



Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen zur Braunkohlenprospektion im weststeirischen Tertiär (Raum Tregist – Lobmingberg bei Voitsberg)

FRANZ WEBER*)

10 Abbildungen

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 162

Steiermark
Weststeirisches Tertiärbecken
Lagerstätten
Braunkohle
Refraktionsseismik

Inhalt

Zusammenfassung	231
Abstract	232
1. Einleitung und Problemstellung	232
2. Überblick über die geologischen Verhältnisse	233
3. Planung und Durchführung der Messungen	233
4. Auswertung	234
4.1. Profile des Messgebietes Tregist Ost	234
4.2. Profile des Messgebietes Lobmingberg – Stallhofen	236
5. Geologisch-tektonische Aussagen	239
6. Lithologie des Beckenuntergrundes	240
7. Lithologie und Geschwindigkeiten der tertiären Sedimente	242
8. Vorschläge für weiterführende Untersuchungen	244
Dank	244
Literatur	244

Zusammenfassung

Im Jahre 1974 wurden im Raum Tregist Ost und Lobmingberg refraktionsseismische Messungen ausgeführt, die die kohlengeologischen Verhältnisse in der nördlichen und östlichen Umgebung des bekannten Abbaues Zangtal erkunden sollten. Gleichzeitig sollten die Ergebnisse der Refraktionsseismik als Planungsgrundlage für ein laufendes Bohrprogramm dienen. Es liegt ein seismischer 5-Schichtfall vor, der sich in Gebieten mit geringerer Sedimentmächtigkeit auf einen 4-Schicht-Fall reduziert. Der tiefste Refraktor entspricht stets dem prätertiären Untergrund. Dieser kann lithologisch meist durch hohe Geschwindigkeiten unterschieden werden: Gosau: 3200–4100 m/s, Kristalline Schiefer: 5000 m/s, Kalke: 4400–5000 m/s.

Die Strukturkarte des Beckenuntergrundes lässt ein kräftiges Relief erkennen, an dem auch Brüche beteiligt sind; diese streichen NNW, N und NNE, ein W–E-streichender synthetischer Bruch S des Kalkaufbruchs von Aichegg ist wahrscheinlich. Aus dem Raum Hochtregist streicht ein Rücken nach S bis zum Voitsgraben. Im S des Messgebietes dominieren Mulden, die durch Brüche zerstückelt sind. Der tiefste Wert des Zentrums liegt N Zangtal unter +220m ü.A. Die Geschwindigkeiten der tertiären Sedimente werden stark von der Fazies geprägt. Tone, Schluffe und Sande liegen im Geschwindigkeitsbereich von 1800–2200 m/s; bei Zunahme des Anteils größerer Sedimente erhöhen sich die Geschwindigkeiten bis auf ca. 2700 m/s. Bei Konglomeraten und Brekzien nehmen die Geschwindigkeiten auf 3500 m/s und darüber zu. Eine solche Zone hoher Geschwindigkeiten reicht vom Beckenrand im N (SE Hochtregist) bis zur Ruppbauernhöhe im S und wird als fluviatile Schüttung interpretiert. Im Voitsgraben und im Raum östlich Lobmingberg werden aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten Tone, also eine limnische Fazies angenommen.

*) Em. Univ.-Prof. Dr. FRANZ WEBER, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, A 8700 Leoben.

Results of a Refraction Seismic Program for Brown Coal Prospection in the West-Styrian Tertiary of Tregist and Lobmingberg near Voitsberg

Abstract

In the year 1974 a refraction seismic program was performed in the West-Styrian Tertiary of Tregist and Lobmingberg near Voitsberg. This activity was performed for brown coal prospecting including a drilling program. There exists a seismic 5-layer case which reduces to a 4-layer case in areas of smaller sedimentary thickness. The deepest refractor is always the pretertiary basement. The lithology of the basement can mostly be divided by the velocities: Gosau (alpine upper cretaceous) sediments have velocities in the range of 3200–4100 m/s, limestones (Triassic or Devonian) 4400–5000 m/s, crystalline schists about 5000 m/s.

The structure map of the basement shows a clear relief, where faults take part. These have a strike of NNW, N and NNE direction, a W–E strike of a fault S of the limestone uplift of Aichegg is probable. From the Hochtregist in the N strikes a ridge to S and SE to the Voitsgraben. In the southern part of the area dominate trough structures, divided by faults. The deepest level is in the trough N of Zangtal below +220 m s.l. There are also the maximum thicknesses of Tertiary of about 250 m. The velocities of the Tertiary sediments are strongly influenced by the facies. Clay and sand have velocities of 1800–2200 m/s; an increase of the content of coarser sediments also increases the velocities up to 2700 m/s. Conglomerates and breccias have velocities up to 3500 m/s and more. Such a zone of high velocities strikes from the northern border of the Tertiary (SE Hochtregist) to S at Ruppbauernhöhe and is interpreted as a fluvialite sedimentation. In the Voitsgraben and in the area E of Lobmingberg are limnic sediments assumed because of the relative low velocities.

1. Einleitung und Problemstellung

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf ein Explorationsprogramm auf Braunkohle, das im Jahre 1974 von der damaligen Austromineral Ges.m.b.H. im Auftrag der Graz-Köflacher Bergbau und Eisenbahnges.m.b.H. durchgeführt worden war. Der Refraktionsseismik fiel dabei die Aufgabe zu, Daten vor allem über die Tertiärmächtigkeit und die Struktur des Beckenuntergrundes zu liefern; diese waren wiederum erforderlich, um entsprechende Unterlagen für die gezielte Durchführung eines teilweise gleichzeitig ablaufenden Bohrprogramms zu erhalten. Das Messprogramm verlief in 2 Phasen, zuerst erfolgten im April 1974 die Messungen im Raum Tregist Ost und ab dem Sommer 1974 im Gebiet Lobmingberg (Abb. 1; 2). Während bei den Auswertungen der ersten Phase nur die Bohrungen 586 und 587 berücksichtigt werden konnten, war es bei der Erstellung des Endberichtes im Winter 1974/75 möglich, die Ergebnisse zahlreicher inzwischen abgeteufter Bohrungen bei der Eichung der refraktionsseismischen Daten und deren Interpretation einzubeziehen.

Es war von Anfang an klar, dass sich die Refraktionsseismik mit den vorhandenen instrumentellen Möglichkeiten (12-kanalige analogseismische Apparatur) in Anbetracht der relativ großen Beckentiefen von mehr als 250 m an der Grenze ihrer Anwendungsmöglichkeiten befand. Folgende Faktoren beeinflussten das Messprogramm und die Qualität der Daten nachhaltig:

- Lange Aufstellungen zur Erreichung der refraktierten Einsätze des Beckenuntergrundes,
- daher mehrmaliges Umsetzen der Geophonkabel.
- Schlechter Energiedurchgang, vor allem bei den Weitaufstellungen.
- Große Sprengladungen zur Erzielung eindeutiger erster Einsätze.
- Aus Kostengründen Beschränkung auf Schussbohrungen (Handbohrungen) geringer Tiefe.

Durch die ungünstigen Geländeverhältnisse, vor allem im Raum Tregist, waren die Möglichkeiten bei der Anlage der Profile weiter eingeschränkt.

Die Ergebnisse dieser refraktionsseismischen Messserie wurden in Endberichten über die jeweiligen Messgebiete dem Auftraggeber gegenüber dargelegt und in der Zwischenzeit nur zum geringeren Teil publiziert. Ein Anstoß für einen Rückgriff auf diese Daten ergab sich in jüngster Zeit insofern, als im Rahmen eines Forschungsprojektes des FWF „Geologie, Paläontologie und Stratigraphie der Kohlenlagerstätte von Köflach-Voitsberg“ (Projektleiter Prof. F. STEININGER) im Jahre 1995 ein Teilprojekt P10332-GEO „Reflexionsseismik Köflach“ (F. WEBER) zur Ausführung gelangte. Die Untersuchungen erstreckten sich dabei auf die Oberndorfer Ostmulde und deren nördliche Randbereiche, wobei Reflexionsseismik, Refraktionsseismik und Geoelektrik eingesetzt wurden. Es war dabei naheliegend und erforderlich, die Ergebnisse der älteren

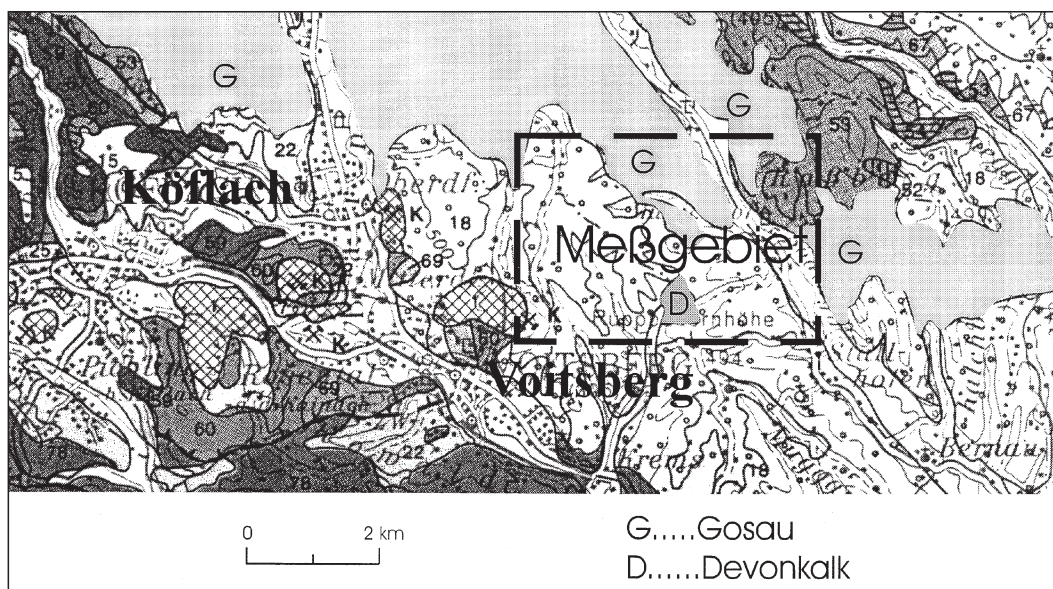


Abb. 1.
Geologische Übersicht des Untersuchungsgebietes.
Entnommen aus „Geologische Karte der Steiermark 1 : 200 000“ von H.W. FLÜGEL & F.R. NEUBAUER.

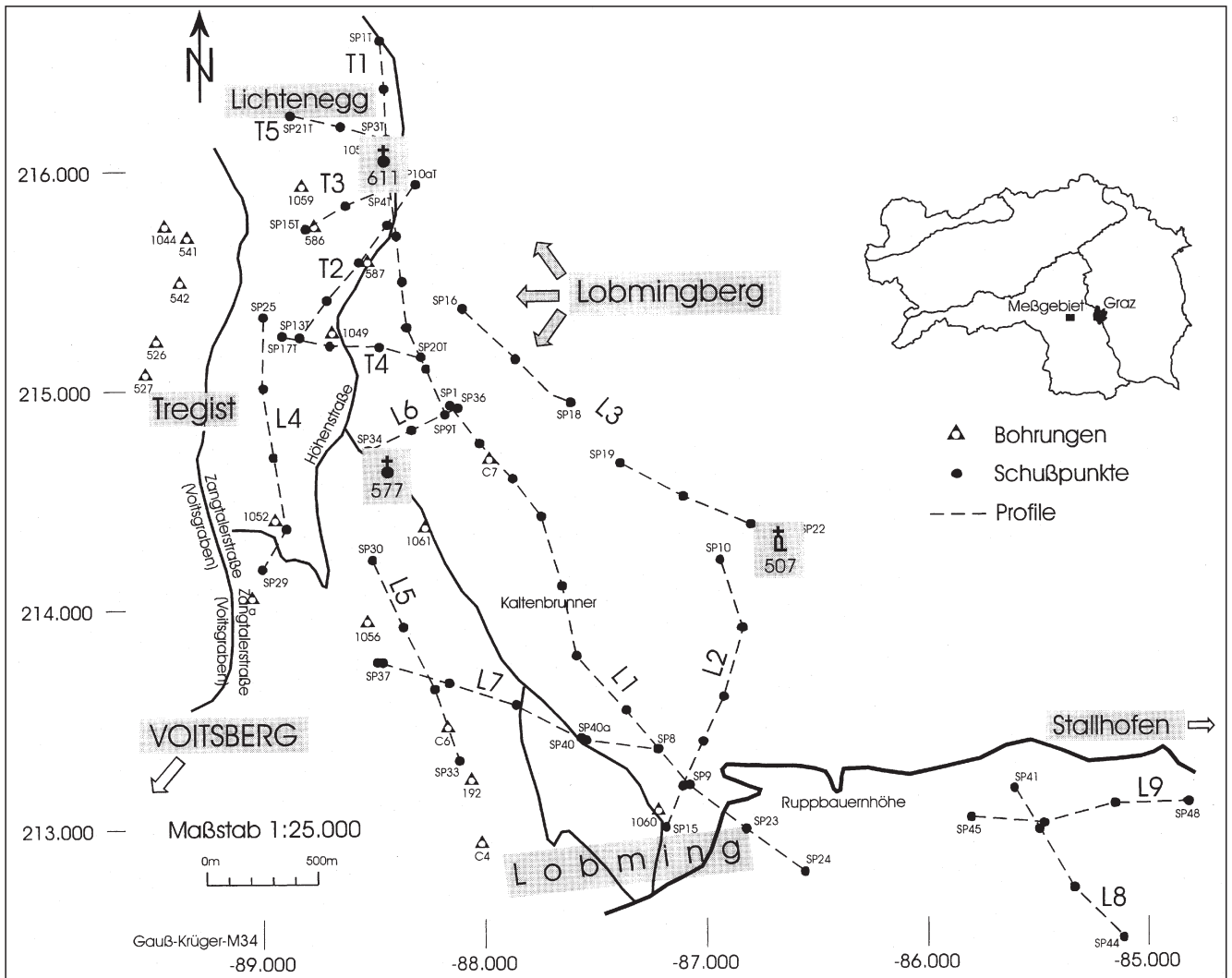


Abb. 2.
Refraktionsseismik Tregist – Lobmingberg.

