

**Die refraktionsseismischen Messungen im Murtal
zwischen Peggau und Eggenfeld (Mittelsteiermark)
und ihre Bedeutung für die hydrogeologische Erforschung
der quartären Schotterbecken**

Von F. WEBER (Leoben)

Einleitung

1. Messungen und Auswertung

- a) Meßprogramm und Feldarbeiten
- b) Grundlagen der Auswertung
- c) Die Geschwindigkeitsverhältnisse
- d) Fehlerquellen und ihre Auswirkung

2 Ergebnisse

- a) Das Relief des Felsuntergrundes
- b) Die Quartärmächtigkeiten
- c) Die Zusammenhänge zwischen den seismischen Geschwindigkeiten und den geologischen Verhältnissen

3. Schlußbetrachtungen

Zusammenfassung

Einleitung

Die quartäre Talfüllung des Murtales bei Friesach enthält ein bedeutendes Grundwasservorkommen, das bereits seit längerer Zeit Gegenstand intensiver geologischer und hydrologischer Untersuchungen ist.

In diesem Zusammenhang wurden im Frühjahr 1966 für das Wasserwerk der Stadt Graz auch refraktionsseismische Messungen ausgeführt, um vor allem günstige Ansatzpunkte für die geplanten Horizontalfilterbrunnen in der schon damals vermuteten Tiefenrinne zu erhalten. Es erwies sich jedoch bald als notwendig und wünschenswert, über diesen ursprünglichen Zweck hinaus die Untersuchungen in einem großräumigeren Rahmen auszuführen, so daß dann das ganze Gebiet östlich der Mur zwischen Kleinstübing und Eggenfeld und im Jahre 1967 auch der Abschnitt zwischen Peggau und Kleinstübing im Detail vermessen wurden (Fig. 1). Alle diese Messungen erfolgten im Auftrag der Landesbaudirektion der Steiermärkischen Landesregierung, Referat für Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, und es stellt die vorliegende Arbeit den ersten in sich abgeschlossenen Teil einer Reihe von ähn-

lichen Projekten dar, die in den letzten Jahren zur systematischen Untersuchung der steirischen Grundwassergebiete ausgeführt wurden.

Die refraktionsseismische Methode wurde nicht nur auf Grund guter Erfahrungen bei ähnlichen Projekten und aus theoretischen

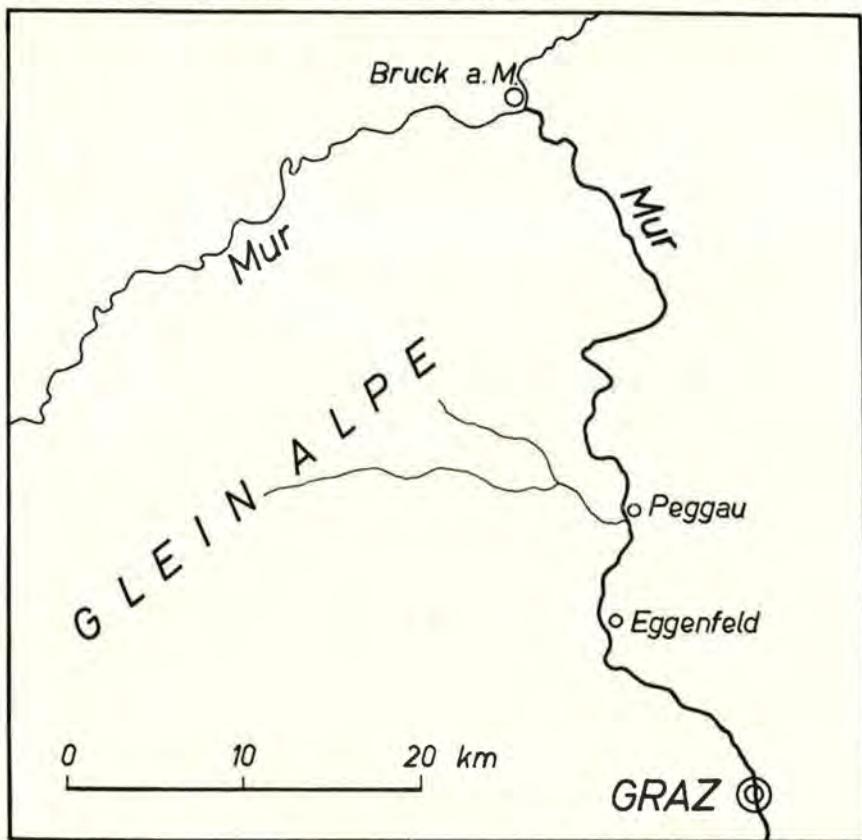


Fig. 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes in der Mittelsteiermark.

Überlegungen heraus gewählt, sondern auch deswegen, weil eine geoelektrische Versuchsserie vielfach unbrauchbare Resultate gebracht hat, was auf die zahlreichen Störquellen dieses Gebietes (Hochspannungsleitungen, Bahn, Besiedlung usw.) zurückzuführen ist.

Von den geologischen Unterlagen sind für die Interpretation der seismischen Messungen vor allem die Bohrungen von besonderer Bedeutung, die das Quartär durchteuft haben. Das Gros derselben befindet sich im Raum Friesach, wobei zehn Bohrungen vor Ausführung des seismischen Programms als Anschlußpunkte zur Verfügung standen, weitere zehn Bohrungen wurden erst 1967 in der Tiefenrinne abge-

teuft und konnten zu einer umfassenden Kontrolle der seismischen Daten benutzt werden. Auch im Gebiet von Peggau existieren zahlreiche Bohrungen, die in den letzten Jahrzehnten aus verschiedenen Anlässen (Erzprospektion, Kraftwerksbau, Brückenbau) abgeteuft worden waren. Insgesamt standen bei Abschluß der Auswertung 29 Bohrungen zur Verfügung, die den paläozoischen Untergrund erreicht haben.

Durch diese Kombination von refraktionsseismischen Detailmessungen und Tiefenaufschlüssen gehört also das Untersuchungsgebiet zu den bestaufgeschlossenen Grundwasserfeldern Österreichs. Die dabei gewonnenen Erfahrungen können daher auch auf Projekte mit analogen hydrogeologischen Verhältnissen übertragen werden und haben auch eine gewisse grundsätzliche Bedeutung, zumal auch als „Nebenprodukt“ Beiträge zu anderen Fragen (wie Auswahl der günstigsten Schieß- und Berechnungsverfahren, Tiefengenauigkeit und Auflösungsvermögen der einzelnen Auswertungsmethoden, Zusammenhänge mit der Quartärgeologie usw.) sich ergeben haben.

Der Initiative und dem Weitblick der Steiermärkischen Landesregierung, die durch das Referat für Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung seit Jahren die steirischen Grundwassergebiete erforschen läßt, und des Wasserwerks der Stadt Graz, in deren Auftrag die seismischen Messungen ausgeführt wurden, ist es zu danken, daß auch die Geophysik als Partner bei hydrogeologischen Untersuchungen Eingang gefunden hat. Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem leider so früh verstorbenen Leiter des Referats für Versorgungswasserwirtschaft, Herrn Oberbaurat Dipl.-Ing. Dr. W. TRONKO, und dem nunmehrigen Leiter des Referats für Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Herrn Oberbaurat Dipl.-Ing. Dr. L. BERNHART, sowie den zuständigen Herren der Stadtwerke Graz, Herrn Senatsrat Dipl.-Ing. F. KASSECKER, Oberbaurat Dipl.-Ing. TH. PUSCHNIK, Dipl.-Ing. H. NOVAK, für die Betreuung mit der Durchführung des Projekts, die verständnisvolle Zusammenarbeit und die Genehmigung zur Veröffentlichung bestens zu danken. Ich darf weiters Herrn Dr. H. ZETINIGG und Dr. E. FABIANI für die geologische Betreuung bei der Durchführung der Feldarbeiten und bei der Interpretation der Ergebnisse herzlich danken. Zu besonderem Dank bin ich auch Herrn Prof. Dr. H. SEELMEIER (Technische Hochschule Graz) für die Überlassung von Bohrprofilen und unveröffentlichten geologischen Unterlagen des Raumes Peggau verpflichtet. Ferner danke ich meinen Mitarbeitern, Herrn Dipl.-Ing. H. JANSCHEK und Herrn Dipl.-Ing. H. MAURITSCH sowie Herrn F. RECKBER für ihre Initiative und ihren Einsatz bei der Durchführung der Feldarbeiten.

1. Messungen und Auswertung

a) Meßprogramm und Feldarbeiten

Die Feldarbeiten wurden im Raum Friesach im Mai 1966 und im Gebiet von Peggau-Deutschfeistritz im Oktober 1967 ausgeführt, wobei noch einzelne Ergänzungen im Oktober 1968 erfolgten.

Insgesamt wurden 16 seismische Linien mit einer Gesamtlänge von 15,5 km projektiert, auf denen sodann 96 Schußbohrungen niedergebracht wurden. Es ist also das gesamte Untersuchungsgebiet hinreichend dicht vermessen, so daß in Verbindung mit den Aufschlußbohrungen alle wesentlichen Strukturelemente des Untergrundes erfaßt werden konnten. Der Abstand zwischen den Schußbohrungen (Aufstellungs-länge) betrug in der Regel 180 oder 200 m, wobei Abweichungen nur in Einzelfällen auf Grund der örtlichen Gegebenheiten (Nähe von Häusern, Bahn, Stromleitungen) vorgenommen werden mußten. Die Bohrlochtiefe betrug je nach der Zusammensetzung der oberen Lockerschichten 1,5 bis 3,0 m, für die Impulserzeugung erwiesen sich Sprengladungen von 0,5 bis 1,0 kg pro Schuß als ausreichend. Größere Sprengstoffmengen waren vor allem in den lockeren Sanden nahe der Mur sowie im Bereich der Terrassenschotter erforderlich.

