

grenzten Frist ihres Auftretens im Frühling.

Die Species nova *ovalis* steht *Paradileptus conicus* näher als die Species *robustus*.

Einziges bis jetzt bekanntes Vorkommen: Zürichsee, Schweiz, im Plankton (24. VI. 27).

Legende zu Tafel I

Fig. 1. Ein ziemlich schlankes Exemplar von *Paradileptus conicus* von der Bauchseite aus gesehen. Blick auf das hier ziemlich steil ansteigende Mundfeld; am Grund desselben findet sich der auf einer Papille sitzende Mund. Kurz vor der Endspitze des Körpers liegt der Zellafter. Durch die Zellwand durchscheinend ist der perlschnurartige Zellkern, sowie eine Anzahl von Vakuolen zu sehen.

Fig. 2. Ähnliches Individuum, von der Rückenseite her gesehen, mit schlankem Rüssel. Durchscheinend ist die Grenzlinie (punktiert) des Mundfeldes zu erkennen. Die Zilien am Zellkörper sind hier (wie auch in Abb. 1) weggelassen.

Fig. 3. Ein weniger schlankes Individuum, bei dem das Mundfeld gegen die Bauchseite hin etwas winkelig vorgezogen ist. Im Rüssel sind auch hier die Vakuolen zu sehen.

Fig. 4. Zellteilung. Besondere Beachtung verdient der länglich wurstförmige Zellkern. Beginnende Trennung der Tochterindividuen.

Fig. 5. Zellkern kurz nach der Teilung, beginnende Umformung zur perlschnurartigen Anordnung der Kernsegmente.

Fig. 6. Exemplar von *Paradileptus conicus* mit wenig steil ansteigendem Mundfeld und ziemlich kräftig entwickeltem Rüssel. Durchscheinend als rundliche helle Gebilde die Vakuolen. Kern nicht eingezeichnet; ebenso sind die Körperzilien weggelassen.

Fig. 7. Ein offenbar jugendliches Exemplar von *P. c.*, mit kurzem und seitlich abstehendem Rüssel. Kern schon perlschnurartig.

Fig. 8. Zyste mit ziemlich dicker Wandung und einer Gallerthülle mit radiärer Streifung.

Vorläufige Untersuchungsergebnisse über die Eignung alpiner Quarze für piezoelektrische Zwecke¹⁾

Von

C. FRIEDLAENDER und F. LOCHER

(Mit 10 Abbildungen im Text)

(Aus dem Mineralogisch-Petrographischen Institut und dem Institut für Schwachstromtechnik an der E. T. H.)

Zusammenfassung

Entgegen der verbreiteten Annahme, dass alpiner Quarz für piezoelektrische Zwecke völlig ungeeignet sei, ist es vielfach möglich, Bereiche innerhalb alpiner Quarzkri-

stalle abzugrenzen, aus denen piezoelektrische Präparate hergestellt werden können. Aus sorgfältig ausgewähltem alpinem Material hergestellte Präparate stimmen qualitativ und quantitativ mit brasilianischem Vergleichsmaterial überein.

¹⁾ Mit Bewilligung der Geotechnischen Kommission der S. N. G.

Einleitung

Die Geotechnische Kommission der S. N. G. (Prof. P. NIGGLI) und das Institut für

Schwachstromtechnik an der E. T. H. (Prof. E. BAUMANN) haben in Zusammenarbeit be-

gonnen, die Eignung alpiner Quarze für piezoelektrische Verwendung systematisch zu untersuchen.

Mit der Entwicklung der Nachrichtentechnik hat sich das Anwendungsgebiet der piezoelektrischen Erscheinungen in ungeahnter Weise vergrössert. Wir finden heute piezoelektrische Kristalle als frequenzbestimmende Elemente in Oszillatoren und Resonatoren, als unentbehrlichen Bestandteil hochwertiger Filter, als zuverlässigen Umwandler von zeitlich rasch veränderlichem Druck in elektrische Wechselspannungen, als Ultraschallsender in festen und flüssigen Stoffen usw. Ein weiteres grosses Anwendungsgebiet umfasst die Kristall-Mikrophone, -Tonabnehmer und -Kopfhörer.

Eine grosse Anzahl von kristallinen Substanzen zeigen piezoelektrisches Verhalten, jedoch eignen sich nur wenige davon für die praktische Anwendung. Die grösste Bedeutung erlangte bisher der Quarz, vor allem wegen seiner hohen Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Einflüsse. In schwingungstechnischer Hinsicht ist als hervorstechendes Merkmal die kleine Dämpfung zufolge der geringen inneren Reibung zu erwähnen. In allen Anwendungsgebieten, in denen hohe zeitliche Konstanz verlangt wird (Oszillatoren, Resonatoren), kommt der inneren Reibung und damit den Verlusten im Kristall entscheidende Bedeutung zu.

