

# Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Walgaues auf Grund geophysikalischer Messungen

VON GEORG WALACH UND FRANZ WEBER \*)

Mit 1 Abbildung

Österreichische Karte  
1 : 50.000  
Blatt 141

Schlüsselwörter  
Walgau  
Hydrogeologie  
quartäre Beckenfüllung  
Beckenuntergrund  
Geophysik

## Inhalt

Zusammenfassung . . . . .	201
Summary . . . . .	202
Einleitung . . . . .	202
Die geophysikalische Problematik . . . . .	202
Der präquartäre Untergrund . . . . .	205
Die quartäre Beckenfüllung . . . . .	206
Literatur . . . . .	207

## Zusammenfassung

Das Quartärbecken des Walgaues ist eines der bedeutendsten Grundwasserhoffungsgebiete Vorarlbergs. In den Jahren 1974 und 1975 im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, ausgeführte refraktionsseismische und geoelektrische Messungen dienten der Erkundung der Mächtigkeit der quartären Sedimente, des Reliefs des Untergrundes und der Lithologie von Untergrund und Beckenfüllung. Markantestes Strukturelement des präquartären Untergrundes ist eine den ganzen Walgau durchziehende Tiefenrinne, in deren Bereich Quartärmächtigkeiten bis zu 150 m auftreten.

Es tritt in der Regel ein seismischer Vierschichtfall auf, wobei das grundwasserführende Quartär durch Durchschnittsgeschwindigkeiten von  $2080 \pm 100$  m/sec charakterisiert ist, während der Untergrund als Folge der wechselnden Lithologie Variationen von 3450—5200 m/sec aufweist. Durch hohe Geschwindigkeiten ( $> 4000$  m/sec) sind die Triaskalke und -dolomite des Oberostalpins, der Reischberger Sandstein der Flyschzone und der Schratzenkalk des Helvetikums gekennzeichnet. Im quartärbedeckten Abschnitt des Oberostalpins ist auf Grund der Geschwindigkeitsverminderung eine Zerklüftung und damit eine Wasserwegsamkeit der Kalke und der Dolomite wahrscheinlich.

Die geoelektrischen Tiefensondierungen ergaben im grundwasserführenden Quartär Widerstände von 140—360 Ohm. m. Lokal schalten sich im unteren Teil der quartären Schichtfolge Horizonte mit Widerständen von 70—180 Ohm. m. ein, die auf einen erhöhten Anteil pelitischen Materials hinweisen.

\*) Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. FRANZ WEBER; Dipl.-Ing. Dr. GEORG WALACH; Institut für Erdölgeologie und Angewandte Geophysik, Montanuniversität, A-8700 Leoben. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster.

## Summary

The quaternary basin of the Walgau is one of the most important and most hopeful ground-water-areas in Vorarlberg. In the years 1974 and 1975 refraction seismic measurement were carried out by order of the "Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster". These measurements should give some idea of the thickness of the quaternary sediments, the relief of the basement, the lithology of the basement and the basin sediments. The main feature of the Walgau is a deep trough, which runs along the entire basement, where the maximum thickness of the quaternary sediments is 150 m.

There is normally a seismic four layer case, where the groundwater bearing Quaternary is characterized by seismic velocity of  $2080 \pm 100$  m/s, and the changing lithology of the basement by seismic velocities between 3450 to 5200 m/s. The triassic limestones and dolomites of the Oberostalpin, the Reiselsberger sandstones of the Flyschzone and the Schratzenkalk of the Helveticum are characterized by seismic velocities greater than 4000 m/sec. In the area of the Oberostalpin with quaternary cover, the reduction of the velocity may be due to the permeability and the shearing effects of the limestones and dolomites.

The geoelectrical deep soundings showed for the groundwater bearing Quaternary resistivities of 140 to 360 Ohm.m. Locally there exists a lower resistivity layer with resistivities between 70 to 180 Ohm.m, which may be due to presence of more pelitic material in the deeper part of the Quaternary.

