

Ein Beitrag zum Bau der Mittelsteirischen Schwelle aufgrund geophysikalischer Messungen – Raum Pirka-Tobelbad

Franz WEBER, Christian SCHMID und Rupert SCHMÖLLER

5 Abbildungen, 1 Tabelle

Zusammenfassung: Im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung wurde im Jahre 1978 im Raum Pirka-Tobelbad ein refraktionsseismisches Messprogramm, ergänzt durch geoelektrische Messungen, durchgeführt. In der Refraktionsseismik treten bis zu sechs Refraktoren auf, wobei der tiefste Horizont – gekennzeichnet durch die höchsten Geschwindigkeiten – dem Paläozoikum entspricht. Es wird angenommen, dass die Grenze Baden/Karpat refraktionsseismisch erfasst wurde. Das Karpat ist häufig durch Geschwindigkeiten von 2.770–2.950 m/s charakterisiert. Schwierigkeiten in der Auswertung ergeben sich dort, wo der Fall der „überschossenen Schicht“ auftritt. Der tiefste Refraktor weist jeweils die höchsten Geschwindigkeiten (bis 6.320 m/s) auf.

Die Tertiärbasis zeigt ein bedeutendes Detailrelief, an dessen Ausformung Brüche – meist unter N-S-Streichen – beteiligt sind. Der Paläozikumsrücken von Tobelbad bildet auch unter der Tertiärbedeckung ein wichtiges Strukturelement. Zwischen dem Aufbruch von Tobelbad und dem westlich anschließenden Abschnitt des Weststeirischen Beckens wird ein größerer normalabschiebender Bruch mit N-S-Streichen wahrscheinlich gemacht. Es waren Hinweise dafür gegeben, dass die Kohlebohrung Pirka 1 den Beckenuntergrund nicht erreicht hat, der laut Refraktionsseismik ca. 240 m tiefer liegen würde. Daraus ergibt sich, dass das Karpat aus dem Oststeirischen Becken weiter nach N und W als bisher angenommen reichen würde.

In der geoelektrischen Tiefensondierung lassen sich bis zu sechs Horizonte unterscheiden. Im oberen Teil des Tertiärs finden sich ausschließlich niedrige Widerstände (wenige Zehner Ωm), während im basalen Teil Widerstände bis zu mehreren 100 Ωm auftreten und die höchsten Widerstände innerhalb des Paläozoikums liegen. Zwischen den refraktionsseismischen und geoelektrischen Leithorizonten bestehen teilweise beträchtliche Teufenunterschiede.

Abstract: A refraction seismic program was carried out in the year 1978 by order of the Styrian government in the area of Pirka-Tobelbad. This was supplemented by geoelectrical depth soundings (Schlumberger configuration). In the refraction seismic occur up to six refractors, where the deepest refractor, characterised by the highest velocities, always corresponds to the Paleozoic. It is further assumed that also the boundary Baden/Karpat appeared as a marker horizon. The Karpat is characterized mostly by velocities of 2.750–2.950 m/s. But in some areas appear in this stratigraphic range beds of very high velocities (4.100 m/s) which correspond may be conglomerates. In this case arise a „hidden layer“ problem with difficulties in the depth computation.

The base of Tertiary (top Paleozoic) shows a considerable relief in detail, which is also caused by faults, mostly striking in the N-S direction. The paleozoic rise of Tobelbad is an important structural feature dipping under the Tertiary in all directions. There is probably a great normal fault – striking N-S – between this rise and the neighbouring part of the West-Styrian basin. There are important indications that the well Pirka 1 did not reach the top of Paleozoic, which has by refractions seismic a 240 m greater depth. There results that the Karpat extends further to N and W as assumed up to now.

The geoelectric depth sounding shows up to six horizons. In the upper part of Tertiary the resistivities are always low which means that there are silts and clays. In the deeper parts of the Tertiary are higher resistivities (up to some hundreds Ωm). This is lithologically interpreted as coarse compacted sediments (sandstones, conglomerates). The deepest horizon (Paleozoic) shows the highest resistivities up to 5.500 Ωm . There are sometimes considerable differences in the depths of the refraction seismic and geoelectric marker horizons.

1. Einleitung und Problemstellung

Der Anlass für die geophysikalischen Messungen (Refraktionsseismik, Geoelektrik) bildete ein Forschungsauftrag der Steiermärkischen Landesregierung aus dem Jahre 1978, bei dem vor allem hydrogeologische Fragen im Zusammenhang mit dem geplanten Plabutschunnel geklärt werden sollten. Im einzelnen waren gefragt:

- Tertiärmächtigkeit und Lagerungsverhältnisse der tertiären Schichtfolge;
- Relief des prätertiären Untergrundes;
- Nachweis von Brüchen und Störungszonen, die Wasserwegsamkeiten bilden könnten;
- Beiträge zur lithologischen Gliederung des Beckenuntergrundes, insbesondere Unterscheidung von Karbonaten und undurchlässigen Tongesteinen (Grünschiefern).

Zur Lösung dieser komplexen Probleme erschien eine Methodenkombination von Refraktionsseismik und geoelektrischer Tiefensondierung die aussichtsreichste Variante zu sein.

In der Zwischenzeit erfolgten weitere reflexionsseismische Messungen im Nordabschnitt des Weststeirischen Beckens (WEBER et al. 1993), im Raum Puntigam und geologische Untersuchungen an der Mittelsteirischen Schwelle (FRIEBE 1991), in die sich die vorliegende Arbeit einfügen lässt. Darüber hinaus wurden wichtige zusammenfassende Bearbeitungen des Steirischen Tertiärbeckens herausgebracht (KRÖLL et al. 1988, EBNER & SACHSENHOFER 1991), die es ermöglichen, die Detailproblematik in einem größeren Rahmen zu betrachten.

2. Refraktionsseismik

2.1. Messprogramm und Durchführung der Messungen

Da aufgrund der Ergebnisse der Bohrung Pirka mit einer Tertiärmächtigkeit von 250 m und darüber gerechnet werden konnte, mussten Aufstellungslängen von über 1 km eingeplant werden, um den paläozoischen Untergrund mit Sicherheit zu erreichen. Das bedingte wiederum größere Sprengladungen zur Energieerzeugung, für die wegen des günstigeren Energiedurchganges und auch aus Sicherheitsgründen jeweils ca. 10 m tiefe Schussbohrungen erforderlich waren.

Der Abstand zwischen den Schusspunkten betrug in der Regel 360 m, gemessen wurde mit Gegenschießen bis zur 4fachen Aufstellungslänge, also bis 1.440 m. Lediglich auf der Linie 1 mussten im Abschnitt SP 1–3 abweichende Schusspunktabstände wegen des Verquerens der Straße und der Besiedlung gewählt werden. Der Geophonabstand betrug konstant 30 m, das schusspunktnächste Geophon war zur besseren Erfassung der Verwitterungsschicht in 15 m Entfernung angeordnet.

Die Linie 1 ist 3.650 m lang und verläuft von SP 1–6 in Richtung N 35° E, um sodann geländebedingt mit mehrmaligem leichten Knicken in N 20° E umzuschwenken. Im N beginnt das Profil wenig südlich des Steinbruches W von Seiersberg und endet auch im S beim Morréschlössl nahe einem aufgelassenen kleinen Steinbruch. Dadurch kann das Abtauchen des Paläozoikums studiert werden und auch bezüglich der geschwindigkeitsmäßigen Parallelisierung der tiefen seismischen Refraktoren ist ein wichtiger Anhaltspunkt gegeben. Auf dieser Linie liegen die Schusspunkte 1–11.

