussetzung einer Gleichaltrigkeit des Feeberger- mit dem Fohnsdorfer Tertiär ergibt sich ein bemerkenswerter Unterschied aus der heutigen Position. Gegenüber dem Südrand des Fohnsdorfer Beckens liegt die Tertiärbasis im Zentrum der Feeberger Mulden um ca. 1200 m höher. Während das Fohnsdorfer Tertiär generell nach S einfällt und die Südgrenze vermutlich eine steile Überschiebung darstellt, zeigen die beiden Grubhofmulden einen asymmetrischen Bau mit einer gegen NW einfallenden Muldenachse. Eine Verbindung mit dem Tertiär des Aichfeldes ist in NW-Richtung aus dem Raum Judenburg anzunehmen, was einer Distanz von ca. 2 km vom Westende der Feeberger Mulden entspricht.

Bezüglich der Entstehung der Feeberger Tertiärmulden scheint eine tektonische Anlage als eine naheliegende Erklärung. Falls jedoch am Aufbau des kristallinen Untergrundes Marmore einen größeren Anteil haben, wofür die geologische Karte von H.FLÜGEL (1984) spricht, wäre auch an einen ursprünglichen Zusammenhang mit der Verkarstung zu denken.

Die Geschwindigkeitsverhältnisse zeigen durchaus eine Analogie zum Fohnsdorfer Becken. Nach R.SCHMÖLLER (1977) wurden im Fohnsdorfer Tertiär Refraktoren mit Geschwindigkeiten von 2340 m/s direkt unter dem Quartär festgestellt, während die Schichtgeschwindigkeiten in 90 m Tiefe 2580 m/s, in 205 m Tiefe 3120 m/s und in ca. 380 m Tiefe 3270 m/s betragen.

Die in der älteren geologischen Literatur angenommene Faltung des kohleführenden Tertiärs kann auf Grund der refraktionsseismischen Ergebnisse ausgeschlossen werden. Vor allem im Ostteil der Mulden ist die nach SE zu erfolgende ungestörte Transgression mit immer jüngeren Schichtgliedern eindeutig gegeben.

Durch die Struktur- und Mächtigkeitskarte ist nunmehr eine Planungsgrundlage für eine bergmännische Feasibilitystudie gegeben. Ohne einer solchen vorgreifen zu wollen, kann jedoch bereits jetzt gesagt werden, daß im Raum Feeberg sehr ungünstige Verhältnisse für einen Abbau vorliegen. In diesem Sinne sprechen vor allem die geringe Ausdehnung der kohlehöffigen Mulden und deren starkes Relief. Nach W.E.PETRASCHECK und AUSTROMINERAL werden die prospektiven Vorräte unter Annahme einer mittleren Flözmächtigkeit von 2 m mit ca. 800.000 t angegeben.

6. Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprogramms der Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben ausgeführt. Die Autoren danken daher dem Vorstand der VALL und der Steiermärkischen Landesregierung für die materielle Förderung. Der Schriftleitung wird für die verständnisvolle Zusammenarbeit ebenfalls gedankt.

7. Literaturverzeichnis

- FLÜGEL, H.W., NEUBAUER, F.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1:200.000.- Geologische Bundesanstalt, Wien 1984.
- HAGEDOORN, J.B.: Plus-Minus Method of Interpreting Seismic Refraction Sections.- *Geoph. Prosp.*, **8**, 158-182, 1959.
- KOBILKA, L.: Bericht über den Feeberger Braunkohlenbergbau in der Gemeinde Reifling bei Judenburg in der Obersteiermark.- Unveröff.Bericht (Lagerstättenarchiv der Geologischen Bundesanstalt), 1938.
- METZ, K., SCHMID, Chr., WEBER, F.: Magnetische Messung im Fohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbecken und seiner Umrahmung.- *Mitt.Österr.Geol.Ges.*, **69/1976**, 49-75, Wien 1978.
- NEBERT, K.: Die Kohle als Faziesglied eines Sedimentationszyklus.- *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, **122**, 106-122, Wien 1983.
- OBERHAUSER, R.: *Der geologische Aufbau Österreichs.*- Herausgegeben von der Geologischen Bundesanstalt, Springer-Verlag, Wien 1980.
- PETRASCHECK, W.: Kohlengeologie der österr. Teilstaaten I und II.- Wien-Kattowitz 1922/1925 und 1926/1929.
- POLESNY, H.: Beitrag zur Geologie des Fohnsdorf-Knittelfelder und Seckauer Beckens.- Unveröff.Diss.Phil.Fak. Univ.Wien, 233 S., Wien 1970.
- SCHAUENSTEIN, A.: *Denkbuch des österr. Berg- und Hüttenwesens.*- Wien 1873.
- TOLLMANN, A.: *Geologie von Österreich, Bd.1.*- F.Deuticke, Wien 1977.

- WEBER, F., SCHMID, Chr., SCHMÖLLER, R., WALACH, G.: Jahresbericht 1976 über geophysikalische Messungen im Ostteil der Niederen Tauern und im Fohnsdorfer Tertiärbecken.- Geol.Tiefbau der Ostalpen, Zentralanstalt für Geodynamik und Meteorologie, **221**, Wien 1977.
- WEBER, F., SCHMÖLLER, R., SCHMID, Chr.: Reflexionsseismische Messungen mit hohem Auflösungsvermögen zur Strukturerkundung in der Braunkohle.- Freiburger Forschungshefte Serie C **408**, 20-37, Freiberg 1985.
- WEBER, F.: Die seismische Faziesanalyse als Hilfsmittel der Braunkohlegeologie und -prospektion.- Mitt. der Österr. Geologischen Gesellschaft, **78**, 67-86, Wien 1986.
- WEBER, F., SCHMÖLLER, R.: Seismostratigraphie als Hilfsmittel bei der Braunkohle-Erkundung Österreichs.- Zeitschrift für Angewandte Geologie, **32**, 317-322, Berlin 1986.
- WEBER, L., WEISS, A.: Bergbaugeschichte und -geologie der österr. Braunkohlevorkommen.- Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **4**, Wien 1983.

Anschrift der Verfasser:

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

Gunter HARTMANN, Institut für angewandte Geophysik der Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., Roseggerstraße 17, A-8700 Leoben.

Graphit-Prospektion Lärchkogel bei Hohentauern und Teichengraben bei Kalwang

Von H.AIGNER, R.GRATZER & Ch.SCHMID

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1. Einleitung
2. Geologischer Rahmen
3. Geophysikalische Meßmethodiken
 - 3.1. Eigenpotential
 - 3.2. Frequenz "mise a la masse"-Meßmethodik
4. Ergebnisse
 - 4.1. Lärchkogel/Hohentauern
 - 4.2. Teichenbachgraben/Kalwang
5. Literatur

Zusammenfassung

Die Graphitprospektion im Bereich der steirischen Grauwackenzone ist schon viele Jahre in Gang. Beim Einsatz geophysikalischer Methoden zeigte sich, daß diese hinsichtlich Eindringtiefe und Auflösungsvermögen oft begrenzt sind. Dies ergab sich auch bei einer Graphitprospektion mit konventioneller SP-Messung im Bereich des Lärchkogels (Hohentauern).

Es sollte daher eine modifizierte "mise a la masse" Methode im Frequenzbereich getestet werden. Bei dieser "Frequenz mise a la masse" werden einzelne Profile ähnlich einer Eigenpotentialmessung, jedoch mit Metallspießen, aufgenommen. Ein Strom mit konstanter Frequenz wird dabei in die zu untersuchende Struktur eingespeist. Mit dieser Methode war es möglich, am Lärchkogel ein Graphitlager trotz rasch zunehmender Überlagerungsmächtigkeit über eine beträchtliche Strecke weiterzuverfolgen.

Im Teichenbachgraben bei Kalwang waren bereits 1982 geophysikalische Arbeiten begonnen worden, die aber wegen der rauen Topographie kein flächenhaftes Bild einzelner großer Anomalien ergaben. Hier wurden nach einer ausführlichen Geländebegehung vier Profile mit SP-Messungen aufgenommen. Durch genaues Einmessen der einzelnen Profile war eine schematisch flächenhafte Darstellung der Anomaliebereiche möglich. Es hat den Anschein, als würde hier ein Graphitlager mit einer Mindesterstreckung von etwa 2 km den Teichenbachgraben queren. Die Qualität der Graphite wäre aber vor allfällig weiterführenden Arbeiten zu prüfen.

1. Einleitung

Im Sommer 1986 wurde am Ostabhang des Lärchkogels (Trieben/Sunk) ein Schurfstollen auf ein SE streichendes Graphitlager vorgetrieben. Entsprechend älteren bergbaugeologischen Aufzeichnungen sollte durch diesen Stollen das Graphitlager nach einigen Metern gequert werden. Seichte Sondierungsbohrungen wurden vom Stollen aus in Richtung des vermuteten Graphitlagers vorgetrieben, konnten allerdings das Graphitlager nicht erreichen. Der Grund dafür dürfte eine magnetische Anomalie, die vom Serpentinstock des Lärchkogels verursacht wird, sein. Durch diese Anomalie kommt es zu einer beträchtlichen Mißweisung

der Kompaßnadel, weswegen wahrscheinlich die Streichrichtung falsch festgelegt worden war.

