

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 50 (1970)

Heft: 1: Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralien

Artikel: Fensterquarze mit Methan-Einschlüssen aus dem westlichen Teil der schweizerischen Kalkalpen

Autor: Stalder, H.A. / Touray, J.C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-39245>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fensterquarze mit Methan-Einschlüssen aus dem westlichen Teil der schweizerischen Kalkalpen

Von *H.A. Stalder* (Bern) *) und *J.C. Touray* (Paris) **)

Mit 1 Kartenskizze, 2 Figuren, 3 Tabellen im Text und 3 Phototafeln

Zusammenfassung

In den nördlichen Kalkalpen der Schweiz (vor allem im Helvetikum) werden in Klüften verschiedentlich Bergkristalle gefunden. Es können vier Formengruppen unterschieden werden:

1. Parallelstengelige, dichte Quarzaggregate.
2. Langstengelige Quarzkristälchen verschiedener kristallographischer Orientierung mit einem weissen Streifen pseudosekundärer Einschlüsse.
3. Normale, prismatische Quarzkristalle.
4. Kleine, bipyramidale, leicht gefensterte Kristalle, einzeln oder zu Gruppen verwachsen. Die Überwachung der Formen 2 oder 3 durch 4 führt zu Zepterbildungen.

Nur in einer mittleren Zone des Helvetikums können alle vier Formengruppen gefunden werden. Südöstlich und nordwestlich davon blieb die Entwicklung bei Gruppe 3 stehen. Die Verschiedenheiten der drei ersten Formengruppen können durch das Zusammenspiel des Kristallwachstums und der Dynamik des Öffnens des Kluftthohlraumes erklärt werden. Bei der Bildung der vierten Formengruppe hat offensichtlich das Methan eine wichtige Rolle gespielt. Vermutlich hat eine Änderung der physikalischen Bedingungen während des Wachstumsprozesses zu einer Phasentrennung von wässriger Lösung und gasförmigem Methan geführt. Die vorliegende Arbeit beschreibt die Morphologie der vier Quarz-Formengruppen, ihre Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse.

Abstract

Quartz crystals are found in several fissures in the northern sedimentary part of the Swiss Alps (especially in the Helvetikum). Four groups of different forms (habits) can be distinguished:

*) Naturhistorisches Museum, Bernastrasse 15, CH-3000 Bern.

**) E.R. C.N.R.S., Nr. 45, Laboratoire de Géologie E.N.S., 24, rue Lhomond, Paris 5e.

1. Compact aggregates of parallel stalked quartz individuals.
2. Stalked quartz crystals of different crystallographic orientations with a white filament of pseudo-secondary inclusions.
3. Normal prismatic quartz crystals.
4. Small, bipyramidal quartz crystals with more or less skeletal habit. These crystals occur as individuals or in aggregates. When they overgrow the habits 2 or 3, they form sceptre quartz.

Only in the middle zone of the Helvetikum do all four groups occur. In the NW and the SE of this region, the crystal development ends with habit 3.

The differences among the first three habits can be explained by the connection between the growth of the crystals and the dynamics of the fissure opening. The development of the fourth group is related to the methane content of the fluid inclusions. It seems that a change of the physical parameters (temperature and pressure) during the crystal growth caused a phase-separation of the mineral forming solutions into an aqueous solution and methane. The morphology of the four habits of quartz and their fluid inclusions are described.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Einleitung | 110 |
| Verzeichnis der Quarzfundstellen | 111 |
| Beschreibung der Quarzkristalle und ihrer Einschlüsse | 117 |
| Massenspektrometrische Untersuchungen der Quarzeinschlüsse | 121 |
| Temperaturmessungen: Heiztisch und Kryometrie | 124 |
| Diskussion | 127 |
| Literatur | 128 |