In den letzten Jahren ist deshalb die Nachfrage nach brauchbaren Quarzkristallen in allen Ländern gewaltig gestiegen. Quarz gehört zwar zu den verbreitetsten Mineralien; für piezoelektrische Verwendung brauchbares, störungsfreies Material ist jedoch offenbar überall selten.

Alpiner Bergkristall erlangte bis jetzt keine praktische Bedeutung. Alle Experimente endeten mit einem mehr oder weniger grossen Misserfolg, so dass allmählich die Meinung aufkam, der alpine Quarz sei als Schwingquarz nicht zu gebrauchen. Vor dem Krieg kam der grösste Teil des zu

Piezoquarz verarbeiteten Materials aus Brasilien.²⁾

Es werden hier vor allem detritische, sekundäre Vorkommen abgebaut, wobei der Quarz aus pegmatitischen und hydrothermalen Gängen stammt. Schon vor dem Krieg hat man in verschiedenen Ländern versucht, im eigenen Gebiet geeignetes Material zu gewinnen. So wurden z. B. in Russland systematisch fluviatile Quarzgerölle untersucht.

Die von der schweizerischen Industrie der Nachrichtentechnik verwendeten Schwingquarze wurden meistens fertig geschliffen und gehalten von den einschlägigen deutschen, englischen und amerikanischen Firmen bezogen.

Durch das kriegsbedingte Versiegen der Bezugsquellen machte sich bald ein fühlbarer Mangel an diesem Bauelement bemerkbar. Dieser Mangel gab den Anlass zu unseren Untersuchungen. Das von uns verwendete Material — Quarz aus alpinen Zerrklüften — wurde zum Teil in entgegenkommender Weise durch Herrn Prof. R. L. PARKER aus den Beständen der Mineralogischen Sammlung der E. T. H. zur Verfügung gestellt, wofür auch an dieser Stelle der beste Dank ausgedrückt werden soll.

Ferner möchten wir auch Herrn Direktor E. SANDMEIER von der Swiss Jewel Co. S. A., Locarno, für die entgegenkommende und sorgfältige Anfertigung von zahlreichen Quarzpräparaten unseren verbindlichsten Dank aussprechen. Die Geotechnische Kommission der S. N. G. und die Generaldirektion der P. T. T. ermöglichten durch verdankenswerte finanzielle Beiträge, die Untersuchungen auf eine breite Basis zu stellen.

²⁾ O. H. LEONARDOS e L. J. de MORAES, *Quarzo; Mineração e Metallurgia*, 11 (1936); E. U. do Brasil, Min. de Agricultura, Dep. Nac. da Produção Mineral, Serv. de Fomento da Produção Mineral. P. F. KERR a. A. I. ERICHSEN, *Origin of quartz deposits at Fazenda Paçú, Brasil*; Amer. Mineral. 27, 487—99 (1942).

I. Mineralogische Untersuchung

Folgende Erscheinungen sind an alpinen Quarzen sehr verbreitet:

Spaltrisse und unregelmässig verlaufende Bruchlinien,

Einschlüsse,

Verzwilligung,

Suturen an den Prismenflächen.

Für die Verwendung als Piezoquarz ma-

chen sich besonders Spaltrisse und Verzwilligung störend bemerkbar. Bei den Spaltrissen ist das ohne weiteres klar. Dass die Verzwilligung auf das piezoelektrische Verhalten störend wirken muss, ergibt sich aus der Überlegung, dass wenn zwei Individuen in Zwillingstellung im elektrischen Feld angeregt werden, Schwingungen in verschiedenen Richtungen erfolgen müssen, die sich gegenseitig beeinflussen und teilweise aufheben werden. Einschlüsse haben, wenn nicht in zu grosser Häufung, offenbar keinen sehr schädlichen Einfluss auf die piezoelektrischen Eigenschaften. Auch die für die alpinen Quarze geradezu charakteristischen Suturen scheinen sich auf das elektrische Verhalten nicht störend bemerkbar zu machen.