Entsprechend der Zahl der seismischen Kanäle wurden 12 Geophone pro Aufstellung verwendet. Dabei betrug der Abstand der ersten vier Geophone vom Schußpunkt aus gerechnet je 5 m, die Abstände zwischen den übrigen Geophonen je 20 m. In Schußpunktnähe wurden deswegen kürzere Geophonabstände gewählt, um die Geschwindigkeit der rasch sich ändernden Verwitterungsschicht besser und genauer bestimmen zu können. Ein Schußpunktabstand von 180 m erwies sich auch im Bereich der größeren Schottermächtigkeiten (maximal ca. 30 m) als ausreichend zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Untergrundes, da der Geschwindigkeitsast desselben auch in diesen Fällen stets durch 5 bis 6 Spuren ermittelt werden konnte. Die Art des Meßverfahrens hängt unter anderem auch von der gewählten Auswertungsmethode ab. Für den gestellten Zweck kommt nur das Profilschießen (Gegenschießen) in Frage, wobei eine zwischen zwei Schußbohrungen ausgelegte seismische Aufstellung von beiden Richtungen her nacheinander geschossen wird. Ein wesentlich größerer Arbeitsaufwand ist erforderlich, wenn jede Aufstellung überlappt geschossen wird. Hierbei wird jede Aufstellung nicht nur vom nächsten Schußpunkt aus — also im Abstand 0 bis 180 m — geschossen, sondern auch vom übernächsten Schußpunkt her, also im Abstand 180 bis 360 m. Diese Methode hat den Vorteil einer besonders guten Geschwindigkeits- und Tiefenkontrolle. Es müssen nämlich die von der nahen und der weiten Aufstellung herrührenden Geschwindigkeitsäste des Untergrundes denselben Wert ergeben, da der Weg der refraktierten Welle der gleiche ist. Dasselbe gilt auch für die Tiefenkontrolle bei den Geophonpunkten, da z. B. eine Stufe im Untergrund bei beiden Aufstellungen an derselben Stelle sich bemerkbar machen muß. Es ist dieses Verfahren des überlappten Schießens auch die Grundlage für die speziellen Auswertungsverfahren zur Tiefenberechnung bei den Geophonpunkten, durch die das Relief des Untergrundes mit viel größeren Einzelheiten herausgearbeitet werden kann als beim normalen Gegenschießen. Allerdings

ist seine Anwendung an verschiedene Voraussetzungen gebunden, so darf kein Knick im Bezugsniveau vorhanden sein, und die Profile müssen auf einer Geraden liegen. Auch wirken sich raschere laterale Geschwindigkeitsänderungen der Bedeckung und des Untergrundes sehr störend aus, da bei allen Auswertungsverfahren mit einer konstanten Geschwindigkeit innerhalb der Aufstellung gerechnet wird. Eine schematische Anwendung ohne Berücksichtigung der geologischen Gegebenheiten kann also auch dabei zu fehlerhaften Resultaten führen; das wäre also z. B. der Fall, wenn man eine überlappte Aufstellung über einen größeren Terrassenrand führen würde, der nicht nur eine größere Geländeunregelmäßigkeit darstellt, sondern auch eine Grenze der Geschwindigkeit in der Verwitterungsschicht bildet. Aus diesen Überlegungen heraus wurde das überlappte Schießen vor allem bei den in der Längsrichtung des Tales verlaufenden Profilen angewandt.

b) Grundlagen der Auswertung

Bevor mit der eigentlichen Auswertung begonnen werden kann, müssen die gemessenen Laufzeiten auf ein Bezugsniveau reduziert werden, um die unterschiedlichen Schußtiefen und Seehöhen der Geophone zu berücksichtigen. Nach Tunlichkeit werden die Laufzeiten stets auf ein horizontales Bezugsniveau reduziert, bei größeren Höhenunterschieden innerhalb einer Aufstellung muß das Bezugsniveau jedoch mit einer Neigung angenommen werden (annähernd parallel dem Verlauf des Geländes). In Extremfällen kann es auch zweckmäßig sein, das Bezugsniveau wenigstens teilweise über der Erdoberfläche verlaufend anzunehmen. Die Annahme des Bezugsniveaus in der Nähe des Schußniveaus hat den Vorteil, daß die Korrekturen numerisch auf ein Minimum beschränkt bleiben, da sie dann nur noch auf der Geophonseite durchzuführen sind. Dadurch geht auch eine etwas fehlerhafte Korrekturgeschwindigkeit in das Endergebnis nicht mehr so stark ein. Falls die Verwitterungsschicht jedoch eine einheitliche, genau bekannte Geschwindigkeit besitzt, ist es mitunter auch zweckmäßig, das Bezugsniveau annähernd an der Basis der Verwitterungsschicht anzunehmen. Deren Lage muß näherungsweise aus den unkorrigierten Laufzeitkurven abgeschätzt werden. Das hat den Vorteil, daß die Verwitterungsschicht gleich bei der Korrektur in einem Rechenvorgang eliminiert wird, also ein Mehrschichtfall auf den nächst niedrigeren Fall zurückgeführt wird. Eine Kontrolle hinsichtlich der Zweckmäßigkeit des gewählten Korrekturverfahrens und der Richtigkeit der gemachten Annahmen ist durch die Endzeiten einer Aufstellung und die Intercept-Zeiten gegeben: Die Laufzeiten der refraktierten Welle an den beiden Endpunkten der Aufstellung müssen denselben Wert aufweisen, da die Wellenwege die gleichen sind. Ferner müssen auch die Intercept-Zeiten der einzelnen Laufzeitkurvenäste, die auf der Zeitachse bei jedem Schußpunkt abgeschnitten werden, die gleichen sein. Schwierig-

keiten lassen sich oftmals in der Weise beseitigen, daß von den exakt aufeinanderpassenden und daher richtigen Laufzeitkurvenästen ausgegangen wird und die etwas herausfallenden Abschnitte um wenige Millisekunden gehoben oder gesenkt werden, bis eine vollkommene Einpassung erzielt ist.

Die rein rechnerische Auswertung eines Mehrschichtfalls führt zu Formeln, die sehr kompliziert sind und wegen des hohen Rechenaufwandes als Routineverfahren nicht in Frage kommen. Man trachtet deshalb bei der Auswertung auf den rechnerisch leicht zu beherrschenden seismischen Zweischichtfall zu gelangen, was dadurch geschieht, daß man die Mächtigkeit und Laufzeitverzögerung der refraktierten Welle durch die oberste Schicht ermittelt und deren Einfluß auf die Gesamlaufzeit eliminiert. Das ist um so leichter möglich, als diese Verwitterungsschicht (V_1 -Horizont) in der Regel nur eine geringe Mächtigkeit von wenigen Metern aufweist und auch hinsichtlich der stets niedrigen Geschwindigkeitswerte nicht zu stark streut. Der nächste Schritt in der Auswertung besteht in der Tiefenberechnung unter den Schußpunkten. Dieser liegt die grundlegende Annahme zugrunde, daß der Refraktor eine horizontale oder geneigte Ebene innerhalb der Aufstellungslänge bildet. Auch müssen die Geschwindigkeiten sowohl des Untergrundes als auch des darüberliegenden Quartärs innerhalb der Aufstellung konstant sein. Die Rechenverfahren stützen sich einerseits auf die Intercept-Zeit, das ist der Zeitabschnitt, der bei Verlängerung des Geschwindigkeitsastes des Untergrundes bis zur Zeitachse an dieser abgeschnitten wird, oder auf die Ermittlung der kritischen Entfernung, bei welcher die direkte Welle von der refraktierten Welle überholt wird. Das erstere Verfahren ist unter bestimmten Umständen das vorteilhaftere, mitunter hat sich auch eine Kombination von beiden als nützlich erwiesen. Bereits bei der Konstruktion der Geschwindigkeitsäste, welche durch Hindurchlegen einer mittleren Geraden durch die Laufzeiten bei den einzelnen Geophonen erfolgt, zeigt sich, ob im Untergrund ein stärkeres Relief vorhanden ist. Ein solches macht sich in der Weise bemerkbar, daß manche Laufzeiten stärker von der Geraden abweichen. Eine gegenüber dem Laufzeitkurvenast größere Einzellaufzeit deutet auf eine Einmuldung des Untergrundes, eine kleinere Laufzeit auf eine Aufragung desselben im Vergleich zur mittleren Ebene zwischen den Schußpunkten hin. Diesbezüglich zeigt sich nun im Untersuchungsgebiet, daß beim größeren Teil der Aufstellungen nur geringe Abweichungen von der Annahme einer Ebene zwischen den Schußpunkten vorliegen. Bei einzelnen Aufstellungen dagegen konnte ein stärkeres Relief nachgewiesen werden. In diesen Fällen ist es also unbedingt erforderlich, daß auch bei jedem einzelnen Geophon die Tiefe getrennt ermittelt wird. Auch dafür stehen mehrere Auswertungsverfahren zur Verfügung, wobei die günstigsten Resultate dann erzielt werden, wenn die Aufstellungen überlappt geschossen

wurden. Die einzelnen Geophontiefen zeigen manchmal eine gewisse Schwankung, die sicher nicht reell ist und auf Geschwindigkeitsänderungen etc. zurückzuführen ist. Bei Hindurchlegen einer mittleren Kurve durch die Geophontiefenpunkte erhält man jedoch ein Bild des Reliefs des Untergrundes, das den tatsächlichen Verhältnissen sehr nahe kommt.

c) Die Geschwindigkeitsverhältnisse

Wie in zahlreichen anderen Gebieten mit ähnlichem geologischem Bau hat sich auch in der Murebene gezeigt, daß die refraktionsseismischen Messungen in der Regel sehr gut durch einen Dreischichtfall wiedergegeben werden können. An der Oberfläche befindet sich eine mehrere Meter mächtige Schicht mit geringer Geschwindigkeit (V_1 -Horizont). Der am meisten beobachtete Geschwindigkeitswert liegt bei ca. 400 m/sec, doch wurden in diesen Lockerschichten in Einzelfällen auch Geschwindigkeiten gemessen, die unterhalb der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Luft (330 m/sec) liegen.