Die Linie 2 ist 2,1 km lang und ist mit den Schusspunkten 12–18 belegt. Der Profilverlauf ist W 12° N. Dieses Profil ist auch deshalb besonders wichtig, weil es im Osten nahe an die Kohlebohrung Pirka heranreicht, die ca. 90 m südöstlich von SP 18 gelegen ist. Ein Anschluss direkt bei der Pirkabohrung war aus Sicherheitsgründen (Verquerung der Bundesstrasse, Verbauung) nicht möglich.

Der Energiedurchgang war – jedenfalls beim Schießen aus den tieferen Bohrungen

– zufriedenstellend. Für die Nahaufstellungen wurden in der Regel 0,75 kg/Schuss Gelatine Donarit benötigt, bei den Weitaufstellungen stieg die Ladungsmenge bis auf 3,8 kg/Schuss.

Zur Untersuchung der Geschwindigkeitsverhältnisse der seichteren Schichten, die lateral auch stärker variieren, wurden weiters an sechs Lokationen ein Geschwindigkeits-schießen ausgeführt. Dabei wurde an der Oberfläche nahe der Bohrung mit nur einem Zünder geschossen und mit einem speziellen Bohrlochgeophon die Longitudinalwellen in Teufenintervallen von 2 m registriert. Außerdem wurden an einigen Stellen refraktionsseismische Kurzprofile mit nur 2 m Geophonabstand geschossen, ebenfalls zum Studium der Geschwindigkeiten der Verwitterungsschicht und der obersten Lagen des Tertiärs.

Die Messungen wurden im April–Mai 1978 von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. R. Schmöller ausgeführt. Die Aufnahmen wurden mit einer 24-kanäligen seismischen Apparatur GSC 111 der Firma Geospace und einer 12-kanäligen refraktionsseismischen Apparatur der Firma ABEM/Stockholm (für die Nahaufstellungen) durchgeführt. Das Messen mit zwei Apparaturen gleichzeitig hatte den Vorteil, dass mit einem einzigen Schuss eine Aufstellung von 1.080 m Länge registriert wurde und somit die Schussbohrungen, die ein mehrmaliges Schießen in derselben Teufe trotz Verrohrung mit Plastikrohren nicht erlaubten, möglichst geschont wurden.

2.2. Geschwindigkeitsmodell und Auswertung

Geschwindigkeitsmodell

Ein Vorteil der Refraktionsseismik besteht darin, dass die Geschwindigkeiten des Untergrundes unmittelbar bestimmt werden können. Innerhalb der quartären/tertiären Schichtfolge liegt ein 5-Schicht-Fall vor, wozu noch ein Horizont aus dem prätertiären Untergrund (Paläozoikum) kommt. Der V_1 -Horizont ist durch die niedrigsten Geschwindigkeiten von 400–500 m/s und durch geringe Mächtigkeiten (bis ca. 10 m) ausgezeichnet. Er besteht aus den oberflächennahen Lockerschichten des Quartärs und verwitterten Tertiärs. Der V_2 -Horizont zeigt stärkere Variationen, die sich um zwei Bereiche gruppieren: einerseits zwischen 870–1.450 m/s, andererseits zwischen 1.650–1.800 m/s. Der höhere Bereich umfasst jedenfalls das grundwasserführende Quartär und die oberen Partien des Tertiärs.

Der V_3 -Refraktor umfasst meist den Geschwindigkeitsbereich von 2.360–2.550 m/s und dürfte größtenteils den Schichtgliedern des Badens entsprechen, die nach H. FLÜGEL (1975) aus marinen Tonmergeln und Sanden, fluviatil-limnischen Tonen und Süßwassermergeln, Sanden, Sandsteinen, Schottern und Süßwasserkalken bestehen. Stellenweise tritt dazwischen noch eine Übergangsschicht mit Geschwindigkeiten von 2.070–2.230 m/s auf, die jedoch auf Profil 1 nach N und S zu rasch auskeilt. Der V_4 -Refraktor zeigt über größere Distanzen hin nahezu konstante Geschwindigkeiten von 2.750–2.950 m/s. Infolge des weitgehenden Fehlens von Bohrungen ist die stratigraphische Zuordnung noch nicht gesichert; ein Vergleich mit dem Raum Lieboch im West-

steirischen Becken lässt an Eibiswalder Schichten (Karpat) denken.

Der V_5 -Refraktor weist im Abschnitt SP 2–7 Geschwindigkeiten von 4.100–4.450 m/s auf und liegt bis zu 100 m tiefer als der V_4 -Horizont. Vom Geschwindigkeitsbereich her könnte es sich durchaus um Gesteine des Beckenuntergrundes (Paläozoikum) handeln. Aufgrund des sporadischen Auftretens dieses Horizontes ist jedoch anzunehmen, dass er noch in der tertiären Schichtfolge liegt. Es kämen dafür stark verfestigte Sandsteine und Konglomerate in den Eibiswalder Schichten in Frage. Der V_6 -Horizont ist durch die höchsten Geschwindigkeiten von 4.770–6.320 m/s gekennzeichnet, wobei hinsichtlich seiner lithologischen Parallelisierung an massige, dichte Kalke oder Dolomite zu denken ist. Grünschiefer dürften vermutlich niedrigere Geschwindigkeiten aufweisen. Vor allem im Bereich der Hochlagen des Paläozoikums vermindert sich die Zahl der Horizonte, sodass dann nur mehr ein 4-Schicht-Fall vorliegt.

Auswertung

Die Tiefenberechnung beruht auf der Auswertung der Laufzeiten der direkten und refraktierten Wellen. Es wurden dabei zunächst die Laufzeiten auf ein horizontales, bei größeren Höhenunterschieden auch geneigtes Bezugsniveau reduziert, um den Einfluss der unterschiedlichen Schusstiefen und Seehöhen der Geophone zu berücksichtigen. Dabei konnte auch der V_1 -Horizont rechnerisch eliminiert und somit der Mehrschichtfall um eine Schicht vermindert werden. Die somit korrigierten Laufzeiten gestatteten die Konstruktion von meist nur wenig streuenden Laufzeitkurvenästen. Aus den nur geringen Abweichungen von der hindurchgelegten mittleren Gerade ergibt sich, dass die Annahme von Ebenen hinsichtlich des Verlaufs der Refraktoren zwischen den Schusspunkten gerechtfertigt ist.

Eine erste Auswertung erfolgte mit der Interceptzeit-Methode. Die Interceptzeit ist jener Abschnitt, der sich beim Schnitt der Laufzeitkurvenäste mit der Ordinate ergibt. Eine detailliertere Auswertung erfolgte mit EDV-gestützten Rechenprogrammen, wodurch auch die Bestimmung der Tiefen unter den Geophonpunkten möglich ist. Dies trifft jedoch bezüglich des tiefsten Refraktors (Oberkante Paläozoikum) nicht immer zu, da dieser bei größerer Tiefenlage wegen des geringen Überdeckungsgrades dann nicht kontinuierlich erfasst werden konnte. In diesen Fällen musste man sich mit einer Tiefenberechnung bei den Schusspunkten begnügen.

Überschossene Schichten

Als überschossene Schicht bezeichnet man eine Schicht, die eine zu geringe Mächtigkeit hat, als dass die dazugehörige Laufzeit nicht als erster, sondern als späterer Einsatz auftritt (SCHMÖLLER 1978, 1982). Die späteren Einsätze können meist nicht erkannt werden. Eine überschossene Schicht tritt auch auf, wenn die Geschwindigkeit der überschossenen Schicht knapp über der Geschwindigkeit der hangenden Schicht liegt oder wenn sie weit langsamer ist, als die Geschwindigkeit der liegenden Schicht.