Spaltrisse und Bruchlinien sowie auch die weniger störenden Einschlüsse lassen sich bei Durchleuchtung mit einer starken Lichtquelle ohne weiteres erkennen. Verwachsungen und Verzwilligung mit nicht parallelen Hauptachsen wird man im allgemeinen optisch erkennen und leicht ausscheiden können. Verzwilligung mit parallelen Hauptachsen werden sich hingegen nicht ohne genauere Untersuchung festlegen lassen. Zur Abgrenzung von für piezoelektrische Verwendung geeigneten Bereichen innerhalb eines gegebenen Kristalles ist es jedoch unumgänglich, Art und mengenmässige Verteilung der Verzwilligung festzulegen. In Frage kommen besonders Verzwilligungen nach folgenden Zwillingsgesetzen:

1. Dauphiné-Gesetz: Individuum I in Drehstellung um 180° um die Hauptachse c zu Individuum II; Drehungssinn der beiden beteiligten Individuen ist gleich (RR' ; LL') (Abb. 1).
2. Brasilianer-Gesetz: Individuum I steht spiegelbildlich zu Individuum II; Drehungssinn der beiden beteiligten Individuen entgegengesetzt (RL ; $L'R'$).
3. Komplex Dauphiné-Brasilianer: Individuum I in Drehspiegelstellung zu Individuum II; Drehungssinn der beiden beteiligten Individuen entgegengesetzt ($R'L$; $L'R$).

Die Untersuchung der Verzwilligung wurde vor allem durch Ätzung mit Flusssäure ermöglicht. Sie hat folgendes ergeben:

1. Von sämtlichen bisher untersuchten alpinen Quarzkristallen erwies sich bei näherer Untersuchung kein einziger als völlig unverzwilligt. Als alpines Zerrklufmineral scheint unverzwilligter Quarz nicht vorzuliegen oder zum mindesten äusserst selten zu sein.
2. Bei sämtlichen untersuchten Proben wurde Verzwilligung nach dem Dauphiné-Gesetz festgestellt.
3. Verzwilligung nach dem Brasilianer-Gesetz (+ Dauphiné) ist bei alpinem Quarz eine ziemlich häufige Erscheinung; bei einem grossen Teil der Präparate konnte Brasilianer-Verzwilligung nachgewiesen werden (Abb. 2). Die Bereiche mit Brasilianer-Verzwilligung sind vielfach relativ klein, \pm scharf begrenzte Partien bzw. schmale eingelagerte Lamellen. Verzwilligung

Abb. 1

Dauphiné-Verzwilligung, auf Fläche senkrecht zur Hauptachse nach Ätzung mit HF ; Vergr. $210\times$; Furka. Die Spur der Zwillingsebene ist durch die Stellung der Ätzgebilde deutlich zu erkennen.

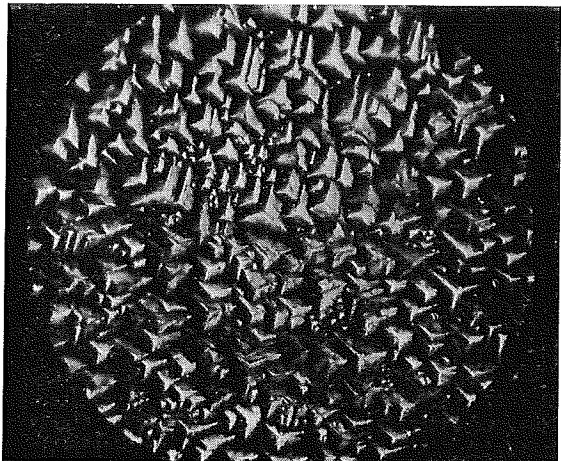


Abb. 2

Brasilianer-Verzwilligung,
auf Fläche senkrecht zur
Hauptachse nach Ätzung mit
HF; Vergr. 18×; reflektier-
tes Licht; Fellital.

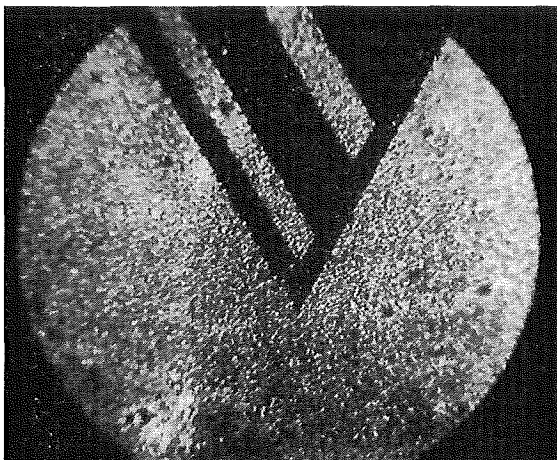
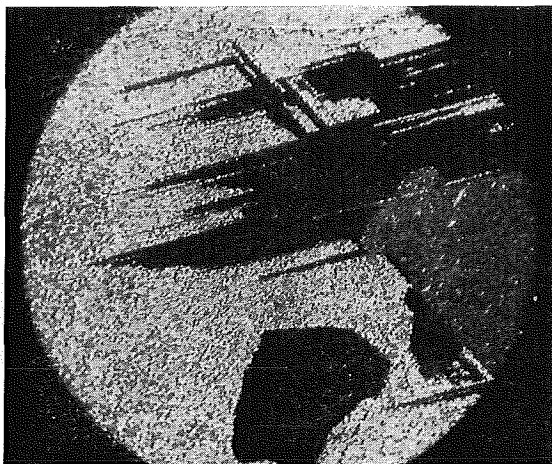


