TECHNISCHE MITTEILUNGEN

PRAKLA

Nr. 9 · November 1963

Ein neues Arbeitsgebiet der geophysikalischen Meßtechnik.

Akustische Gefrierschachtmessungen

Beim Abteufen eines Schachtes in wasserführendem und nicht standfestem Gebirge wendet man heute meist das Gefrierverfahren an.

Ein Ring von Gefrierbohrungen umschließt den künftigen Schacht. Die in den Gefrierrohren zirkulierende Kühlflüssigkeit entzieht dem umgebenden Gebirge ständig Wärme, so daß im Laufe der Zeit ein geschlossener Mantel aus gefrorenem Gebirge entsteht, der eine Schutzmauer gegen das Vordringen von Wasser, Schwimmsand oder nicht standfestem Gebirge bildet. Von diesem Frostmantel hängt im hohen Maße die Standfestigkeit des Schachtes während der Abteufarbeiten ab. Andererseits sollen Bau- und Betriebskosten des Gefrierschachtes niedrig gehalten werden.

Aus diesen Gründen ist eine wirksame Überwachung des Gefrierprozesses erforderlich. In den vergangenen Jahren wurde ein von der Firma

C. Deilmann Bergbau GmbH, Bentheim,

vorgeschlagenes akustisches Meßverfahren in enger Zusammenarbeit mit dieser Gesellschaft entwickelt. Es kann zur Lösung folgender Aufgaben eingesetzt werden:

Voruntersuchung der zu durchteufenden Gebirgsschichten auf deren FROSTVERHALTEN und den in ihnen zu erwartenden Frostfortschritt.

Überwachung des Gefrierprozesses durch Kontrolle auf SCHLIESSEN DES FROSTMANTELS und Bestimmung der FROSTWANDSTÄRKE in den verschiedenen Gebirgsschichten.

Beurteilung der BRUCHFESTIGKEIT der gefrorenen Gebirgsschichten.

http://www.prakla-seismos-report.de

Prinzip der Durchschallung eines Frostkörpers:

Laboruntersuchungen und praktische Messungen mit Ultraschallimpulsen haben gezeigt, daß in wasserführenden Schichten mit dem Gefrieren die Schallgeschwindigkeit zunimmt und die Dämpfung des Ultraschalls geringer wird. Diese physikalische Erscheinung erlaubt es, die Ausdehnung eines Frostkörpers durch akustische Laufzeitmessungen zwischen zwei Bohrlöchern festzustellen. Wie das im Prinzip geschieht, soll anhand eines Beispiels (s. Abb. 1) erläutert werden:

In einem Bohrloch außerhalb des Gefrierkreises hängt der Schallsender und in einem benachbarten Gefrierbohrloch auf gleicher Teufe der Schallempfänger. Ein ausgesandter Schallimpuls läuft auf der Strecke Sender-Empfänger zunächst im ungefrorenen Gebirge mit der relativ langsamen Geschwindigkeit V_u und dann nach Erreichen der Frostgrenze mit der höheren Geschwindigkeit V_g bis zum Empfänger. Gemessen wird die Laufzeit vom Moment des Aussendens eines Impulses bis zu dessen Eintreffen am Empfänger. Um mit diesem Meßwert die Lage der Frostgrenze bestimmen zu können, müssen noch die beiden Geschwindigkeiten V_u und V_g bekannt sein.

Die Schallgeschwindigkeit im ungefrorenen Gebirge wird durch eine Basismessung vor Beginn des Gefrierens ermittelt. Die Schallgeschwindigkeit im gefrorenen Gebirge kann beispielsweise aus Laufzeitmessungen im Frostkörper oder in gefrorenen Kernproben bestimmt werden.

Trägt man im Koordinatenpunkt der gemessenen Laufzeit die Geschwindigkeitsgerade für gefrorenes Gebirge an, so schneidet sich diese mit der Geschwindigkeitsgeraden für frostfreies Gebirge in einem Punkt. Das Lot von diesem Punkt auf die horizontale Achse des Diagramms gibt dort auf der Laufwegsskala an, welche Ausdehnung nach außen der Frostmantel an dieser Stelle hat.

Wird ein auf der Innenseite des Frostkreises liegendes Bohrloch in die Messungen einbezogen, so läßt sich auf gleiche Weise auch die innere Frostgrenze bestimmen.

Die hier gezeigte grafische Methode dient nur zur Veranschaulichung der Vorgänge bei der Schallübertragung. In der Praxis kommt wegen der Vielzahl von Meßteufen und Meßwerten allein ein rechnerisches Verfahren in Frage.