EINLEITUNG

1885 hat E. VON FELLENBERG über einen aussergewöhnlichen Quarzfund aus der Umgebung von Bex (Tour de Duin), Waadt, berichtet. Es handelte sich dabei um Rahmen- oder Fensterquarze, die vielfach mit Zepterquarzen kombiniert sind. Seither sind im Helvetikum zwischen Reuss und Rhone weitere ähnliche Quarzvorkommen entdeckt worden. Sie liegen in einem Gebiet, das in weitem Bogen das nordwestliche Aarmassiv umspannt und bis nahe zum Mont-Blanc-Massiv hinzieht. Nach der Entdeckung von TOURAY et al. (1967a, b), wonach Zepterquarze oft Methan in Einschlüssen enthalten können, aber auch durch die vielen Neufunde der letzten Zeit, drängt sich eine systematische Untersuchung der Quarzvorkommen der genannten Region auf. Möglich wurde eine solche Untersuchung aber nur dank einer guten Museums-Sammlung, die das Fundgut von mehr als einem Jahrhundert in repräsentativen Proben enthält.

VERZEICHNIS DER QUARZFUNDSTELLEN (Kartenskizze)

Gebrauchte Abkürzungen

| | |
|--|--------------------------|
| Q = Kurze Charakterisierung der Quarzkristalle | |
| x-Flächen = Trapezoeder-Flächen | |
| s-Flächen = Flächen der trigonalen Bipyramide = {1121} | |
| B = Begleitmineralien | Lit = Literatur |
| N = Nebengestein | Bem = Bemerkungen |
| F = Finder | |

Fundortgruppe 1: Methanhaltige Quarze aus den Kalkalpen
(Fundstellen 1–23)1. Steinbruch *Zingel* am Lauerzersee bei Seewen-Schwyz (SZ).

Q: Kleine, z. T. ausserordentlich gut durchsichtige aber auch trübe, doppelendige Kristalle, bis 2 cm lang. Meist kleine Prismenflächen. Tendenz zur Fensterquarzbildung nur bei den grössern Kristallen. B: In diskordanten Klüften zusammen mit Calcit, Baryt, Dolomit und Strontianit. N: Hauerivien-Kieselkalk. F: A. Wagner, Baar, 1965.

Lit.: STALDER, 1967, S. 12f.; TOURAY et al., 1970 (dieses Heft).

2. Steinbruch *Rotzloch* bei Stansstaad (NW).

Q: Kleine, bis max. 1 cm lange Zepterkratelle mit seltenen Flächen (flache Rhomboeder!). B: Calcit und Coelestin. N: Hauerivien-Kieselkalk mit erdölerfüllten Nestern. Die kristallbesetzten Klüfte fallen weitgehend mit diesen Nestern zusammen. F: Frau Y. Gsell, Ebikon, 1969.

3. *Bocki-Alp*, zwischen Kleinem und Grossem Melchtal (OW).

Q: Der grösste Kristall ist 4,4 cm lang, trübe, doppelendig, säulig und hat grössere „Hohlräume“ im Innern. Calcit-Einschlüsse in den äussersten Wachstumszonen. B: Calcit. N: Valanginien-Mergel (Berriasiens). F: C. Moesch, 1874.

4. *Faulenberg-Grat* (Westteil), oberhalb Käserstatt, Hasliberg (BE/OW).

Q: Bis 4 cm lange, gedrungene, doppelendige, trübe Kristalle mit viel Nebengesteins- und Karbonateinschlüssen und Aggregate von unregelmässig zusammengewachsenen, kleinen, doppelendigen, durchsichtigen Kriställchen, die sich auf einem einzelnen trüben „Quarzstiel“ entwickelt haben. B: Vorkommen auf diskordanten Klüften mit Karbonatfüllung. N: Sandige Mergelschiefer der Hochstollenserien, ? Bajocien. F: Dr. B. Tröhler, Bern; Sammlung des Finders.

Lit.: TRÖHLER, 1967, S. 67.

5. *First*, östlich des Horbaches, bei Grindelwald (BE).