Abb. 3

Dauphiné- und Brasilianer-
Verzwilligung, auf Fläche
senkrecht zur Hauptachse
nach Ätzung mit *HF*;
Vergr. 12×; reflektiertes
Licht; Furka.



lingung nur nach Brasilianer-Gesetz, ohne dass im selben Kristall auch Verzwilligung nach Dauphiné-Gesetz vorliegt, wurde bis jetzt nicht beobachtet (Abb. 3).

4. Die Zwillingsgrenzen verlaufen bei Dauphiné-Verzwilligung kompliziert, unregelmässig buchtig; bei Brasilianer-Verzwilligung geradlinig, parallel den Rhomboederflächen, gelegentlich in ganz schmalen Lamellen.
5. Verfolgt man den Verlauf der Verzwilligung innerhalb eines Kristalls, so zeigt sich regelmässig, dass die Verzwilligung von der Spitze zur Anwachsstelle hin einfacher und grossräumiger wird; desglei-

chen auch im allgemeinen von aussen nach innen. Es bedeutet dies offenbar, dass in der Anlage einfache Kristalle bzw. in einfacher Weise verzwilligte Kristalle bei länger währendem Wachstum zusehends kompliziert werden.

6. Es scheint, dass sich regionale Unterschiede im Verlauf der Verzwilligung bei Quarzkristallen von verschiedenen alpinen Vorkommen angeben lassen.

Die eingangs erwähnten Suturen sind die bei alpinen Quarzkristallen sehr häufig auftretenden Linien, die mehr oder weniger parallel der Längsachse auf Flächen der Prismenzone und zuweilen auch deutlich

in den Rhomboederflächen festzustellen sind. Diese Suturen durchschneiden und unterbrechen vielfach die horizontale Streifung auf den Prismenflächen.

Im allgemeinen fallen diese Linien nicht mit Zwillingsfeldergrenzen zusammen; die Suturen haben mit Dauphiné- oder Brasilianer-Verzwilligung nichts zu tun. Schnitte parallel den Prismenflächen zeigen, dass scharf und deutlich im Raum voneinander absetzende Lamellen vorliegen, deren Längsachsen einen Winkel von $1-3^\circ$ gegeneinander bilden und die auch um die Längsachse gedreht sind. Es bestätigt dies die sich vielfach morphologisch aufdrängende Beobachtung, dass der alpine Zerrkluftquarz polylamellar gebaut ist; der einheitlich aussehende Kristall ist in Wirklichkeit ein kristallstockartiges Aggregat von Lamellen. In den X-Plättchen, und noch deutlicher in Y-Plättchen, erkennt man im polarisierten Licht die Lamellen sehr deutlich (Abb. 6, 7).

In Zusammenhang mit dem lamellaren Bau stehen die Schlieren, die man in der Durchsicht in parallel zur Basis geschnittenen, polierten Präparaten beobachten kann (Abb. 8). Diese Schlieren (Unterschiede in der Lichtbrechung) sind offenbar bedingt durch das bis zu 3° gemessene Alternieren der Orientierung der Hauptachse aneinandergrenzender Lamellen; sie verlaufen \pm senkrecht zu den Prismenflächen. Für die Verwendung als Piezoquarz ist der lamellare Bau kein prinzipielles Hindernis.