Da es außerdem nicht zur Gänze auszuschließen war, daß es sich bei dem ausbeißenden Graphit um einen mächtigen Graphitblock im Hangschutt handeln könnte, sollte mittels Geophysik versucht werden, sowohl die Streichrichtung des Graphitlagers als auch dessen Ausdehnung festzustellen. Im Ausbeißbereich waren kostengünstige Eigenpotentialmessungen vorgesehen. Da infolge der großen Hangneigung die Überdeckung rasch zunimmt, sollten bei größerer Überlagerung Messungen nach der Methode "mise a la masse" vorgenommen werden.

Mit diesen Methoden sollten anschließend auch Untersuchungen im Teichenbachgraben bei Kalwang durchgeführt werden. Hier war 1982 ein geophysikalisches Meßprogramm begonnen worden, wobei eine Anomalie im Talgrund mit steilen Flanken auf einen Störkörper in geringen Tiefen hindeutete. Infolge der rauhen Topographie war jedoch ein flächenhaftes Verfolgen dieser Anomalie mit SP-Messungen nicht leicht möglich, da die Aufnahme eines Basisprofils praktisch nicht durchführbar war. Trotzdem sollte im Rahmen dieses Projektes überprüft werden, ob zumindest über Anhaltspunkte die Möglichkeit besteht, diese Anomalie flächenhaft darzustellen.

2. Geologischer Rahmen

Die beiden Untersuchungsgebiete Teichenbachgraben und Lärchkogel liegen in der steirischen Grauwackenzone und werden tektonisch der Unteren Grauwackendecke, der Veitscher Decke, zugeordnet (Abb.1).

Im erstgenannten Arbeitsgebiet, dem Teichenbachgraben, sind im vorderen Bereich nördlich von Kalwang graue Kalke des Karbons und im hinteren Bereich in der Umgebung des Graphitgrabens phyllitische Gesteine aufgeschlossen, die mittelsteil nach N bis NNE einfallen. Diese Gesteine können in zwei Gruppen unterteilt werden. Eine glimmerreiche zumeist feinschiefrige Varietät, mit einer Wechsellagerung von Quarz, Feldspat und Helleglimmer parallel zur Schieferung. Mitunter ist in diesem Gesteinstyp ein namhafter Graphitgehalt festzustellen.

Der zweite Gesteinstyp ist wesentlich quarzreicher, meist bankig, spröde brechend und führt weniger Helleglimmer und Graphit. Beiden Gesteinstypen ist eine Überprä-

gung der dominierenden Schieferung durch eine postkristalline, jüngere Schieferung gemeinsam.

Das zweite Untersuchungsgebiet liegt am Ostabhang des Lärchkogels in Gesteinen des Karbons. Westlich davon stehen Serpentinite an, die erst in jüngerer Vergangenheit von KÜRZL (1982) detailliert untersucht worden waren. Großtektonisch ergibt sich folgende Situation: Am Ausgang der Sunk liegt das Karbon überkippt über SW-fallenden Grünschiefern und Grauwackenphylliten. Es ist antiklinal gelagert, der SW-Schenkel fällt auch unter die Serpentinitemasse des Lärchkogels. Die vorliegenden Gesteine des Karbons setzen sich im wesentlichen aus Quarziten, Quarzkonglomeraten und Sandsteinen zusammen, wie sie für die steirische Grauwackenzone typisch sind. Die Graphitlager sind meist linsenförmig eingeschuppt. Zum Teil sind auch graphitpigmentierte Karbonatgesteine anzutreffen, die die Qualität von Eigenpotentialmessungen mitunter negativ beeinflussen können.

Im Gebiet um den Graphitbergbau Trieben-Sunk sind die einzelnen Graphitlager meist an tektonische Störungen gebunden. Detailgeologische Untersuchungen haben auch im eigentlichen Untersuchungsgebiet eine Zahl von Störungen erkennen lassen. Diese Untersuchungen haben aber ergeben, daß oberflächennah Hangschutt mit unterschiedlichen Mächtigkeiten anzutreffen ist. Die Hauptkomponente dieses Schuttmaterials sind Quarzkonglomerate und Sandsteine des Karbons. Vereinzelt kommen auch Serpenterolle vor, die von den über dem Karbon lagernden Serpentinstöcken stammen. Die Mächtigkeit dieser Hangschuttmassen ist entsprechend der Morphologie recht unterschiedlich.

3. Geophysikalische Meßmethodiken

Für die Prospektion auf Graphit mittels einer einfachen geophysikalischen Meßmethodik bietet sich im allgemeinen die Eigenpotential-Messung, abgekürzt mit SP-Messung, an. Diese Methode ist schnell und billig, eignet sich gut für Graphit und dient zum raschen Erhalt eines Überblickes über ein Untersuchungsgebiet. Die Methode der "frequenz mise a la masse" (FMAM) ist neu und wurde aus der alten "mise a la masse" - Methode hergeleitet. Diese dient zur Verfolgung leitfähiger Strukturen. Beide Methoden werden in folgenden Kapiteln kurz skizziert und ihre Anwendung auf Graphit hervorgehoben.

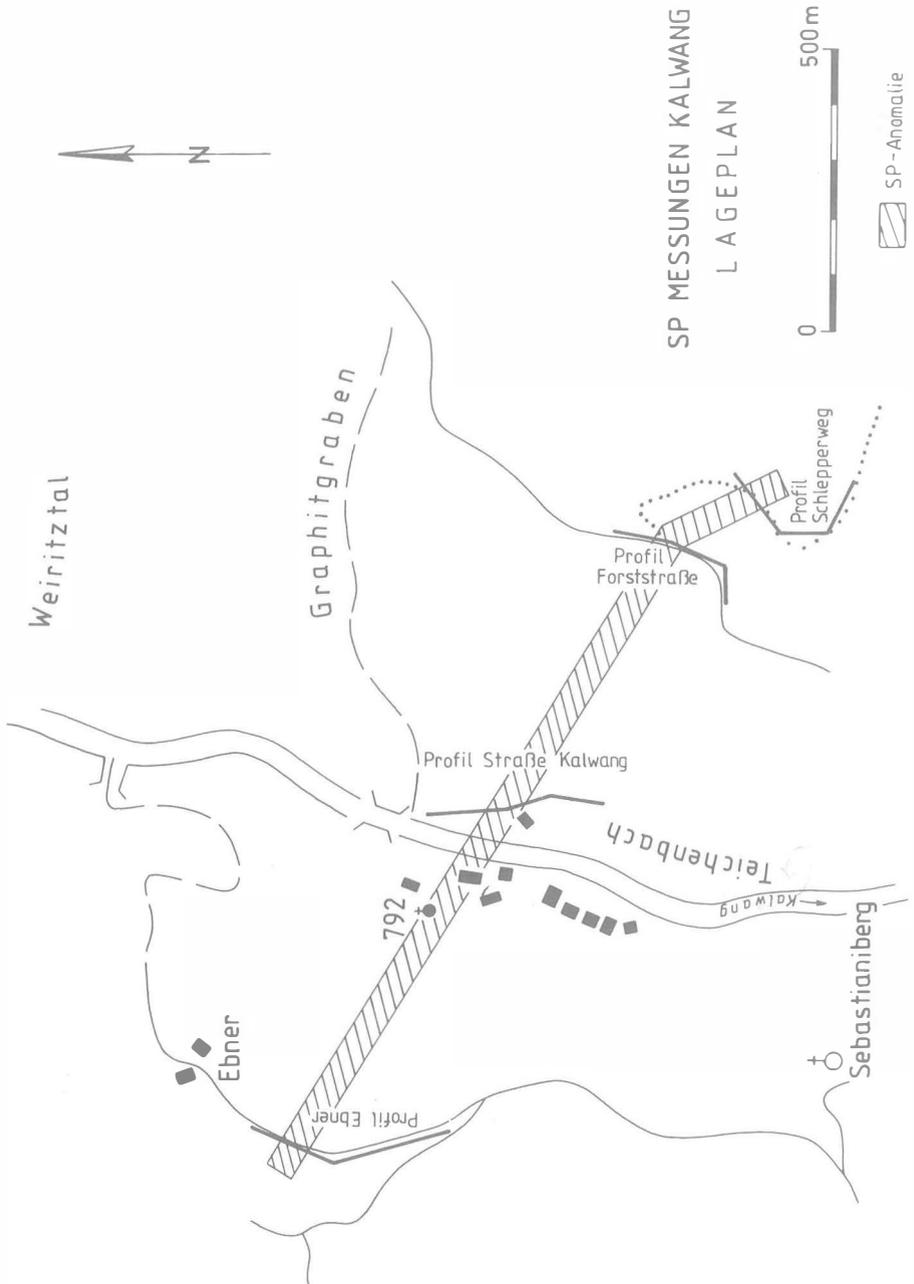


Abb.1: Übersichtslageplan der Meßgebiete

3.1. Eigenpotential

Natürliche elektrische Eigenpotentiale treten vorwiegend an sulfidischen Erzkörpern sowie in der Nähe graphitischer Gesteine auf. Ihr Zustandekommen ist eng mit komplizierten elektrochemischen Prozessen verknüpft, die sich zwischen Erz bzw. Gestein und der umgebenden Bergfluchte, den Boden- und Tiefenwässern einstellen. Formel wirken dabei Membran- und Kontaktpotentiale zusammen, die sich herausbilden, wenn verschiedene Metalle oder Metallsulfide in den gleichen Elektrolyten eintauchen oder wenn Elektroden des gleichen Materials in Lösungen unterschiedlicher Konzentration gebracht werden. Zusätzlich treten bei Bewegungen eines Elektrolyten im Gestein Strömungspotentiale auf, die erhebliche Beträge annehmen können.