Die drei obersten Haupthorizonte (V_1 , V_2 , V_3) sind aus den gemessenen Laufzeiten gut erkennbar und als selbständige Schichten identifizierbar.

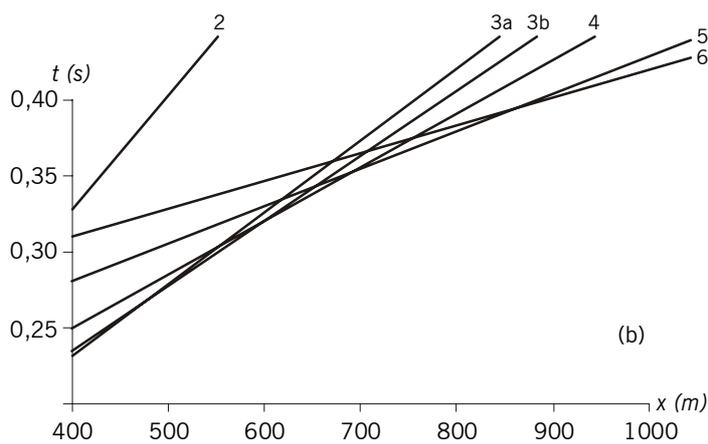
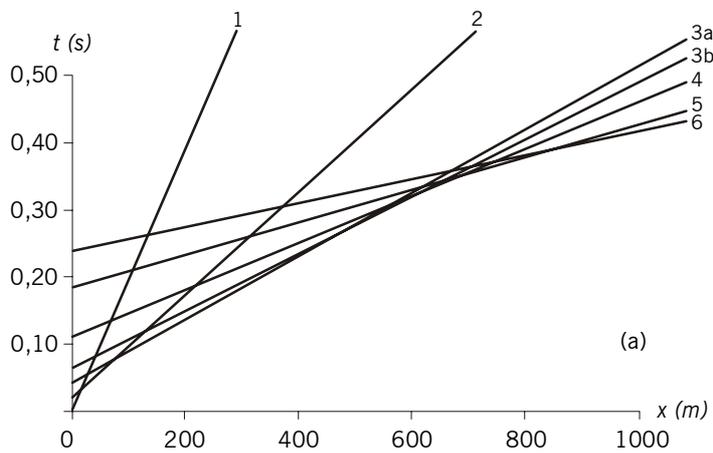


Abb. 1: Die Laufzeitkurve von SP 4 der Linie 1 über die Entfernung x und Laufzeit t .
 (a) Die gesamte Laufzeitkurve: Entfernung 0 bis 1080 m. Die Laufzeitäste von Horizont 3b, 4 und 5 sind als erste Einsätze mühsam unterscheidbar.
 (b) Etwas vergrößerte Laufzeitkurve: Entfernung 400 bis 1040 m. Alle Laufzeitäste sind als erste Einsätze erkennbar und interpretierbar.

V_1 -Schicht: $V_1 = 400\text{--}500$ ms
 V_2 -Schicht: $V_2 = 870\text{--}1.450$ m/s
 $V_2 = 1.650\text{--}1.850$ m/s (SW von Linie 1).

Die höhere Geschwindigkeit (1.650–1.850 m/s) im SW von Linie 1 kann folgendermaßen erklärt werden: Der V_3 -Horizont keilt nach SW aus und erstreckt sich in dieser Richtung – mit dem Auftauchen des Grundgebirges – bis auf ein Gebiet mit größeren

Höhen. Der oberste Teil der V_3 -Schicht hat damit einen Teil der V_2 -Schicht verdrängt. In diesem SW-Teil der Linie 1 wurden die V_2 - und V_3 -Schichten zusammengefasst und, wie oben angeführt, auch zur V_2 -Schicht (1.650–1.850 m/s) dazugezählt.

V_3 -Schicht: 2.070–2.230 m/s
2.360–2.550 m/s

Die V_3 -Schicht besteht aus zwei Schichten. Die beiden Schichten werden als V_{3a} und V_{3b} in der V_3 -Schicht zusammengefasst, weil die Geschwindigkeiten sehr knapp beisammenliegen. Die beiden Geschwindigkeiten liegen im Schnitt nur um 300 m/s auseinander. Die Laufzeitäste der beiden Horizonte sind wegen des kleinen Geschwindigkeitsunterschiedes nahezu parallel und wegen der ähnlichen Neigung der Laufzeitäste schwer unterscheidbar. Jedoch haben die beiden Schichten sehr lange Laufzeitäste, dadurch können sie leicht voneinander abgetrennt werden. Dies soll noch einmal anders ausgedrückt und wiederholt werden. In den beiden Schichten ist es nur aufgrund der großen Länge der Laufzeitäste möglich, dass die beiden Laufzeitneigungen eindeutig bestimmt werden können.

V_4 -Schicht: 2.750–2.960 m/s

An einigen Stellen ist die Schicht gut nachweisbar, obwohl nur kurze dazugehörige Laufzeitäste in der Laufzeitkurve zur Verfügung standen. Die Schicht ist an einigen Stellen als eine beinahe überschossene Schicht und an anderen Stellen als eine total überschossene Schicht zu bezeichnen.

V_5 -Schicht: 4.100–4.450 m/s

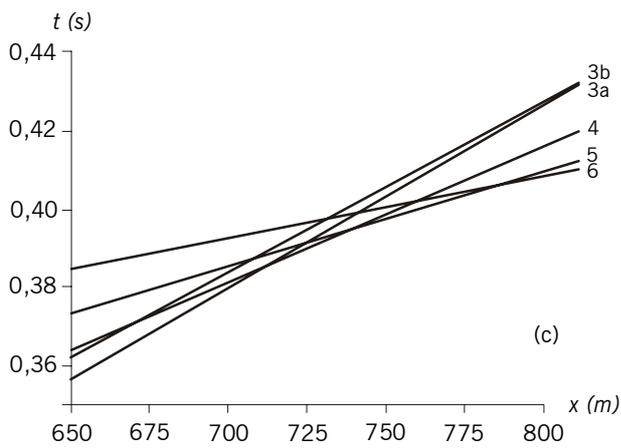
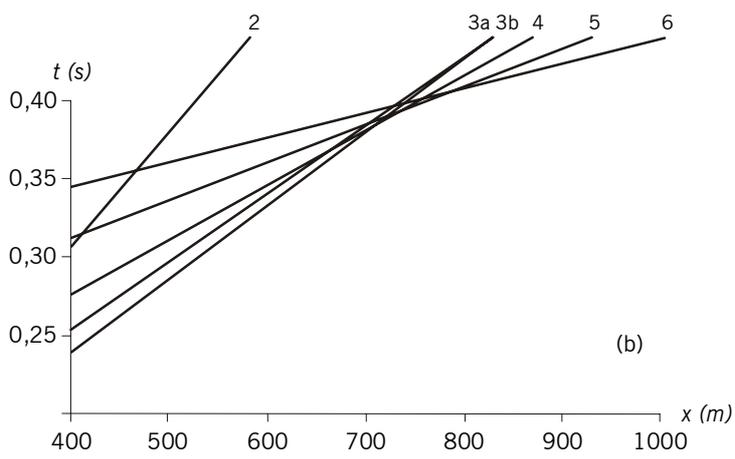
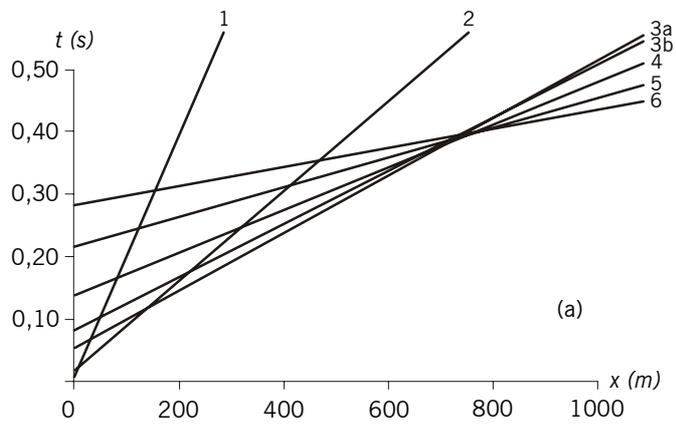
Nur an der Linie 1 konnte diese Schicht aus der gemessenen Laufzeitkurve nachgewiesen werden. Es wird als sicher angenommen, dass im ganzen Messgebiet die V_5 -Schicht zumindest in Beckenlagen als überschossene Schicht vorliegt.