Als bisheriges Ergebnis der Untersuchung kann festgehalten werden, dass bei sorgfältiger wissenschaftlicher Untersuchung in vielen Fällen innerhalb eines Kristalles Teile abgegrenzt werden können, die in sich einheitlich sind oder doch nur geringfügige Störungen aufweisen und die daher für piezoelektrische Zwecke in Frage kommen. Die verbreitete Annahme, dass alpiner Quarz für piezoelektrische Verwendung un-

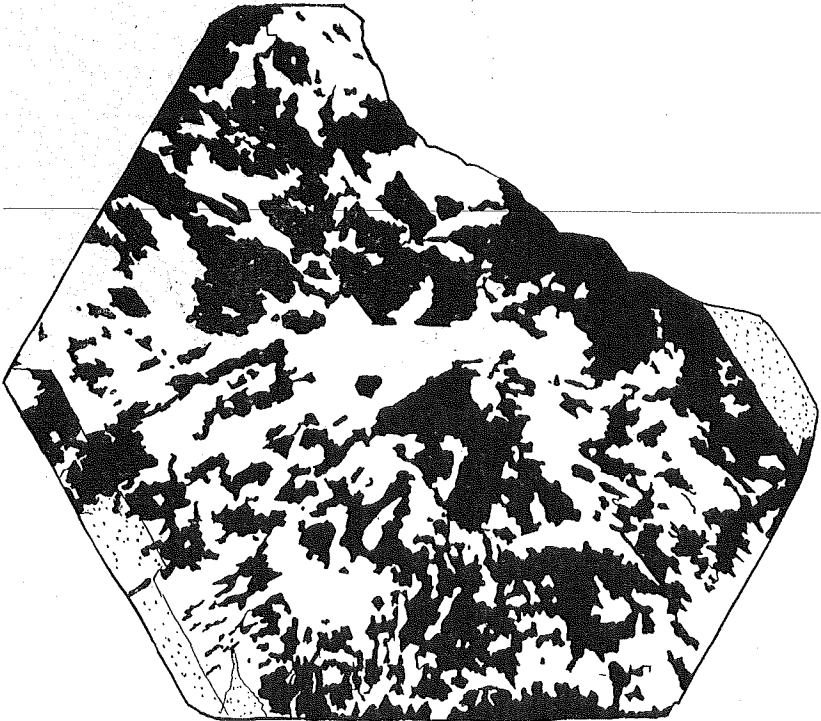


Abb. 4

Schaubild der Verzwilligung (Dauphiné), auf Fläche senkrecht zur Hauptachse, ca. natürliche Grösse, reflektiertes Licht; Gotthardtunnel.



Abb. 5

do.; derselbe Quarzkristall; Schnittfläche etwa 2 cm näher gegen die Anwachsstelle.

brauchbar sei, ist somit nicht zutreffend. Diese Meinung gründet sich vermutlich auf ungünstige Erfahrungen, die man mit willkürlich ausgewähltem Material gemacht hat, ferner vielleicht auch auf den Umstand, dass man häufig irrtümlich die Suturen für Zwillingsgrenzen angesehen hat.

Im zweiten Abschnitt dieser Mitteilung

werden die Ergebnisse der elektrischen Untersuchung von Beispielen typischer alpiner Quarzpräparate sowie vergleichsweise von einem brasilianischen Präparat mitgeteilt. Die für diese Präparate verwendeten Quarze sollen kurz gekennzeichnet werden.

Dass die im zweiten Teil dieser Mitteilung angeführten und hier kurz gekenn-

Bezeichnung	Herkunft	Ungef. Dimension Länge Ø in cm		L oder R	Verzwilligung	Schlieren Suturen
H	Cristallina Goyaz Brasilien	10,9	7,7	L	begrenzter Bereich; Brasilianer- Gesetz	nicht festgestellt
N	Gotthard	8,6	5,8	L	Dauphiné- und Brasilianer- Gesetz	deutlich
E	Gotthardtunnel	18	10	L	Dauphiné- und Brasilianer- Gesetz	deutlich

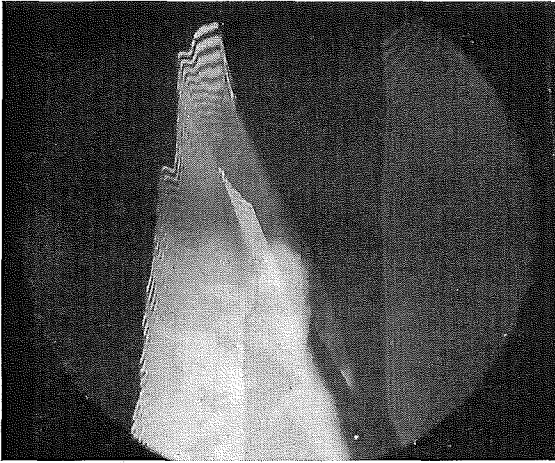


Abb. 6

Lamellen-Phänomen; X-Plättchen, ca. 1 mm dick, polaris. Licht. Vergr. $12\times$; Göschener Alp. Die Hauptachse verläuft NS; die Lage der opt. Achse ist in den benachbarten Lamellen um ca. 2° verschieden; dadurch erkennt man die keilförmig-wellig ineinander verzahnten Lamellen. Die räumliche Lage wird durch die Doppelbrechungsstreifen deutlich.