Lithologisch besteht dieser Horizont aus der Humusschichte, Sanden oder Aulehm. Darunter folgt die Hauptmasse der Schotter und Kiese (V_2 -Horizont), deren Geschwindigkeit vor allem von der Grundwasserführung und vom Bindemittel abhängt. Die trockenen Schotter, die sich in größerer Mächtigkeit auf den Terrassen finden, sind durch Geschwindigkeitswerte von 800—1000 m/sec charakterisiert. In den wasserführenden Schottern und Kiesen dominiert der Geschwindigkeitsbereich von 1700—2000 m/sec, gelegentlich auch etwas darüber. Darunter folgt endlich der Hauptrefraktor (V_3 -Horizont), der von den verschiedenen Gesteinen des Paläozoikums gebildet wird. Für die Auswertung, besonders die Tiefenberechnung, bereitet es nun nicht unerhebliche Schwierigkeiten, daß auch dieser Horizont keine konstante Geschwindigkeit aufweist. Andererseits sind aber gerade diese lateralen Geschwindigkeitsänderungen von großem geologischem Interesse, da daraus Schlüsse auf die lithologische Zusammensetzung des Paläozoikums gezogen werden können. Zwischen V_2 - und V_3 -Horizont erfolgt ein großer Geschwindigkeitssprung, da die Geschwindigkeit des Paläozoikums in der Regel mindestens das Doppelte der darüberliegenden Schotter beträgt.

d) Fehlerquellen und ihre Auswirkung

Für die Beurteilung der Genauigkeit und Einsatzmöglichkeit der refraktionsseismischen Methode bei hydrogeologischen Untersuchungen ist es erforderlich, die wichtigsten Fehlerquellen und deren Auswirkungen auf das Endergebnis zu berücksichtigen. Folgende Momente sind hierbei zu erwähnen:

Laufzeitfehler, verursacht durch Ungenauigkeit in der Zeitableitung und Lochermüdung:

Bei technisch einwandfreier Qualität der seismischen Aufnahmen ist eine Genauigkeit in der Ablesung der Laufzeiten der direkten und refraktierten Einsätze mit einer Genauigkeit von einer Millisekunde zu fordern und in der Regel auch möglich. Lediglich bei den schußpunktfernsten Geophonen — vor allem bei den überlappten, weiten Aufstellungen — kann es gelegentlich vorkommen, daß die Abrisse etwas unscharf sind und daher der genannten Forderung nicht mehr völlig genügt werden kann. Das ist vor allem dann der Fall, wenn auf Grund der örtlichen Gegebenheiten auch eine Vergrößerung der Sprengladung nicht möglich ist. Man muß in diesen Fällen dann auch den ersten Wellenberg und das nächste Wellental zur Auswertung heranziehen und durch deren Laufzeiten die entsprechenden Geradenäste hindurchlegen. Eine Laufzeitverzögerung infolge Lochermüdung entsteht auf folgende Weise: Durch die Sprengung entsteht eine Auflockerung des umgebenden Gesteins, die sich je nach Art desselben in einem Umkreis von mehreren Metern auswirken kann. Dadurch wird die Geschwindigkeit im Verhältnis zum nicht beeinflußten Gestein verringert und daher die Laufzeit der seismischen Wellen, die durch die Auflockerungszone hindurchlaufen, erhöht. Diese Lochermüdung tritt vor allem dann auf, wenn an einem Schußpunkt mehrere Male geschossen wird. Der dadurch verursachte Fehler kann im Bereich von einigen Millisekunden liegen. Da die Lochermüdung stets eine Laufzeitverzögerung verursacht, kann sie durch Beachtung der zeitlichen Reihenfolge, in der die Aufstellungen geschossen wurden, in der Regel erkannt und ihr Einfluß durch eine entsprechende Korrektur eliminiert werden.

Fehler bei der Ermittlung der Laufzeitgeraden:

Bei der Ermittlung der Laufzeitgeraden werden die gemessenen Laufzeiten in Abhängigkeit von den entsprechenden Geophonentfernungen aufgetragen und durch die Punkte die am besten passende mittlere Gerade hindurchgelegt. Eine fehlerhafte Zuordnung ist vor allem bei jenen Laufzeitkurvenästen möglich, die nur aus wenigen Meßpunkten bestehen. Davon ist bei den gegebenen Verhältnissen weniger die Laufzeitgerade des V_3 -Horizontes betroffen, als vielmehr die Laufzeitkurve der V_2 -Schicht, insbesondere wenn eine relativ geringe Schottermächtigkeit vorliegt.

Teufenfehler, hervorgerufen durch ungenügende Korrektur der Verwitterungsschicht:

Wenn nennenswerte Abweichungen zwischen der Korrekturgeschwindigkeit, die man nach Möglichkeit für ein Meßgebiet konstant annimmt, und dem tatsächlichen Wert der Geschwindigkeit der Verwitterungsschicht bestehen, dann kann dies ebenfalls zu einem Teufenfehler des Refraktors führen. Es muß auch bedacht werden, daß die Geschwindigkeit der Verwitterungsschicht nur bei den Schußpunkten direkt gemessen wird und mit dem daraus gebildeten Mittelwert über

die ganze Aufstellung hin gerechnet wird. Diese Gefahr ist vor allem dann gegeben, wenn sich die Verwitterungsschicht in ihrer Zusammensetzung lateral innerhalb einer Aufstellungslänge stärker ändert. Der mögliche Tiefenfehler dürfte bei den gegebenen Geschwindigkeits- und Mächtigkeitsverhältnissen der Verwitterungsschicht des Untersuchungsgebietes in der Größenordnung von 1 m liegen.

Teufenfehler infolge Auslassens einer Schicht:

Wenn ein Horizont nur eine geringe Mächtigkeit aufweist, dann wird er auch bei gutem Geschwindigkeitskontrast zum Hangenden und Liegenden auf der Laufzeitkurve nur einen kurzen Ast bilden. Wenn diese Zwischenschicht dann nur durch 1 oder 2 Punkte wiedergegeben werden würde, ist man bei der Auswertung meistens versucht, diese Punkte den benachbarten längeren Geschwindigkeitsästen zuzuordnen und eventuell als Streuung anzusehen. Auf diese Weise kann es also geschehen, daß ein in der Natur vorhandener Vierschichtfall als Dreischichtproblem bei der Auswertung behandelt wird. Geologisch am bedeutsamsten ist jener Fall, wo in einem relativ mächtigen Schotter eine nur wenige Meter mächtige grundwasserführende Schicht gegeben ist. Wenn diese nicht erkannt und die Teufe zum Refraktor nur mit der niedrigen Geschwindigkeit des trockenen Schotters berechnet wird, dann erhält man zu geringe Tiefenwerte für den Untergrund, wobei der Tiefenfehler einige Meter betragen kann.

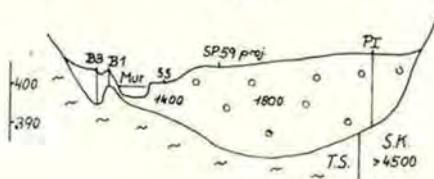
Überschießen einer Schicht:

Eine für die refraktionsseismische Auswertung besonders unangenehme, weil schwer zu beseitigende Fehlerquelle ist das Überschießen einer Schicht bzw. das Auftreten einer Blindzone. Dieser Fall tritt dann ein, wenn eine Schicht mit höherer Geschwindigkeit über einem Medium mit kleinerer Geschwindigkeit liegt, wobei von letzterer auf Grund der Gesetze der Ausbreitung elastischer Wellen keine Einsätze an der Oberfläche mehr erhalten werden und diese Schicht daher überschossen wird. Es ergeben sich sodann für den Untergrund zu große Tiefenwerte. Für das Untersuchungsgebiet dürfte ein solches Überschießen von Schichten wohl auszuschließen sein, Voraussetzungen für einen solchen Effekt wären etwa dort gegeben, wo Konglomeratbänke auf längere Erstreckung hin den Schotterkörpern eingeschaltet werden, z. B. nahe den Terrassenrändern.

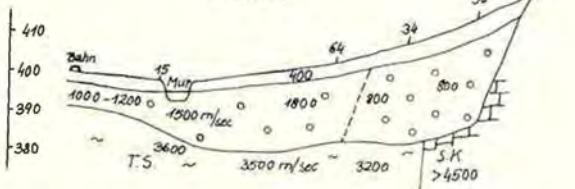
2. Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse der refraktionsseismischen Messungen sind in einer Reliefkarte des Untergrundes, einer Mächtigkeitskarte der Quartärbedeckung sowie in Isogeschwindigkeitskarten des Paläozoikums und Quartärs niedergelegt. Der weiteren Veranschaulichung dient eine Serie von Querprofilen über das Murtal.

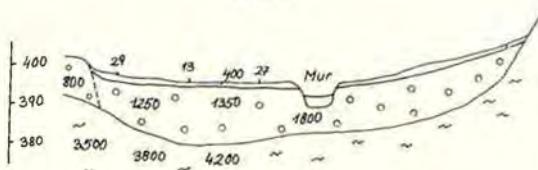
Profil 1



Profil 2



Profil 3



Profil 4

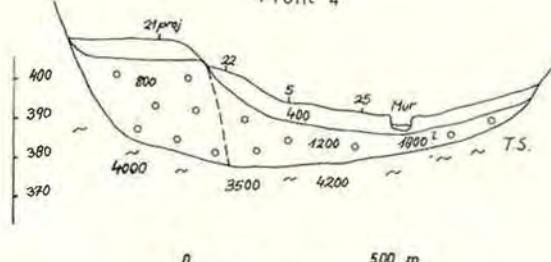


Fig. 2: Profile durch das Murtal zwischen Peggau und Eggenfeld.

36 = Schußpunkt-Nr.