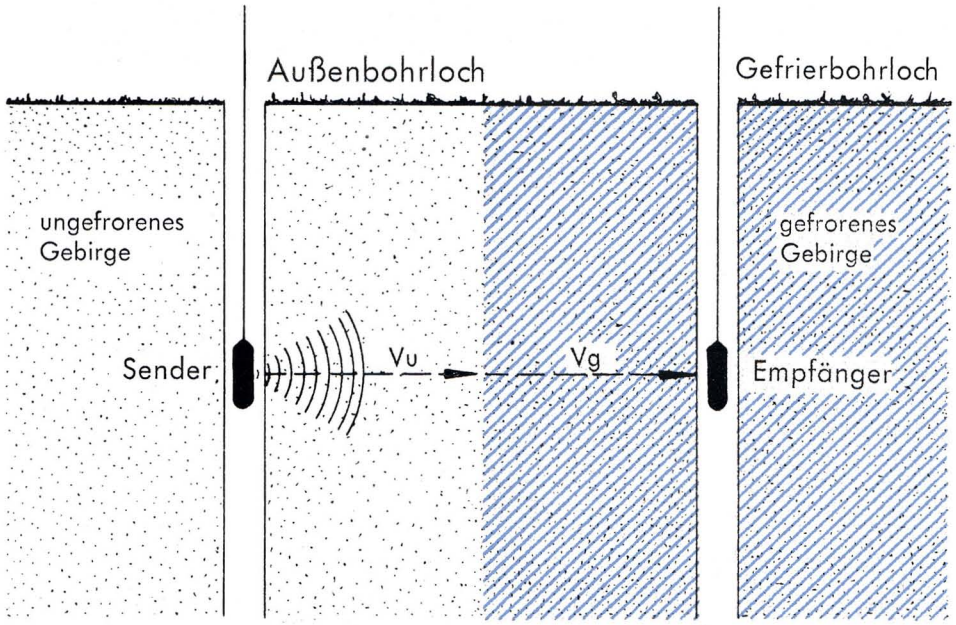
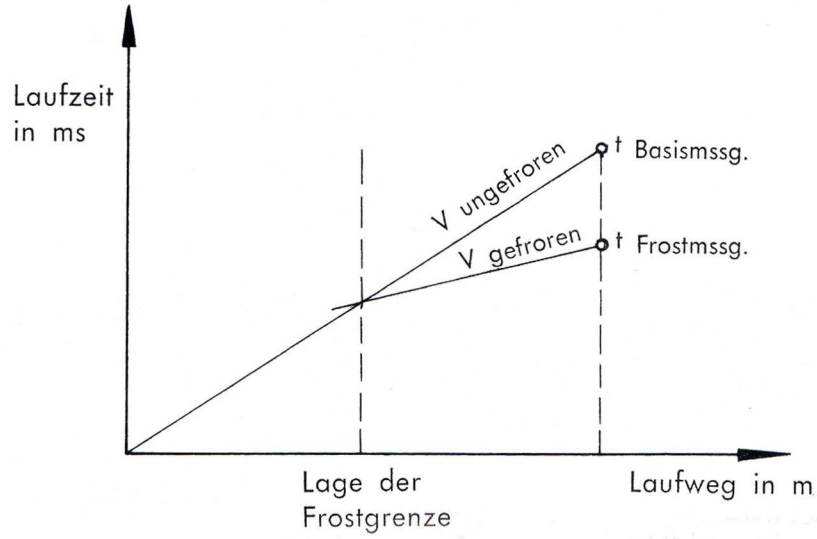