Messungen einzubeziehen, zumal diesmal auch faziale Fragestellungen eine Rolle spielten. Während bei der Refraktionsseismik und Geoelektrik die Fortschritte der beiden 20 Jahre verschiedenen Messserien augenscheinlich waren, brachte die hochauflösende Reflexionsseismik keine befriedigenden Resultate. Damit bestätigte sich die im Jahre 1974 getroffene Methodenauswahl, wenn auch damals noch andere Kriterien eine Rolle gespielt haben. Die vorliegende Arbeit soll auch einen Hinweis dafür geben, dass trotz der langjährigen Bergbautätigkeit in den Teilmulden des randlichen weststeirischen Tertiärs weiterführende geowissenschaftliche Untersuchungen ihre Berechtigung haben.

2. Überblick über die geologischen Verhältnisse

Bezüglich einer umfassenden Information über die geologischen Verhältnisse wird auf die grundlegenden Arbeiten von H. FLÜGEL (1971), W. POHL (1976), H. FLÜGEL & F. NEUBAUER (1984) und A. KRÖLL (1988) verwiesen. Die ältesten Gesteine bilden Gesteine des austroalpinen Kristallins (Serizitschiefer, Granatglimmerschiefer, Glimmerschiefer), die in den Bohrungen nördlich Zangtal (1056, C6, 192, C4) angetroffen wurden. Diese Gesteine nehmen anscheinend nur einen begrenzten Raum unterhalb des Tertiärs ein. Darüber folgen Gesteine des Grazer Paläozoikums, wobei sich vor allem die Devonkalke im Aufbruch

von Aichegg (L. WAAGEN 1925) unter der Tertiärbedeckung weiter fortsetzen dürften. Kalke bilden unter dem Tertiär nördlich Zangtal ein größeres Vorkommen, das sich als schmalerer Streifen nach NE Richtung Tregist fortsetzt. Diese Karbonate werden auf der Karte von W. POHL (1976) zu fraglicher zentralalpiner Trias gerechnet.

Weite Verbreitung haben im Untergrund Gesteine der Gosau, die am Rande des Tertiärbeckens im Norden und Osten anstehen. Aufgrund der Bohrungen ist ersichtlich, dass die Gosau sowohl von tonigen Gesteinen (Tonmergel, Mergel), als auch von Sandsteinen und Grobklastika (Brekzien, Konglomerate) vertreten wird.

Die tertiäre Schichtfolge besteht im Messgebiet aus Tonen, Schluffen, Sanden und Mischgesteinen, weiters Kiesen und Schottern, die vor allem im Raum Tregist konglomeratisch verfestigt sind. Altersmäßig werden diese Gesteine in das Karpat eingestuft. Die Gesamtmächtigkeit des Tertiärs beträgt im Messgebiet bis ca. 250 m.

3. Planung und Durchführung der Messungen

Messgebiet Tregist Ost

Die Projektierung erfolgte einvernehmlich mit dem Auftraggeber; die seismischen Messungen wurden von G. WALACH und J. ATZMÜLLER durchgeführt, für die Auswertung und Berichterlegung waren F. WEBER und G. WALACH verantwortlich.

Das Programm bestand aus einem N–S-verlaufenden Längsprofil und 4 Querprofilen. Es wurde mit 2–3facher Überdeckung mit Einzelaufstellungen von 200 bzw. 220 m Länge gemessen. Die Gesamtlänge der Profile betrug 4,2 km. Die 23 Schussbohrungen verteilen sich auf folgende Profile:

Profil T1:	SP 1–9
Profil T2:	SP 10a, 10–13
Profil T3:	SP 4, 15, 16
Profil T4:	SP 17–20
Profil T5:	SP 3, 21, 22

Messgebiet Lobmingberg-Stallhofen

Das Messprogramm besteht aus 9 Profilen, davon 7 im Abschnitt Lobmingberg und 2 Profile im Raum W Stallhofen. Die Länge der gemessenen Profile beträgt 11,5 km. Auch hier wurde mit 2–3facher Überdeckung gemessen, die Länge der Einzelaufstellung (= Schusspunktabstand) betrug 330 oder 220 m, der Geophonabstand 20 bzw. 30 m. Die Gesamtlänge der jeweiligen Geophonaufstellung betrug im Normalfall 990 m, in Gebieten mit geringerer Tertiärmächtigkeit 660 m. Die 48 Schusspunkte gehören zu folgenden Profilen:

Profil L1:	SP 1–9, 23, 24
Profil L2:	SP 10–15
Profil L3:	SP 16–22
Profil L4:	SP 25–29
Profil L5:	SP 30–33
Profil L6:	SP 34–36
Profil L7:	SP 37–40, 40a, 8
Profil L8:	SP 41–44
Profil L9:	SP 45–48

Die Schüsse wurden aus 2–3 m tiefen Bohrlöchern abge-
tan, wobei der Energiedurchgang vor allem auf dem Tregist Höhenrücken sehr ungünstig war. Hier war trotz Ladungen von 0,5 kg bei den Nahaufstellungen und bis zu 1,8 kg Gelatinedonerit/Schuss bei den Weitaufstellungen nicht immer ein befriedigendes Resultat zu erzielen.

Die seismischen Aufnahmen erfolgten mit einer 12-kanä-
ligen refraktionsseismischen Apparatur der Firma ABEM (Stockholm), System TRIO.

4. Auswertung

Die aufgetragenen Rohlaufzeiten der direkten und refraktierten Wellen zeigten erhebliche Streuungen, sodass die Zuordnung zu Laufzeitästen nicht immer eindeutig war. Durch Reduktion auf ein horizontales oder geneigtes Bezugsniveau wurde versucht, eine Glättung herbeizuführen, was in vielen Fällen auch gelang. Als Korrekturgeschwindigkeit wurde mit wenigen Ausnahmen ein Wert von 500 m/s gewählt. Auch die korrigierten Laufzeiten waren noch mit Fehlern behaftet, z. B. Differenzen bis zu einigen ms bei den einzelnen Aufstellungen mit gemeinsamen Geophonpunkten.

Aufgrund des vorhandenen Datenmaterials war die Tiefenberechnung meist nur bei den Schusspunkten sinnvoll. Diese erfolgte mit der Methode der Interceptzeiten. Hierbei gab es Schwierigkeiten bei lateralen Geschwindigkeitsänderungen, die vor allem in den oberen Horizonten auftraten. Auch das Problem der „überschossenen Schicht“ machte sich bei Einschaltung von Schichten mit höheren Geschwindigkeiten (Konglomerate) oder niedrigeren Geschwindigkeiten (Kohle) bemerkbar. In diesen Fällen wurde mit einer fiktiven Durchschnittsgeschwindigkeit für einen bestimmten Horizont gerechnet. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten war es daher nicht immer möglich, die normale Tiefengenauigkeit von 10 % zu erreichen.

Als Regelfall ließen die Laufzeitkurven einen seismischen 5-Schichtfall erkennen, der sich in Gebieten mit geringerer Tertiärmächtigkeit auf einen 4-Schichtfall reduziert.

Der V_1 -Horizont bildet die oberflächennahe Verwitterungsschicht und ist geologisch bedeutungslos. Der V_2 -Refraktor wird von über dem Tertiär liegenden jüngeren Schottern oder von verwitterten, trockenen tertiären Schichten gebildet. Der V_3 - und V_4 -Refraktor stellen die signifikanten tertiären Schichtglieder dar. Der V_5 -Refraktor entspricht dem prätertiären Untergrund und ist durch die höchsten Geschwindigkeiten charakterisiert. Ein ungenügender Geschwindigkeitskontrast dürfte nur in den Gebieten gegeben sein, wo tertiäre Konglomerate mit höheren Geschwindigkeiten (> 3000 m/s) über mergeligen Gosaugesteinen liegen, deren Geschwindigkeiten im Bereich von ca. 3200–3400 m/s liegen.

4.1. Profile des Messgebietes Tregist Ost

Profil T 1

Das N–NNW-verlaufende Profil (Abb. 3) scheint repräsentativ für die Schwierigkeiten im Nordteil des Messgebietes Tregist Ost zu sein, die sich als Folge lateral und vertikal stark wechselnder Geschwindigkeiten sowohl im Tertiär als auch im Beckenuntergrund sowie eines kräftigen Reliefs desselben bei der Auswertung ergaben. Als weitere Komplikation ist auch die große Wahrscheinlichkeit des Auftretens überschossener Schichten zu nennen. Bis zu 5 Horizonte können auf den Laufzeitkurven erkannt werden. Unter dem geringmächtigen V_1 -Horizont (Verwitterungsschicht) liegt der V_2 -Refraktor mit Geschwindigkeiten meist zwischen 1100–1200 m/s und Mächtigkeiten von 10–28 m. Dieser Horizont entspricht lithologisch lockeren Schottern, die Basis folgt größtenteils in abgeschwächter Form dem Relief der Erdoberfläche.

Der V_3 -Horizont weist bei der Aufstellung SP1–2 hohe Geschwindigkeiten von 2800 m/s auf, die nach S zu abrupt auf Werte von 2200 m/s abnehmen. Diese Geschwindigkeitsabnahme dürfte auf geringere Lagerungsdichte der Schotter und Sandsteine sowie auf die Einschaltung von Tegellagen zurückzuführen sein. Von SP3–SP6 treten fast konstante V_3 -Geschwindigkeiten um 2400 m/s auf. Bei SP6 erfolgt wiederum eine Zunahme der V_3 -Geschwindigkeiten auf 2700–2800 m/s, die bis zum südlichen Profilende anhält.

Ab SP5 tritt nun innerhalb des Tertiärs in ca. 50 m Tiefe ein Refraktor mit hohen Geschwindigkeiten von 3500–3900 m/s auf, der konglomeratisch verfestigten Schottern und Sandsteinen entspricht. Da jedoch im unteren Abschnitt der nahegelegenen Bohrung 587 ein 4 m mächtiges Kohleflöz und mehrere Tegellagen auftreten, die erfahrungsgemäß niedrige Geschwindigkeiten aufweisen, ist eine Geschwindigkeitsumkehr sehr wahrscheinlich. Es wurde daher bei der Tiefenberechnung des prätertiären Untergrundes ein Rechenwert von 2600–2700 m/s als Durchschnittsgeschwindigkeit des Tertiärs verwendet. Der tiefste Refraktor weist im N Geschwindigkeiten von 3400 m/s auf und ist mit den Gosauschichten zu parallelisieren, wie auch die Bohrung 1057 beweist. Zwischen SP 5–6 ist zwar die Geschwindigkeitsbestimmung aufgrund der Variation der Laufzeitpunkte nicht sehr genau, der Bereich von 4700–5000 m/s entspricht gemeinhin Karbonaten. Dieses Gestein wurde auch bei B 587 erbohrt.

Etwas problematisch ist die Zuordnung des Refraktors mit 4100 m/s bei SP4, es könnte sich um dichte Gosausandsteine oder um klüftige Kalke handeln. Südlich vom Schusspunkt 6 ist der Beckenuntergrund aufgrund der zu kurzen Aufstellungslänge (schlechter Energiedurchgang) nicht erfassbar. Ein in höherer Lage auftretender Horizont mit $V = 3900$ – 4000 m/s lässt sich bis etwa SP8 verfolgen. Es scheint sich um Konglomeratlagen zu handeln, deren Geschwindigkeit stärker wechselt, als es am Profil angegebene ist.