S. K. = Schöckelkalk

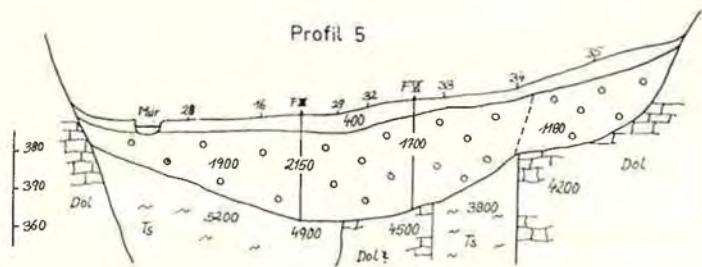
P I = Bohrung Peggau I

Dol. = Dolomit

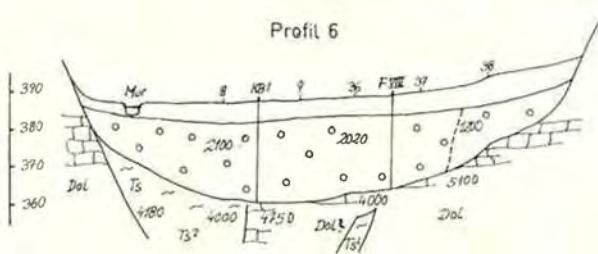
F X = Bohrung Friesach X

T. S. = Tonschiefer

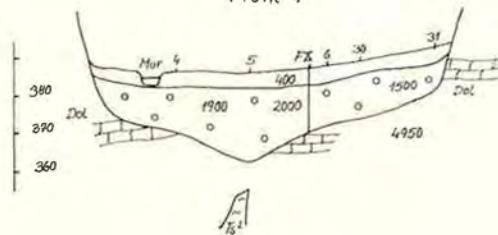
Profil 5



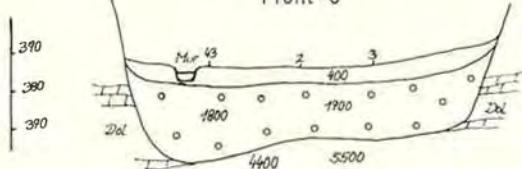
Profil 6



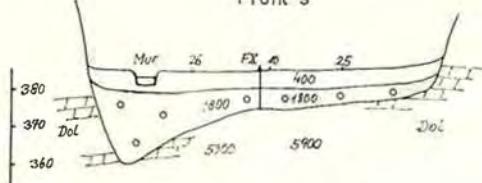
Profil 7



Profil 8



Profil 9



Die Interpretation dieser Ergebnisse ist nun primär Sache des Geologen. Die folgenden Bemerkungen sollen daher vor allem eine Kritik der Ergebnisse vom Standpunkt des Geophysikers bilden, den Genauigkeitsgrad der Daten untersuchen, Vergleiche mit anderen Gebieten mit analogen Verhältnissen anstellen, um so dem Geologen ein möglichst objektives Urteil zu ermöglichen.

a) Das Relief des Felsuntergrundes

Das wesentlichste Strukturelement der Reliefkarte bildet eine Tiefenrinne, die bereits bei den Messungen im Raum Friesach 1966 klar herausgekommen ist und nunmehr für das wesentlich größere Meßgebiet in allen Einzelheiten vorliegt (siehe Tafel I). Mit der Entstehung und dem Verlauf dieser Rinne hat sich vor allem H. FLÜGL (1960) befaßt und diese als spätglazial bzw. frühholozän eingestuft. Sie hat jedoch keinerlei engere Beziehungen zum heutigen Verlauf der Mur. Die Achse derselben liegt im Bereich der Talenge nördlich Peggau in ca. 390 m Seehöhe und fällt bis zum Südrand des Meßgebietes bis ca. 359 m Seehöhe ab. Wesentlich ist, daß dieser Abfall nicht gleichmäßig erfolgt, sondern daß die Rinne an mehreren Stellen von Queraufwölbungen unterbrochen wird, die im Maximum etwa 3 m Höhe erreichen können.

Die nördlichste Schwelle befindet sich etwa 1 km südlich der Übelbachmündung, wobei besonders auffallend ist, daß sich an dieser Stelle die Rinne auch sehr stark verschmälert. Der nächste Abschnitt im Süden zeigt den Charakter einer langgestreckten, flachen Einmuldung, deren tiefster Punkt unterhalb 374 m Seehöhe gelegen ist. Die 376-m-Isohypse konnte nördlich Kleinstübing in der Tiefenrinne nicht geöffnet werden, so daß sich zwischen den Schußpunkten 22 und 5 ebenfalls eine flache Kulmination ergibt (vgl. Fig. 2). Am deutlichsten ist eine Queraufwölbung etwa östlich der Mündung des Stübingbaches, in der die Achse um mindestens 2,5 m ansteigt. In dem nun folgenden Abschnitt erfolgt eine grundlegende Umgestaltung im Bau der Rinne, die nunmehr sehr flach und breit wird (bezogen auf die 370-m-Isohypse ca. 800 m Breite) und fast das ganze Tal ausfüllt. Die geschlossene 360-m-Isohypse südlich der Bohrung F III (Fig. 2) ist sehr wahrscheinlich und ergibt sich bei Extrapolation der Isohypsen gegen das Muldeninnere zu. Weiter südlich ist die Tiefenrinne vor allem auch im besonders interessanten Bereich ihrer Achse durch zahlreiche Bohrungen, die im Zusammenhang mit der Niederbringung der Horizontalfilterbrunnen abgeteuft wurden, genauer untersucht. Diese weisen sowohl allein als auch in Verbindung mit den seismischen Daten darauf hin, daß die Rinne ein gewisses Relief aufweist; besonders klar kommt dies im Bereich der Kontaktbohrung 6 (Seehöhe des Untergrundes 359,6 m) zum Ausdruck, die sicher im Bereich der Achse der Rinne liegt. Südlich davon zeigen sowohl die seismischen Daten als auch die Bohrergeb-

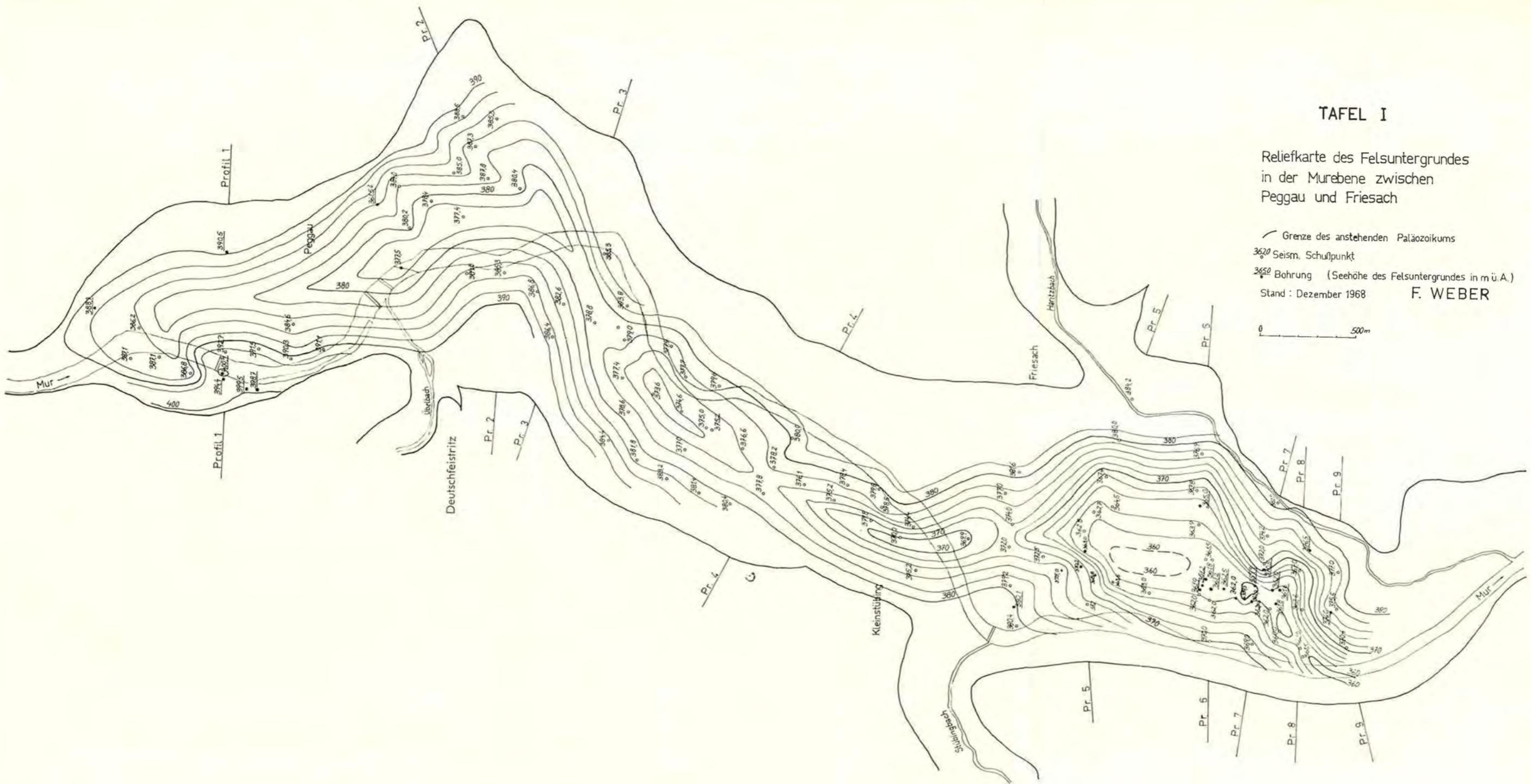
TAFEL I

Reliefkarte des Felsuntergrundes
in der Murebene zwischen
Peggau und Friesach

— Grenze des anstehenden Paläozoikums
3620 Seism. Schülpunkt
3650 Bohrung (Seehöhe des Felsuntergrundes in m ü.A.)
Stand : Dezember 1968

F. WEBER

0 500m



nisse eine ca. 2 m höhere Lage des Untergrundes der Rinne an. Die Rinne hat sich in diesem Bereich bereits rapid verschmälert (siehe Fig. 2, Profil 7), wobei die östliche Flanke besonders steil ansteigt. Auffallend ist auch eine nach SE zu sich erstreckende Einmuldung, die vom Lauf des Haritzbaches nachgebildet wird. Im südlichsten Abschnitt verschmälert sich die Rinne auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Breite und zeigt einen ausgesprochen asymmetrischen Bau mit steil ansteigender Westflanke. Ein vom Eggenberg hereinziehender Sporn macht sich auch noch unter der Quartärbedeckung bemerkbar und zwingt die Rinne zu einem der heutigen Mur parallelen Verlauf.