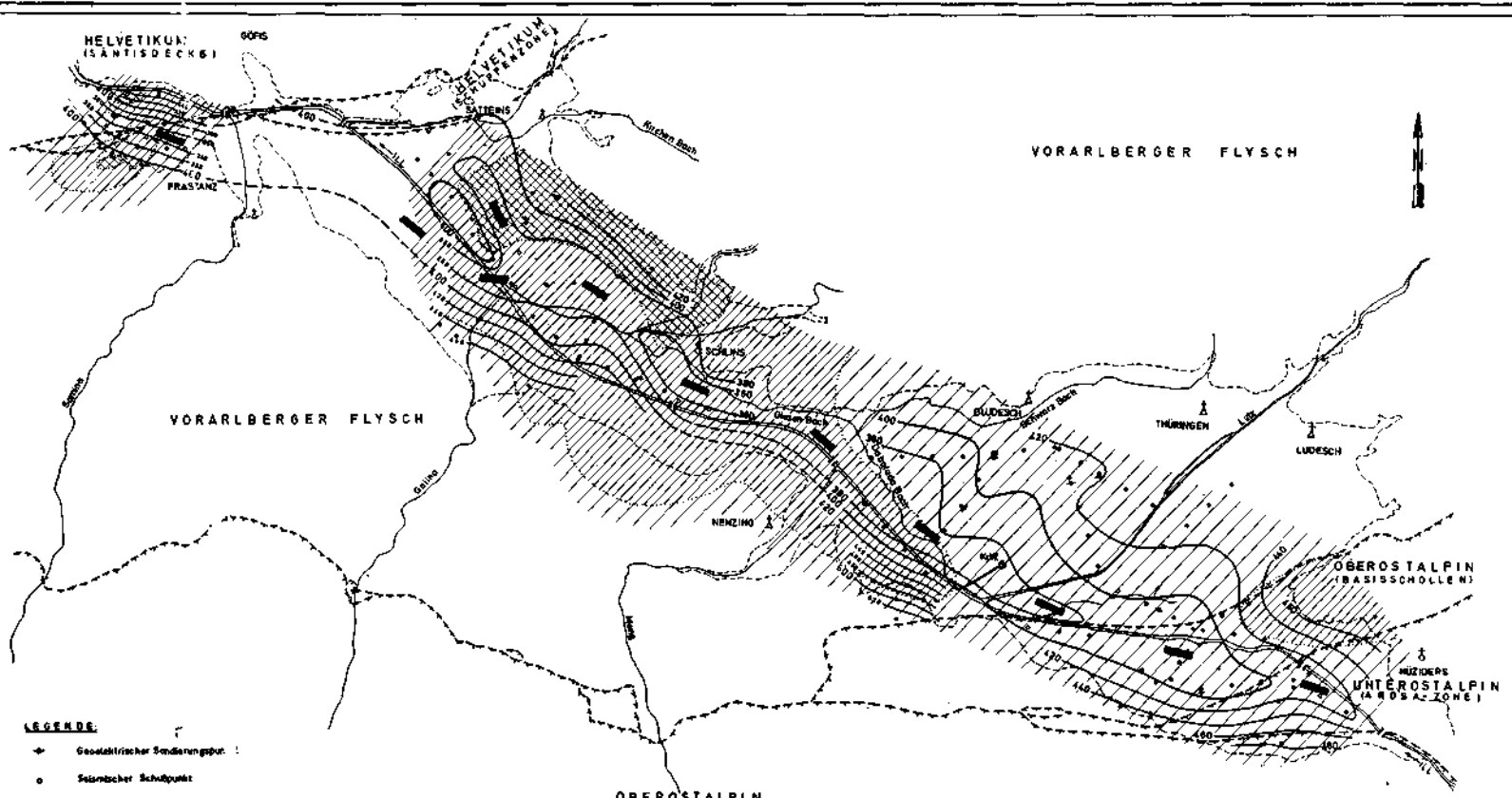
## Einleitung

Im Quartärbecken des Walgautes liegt nach übereinstimmender Auffassung eines der bedeutendsten Grundwasserhoffungsgebiete Vorarlbergs. Während jedoch die geologischen Verhältnisse der Beckenumrandung weitgehend geklärt sind — es sei hier nur auf die ausgezeichnete geologische Karte 1 : 25.000 von HEISSEL-OBERHAUSER-SCHMIDEGG (1967) verwiesen —, fehlen über den tieferen Teil der Talfüllung und deren Untergrund entsprechende, durch Tiefenaufschlüsse gesicherte Angaben. Von einigen randlich gelegenen Bohrungen beim Autobahnbau abgesehen (KRASSER, 1972) wurde nirgends der präquartäre Untergrund erreicht. Die in den Jahren 1974 und 1975 durchgeführten refraktionsseismischen und geoelektrischen Messungen sind daher ein erster Schritt zur Klärung der Untergrundverhältnisse des Walgautes. Wenn auch die zur Überprüfung der geophysikalischen Resultate unbedingt erforderlichen Tiefbohrungen noch nicht vorliegen, soll dennoch ein erster Überblick über die wichtigsten Ergebnisse mit Schwerpunkt auf strukturelle und petrophysikalische Aussagen gegeben werden, wobei die geologische Interpretation als vorläufig zu betrachten ist, zumal dieser Teil auch bereits die Grenzen der Angewandten Geophysik übersteigt.

Für die Genehmigung zur Veröffentlichung gebührt unser aufrichtiger Dank dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskataster, insbesondere Herrn Ministerialrat Dipl.-Ing. H. DOHLHOFER, für seine tatkräftige Unterstützung. Ferner sind wir Herrn Dozent Dr. L. KRASSER für kollegiale Zusammenarbeit und fachliche Beratung sowie dem Amt der Vorarlberger Landesregierung, Wasserbauamt Bregenz, für die Hilfe bei der Durchführung der Feldmessungen zu größtem Dank verpflichtet.