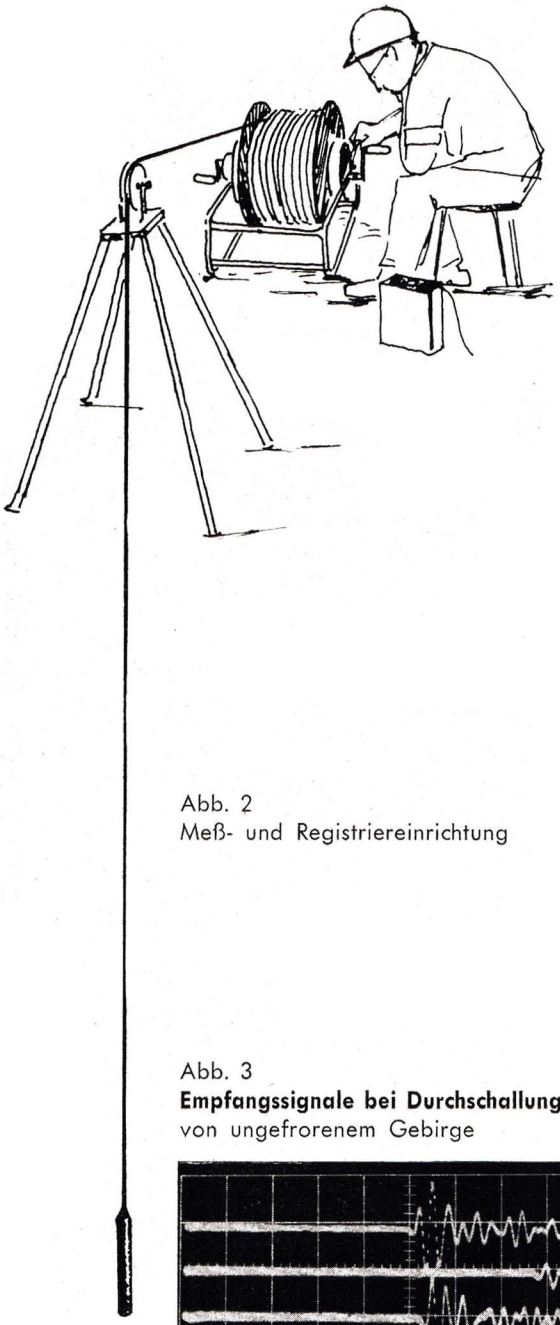
Abb. 1
Durchschallung des Frostmantels von einer Bohrung außerhalb des Gefrierkreises zu einer Gefrierbohrung



Grafische Bestimmung der äußeren Frostgrenze

http://www.prakla-seismos-report.de

MESSTECHNIK UND GERÄTE



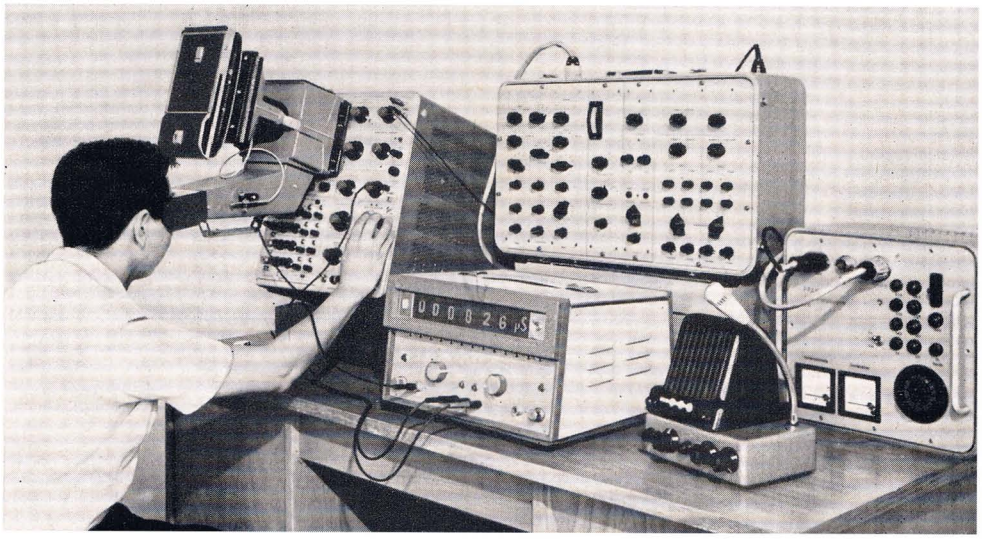
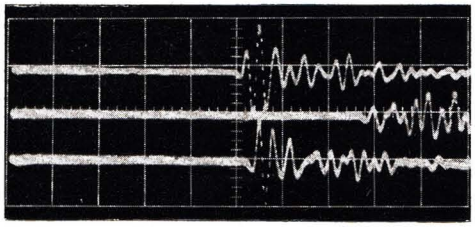
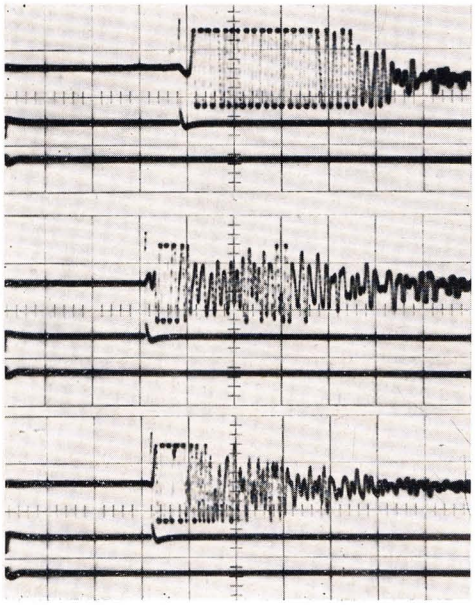