V_6 -Schicht: 4.300–6.320 m/s

Die V_6 -Schicht stellt das Grundgebirge dar und ist aufgrund der großen Aufstellungslängen mit eindeutigen Laufzeitästen belegt.

Die beinahe überschossenen Schichten und auch die total überschossenen Schichten werden in den Beckenbereichen durch Nachrechnung der Laufzeitkurven in die beiden Profile eingebaut. So wurde z. B. die V_5 -Schicht (4.100 m/s) als überschossene Schicht in die Linie 2 übernommen, obwohl die Geschwindigkeit 4.100 m/s und die Tiefe nur der Linie 1 mess- und berechenbar waren.

Zwei Beispiele aus dem Bereich der Kreuzung der Linien 1 und 2 zeigen in Abb. 1 die Laufzeiten von SP 4 (Linie 1) und in Abb. 2 die Laufzeiten von SP 16 (Linie 2). Die Laufzeitkurve des SP 4 (Linie 1) in der Nähe der Kreuzung mit Linie 2 zeigt alle Schich-



ten, auch die Schicht mit 4.100 m/s. Diese Laufzeitkurve von SP 4 ist von 0 m bis 1.000 m (Abb. 1a) und, zur Verdeutlichung, auch von 400 m bis 900 m/s zu sehen (Abb. 1b).

Zum Vergleich ist die Laufzeitkurve des SP 16 von der Linie 2 in den Abb. 2a, 2b, 2c dargestellt. Die beiden Bilder Abb. 2a und Abb. 2b von SP 16 sind im selben Maßstab gezeichnet wie in Abb. 1. Der SP 16 wurde zur Verdeutlichung der Laufzeitkurve zusätzlich noch in einem größeren Maßstab gezeichnet (Abb. 2c). Man sieht, dass auch im SP 16 die 4.100 m/s-Schicht *theoretisch* noch nicht überschossen ist. Abb. 2a verdeutlicht jedoch, dass im SP 16 die drei Schichten über dem Grundgebirge (6.310 m/s) sich *praktisch* im selben Punkt schneiden und aus der Originalmessung nicht identifizierbar sind.

Die Laufzeiten aller Schusspunkte wurden durchgerechnet. Die Darstellung der Profile 1 und 2 (Abb. 3 und 4) wurde zeichnerisch modifiziert, damit sich die gut identifizierbaren Schichten (durchgezogene Linie) von den kaum oder schlecht identifizierbaren Schichten (lang gestrichelte Linie) und auch von den als überschossene und in das Profil hineingerechneten Schichten (kurz gestrichelte Linie) abheben.

2.3. Detailbeschreibung der Profile

2.3.1. Linie 1

Für die Lagerungsverhältnisse ist vor allem der Bereich ab dem V_3 -Horizont interessant, zumal im darüberliegenden Schichtpaket ein stärkerer Geschwindigkeitswechsel auftritt. Im Abschnitt von SP 1–6 weist dieser Horizont bemerkenswert konstante Geschwindigkeiten auf, was für eine einheitliche Lithologie spricht; die Widerstände von 20–40 Ω m lassen den Schluss zu, dass es sich um eine tonige Schichtfolge handelt. Die Mächtigkeit dieses dem Baden zugeordneten Bereiches könnte bis ca. 180 m betragen, wobei eine flachmuldenförmige Lagerung mit Zentrum bei SP 6 zu beobachten ist. Erst im südlichen Abschnitt von SP 6–10 treten höhere V_3 -Geschwindigkeiten bis 2.550 m/s auf. Auch der V_4 -Refraktor zeigt nahezu konstante Geschwindigkeiten von 2.750–2.950 m/s. Dieser Horizont, dessen Mächtigkeit im mittleren Profilverteil ca. 100 m be-

Abb. 2: Die Laufzeitkurve von SP 16 der Linie 2 über die Entfernung x und Laufzeit t.

(a) Die gesamte Laufzeitkurve: Entfernung 0 bis 1080 m. Die Laufzeitäste von 3b, 4, 5 sind als erste Einsätze nicht erkennbar. Sie schneiden sich nahezu in einem Punkt.

(b) Etwas vergrößerte Laufzeitkurve: Entfernung 400 bis 1040 m. Die Laufzeitäste von den Horizonten 3b, 4 und 5 sind kaum als erste Einsätze erkennbar.

(c) Stark vergrößerte Laufzeitkurve: Entfernung von 650 bis 810 m. Der Horizont 3b ist überschossen (keine erste Einsätze vorhanden). Die Laufzeitäste von Horizont 4 und 5 sind zu kurz und können aus der Originalmessung nicht erkannt und interpretiert werden. Sie sind als nahezu überschossene Horizonte anzusehen.

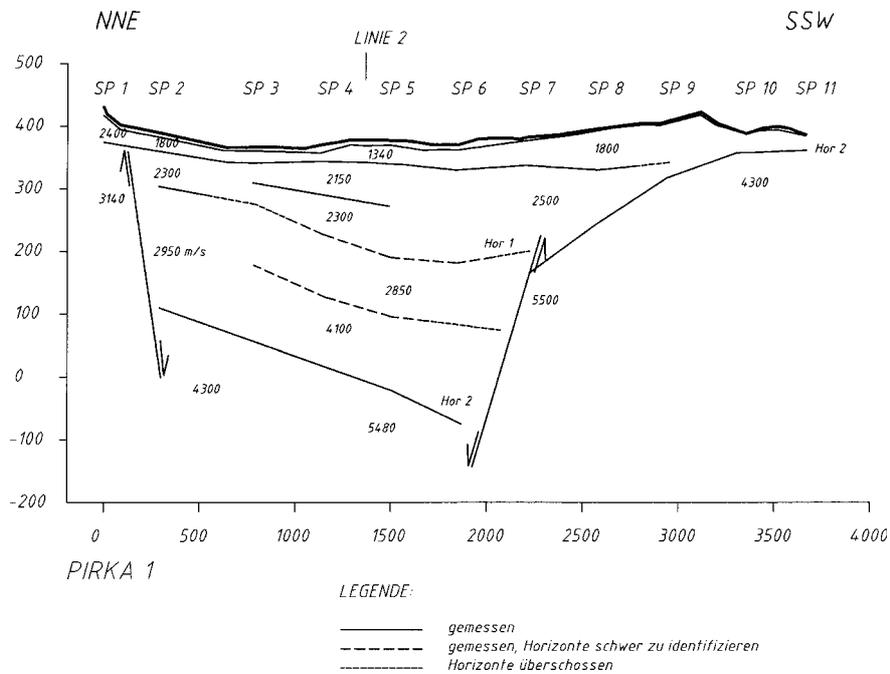


Abb. 3: Das Tiefenprofil der Linie 1. Die durchgezogenen Horizonte sind aus den Originalseismogrammen gut interpretierbar. Die langen unterbrochenen Linien zeigen die nahezu überschrittenen Horizonte, die kurzen unterbrochenen Linien sind die in das Profil hineingerechneten überschrittenen Horizonte.

trägt, lässt ebenso wie das Hangende einen flachen Muldenbau erkennen. Gegen S zu, etwa im Bereich zwischen SP 7–8, keilt dieser Horizont aus. Die wenigen geoelektrischen Sondierungspunkte lassen keine abschließende Aussage zur Lithologie zu. Widerstandswerte von 70–80 Wm sprechen dafür, dass die möglicherweise gröberklastische Gesteinsserie (Karpat) einen nennenswerten Tonanteil aufweist. Der V_5 -Horizont ist nur auf der Linie 1 mit Geschwindigkeiten von 4.100 m/s eindeutig identifizierbar. Der tiefste Refraktor fällt unabhängig vom Geschwindigkeitsbereich zwischen SP 2–6 flach nach S ein.