## Die geophysikalische Problematik

Die wesentlichsten strukturellen und petrophysikalischen Aussagen sind das Ergebnis eines refraktionsseismischen Meßprogrammes von etwa 25 km Profillänge. Zusätzliche geoelektrische Tiefensondierungen hatten das Ziel, über den



- LEGENDE:**
- ✦ Geotektonischer Störungsangspunkt
  - Seismischer Schältpunkt
  - Verlauf der Tiefenlinie
  - ▨  $v < 4000$  m/s
  - ▧  $v = 4000 - 5000$  m/s
  - ▩  $v > 5000$  m/s
- } setzen Gec. herabgesetzt
- Grenze der Tektolitur

Geologische Grenzen nach NEESSEL, OBER LAUSER und SCHNIEDIG (1971). Geologische Karte des Walgau: 1:25 000

**STRUKTURKARTE UND GESCHWINDIGKEITS-  
VERTEILUNG DES PRÄQUARTÄREN UNTER-  
GRUNDES IM WALGAU**

spezifischen elektrischen Widerstand einen detaillierten Einblick in den Schichtaufbau der quartären Beckenfüllung zu erhalten.

Die Laufzeitkurven lassen sich durch einen seismischen Drei- bis Fünfschichtfall interpretieren, wobei den Normalfall ein Vierschichtfall bildet, für den sich folgende Geschwindigkeitsverteilung ergibt: der  $V_1$ -Horizont weist Mächtigkeiten von wenigen Metern und niedrige Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von 300 bis 450 m/sec auf. Er besteht lithologisch aus der Humusschicht, Schluffen, Sanden, verlehnten Schottern, in Bergnähe auch aus Teilen des Hangschuttes und Hangfußschuttes. Hydrogeologisch ist er insofern von Interesse, als er bei vorwiegend pelitischer Zusammensetzung die schützende Deckschicht des Aquifers bildet. Der  $V_2$ -Horizont hat Geschwindigkeitswerte von 750—1000 m/sec und entspricht lithologisch den trockenen Kiesen und Sanden. Der  $V_3$ -Horizont umfaßt die Hauptmasse des grundwasserführenden Quartärs, wobei die Geschwindigkeiten zwischen 2000 und 2200 m/sec (Mittelwert:  $2080 \pm 100$  m/sec) liegen.