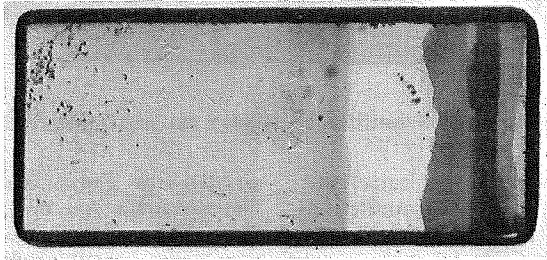


Abb. 7

Lamellen; Y-Plättchen, ca. 1 mm dick; polaris. Licht; ca. $2:1$; Gotthardtunnel.

zeichneten Quarzkristalle durchgehend Links-Quarz sind, ist weder beabsichtigt noch wesentlich. Nach Auszählungen an Brasilianer Material³⁾ sowie an alpinen Quarzkristallen sind *L*- und *R*-Quarze gleich häufig vertreten. Auf das elektrische Ver-

halten hat der Drehsinn keinen Einfluss.

³⁾ W. TROMMSDORFF: Das Verhältnis der Anzahl der Linksquarze zu der Anzahl der Rechtsquarze in einer grösseren Menge von Quarzkristallen. N. Jahrb. Min., A, Beil. Bd. 72, 464–95 (1937).

II. Untersuchung über das piezoelektrische Verhalten

Allgemeines.

Bei der Anwendung von Schwingquarzen bedient man sich des sog. inversen Piezo-

effektes, d. h. der Tatsache, dass ein piezoelektrischer Kristall durch ein geeignet an-

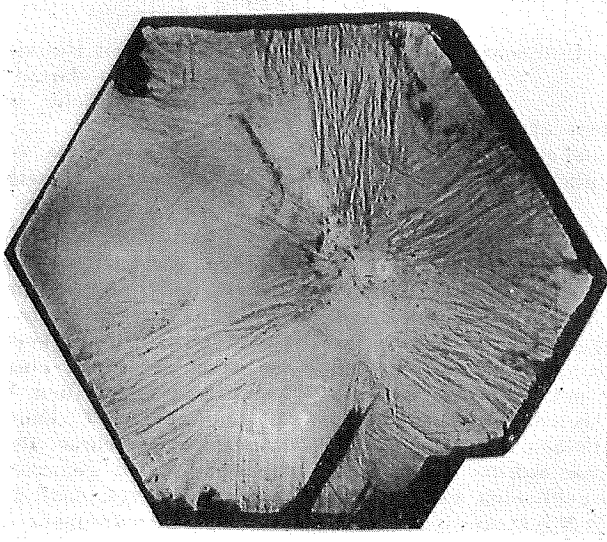


Abb. 8

Schlieren; Durchsicht durch eine polierte Quarzplatte senkrecht zur Hauptachse; 1 : 1; Furka.

gelegtes elektrisches Feld bestimmte mechanische Deformationen (Dehnungen und Scherungen) erfährt.⁴⁾

Praktisch wichtig ist nun vor allem das elektrische, impedanzmäßige Verhalten des Schwingquarzes bei veränderlicher Frequenz des erregenden Wechselfeldes, wenn dessen Schwingungszahl pro Sekunde in der Nähe einer Eigenfrequenz des Schwingkörpers liegt, oder mit ihr zusammenfällt (Resonanz). Die Schwingungsamplituden erfahren in diesem Fall eine vielhundertfache Vergrößerung und zufolge des direkten Piezoeffektes macht sich eine entsprechende Rückwirkung auf den elektrischen Kreis bemerkbar. Für diesen Zustand gilt das Ersatzschema der Abb. 9.⁵⁾

C_0 wird durch die statische Kapazität (Elektroden, Halterung) bestimmt, L und C

stellen die dynamische Induktivität resp. Kapazität dar, R ist der Verlustwiderstand, d. h. ein Mass für die im elektromechanischen System in Wärme umgesetzte Energie.