Etwas abweichende Verhältnisse scheinen im N und S im Bereich der Annäherung an das auftauchende Paläozoikum zu herrschen. Im N könnte nach SP 2 ein Randbruch existieren, an dem der Untergrund abgesenkt ist. Auf der Hochscholle würde das Paläozoikum z. T. in nur 20 m Tiefe anstehen, wenn man annimmt, dass der Horizont mit Geschwindigkeiten von 3.135 m/s verwitterten Gesteinen der Dolomit-Sandsteingruppe entspricht.

Im S reduziert sich die Zahl der Schichten mit Annäherung an den Paläozoikumsaufbruch von Tobelbad, wobei der V_3 -Refraktor bis SP 10 anhält. Dazu findet sich unter der oberflächennahen Verwitterungsschicht nur mehr ein Horizont mit 25–30 m Mäch-

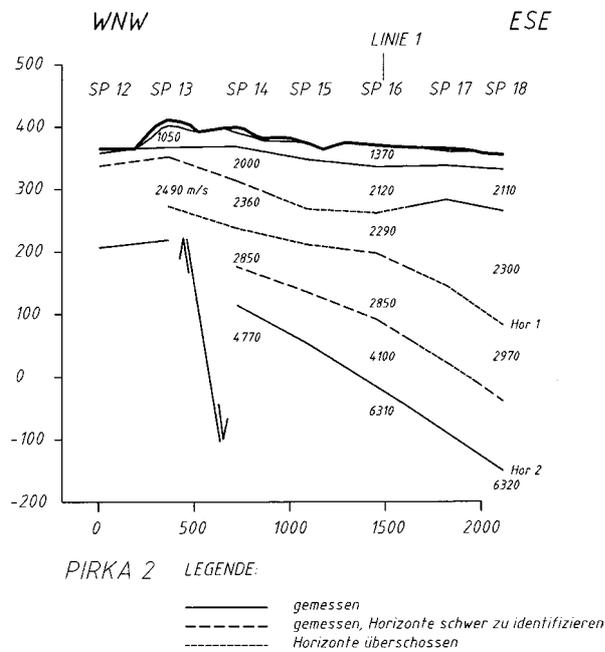


Abb. 4: Das Tiefenprofil der Linie 2. Die Horizonte sind wie in Abb. 3 dargestellt.

tigkeit. Aufgrund der Geschwindigkeit von 1.800–1.100 m/s könnte es sich bereits um Quartär handeln, sodass das Tertiär (Baden) um SP 10 herum bruchlos auskeilt.

2.3.2. Linie 2

Dieses WNW-ESE verlaufende Profil ist nicht zuletzt wegen des Anschlusses an die Kohlebohrung Pirka (KGB 3) von Bedeutung. Bezüglich der Geschwindigkeitsverhältnisse zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie bei der Linie 1. Stärkere Variationen bestehen vor allem in den oberen Horizonten, so fällt im V_2 -Refraktor die Geschwindigkeitszunahme von 1.030 m/s auf 1.704 m/s zwischen SP 14 und SP 15 auf.

Der obere Teil des V_3 -Refraktors stimmt mit einer Geschwindigkeit von 2.130 m/s im Kreuzungsbereich gut mit der Linie 1 überein und auch der untere Teil zeigt mit einem Wert von 2.300 m/s gegen 2.360 m/s auf Linie 1 nur einen geringen Geschwindigkeitsunterschied. Ebenso stimmt der V_4 -Horizont mit 2.860 m/s völlig mit der Linie 1 überein.

Ein gravierendes Problem ergibt sich jedoch dadurch, dass ein V_5 -Horizont mit 4.100 m/s, wie auf Linie 1, fehlt. Dadurch wird die Mächtigkeit des V_4 -Refraktors mit

210 m vom Kreuzungspunkt um 108 m größer als auf Linie 1. Bemerkenswert ist auch, dass die Geschwindigkeiten des tiefsten Refraktors östlich des Kreuzungspunktes mit Werten von ca. 6.300 m/s um etwa 1.500 m/s höher sind als westlich davon. Bei schematischer Tiefenberechnung würde sich also bei SP 18 eine maximale Tertiär-mächtigkeit von 392 m ergeben.

Im Westteil des Profils ist eine Aufragung des Untergrundes zwischen SP 12–13 bis auf -270 m interessant, wodurch nur ca. 100 m Tertiär- und Quartärüberdeckung gegeben ist. Die Geschwindigkeit des dem Paläozoikum zuzuordnenden tiefsten Refraktors von 3.670 m/s ist abnormal niedrig und nicht ganz gesichert.

2.4. Strukturkarte des tiefsten seismischen Refraktors (Oberkante Paläozoikum?)

Bei der Identifikation des V_6 -Horizontes kann aufgrund der hohen Geschwindigkeiten mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass dieser Refraktor der Oberkante des Paläozoikums entspricht. Nur dort, wo die Verwitterung zu einem erheblichen Gesteinszersatz geführt hat, könnte der Refraktor tiefer als die Oberkante des Paläozoikums liegen. Auf die methodischen Schwierigkeiten der Tiefenberechnung auf Linie 1, die sich durch das Auftreten eines Refraktors mit einer Geschwindigkeit von 4.100 m/s ergeben, wurde bereits bei der Profilbesprechung hingewiesen. Diese haben zur Folge, dass sich die Lage der Mulde SW Pirka, vor allem dessen Zentrum, etwas verschieben kann. Am grundsätzlichen Bild des geologischen Baues ändert sich dadurch nichts.

Im N wird das Kartenbild (Abb. 5) durch die südliche Fortsetzung des Buchkogels geprägt. Dessen Einfluss auf den Isohypsenverlauf zeichnet sich etwa bis 1 km S der Grenze Paläozoikum/Tertiär ab. Die strukturelle Trennung vom Paläozoikumsaufbruch Tobelbad erfolgt durch eine WSW-ENE streichende Mulde, die so konstruiert wurde, dass die Null-Tiefenlinie nicht durchgeht, sondern ein schmaler Sattel ausgebildet ist. Gegen SW weitet sich diese Mulde zum nördlichen Teilbecken von Lieboch aus.

Die Hochzone von Tobelbad ist als Fortsetzung des Grazer Paläozoikums und Teil der Mittelsteirischen Schwelle zu betrachten. Da vom Raum Pirka her durch die Linie 1 ein bruchloser Anstieg des prätertiären Untergrundes gegeben war, wurde dasselbe Strukturmuster auch für die westliche Flanke angenommen. Erst weiter im W bei Lieboch findet sich ein NNE streichender synthetischer Bruch. Es ist bemerkenswert, dass ansonsten keine eindeutigen Hinweise auf Brüche größerer Sprunghöhe gefunden werden konnten, was nicht nur auf das weitmaschige Messnetz zurückzuführen sein dürfte. Lediglich im N von Linie 1 wurde bei SP 2 ein Bruch mit abgesenkter Südscholle wahrscheinlich gemacht.