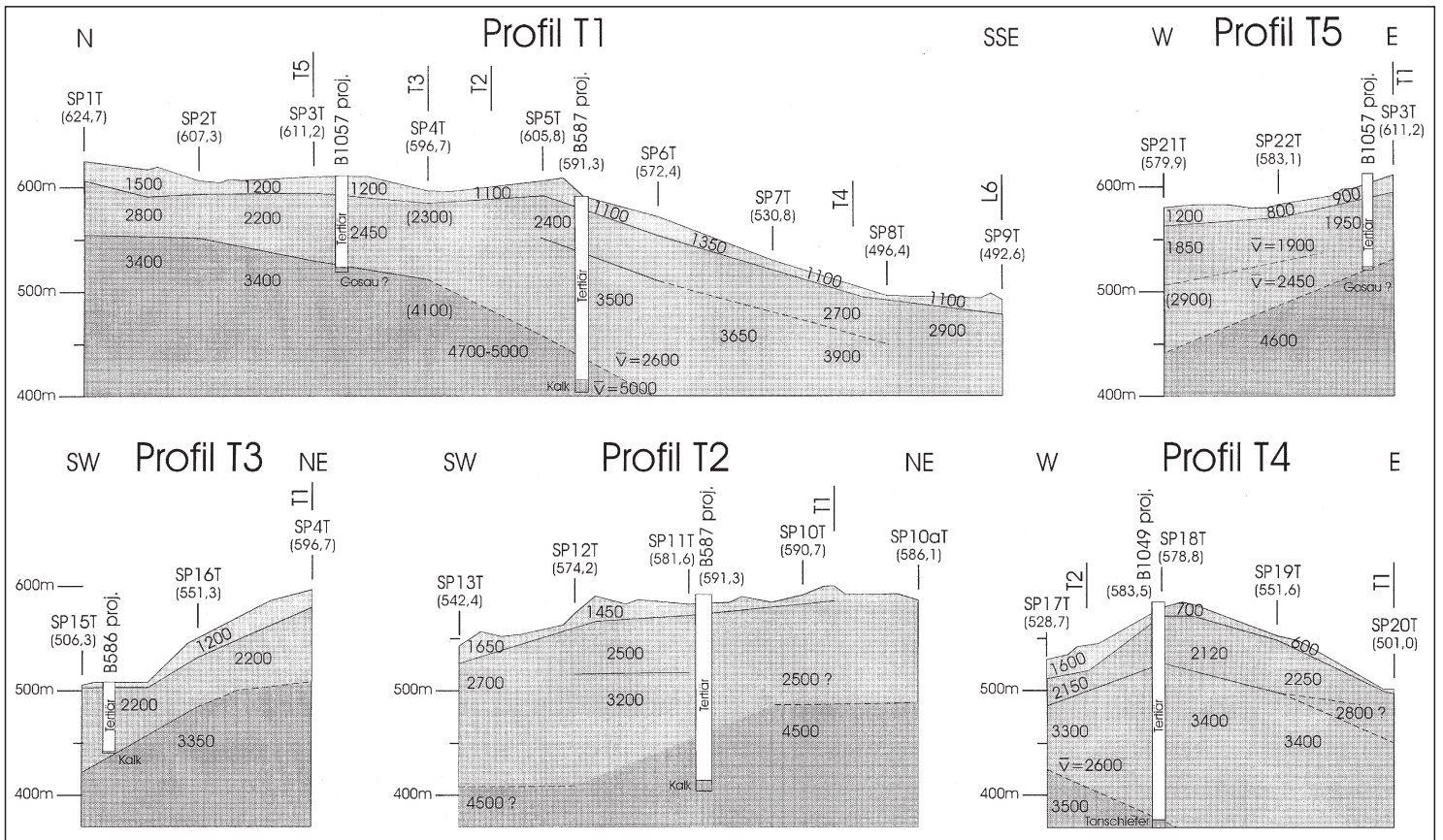


Abb. 3.
Refraktionsseismische Profile T1–T5.

Profil T 2

Dieses Profil (Abb. 3) weist im Tertiär ähnliche Geschwindigkeitsverhältnisse auf wie bei Profil T1. Der V_2 -Refraktor zeigt Geschwindigkeiten von 1450–1650 m/s, der V_3 -Horizont Werte von 2500–2700 m/s. Innerhalb der tertiären Schichtfolge stellt sich ein Refraktor mit höherer Geschwindigkeit von 3200 m/s ein, der jedoch nicht über das ganze Profil zu verfolgen ist und nach NE auszuweichen scheint. Der Vergleich mit dem Bohrprofil der Bohrung 587 lässt vermuten, dass es sich hierbei um einen harten Sandstein handelt. Der Verlauf und die Tiefenlage des Beckenuntergrundes ist – vor allem im NE – unsicher. Bei SP 13 liegt in einer Tiefe von ca. 130 m ein Horizont mit $V = 4500$ m/s, der aufgrund des Vergleichs als Kalk anzusprechen ist; dieser müsste also zwischen SP 13–11 flach liegen.

Profil T 3

Der steile Anstieg des Geländes und die ungenügende Aufstellungslänge (440 m) erschweren die sichere Auswertung des Profils vor allem im Bereich der Tertiärbasis (Abb. 3). Bemerkenswert ist die niedrige V_3 -Geschwindigkeit von 2000–2050 m/s, die für die Abwesenheit von Konglomeraten und Sandsteinen spricht. Dies steht im Einklang mit der Bohrung 586, die neben 5,5 m Kohle eine mächtige Tegelserie erbohrt hat. Der V_4 -Refraktor mit 3350 m/s könnte ansonsten als tertiäres Konglomerat interpretiert werden, tatsächlich muss es sich jedoch laut Bohrung um Kalk handeln, wobei allerdings die Geschwindigkeit zu niedrig ist (Klüftung, Verkarstung). Der kräftige Anstieg nach NE scheint jedenfalls gesichert zu sein.

Profil T 4

Da dieses Profil über den Tregister Höhenrücken verläuft (Abb. 3), weisen die Laufzeitkurven beachtliche topographische Einflüsse auf, die auch durch eine gleitende Be-

zugsnivaukorrektur nicht zur Gänze beseitigt werden konnten. Im V_2 -Refraktor fallen die beträchtlichen Geschwindigkeitsunterschiede beiderseits des Berges auf: auf der W-Seite 1000–1600 m/s, während auf der E-Seite nur wenig schwankende V_2 -Geschwindigkeiten von 600–700 m/s herrschen. Die Hauptmasse des Tertiärs ist geschwindigkeitsmäßig zweigeteilt, wobei die Grenze innerhalb einer Schotterserie verläuft und die Topographie annähernd nachbildet. Der V_3 -Refraktor weist Geschwindigkeiten von 2120–2150 m/s auf. Darunter folgt in 40–60 m Tiefe ein Refraktor mit $V_4 = 3300$ –3400 m/s, der stärker verfestigten Schottern entsprechen dürfte. Da darunter laut Bohrung 1049 Tegel bis zur Tertiärbasis folgen, die allgemein wesentlich niedrigere Geschwindigkeiten aufweisen, ist auch hier mit dem Vorhandensein einer „seismischen Blindzone“ zu rechnen. Zwischen SP19–20 zeichnet sich überdies ein Refraktor mit einer Scheingeschwindigkeit von 2800 m/s ab, der einen weiteren Hinweis auf die variablen Geschwindigkeiten im Tertiär gibt. Es wurde daher bei der Tiefenberechnung des V_5 -Refraktors eine Durchschnittsgeschwindigkeit bis zum Beckenuntergrund von 2600 m/s angenommen. Der V_5 -Geschwindigkeitswert von 3500 m/s bei SP17 ist schlecht abgesichert, passt jedoch zum Bohrprofil, das im Beckenuntergrund Tonschiefer (vermutlich Gosau) angibt. Zwischen SP18–20 konnte der Beckenuntergrund infolge der ungenügenden Aufstellungslänge von 440 m und möglicherweise auch wegen des ungenügenden Geschwindigkeitsunterschiedes an der Tertiärbasis nicht erfasst werden.

Profil T 5

Dieses Profil zeigt im V_2 - und V_3 -Horizont etwas niedrigere Geschwindigkeiten als im Nordteil des im E anschließenden Profils T1 (Abb. 3). Die Tertiärmächtigkeit nimmt infolge des Anstiegs des Untergrundes gegen E hin merklich ab. Im W, also bei größerer Tertiärmächtigkeit, ist noch

ein Horizont mit $V = 2900$ m/s zu erkennen, der nach E zu auskeilen dürfte. Als Geschwindigkeit für den Beckenuntergrund, der laut Bohrung 1057 aus Gosausandsteinen besteht, wurde ein Wert von 4600 m/s berechnet, der möglicherweise zu hoch ist.

4.2. Profile des Messgebietes Lobmingberg – Stallhofen

Profil L1

Dieses Profil (Abb. 4) war wegen der lateral und vertikal sich ändernden Geschwindigkeiten der tertiären Refraktoren bei der Tiefenberechnung schwierig auszuwerten. Es liegt ein 4-Schichtfall vor, wobei der tiefste Refraktor dem prätertiären Beckenuntergrund entspricht. Der geringmächtige V_1 -Horizont zeigt fast durchgehend eine Geschwindigkeit von 1000 m/s, lediglich am südöstlichsten Ende tritt lokal ein Geschwindigkeitswert von 500 m/s auf. Die Hauptmasse des Tertiärs ist geschwindigkeitsmäßig anscheinend zweigeteilt. Der V_2 -Horizont zeigt von N nach S eine generelle Abnahme der Geschwindigkeit, wobei er südlich von SP9 auskeilt. Von SP1 bis SP5 nimmt die V_2 -Geschwindigkeit von 2700 m/s auf 2500 m/s ab, und fällt bis SP7 auf 2300 m/s ab, sodann erfolgt eine stärkere Abnahme auf 2000 m/s, welcher Wert bis über SP9 hinaus anhält. Der V_3 -Horizont weist Geschwindigkeiten von ca. 2900 m/s auf, lediglich im Nordteil sind Werte von 3100 m/s ersichtlich und zwischen SP6–7 Geschwindigkeiten von 2700 m/s; im südlichsten Teil des Profils treten in dem einheitlichen tertiären Refraktor Geschwindigkeiten von 2600–2650 m/s auf. Diese Geschwindigkeitsverbreitung im V_2 - und V_3 -Refraktor weist auf eine Lithologie hin, die aus weniger verfestigten klastischen Sedimenten im oberen Teil und stärker verfestigten Schottern und Konglomeraten im unteren Abschnitt besteht. Es ist nicht sicher, ob die Schichtfolge von Bohrung C7 repräsentativ für ein weiteres Areal ist; diese weist jedoch in den oberen 20 m Tone, Sande und sandiggebundene Schotter auf, darunter Schotter und auch stärker verfestigte Partien. Der V_4 -Horizont ist durch Geschwindigkeiten von meist 3800 m/s gekennzeichnet, bei SP5 tritt ein Wert von 3600 m/s auf. Im südlichsten Abschnitt betragen die V_4 -Geschwindigkeiten

3200–3300 m/s. Wie die Bohrung C 4 zeigt, entspricht dieser Horizont der Gosau, die durch Sandsteine vertreten wird. Eine Schwierigkeit bei der lithologischen Zuordnung besteht im S des Profils. Die ca. 200 m SW von SP9 gelegene Bohrung 1060 hat (Devon ?) Kalk angetroffen, für den die V_4 -Geschwindigkeiten zu niedrig wären.

Vom N bis zu SP9 erfolgt ein Abfall des Beckenuntergrundes, der zwischen SP1–2 stärker ansteigt. Zwischen SP4 und SP5 zeichnet sich in den Laufzeitkurven ein N-fallender Bruch ab. Von SP9–SP24 im S erfolgt sodann ein Anstieg des Beckenuntergrundes nach S.

Profil L2

Dieses NNW–SSE-verlaufende Profil (Abb. 5) ist deshalb von besonderer Bedeutung, da es sich nahe dem Devonkalkaufbruch von Aichegg erstreckt. Damit ist ein wichtiger Anhaltspunkt bezüglich der lithologischen Ansprache des Beckenuntergrundes gegeben, weiters auch durch die nahe dem südlichen Profilende befindliche Bohrung 1060. Die Geschwindigkeiten zeigen vertikal und lateral größere Änderungen. Dies trifft sogar auf den V_1 -Horizont zu, der im N mit Werten von ca. 1000 m/s ziemlich hoch ist, während südlich SP13 die Geschwindigkeiten anscheinend abrupt auf ca. 450 m/s abnehmen. Die Geschwindigkeit des Tertiärs beträgt im N im Bereich der Hochlage des Kalkaufbruchs meist 2100 m/s, lokal auch 2800 m/s. Weiter nach S nehmen die Geschwindigkeiten des höheren Teils des Tertiärs von 2400 auf 2000 m/s ab. Darunter ist auf den Laufzeitkurven im Südabschnitt ein V_3 -Refraktor ausgebildet, dessen Geschwindigkeiten 2850–2900 m/s betragen. Da man unter Zugrundelegung dieser Geschwindigkeiten jedoch den Beckenuntergrund mindestens 50 m tiefer als bei der Bohrung 1060 antreffen würde, ist die Annahme wahrscheinlich, dass eine Geschwindigkeitsinversion mit der Tiefe vorliegt. Der Refraktor mit 2900 m/s wäre demnach nur eine stärker verfestigte Schicht in dem aus sandig gebundenen Schottern und Kiesen bestehenden Tertiär. Es wurde daher bei der Tiefenberechnung eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 2400 m/s zugrundegelegt. Zwischen SP10–11 fällt der V_4 -Refraktor nach N ein, wobei ein kleinerer Bruch möglich wäre (Nordflügel abgesenkt). Ein in den Laufzeitkurven