Abb. 2
Meß- und Registriereinrichtung

Abb. 3
Empfangssignale bei Durchschallung
von ungefrorenem Gebirge



von teilweise gefrorenem Gebirge



Bei den Durchschallungsmessungen von Bohrloch zu Bohrloch strahlt ein Schallsender periodisch Impulse hoher Intensität aus, deren Frequenzspektrum sich bis hinein in den Ultraschallbereich erstreckt, wodurch präzise Laufzeitmessungen ermöglicht werden.
Auf ihrem Weg vom Sender zum Empfänger erleiden die Schallwellen Verluste, u. a. durch Absorption und Zerstreuung, die in ihrer Gesamtheit als Dämpfung bezeichnet werden. Die in erster Linie von den Übertragungseigenschaften des durchschallten Gebirges abhängige Dämpfung beeinflußt naturgemäß die Reichweite. Im Verlauf von Gefrierschachtmessungen wurden bisher mit elektrisch erzeugten Schallimpulsen Reichweiten bis zu 8 m erzielt. Die normalen Durchschallungsentfernungen sind jedoch selten größer als 5 m.
Sender und Empfänger werden an Versenkkabeln in die Bohrlöcher eingelassen. Zur Schallankopplung zwischen Bohrlochwand und den Schallwandlern müssen die Bohrlöcher mit Flüssigkeit gefüllt sein. Für Durchschallungen vom Schachtstoß zu Gefrierbohrlöchern (in Sonderfällen) stehen spezielle Schallwandler zur Verfügung. Die Empfängersonden haben kleine Abmessungen und geringes Gewicht. Sie werden mit handbedienten, tragbaren Kabeltrommeln ein- und ausgefahren. Bei einem Sondendurchmesser von 30 mm wird das Ziehen von Fallrohren im allgemeinen nicht notwendig sein. Kabel und Sonden sind so beschaffen, daß sie ohne besondere Sicherungsmaßnahmen in Gefrierlauge eingesetzt werden können.
Sendeimpulse und empfangene Schallsignale erscheinen auf dem Bildschirm eines Mehrkanal-Oszillographen und können mit einer Polaroidkamera fotografisch registriert werden. Es ist möglich, die Signale mehrerer Durchschallungsstrecken gleichzeitig zu fotografieren.
Zur Meßapparatur gehören Stromversorgungsgeräte, Signalverstärker mit Filtereinrichtungen und schließlich ein automatischer Kurzzeitmesser, der die gemessenen Laufzeiten direkt anzeigt. Eine Sprechanlage verbindet den Meßtechniker an der Apparatur mit den Bedienungsleuten an den Kabeltrommeln.

http://www.prakla-seismos-report.de

Das Meßprogramm akustischer Gefrierschachtmessungen

AKUSTISCHE GEFRIERSCHACHTMESSUNGEN sind grundsätzlich in zwei Untersuchungsabschnitte aufzuteilen, in die BASISMESSUNG (auch Nullmessung genannt) und die nachfolgender FROSTMESSUNGEN.
Die Basismessung liefert die Ausgangswerte für die Kontrolle des Frostmantels und ermöglicht es, das Frostverhalten der zu durchteufenden Gebirgsschichten schon vor Beginn des Gefrierens abzuschätzen. Die im Verlauf des Gefrierprozesses in gewissen Zeitabständen vorzunehmenden Frostmessungen haben den Zweck, die Frostausbreitung und die Stärke des Frostmantels zu überwachen.