Besondere Aufmerksamkeit wurde bei der Auswertung auch der Frage gewidmet, wie das Relief des Untergrundes im Bereich der Terrassen gegliedert ist, ob nämlich dem morphologischen Terrassenrand an der Oberfläche eine analoge Stufe im Untergrund entspricht. Im Bereich der Würmterrasse zwischen Deutschfeistritz und Kleinstübing zeigt sich im Untergrund lediglich ein mehr oder weniger starker Anstieg, anscheinend jedoch keine Stufe. Eine sichere Aussage wird allerdings dadurch erschwert, daß der Terrassenrand stellenweise nahe der Bahn verläuft, so daß dort nicht geschossen werden konnte. Die Terrasse im Raum von Hinterberg östlich der Mur wird auf dem seismischen Profil zwischen den Schußpunkten 34—36 günstig geschnitten. Hier zeigt die Tiefenberechnung bei den einzelnen Geophonen einen ziemlich gleichmäßigen Anstieg des Untergrundes in nordöstlicher Richtung und ergab keine Hinweise für eine Stufe. Eine solche Stufe dürfte jedoch im Bereich der Würmterrasse von Friesach ausgebildet sein, wo die Würmschotter einem deutlichen Sockel aufliegen (siehe Fig. 2, Profil 5).

b) Die Quartärmächtigkeiten

Die Isopachenkarte (Tafel II) gibt einen raschen Überblick über die Mächtigkeitsverhältnisse des Quartärs (V_1 - und V_2 -Horizont), wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die beiden Bezugsniveaus — die Geländeoberfläche einerseits und die Oberkante Paläozoikum andererseits — nur bei den Meßpunkten genau bekannt sind und die Zuhilfenahme von Kontrollpunkten, gewonnen aus den Schnittpunkten der Isolinien der Bezugshorizonte, unzweckmäßig ist. Von besonderem Interesse sind die Zonen mit maximaler Mächtigkeit, die im flachen Gelände die Eintiefung des Untergrundes wiedergeben.

Im Raum von Peggau fällt das Maximum der Quartärmächtigkeit annähernd mit der Achse der Tiefenrinne zusammen bzw. ist gegenüber dieser etwas nach E verschoben. Die Maximumzone von ca. 27 m bei Hinterberg ist darauf zurückzuführen, daß das Gelände stärker ansteigt als der Untergrund (siehe Fig. 2, Profil 2). Im Abschnitt Deutschfeistritz—Kleinstübing liegt die Zone der größten Schottermächtigkeit unter der Würmterrasse, und erst südlich Kleinstübing dominiert wieder der Einfluß der Tiefenrinne. Deren Verlauf spiegelt sich endlich

in der flachen Murebene bei Friesach in der Mächtigkeitskarte in allen Einzelheiten wider, wobei etwa die 20-m-Isopache die Umgrenzung der Mulde im engeren Sinn angibt. Eine Abweichung zwischen beiden Elementen zeigt sich im Raum des Haritzbaches südlich Friesach, wo die Isopachen weiter nach E reichen als die Isohypsen des Untergrundes, was auf den Anstieg der Terrasse zurückzuführen ist. Im südlichsten Teil des Meßgebietes ist die Asymmetrie des Untergrundes auch im Verlauf der Isopachen angedeutet.

Im Bereich der Austufe wäre auch der Entwurf einer Mächtigkeitskarte für den V_2 -Horizont allein empfehlenswert, da hier dessen Oberkante nahe dem Grundwasserspiegel liegen dürfte. In Verbindung mit den Grundwasserständen dürfte sich ein wesentlich detaillierteres Bild hinsichtlich des Verlaufs des Grundwasserspiegels und der Mächtigkeit der grundwasserführenden Schicht ergeben als durch die hydrologischen Messungen allein.

Die Quartärmächtigkeitskarte gibt auch Aufschluß über die Genauigkeit der Übereinstimmung der seismischen Daten mit den Bohrungen. Besonders interessant waren hierbei die im Jahre 1967 nach den seismischen Untersuchungen südlich Friesach niedergebrachten Bohrungen. Hierbei zeigen sich Differenzen von ca. 2 m im Mittel, wobei die seismische Felsoberfläche höher liegt, was auf etwas zu gering angenommene Werte des V_2 -Horizontes zurückzuführen ist.

Die Bohrungen im Raum Peggau liegen zwar nicht unmittelbar neben seismischen Meßpunkten, lassen sich jedoch — mit einer Ausnahme — gut in die seismische Relief- und Mächtigkeitskarte einpassen. Dies betrifft die während des Krieges anlässlich der Erzprospektion abgeteufte Bohrung Peggau IV. Diese liegt am Südrand des Ortes nur ca. 100 m westlich des Fußes der Peggauer Wand und zeigt eine außergewöhnlich große Schottermächtigkeit von 43,5 m, während bei Vergleich mit dem 150 m im SE gelegenen seismischen Schußpunkt eine ca. 20 m geringere Mächtigkeit zu erwarten gewesen wäre. Auch die Bohrungen beim Bau der neuen Eisenbahnbrücke (etwa 350 m WSW Peggau IV) zeigen nur eine Schottermächtigkeit von 14,3 bis 14,5 m (nach den freundlicherweise von Herrn Prof. Dr. SEELMEIER zur Verfügung gestellten Bohrprofilen) und dürften bereits am Anstieg zur westlichen Flanke der Rinne gelegen sein. Bezuglich der Ursachen dieser Unstimmigkeit bzw. abnormal großen Schottermächtigkeit kann auf Grund der Geophysik allein keine sichere Aussage gemacht und es muß daher eine Klärung von kompetenter geologischer Seite aus abgewartet werden.

c) Die Zusammenhänge zwischen den seismischen Geschwindigkeiten und den geologischen Verhältnissen

Die Interpretation der Isogeschwindigkeitskarten des Schotters (Tafel III) und Felsuntergrundes (Tafel IV) betrifft einen Fragenkomplex, der auf das engste mit den geologischen Verhältnissen verbunden

TAFEL II

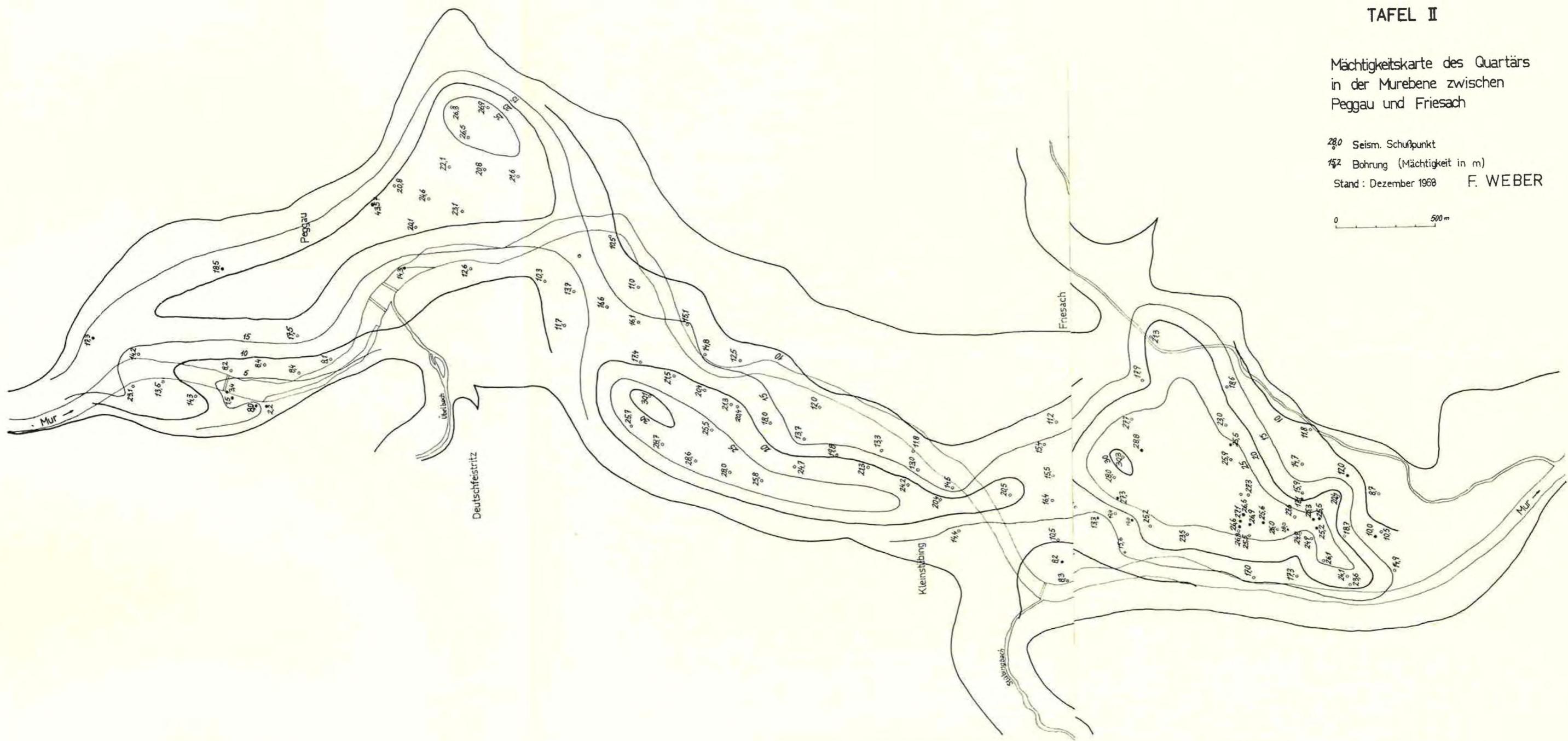
Mächtigkeitskarte des Quartärs
in der Murebene zwischen
Peggau und Friesach

280 Seism. Schußpunkt

152 Bohrung (Mächtigkeit in m)

Stand: Dezember 1968 F. WEBER

0 500 m



ist. Methodisch wurde hierbei so vorgegangen, daß der angegebene Geschwindigkeitswert dem Mittelpunkt der seismischen Aufstellung zugeordnet wurde, da ja mit einer innerhalb einer seismischen Aufstellung konstanten Geschwindigkeit gerechnet wird. Damit soll darauf hingewiesen werden, daß bei einer Aufstellungslänge von 180 m von vornherein keine genaue lagenmäßige Erfassung etwa eines Ge steinswechsels möglich ist.