Bestimmt man quantitativ die Werte des Ersatzschemas, so ist damit das Verhalten des Schwingquarzes für die technische Anwendung charakterisiert. Aus den Ersatzgrößen und den geometrischen Dimensionen des Schwingkörpers sowie der Dichte können der für die Kopplung zwischen dem elektrischen und mechanischen System massgebende Piezomodul, der Elastizitätsmodul für die betr. Schwingungsrichtung sowie die Dielektrizitätskonstante berechnet werden.

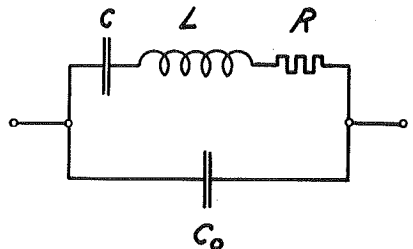


Abb. 9

Ersatzschema des Schwingquarzes

⁴⁾ Vgl. A. SCHEIBE, Piezoelektrizität des Quarzes, Wissenschaftliche Forschungsberichte Bd. 45, Dresden & Leipzig (1938).

P. VIGOUREUX, Quartz Oscillators and their applications; Deptmt. of Scientific and Industrial Research, H. M. Stat. Off., London (1939).

⁵⁾ M. v. LAUE, Piezoelektrisch erzwungene Schwingungen von Quarzstäben; Z. f. Phys. 34, 347—61 (1925).

Aufgabestellung

Die vorliegende Untersuchung hatte abzuklären:

- a) Besteht zwischen einem Schwingquarz ausländischer und einem solchen alpiner Herkunft bezüglich des physikalischen

Verhaltens ein Unterschied, wenn man beim letzteren darauf achtet, dass die verwendeten Teile nicht verzwilligt sind?

- b) Wie wirkt sich die Verzwilligung auf das schwingungsmässige Verhalten aus?

Messmethode

Die Messungen wurden vorwiegend an Stäben, die nach dem X-Schnitt (Curie-Schnitt) aus dem Kristall geschnitten worden waren, durchgeführt (Abb. 10). Das Koordinatensystem x, y, z ist so festgelegt, dass die x -Achse mit einer der kristallographischen a -Achsen identisch ist, die z -Achse mit der optischen Achse zusammenfällt und die y -Achse auf der durch die x - und die z -Achse gebildeten Ebene senkrecht steht. Ist $L \gg B \gg D$, so wird der Stab beim Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes in der x -Richtung zu Dehnungsschwingungen in der dazu senkrechten y -Richtung angeregt. Die Frequenz der Grundschwingung f_0 (in Hz) berechnet sich in bekannter Weise aus dem Elastizitätsmodul E (Dyn/cm²) in der y -Richtung und der Dichte ρ (gr/cm³) des Schwingkörpers sowie der Länge L (cm) zu

$$f_0 = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots \dots \dots (1)$$

Die Elektroden zur Erzeugung des elektrischen Feldes bestanden aus einer Ag-Schicht, die auf die Flächen senkrecht zur x -Achse im Vakuum aufgedampft worden war. Die Stromzuführung erfolgte durch dünne im Schwingungsknoten aufgelötete Cu-Drähte. Die Bestimmung der Grössen

L und C des Ersatzschemas erfolgte durch Messen der Änderung der Seriersonanzfrequenz beim Vorschalten einer bekannten Kapazität C_s . Das Abgleichen auf die Seriersonanzfrequenz in einer Wechselstrommessbrücke liefert den Verlustwiderstand R . Die Kapazität C_0 kann mit Hilfe einer Kapazitätsmessbrücke für kleine Kapazitätswerte direkt gemessen werden, wenn man dafür sorgt, dass die Differenz zwischen Resonanzfrequenz des Schwingquarzes und der Messfrequenz gross ist, so dass der elektrisch parallelgeschaltete Seriersonanzkreis, bestehend aus L, C und R , die Messung nicht mehr fälscht.

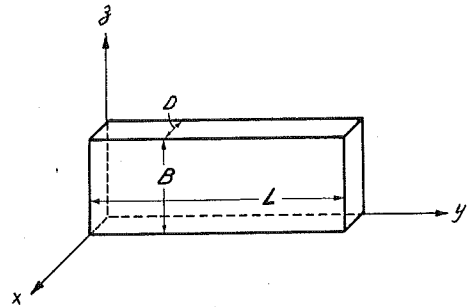


Abb. 10
Schwingquarz; X-Schnitt.

Messergebnisse

Die Messungen wurden an unverzwilligtem und verzwilligtem Material durchgeführt. In untenstehender Tabelle sind einige

Messresultate zusammengestellt. E und d_{11} sind die für die gewählte Anregung massgebenden Elastizitäts- und Piezomoduln.

