

<i>Eiszeitalter u. Gegenwart</i>	29	5—8	<i>Hannover 1979</i>
----------------------------------	-----------	-----	----------------------

A. Aufsätze

Glaziale Übertiefung unter rezenten Gletschern und in deren Vorfeld

HELMUT VIDAL *)

Seismic method, glacier, glacial erosion, glacial valley, typical form, deepening, in situ test, glacial modell, Central-Austrian Alps (Stubai Alps, Ötztal Alps), Tyrolia

Kurzfassung: Seismische Messungen auf 17 Gletschern der Alpen wurden hinsichtlich des Nachweises glazialer Übertiefung ihrer Unterlage ausgewertet. Eine derartige Übertiefung ist mehr oder weniger stark überall vorhanden und kann im Zungenbereich größerer Gletscher einige hundert Meter, bei Firnfeldgletschern und kleineren Gletscherflecken bis zu 50 Meter erreichen. Einige typische Formen glazialer Überprägung und Übertiefung unter rezenten Gletschern und in deren unmittelbarem Vorfeld werden behandelt.

[Glacial Deepening under Recent Glaciers and in front of their Tongue]

Abstract: Seismic measurements on 17 glaciers of the Alps have been checked with regard to the proof of glacial erosion and deepening of their bedrock. Such a deepening could be found more or less everywhere and can reach some hundred meters under the tongue of larger glaciers, about 50 meters on so called Firnfeld-glaciers and small glacier spots. Some typical forms of glacial modelling and deepening under recent glaciers and in front of the end of their tongue are discussed.

Über das Ausmaß der Glazialerosion unter rezenten Gletschern und durch die gewaltigen Eisströme der letzten Vereisungsperiode unserer Erde im inneralpinen Raum wußte man bis vor einigen Jahrzehnten nichts oder nur sehr wenig, da entweder die Gletscher selbst keine Beobachtung zuließen oder mächtige glaziale und postglaziale Sedimente die heute eisfreien Täler füllen.

Hier hat sich der angewandten Geophysik ein neues Arbeitsgebiet eröffnet. Geoelektrik, Gravimetrie und besonders die seismischen Verfahren haben sich hier bewährt und konnten der Glaziologie sowie der Glazialgeologie und Geomorphologie neue Informationen liefern. Im folgenden werden, basierend auf der themaaorientierten Auswertung seismischer Messungen auf 17 Gletscher der Alpen, Erkenntnisse über die glaziale Übertiefung unter diesen Gletschern und in deren unmittelbarem eisfreien Vorfeld mitgeteilt.

Bei den seismischen Verfahren werden durch Sprengungen im Eis Schallimpulse erzeugt, die sich in diesem und im Material des Gletscherbettes mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten, an den Grenzflächen reflektiert bzw. geführt werden, und deren Laufzeit an mehreren Beobachtungsstationen gemessen wird. Aus den Laufzeiten der verschiedenen Impulse läßt sich dann die jeweilige Mächtigkeit des Gletschereises berechnen. Deren Bestimmung auf Profillinien längs und quer zum Gletscher gestattet in Verbindung mit einer photogrammetrischen Erfassung des Reliefs der Gletscheroberfläche die Darstellung der Ausformung des Gletscherbettes und damit der Glazialerosion ggf. auch -akkumulation an der Gletschersohle; in gewissem Grade sogar eine Aussage über ihre geologisch-petrologische Beschaffenheit.

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. H. Vidal, Präsident des Bayerischen Geologischen Landesamtes, Prinzregentenstr. 28, 8000 München 22.