Die Grenze zwischen  $V_2$ - und  $V_3$ -Horizont muß nun keineswegs mit dem Grundwasserspiegel völlig ident sein, sondern wird sicherlich von lithologischen Änderungen in diesem Tiefenbereich (Korngrößenverteilung, Bindemittel etc.) beeinflußt. Im Westabschnitt des Meßgebietes, wo der Grundwasserspiegel in 2 bis 4 m unter Niveau ansteht, fehlt der  $V_2$ -Horizont.

Der  $V_4$ -Horizont entspricht dem präquartären Untergrund und zeigt als Folge der wechselnden Lithologie große Variationen der Geschwindigkeit von 3450 bis 5200 m/sec. Die daraus ableitbaren geologischen Schlußfolgerungen werden gesondert erläutert.

Im Gebiet des Lutzfächers schaltet sich im  $V_3$ -Horizont ein Refraktor mit höheren Quartärgeschwindigkeiten von 2340—2670 m/sec ein. Ohne entsprechende Tiefenaufschlüsse ist eine exakte Aussage über die Natur dieses Refraktors nicht möglich, es dürfte sich aber wahrscheinlich um (konglomeratisch?) verfestigte Lagen in den Quartärschottern handeln. Diese Einschaltung einer schallhärteren Schicht bereitet bei der Auswertung Schwierigkeiten, weil es zur Ausbildung einer seismischen „Blindzone“ kommt. Aber auch hydrogeologisch werden dadurch die Verhältnisse negativ beeinflußt, weil die höhere Fortpflanzungsgeschwindigkeit einen Hinweis auf eine Verminderung der Porositäts- und Permeabilitätswerte darstellt.

Bei den Tiefensonierungen tritt in der Regel ein geoelektrischer Vierschichtfall auf, wobei der KA- und KH-Typ am häufigsten vertreten sind. Der Grundwasserspiegel wurde fast durchwegs gut erfaßt. Gewisse Abweichungen können darauf zurückzuführen sein, daß durch kapillare Durchfeuchtung in einem feinkornreichen Speicher auch ein über dem Grundwasserspiegel liegender Bereich elektrisch leitend sein kann. Generell zeigt sich, daß die Oberkante des  $V_3$ -Horizontes tiefer als jene des  $\varrho_3$ -Horizontes ( $\varrho_3 = 140—360$  Ohm. m) liegt. Lediglich dort, wo der  $V_2$ -Horizont fehlt, sind die refraktionsseismische und geoelektrische Schichtgrenze, die dem Grundwasserspiegel entspricht, nahezu ident.

Die Oberkante des  $\varrho_4$ -Horizontes mit Widerständen von 70—180 Ohm. m tritt in variabler Teufe (54—103 m), aber fast immer innerhalb der quartären Beckenfüllung, auf. Daraus ergibt sich die hydrogeologisch wichtige Schluß-

folgerung, daß kein lithologisch einheitlicher Grundwasserkörper vorliegt, da die niedrigen Widerstände auf einen Ton- bzw. Schluffanteil des  $\varrho_4$ -Horizontes hinweisen. Somit wäre also der tiefere Teil der Beckenfüllung eher ungünstig zu beurteilen.

### Der präquartäre Untergrund

Der Beckenuntergrund weist ein deutliches Relief auf, dessen markantestes Kennzeichen eine den Walgau in seiner ganzen Länge durchziehende Tiefenrinne bildet. Die Achse dieser wechselnd breiten Mulde fällt von Sh. 430 m im SE bei Nüziders bis auf 360 m im NW-Teil des Walgauer bei Felsenau ab, was einem durchschnittlichen Abfall von ca.  $0,3^\circ$  bzw. 4,7 m/km entspricht. Eine regionale Unterteilung in zwei Abschnitte erfolgt durch die bereits oberflächlich sichtbare Talverengung bei Gais-Nenzing. Im Bereich des Unterostalpins bei Nüziders findet ebenfalls eine stärkere Einengung statt, ebenso macht sich die Fortsetzung des Hangenden Steins auch noch als flacher Sporn unter der Tal ebene bemerkbar. Allgemein ist im Ostabschnitt eine gewisse Asymmetrie festzustellen, wobei die Südflanke steiler einfällt als die nördliche. Weiters zeigt der südliche Flankenbereich einen ruhigen Verlauf der Isohypsen, während im Bereich des Lutzfächers flache, seitlich hereinragende Rücken mit von der Tiefenrinne abzweigenden Nebenmulden abwechseln.