Falls der Tiefenwert beim Geoelektrikpunkt G 6 zutrifft, wäre zwischen diesem und dem SP 13 ein steilerer Abfall von über 100 m, worin sich eine Störung verbergen könnte. Dadurch würde sich für den Bruch bei SP 2 ein wahrscheinlicher Verlauf in WSW-ENE-Richtung ergeben.

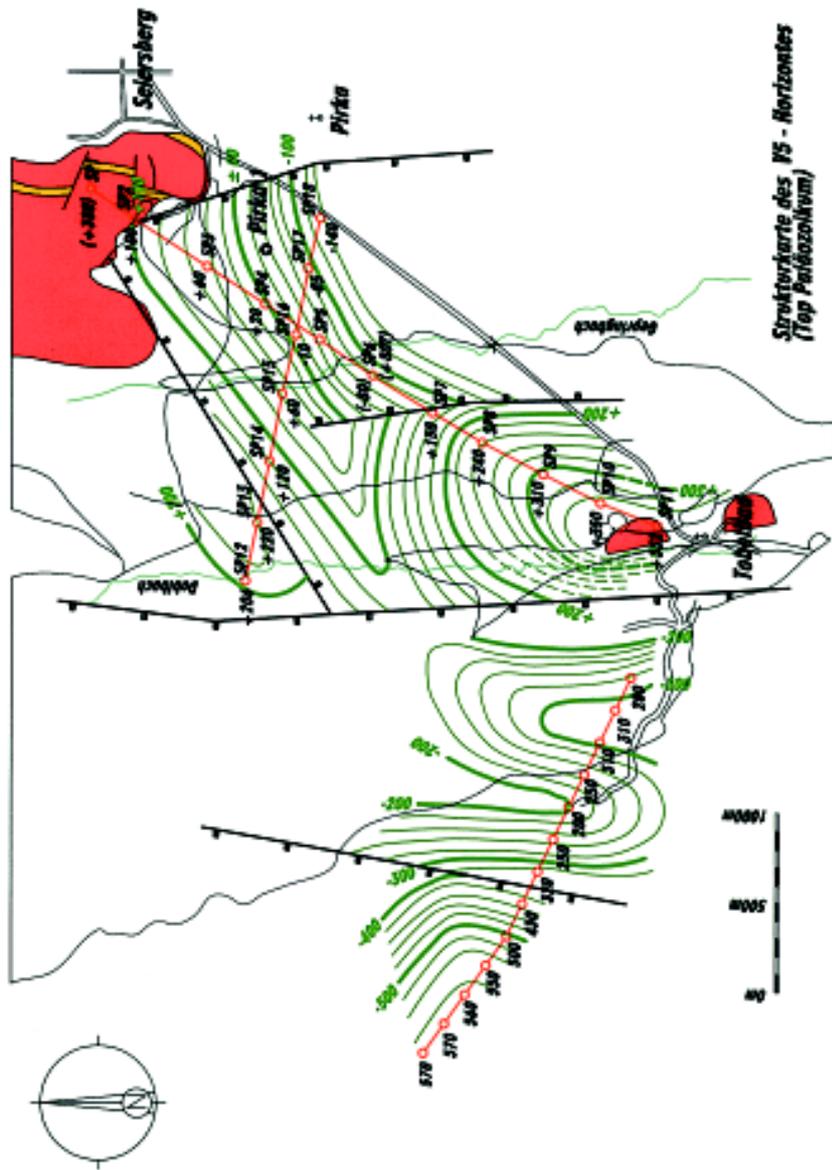


Abb. 5: Die Strukturkarte des Grundgebirges im Gebiet von Linie 1 und Linie 2, zusammen mit dem Ergebnis einer später im W gemessenen reflexionsseismischen Linie.

3. Geoelektrik

Die seismischen Untersuchungen lassen gute Ergebnisse bezüglich Oberkante und Relief des Festgesteins erwarten. Eine Gliederung in den klastischen tertiären Sedimenten ist aufgrund der Refraktorgeschwindigkeiten nur dann möglich, wenn eine entsprechende Änderung in der Lithologie der Sedimente gegeben ist, wie etwa die Grenze von sandig-kiesigem Quartär zu tertiären Feinsanden und Schluffen.

Mit Hilfe der geoelektrischen Untersuchungen sollte einerseits eine Gliederung in den klastischen tertiären Sedimenten möglich sein, andererseits aber war zu erwarten, dass bei einem entsprechenden Widerstand der verschiedenen paläozoischen Gesteine auch im paläozoischen Untergrund die Geoelektrik Zusatzinformationen liefern kann. So weisen trockene Kalke und Dolomite hohe elektrische Widerstände ($> 1.000 \Omega\text{m}$) auf. Durch zunehmende Klüftung und Durchfeuchtung können allerdings die Widerstandswerte in denselben Sedimenten deutlich vermindert werden.

Weiters wurde angenommen, dass z. B. paläozoische Grünschiefer nur mäßige Formationswiderstände (100 bis $500 \Omega\text{m}$) aufweisen. Unter der Annahme, dass an der Basis der klastischen tertiäre Sedimente vorwiegend extrem niederohmige tonige Sedimente anstehen, bestand auch eine Chance, mit Hilfe der Geoelektrik bei einem entsprechenden Widerstandskontrast die Grenze Tertiär zu Paläozoikum punktuell zu detektieren.

Da nach Abschluss der refraktionsseismischen Untersuchungen bereits die Erstausswertung zeigte, dass über weite Teile des Untersuchungsgebietes die tertiären Sedimente große Mächtigkeiten ($> 200 \text{ m}$) aufweisen, wurden die geplanten geoelektrischen Tiefensondierungen entsprechend konzipiert. Gemessen wurde nach der Schlumberger-Elektrodenanordnung, wobei aufgrund der erwarteten Formationswiderstände und einer maximalen Elektrodenauslage von 2.000 m mit einer Tiefeneindringung von 250 bis 350 m zu rechnen war.

Über weite Teile des Untersuchungsgebietes ergab die Auswertung einen 6-Schichtfall, der allerdings dort, wo durch die Refraktionsseismik Hochlagen des Paläozoikums festgestellt worden waren, auf einen 4-Schichtfall reduziert wurde.

In jenen Bereichen, wo ein geoelektrischer 6-Schicht-Fall erarbeitet wurde, zeigt sich generell das in Tabelle 1 dargestellte Widerstandsmodell.

Eine detaillierte geologische Zuordnung der einzelnen Widerstandshorizonte war mangels Bohrungen bzw. geophysikalischer Bohrlochmessungen vorerst nicht möglich. Aufgrund der geologischen Modellvorstellungen dürfte nach der Geoelektrik in den tieferen Partien des Untersuchungsbereiches folgende Schichtfolge erwartet werden.