Vielfalt und unterschiedliche Intensität dieser Erscheinungen führen dazu, daß zwischen Mineralisations- und Störpotential zu unterscheiden ist. Störpotentiale werden vor allem durch elektrokapillare und bioelektrische Wirkungen, durch Änderungen der Elektrolytkonzentration im Grundwasser oder andere geochemische Vorgänge hervorgerufen. Im besonderen Maß können elektrokapillare und bioelektrische Effekte auch ohne Vorhandensein mineralisierter Zonen vererzungsbedingte Eigenpotentiale vortäuschen, da sie sich nicht selten durch elektrische Indikationen in der Größenordnung von mehreren 100 mV bemerkbar machen.

Elektrokapillare Erscheinungen treten besonders in morphologisch stark gegliederten, meist trockenen Gesteinen auf. Wird in solchen Bereichen durch hydrologische Einwirkungen das Gestein stark angelöst, so begünstigen die übrigbleibenden Quarzskellette ein rasches Versickern von Niederschlagswasser. Andererseits können Bodenwässer durch Kapillarwirkung und Verdunstung rasch aufsteigen. Im allgemeinen ist das damit verbundene Potentialgefälle bei deszendenden Wasserbewegungen negativ und durch ein regionales Ansteigen proportional der Bodenerhebung zu erkennen. Aszendente Wasserbewegungen bewirken ein positives Potentialgefälle. Bioelektrische Potentiale sind immer am Auftreten negativer Anomalien zu erkennen. Sie heben sich besonders dann von einem normalen Störpegel ab, wenn die Messungen vom offenen Gelände in bewachsene oder bewaldete Bereiche führen. Dabei ist die Trennung elektrokapillarer von bioelektrischen Wirkungen in den meisten Fällen gar nicht möglich.

Die Ursachen der von den Eigenpotentialmessungen gefundenen Anomalien können also sehr vielfältig sein und müssen im einzelnen Fall immer gesondert geprüft werden. Dies schränkt jedoch ihre Bedeutung aus ökonomischer Sicht bei der Suche und Erkundung spezieller Vererzungen sowie der Kartierung tektonischer Situationen unter Beachtung der Leistungsgrenzen nicht ein. Im allgemeinen kann angenommen werden, daß sich vererzungsbedingte Anomalien im Bereich von über 100 mV bis 1 V ausprägen und Störpotentiale normalerweise bei 100 mV und darunter zu finden sind. Die SP-Messungen werden mittels SP-Töpfen entlang von Profilen durchgeführt, die durch eine Basislinie verbunden werden. Dadurch können die Profile miteinander korreliert werden und der Vergleich ihrer Amplituden ermöglicht eine flächenhafte Darstellung der natürlichen Spannungsverteilung.

3.2. Frequenz "mise a la masse" - Meßmethodik

Als "mise a la masse" - Meßmethodik, hier kurz als MM abgekürzt, bezeichnet man ein bestimmtes geophysikalisches Meßverfahren, bei dem ein Strompol auf die zu untersuchende und verfolgende leitfähige Struktur gesetzt wird und der Gegenpol weit entfernt davon (theoretisch im Unendlichen) aufgestellt wird. Über die beiden Strompole wird nun ein Strom in den Untergrund eingebracht. Im Bereich des Strompoles bei der leitfähigen Struktur werden Potentialmessungen profilartig vorgenommen, wodurch in ungestörten Gebieten (keine Metallrohre, Stromleitungen, leitfähige Zäune etc.) die zur Umgebung leitfähigere Struktur verfolgt und auskartiert werden kann. Die Verfolgung graphitführender Zonen bietet sich mit dieser Meßmethodik geradezu als ideales Untersuchungsobjekt an, da Graphit ein guter Leiter ist und in höherohmiger Umgebung eingebettet ist. Grundvoraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist jedoch ein bereits gefundener Ausbiß, an dem die Stromelektrode angekoppelt werden kann. Üblicherweise wird ein Gleichstrom induziert und die Potentialverteilung mittels spezieller potentialfreier Elektroden (poröse Membrantöpfe mit Kupfer in einer Kupfersulfatlösung) gemessen. Von dieser Messung muß bei schwach ausgeprägten Meßresultaten, was zumeist der Fall ist, die natürliche Eigenpotentialverteilung ohne induziertem Strom subtrahiert werden. Dies bedingt einen doppelten Meßaufwand mit un-

handlichen und auf steinigem Untergrund schlecht verwendbaren Eigenpotentialtöpfen.

Wird ein Strom mit konstanter Frequenz, die bei größerer Eindringtiefe zur Vermeidung von Skin-Effekten gering sein muß, an der zu untersuchenden Struktur eingespeist und weist das Meßsystem entsprechende Filter für diese Frequenz auf, kann die MM-Messung in einem Meßdurchgang bei Verwendung von normalen Metallspießen anstatt der Eigenpotentialtöpfe durchgeführt werden. Eine Referenzmessung wäre somit überflüssig. Dies würde eine Meßgeschwindigkeitssteigerung um etwa einen Faktor 3 und eine Auflösungssteigerung um einen Faktor 10 bringen. Die exakten Werte hängen von der Güte der verwendeten Elektronik und den Frequenzen ab. Die Meßmethodik wird "Frequenz mise a la masse" genannt und mit FMAM abgekürzt.

Bei der FMAM-Messung werden einzelne Profile ähnlich einer SP-Messung, jedoch mit Metallspießen, aufgenommen. Die Ankoppelung einer Stromelektrode erfolgt wenn möglich direkt im Anstehenden, wobei die zweite möglichst weit weg davon plaziert werden sollte. Es wird soviel Strom als möglich in das Untersuchungsobjekt induziert, um einen möglichst guten Nachweis des zu verfolgenden Objektes zu erhalten und das Verhältnis von Stör- zu Nutzsignal möglichst klein zu halten.

Es wird ein Spannungsgradient in Millivolt bzw. Mikrovolt pro Meter (mV/m , $\mu\text{V/m}$) aus den Meßdaten berechnet und über den Profilen aufgetragen. Die leitfähige Struktur läßt sich damit vom Ausbiß weg verfolgen.