In den Jahren 1953—1957 hat ein Team des Instituts für Angewandte Geophysik der Universität München unter Leitung von O. FÖRTSCH und dem Verfasser (1955, 1956 a, 1958 a, 1958 c, 1968 a) mit systematischen seismischen Messungen auf Gletschern der Öztal- und Stubai-Alpen und im Rätikon begonnen. Vermessen wurden Teile des Firnfeldes des Gepatsch- und Kesselwandferners, der Hintereis-, Gurgler- und Sulztalferner und im Rätikon der Brandner-Gletscher. Diese Messungen, z. T. eingebaut in das Programm der Internationalen Hydrologischen Dekade, sollten, wie auch die meisten anderen hier erwähnten Messungen, in erster Linie in Verbindung mit Fragen des Wasserhaushaltes das Eisvolumen dieser Gletscher ermitteln. Im unmittelbaren Zusammenhang damit fielen aber auch Ergebnisse über die Ausformung ihrer Unterlage an (FÖRTSCH & VIDAL 1956 b, 1958 b, 1968 b). In den Jahren 1960/61 dehnte GIESE (1963) vom gleichen Institut die Messungen auf den gesamten Gepatschferner aus, während 1966—1969 MILLER (1972) den Guslar- und Vernagtferner, ebenfalls Gletscher in den Öztal-Alpen, eingehend seismisch vermessen hat. 1966 begann dann auch die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien ähnliche Messungen auf Gletschern der Ostalpen. 1966 haben BRÜCKL & STEINHAUSER (1967) als Mitarbeiter dieses Instituts den Vernagtferner, 1967/68 BRÜCKL, GANGL & STEINHAUSER (1969, 1971) den Hallstätter-, Schladminger- und Großen Gosau-Gletscher im Dachstein, 1969 BITTMANN, BRÜCKL & GANGL (1972) den Gefrorene Wand Kees im Gebiet des Tuxer Hauptkammes Tirol vermessen. 1970 folgte eine seismische Vermessung des Obersten Pasterzenbodens in der Glockner-Gruppe durch BRÜCKL, GANGL & WALLNER (1973) und 1973/74 des Ober- und Untersulzbachkees in der Venedigergruppe durch BRÜCKL & GANGL (1977). Das Institut für Geophysik der Universität Münster hat auf einigen Gletschern der Ost- und Westalpen Teile von Gletschern seismisch vermessen, so 1955 BROCKAMP (1958) zwei Profile auf der Pasterze, 1958 THYSSSEN & AHMAD (1968) vier Profile auf dem Konkordia-Platz des Aletschgletschers und 1966 THYSSSEN & KOHNEN (1968) zwei Kreuzprofile auf dem Schmiedinger Kees im Gebiet der Glockner-Gruppe.

Alle diese Messungen haben den Nachweis für glaziale Übertiefung bis hinauf in die Firnfelder rezenter Gletscher in den Alpen erbracht. Diese kann z. T. erhebliche Ausmaße erreichen, bis zu einigen hundert Metern im Zungenbereich größerer Gletscher. Auf den meist flächenhaften Firnfeldgletschern und kleineren Gletscherflecken liegt sie bei ca. 50 m. Längsschnitte durch größere Gletscher, wie Gepatschferner (GIESE 1963), Gurgler- und Hintereisferner (FÖRTSCH & VIDAL 1956 a, 1958 a), die sich aufgrund der seismischen Messungen vom Firnfeld bis zum Zungenende konstruieren ließen, zeigen ein besonders typisches Relief des Gletscherbettes. Wenn das aus dem Firnfeld abfließende Eis über die erste das anschließende Trogtal querende und dieses nach oben abschließende Felsschwelle talabwärts fließt, übertieft es an deren unterem Ende in der Regel die Talsohle; es entsteht, ähnlich wie bei einem Wasserfall, ein sog. Fußbecken. Die Übertiefung klingt talabwärts allmählich aus und geht in das normale Sohlgefälle über. Es entsteht dadurch, zumindest streckenweise, die für glazial überformte Trogtäler typische sog. Rückfälligkeit des Sohlenverlaufs. Trifft das abfließende Eis talabwärts erneut auf ein sich ihm in den Weg stellendes Hindernis in Form eines Felsriegels, so übertieft es auch vor diesem sein Bett erheblich; es entsteht durch glaziale Erosion ein sog. Vorbecken, das mitunter bis zu 100 m und erheblich mehr gegenüber dem Schwellenscheitel übertieft sein kann. Dabei wird die Schwelle auf ihrer Luvseite meist stärker erosiv beansprucht und ist hier steiler als auf der Leeseite. Nach dem Überfließen dieses Hindernisses kann es dann erneut zur Bildung eines Fußbeckens kommen. Durch seismische Messungen im Gebiet des Sulztalferners in den Stubai-Alpen (FÖRTSCH & VIDAL 1968 a) konnte nachgewiesen werden, daß sich diese Abfolge von Fußbecken, Trogbecken und Trogschwellen auch über mehrere Kilometer in das eisfreie Vorland dieses Gletschers fortsetzt.

Sicher wurde mit dem erstmaligen Vorstoß der Gletscher aus ihren Firnfeldern in die Täler zu Beginn der letzten großen Vereisungsperiode das präglaziale Talrelief durch den mit zunehmender Eismächtigkeit stärker werdenden Eisschurf mehr und mehr zu dem typischer Trogtäler ausgeformt und längs ihrer Achse mehr oder weniger stark übertieft. Aufgrund der geophysikalisch gewonnenen Erkenntnisse über die Glazialerosion im Bereich rezenter Gletscher und in den großen heute eisfreien inneralpinen Längs- und Quertrogtälern kann geschlossen werden, daß durch die Glazialerosion ein vom Talschluß bzw. den Talschlüssen der Seitentäler bis ins Vorland reichender typischer treppenförmiger Tallängsschnitt entstanden ist, der durch mehr oder weniger übertiefte Talabschnitte zwischen Felsriegeln gekennzeichnet ist.