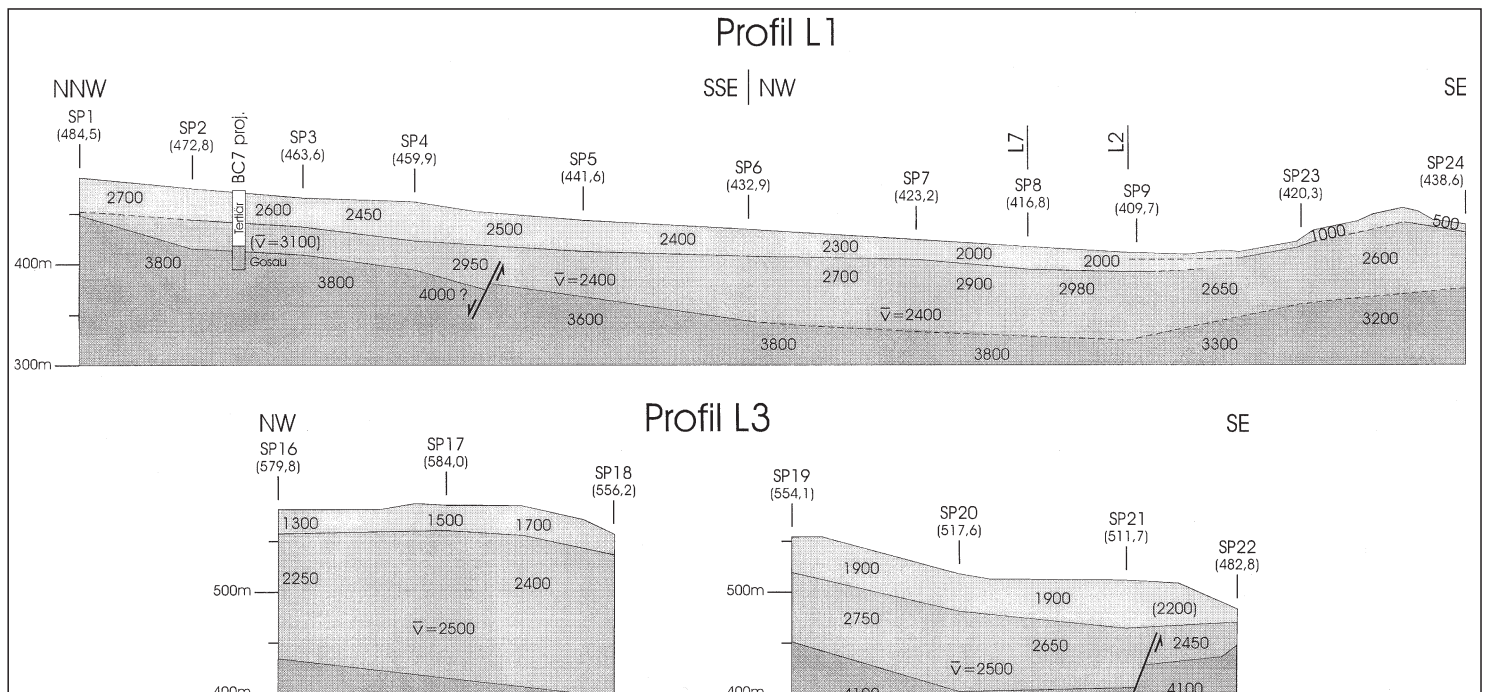


Abb. 4. Refraktionsseismische Profile L1 und L3.

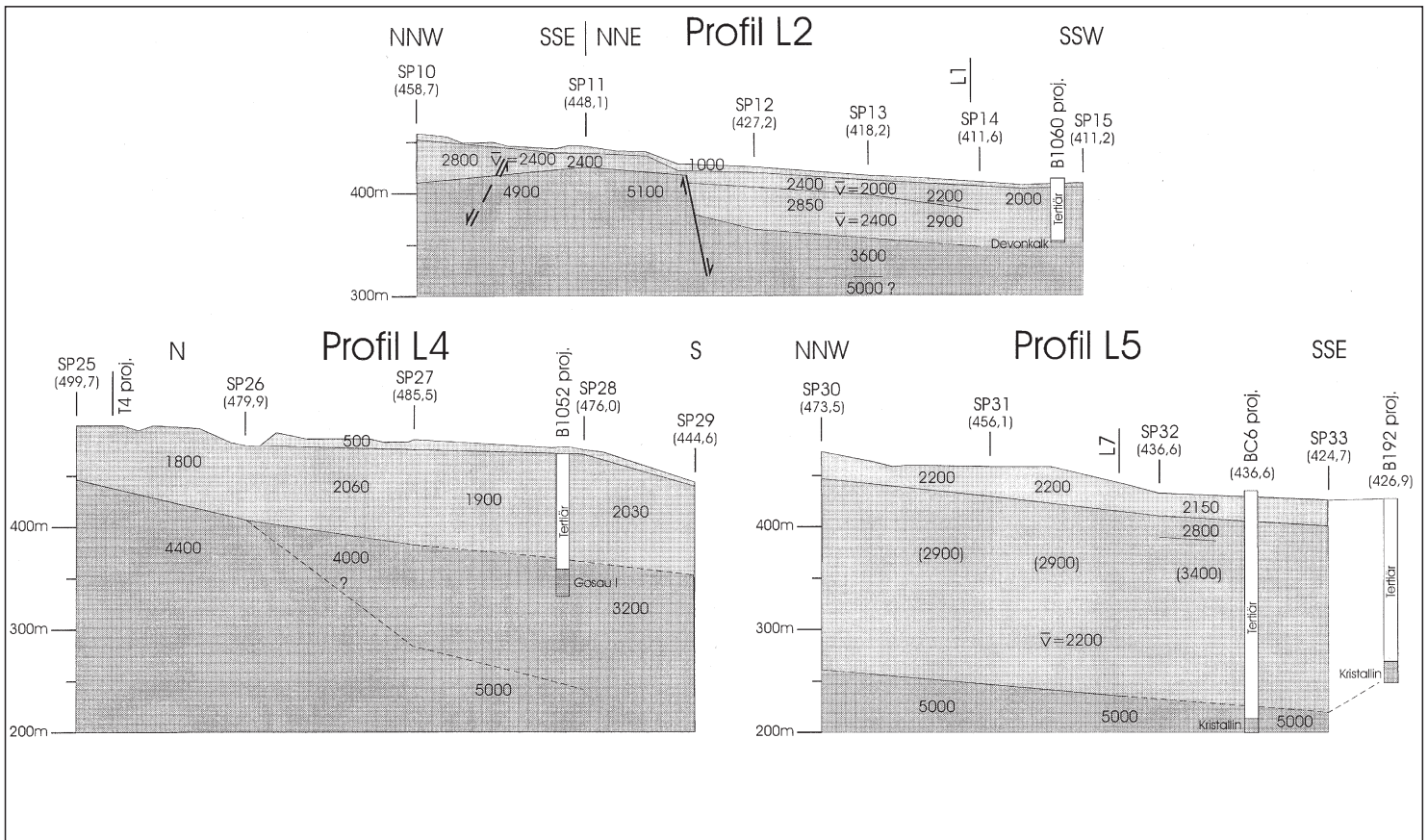


Abb. 5.
Refraktionsseismische Profile L2, L4 und L5.

markant ausgebildeter Bruch mit abgesenktem Südflügel (Sprunghöhe ca. 35 m) erstreckt sich zwischen SP11–12. Südlich desselben erfolgt eine bemerkenswerte Geschwindigkeitsänderung des V_4 -Refraktors: Während dieser im N die für Dolomite repräsentativen Geschwindigkeiten von 4900–5100 m/s aufweist, sind südlich davon nur Geschwindigkeiten von 3600–3750 m/s ausgeprägt. Dies würde für eine stärkere Zerklüftung des Kalks sprechen, sofern man nicht an einen eingeklemmten Gosarest denkt.

Profil L3

Das am NE-Rand des Messgebietes nördlich Lobmingberg in NW–SE- bzw. ESE-Richtung verlaufende Profil (Abb. 4) weist einen seismischen 3-Schichtfall – abgesehen von der geringmächtigen Verwitterungsschicht – auf.

Das Tertiär ist geschwindigkeitsmäßig zweigeteilt. Der obere Teil beginnt im N mit Geschwindigkeiten von 1300 m/s und nimmt rasch auf ca. 1850 m/s zu. Der südliche Teil nach der Lücke zwischen SP18–19 weist Geschwindigkeiten von 1850–2000 m/s auf, wobei ein Rechenwert von 1900 m/s verwendet wird. Die Mächtigkeiten nehmen von N nach S von ca. 25 m auf Werte von 40 m, lokal auch bis 47 m zu. Der tiefere Teil des Tertiärs zeigt im Nordteil Geschwindigkeiten von 2250–2400 m/s, im Süden scheinen Werte von meist 2650–2750 m/s auf, wobei ein Rechenwert von 2500 m/s zum Tragen kam. Die Geschwindigkeit des Beckenuntergrundes beträgt 3950–4200 m/s.

Die Tertiärmächtigkeiten im Nordteil variieren von 145–175 m, wobei ein generelles Einfallen nach SE anzunehmen ist.

Nach den Laufzeitkurvenästen des tiefsten Refraktors zu schließen, dürfte kein Detailrelief vorliegen. Etwa bei SP20 endet das südliche Einfallen des Untergrundes und biegt in eine nahezu horizontale Lagerung um. Wenig südlich

SP21 ist ein Bruch mit einer Spunghöhe von ca. 20–25 m möglich, wobei der Nordflügel abgesenkt ist.

Aufgrund des erheblichen Teufenunterschiedes von ca. 54 m zwischen SP18 und 19 wäre auch hier an einen antithetischen Bruch zu denken.

Profil L4

Dieses generell N–S-verlaufende Profil (Abb. 5) lässt im Nordteil eine einfache Geschwindigkeitsverteilung erkennen, nämlich – abgesehen von der Verwitterungsschicht – einen 2-Schichtfall.

Die Geschwindigkeiten im Tertiär sind durch gut passende Laufzeitäste belegt, wobei die Geschwindigkeiten von 1800–2060 m/s variieren. Es wurde mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2000 m/s gerechnet. Das Tertiär besteht im oberen Teil aus sandigen Schottern und Kiesen, Tonen mit einer Kohlenlage und Sanden. In ca. 113 m Tiefe wurden nahe SP28 bei Bohrung 1052 Sandsteine erbohrt, die als fragliche Gosau angesprochen wurden. Die Geschwindigkeiten im prätertiären Untergrund schwanken zwischen ca. 3200–4000 m/s, was durchaus für Gosau sprechen würde. Allerdings tritt bei den 990-m-Aufstellungen südlich von SP26 ein Refraktor mit höherer Geschwindigkeit (> 5000 m/s) auf, der vermutlich Kalken entsprechen dürfte. Mangels mehrfachüberdeckter Aufstellungen ist der Verlauf der Oberkante dieses Refraktors unsicher. Dies betrifft vor allem die Umgebung von SP28, wo ein der Gosau (3200 m/s) entsprechender Refraktor im Laufzeitkurvenast gegen SP27 praktisch nicht aufscheint. Die naheliegendere Interpretation wäre die, dass unter dem Refraktor mit $V = 1900$ m/s ein Ast mit einer Scheingeschwindigkeit von $V = 5900$ m/s folgt. Sofern – was anzunehmen ist – Gosau vorhanden ist, würde diese aufgrund von geringer Mächtigkeit im Bereich einer „überschossenen Schicht“ liegen.

Profil L5

Dieses Profil ist durch 2 Bohrungen (C 6 und 192) überprüft (Abb. 5). Unterhalb der Verwitterungsschicht liegt der V_2 -Horizont mit Geschwindigkeiten von 2150–2200 m/s und Mächtigkeiten bis 35 m. Darunter liegt ein Refraktor mit Geschwindigkeiten von 2800–2900 m/s, bei dem es sich um stärker verfestigte Bereiche innerhalb der tertiären Schotterserie handeln dürfte. Bei SP32 erstreckt sich ein Horizont mit einer Scheingeschwindigkeit von 3400 m/s in östlicher Richtung. Den Beweis liefert die Bohrung B 192, bei der in ca. 50 m Tiefe Konglomerate in einer Mächtigkeit von 51 m angetroffen wurden. Da darunter auch Kohle, Tone und sandige Schotter mit vermutlich niedrigerer Geschwindigkeit liegen, dürfte im unteren Teil des Tertiärs eine seismische Blindzone vorliegen. Es wurde daher bei der Tiefenberechnung eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 2200 m/s verwendet.

Der V_4 -Refraktor wurde nur bei den Aufstellungen von SP30 und SP33 mit einer Überdeckung von 100–150 m erfasst, wobei eine Mindestgeschwindigkeit von 5000 m/s wahrscheinlich ist. Der Beckenuntergrund dürfte nach den Bohrdaten von Metamorphiten (Serizitschiefer) gebildet werden. Das Relief der Kristallinoberkante ist nur näherungsweise erfasst.