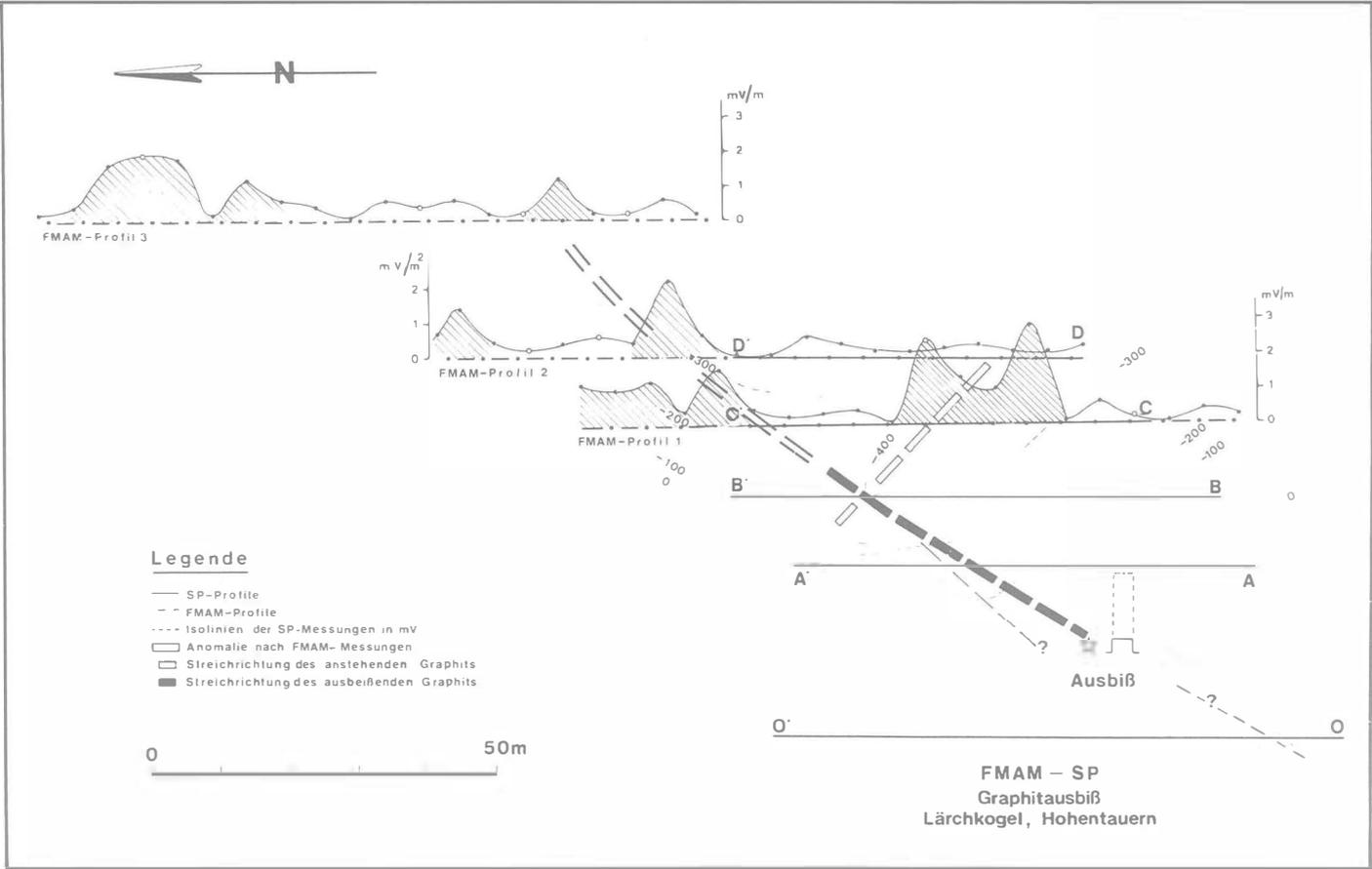
4. Ergebnisse

4.1. Lärchkogel/Hohentauern

Die SP-Feldmessungen wurden im November 1987 durchgeführt, wobei insgesamt 5 hangparallele Profile etwa senkrecht zum vermuteten Streichen des Graphitlagers aufgenommen wurden. Die 412 Meßpunkte auf den 5 Profilen wurden über eine Basislinie miteinander verbunden, sodaß sie gemeinsam flächenhaft dargestellt werden können (Abb.2).

Die sich aus der Korrelation der einzelnen SP-Profile ergebenden Isolinien weisen auf eine SE-Streichrichtung des Graphitlagers hin. Gefunden wurde jedoch eine Streichrich-

Abb.2: Interpretation der geophysikalischen Messungen am Lärchkogel



tung senkrecht dazu, weshalb angenommen werden kann, daß die Lagerstätte langsam auskeilt oder die Überlagerung zunimmt. Dies sollte mit der folgenden FMAM-Messung verifiziert werden. In der Abbildung 3 ist ein Profil, welches nach beiden Meßmethoden registriert wurde, zum Vergleich gemeinsam dargestellt. Da offensichtliche unterschiedliche Ergebnisse vorliegen, erfolgt eine kurze Diskussion der FMAM-Messungen. Die FMAM-Feldmessungen wurden in 2 Etappen durchgeführt. In der 1. Meßperiode im November 1987 wurde ein Prototyp zum Einsatz gebracht, wobei das Meßprinzip getestet werden sollte. Dieser Prototyp wurde anschließend weiterentwickelt, wobei in Bezug auf die Stromaufnahme und die Filterqualitäten entscheidende Verbesserungen erzielt werden konnten. Mit diesem Gerät wurde ein weiterer Meßdurchgang im August 1988 gestartet, um die Graphitlagerstätte weiter verfolgen und die Effizienz des Gerätes testen zu können.

Als Ergebnis der FMAM-Messung konnten mehrere parallele Strukturen in Richtung ENE - NE festgestellt werden (Abb.2). Die Anomalien nehmen mit zunehmender Entfernung vom Ausbiß drastisch ab, weshalb auch hier der Schluß naheliegt, daß die Lagerstätte entweder auskeilt oder deren Überlagerung zunimmt. Dies könnte unter Umständen durch eine weitere Messung mit dem verbesserten FMAM-Gerät in einer trockenen Periode festgestellt werden, doch wird auch dieses Gerät vermutlich nur um einen Faktor 2 - 5 den Graphit weiter verfolgen können. Dann wird sich wiederum dieselbe Frage stellen, ob die Lagerstätte auskeilt oder die Überlagerung zunimmt. Auf Grund der Topographie ist aber anzunehmen, daß die rasche Zunahme der Überlagerung die Anomalie kleiner werden läßt.

Eine mögliche Hilfestellung könnte die geoelektrische Tiefensondierung bieten, wenn der Widerstandskontrast von Lagerstätte zum Umliegenden mehr als 30% beträgt und das Verhältnis von Lagerstättenmächtigkeit zur Überlagerung einen Wert von etwa 0.15 nicht unterschreitet. Eine Bohrung würde natürlich die besten Aufschlüsse geben.

4.2. Teichenbachgraben/Kalwang

Nach einer Geländebegehung wurden SP-Messungen im Teichenbachgraben entlang von 4 Profilen durchgeführt (Abb.1). Der Lageplan der Profile inklusive den schematisiert eingetragenen Ergebnissen ist in Abbildung 4 ersicht-

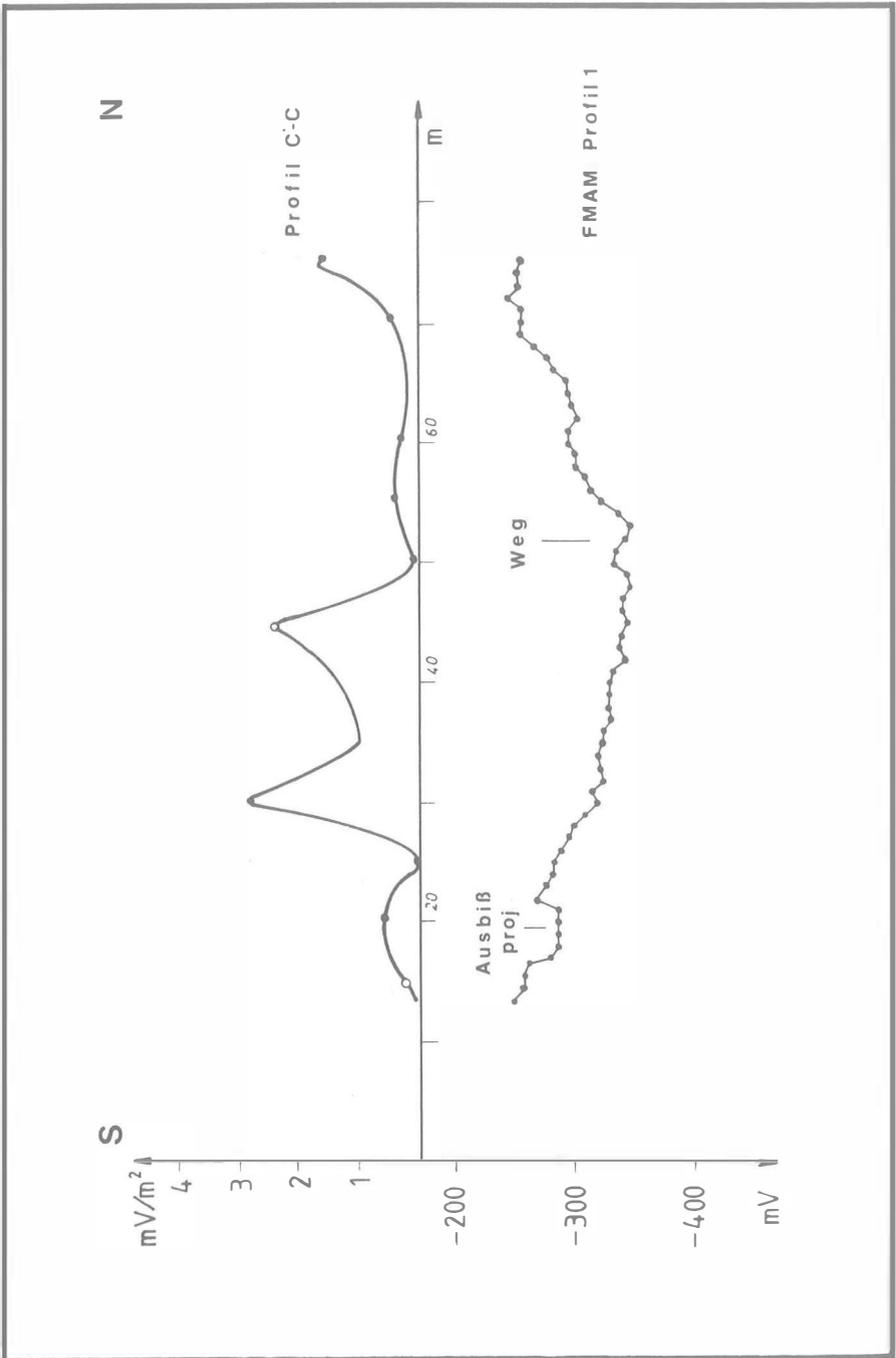
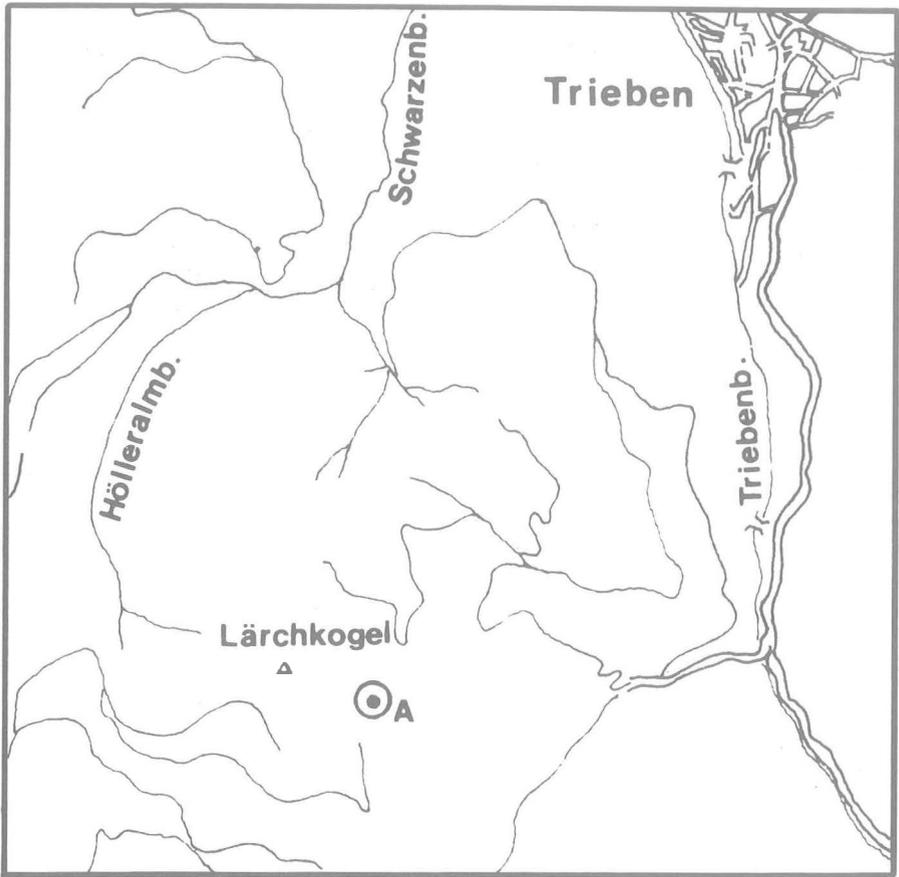