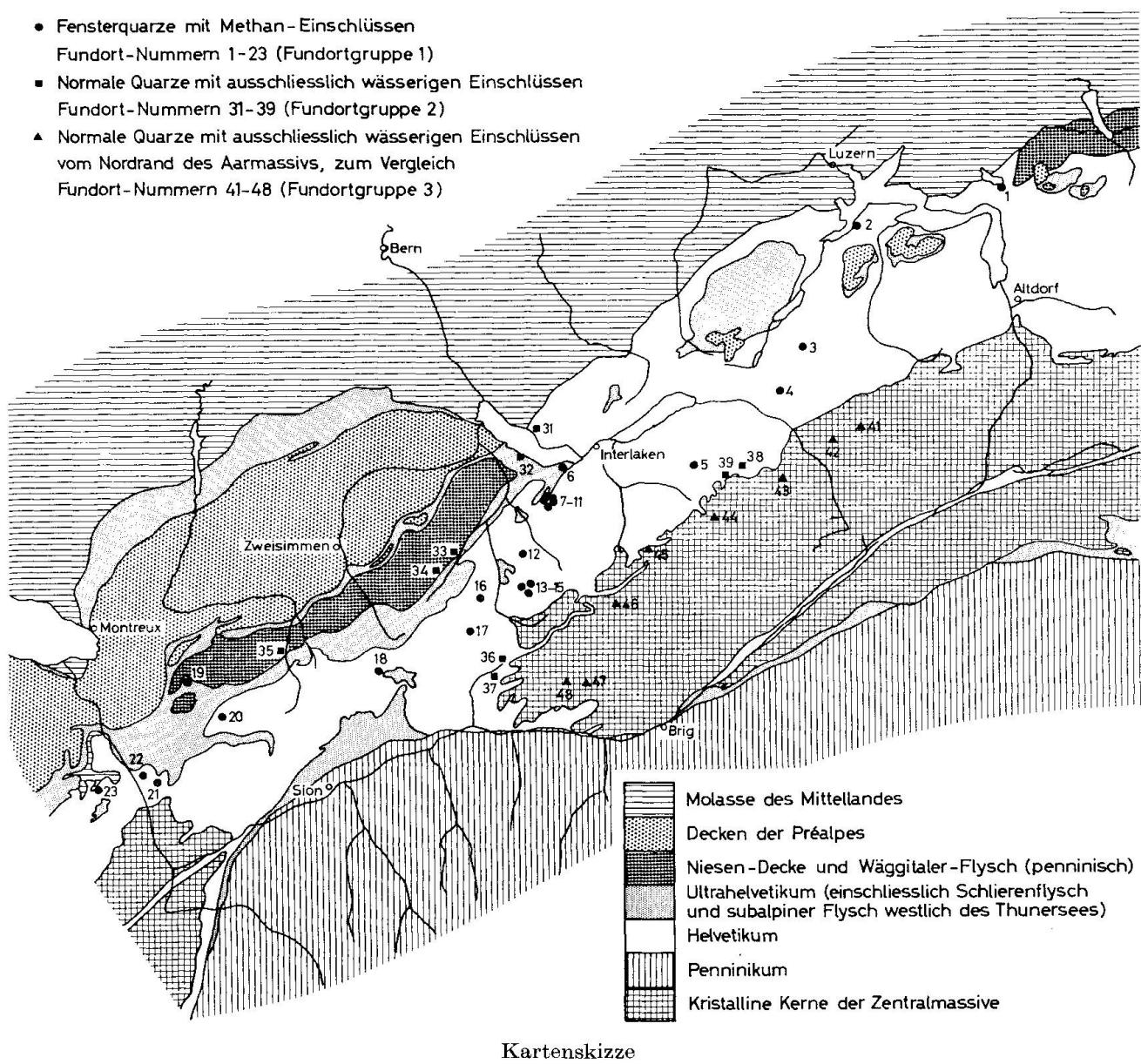
Q: Neben mehr oder weniger trüben Kristallen auf und in Milchquarz (Abb. 1) werden auch plattig-verzerrte, gut durchsichtige Kristalle mit s-Flächen und fadenartigen Flüssigkeitseinschlüssen gefunden. Zudem konnte ein ähnliches Aggregat kurzprismatischer Kriställchen wie am Faulenberg gesammelt werden. B: Keine. N: Sandige Kalk- und Tonschiefer, Bajocien. F: Frau R. Bättig, Lyss, 1967; Sammlung des Finders.