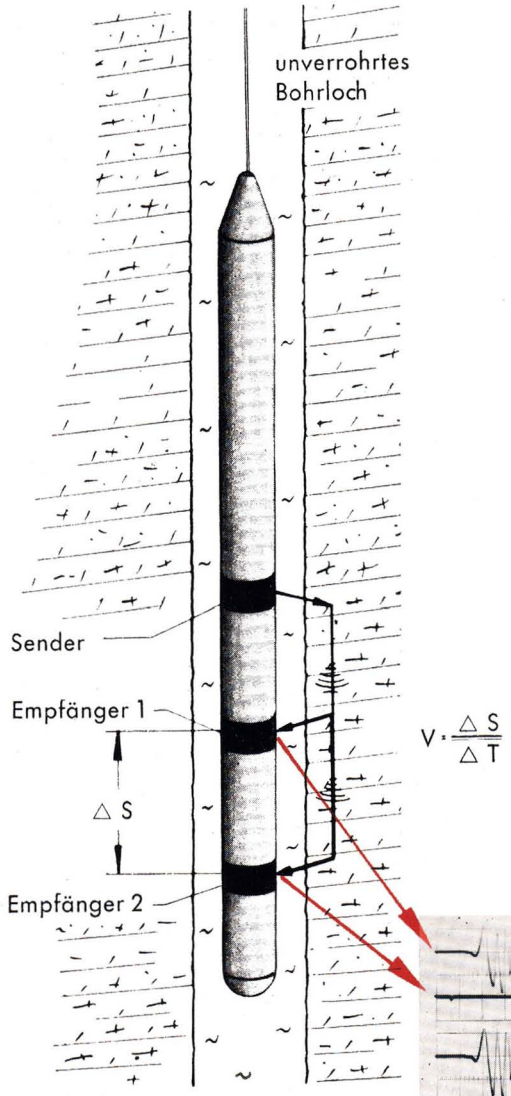
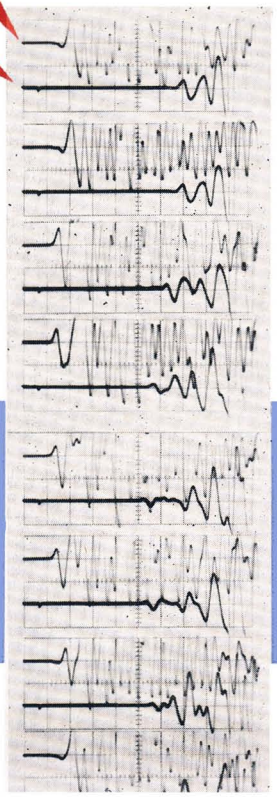


Abb. 4
Geschwindigkeitsmessung mit dem Akustik-Log

1 **Zu einem Meßprogramm gehören folgende Verfahren:**
Das AKUSTIK-LOG zur Messung der spezifischen Schallgeschwindigkeit und Dämpfung im ungefrorenen Gebirge. Mit diesem Bohrlochmeßverfahren können Lockerschichten, z. B. wasserführende Sande oder unverfestigte Tone ebenso wie harte Bänke bzw. konsolidierte Schichten lokalisiert werden. Zusammen mit Messungen der natürlichen Radioaktivität (Gamma-Log) gibt das Akustik-Log Aufschluß über das voraussichtliche Verhalten des Gebirges beim Gefrieren. Für die Messung wird ein unverrohrtes Bohrloch benötigt.

2 Horizontale DURCHSCHALLUNGEN ZWISCHEN GEFRIERBOHRLÖCHERN zur Kontrolle auf Schließen des Frostmantels besonders an solchen Stellen, die zur Bildung von Frostlücken neigen, und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in gefrorenem Gebirge. Außerdem läßt sich mit diesen Messungen, falls kein Mittelbohrloch vorhanden ist, der Anstieg des Wasserspiegels nachweisen.

3 Horizontale DURCHSCHALLUNGEN ZWISCHEN MESS- UND GEFRIERBOHRLÖCHERN zur Bestimmung der inneren und äußeren Grenze des Frostmantels. Die Meßergebnisse der Frostmessungen ermöglichen auch Abschätzungen der Druckfestigkeit der gefrorenen Schichten, so daß Grundlagen für Festigkeitsberechnungen gegeben werden können.



Fotografisch registrierte Empfangssignale (Poloroid-Reihenaufnahme)