Abb.3: Gegenüberstellung des Eigenpotential- und "Frequenz mise a la masse"-Profiles C-C' und FMAM-1



Detaillageplan 1

A .. Meßgebiet Lärchkogel

500m

lich. Das detaillierte Meßergebnis von Profil Ebner ist in Abbildung 5 dargestellt. Es kann hier ein SP-Minimum, das schattiert eingetragen wurde, von Profil zu Profil verfolgt werden, welches eine Streichrichtung in WNW-Richtung aufweist. Diese Streichrichtung deckt sich mit dem Abbaugelände der alten Graphitlager im Bereich der Kapelle und eines Schurfstollens ca. 500 m SE davon entfernt. Dies bedeutet, daß hier eine stellenweise mehr oder weniger ausgeprägte Graphitlagerstätte über eine weite Strecke hinweg verfolgt werden kann. Die Qualität der Lagerstätte kann aus diesen Messungen jedoch nicht abgeschätzt werden. Die Breite der SP-Anomalie beträgt jeweils 30 - 50 m mit Am-



Detaillageplan 2

—
500m

- B .. Profil Ebner**
- C .. Profil Straße Kalwang**
- D .. Profil Forststraße**
- E .. Profil Schlepperweg**

Abb.4: Detaillageplan der Meßprofile im Teichengraben in Kalwang mit schematischer Eintragung des Anomalieverlaufes

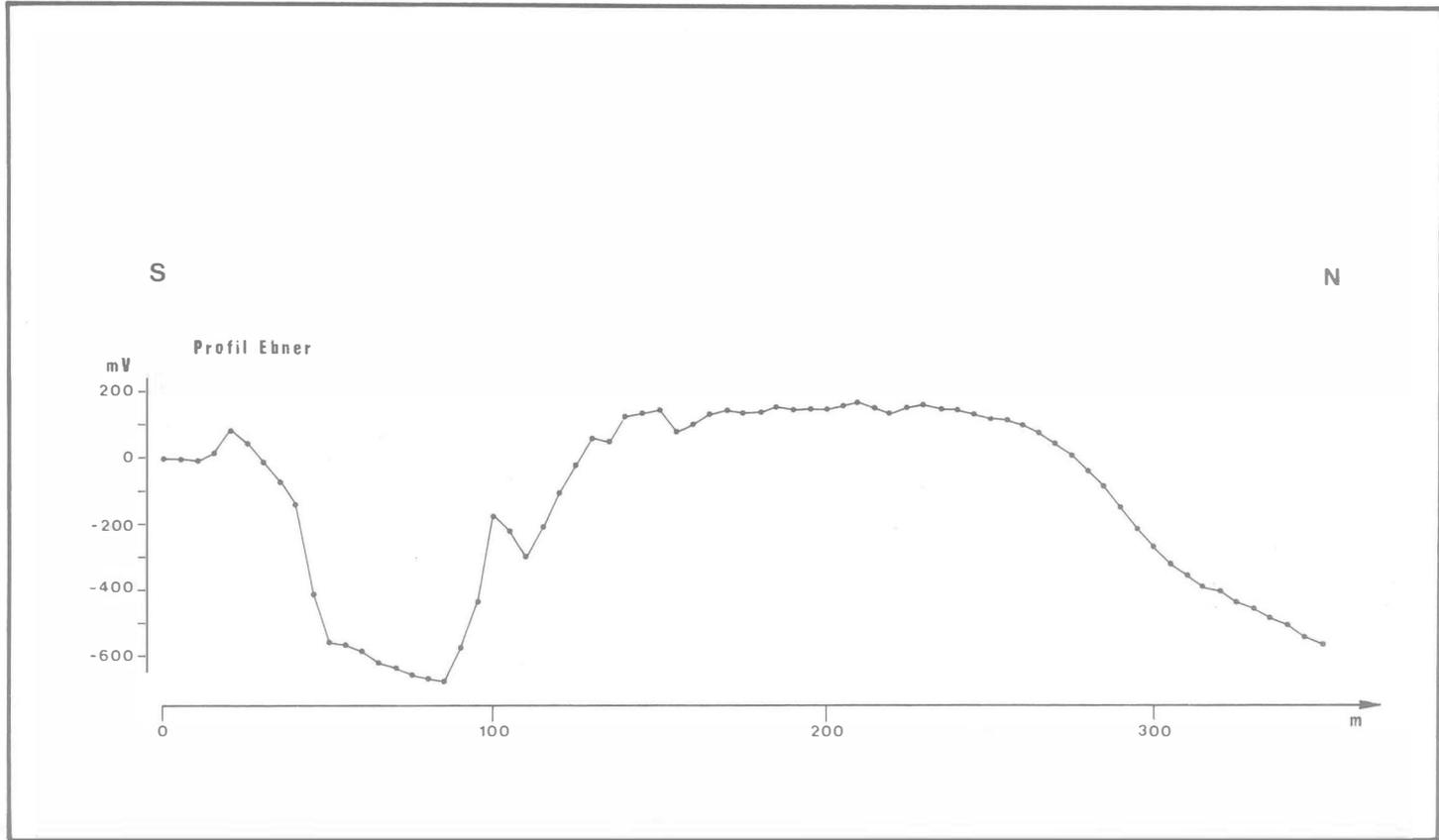


Abb.5: Darstellung des Eigenpotentialprofils Ebner im Teichengraben bei Kalwang

plituden von 0.2 - 0.6 V, was als nicht sehr hoch anzusehen ist, wenn mit hochgradigen Lagerstätten die etwa doppelte bis dreifache Amplituden aufweisen, verglichen wird (Kraubath, Sunk). Es ist daher nicht auszuschließen, daß hier der Graphitgehalt unter den Qualitätsanforderungen liegt. Eine Verdichtung der Profile wäre für ein detailliertes Auskartieren unbedingt notwendig. Wegen der rauen Topographie sollten diese Arbeiten aber nur dann in Angriff genommen werden, wenn durch Voruntersuchungen erwiesen ist, daß die Graphitgehalte den hohen Qualitätsansprüchen gerecht werden, da die Kosten für weiterführende Messungen in diesem Gelände im Vergleich zu konventionellen Untersuchungen wesentlich höher sind.

5. Literatur

- KÜRZL, H.: Der Serpentin vom Lärchkogel bei Trieben/Steiermark - Eine geowissenschaftliche Analyse.- Unveröff. Dissertation am Institut für Mineralogie, Montanuniversität Leoben, 262 S., Leoben 1982.
- METZ, K.: Geologie der Grauwackenzone von Mautern bis Trieben.- Mitt. Reichsst. Bodenforsch. Zweigst. Wien, 1, 161-220, 1940.
- NIEDERL, R.: Geologische Studien in der Grauwackenzone zwischen Mautern und Kalwang (Steiermark).- Bericht an die Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung in Leoben, 1983.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich.- 1, Deuticke, Wien 1977.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr.mont. Heinrich AIGNER und Dipl.-Ing. Dr.mont. Christian SCHMID, Institut für angewandte Geophysik der Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., Roseggerstraße 17, A-8700 Leoben.

Dr.phil. Reinhard GRATZER, Institut für Geowissenschaften der Montanuniversität Leoben, Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben.