Die Geschwindigkeit eines Lockergesteins (Schotter) als eines mehrphasigen Systems hängt von zahlreichen Faktoren (Geschwindigkeit der Festsubstanz und des Porenwassers, Porosität, geometrischen Faktoren der Festkörper) ab, wobei der Zusammenhang quantitativ etwa erfaßt werden kann. Als wesentliches Ergebnis der Isogeschwindigkeitskarte des Schotters kann festgehalten werden, daß eine klare Korrelation zwischen den Zonen maximaler V_2 -Geschwindigkeiten und dem Verlauf der Tiefenrinne besteht. Deren wassergesättigte Schotter, Kiese und Sande weisen durchwegs Geschwindigkeiten von 1800 bis 2000 m/sec auf. Das Maximum mit 2200 m/sec findet sich südlich Friesach im Bereich der breiten Zone größter Schottermächtigkeit. Die geringere Breite des Geschwindigkeitsmaximums im Vergleich zur analogen Mächtigkeitszone SW Friesach ist auf die Zufuhr von Block schutt usw. durch den Seitenkegel des Haritzbaches zurückzuführen.

Sehr deutlich heben sich auch geschwindigkeitsmäßig die Würm terrassen heraus mit V-Werten von 800—1000 m/sec. Besonders innerhalb der einzelnen Terrassen sind die Geschwindigkeiten oft auf längere Strecken hin konstant.

Da wasserführende klastische Gesteine eine Longitudinalgeschwindigkeit von mehr als 1500 m/sec haben müssen, können auf Grund der Geschwindigkeiten die hydrologisch interessanten Gebiete abgegrenzt werden, und in Verbindung mit der Mächtigkeitskarte ist eine näherungsweise Berechnung der Grundwasservorräte möglich.

Die Isogeschwindigkeitskarte des V_3 -Horizontes (Tafel IV) läßt unschwer erkennen, daß sich dessen Geschwindigkeitswerte keineswegs einem einzigen, für das ganze Gebiet gültigen Mittelwert zuordnen lassen, sondern daß oftmals auf kurze Entfernung hin eine beträchtliche Änderung der Geschwindigkeiten eintritt. Dies läßt darauf schließen, daß auch der Untergrund aus verschiedenartigen Gesteinen unterschiedlicher Geschwindigkeiten aufgebaut ist, wie dies auch im an stehenden Gestein der Umrahmung des Murfeldes zum Ausdruck kommt. Das Verfahren, auf Grund der Laufzeiten und der daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten Gesteine zu identifizieren, ist vor allem bei den geophysikalischen Bohrlochmessungen mit großem Erfolg angewandt worden; hier kann beim Sonic-Log — einem Ultraschall verfahren — auf Grund der bekannten Wyllie-Gleichung sogar die Porosität des betreffenden Gesteins mit guter Annäherung ermittelt werden.

Die Schwierigkeit liegt nun in unserem Fall darin, daß sich die Geschwindigkeitsbereiche mancher Gesteine überschneiden dürfen, außerdem können die Gesteinsgrenzen nur innerhalb eines gewissen Bereichs fixiert werden, da die Geschwindigkeit nicht an einem bestimmten Punkt, sondern als Mittelwert über die ganze Aufstellung ermittelt wird. Mit den erwähnten Einschränkungen soll also im folgenden die Frage zu lösen versucht werden, welche Gesteine unter der Quartärbedeckung des Murfeldes anstehen.

Nach der geologischen Karte des Grazer Berglandes und den Erläuterungen von H. FLÜGEL, die als die geologische Grundlage dienen, stehen an den Rändern folgende Gesteine bzw. Gesteinsserien des Grazer Paläozoikums an:

Dolomit-Sandsteinfolge. Die Dolomite zeigen bei den in der Nähe des Anstehenden gemessenen Aufstellungen durchwegs hohe Geschwindigkeiten von mehr als 5000 m/sec und sind daher leicht zu identifizieren. Auf Grund der Bohrdaten scheint die Geschwindigkeit der Dolomite vereinzelt auch auf Werte um 4500 m/sec abzusinken, was die Folge einer stärkeren Zerkleüftung sein könnte.

Für die Sandsteine selbst liegen keine endgültigen Werte vor, doch kann auf Grund der Beschreibungen von H. FLÜGEL mit einiger Sicherheit angenommen werden, daß ihre Geschwindigkeiten niedriger als die des Dolomits sind und etwa im Bereich von 4000—4500 m/sec liegen.

Schöckelkalk. Dieser wurde zwar von den seismischen Linien im Untersuchungsgebiet anscheinend nirgends angetroffen, doch wissen wir aus Messungen in benachbarten Gebieten, daß dieses Gestein hohe Geschwindigkeiten von 4500—5000 m/sec aufweist. Im selben Bereich dürfen auch die Geschwindigkeiten des Krinoidenkalks liegen.

Tonschiefer — Grünschiefer. Diese Serie weist in der Regel wesentlich niedrigere Geschwindigkeiten als die vorhin erwähnten Gesteine auf. Da es sich um eine ziemlich komplexe Serie handelt, zeigen auch die Geschwindigkeiten eine stärkere Variation, nämlich Werte zwischen 3200—4500 m/sec. Die niedrigsten Werte von 3200—3700 m/sec dürfen die Phyllite und Serizitschiefer besitzen. Die Geschwindigkeit der Grünschiefer dürfte höher sein und im Mittel bei 4000 m/sec liegen (± 300 m/sec).

Bei den geschichteten und geschiefernten Gesteinen muß auch der Effekt der Geschwindigkeitsanisotropie berücksichtigt werden, wobei die Geschwindigkeit in Richtung der Schichtung um ca. 10—20% höher sein kann als senkrecht dazu. Weitere Fortschritte bezüglich des Frankenkomplexes Geschwindigkeit — Lithologie lassen Ultraschallmessungen an allen in Frage kommenden paläozoischen Gesteinen erwarten, die allerdings erst angelaufen sind.

Die V_s -Isogeschwindigkeitskarte weist im Raum Peggau-Kleinstübing als charakteristisches Merkmal eine langgestreckte Minimum-

TAFEL III

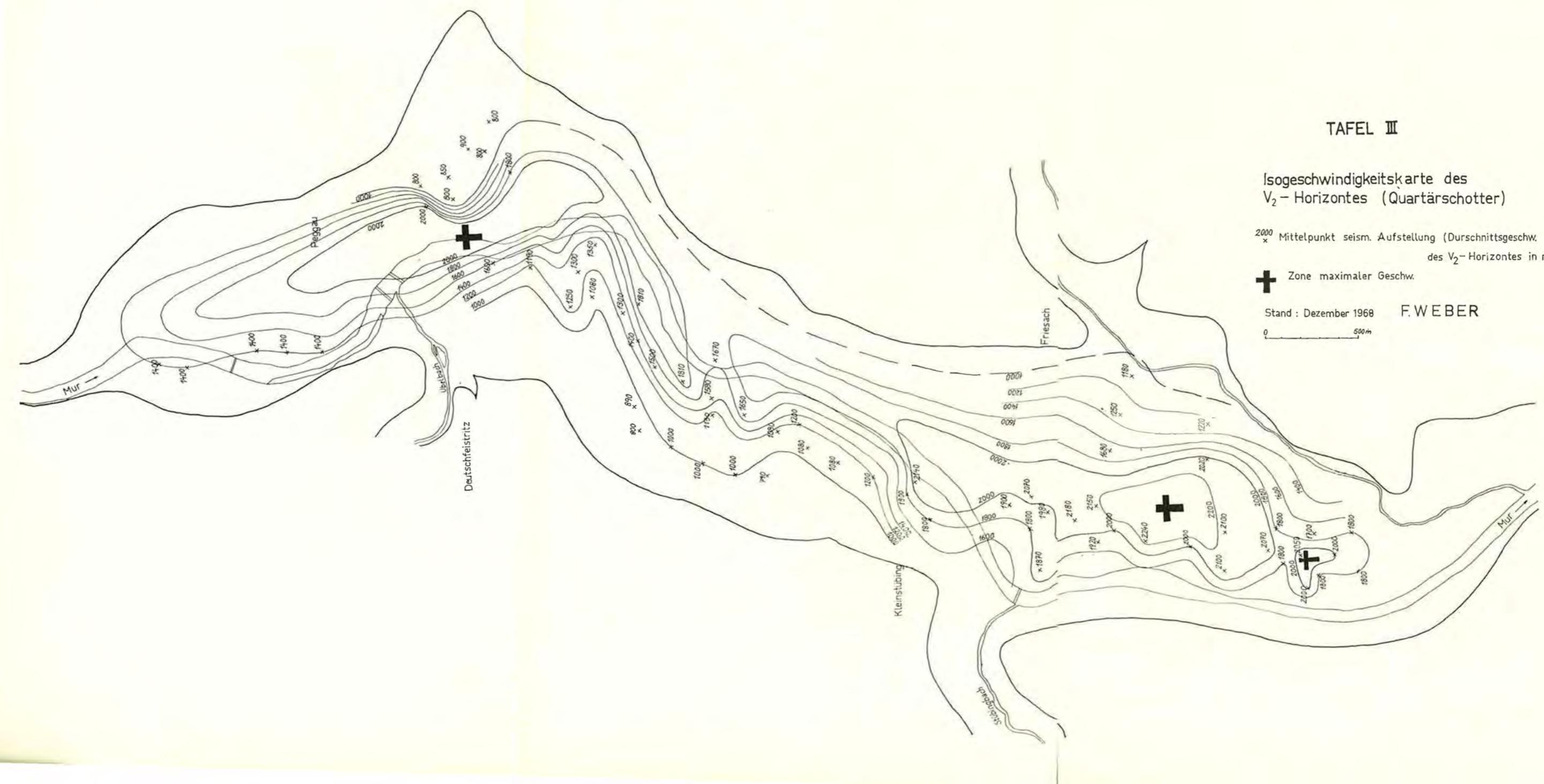
Isogeschwindigkeitskarte des
V₂ – Horizontes (Quartärschotter)

2000 x Mittelpunkt seism. Aufstellung (Durchschnittsgeschw.
des V₂ – Horizontes in m/sec)

⊕ Zone maximaler Geschw.