Aufgrund der extrem niedrigen Widerstände in den quartären und tertiären Sedimenten kann man mit Sicherheit feststellen, dass hier ein typischer Grundwasserhorizont mit guten Durchlässigkeiten und entsprechenden Mächtigkeiten fehlt. Ein Tiefenvergleich zwischen den elektrischen Horizonten und den Ergebnissen der Refraktionsseismik sowie den aus der Geologie abgeleiteten Aufschlüssen muss unter der Prämisse betrachtet werden, dass die geoelektrischen Tiefensondierungen von einer horizontalen Lagerung

	Formations- widerstand	Mächtigkeit	Lithologische Zuordnung
ρ_1	40–400 Ωm	1–5 m	Verwitterungsböden mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Durchfeuchtungsgrad
ρ_2	20–40 Ωm	10–30 m	Quartäre und tertiäre tonige Sande und Schluffe
ρ_3	45–95 Ωm	bis 50 m	Sandige Schluffe innerhalb des Tertiärs, eventuell wasserführend
ρ_4	10–30 Ωm	bis 120 m	Tertiäre Tone und tonige Schluffe
ρ_5	70–110 Ωm	10–30 m	Grobklastische Sedimente des Karpat
ρ_6	640–5.540 Ωm		Paläozoikum (Karbonate, Sandsteine, Grünschiefer)

Tab. 1: Widerstandsmodell.

und konstanten Schichtwiderständen über die gesamte Elektrodenauslage ausgehen. Bei Aufstellungslängen bis zu 2 km ist diese Bedingung mit Sicherheit bei Untersuchungen in Beckenrandlagen nicht erfüllt.

Die geoelektrischen Tiefensondierungen haben demnach vor allem in den Randbereichen des Untersuchungsgebietes gute Ergebnisse hinsichtlich der lithologischen Zuordnung der tieferen Refraktoren ermöglicht. So etwa zeigt sich, dass im Nordabschnitt der Linie 1 das Paläozoikum in geringer Tiefe ansteht. Die hier vermutete Dolomit-Sandstein-Stufe weist Widerstände zwischen 425 bis 535 Ωm auf, was unter der Annahme eines bergfeuchten Gebirges ein durchaus realistischer Messwert sein dürfte. Andererseits treten im Abschnitt SP 4–6 im tieferen Tertiär (Karpat) höhere Gesteinswiderstände von 340–640 Ωm auf. Mit zunehmender Tertiärmächtigkeit ergeben sich aber in den tieferen Abschnitten des Untersuchungsgebietes erhebliche Schwierigkeiten bei der Interpretation. Hier ist ein zufriedenstellendes Ergebnis nur unter Einbeziehung sämtlicher geologischer Kenntnisse möglich. Die aufgrund der Refraktionsseismik ermittelte Oberkante des Paläozoikums würde allein mittels der geoelektrischen Tiefensondierung aufgrund der erwarteten höheren Widerstandswerte zu tief angesetzt.

So liegt die aus der Geoelektrik ermittelte Schichtgrenze (ρ_5/ρ_6) in Teilen des Untersuchungsgebietes bis zu 150 m unter der seismisch ermittelten Schichtgrenze. Diese Diskrepanz muss aber nicht bedeuten, dass die signifikante Widerstandsverminderung im Festgestein durch extreme Klüftigkeit bzw. Wasserführung allein verursacht wird, sondern es ist vielmehr anzunehmen, dass hier in den oberen Partien des Paläozoikums eine gute Längsleitfähigkeit durch die Einschaltung dünner Tonlagen gegeben ist, die ebenfalls die Formationswiderstände des Paläozoikums deutlich vermindern kann. Eine endgültige Zuordnung der einzelnen Widerstandshorizonte zu den anstehenden lithologischen Einheiten könnte nur durch eine entsprechende Aufschlussbohrung, die in den tieferen Partien des Untersuchungsgebietes abgeteuft werden müsste, vorgenommen werden.

4. Neue Erkenntnisse und deren Bedeutung für Tektonik und Stratigraphie des Gebietes

Durch die vorliegende Untersuchung ergeben sich einige wesentliche Unterschiede bezüglich der Stratigraphie des tieferen Teiles der tertiären Schichtfolge und der Struktur der Tertiärbasis, die mit der Paläozoikumsoberkante gleichgesetzt wird. Ausgangspunkt der Überlagerungen ist der Umstand, dass im Großteil des Untersuchungsgebietes ein Horizont auftritt, der aufgrund seiner relativ hohen Durchschnittsgeschwindigkeiten von ca. 2.900 m/s durchaus mit den Eibiswalder Schichten im Messgebiet Lieboch parallelisiert werden kann. Die Bohrung Pirka hatte diesen Horizont nur knapp erreicht und das stets durch hohe Geschwindigkeiten charakterisierte Paläozoikum würde erst 240 m tiefer liegen. Es wird daher für möglich erachtet, dass der in der Bohrung Pirka angetroffene Kalk noch nicht dem paläozoischen Untergrund entspricht. Es könnte sich entweder doch um Leithakalk oder um einen größeren Block in den Eibiswalder Schichten handeln. Demnach scheint das Karpat über eine schmale Muldenzone zwischen dem Bereich südlich Buchkogel und Pirka in ununterbrochener Erstreckung aus dem Oststeirischen Becken in das nördliche Weststeirische Teilbecken sich fortzusetzen.

Wenn auch die Mächtigkeit des Karpats wegen der Geschwindigkeitsprobleme (überschossene Schicht) vielfach nur größenordnungsmäßig angegeben werden kann, so ergibt sich dennoch als weitere Konsequenz ein stärker betontes Relief des paläozoischen Untergrundes.

Brüche

Auf den refraktionsseismischen Profilen konnten drei Brüche nachgewiesen werden. Durch die Verbindung mit den reflexionsseismischen Profilen im benachbarten Weststeirischen Becken und die Oberflächengeologie war es weiters möglich, trotz des weitmaschigen Messnetzes eine plausible Lösung für den Verlauf der Brüche zu finden. Dabei konnten weitere Hinweise für eine Dominanz eines generellen N-S Streichens der Brüche gewonnen werden. Die bedeutende Störung W des Paläozoikumaufbruches von Tobelbad ist zwar durch Messungen nicht erfasst, doch ergibt sich dieser Bruch indirekt, da ansonsten zwischen dem anstehenden Paläozoikum ein unwahrscheinlicher steiler Abfall anzunehmen wäre. Die Sprunghöhe könnte im Raum W Tobelbad mehr als 300 m betragen, wobei die westliche Scholle die abgesunkene wäre. Nach der Darstellung des prätertiären Untergrundes von KRÖLL et al. (1988) wird ein Verlauf bis in die Bucht von Thal im N angenommen. Allerdings hat eine Reinterpretation des reflexionsseismischen Profils HI8902 auch eine andere Interpretationsvariante ergeben. Demnach wäre zwischen P180 und 190 ein synthetischer Bruch möglich, an dem die Tertiärbasis im W abgesunken ist, wobei das tiefere Karpat anscheinend an der Störung endet. Dann wäre die Sprunghöhe beim westlichen Randbruch von Tobelbad geringer und die relativ schmale Mulde im östlichen Teil von Profil HI8902 würde weitgehend verschwinden. Eine sichere Entscheidung ist derzeit wegen der schlechten Datenqualität am östlichen Profilende von HI8902 nicht möglich. Die Schwierigkeiten rühren vor allem daher, dass ein Anschluss

von Profil HI802 an das refraktionsseismische Profil 1 bei Tobelbad aus rechtlichen Gründen nicht möglich war.

Wie die Linie 1 zeigt, verläuft ca. 1,6 km NE Tobelbad ein normal abschiebender Bruch mit einer nach Süden zunehmenden Sprunghöhe (über 300 m). Nach Norden zu dürfte diese Störung allerdings rasch ausklingen, wobei sich durch die Hinführung zu der Versteilung des Untergrundes auf Linie 2 östlich SP 14 ebenfalls ein generelles N-S-Streichen ergibt. Durch diesen Bruch wird der Aufbruch von Tobelbad gegen Osten zu abgegrenzt. Hier kann über das Alter des Bruchs eine relative Aussage getroffen werden, da dieser innerhalb des V_4 -Refraktors endet, dürfte er intrakarpatisch angelegt sein.