Bisher sind folgende Mitteilungshefte erschienen:

Mitteilungen der Abteilung für Bergbau, Geologie und Paläontologie des Landesmuseums Joanneum:

- Heft 1: **F.Heritsch**: Neue Versteinerungen aus dem Devon von Graz. Graz 1937.
- Heft 2: **E.Haberfelner**: Die Geologie des Eisenerzer Reichenstein und des Polster. Graz 1935 (vergriffen).
- Heft 3: **K.Murban**: Die vulkanischen Durchbrüche in der Umgebung von Felzbach. Graz 1939.
- Heft 4: **W.v.Teppner**: Tiere der Vorzeit. Graz 1940.

Mitteilungen des Museums für Bergbau, Geologie und Technik am Landesmuseum Joanneum:

- Heft 5: **M.Loehr**: Die Radmeister am steirischen Erzberg bis 1625. - **E.Ehrlich**: Aus den Werfener Schichten des Dachsteingebietes bei Schladming. Graz 1941.
- Heft 6: **W.v.Teppner**: Das Modell eines steirischen Floßofens im Landesmuseum Joanneum, Abteilung für Bergbau und Geologie. Graz 1941.
- Heft 7: **K.Murban**: Riesen-Zweischaler aus dem Dachsteinkalk. Graz 1952.
- Heft 8: **M.Mottl**: Steirische Höhlenforschung und Menschheitsgeschichte. Graz 1953 (vergriffen).
- Heft 9: **M.Mottl** und **K.Murban**: Die Bärenhöhle (Hermann-Bock-Höhle) im kleinen Brieglersberg. Totes Gebirge. Graz 1953 (vergriffen).
- Heft 10: **W.Fritsch**: Die Gumpeneckmarmore. - **W.Fritsch**: Die Grenze zwischen den Ennstaler Phylliten und den Wölzer Glimmerschiefern. Graz 1953.
- Heft 11: **M.Mottl** und **K.Murban**: Eiszeitforschungen des Joanneums in Höhlen der Steiermark. Graz 1953 (vergriffen).
- Heft 12: **A.Schouppé**: Revision der Tabulaten aus dem Paläozoikum von Graz. Die Favositiden. Graz 1954.
- Heft 13: **M.Mottl**: Hipparion-Funde der Steiermark. Dorcatherium im Unterpliozän der Steiermark. Graz 1954.
- Heft 14: **O.Homann**: Der geologische Bau des Gebietes Bruck.a.d.Mur - Stanz. Graz 1955.
- Heft 15: **M.Mottl**: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark I-III - **M.Mottl**: Neue Grabungen in der Repolusthöhle bei Peggau in der Steiermark. (Mit einem Vorwort von **K.Murban**.) Graz 1956 (vergriffen).
- Heft 16: **W.Stippenberger**: Schrifttum über Bergbau, Geologie mit Karstforschung und Heilquellen, Hydrogeologie, Mineralogie, Paläontologie, Petrographie und Speläologie des politischen Bezirkes Liezen, Steiermark, von 1800 bis 1956. Graz 1956.
- Heft 17: **H.Flügel**: Revision der ostalpinen Heliolitina. Graz 1956.
- Heft 18: **G.Kopetzky**: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in Südweststeiermark. Graz 1957.
- Heft 19: **M.Mottl**: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark IV-V - **A.Papp**: Bemerkungen zur Fossilführung von Jagerberg bei St.Stefan in der Oststeiermark. Graz 1958.
- Heft 20: **A.Thurner**: Die Geologie des Pleschaitz bei Murau. Graz 1959.
- Heft 21: **A.Thurner**: Die Geologie der Berge nördlich des Wölzertales zwischen Eselsberg und Schönberggraben. Graz 1960.
- Heft 22: **M.Mottl**: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark VI. Graz 1961.
- Heft 23: **H.Flügel**: Die Geologie des Grazer Berglandes. Graz 1961 (vergriffen).
- Heft 24: **E.Flügel** und **E.Flügel-Kahler**: Mikrofaziale und geochemische Gliederung eines obertriadischen Riffes der nördlichen Kalkalpen (Sauwand bei Gußwerk, Steiermark, Österreich). Graz 1962.
- Heft 25: **E.Worsch**: Geologie und Hydrologie des Aichfeldes. Graz 1963.
- Heft 26: **M.Mottl**: Bärenphylogese in Südostösterreich. Graz 1964.

Bisher sind folgende Mitteilungshefte erschienen:

- Heft 27: **A.Fenninger** und **H.Hötzl**: Die Hydrozoa und Tabulozoa der Tressenstein- und Plassenkalke (Ober-Jura). Graz 1965.
- Heft 28: **M.Mottl**: Neue Säugetierfunde aus dem Jungtertiär der Steiermark VII-IX. Graz 1966.
- Heft 29: **W.Stipperger**: Almanach des steirischen Berg- und Hüttenwesens. Graz 1968.
- Heft 30: **A.Alker** - **H.Haas** - **O.Homann**: Hangbewegungen in der Steiermark. Graz 1969.
- Heft 31: **M.Mottl**: Die jungtertiären Säugetierfaunen der Steiermark, Südostösterreichs. Graz 1970.

Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum:

- Heft 32: **E.Worsch**: Geologie und Hydrologie des Murbodens. Graz 1972.
- Heft 33: **K.Metz**: Beiträge zur tektonischen Baugeschichte und Position des Fohndorf-Knittelfelder Tertiärbeckens. - **F.Ebner**: Die Conodontenfauna des Devon/Karbon-Grenzbereiches am Elferspitz (Karnische Alpen, Österreich). Graz 1973 (vergriffen).
- Heft 34: **F.Ebner**: Foraminiferen aus dem Paläozoikum der Karnischen Alpen. Graz 1973 (vergriffen).
- Heft 35: Festschrift **K.Metz**. Graz 1975 (vergriffen).
- Heft 36: **F.Weber**: Beiträge zur Anwendung geophysikalischer Methoden bei Problemen der Angewandten Geologie. Graz 1976.
- Heft 37: **F.Ebner**: Das Silur/Devon-Vorkommen von Eggenfeld - ein Beitrag zur Biostratigraphie des Gräzer Paläozoikums. - **G.Plodowski**: Die Brachiopoden des Silur/Devon-Grenzprofils von Eggenfeld (Grazer Paläozoikum). Graz 1976.
- Heft 38: Themenheft "Steirische Rohstoffreserven". Graz 1977.
- Heft 39: Festschrift **L.Bernhart**. Graz 1978.
- Heft 40: Rohstoffforschung und Rohstoffversorgungssicherung. Graz 1980.
- Heft 41: 3. Jahrestagung der ÖGG. Graz 1980.
- Heft 42: Themenheft "Steirische Rohstoffreserven", Band 2. Graz 1981.
- Heft 43: **H.Zetinigg**: Die artesischen Brunnen im steirischen Becken. Graz 1982.
- Heft 44: **F.Ebner**: Erläuterungen zur geologischen Basiskarte 1:50.000 der Naturraumpotentialkarte "Mittleres Murtal". Graz 1983.
- Heft 45: **H.W.Flügel** und **F.R.Neubauer**: Geologische Karte der Steiermark 1:200.000. Graz 1984.
- Heft 46: **F.Ebner** und **W.Gräf**: 500 Millionen Jahre Steiermark. - Führer durch die Schausammlung der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum. Graz 1986.
- Heft 47: Beiträge zur Paläobotanik. Graz 1988.