Bem.: Vom „Seeli beim Faulhorn“ ist in der Museumssammlung noch ein 6 cm langer Doppelender vorhanden; alter Fund.

6. *Därligen* (BE). Es existieren mehrere Fundpunkte: Herbrig, S des Leissigbades, an der „Bödelibahn“ (vor 1890); Herbrig, E des Steinbruches am Buchholzkopf (1915).
 Q: Bis 3,3 cm lange, gedrungene Doppelender. Die grösseren Kristalle sind mehr oder weniger gefenstert. Ansätze zu Zepter-Bildungen. B: Vorkommen in diskordanten Klüften in Calcitadern und neben Calcitkristallen. N: Barrémien, dunkle Kalke mit Mergelschiefer-Zwischenlagen. F: Prof. Burckhardt, Basel, vor 1890, und Dr. E. Gerber, Bern, 1915.
 Lit.: E. von FELLENBERG, 1893, S. 292f.
7. *Obersuld* bei Aeschi (BE).
 Q: Bis über 5 cm lange Kristalle, Doppelender, z. T. plattig nach zwei Prismenflächen, unregelmässig verzerrt, mit Calcit- und Nebengesteinseinschlüssen. Ansätze zu Zepter-Bildungen, z. T. gefenstert. N: Vermutlich Auversien-Sandstein. F: A. Wäfler, Spiez, 1965.
8. *Renggli-Pass*, SE des Morgenberghorns (BE).
 Q: Bis 3,3 cm lange, gedrungene Doppelender, durchwegs gefenstert, z. T. Verwachsungen von 2 bis 3 Kristallen (Abb. 10). N: Berrias-Mergel mit sandigen Einschwemmungen. Nicht anstehend gefunden. F: K. Schneebeli, Thun, 1958.
9. *Schwalmern*, S des Sattels zwischen Hohganthorn und Höchstschwalmern (BE).
 Q: Kleine, gedrungene Doppelender, bis 2,5 cm, gefenstert. N: Neocom (eine genauere Horizontierung ist nicht möglich). F: Erster Fund 1845, zweiter Fund M. Müller, Bern, 1912.
10. *Glütsch*, unterhalb der Schwalmern, Kiental (BE).
 Q: Bis 9 cm grosse, gedrungene Doppelender, z. T. stark gefenstert, verzerrt und in Subindividuen aufgespalten. N: Schuttfund, die Proben stammen aber sicher aus dem Neocom des Helvetikums. F: A. Jüsi, Scharnachtal, ca. 1953, Sammlung H. Sarbach, Bern.
11. *Dreispitz*, Kiental (BE).
 Q: 7 cm langer, ausgesprochen stark gefensterter Kristall mit Karbonat-Einschlüssen, Doppelender. N: Neocom, Schuttfund. F: A. Jüsi, Scharnachtal, ca. 1953, Sammlung H. Sarbach, Bern.
12. *Ärmighorn*, nach von FELLENBERG (1893) von den Schutthalde der „Ärmischafweiden“ (Fund Bachmann) aber auch vom „Gumpelschafberg“, d. h. von Obergumpel, zwischen Bachfluh und Ärmighorn (Fund Fischer), (BE).
 Q: Bis 5,3 cm grosse Doppelender. Die kleinen, einschlussfreien Kristalle hat von Fellenberg als „Wasserdiamanten“ bezeichnet (Abb. 9). Die grösseren Kristalle sind „thonerfüllte Rahmenquarze mit bis in das Innerste des Kristalls reichenden und mehrfach geschichteten Hohlräumen“ (VON FELLENBERG, 1893). Einzelne kleine Zepterformen sind ebenfalls vorhanden.
 N: Schuttfund, vermutlich stammen die Kristalle aus dem Hohgantsandstein, sicher aber aus dem Eozän (die Angabe bei von Fellenberg ist unrichtig). F: Prof. J. Bachmann, Bern, 1877, und Prof. E. Fischer, Bern, 1884. Seither sind keine Neufunde bekannt geworden.
 Lit.: E. von FELLENBERG, 1893, S. 292.