Profil L6

Die kurze Linie L6 verbindet die Linie T1 mit Linie L1 und verläuft in sehr ungünstigem Gelände (Abb. 6). Deshalb und wegen des ungünstigen Energiedurchgangs konnte bei SP34 der Untergrund nicht eindeutig erfasst werden. Die großen lateralen Geschwindigkeitsänderungen im V_1 - bis V_3 -Horizont lassen auf ebensolche lithologische Änderungen schließen, wobei das Auftreten einer Rutschfläche östlich SP34 eine weitere Komplikation bringt. Die Geschwindigkeiten von 2700 m/sec im ungestörten Tertiär

weisen auf einen höheren Schotteranteil hin. Der Refraktor mit 3400 m/s dürfte mit dichten Schotterlagen zu parallelisieren sein. Der Beckenuntergrund kann nicht mit Sicherheit angegeben werden. Es wurde lediglich beim Schuss von SP36 ein kurzer Ast mit einer Scheingeschwindigkeit von 3800 m/s registriert; falls dieser Wert nahe der wahren V_5 -Geschwindigkeit liegt, würde dieser Geschwindigkeitsbereich für Gosau sprechen.

Profil L7

Das Profil schließt im W an Profil L5 an (Abb. 6), im Osten an den Südtail von Profil L1. Schwierigkeiten ergaben sich bei der Messung und Auswertung durch die raue Topographie mit Höhenunterschieden von über 80 m, weiters durch die im Tertiär auftretenden vertikalen und lateralen Geschwindigkeitsänderungen, die rechnerisch bei der Tiefenberechnung schwer zu erfassen sind.

Im Abschnitt SP37–38 liegt unter der geringmächtigen Verwitterungsschicht ein Refraktor mit $V = 1600$ m/s, unter welchem in 30–40 m Tiefe ein anscheinend aus Schottern bestehendes Tertiär, nämlich ein Horizont mit $V = 2600$ m/s, folgt. Beim SP37 stellt sich in einer Tiefe von über 170 m ein Scheinhorizont mit $V = 3300$ m/s ein (Konglomerat?). Noch komplexer sind die Tertiärgeschwindigkeiten zwischen SP38–39, wo sich im oberen Abschnitt der Schichtfolge 4 Horizonte mit Geschwindigkeiten von 1100, 2100, 2400 und 2800 m/s abzeichnen, wobei sich nach W und E eine gewisse Wechsellagerung und Auskeilen der Horizonte abzeichnet. Der Refraktor mit $V = 2700$ –2800 m/s scheint allerdings – die Topographie abgeschwächt nachbildend – im E in Tiefen unter 20 m anzustehen. Bei diesem Horizont dürfte es sich um stärker verfestigte Schotter handeln, deren Geschwindigkeit größer ist als die Durchschnittsgeschwindigkeit des Tertiärs. Da sich auf Profil L5 eine grobe Übereinstimmung bezüglich der Tiefe der Ter-

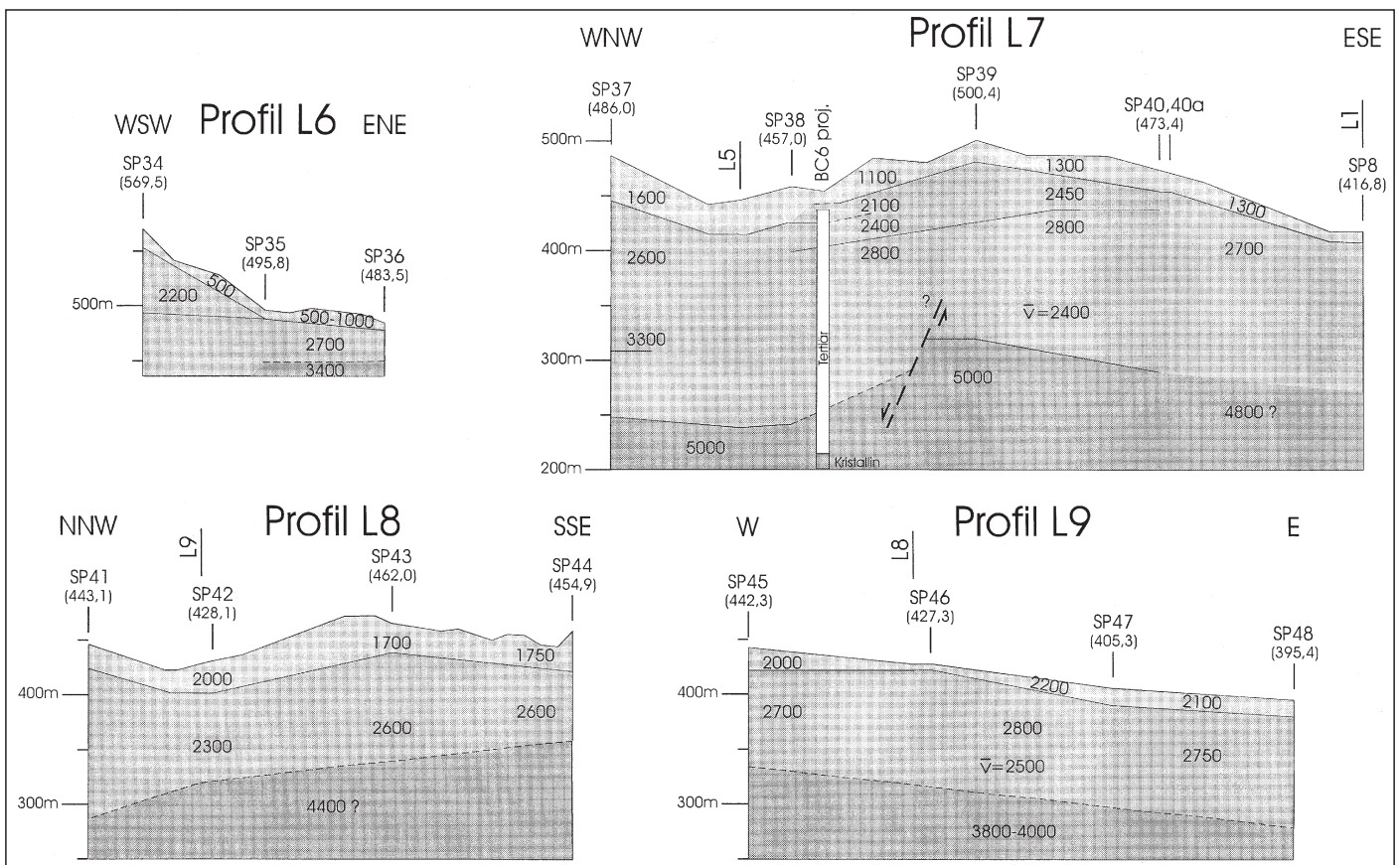


Abb. 6. Refraktionsseismische Profile L6–L9.

tiärbasis bei Verwendung einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2200 m/s ergeben hat, wurde dieser Rechenwert bei der Tiefenberechnung im Westteil des Profils verwendet, im Osten dagegen eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 2400 m/s, und dazwischen interpoliert. Durch den schlechten Energiedurchgang bei den Weitaufstellungen konnten vielfach nicht die Ersteinsätze abgelesen werden, sondern mussten spätere Phasen verwendet und rückgerechnet werden. Aus diesen und anderen Gründen sind die Tiefenwerte der Tertiärbasis und die Geschwindigkeit des prätertiären Refraktors mit nicht unerheblichen Fehlern behaftet. Dies betrifft auch den westlich von SP39 angenommenen Bruch. Über der Aufstellung SP39–40 ergibt sich von SP37 aus ein deutlicher Ast mit einer Scheingeschwindigkeit von ca. 7700 m/s. Nach der vorliegenden Version werden für den tiefsten Refraktor Geschwindigkeiten von 4300–5000 m/s angenommen.

Profil L8

Das NNW–SSE-verlaufende Profil erstreckt sich im südöstlichen Teil des Messgebietes und ist an das übrige Messnetz nicht angeschlossen (Abb. 6). Der V_1 -Horizont hat mit $V = 900$ m/s relativ hohe Geschwindigkeiten. Der V_2 -Refraktor variiert anscheinend von 1700–2000 m/s. Der V_3 -Refraktor – der dem tiefsten Teil des Tertiärs entspricht – weist im N Geschwindigkeiten von 2300 m/s auf, während südlich von SP42 diese auf ca. 2600 m/s zunehmen. Durch die zu kurzen Aufstellungen (max. 550 m Länge) ist die Erfassung des prätertiären Untergrundes schwierig. Lediglich beim Schuss von SP41 Richtung 43 wurde ein Ast mit hoher Geschwindigkeit erreicht. Beim Schuss von SP44 wurde der Untergrund anscheinend nur von wenigen Geophonpunkten überdeckt. Falls diese Zuordnung der Äste richtig ist, würde sich bei SP41 eine Tiefe des Untergrundes von 157 m und bei SP44 von 100 m, also ein Anstieg nach S ergeben. Die Geschwindigkeit des V_4 -Refraktors könnte demnach ca. 4400 m/s betragen.

Profil L9

Das W–E-Profil weist eine ähnliche Geschwindigkeitsverteilung auf wie das kreuzende Profil L8 (Abb. 6). Der V_2 -Horizont scheint mit Werten von 2000–2200 m/s allerdings höhere Geschwindigkeiten aufzuweisen. Der V_3 -Refraktor ist laufzeitkurvenmäßig gut belegt, wobei die Werte von 2700–2800 m/s variieren. Die Tiefenberechnungen wurden mit einer niedrigeren Durchschnittsgeschwindigkeit von 2500 m/s ausgeführt. Der V_4 -Refraktor ist höchst unsicher und nur durch wenige Laufzeitpunkte belegt. Diese lassen Geschwindigkeiten von 3800–4000 m/s als wahrscheinlich zu. Die Tiefenwerte sind als Mindestteufen des prätertiären Untergrundes zu betrachten.

5. Geologisch-tektonische Aussagen (Strukturkarte des tertiären Untergrundes)

Die erwähnten Probleme der Tiefenberechnung wirken sich auch auf die Strukturkarte des prätertiären Untergrundes, den V_5 -Refraktor, aus. Die Situation wird jedoch dadurch verbessert, dass im westlichen Abschnitt des Messgebietes zahlreiche Bohrungen abgeteuft wurden, die den prätertiären Untergrund erreicht haben. Der mäßigen Tiefengenauigkeit wurde auch durch die Wahl von 20-m-Isohypsen der Strukturwerte Rechnung zu tragen versucht. Trotz dieser Einschränkungen kann angenommen werden, dass die wesentlichen Strukturelemente durch das seismische Messnetz erfasst werden konnten, wobei die Bohrungen eine wesentliche Hilfe brachten. Im N dominiert ein vom Beckenrand nach S und W hereinreichender Rücken, dessen Achse östlich Lichtenegg etwa N–S streichen dürfte. Durch die Profile T1, T3 und T5 sowie die Bohrungen 1057, 1059, 586, 587 ist diese Struktur hinlänglich erfasst.

Nach SW gegen den Voitsgraben zu verschmälert sich dieser Rücken und dürfte etwa 800 m NNW vom P 577 m – dem Verlauf der 420-m-Isohypse zufolge – enden. Westlich und südwestlich von Lichtenegg scheint dieser Rücken von einer schmalen Mulde begleitet zu sein, deren Verlauf sich primär aus den Bohrdaten ableitet. Im Raum Zangtal ist eine breite Mulde ausgebildet, wobei ein Ausläufer sich nach N unter allmählicher Verschmälung fortsetzt. In der 400-m-Isohypse lässt sich diese Muldenstruktur noch bis ca. 0,5 km S P 611 m darstellen. Eine tektonische Begrenzung findet diese Mulde im Osten durch einen bedeutenden Bruch. Die auf der Westflanke der Mulde angenommene Störung ist hypothetisch und findet durch die Tiefenwerte am Süden von Profil L4 und Bohrung „a“ eine Stütze. Auf der Hochscholle des Bruchs bei P 577 ist eine Hochzone im Kreuzungsbereich vom Süden von Profil T1 und L6 ausgebildet, die in NNE-Richtung zum Beckenrand hinziehen dürfte.

Im südlichen Teil des Messgebietes Lobmingberg ist eine Muldenstruktur konstruiert, die als ein östlicher Ausläufer der Zangtaler Mulde angesehen werden kann, die Südflanke ist allerdings refraktionsseismisch nicht erfasst. Das Zentrum scheint durch die Bohrung 192 mit einem Tiefenwert von 256 m gegeben zu sein. Nach N und NNE erfolgt anscheinend ein ziemlich gleichförmiger Anstieg des Untergrundes bis zum Beckenrand hin.

Der bekannte Paläozoikumsaufbruch von Aichegg ist randlich nur durch das Profil L6 erfasst. Der Strukturverlauf konnte daher nur im SW-Teil angedeutet werden.

Im südöstlichen Teil des Messgebietes bei Stallhofen scheint durch die Profile L8 und L9 eine etwa W–E-streichende Muldenzone teilweise erfasst worden zu sein.