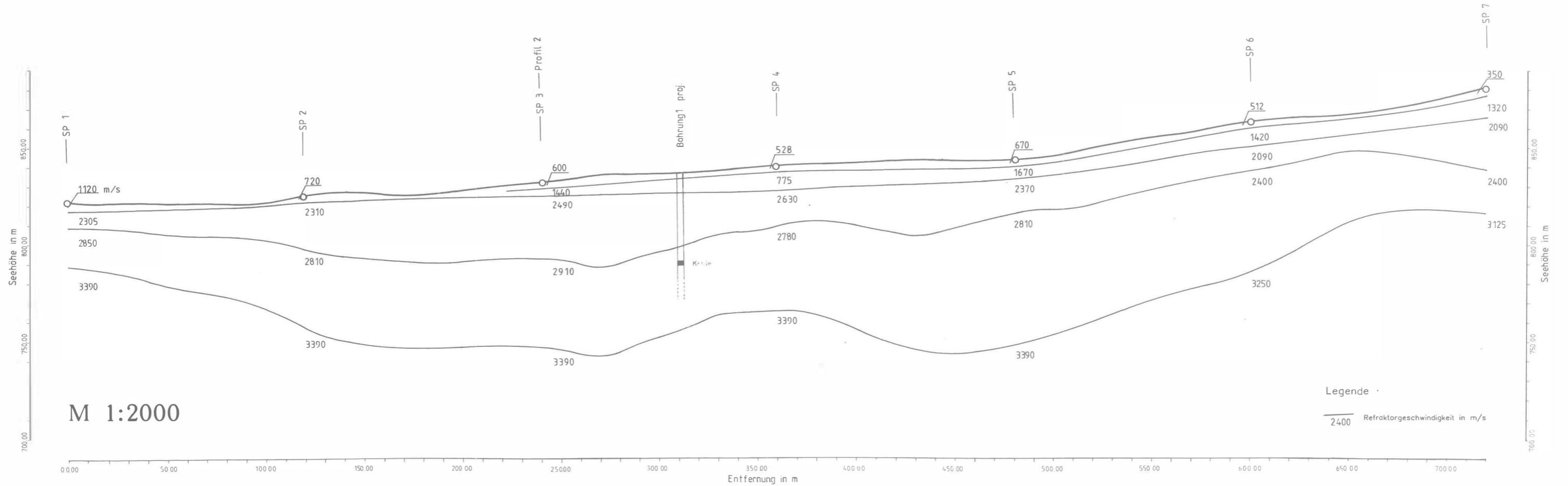
Profil 1

WNW

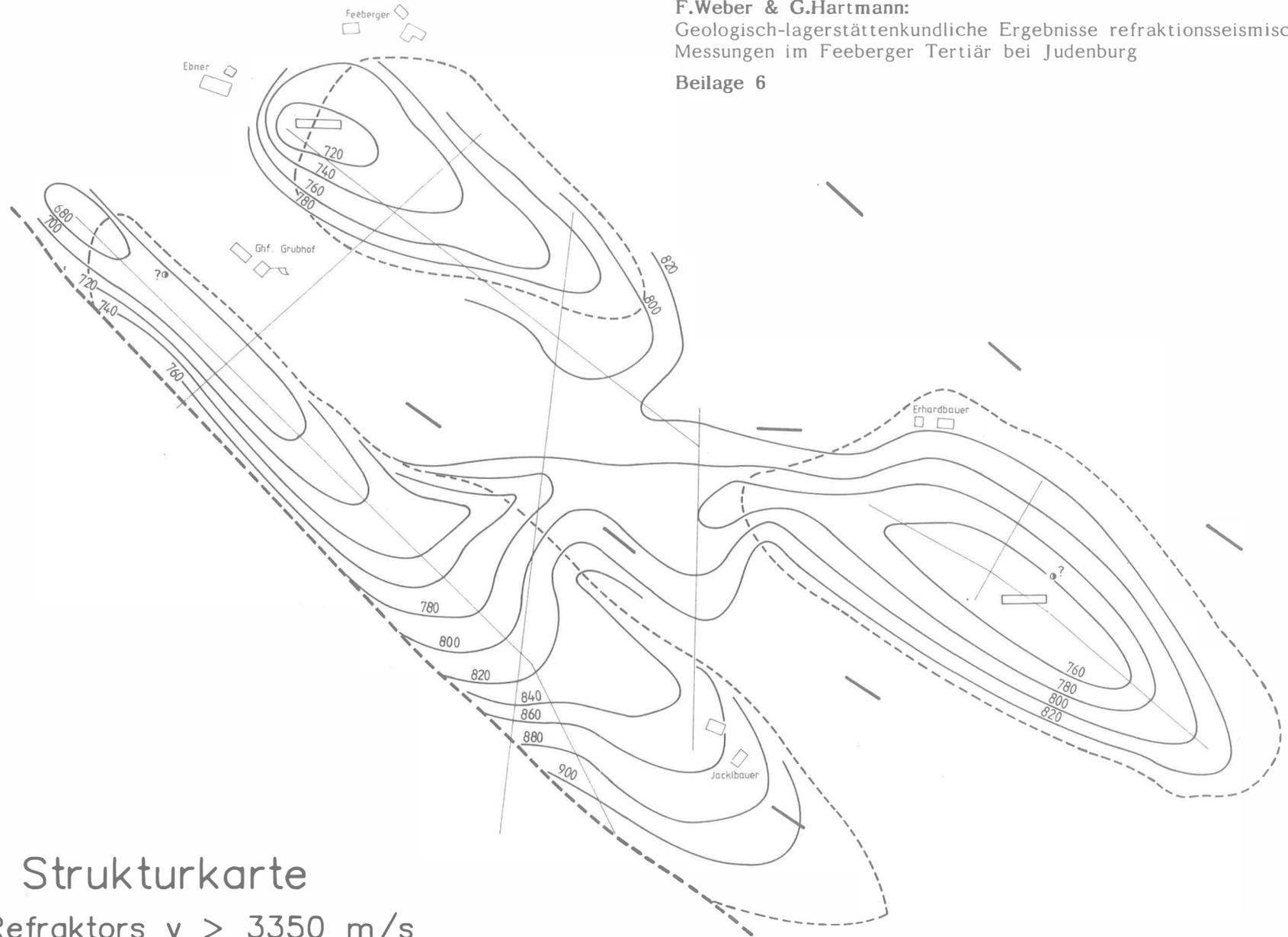
F. Weber & G. Hartmann:
Geologisch-lagerstättenkundliche Ergebnisse refraktionsseismischer
Messungen im Feeberger Tertiär bei Judenburg

Beilage 1

ESE



M 1:2000



Strukturkarte des Refraktors $v > 3350$ m/s (unverw. Kristallin)

0 100 200 m

M 1:10000

Legende:

- Bohrung
- - - Tertiär
- Störungslinie
- ▭ Strukturief

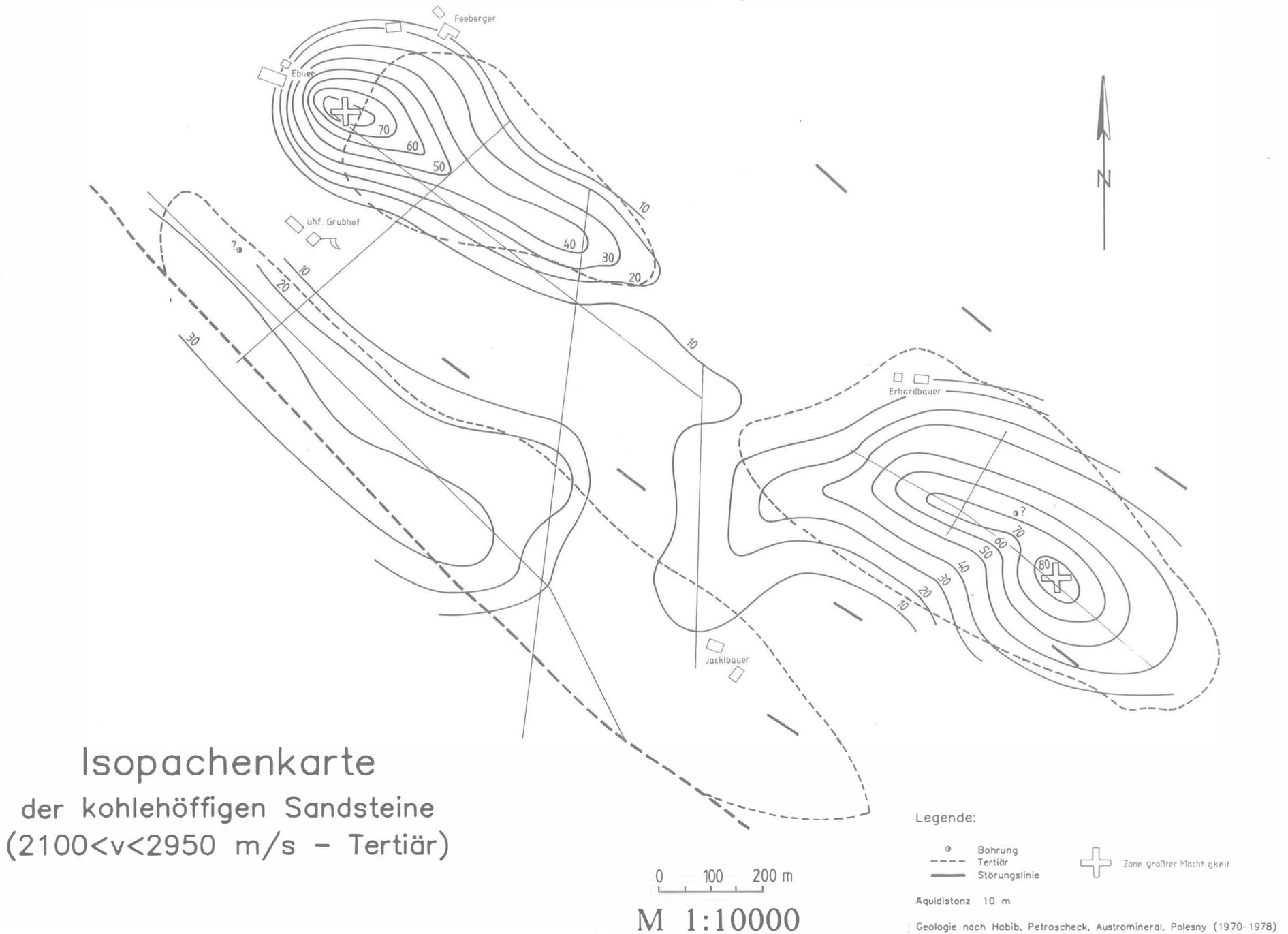
Aquidistanz 10 m

Geologie nach Habib, Petroscheck, Austromineral, Polesny (1970-1978)

F. Weber & G. Hartmann:

Geologisch-lagerstättenkundliche Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen im Feeberger Tertiär bei Judenburg