Im Westabschnitt weist die Tiefenrinne nicht nur einen stärkeren Richtungswechsel, sondern anscheinend auch ein abwechslungsreicheres Relief auf. Im Raum S und SW von Schlins sinkt der  $V_4$ -Horizont auf Werte unter 360 m Sh. ab, woraus sich unter der Voraussetzung einer Übereinstimmung mit der Flyschoberkante eine deutliche Übertiefung ergeben würde. Von erheblicher hydrogeologischer Bedeutung dürfte ein NW-streichender, zeugenbergartig aufragender Flyschrückens SW von Satteins sein, durch den die Tiefenrinne geteilt wird. Dem Isohypsenverlauf nach zu schließen dürfte der nördliche Ast gegen die Flysch-Helvetikumgrenze zu ausheben.

Der bedeutungsvollere, südliche Ast zieht weiter in Richtung Frastanz, wo sich die WNW-streichende Mulde unter Versteilung der Flanken beträchtlich verschmälert (auf die 400-m-Isohypse bezogen ca. 0,5 km Breite). Der von KRASSER (1936) erkannte und von OBERHAUSER (1970) wieder hervorgehobene, interglaziale Abfluß der Ur-Ill über Göfis zum Rheintal konnte wegen der Schwierigkeit, in diesem Gebiet entsprechend lange Aufstellungen zu schießen, im Detail noch nicht nachgewiesen werden.

Über den Parameter der Longitudinalwellengeschwindigkeit kann innerhalb gewisser Grenzen auf die Lithologie des den tiefsten Refraktor bildenden Untergrundes geschlossen werden. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß sich manche Gesteine geschwindigkeitsmäßig überschneiden und wegen der Meßmethodik (Geophonabstand 20 m) ein Durchschnittswert der Geschwindigkeit über eine bestimmte Distanz ermittelt wird, lithologische Änderungen geringer Ausdehnung auch bei größerem Geschwindigkeitskontrast nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden können.

Die Aufstellungen im Oberostalpin nahe dem Hangenden Stein weisen dem hier anzunehmenden Hauptdolomit Geschwindigkeiten von 4000—4200 m/sec zu. Gegen die Tiefenrinne zu nehmen die Geschwindigkeiten sogar auf 3500 m/sec ab, so daß bei Vorliegen eines Karbonatgesteins mit einer intensiven Zerklüftung bzw. Verkarstung zu rechnen wäre. Vom Unterostalpin bei Nüziders liegen nur wenige Werte vor, die keine stärkere Differenzierung gestatten; der Geschwindigkeitsbereich von 3500—3700 m/sec dürfte jedoch eher für Sandsteine und Kalke als für tonige Gesteine sprechen.

Große Unterschiede in den Durchschnittsgeschwindigkeiten finden sich im Bereich der Flyschzone, der regelmäßige Verlauf der Isogeschwindigkeitslinien legt den Schluß auf eine ähnliche Tendenz der lithologischen und faziellen Änderungen nahe. Nach den Verhältnissen an den Talrändern zu schließen, unterlagert im Ostabschnitt zur Gänze die Plankner-Brücke Serie das Quartär. Die Geschwindigkeitswerte liegen meist bei 3450—3750 m/sec, woraus anzunehmen ist, daß den Mürrsandsteinen keine größere Verbreitung zukommt. Lediglich vom Jagdberg her zieht mit SE-Streichen ein schmales Geschwindigkeitsmaximum mit Werten bis 4320 m/sec bis in die Gegend E von Nenzing. Falls die Ursache nicht in faziellen Änderungen zu suchen ist, wäre an ein antiklinalartiges Auftauchen älterer Flyschgesteine (Reiselsberger Sandstein?) zu denken.