Die Struktur des Beckenuntergrundes wird wesentlich durch die Bruchtektonik mitbestimmt, für die der Paläozoikumsaufbruch von Aichegg ein gewichtiger Hinweis ist. Bezüglich des Streichens der Brüche ist die NNW–SSE-, N–S- und die NNE–SSW-Richtung vorherrschend. Alle Brüche sind synthetische Verwürfe. Die größte Sprunghöhe von ca. 150 m scheint der NNW-streichende Bruch bei P 577 m zu haben. Dieser scheint sich im S mit dem NNE-streichenden Bruch beim „Kaltenbrunner“ zu vereinigen, wobei sich auf der Hochscholle eine Teilmulde abbildet, in deren Zentrum die Bohrung 192 zu liegen scheint. Der Paläozoikumsaufbruch von Aichegg wird – wie die Profile L2 und L3 zeigen – durch einen generell N–S-streichenden W-fallenden Bruch begrenzt. Dieser dürfte allerdings nach S zu rasch enden, da am Süden von Profil L1 kein sicherer Hinweis mehr gegeben ist. Ca. 0,5 km südlich von P 507 m wurde ein W–E-streichender Bruch mit Sprunghöhen um 100 m angenommen. Dieser basiert auf den tiefen Werten um + 280 m ü.A. im Muldenzentrum am Nordende von Profil L8 und der Hochlage bei Aichegg, die bei dem auftretenden Isohypsenabstand die Annahme einer Störung dazwischen nahelegen.

Ein Vergleich mit der Strukturkarte des vortertiären Untergrundes von W. POHL (1976) zeigt eine gute Übereinstimmung bezüglich der Ausbildung größerer Strukturelemente, wobei der wesentlich kleinere Umfang des gegenständlichen Messgebietes zu berücksichtigen ist. Abweichungen ergeben sich hinsichtlich der Hochzone im N des Messgebietes und deren Übergang in die Elemente des Beckenrandes SSE von Hochregist. Auch in dem Raum um die W–E-verlaufende Landesstraße nach Stallhofen zeigen sich Unterschiede, die auf die Annahme einer Mulde und eines Bruches als südliche Begrenzung des Paläozoikumsaufbruchs zurückzuführen sind. Dagegen wäre nach POHL (1976) ein Einfluss des Paläozoikumsaufbruchs von Aichegg wesentlich weiter in das Tertiärbecken nach SE zu anzunehmen.

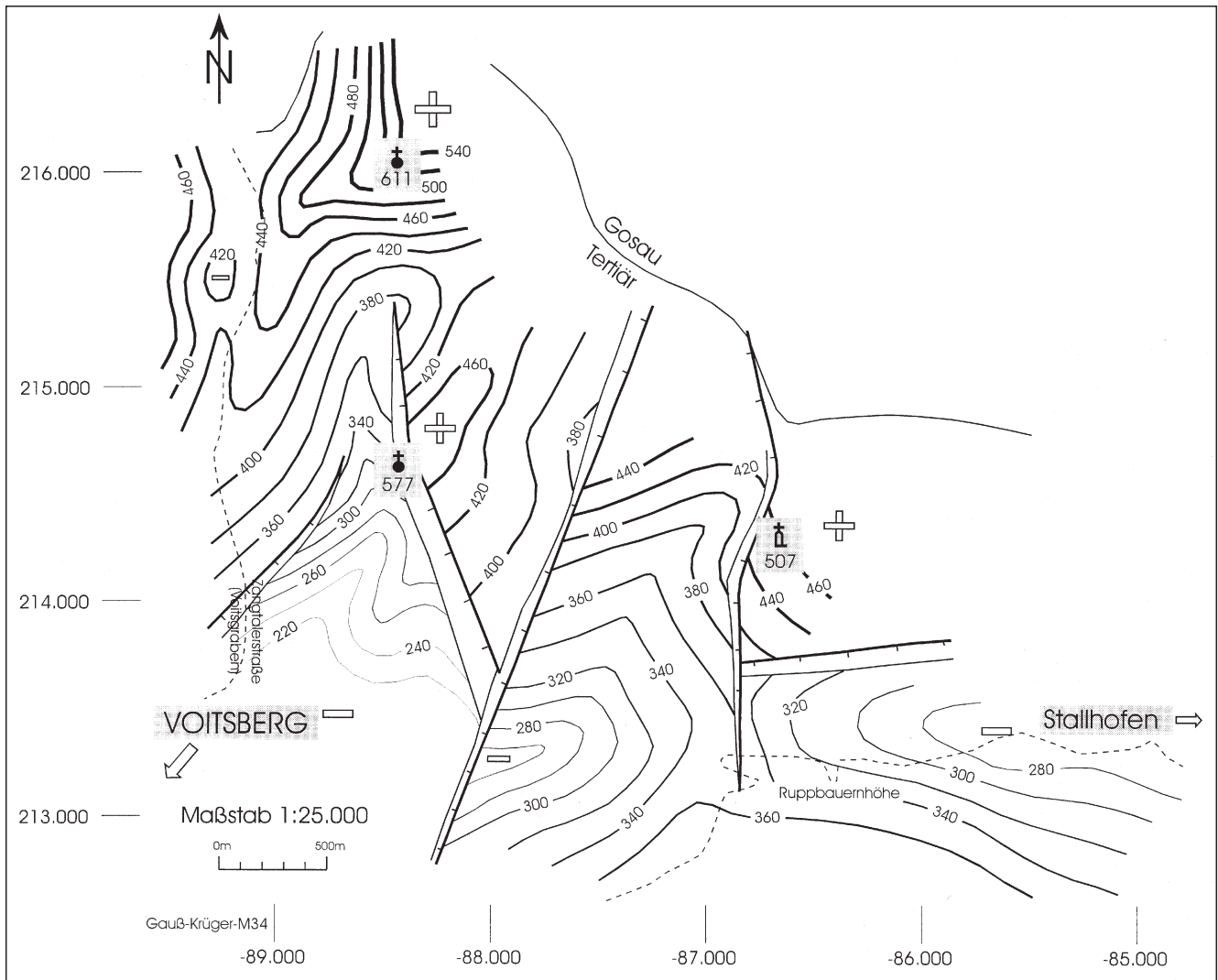


Abb. 7.
Strukturkarte [m] des prätertiären Untergrundes (Stand: April 1997).

6. Lithologie des Beckenuntergrundes (Geschwindigkeitskarte des prätertiären Untergrundes)

Aufgrund des Parameters der Geschwindigkeit des tiefsten Refraktors (V_4 - bzw. V_5 -Horizont) ist innerhalb gewisser Grenzen eine Aussage über die Lithologie des prätertiären Untergrundes möglich (Abb. 8). Nachhaltig gestützt und ergänzt wird diese lithologisch-stratigraphische Interpretation der Geschwindigkeiten durch zahlreiche Bohrungen.

Breiten Raum nimmt im Untersuchungsgebiet Gosau ein, welche Formation den gesamten nördlichen und nordöstlichen Beckenrand aufbaut. Geschwindigkeitsmäßig scheint die Gosau dem Bereich von 3200–4100 m/s zu entsprechen. Es wurde nun versucht, eine weitere Unterteilung in der Weise vorzunehmen, dass der Bereich von 3200–3500 m/s den tonigen Gesteinen (Mergel, Siltstein) entspricht und der höhere Geschwindigkeitsbereich mit Sandsteinen zu parallelisieren wäre. Im Nordabschnitt von Profil T 1 (Raum Tregist-Lichtenegg) treten nur wenig variierende Geschwindigkeiten von 3350–3400 m/s auf, was für eine Dominanz von tonigen Gosaugesteinen sprechen würde. Ein Wert von 4600 m/s auf Profil T5 steht dazu scheinbar im Widerspruch, ist jedoch datenmäßig nicht ganz sicher; dies gilt auch für den Wert von 4100 m/s bei SP4. Die ununterbrochene Erstreckung über den Tregistgraben nach W ist durch die Bohrungen 541, 542, 1044 belegt.

Mit NE–SW-streichender Grenze schließt nach S ein Streifen von Kalk (Trias? Devon?) an, der durch Geschwindigkeiten von 4400–5000 m/s vertreten wird. Die nahe bei Profilen gelegenen Bohrungen 586 und 587 bestätigen die vorgenommene lithologische Zuordnung. Westlich des Tregistgrabens beweisen die Bohrungen 526 und 527 die Fortsetzung des Kalkaufbruches. Auch nach S im Tregistgraben dürfte sich der Kalkzug fortsetzen, wie die Bohrung „a“, die ca. 1 km NE Voitsberg im Voitsgraben situiert war, annehmen lässt. Im Bereich der Höhenstraße am Lobmingberg erreicht der Kalkzug eine Breite von ca. 0,5 km.

Nach S schließt wiederum eine komplex geformte Zone von Gosau an. Geschwindigkeitsmäßig kann dieses Gosauvorkommen dreigeteilt werden: Im W, am östlichen Gehänge des Voitsgrabens auf Profil L4 treten höhere Geschwindigkeiten von 3500–4000 m/s auf, also ein Hinweis auf Gosausandsteine; die Bohrung bestätigt diese Annahme.

Im Bereich Höhenstraße – Lobmingberg lässt sich eine etwa NNE–SSW-streichende Zone mit mäßigen Geschwindigkeiten von 3200–3400 m/s auskartieren: dies würde für tonige Gosaugesteine sprechen. Der Großteil des Vorkommens im östlichen Teil des Messgebietes, etwa zwischen Profil L1 (bis SP7) und L3, weist höhere Geschwindigkeiten von 3600–4000 m/s auf, was auf Sandsteindominanz hinweist. Im südöstlichen Teil von Profil L3 wurden konstante Geschwindigkeiten von 4100 m/s festgestellt. Falls

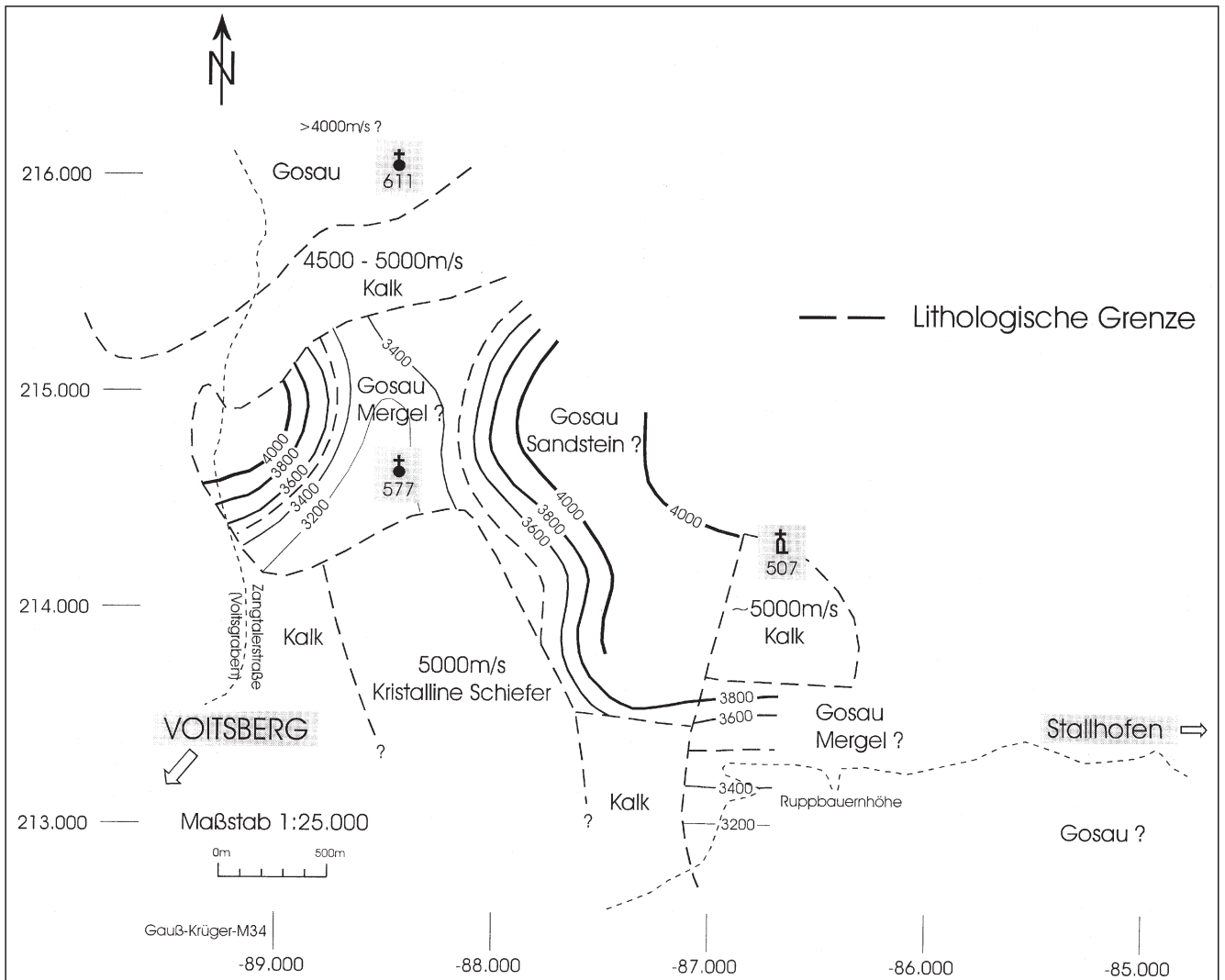


Abb. 8. Geschwindigkeiten [m/s] und Lithologie des prätertiären Untergrundes (Stand: April 1997).

es sich hierbei um tiefere Gosau handelt, wäre auch an das Auftreten von Konglomeraten zu denken.