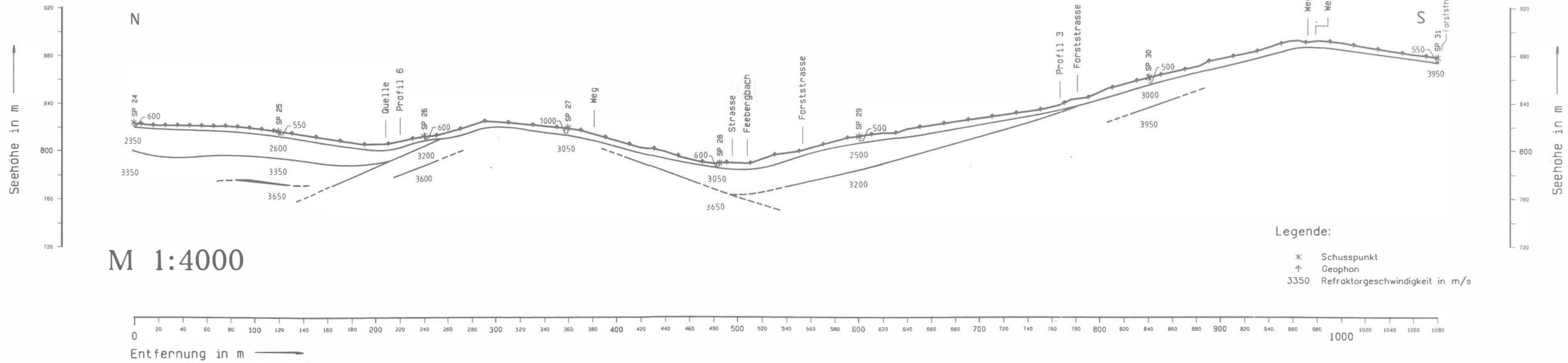
Beilage 7



Profil 5

N

S

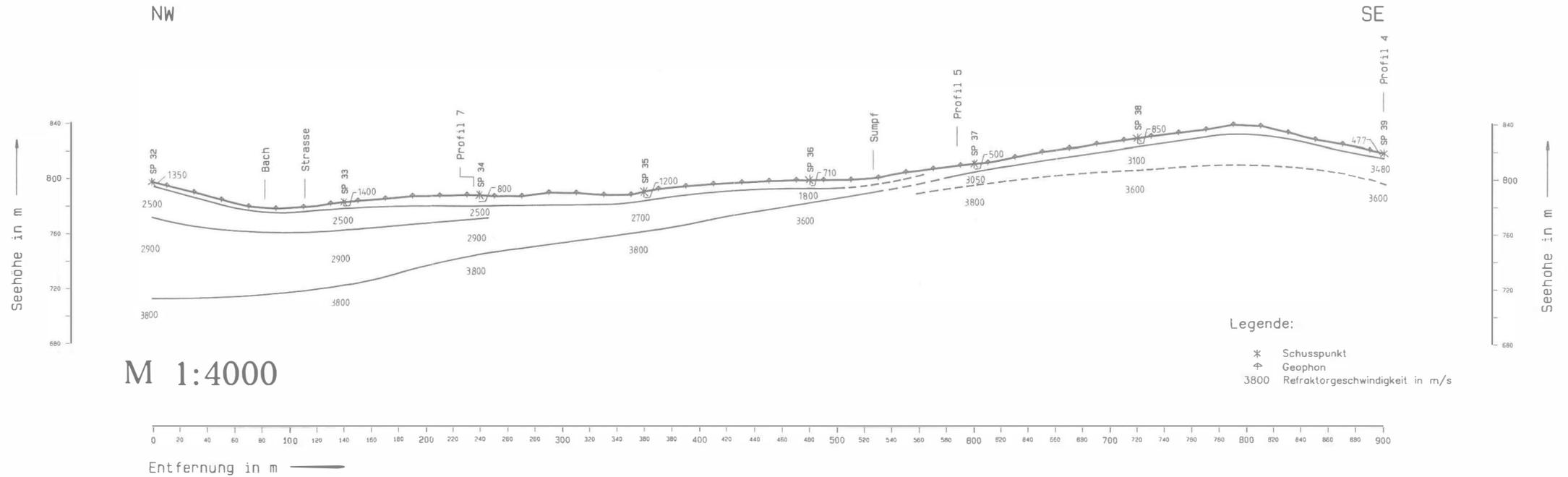


M 1:4000

Legende:

- * Schusspunkt
- † Geophon
- 3350 Refraktorgeschwindigkeit in m/s

Profil 6



F. Weber & G. Hartmann:

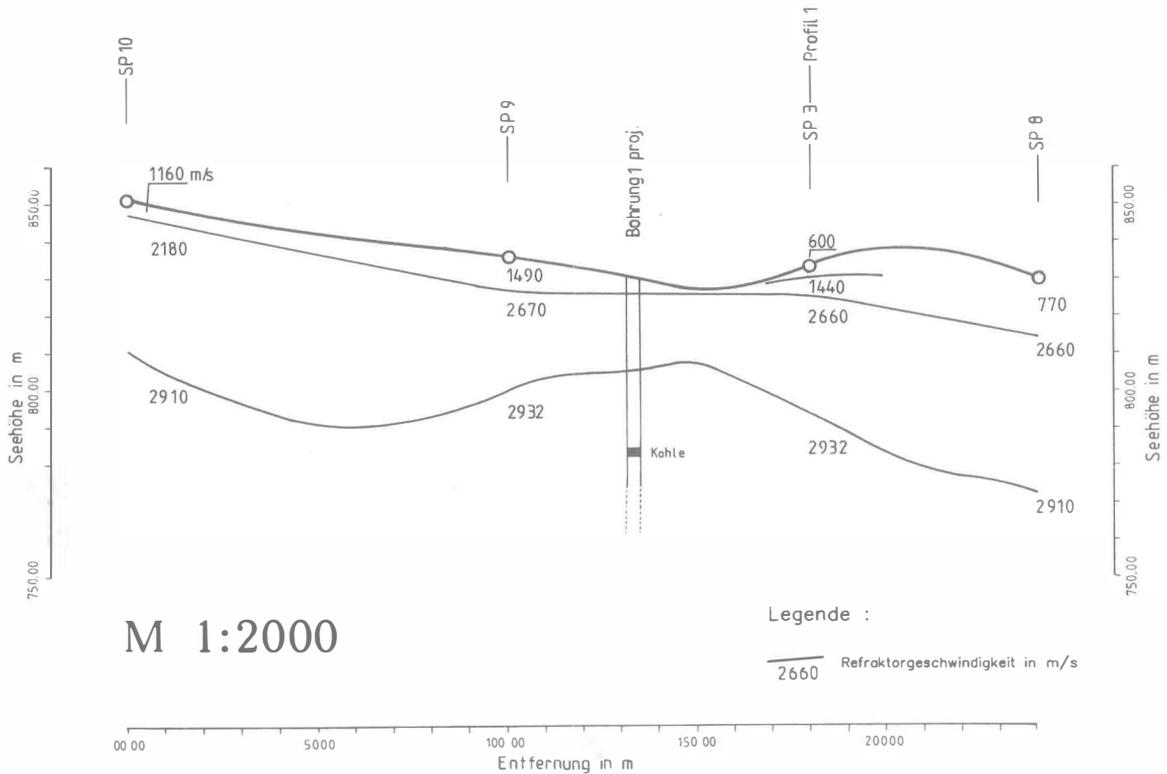
Geologisch-lagerstättenkundliche Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen im Feeberger Tertiär bei Judenburg

Beilage 2

Profil 2

NNE

SSW

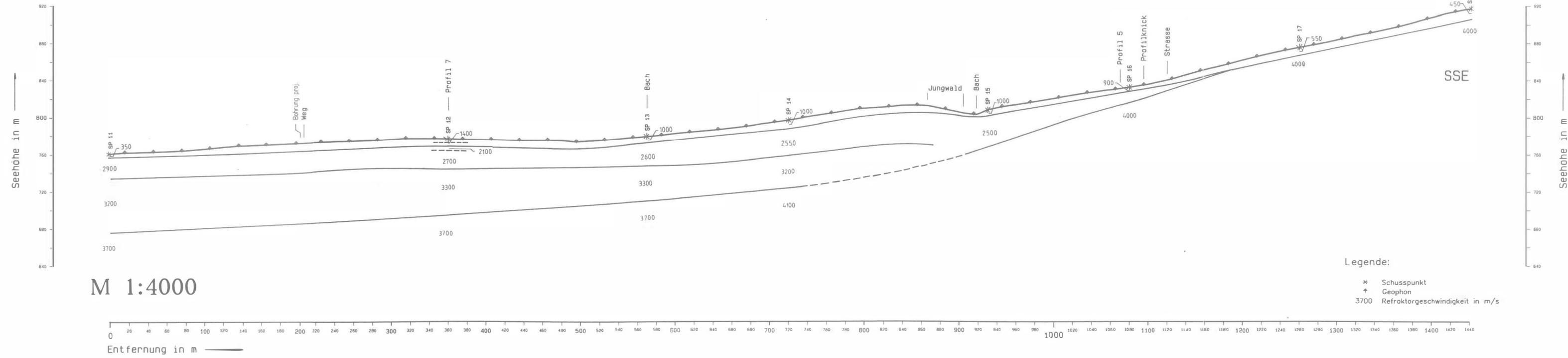


Profil 3

Beilage 3

NW

SE NNW



M 1:4000

Legende:
* Schusspunkt
+ Geophon
3700 Refraktorgeschwindigkeit in m/s