Quarzvorkommen im westlichen Teil der schweizerischen Kalkalpen

- Fensterquarze mit Methan-Einschlüssen
Fundort-Nummern 1-23 (Fundortgruppe 1)
- Normale Quarze mit ausschliesslich wässerigen Einschlüssen
Fundort-Nummern 31-39 (Fundortgruppe 2)
- ▲ Normale Quarze mit ausschliesslich wässerigen Einschlüssen
vom Nordrand des Aarmassivs, zum Vergleich
Fundort-Nummern 41-48 (Fundortgruppe 3)



13. *Finstertal*, Schutthalden im Kessel zwischen Zahlershorn, Dündenhorn und Salzhorn (BE).

Q: Bis 12 cm lang; kleine, gut durchsichtige Grüppchen auf Quarzstiel; oft mit schwarzem Phantom (vermutlich feinkörnige Schieferpartikel des Nebengesteins); z. T. gefenstert. N: Schuttfinde, vermutlich aus dem Valanginien-Berriasien-Mergel stammend. F: Fritz Hari, Blausee-Mitholz, 1966-1968.

14. *Bundstock*, Kiental (BE).

Q: Bis 1,7 cm grosse Doppelender, leicht gefenstert, daneben winzig kleine, „normale“ Kriställchen, die mit dem Milchquarzbänd verwachsen sind. N: Genaue Fundstelle unbekannt. F: Prof. W. Rytz, Bern, 1928.

15. Wermutfluh, *Hohtürli* bei Kandersteg (BE).

Q: Bis über 10 cm lang, milchig, z. T. Doppelender, an den Spitzen oft in Subindividuen aufspaltend. Einzelne Kristalle sind leicht gefenstert. Auffällig an vielen Kristallen ist ein schwarzgraues Phantom, das vermutlich durch Nebengesteins-einschlüsse (Tonschiefer?) verursacht wird. Negative Formen von weggelösten Calcit-tafeln. N: Taveyannaz-Sandstein (vermutlich). F: H. Ogi, Kandersteg, um 1950 und später.

16. *Bonderspitz* bei Adelboden (BE).

Q: Bis 3 cm grosse Doppelender, oft verzerrte Formen, z. T. stark gefenstert, kleine Zepterquarze. N: Schutt-funde, vermutlich Valanginien (wie Fundort 17). F: Prof. E. Fischer, Bern, ca. 1885, und Dr. Rohr, Bern, 1940.

Lit.: E. von FELLENBERG, 1893, S. 291f.

17. *Engstligengrat*, Tschingelochtighorn, Artelengrat (BE). Viele einzelne Fundpunkte dieser Region.

Q: Ältere Quarzgeneration: „Normale“, meist milchig-trübe Kristalle, aus dem Quarzband herauswachsend, stark durchsetzt mit Calcit. Diese Quarze bilden oft den Sockel für die jüngere Generation: Kugelige Gebilde von gut durchsichtigen, gruppenweise parallel verwachsenen Doppelendern. Der zweiten Generation gehören aber auch grosse Fensterquarze (bis 15 cm lang!) und kleine Doppelender (Abb. 9) oder Zepter-formen an. Wenn kein Quarzband vorhanden ist, kann die erste Generation fehlen. N: Mergelschiefer mit Kieselkalkbänken wechsellarnd = Valanginien s. l. (nach H. FURRER, 1962). F: Prof. E. Fischer, Bern, 1917; G. Anselmier, Bern, 1938; H. Wandfluh, Kandergrund, 1968; F. Hari, Blausee-Mitholz, 1968, u. a. m.