Die seismischen Messungen haben auch noch andere Beweise für die glaziale Übertiefung und Ausformung vergletschelter Täler geliefert. In Bereichen, wo der Gletscherstrom durch die vorgegebene Talform seine Fließrichtung zu ändern gezwungen wurde, kommt es innerhalb oder unmittelbar unterhalb solcher Kurvenabschnitte zur Bildung deutlich asymmetrischer Talquerschnitte (FÖRTSCH & VIDAL 1956 a, 1958 a). Eine stärkere Eintiefung des Gletscherbettes und eine Versteilung der Felsböschungen ist an den prallhangseitigen Partien des Troges zu erkennen. Dies ist sicher auf ein hier stärkeres Angreifen der glazialen Erosion infolge größeren Druckes und damit einer stärkeren Verformung des Eises zurückzuführen, die ihrerseits in diesem nach außen gegen das prallhangseitige Gletscherbett gerichtete Gegenkräfte auslöst, während die Innenseite des Gletschers am Gleithang weitgehend kräftefrei bleibt.

Glaziale Übertiefungen konnten auch dort seismisch nachgewiesen werden, wo Seitengletscher mehr oder weniger senkrecht in den Hauptgletscher einmünden oder früher einmal eingemündet sind. Die Erosionskraft des Hauptgletschers wird hier durch den Massenzuwachs an Eis erheblich verstärkt. Dies führt zur Bildung eines sog. Konfluenz- oder Mündungsbeckens, das sich neben der Übertiefung der Felssohle unter die fluviale Gefällskurve meist auch durch eine Ausweitung des Talquerschnittes in der Horizontalen und eine Gehängeversteilung gegenüber der Einmündung bemerkbar macht (FÖRTSCH & VIDAL 1956 a, 1958 a). Dort, wo mehrere große Eisströme sich vereinigen, entsteht in deren Schnittpunkt eine besonders starke glaziale Erosionswirkung. So berichten THYSSEN & AHMAD (1968) aufgrund seismischer Messungen auf dem Aletschgletscher von einer Übertiefung bis zu 890 m am Konkordia-Platz, an der Konfluenz des großen Aletsch-, Jungfrau- und Grüneggfirns. Es handelt sich bei diesem Betrag vermutlich um die dort gemessene Eismächtigkeit. Die eigentliche Übertiefung des Gletscherbettes dürfte in diesem Fall um einige hundert Meter geringer sein, erreicht aber auch dann noch ganz beachtliche Beträge.

Ferner konnte auf dem Gurglerferner (FÖRTSCH & VIDAL 1958 a) nachgewiesen werden, daß talabwärts von einer Konfluenz zweier mehr oder weniger parallel oder spitzwinklig aufeinanderstoßender Gletscher der an Eismasse größere Gletscher sein Bett stärker übertieft. Diese Übertiefung klingt erst ein gutes Stück talabwärts allmählich aus.

Die Ergebnisse dieses kompilatorischen Berichts lassen sich knapp mit einer Formulierung zusammenfassen, die R. v. KLEBELSBERG am Ende des Abschnittes „Die glaziale Erosion und ihre Formen“ in seinem Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 1, 1948 verwendet hat: „Das Ausmaß der Glazialerosion ist eines der meist umstrittenen Probleme der Glazialgeologie. Die Glazialerosion hat zwar, nicht gleichsam autoritativ, große, neue Gesamtformen geschaffen, auch sind Tiefen- und Breitenausmaße im Verhältnis zur Gletschermächtigkeit und -erstreckung gering, wohl aber hat sie schon vorhandene ältere Formen sehr wesentlich aus- und umgestaltet und im einzelnen Talquerschnitt oft recht bedeutendes Ausmaß erlangt.“

Als R. v. KLEBELSBERG dies schrieb, konnte man sich über das Ausmaß der Glazialerosion unter rezenten Gletschern und im Bereich ihres Vorfeldes sowie in heute eisfreien großen Trogtälern noch keine klaren Vorstellungen machen, da entweder der Gletscher selbst, Moränen und/oder fluvioglaziale, fluviale bzw. limnische Sedimente direkte Beobachtungen weitgehend unmöglich machten und Bohrungen meist fehlten. Deshalb fällt den modernen Methoden der angewandten Geophysik neben der ebenfalls sehr wichtigen Ermittlung der Eismächtigkeit der Gletscher längs Profilen eine besondere Bedeutung auch bei der Klärung der glazialen Übertiefung in noch vergletscherten sowie heute sedimentär verschütteten eisfreien, aber ehemals vom Gletschereis durchflossenen Tälern zu.