Ein Bruch bei Pirka streicht N bis NNW und fällt gegen W ein. Erfasst ist diese Störung allerdings nur bei SP 2 auf Linie 1, wo eine Sprunghöhe von ca. 260 m ersichtlich ist. Demnach wäre die Westseite des Paläozoikumsporns W von Seiersberg tektonisch angelegt. Es wird angenommen, dass diese Störung nach S in jenen Bruch übergeht, der auf der Strukturkarte des prätertiären Untergrundes vom Westrand des Sausals in leicht nach E konvexem Bogen nach N zieht. Es wäre zu überprüfen, ob dieser Bruch sich in den Plabutschzug fortsetzt. Dieser Bruch weist auf der Tiefscholle die gesamten Schichtfolge auf, also die für die Einstufung relevanten V_2 - V_5 -Horizonte; er dürfte oberstes Karpat oder jünger sein.

Ungewiss ist der zwischen SP 13 und 14 auftretende normalabschiebende Bruch, dessen Sprunghöhe ca. 70 m betragen dürfte. Grundsätzlich möglich wäre eine Verbindung mit dem Bruch bei SP 7 auf Linie 1. Dann würde dieser allerdings mit NW-Streichen in die Bucht von Thal hinein verlaufen. Hier wurde jedoch ein NE-SW Streichen angenommen, so dass der SW-Sporn des Plabutsch gegen das Tertiär durch eine Störung abgegrenzt wäre. Dadurch fände auch die nach N ausbuchtende Tertiärgrenze eine Erklärung. Angedeutet wurde auch die Möglichkeit einer Lateralbewegung mit sinistralen Bewegungssinn. Dies gilt auch für den Bruch bei Pirka, der allerdings dextral wäre.

Unter der wahrscheinlichen Annahme, dass der V_4 -Refraktor etwa der Oberkante des Karpats entspricht, ergibt sich bezüglich der paläogeographischen Verbreitung der Eibiswalder Schichten, dass diese weiter nach N und NE reichen als auf der Darstellung von EBNER & SACHSENHOFER (1991) angenommen wurde.

Der V_3 -Refraktor lässt sich aufgrund der Geschwindigkeiten und des Anschlusses an die Bohrung Pirka in das Baden einstufen, was für den Raum N Tobelbad bedeutet, dass zwischen diesen beiden Horizonten eine wenige Grad betragende Winkeldiskordanz herrscht. Ob diese ausreichend ist, um daraus eine „Steirische Diskordanz“ zu postulieren, kann aus dem begrenzten Datenmaterial nicht geschlossen werden. Jedenfalls lässt die Linie 1 gegen Tobelbad zu ein deutliches „Onlap“ der tieferen tertiären Horizonte erkennen.

Nach H. FLÜGEL (1975) liegt bei der Bohrung Pirka 1 die Grenze Sandschaler/Lagenidenzone in SH 245,43 m, somit läge die Oberkante des V_3 -Refraktors im basalen Bereich der Schandschalerzone. Demnach würde der V_3 -Refraktor etwa die Mächtigkeit der Lagenidenzone des Badens angeben. Die Oberkante des V_4 -Refraktors würde dem

geringmächtigen, an der Basis der Bohrung auftretenden Kalk entsprechen und wäre als Karpat einzustufen.

Die von FRIEBE (1991) vorgenommene stratigraphische Tiefenstufung der „Steirischen Diskordanz“ in das oberste Karpat ändert an der seismischen Interpretation wenig, außer dass gegebenenfalls die Oberkante des V_4 -Horizontes nicht an die Grenze Baden/Karpat zu legen wäre, sondern etwas tiefer.

Dank

Für die Genehmigung zur Veröffentlichung wird dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, bestens gedankt. Für die Unterstützung bei der Abwicklung des Messprogramms und für fachliche Beratung danken die Autoren Herrn HR Prof. Dr. H. Zetinigg und Herrn HR Dr. O. Homann. Bei der Profilanlage und bei der Auswertung wurde wertvolle Hilfestellung durch Herrn Univ.-Prof. Dr. H. Flügel geleistet, wofür herzlich gedankt wird.

Literatur

- EBNER, F. & SACHSENHOFER, R. F. (1991): Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, **49**, 96 S., 29 Abb., 7 Tab., 3 Beil., Graz.
- FLÜGEL, H. W. (1975): Das Neogen der Grazer Bucht. – Mitt.naturwiss.Ver.Steiermark, **105**, 71–77, Graz.
- FLÜGEL, H. W. & NEUBAUER, F.R. (1984): Steiermark – Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. – Geol. B.-A., 126 S., 26 Abb., 1 Karte, Wien.
- FRIEBE, J. G. (1991): Neotektonik an der Mittelsteirischen Schwelle (Österreich): Die „Steirische Phase“. – Zbl. Geol. Paläont. Teil I., **1991/1**, 41–54, 5 Abb., Stuttgart.
- KOLLMANN, K. (1965): Jungtertiär im Steirischen Becken. – Mitt.Geol.Ges., **57**, 479–632, Wien.
- KRÖLL, A., FLÜGEL, H. W., SEIBERL, W., WEBER, F. & WALACH, G. (1988): Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle. – Geologische Themenkarten und Erläuterungen, Geol. B.-A., 49 S., Wien.
- MALZER, O. & SPERL, H. (1993): Das Steirische Becken - Steiermark und Südburgenland. – In: Erdöl und Erdgas in Österreich, Hrsg.: Brix F. & Schultz O., 312 S., Verlag: Nat. his. Mus. Wien und F. Berger, Horn.
- NEBERT, K. (1983): Zyklische Gliederung der Eibiswalder Schichten (Südweststeiermark). – Jb. Geol. B.-A., **126**, 259–285, Wien
- RATSCHBACHER, L., FRITSCH, W., LINZER, H.-G. & MERLE, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, 2: Structural analysis. – Tectonics, **10**, 257–271, Washington.

- SCHMÖLLER, R. (1978): Der Grundwasserleiter im Murboden des Fohnsdorfer Beckens als refraktionsseismisch überschossene Schicht. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Berg. Landesmus. Joanneum, **39**, 97–108, Festschrift Lothar Bernhart, Graz.
- SCHMÖLLER, R. (1982): Some aspects of handling velocity inversion and hidden layer problems in seismic refraction work. – Geophys. Prosp., **30**, 735–751, Oxford, UK.
- WEBER, F., SCHMÖLLER, R., FRUHWIRTH, R. K. & HARTMANN, G. (1993): Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Nordteil des Weststeirischen Tertiärbeckens. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **4**, 317 S., Wien.
- WEBER, F. (1998): Ergebnisse eines reflexionsseismischen Profils im Raum Wundschuh/Steiermark. Mitt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum., **SH 2**, 343–354, 4 Abb., Festschrift Gräf, Graz
- WINKLER-HERMADEN, A. (1927): Das südweststeirische Tertiärbecken im älteren Miozän. – Denkschr. Akad. Wiss., mat.-natw. Kl., **101**, 89–130, Wien.
- ZETINIGG, H. (1982): Die artesischen Brunnen im Steirischen Becken. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, **43**, 211 S., Graz.

Anschrift der Verfassers:

em. Univ.-Prof. Dr. Franz Weber und Dipl.-Ing. Dr. Rupert Schmöller
Montanuniversität Leoben, Institut für Geophysik
Peter Tunner-Straße 25
A-8700 Leoben

Dr. Christian Schmid
Joanneum Research, Institut für angewandte Geophysik
Roseggerstraße 17
A-8700 Leoben