Im Westabschnitt werden nach der geologischen Karte große Gebiete von Reiselsberger Sandstein aufgebaut, zwischen Röns und Schlins besteht der Talrand aus Piesenkopfkalk. Beide Gesteine sind nach OBERHAUSER (1972) im bergfrischen Zustand als wasserdicht zu beurteilen, wofür bei den Piesenkopfschichten der starke Mergelanteil spricht. Der Reiselsberger Sandstein neigt jedoch zu grobblockigem Zerfall, was sich auch auf die Übereinstimmung von geologischer und seismischer Grenze auswirken kann.

In dem Abschnitt zwischen Satteins und Schlins ist nun ein breites Geschwindigkeitsmaximum mit Werten bis 5200 m/sec ausgebildet, das sich nach S und W allmählich vermindert. Es dürften daher der dichte Reiselsberger Sandstein und der Piesenkopfkalk im Geschwindigkeitsbereich um 5000 m/sec liegen. Auch im Südteil des Frastanzer Riedes spricht ein parallel zur Überschiebung streichendes Geschwindigkeitsmaximum mit Werten von 5000 m/sec für Reiselsberger Sandstein, der weiter südlich am Hang ansteht.

Im NW-Teil fallen einige Aufstellungen auch in das Helvetikum. Es erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß ein Geschwindigkeitsmaximum E von Felsenau mit Schrattekalken im Untergrund zu parallelisieren ist, während die Drusbergschichten einem niedrigeren Geschwindigkeitsbereich zuzuordnen sind.

### Die quartäre Beckenfüllung

Die Differenzierung der verschiedenen Quartärsedimente mittels geophysikalischer Messungen hängt weitgehend davon ab, inwiefern sie sich in wenigstens einer physikalischen Eigenschaft signifikant unterscheiden. Eine weitere prinzipielle Schranke bildet das Auflösungsvermögen der einzelnen Methoden. Nach dem von KRASSER (1971) ausgearbeiteten Konzept sollte vor allem die Abgrenzung der grobkörnigen, im fließenden Wasser abgelagerten Sedimente von den

feinkörnigen (Feinsand, Schluff, Ton) Schichten durchgeführt werden. Folgende lithologische Einheiten sollten sich in den petrophysikalischen Parametern ausdrücken: Grundmoräne, Wildbachschutt, Seetone, Schotter und Kiese der Beckenfüllung, schluffig-lehmige Deckschicht (Verlandungsserie). Erfahrungen in anderen Quartärbecken haben gezeigt, daß die grundwasserführenden Schotter etwa im Geschwindigkeitsbereich von 1500 bis 2200 m/sec liegen, Moränen auch darüber, während die Geschwindigkeiten von schlecht sortierten Schuttkegeln je nach Art des Bindemittels stärker streuen. Reine Seetone dürften im Geschwindigkeitsbereich von 1600 bis 1900 m/sec liegen (nach REICH, 1960, und eigenen Messungen). Ein weiteres Kriterium liefert die Geoelektrik, wobei sich tonige Sedimente durch ihre höhere Leitfähigkeit von grobklastischen Formationen gut unterscheiden.

Die aus den seismischen Messungen ermittelten Daten für den  $V_1$ - und  $V_2$ -Horizont gewähren nun einen guten Einblick in die Zusammensetzung und die Mächtigkeitsverhältnisse der Deckschicht, während aus einer Isogeschwindigkeitskarte des  $V_3$ -Horizonts in Verbindung mit den entsprechenden Widerstandswerten Hinweise auf Vorkommen und Art der anderen von KRASSER (1971) genannten Einheiten der Beckenfüllung möglich sind.

Allgemein ergibt sich für die Deckschicht eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von LOACKER (1971) und OBERHAUSER (1972). Wie erwartet, erstreckt sich eine schmale Zone geringmächtiger Überdeckung aus dem westlichen Beckenbereich, wo deren Mächtigkeit überall zwischen 2 und 4 m beträgt, gegen ESE über den Bereich Dabaladabach — Lutzmündung bis in die Tschalenga Au. Der Lutzfächer wird deutlich nachgezeichnet, so daß für das trockene Quartär Mächtigkeitswerte von rund 15 m bei Bludesch und über 20 m bei Thüringen zu erwarten sind. Im Bereich des Frastanzer Riedes erreicht die vorwiegend pelitische Verlandungsserie Mächtigkeitswerte bis über 6 m.