Schriftenverzeichnis

- BITTMANN, O., BRÜCKL, E., GANGL, G. & WALLNER, F. J. (1973): Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Obersten Pasterzenboden (Glocknergruppe) im Jahre 1970. — Arb. Zentr. Anst. Meteor. Geodyn. Wien, **11**: 17 S. Wien.
- BROCKAMP, B. (1958): Reflektionsseismische Wiederholungsmessungen auf dem Pasterzegletscher und ihre Bedeutung für die Feststellung von Gletscher- und Inlandeisschwankungen. — Extrait. Rapp. — Assemblée Générale de Toronto 1957, **IV**: 509—513; Gentbrugge.
- BRÜCKL, E., & GANGL, G. (1972): Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Gefronne Wand Kees im Jahre 1969. — Arb. Zentr. Anst. Meteor. Geodyn. Wien, **10**: 13 S., Wien.
- & STEINHAUSER, P. (1969): Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1967. — Arb. Zentr. Anst. Meteor. Geodyn. Wien, **4**: 24 S., Wien.
- (1971): Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1968. — Arb. Zentr. Anst. Meteor. Geodyn. Wien, **9**: 31 S.; Wien.
- & STEINHAUSER, P. (1967): Seismische Eisdickenmessung auf dem Vernagtferner. — Anz. math.-naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss., **10**: 266—273; Wien.
- FÖRTSCH, O., SCHNEIDER, H. J. & VIDAL, H. (1955): Seismische Messungen auf dem Gepatsch- und Kesselwandferner in den Ötztaler Alpen. — Gerlands Beitr. Geophys., **64**: 233—261; Leipzig.
- & VIDAL, H. (1956a): Die Ergebnisse der seismischen Messungen auf dem Hintereisferner in den Ötztaler Alpen 1954. — Gerlands Beitr. Geophys., **65**: 45—70; Leipzig.
- (1956b): Glaziologische und glazialgeologische Ergebnisse seismischer Messungen auf Gletschern der Ötztaler Alpen 1953/54. — Z. Gletscherkd. Glazialgeol., **3**, 145—169; Innsbruck.
- (1958a): Die seismische Vermessung des Großen Gurgler Ferners in den Ötztaler Alpen im Spätsommer 1956. — Gerlands Beitr. Geophys., **67**: 1—30; Leipzig.
- (1958b): Beiträge zur Erforschung subglazialer Talformen und der in ihnen liegenden Ablagerungen. — Extrait C. R. Rapp. Assemblée, Générale de Toronto 1975, **IV**: 553—562; Gentbrugge.
- (1958c): Seismoglaziologische Studien an einem Gletscherfleck (Brandner-Gletscher im Rätikon). — Z. Gletscherkd. Glazialgeol., **4**: 35—45; Innsbruck.
- (1968a): Seismo-Glaziologische Untersuchungen im oberen Fischbachtal (Amberger Hütte, Stubaier Alpen). Z. Gletscherkd. Glazialgeol., **5**: 61—88; Innsbruck.
- (1968b): Die Existenz, Beschaffenheit und Bedeutung einer Zwischenschicht zwischen Gletschereis und Felsuntergrund. — Geol. Rdsch., **57**: 1019—1033; Stuttgart.
- GIESE, P. (1963): Some Results of Seismic Refraction Work at the Gepatsch Glacier in the Ötztal Alps. — Extract of Publ. No. 61 of the I.A.S.H. Commission of Snow and Ice: 154—161; Gentbrugge.
- KLEBELSBERGER, R. VON (1948): Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. 1, 1. Aufl., 403 S., Wien (Springer) 1948.
- MILLER, H. (1972): Ergebnisse von Messungen mit der Methode der Refraktions-Seismik auf dem Vernagt- und Guslarferner. — Z. Gletscherkd. Glazialgeol., **8**: 27—41; Innsbruck.
- THYSSEN, F. & AHMAD, M. (1968): Ergebnisse seismischer Messungen auf dem Aletschgletscher. — Polarforschung, **6**: Jg. 38, 283—293; Holzminden.
- & KOHNEN, H. (1968): Eisseismische Untersuchungen auf dem Schmiedinger Kees. — Polarforschung, **6**: Jg. 36, 78—82; Holzminden.
- ZIEKUR, R. (1971): Auswertung refraktionsseismischer Messungen auf dem Gepatschferner. — Dipl.-Arb. FU Berlin, 68 S.; Berlin. — [Unveröff.]