Prom. Nr. 3315

Refraktionsseismische Untersuchungen im Raum Aare-, Limmat- und Surbtal

VON DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZÜRICH

ZUR ERLANGUNG

DER WÜRDE EINES DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

Ladislaus Rybach
dipl. Ing. Geologe ETH
Ungarischer Staatsangehöriger

Referent: Prof. Dr. F. Gassmann
Korreferent: Prof. Dr. A. Gansser

Zürich 1962
Offsetdruck: Schmidberger & Müller

EINLEITUNG

Das Institut für Geophysik der ETH hat sich schon mehrmals die Aufgabe gestellt, das Gebiet nordwestlich Zürich - bis zu Aare und Rhein - zu untersuchen. Nach einer gravimetrischen Arbeit von P. GRETENER (1954) hat O. FRIEDENREICH (1959) hier eine Widerstandskartierung durchgeführt. Es drängte sich daher der Gedanke auf, nun auch seismische Aufnahmen in diesem Raume zu machen, um so mehr, als sich die von M. WEBER entwickelten Interpretationsmethoden und Apparaturen (WEBER 1955a, 1956a, 1956b, 1957, 1959, 1960; GASSMANN und WEBER 1960) im Feld sehr gut bewährt haben.

Da jedoch seismische Arbeiten einen viel grösseren Aufwand erfordern als gravimetrische und geoelektrische Messungen, wurde ein Teilgebiet als Untersuchungsgebiet wie folgt abgegrenzt (Fig. 1):

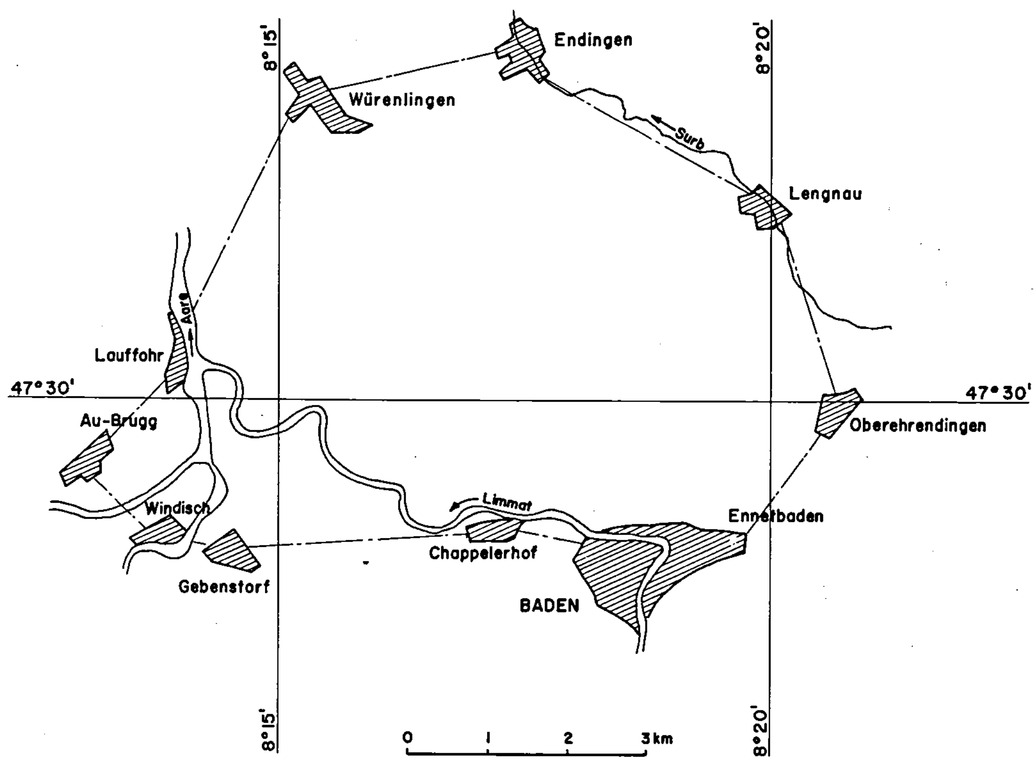

Fig. 1

Baden - Ennetbaden - Oberehrendingen - Lengnau - Endingen - Würenlingen - Lauffohr - Au-Brugg - Windisch - Gebenstorf - Chappelerhof

II. ALLGEMEINES ÜBER REFRAKTIONSSEISMIK

1. EINIGE GRUNDBEGRIFFE

Die refraktionsseismische Methode ist das älteste seismische Verfahren für die Erforschung des Untergrundes. Sie arbeitet mit Fronten von elastischen Wellen, welche an den im Untergrund vorhandenen Diskontinuitätsflächen refraktiert werden.

Löst man in einem Medium eine Explosion aus, so entstehen verschiedene Arten von Wellen, welche sich nach allen Richtungen fortpflanzen. In der angewandten Seismik befasst man sich in der Regel nur mit Fronten der rotationsfreien (Longitudinal-) Wellen, die sich in isotropen Medien fortpflanzen. Einen Spezialfall stellt die **Ersteinsatzseismik** dar: hier werden auf instrumentellem Wege in erster Linie jene Zeitpunkte festgehalten, zu denen die vorderste Front der Störung die Geophone einer beliebigen Messanordnung erreicht. Spätere Einsätze, wie Reflexionen etc. werden nicht beachtet. Gemessen wird die Zeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt der Sprengung und demjenigen des Eintreffens der Wellenfront; diese Grösse wird **Laufzeit** genannt.