Im SW-Teil des Messgebietes zeigten sich auf Profil L5 und L7 (bis SP40) konstante Untergrundgeschwindigkeiten von 5000 m/s. Dies ist ein Geschwindigkeitsbereich, der durchaus dichten Karbonaten entspricht, sodass eine Fortsetzung des Kalkvorkommens vom Voitsgraben nach Osten eine naheliegende Erklärung gewesen wäre. Tatsächlich hatten jedoch die Bohrungen 1056 und C6 Seritzschiefer erbohrt, sodass mindestens bis zum Ende von Profil L5 im Untergrund das Auftreten von kristallinen Schiefen anzunehmen ist. Die Unterscheidung von Kalken und kristallinen Schiefen ist auf Grund des vorliegenden seismischen Datenmaterials nicht möglich.

Am Ostende von Profil L7 ist ein nicht völlig gesicherter Geschwindigkeitswert von 4800 m/s angegeben. Tatsächlich hat die ca. 300 m südlich des Profils gelegene Bohrung 1060 Kalk im Untergrund das Auftreten ergeben. Es kann sich dabei aber nur um einen 0,4–0,5 km breiten Aufbruch handeln, da weiter im Osten (am Ostende von Profil L1 und Südteil von Profil L2, SP9–12) wiederum typische Gosaugeschwindigkeiten von 3200–3600 m/s angetroffen wurden.

Westlich Aichegg ist der bekannte als Devonkalk eingestufte Karbonataufbruch ein charakteristisches Element, das sich im Refraktor unter geringmächtiger Überdeckung durch hohe Geschwindigkeiten von 4900–5100 m/s manifestiert. Nach S grenzt an den Kalkaufbruch eindeutig

Gosau, die – wie die Geschwindigkeiten am Ostende von Profil L3 zeigen – auch den Nordrand bildet. Über die östliche Begrenzung des Kalkaufbruchs Aichegg kann mangels Messungen keine Aussage gemacht werden. Als Arbeitshypothese wurde die Möglichkeit untersucht, ob das Kalkvorkommen SE Kaltenbrunn (mit der Bohrung 1060) die südwestliche Fortsetzung von Aichegg sein könnte. Dann wäre der etwa N–S-streichende Bruch als linksseitige Querverschiebung zu interpretieren. Aus den vorliegenden Daten ist eine Entscheidung darüber nicht möglich.

Eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Interpretation der Untergrundgeschwindigkeiten gibt es auch im Raum Stallhofen (Profil L8 und L9). Auf Profil L8 wurden wenig streuende Geschwindigkeiten von 3800–4000 m/s festgestellt, welche als Gosausandsteine interpretiert werden können, was auch gut zu den Verhältnissen am Ostende von Profil L3 passt. Andererseits zeigt Profil L9 einen – allerdings wegen ungenügender Aufstellungslänge etwas unsicheren – Geschwindigkeitswert von 4400 m/s, der auch einem etwas klüftigen Kalk entsprechen könnte.

Auch wenn es sich im Abschnitt vom Südende von Profil L2 und L8 um Gosau im Untergrund handelt, muss in dem Bereich bei der Landesstraße nach Stallhofen mit einem stärkeren lithologischen Wechsel innerhalb dieser Formation gerechnet werden. Die angegebenen Geschwindigkeiten decken sich weitgehend mit den Werten, die von A. PFEIFFER und FISCHER bereits bei einer ersten refraktions-

seismischen Messkampagne in der Weststeiermark gefunden wurden (H. LACKENSCHWEIGER, 1952).

- Gosau: 3200–3800 m/s
- Paläozoikum: 4200–5000 m/s
- Kristallin: 5500 m/s.

7. Lithologie und Geschwindigkeiten der tertiären Sedimente

Die Geschwindigkeiten des unverwitterten Tertiärs wurden in Kartenform dargestellt, um Trends erkennen zu können, die mit der lithologischen Verteilung und der Sedimentationsgeschichte in Zusammenhang stehen könnten.

Wie von anderen Mulden bekannt ist, haben tonig-sandige Sedimente des weststeirischen Tertiärs Geschwindigkeiten meist bis 2000 m/s, höchstens 2200 m/s. Höhere Geschwindigkeiten stehen mit dem Auftreten von mehr oder weniger dicht gelagerten Schottern in Zusammenhang. Wie die Bohrungen beweisen, ist es auch zur Bildung von Konglomeraten gekommen, die dann die höchsten Geschwindigkeiten in der tertiären Schichtfolge (> 3000 m/s) aufweisen. Es sollte dabei auch möglich sein, aus dem Verlauf der Hochgeschwindigkeitszonen Schlüsse auf die Schüttungsrichtung der Schotter zu ziehen.

Es ist jedoch möglich, dass unterhalb der verfestigten Schotter wiederum Sedimente mit niedrigeren Geschwindigkeiten, also Feinklastika, auftreten. Es ergibt sich dann der Fall einer überschossenen Schicht, worauf bereits bei

der Besprechung der Profile hingewiesen wurde. In diesem Fall bildet der V_4 -Refraktor die Grundlage der geschwindigkeitsmäßigen Darstellung. In den Fällen, wo die Hauptmasse des Tertiärs durch einen einheitlichen Horizont repräsentiert wird, wurde dessen Geschwindigkeit zugrundegelegt. Im Falle relativ niedriger Geschwindigkeiten – also etwa unter 2000–2200 m/s – kann daraus der Schluss auf eine Dominanz tonig-schluffig-sandiger Schichten auch im unteren Abschnitt der tertiären Schichtfolge gezogen werden.

Für die Abgrenzung der grobklastischen, verfestigten Serie wurde in erster Annahme die Geschwindigkeits-Isolinie von 2700 m/s herangezogen, für die Festlegung der tonigen Fazies die 2200-m/s-Isolinie angenommen. Der Bereich dazwischen wird als Übergangszone verstanden, in der Einschaltungen von Schottern möglich sind.

Die Geschwindigkeitskarte des tieferen Tertiärs (Abb. 9) lässt deutlich erkennen, dass im Messgebiet eine langgestreckte N–S- bis NW–SE-streichende Zone hoher Geschwindigkeit ausgebildet ist, die sich vom Raum SE Hochregist bis knapp vor die Ruppbauernhöhe im SE erstreckt.

Im N von Profil T1 bildet diese Zone einen nach W konvexen Bogen, der südlich P 611 m durch das Heranstreichen einer Zone niedriger Geschwindigkeiten (2200 m/s) unterbrochen wird. Ca. 0,5 km SP 611 m ist ein Extremum mit Werten von über 3500 m/s ausgebildet, das durch Überwiegen von Konglomeraten und verfestigten Schot-

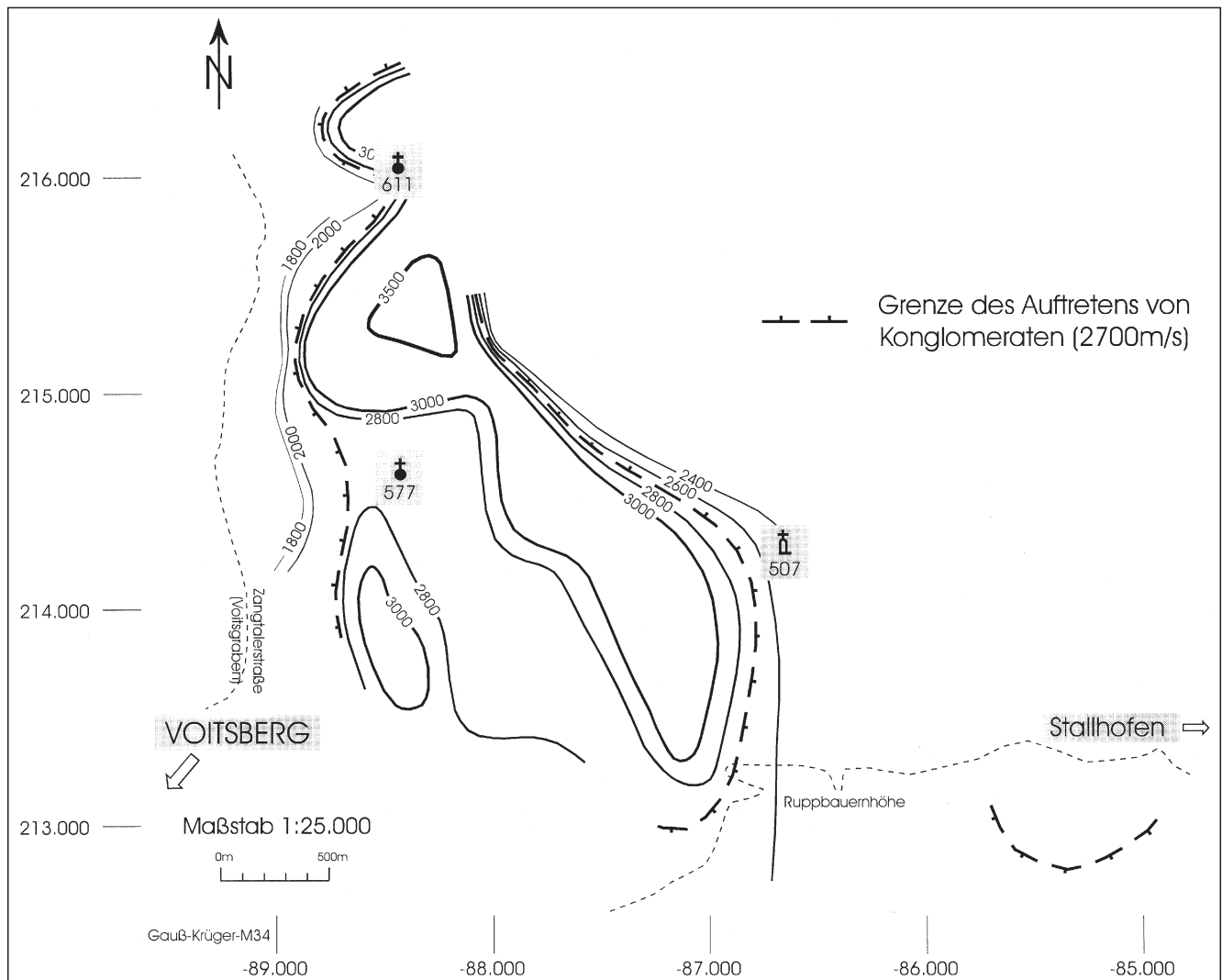


Abb. 9. Geschwindigkeitskarte [m/s] des unteren Abschnittes des Tertiärs (V_4 -Horizont; Stand: April 1997).

tern nach dem Bohrprofil von Bohrung 587 verursacht wird. Nach Osten und Nordosten ist die Abgrenzung dieser Konglomeratzonen mangels Profile offen. Nach SE zu setzt sich der Hochgeschwindigkeitsbereich eindeutig in das Areal zwischen den Profilen L1, L3 und L2 fort. Etwa 0,4 km SSW P 577 m scheint ein isoliertes Teilmaximum mit Geschwindigkeiten bis 3300 m/s ausgebildet zu sein, das sich bis in den Raum N Voitsberg erstrecken könnte.

Nach S zu scheint ein breiterer Übergangsbereich mit Dominanz von Schotterlagen zu bestehen, da die Geschwindigkeiten auf den entsprechenden Profilabschnitten nicht unter 2600 m/s abnehmen. Dies ergibt sich auch aus der Bohrung 106. Auch im Raum W Stallhofen dürfte eine grobklastische Fazies vorherrschen, da die Geschwindigkeiten auf Profil L8 und L9 zwischen 2600–2800 m/s variieren; Bohrungen fehlen in diesem Raum allerdings. Im Raum des Voitsgrabens herrscht dagegen eine tonig-sandige Fazies vor, die gemäß Profil L4 und Bohrung 1052 mit Geschwindigkeiten von 1800–2000 m/s einhergeht.

Eine naheliegende Erklärung der vorliegenden Geschwindigkeitsverteilung ginge in die Richtung, dass eine fluviatile Schüttung vom Grundgebirgsrand NE Hochregist ihren Ausgang nimmt und sich nach S und SE hin rasch verbreitert („braided-stream Sedimentation“?).

Die Geschwindigkeitskarte des höheren Abschnittes des Tertiärs (Abb. 10) entspricht dem V_3 -Horizont und zeigt allgemein eine stärkere Gliederung als im tieferen Tertiär. Die

Geschwindigkeiten variieren meist zwischen 1800–2600 m/s, lokal werden 2800 m/s erreicht. Dabei zeichnen sich mehrere Geschwindigkeitsmaxima und -minima ab.

Letztere werden als Gebiete mit einer tonig-schluffigen Fazies interpretiert, wobei wie beim tieferen Tertiär die Grenze nach oben bei 2200 m/s angenommen wird.

Die höheren Geschwindigkeiten würden dann auf das Auftreten von Schotter- und Sandsteinlagen zurückzuführen sein. Im N, etwa im Bereich von Profil T1 erstreckt sich eine langgestreckte Zone hoher Geschwindigkeiten, die N–S, weiter im S sodann NNW–SSE streicht.