Bez.	Herkunft	Anteil der Verzwilligung in Volumprozent	$E \cdot 10^{11}$ Dyn/cm ²	d_{11} est. E/Dyn
H 21	Cristallina, Goyaz, Brasilien	—	7,76	6,40
N 34	Gotthard	—	7,80	6,37
E 5	Gotthardtunnel	ca. 11	7,72	6,20
E 9	»	ca. 23	7,65	4,80

Gemessene Elastizitäts- und Piezomoduln von brasilianischen und alpinen Schwingquarzen.

Zwischen dem brasilianischen und dem unverzwilligten alpinen Schwingquarz ist kein praktisch ins Gewicht fallender Unterschied festzustellen. Dagegen macht sich bei verzwilligtem Material die Zunahme des Verzwilligungsanteils in einer Abnahme des effektiven Piezomoduls bemerkbar. Dies rührt davon her, dass beim Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes die beiden Individuen entgegengesetzte Deformationen erfahren. Wenn die Verzwilligung derart ist, dass die Deformationen sich nach aussen gerade aufheben, so erscheint der betreffende Quarzstab überhaupt nicht piezoelektrisch. Es ist daraus ersichtlich, dass auch die gegenseitige Lage und Verteilung der Individuen im Quarzstab einen Einfluss auf die Grösse des Piezomoduls ausüben. Bei stark verzwilligtem Material treten ebenfalls Störungen der longitudinalen Schwingungsform auf, und es können beträchtliche Abweichungen von der durch Gleichung (1) gegebenen Resonanzfrequenz sowie das Auftreten von Mehrwelligkeiten beobachtet werden.

Zusammenfassend kann auf Grund der bisherigen Versuchsergebnisse folgendes festgestellt werden:

1. Der unverzwilligte alpine Quarz lässt sich wie ausländisches Material elektrisch zu Schwingungen anregen. Die Werte der elektrischen und mechanischen Konstanten (Piezomodul, Dielektrizitätskonstante, Elastizitätsmodul und Dichte) liegen innerhalb der Streuungsbereiche der in der Literatur von brasilianischem Quarz angegebenen Grössen, die auch durch eigene Messungen bestätigt wurden.
2. Der verzwilligte Quarz weist einen kleineren effektiven Piezomodul auf als unverzwilligtes Material. Massgebend für die Verkleinerung sind der volumprozentrische Anteil von Individuum I zu Individuum II sowie die gegenseitige Lage und Verteilung der Individuen. Damit verbunden sind Störungen der Schwingungsform gegenüber derjenigen von unverzwilligtem Material. Die Verzwilligung kann derart sein, dass eine Schwingungsanregung nicht möglich ist.

Der Bau der Stirnregion der St. Bernhard-Decke und ihrer Unterlage zwischen Visp und Leuk-Suste im Mittel-Wallis

Von

W. STAUB (Bern)

(Mit 2 Abbildungen im Text)

Bei einer Fahrt mit der Lötschbergbahn von Hohentenn gegen Brig erblicken wir auf der gegenüberliegenden, südlichen Rhonetalseite eine Gebirgsgruppe, die massig und fast formlos dasteht und die in scharfen Gegensatz tritt zum Aarmassiv auf der rechten, nördlichen Rhonetalseite mit seinen zackigen Graten, überragt vom Bietschhorn. Dank einem Beitrag der «Stiftung für wissenschaftliche Forschung» an der bernischen Hochschule wurde es mir möglich, die vor zehn Jahren abgebrochenen Studien im Gebirge zwischen den Vispertälern und dem Turmtal im Sommer 1944 wieder aufzunehmen. Das Bestreben, die Oberflächengestalt aus dem Gebirgsbau heraus zu verstehen, war es, was zu den erneuten Be-

gehungen führte. Es wurde möglich, die Moränen der Talgletscher von den reichlich die Talhänge bedeckenden Lokalmoränen der einstigen Hänge- oder Kargletscher zu trennen und hier einen letzten Vorstoss des Gschnitzstadiums der zerfallenden Eiszeit nachzuweisen, worüber an anderer Stelle berichtet wird.

Bereits 1934 wurde die muldenförmige Struktur des grossen Kessels im Hintergrund des Ginzantales erkannt. Die Längsachse dieser tektonischen Einmuldung hebt sich über dem «oberen Senntum» des Ginzantales in der Richtung Visp gegen Nordosten heraus.

Zunächst gelang es, die Folge von Bündner Schiefer, welche die Felswände über