Auswertung →

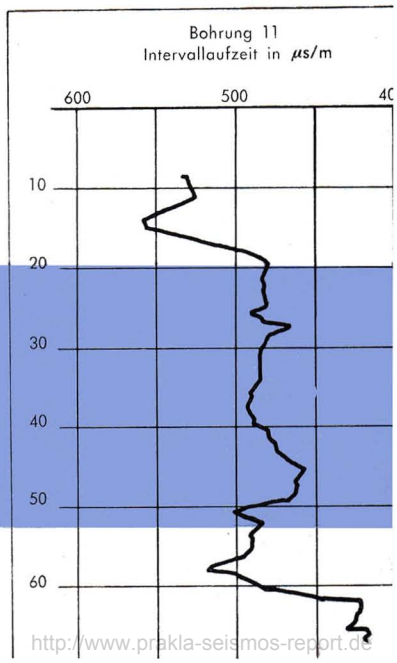


Diagramm der gemessenen Geschwindigkeit im laufzeitlinearen Maßstab

http://www.prakla-seismos-report.de

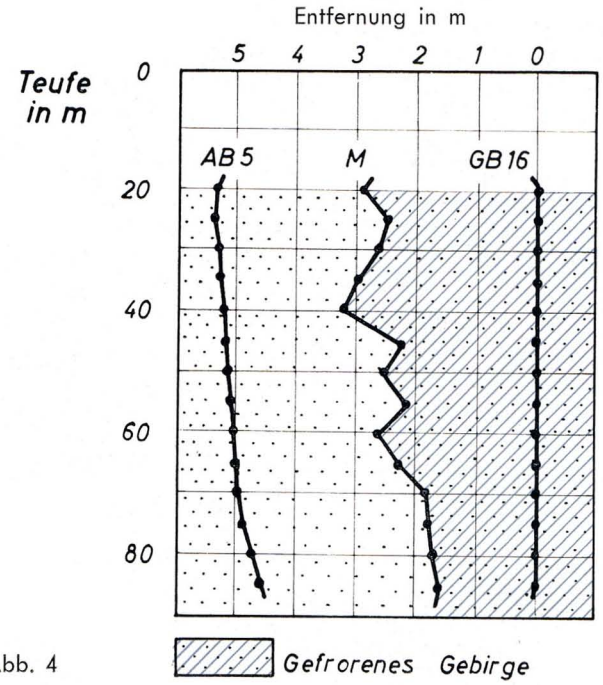


Abb. 4

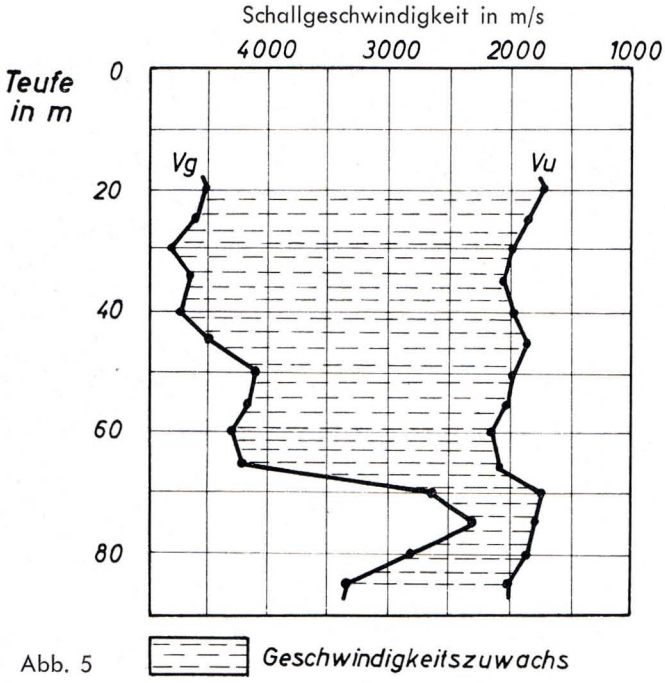


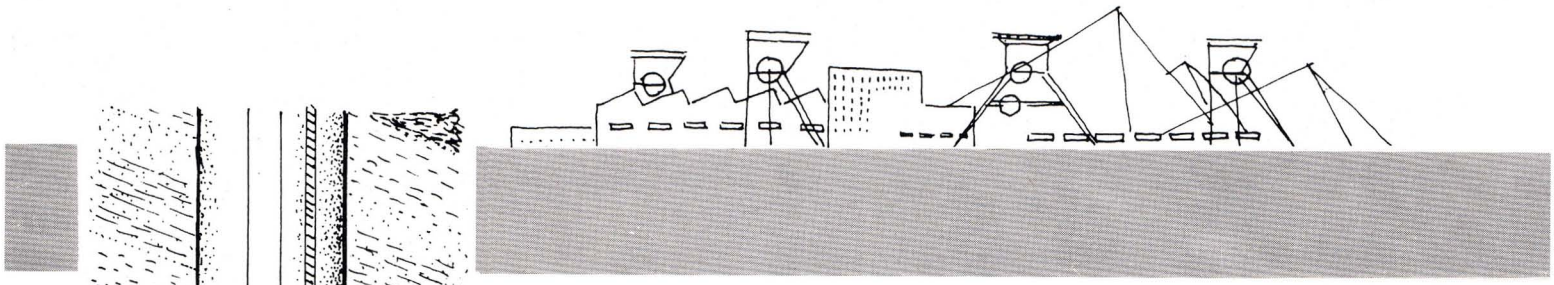
Abb. 5

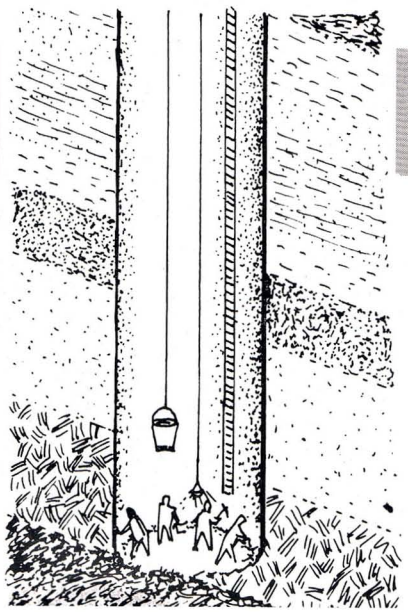
Beispiel aus einer Gefrierschachtmessung:

Beispiel:
Abb. 4 zeigt den Verlauf der äußeren Frostgrenze M zwischen einem Außen- und einem Gefrierbohrloch nach insgesamt 110 Gefriertagen. Alle Entfernungen sind auf das Gefrierbohrloch GB 16 bezogen.

Abb. 5 gibt im gleichen Bereich Aufschluß über die Zunahme der Schallgeschwindigkeit infolge des Gefrierens. In dem Abschnitt zwischen 20 und 40 m Teufe mit vorwiegend stark porösen, sandigen und kiesigen Schichten findet man einen überaus hohen Geschwindigkeitszuwachs von 2000 auf 4000 m/s. Da die Schallgeschwindigkeit auch ein Maß für die Festigkeit des Gebirges ist, deutet das auf eine erhebliche Verfestigung des Gebirges durch das Gefrieren hin. Die Kurve M zeigt im gleichen Teufenabschnitt eine Frostausdehnung von rund 3 m, die bei 25 bis 30 m Teufe auf 2,6 bis 2,7 m fällt. In diesem Bereich sind durch geoelektrische Messungen erhöhte Grundwasserfließgeschwindigkeiten festgestellt worden, so daß die Einbuchtung der Kurve M mit der Zufuhr zusätzlicher Wärme erklärt werden kann.

Zwischen 40 und 65 m Teufe stehen sandige und tonige oder lehmige Schichten an. Die Geschwindigkeit V_g hat noch hohe Werte über 4000 m/s, und die Frostgrenze M wechselt in Entfernungen zwischen 2,1 und 2,65 m. In den toniglehmigen Schichten unterhalb 65 m Teufe, in denen der Frostmantel nach 30 Tagen noch nicht geschlossen war, beträgt nach 110 Gefriertagen die geringste Frostausdehnung zwischen 1,7 und 1,9 m. Der entsprechende Geschwindigkeitszuwachs durch das Gefrieren ist hier wesentlich geringer als in den hangenden Sanden und zeigt in seinem Minimum bei 75 m Teufe einen Geschwindigkeitssprung von 1800 auf 2350 m, also nicht mehr als rund 30%. Im Hinblick auf die Gesteinsfestigkeit bedeutet dieses einen nur geringen Zuwachs an Verfestigung.