Stand : Dezember 1968 F. WEBER

0 500m



zone mit Werten unter 3500 m/sec auf, deren Verlauf sich annähernd mit der Tiefenrinne deckt. Der überwiegende Teil der Murebene dieses Abschnittes wird also von den Gesteinen der Tonschieferserie aufgebaut, was auch auf Grund der geologischen Karte zu erwarten war und in völliger Übereinstimmung mit den Bohrdaten steht. Lediglich östlich der Mur reicht der Schöckelkalk der Peggauer Wand noch etwas unter den Schotterkomplex hinein, wobei die Grenze Kalk—Phyllit mit NNW-Streichen das Tal querend verläuft. Dagegen dürfte der westlich des Kraftwerkkanals anstehende Schöckelkalk nicht unter das Tal hineinziehen, wie Bohrungen und Seismik beweisen. Das 1 km NE Kleinstübing an der Mur gelegene, kleine Geschwindigkeitsmaximum mit Werten von ca. 4500 m/sec könnte eine Fortsetzung des nördlich Friesach an der östlichen Talflanke anstehenden Krinoidenkalks sein.

Ungeklärt ist dagegen die Ursache und Bedeutung des östlich der Mündung des Stübingbaches sich erstreckenden Maximums mit Werten über 5000 m/sec. Auf Grund der Oberflächengeologie wäre eigentlich Dolomit zu erwarten gewesen, der auch an den Steilhängen westlich der Mur überall ansteht. Es haben aber die am Rande der Maximumzone gelegenen Bohrungen F IV, F V, F III Tonschiefer angetroffen, wobei die Bohrungen leider nicht sehr tief in das Paläozoikum (bei F IV nur 0,5 m) eingedrungen sind. Eine so hohe Geschwindigkeit für einen Tonschiefer widerspricht aber aller Erfahrung, wobei noch zu bemerken ist, daß die Geschwindigkeitswerte selbst zweifelsfrei sind. Die Bohrung F VI hat im Untergrund Dolomit angetroffen, so daß zu erwarten gewesen wäre, daß dieser sich ohne Unterbrechung nach E zu erstreckt, wo er bei Friesach am Talhang ansteht. Nun zeigt aber die Isogeschwindigkeitskarte, daß sich dazwischen eine etwa N-S-streichende Minimumzone mit Geschwindigkeitswerten weit unter 4000 m/sec erstreckt; es ist daher naheliegend anzunehmen, daß sich hier ein Streifen der Tonschieferserie einschiebt (siehe Fig. 2, Profil 5). Es wäre möglich, daß es sich hier um die Fortsetzung der Minimumzone von Kleinstübing handelt und die Tonschiefer daher einen ununterbrochenen Zug bilden. Der südöstlich an den Eggenberg angrenzende Teil des Meßgebietes wird auf Grund der hohen Geschwindigkeiten eindeutig von Dolomit aufgebaut, wobei also die Sandsteine völlig zurücktreten müssen. Gegen die naheliegende Annahme, daß die Dolomit-Sandsteinstufe, die beide Flanken des nach Süden sich stark verschmälernden Tales aufbaut, ohne Unterbrechung unter der Schotterflur hindurchzieht, spricht das Vorhandensein zweier kleiner Minimumzonen (Werte knapp unter 4000 m/sec).

Auf der Karte (siehe auch Fig. 2, Profil 7) wurde angenommen, daß dieses Minimum einem schmalen Streifen Tonschiefer-Grünschiefer entsprechen würde. Eine andere Version, über deren Berechtigung von geologischer Seite entschieden werden müßte, wäre die, daß die Mini-

mumzone durch Verkarstung oder tektonische Beanspruchung des Dolomits entstanden wäre. Beide Vorgänge können die Geschwindigkeiten des Dolomits stark herabsetzen.

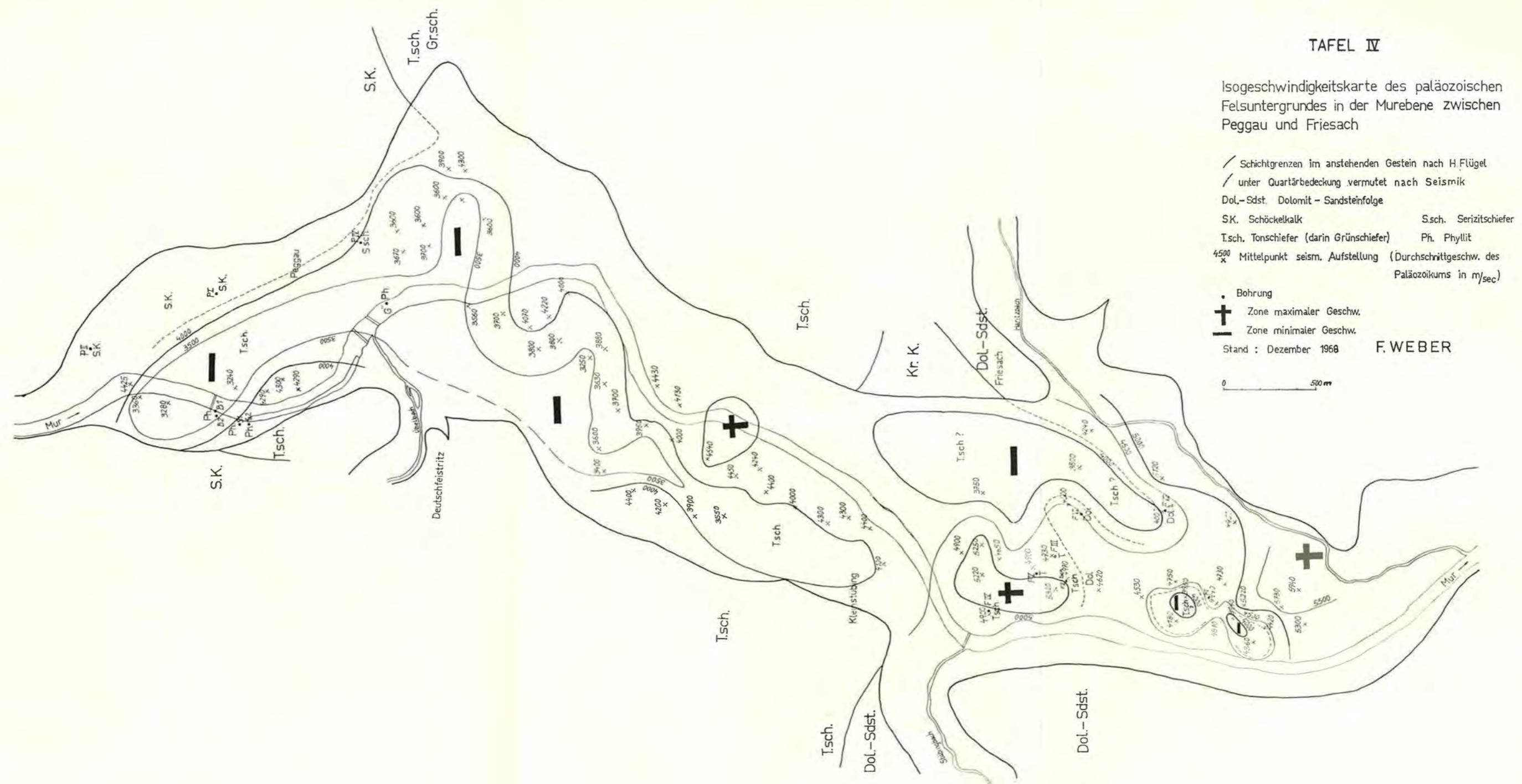
3. Schlußbetrachtung

Die vorliegende Arbeit stellt den ersten in sich abgeschlossenen Teil von geophysikalischen Messungen in den größeren Schotterfeldern der Mur dar, die bisher im Raum St. Michael, Murhof, Peggau—Friesach, Kalsdorf, Wildon und Gralla ausgeführt wurden. Es kann aus diesen Untersuchungen, die in Gebieten mit verschiedenartigem geologischem Untergrund ausgeführt wurden, der Schluß gezogen werden, daß vor allem die Heranziehung der Refraktionsseismik sowohl bei grundlegenden Untersuchungen eines unbekannten Gebietes als auch bei der Lösung hydrogeologischer Detailfragen zu empfehlen ist. Die etappenweise Ausführung der Messungen im Raum Peggau—Friesach läßt annehmen, daß oftmals ein weitmaschiges Übersichtsprogramm genügen wird, um die wesentlichen Elemente des Baus eines Gebietes zu erfassen. Dabei muß betont werden, daß das hauptsächliche Gewicht bei den seismischen Messungen auf der möglichst genauen Erfassung der Untergrundstruktur und im Auflösungsvermögen liegt und nicht bei einer absoluten Tiefengenauigkeit. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß der seismische Leithorizont als Grenze zweier Medien mit unterschiedlichen elastischen Eigenschaften keineswegs immer vollkommen mit der geologischen Schichtgrenze zusammenfallen muß, z. B., wenn der Untergrund verwittert ist. Auch wäre durchaus noch eine Steigerung der Tiefengenauigkeit etwa in der Weise möglich, daß bei einem Punkt, bei dem die Tiefe zum Untergrund möglichst genau bestimmt werden soll, Aufstellungen in verschiedene Richtungen geschossen werden. Wegen des hohen Aufwands käme dieses Verfahren natürlich nur bei einzelnen Punkten, z. B. beim Ansatzpunkt eines Tiefbrunnens, in Frage.