Im Raum Lichtenegg und SE Hochregist deutet eine stärkere Scharung der Geschwindigkeits-Isolinien auf einen stärkeren lateralen Gesteinswechsel hin. Im Raum Lobmingberg ist dieses Maximum schmaler als im tieferen Tertiär und weiter im W verlaufend, sodass sich ein NNW–SSE-Streichen ergibt. Eine weitere Erkenntnis ist die, dass im Voitsgraben-Tregistbach die tonig-schluffige Fazies offenbar im gesamten Tertiär dominiert. Etwa auf der Höhe von P 577 m biegt die 2000 m/s Isolinie weit nach Osten hinaus.

Am Westende von Profil L7 ist ebenso wie im tieferen Tertiär ein Geschwindigkeitsmaximum ausgebildet. Dieses wird vom erwähnten Hochgeschwindigkeitsgebiet vom Lobmingberg durch ein schmales Geschwindigkeitsminimum getrennt, das sich mit NW–SE-Streichen in Richtung Tregistbach fortsetzt.

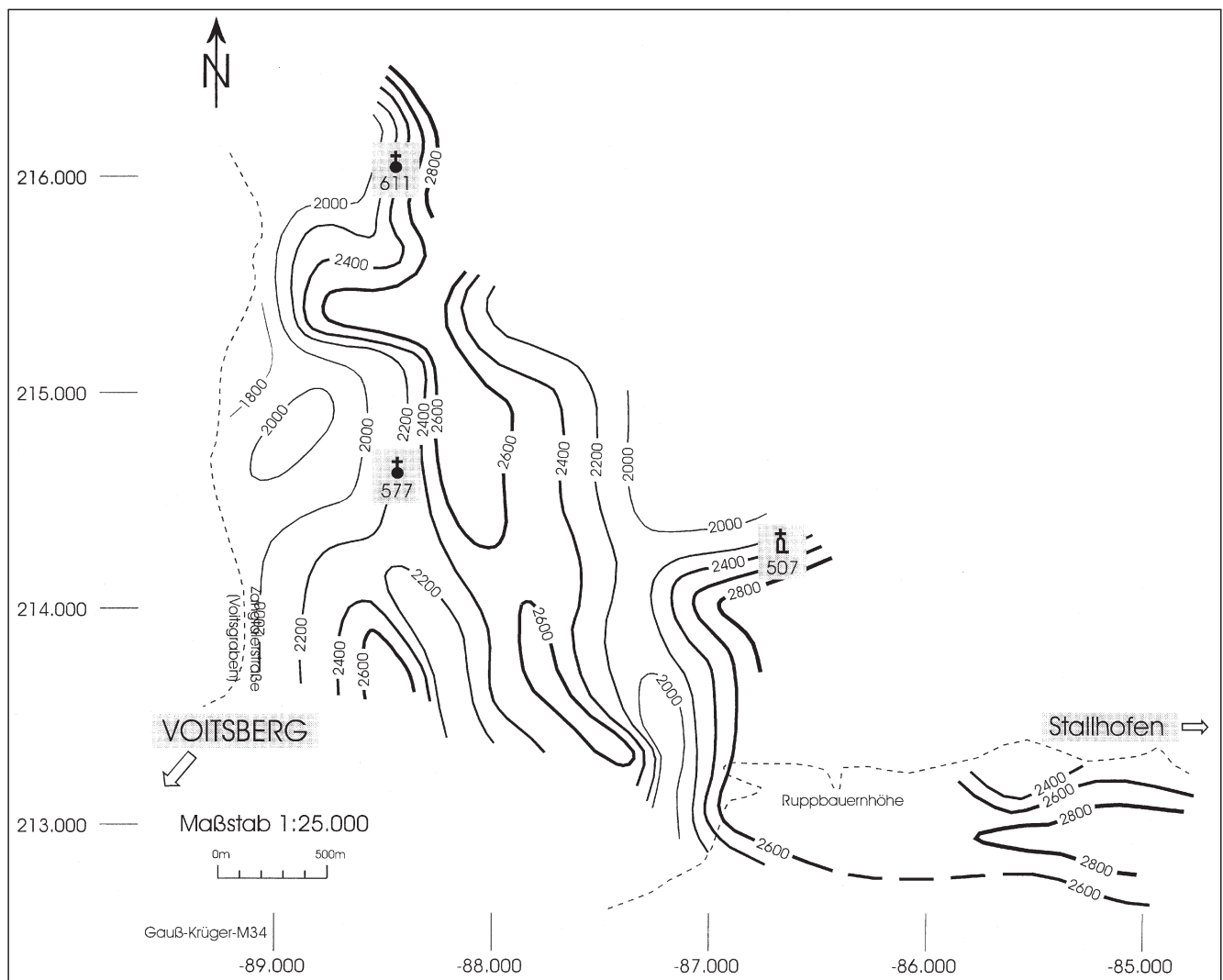


Abb. 10. Geschwindigkeitskarte [m/s] des höheren Abschnittes des Tertiärs (V_3 -Horizont; Stand: April 1997).

Der Nordostteil des Messgebietes ist durch abnehmende Geschwindigkeitswerte gekennzeichnet, wobei im SE-Teil von Profil T3 eine breitere Zone mit Geschwindigkeiten von 1900 m/s sich abbildet, also Vorherrschen von Tonen. Diese Zone niedriger Geschwindigkeiten setzt sich in einem leichten Bogen weiter nach S zu fort und verschmälert sich W der Ruppbauernhöhe ganz beträchtlich. Im SE ist im Nordteil von Profil L2 – also etwa über dem Paläozoikumsaufbruch von Aichegg – ein Geschwindigkeitsmaximum angedeutet. Dieses könnte mit einem anderen Geschwindigkeitsmaximum in Verbindung stehen, das sich südlich der Landesstraße nach Stallhofen auf den Profilen L8 und L9 abzeichnet.

Für das Hauptmaximum scheint ein Zusammenhang mit einer Schottererschüttung vom Grundgebirgsrand östlich Hochregist wahrscheinlich. Ein Zusammenhang mit der Struktur des Beckenuntergrundes könnte insofern gegeben sein, als die Geschwindigkeitsminima (tonige Fazies) verstärkt über Muldenzonen und auf der Tiefscholle von Brüchen auftreten. Bei der Messkampagne 1950/51 von A. PFEIFFER und FISCHER wurden für das Tertiär im Raum Stallhofen bis Tobelbad Geschwindigkeiten von 2100–2800 m/s zugrundegelegt (H. LACKENSCHWEIGER, 1952).

8. Vorschläge für weiterführende Untersuchungen

Eine Auswertung der bisher vorliegenden geologischen und geophysikalischen Arbeiten führt zu dem Schluss, dass der Kenntnisstand der Teilbuchten im NW-Rand des weststeirischen Tertiärs weiterführender Untersuchungen bedarf. Dies betrifft vor allem den außerhalb der durch Kohleaufschlussbohrungen gelegenen Raum. Da nach dem derzeitigen Stand mit Bohrungen auf größere Tiefe nicht gerechnet werden kann, wäre ein breiterer Einsatz von geophysikalischen Verfahren überlegenswert. Bei der Refraktionsseismik wäre durch die in der Zwischenzeit erfolgten großen Fortschritte im Gerätebau (Digitalseismik) ein Teil der geschilderten Schwierigkeiten zu beheben. Es bleibt jedoch die Notwendigkeit von Weitaufstellungen und die Schwierigkeiten der Auswertung durch vertikal und lateral wechselnde Geschwindigkeiten. Unter Berücksichtigung einer wirtschaftlichen Durchführung der Messungen dürfte daher die Refraktionsseismik nur bis zu einem Tiefenbereich von ca. 150 m empfehlenswert sein. Für größere Tiefen bietet sich grundsätzlich die Reflexionsseismik an, die bei entsprechender Messtechnik auch Reflexionen bis in den oberflächennahen Bereich (ca. 50 m) zu registrieren gestattet. Die ersten diesbezüglichen Versuche am Nordrand der Oberndorfer Mulde waren allerdings nicht erfolgversprechend. Ohne weitere Tests in anderen Gebieten sollte daraus jedoch kein genereller Schluss auf die Anwendbarkeit der Methode im Randbereich des Beckens gezogen werden. Unerlässlich wäre die Reflexionsseismik, wenn die Frage des prägosauischen Untergrundes untersucht werden sollte. Die Ergebnisse der OMV-AG in der Kainacher Gosau sind diesbezüglich ein wertvoller Ansatz (A. KRÖLL & R. HELLER, 1978).

Für die Erfassung des tieferen Untergrundes könnten im Tiefenbereich bis 500 m transient-elektromagnetische Messungen und elektromagnetische Multifrequenzsondierungen Aussagen liefern. Es liegen jedoch noch keine Erfahrungen über die Aussagemöglichkeiten unter den konkreten geologischen und petrophysikalischen Verhältnissen vor. Dagegen sind die Versuche mit geoelektrischen Tiefensondierungen am Nordrand der Oberndorfer Mulde durchaus erfolgversprechend, vor allem was die Auflösung der tertiären Schichtfolge betrifft. Wegen der erforderlichen Aufstellungslängen sollte die Anwendung auf den Tiefenbereich von ca. 100 m begrenzt sein.

Es wäre auch an einen verstärkten Einsatz der Gravimetrie in Form von Detailmessungen zu denken. Methodische Schwierigkeiten ergeben sich bei der Auswertung durch die variablen Dichtewerte der tertiären Gesteine, die sich in gewissen Unsicherheiten bei der Störkörperberechnung niederschlagen.

Dank

Für die Genehmigung zur Veröffentlichung der Arbeit wird Herrn Vorstandsdirektor Dipl.-Ing. R. WITHALM (Graz-Köflacher Bergbau und Eisenbahn GmbH) aufrichtig gedankt, ebenso dem seinerzeitigen Vorstand, in dessen Auftrag die Untersuchungen ausgeführt worden waren. Die erfolgreiche Durchführung der Messungen wäre nicht möglich gewesen ohne den tatkräftigen Einsatz der Mitarbeiter des Instituts für Geophysik der Montanuniversität Leoben, der Herren Prof. Dr. G. WALACH und Amtsrat Ing. J. ATZMÜLLER, denen hiermit bestens gedankt wird. Für die nachhaltige Unterstützung bei der Planung und Durchführung wird Herrn Markscheider Dipl.-Ing. A. MAGELE, Herrn DDR. HAJEK und Herrn Dipl.-Ing. KUSTER verbindlich gedankt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung zu danken, auf dessen Projekt 10332-GEO bei der Reinterpretation zurückgegriffen werden konnte.

Literatur

- EBNER, F., FENNINGER, A. & HOLZER, H.L. (1980): Die Rannachfazies des Grazer Paläozoikums. – Mitt. Abt. Geol. Bergbau Landesmus. Joann., **41**, 49–65.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.R. (1975): Die Geologie des Grazer Berglandes. – 2. Aufl., Mitt. Abt. Geol. Landesmus. Joanneum, **1**.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.R. (1984): Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen. – Geol. B.-A., 126 S., 26 Abb., 1 Karte.
- 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.
- KRÖLL, A. & HELLER, E.R. (1978): Die Tiefbohrung Afling U1 in der Kainacher Gosau. – Verh. Geol. B.-A., **1978**, 23–43.
- LACKENSCHWEIGER, H. (1952): Seismische Aufnahmen in der Weststeiermark. – Berg- u. Hüttenmännische Monatshefte, **97/6**, 111–113.
- NEBERT, K. (1983): Die Kohle als Faziesglied eines Sedimentationszyklus. – Berg- u. Hüttenmännische Monatshefte, **122**, 106–122, Wien.
- OBERHAUSER, R. (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. – Wien (Springer).
- PALMER, D. (1980): The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. – 104 S., Sidney (Society of Exploration Geophysicists).
- POHL, W. (1976): Zur Geologie des Braunkohlebeckens von Köflach-Voitsberg (Steiermark). – Berg- u. Hüttenmännische Monatshefte, **121/10**, 420–427.
- SCHMÖLLER, R. (1982): Some aspects of handling velocity inversion and hidden layer problems in seismic refraction work. – Geoph. Prospecting, **30**, 735–751.
- TOLLMANN, A. (1986): Geologie von Österreich. – 3. Band, Gesamtübersicht, 718 S., 145 Abb., 3 Taf., Wien (Deuticke).
- WEBER, F. (1974): Bericht über die refraktionsseismischen Messungen im Raum Lobmingberg – Stallhofen. – Unveröff. Forschungsbericht, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, 13 S.
- WEBER, F., SCHMÖLLER, R. & SCHMID, Chr. (1985): Reflexionsseismische Messungen mit hohem Auflösungsvermögen zur Strukturerkundung in der Braunkohle. – Freiburger Forschungshefte, Serie C 408, 20–37, Freiberg.

- WEBER, F., SCHMÖLLER, R., FRUHWIRT, R. & HARTMANN, G. (1993): Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Nordteil des Weststeirischen Tertiärbeckens. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **16**, 165–178, Wien.
- WEBER, F. & GRASSL, H. (1997): Refraktionsseismische Messungen im weststeirischen Tertiär nördlich Voitsberg (Oberndorfer Mulde). – Archiv f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Wien.
- WEBER, F. (1975): Bericht über die refraktionsseismischen Messungen im Raum Köflach (Tregist Ost). – 8 S., Unveröff. Forschungsbericht, Inst. f. Geophysik, Montanuniversität Leoben.
- WEBER, L. & WEISS, A. (1985): Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlevorkommen. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **4**, Wien.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 17. Juli 1998