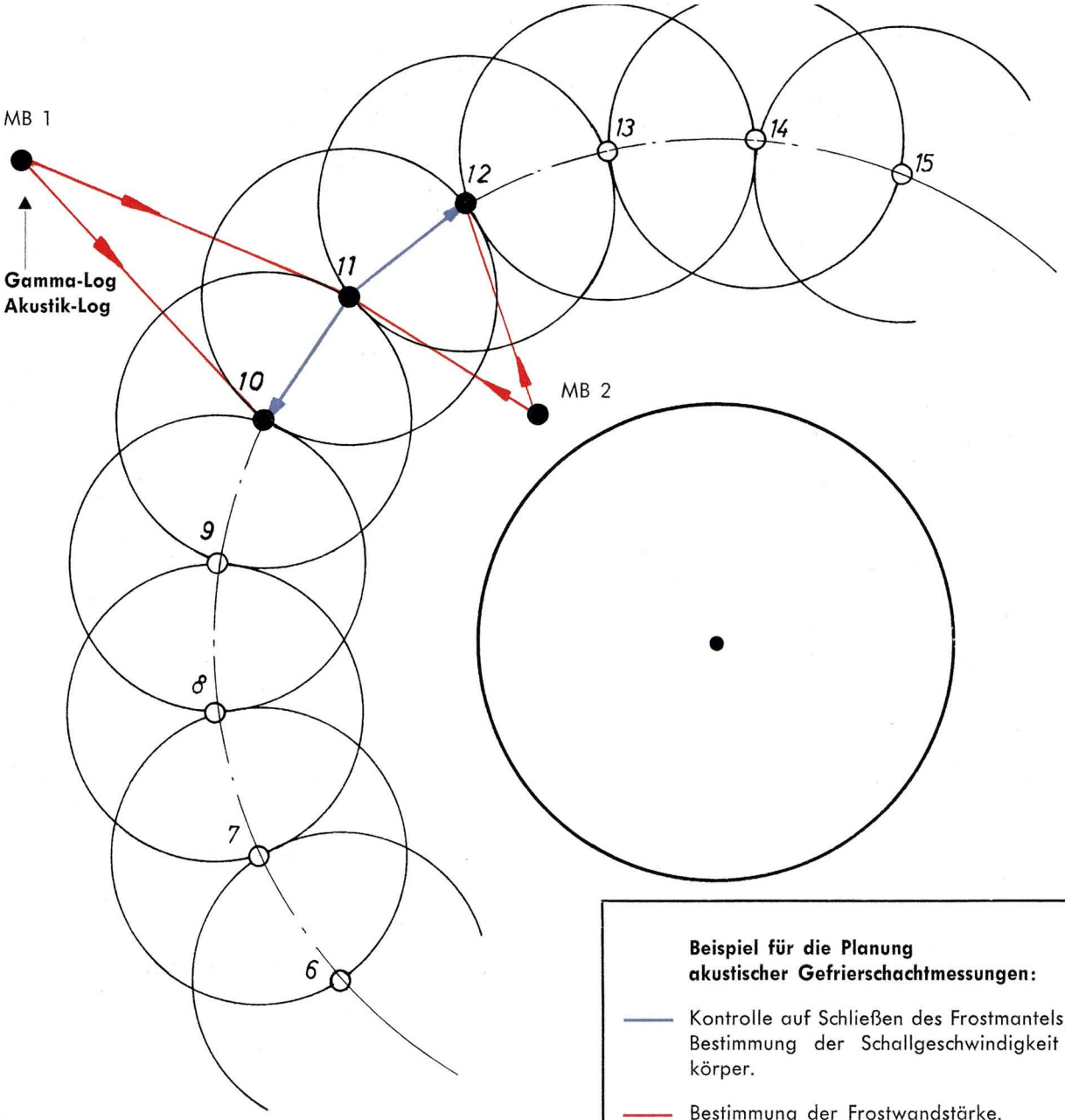




Akustische Messungen wie sie hier beschrieben sind beschränken sich nicht allein auf Gefrierschachtanlagen sondern haben auch für andere Objekte Bedeutung, bei denen das Gefrierverfahren angewendet wird, also bei speziellen Baugründungen.

Durchschallungsmessungen haben sich außerdem als geeignet erwiesen, flüssigkeitsgefüllte Hohlräume hinter einer Schachtauskleidung festzustellen und deren Verfüllung mit Zement zu überwachen.

http://www.prakla-seismos-report.de



Beispiel für die Planung akustischer Gefrierschachtmessungen:

Kontrolle auf Schließen des Frostmantels. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Frostkörper.

Bestimmung der Frostwandstärke.

Literaturhinweise:

DBP 936 922, C. Deilmann und C. H. Biedendieck, Bentheim, „Verfahren zur Feststellung der Ausbildung des Gefrierringes bei Gefrierschächten" (20. 9. 1950)

DBP 916 044, B. Brockamp, Münster, „Verfahren zur Feststellung des Temperatur- und Aggregatzustandes im Gefrierzylinder von Gefrierschächten" (23. 12. 1950)

G. Müller, Bentheim, „Geschwindigkeitsbestimmungen elastischer Wellen in gefrorenen Gesteinen und die Anwendung akustischer Messungen auf Untersuchungen des Frostmantels an Gefrierschächten", Geophysical Prospecting, Bd. 9 (1961), S. 3 – 22 mit 102 Literaturstellen

G. I. Mankovskij, M. S. Anzyferov, N. G. Goichman, J. J. Kagan, M. P. Ponemarjova, „Über die Ultraschallkontrolle des Frostmantels beim Schachtabteufen mit Hilfe des Gefrierschachtverfahrens" Moskau 1961, 69 S.

G. Müller, Bentheim, „Ultraschallmessungen zur Überwachung des Frostkörpers an Gefrierschächten", Glückauf, Bd. 98 (1962), S. 381 – 387 mit 15 Literaturstellen

H. Wachholz, Hannover, G. Müller, Bentheim, „Über einen Zusammenhang von Bruchfestigkeit und Schallgeschwindigkeit bei gefrorenen Erdschichten im Hinblick auf den Gefrierschachtbau" (Vortrag auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft vom 4. bis 6. April 1963 in Bochum)

PRAKLA

GESELLSCHAFT FÜR PRAKTISCHE LAGERSTÄTTENFORSCHUNG G.M.B.H. · 3 HANNOVER · HAARSTRASSE 5
TELEFON 80721 · TELEX 0922847

http://www.prakla-seismos-report.de