Diese Werte, sowie die Geometrie der Messanordnung bilden die Grundlage für die Auswertung. Diese beruht auf gewissen Vereinfachungen und Annahmen bezüglich des Aufbaus des Untergrundes. In der vorliegenden Arbeit sind es:

a. Der Untergrund besteht aus homogenen, isotropen Schichten mit konstanten Frontgeschwindigkeiten, welche sich an den Schichtgrenzen sprunghaft ändern.
b. Die Frontgeschwindigkeiten, welche i.a. mit c_i bezeichnet werden, nehmen mit der Tiefe zu, so dass $c_i < c_k$, wenn $i < k$.
c. Die Messfläche F_1 ist horizontal, Sprengpunkte und Geophone liegen in einer Geraden in F_1. Die die Gerade enthaltende Vertikalebene ist die **Profilebene**.
d. Die Schichtgrenzen F_2 bis F_n sind Flächen, welche die Profilebene senkrecht schneiden. Die durch die Geophone gehenden Strahlen der an den Schichtgrenzen refraktierten Fronten liegen daher in der Profilebene (**zweidimensionaler n-Schichtenfall**). Im einfachsten Fall sind die Grenzflächen Ebenen mit gemeinsamer Streichrichtung senkrecht zur Profilebene. Haben die Ebenen verschiedene Streichrichtungen, so kann man trotzdem gemeinsames Streichen annehmen, solange die Neigungen gegenüber F_1 klein sind; andernfalls muss man sich der Auswertung des **räumlichen** n-Schichtenfalles (GASSMANN 1960) bedienen.
e. Die Quelle der Störung ist punktförmig.

Anhand der Fig. 2 seien die für die weitere Behandlung notwendigen Grössen definiert:

Der Untergrund bestehe aus einer Schichtserie (n - 1 Schichten) mit den Frontgeschwindigkeiten $c_1 \ldots c_{n-1}$. c_n ist die Frontgeschwindigkeit im Liegenden, $F_2 \ldots F_n$ sind die Schichtgrenzen. Werden in S elastische Wellen erzeugt, so kann man auf F_1 ihre Laufzeiten messen. Die Laufzeitfunktion besteht in diesem Fall aus n Geradenstücken (falls keine Schicht überschossen wird). ψ_1 repräsentiert die Laufzeiten der direkten Wellen; ψ_2 diejenige der an F_2, ψ_3 der auf F_3 usw. refraktierten Wellen. Die Laufzeit auf der Strahl ($SP_2P_3 \ldots P_nP'_n \ldots P'_3P'_2S'$) mit Scheitelstrecke $P_nP'_n$ in F_n ist entsprechend dem Abstand ℓ vom S $\psi(\ell)$. Allgemein ist die Laufzeit auf jeder ψ_k Laufzeitgerade eine lineare Funktion des Abstandes vom S.

Werden die Wellen nun in S' erzeugt, so erhalten wir ein entsprechendes Bild; die Anzahl der Laufzeitgeraden bleibt gleich (diese werden mit $\psi'_1 \ldots \psi'_n$ bezeichnet), nur ihre relative Lage ändert sich. Die Ordinatenabschnitte dieser Geraden seien gemäss Fig. 2 mit $T_2 \ldots T_n$ bzw. $T'_2 \ldots T'_n$. Die lotrechten Mächtigkeiten (in der Vertikalen unter S bzw. S' gemessen) seien $H_1 \ldots H_{n-1}$ bzw. $H'_1 \ldots H'_{n-1}$.

Bezeichnen wir den Winkel zwischen F_{i+1} und F_1 mit ε_i (i = 1,2,3 ... n-1); ε_i ist positiv, wenn F_{i+1} in der +x-Richtung aufsteigt. τ_i ist der Winkel zwischen F_i und F_{i+1}. Es ist $\tau_1 = \varepsilon_1$ und $\tau_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$ für i = 2,3, ... n-1.

α_{kn} (bzw. α'_{kn}) sind die Winkel zwischen Strahlstücken $\overline{P_kP_{k+1}} = a_k$ bzw. $\overline{P'_kP'_{k+1}} = a'_k$ und der Normalen auf F_{k+1} für Strahlen mit Scheitelstrecke in F_n. Die Profilgeschwindigkeit v_n ist gegeben durch den Benndorf'schen Satz:

$$(1) \qquad \frac{1}{v_n} = \frac{d\psi_n}{dx} = \frac{\sin(\alpha'_{1n} - \tau_1)}{c_1}$$

Ferner gilt für die Winkel α_{kn} das Brechungsgesetz:

$$
(2)\quad \left.
\begin{aligned}
\frac{\sin \alpha_{kn}}{\sin\left(\alpha_{k+1,n} + \gamma_{k+1}\right)} &= \frac{c_k}{c_{k+1}} \\[1ex]
\frac{\sin \alpha'_{kn}}{\sin\left(\alpha'_{k+1,n} - \gamma_{k+1}\right)} &= \frac{c_k}{c_{k+1}}
\end{aligned}
\right\}
$$

mit $k = 1,2, \ldots\ldots n-2$,
c_k ist die Frontgeschwindigkeit in der Schicht zwischen F_k und F_{k+1}.

Es gilt noch:

$$
(3)\quad \sin \alpha_{(n-1)n} = \sin \alpha'_{(n-1)n} = \frac{c_{n-1}}{c_n}
$$