Nahezu generell gilt die Feststellung, daß die Geschwindigkeitsminima des  $V_3$ -Horizontes auf den Bereich der Tiefenrinne konzentriert sind und die beschriebene schallhärtere Zwischenschicht fehlt. Auch die niederohmige  $\rho_4$ -Schicht scheint in diesem Bereich zu fehlen. Daraus kann abgeleitet werden, daß nach geophysikalischen Gesichtspunkten der Tiefenrinnenbereich die eindeutig günstigsten Voraussetzungen für eine Wassergewinnung in größerem Umfang bietet.

Die Bruttomächtigkeiten der unter dem Niveau des obersten Grundwasserstockwerkes gelegenen quartären Sedimente zeigen erwartungsgemäß einen engen Zusammenhang mit dem Verlauf der Tiefenrinne, in deren Bereich die größten Mächtigkeiten auftreten. Die Zone maximaler Mächtigkeiten von über 120 m setzt etwa 1 km W der Tschalengabücke ein und erstreckt sich bis in den Raum W Schlins, wo die 120 m-Isohypse gegen NW aushebt. Weiter gegen W nehmen die Mächtigkeiten allmählich ab, betragen aber im Frastanzer Ried noch immer rund 100 m.

#### Literatur

- DEPPERMAN, K.: An interpretation system for geoelectrical graphs. — Geoph. Prosp., 21, S. 424—463, 1973.
- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R., & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Walgauer, 1 : 25.000. — Geol. B. A., Wien 1967.

- HOMILIUS, J.: Über die Auswertung geoelektrischer Sondierungskurven im Falle eines vielfach geschichteten Untergrundes. — *Z. f. Geoph.*, 27, S. 282—300, 1961.
- KAILA, K. L., & NARAIN, H.: Interpretation of seismic refraction data and the solution of the hidden layer problem. — *Geophysics*, 35, S. 613—623, 1970.
- KRASSER, L.: Der Anteil zentralalpiner Gletscher an der Vereisung des Bregenzer Waldes. — *Z. f. Gletscherkde.*, XXIV, S. 99—121, Berlin 1936.
- KRASSER, L.: Erfassung des Grundwasserhaushaltes im Walgau; — seismisches Untersuchungsprogramm. — Bregenz 1971 (unveröff.).
- KRASSER, L.: Generelles baugewissenschaftliches Gutachten, Rheintalautobahn Abschnitt Walgau. — Bregenz 1972 (unveröff.).
- LOACKER, H.: Berg- und Grundwasserverhältnisse im Illgebiet. — *Verh. Geol. B.-A.*, S. 441—449, Wien 1971.
- MOONEY, H. M., & ORELLANA, E.: Master Tables and Curves for vertical electrical sounding over layered structures. — *Interciencia*, Madrid 1966.
- MUSGRAVE, A. W.: Seismic refraction prospecting. — *Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa 1967.
- OBERHAUSER, R.: Zur Hydrogeologie des Vorarlberger Rheintales zwischen Feldkirch und Hohenems — Klien mit besonderer Berücksichtigung der Bergwasserzuflüsse. — *Verh. Geol. B.-A.*, S. 346—352, Wien 1970.
- OBERHAUSER, R.: Geologisches Gutachten über das Gebiet des Walgtaus nach Fragestellung der Raumplanung. — Wien 1972 (unveröff.).
- REICH, H.: Grundlagen der Angewandten Geophysik für Geologen. — *Akad. Verlagsges. Geest & Portig K. G.*, Leipzig 1960.
- STAM, J. C.: Modern development in shallow seismic refraction techniques. — *Geophysics*, 27, S. 198—212, 1962.
- WEBER, F., & WALACH, G.: Schlußbericht über die geophysikalischen Messungen im Walgau/Vlbg. — Leoben 1976 (unveröff.).
- ZIEBEL, N. N.: Comparison of break-point and time-intercept methods in refraction calculations. — *Geophysics*, 19, S. 716—721, 1954.

Manuskript eingereicht im April 1976.