Das Vorhandensein von Bohrungen und anderen geologischen Fixpunkten steigert den Aussagewert der geophysikalischen Ergebnisse ganz beträchtlich, wie überhaupt die Interpretation geophysikalischer Messungen nie isoliert, sondern in möglichst enger Zusammenarbeit mit dem Geologen erfolgen soll. Die Bestimmung der Tiefe des Untergrundes und der Mächtigkeit des Hangenden sind zwar der Hauptzweck der Untersuchungen dieser Art, doch fallen sozusagen als Nebenprodukt auch Hinweise für völlig andersgeartete Probleme, z. B. der reinen Geologie, an. Die Interpretation der Isogeschwindigkeitskarten, die keineswegs als abgeschlossen zu betrachten ist, ist dafür ein Beispiel. Bei einer nur auf diese Frage gerichteten Untersuchung könnte durch entsprechend angelegte seismische Aufstellungen die Verbreitung der verschiedenen Gesteine des Paläozoikums noch wesentlich detaillierter angegeben werden. Einige Zusammenhänge mit der Quartärgeologie

TAFEL IV

Isogeschwindigkeitskarte des paläozoischen Felsuntergrundes in der Murebene zwischen Peggau und Friesach



wurden bereits angedeutet. Die zonare Anordnung der Schottergeschwindigkeiten wird nur nach eingehenden Geröllanalysen und sedimentologischen Untersuchungen zu klären sein. Umgekehrt wäre es denkbar, daß aus Geschwindigkeitsmessungen (Verwitterungsschießen) Schotterfächer unterschiedlicher Herkunft abgegrenzt oder Hinweise für die Terrassengliederung erhalten werden können.

Zusammenfassung

In den Jahren 1966—1968 wurden im Murtal zwischen Peggau und Eggenfeld im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung und des Wasserwerkes der Stadt Graz refraktionsseismische Messungen zur Erfassung des Reliefs des paläozoischen Untergrundes und der Bestimmung der Mächtigkeit des Quartärs ausgeführt, wobei auch die günstigsten Ansatzpunkte für geplante Horizontalfilterbrunnen festgelegt werden sollten. In dem untersuchten Gebiet wurden 16 Linien mit 15,5 km Länge im Detail gemessen, wobei 96 Schußbohrungen niedergebracht worden waren. Der Abstand zwischen den Schußbohrungen betrug 180—200 m, wobei im Gegenschießen und überlappt geschossen wurde; der Abstand zwischen den Geophonen lag in der Regel bei 20 m. Das Gebiet ist durch 29 Bohrungen bis zum Felsuntergrund geologisch gut bekannt, wobei 10 Bohrungen erst nach Ausführung des seismischen Programms abgeteuft worden waren und eine gute Übereinstimmung mit den seismischen Daten ergeben haben.

Es konnte eine ca. 7,5 km lange Tiefenrinne im Detail nachgewiesen werden, deren Achse nördlich Peggau bei Seehöhe 390 m und am Süden des Meßgebietes in Seehöhe 360 m liegt. Der Abfall in der Tiefenrinne erfolgt jedoch nicht gleichmäßig, diese wird vielmehr an mehreren Stellen von flachen Queraufwölbungen unterbrochen, deren maximale Amplitude ca. 3 m beträgt. Die größten Quartärmächtigkeiten (ca. 30 m) treten dabei im Bereich der Tiefenrinne bei Friesach auf, wo diese stark verbreitert ist.

Es liegt im untersuchten Gebiet normalerweise ein seismischer Dreischichtfall vor mit einer geringmächtigen Verwitterungsschicht ($V_1 = 400$ m/sec), darunter folgt die Hauptmasse der Schotter, deren Geschwindigkeit 800—1000 m/sec beträgt, wenn sie trocken, und 1700 bis 2000 m/sec, wenn sie grundwasserführend sind (V_2 -Horizont). Darunter kommt der Hauptrefraktor (V_3 -Horizont), nämlich die die Grundwassersohle bildenden Gesteine des Paläozoikums. Diese lassen sich hinsichtlich ihrer Verbreitung unter dem Quartär auf Grund ihrer Geschwindigkeit unterscheiden: die höchsten Geschwindigkeiten (5000 m/sec und darüber) weisen die Dolomite auf, hohe Werte auch der Schöckelkalk und Krinoidenkalk um 4500—5000 m/sec, die Grünschiefer ca. 4000 m/sec, während die Phyllite mit 3200—3700 m/sec die niedrigsten Werte zeigen. Die Isogeschwindigkeitskarte des V_3 -Hor-

zonts gibt zusammen mit den Bohrungen einen guten Einblick in die Verteilung der einzelnen Gesteine: im Abschnitt Peggau—Kleinstübing dominiert die Tonschieferserie, nur am NE-Rand reicht der Schöckelkalk etwas unter das Quartär. Bei Friesach dürften die Tonschiefer zungenförmig weit nach S in das Gebiet der Dolomit-Sandsteinstufe reichen. Eine Minimumzone im südlichsten Teil der Tiefenrinne ist noch nicht geklärt. Die Isogeschwindigkeitskarte des V_2 -Horizonts zeigt eine zonare Anordnung der Schottergeschwindigkeiten, deren Maximum mit Werten von mehr als 2000 m/sec im Bereich der Tiefenrinne gelegen ist.

Literatur

- BARTHELME, A. J.: Application of Continuous Profiling to Refraction Shooting. *Geophysics*, Vol. 11, 1946.
- FLÜGEL, H.: Die jungquartäre Entwicklung des Grazer Feldes (Stmk.). *Mitt. Österr. Geogr. Ges.*, 102, Wien 1960.
- FLÜGEL, H.: Die Geologie des Grazer Berglandes. *Mitt. d. Museums f. Bergbau, Geologie und Technik*, Heft 23, Graz 1961.
- FLÜGEL, H.: Sammlung Geologischer Führer — Das steirische Randgebirge. Bd. 42, Gebr. Bornträger, Berlin 1963.
- GARDNER, L. W.: An Areal Plan of Mapping Subsurface Structure by Refraction Shooting. *Geophysics*, Vol. 4, 1939.
- HALES, F. W.: An Accurate Graphical Method for Interpreting Seismic Refraction Lines. *Geophysical Prospecting*, Vol. 6, 1958.
- HAUSER, A. & J. ZÖTL: Die morphologische Bedeutung der unterirdischen Erosion durch Gesteinsausspülung. *Peterm. Geogr. Mitt.*, Gotha 1955.
- MAURIN, V.: Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurhöhlensystems. *Mitt. naturw. Ver. Stmk.*, 81/82, Graz 1952.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. *Steir. Beitr. Hydrogeol.*, Graz 1959.
- MUSKAT, M.: The Theory of Refraction Shooting. *Physics*, Vol. 4, 1933.
- PUSCHNIK, Th. & H. NOVAK: Vorrarbeiten für das Wasserwerk Graz—Friesach. *Ber. d. wasserwirtsch. Rahmenplanung*, 7, Graz 1966.
- SEELMEIER, H.: Trink- und Nutzwasserversorgung von Deutschfeistritz durch Quellwasser. *Zeitschr. prakt. Geol.*, 50, Halle/Saale 1942.
- SEELMEIER, H.: Beitrag zur Geologie des erzführenden Paläozoikums der Umgebung von Peggau—Deutschfeistritz bei Graz. *Ber. Reichsst. f. Bodenforschung*, Wien 1944.
- SLOTNICK, M. M.: On Seismic Computations, with Applications. I, *Geophysics*, Vol. 1, 1936; II, *Geophysics*, Vol. 1, 1936.
- SLOTNICK, M. M.: A Graphical Method for the Interpretation of Refraction Profile Data. *Geophysics*, Vol. 15, 1950.
- WEBER, F.: Die refraktionsseismischen Messungen in der Murebene bei Friesach. *Ber. d. wasserwirtsch. Rahmenplanung*, 7, Graz 1966.
- WYROBEK, S. M.: Application of Delay and Intercept Times in the Interpretation of Multilayer Time-distance Curves. *Geophysical Prospecting*, Vol. 4, 1956.
- ZETINIGG, H.: Die Geologie des Grundwasserfeldes von Friesach. *Ber. d. wasserwirtsch. Rahmenplanung*, 7, Graz 1966.

Summary

In the years 1966—1968 refraction seismic measurements were performed in the Mur-Valley between Peggau and Eggenfeld (Styria) for the determination of the relief of the paleozoic underground and the thickness of the quaternary sediments. Furthermore the best locations were to be found for the planned horizontal filter well.

The survey was performed by order of the government of Styria and the drink-water-administration of Graz city.

16 seismic lines of 15.5 km length were measured in detail, 96 shot holes were drilled. The distances between the shot holes were 180—200 m, the general distance between the geophones 20 m. Every line was shot in both directions.

The geology of the area is well known by 29 drill holes, which have been drilled down to the hard rock surface. 10 of these holes were drilled after the seismic program and showed a good coincidence with the seismic depth values of the underground.

In the underground, a 2.5 km long trough could be found whose axis is at 390 m sea level N of Peggau and falls to 360 m sea level in the southern part of the area. The dipping of the trough is not continuous, it is interrupted at some places by flat barriers, whose maximum amplitude is about 3 m. The greatest thicknesses of the quaternary gravels are in the underground trough near Friesach, where the valley is greatly widened.

From a geophysical standpoint in the surveyed area is normally a seismic 3-layer case. Uppermost is a small low velocity layer with longitudinal velocities of about 400 m/sec; below this is the main body of the gravels. The velocity of the dry gravels is 800—1000 m/sec and 1700—2000 m/sec below the ground water. The base of the gravels is formed by the different paleozoic rocks. Their distribution below the quaternary cover can be found by means of their velocities which are drawn on an isovelocity-map: the highest values (5000 m/sec and more) occur in the dolomites, some limestones have 4500—5000 m/sec, where the green-schists and phyllites have velocities of 3200—4000 m/sec.

The velocities of the gravels show a regular distribution, where the maximum values (more than 2000 m/sec) are in the border of the underground trough.

Anschrift des Verfassers:

Professor Dr. Franz WEBER, Institut für Erdölgeologie und
Angewandte Geophysik, Montanistische Hochschule,
A-8700 Leoben