Lit.: E. von FELLENBERG, 1893, S. 292; H. FURRER, 1962, S. 18.

18. *Rawil-Pass* (BE oder VS).

Q: Bis 2,5 cm grosse, mehr oder weniger gefensterte Doppelender. N: Genauer Fundpunkt unbekannt. F: Aus der Sammlung F. Bürki, Bern, gefunden vor 1890.

Lit.: E. von FELLENBERG, 1893, S. 292.

19. *Aigremont* bei Ormont Dessous (VD).

1890 schrieb E. RENEVIER: „En 1863 j'ai exploité une de ces veines (quer zur Schieferung der Fucoiden-Schiefer durchziehende Calcitader), qui m'a fourni de fort jolis cristaux hyalins, entrecroisés de quartz bipyramidal et de calcite...“ N: Flysch (Flysch du Meilleret).

Lit.: E. RENEVIER, 1890, S. 434.

Bem.: Von den Fundstellen 19 bis 21 lagen den Autoren dieser Arbeit keine Proben vor. Nach den genauen Beschreibungen von RENEVIER und LUGEON braucht aber nicht daran gezweifelt zu werden, dass die erwähnten Kristalle auch in diese Fundort-gruppe gehören.

20. *Taveyanne*, oberhalb Gryon (VD).

E. RENEVIER berichtete 1890: „Vers l'arête de l'une de ces parois obliques, en La Combe, se trouve un joli gisement de Quartz bipyramidal, en cristaux isolés plus ou moins complets et hyalins, parfois à l'état de trémies, ou cristaux inachevés. Ces jolis minéraux, que récoltent les chevriers, se rencontrent dans des fentes du grès, remplis d'une terre rougeâtre.“ N: Taveyannaz-Sandstein.

Bem.: E. RENEVIER (1890) hat noch weitere Quarzvorkommen aus den Hautes-Alpes Vaudoises beschrieben, die vermutlich hier aufgezählt werden sollten.
Lit.: E. RENEVIER, 1890, S. 445.

21. *Croix de Javerne* bei Bex (VD).

M. LUGEON berichtete 1950: „Dans le flysch schistogréseux, il y avait, sur le sol, de nombreux cristaux de quartz. Ce sont des cristaux bipyramidalés, mais je signale l'un d'eux, qui est de la forme de Poretta, soit fenestré.“ N: Authochtoner Flysch.
Lit.: M. LUGEON, 1950, S. 446.

22. *Tour de Duin* bei Bex (VD).

Q: Ausserordentlich reichhaltiges und vielfältiges Fundgut: Die ältere Generation besteht aus kleinen, gedrungenen und schlanken, meist milchigen Kristallen, die stark mit dem Nebengestein verwachsen sein können. Einige langprismatische Kristalle weisen einen fadenähnlichen, weissen Kern von Flüssigkeitseinschlüssen auf. Die jüngere Generation bildet kleine, mehr oder weniger durchsichtige Doppelender, zudem Kopfpartien von ausgeprägten Zepterquarzen (Abb. 7, 8). Zum Teil umfassen jüngere Quarzpartien die älteren Kristalle vollständig (Abb. 11). Dies ist vor allem bei den Fensterquarzen der Fall, die fast immer einen alten Milchquarzkern einschliessen. Dies gilt auch für den grössten Fensterquarz (Länge 23 cm) der ausserordentlich stark parkettiert ist und das repräsentativste Exemplar seiner Art aus Schweizerfunden darstellt (Abb. 11). N: Flyschsandstein einer parautochthonen Schuppe (die diesbezügliche Angabe bei VON FELLENBERG, 1885, ist unrichtig). B: Calcit, kleine Basistafeln, begrenzt vom Normalrhomboeder.
Lit.: E. von FELLENBERG, 1885, S. 99–110.

Bem.: Die Lagerstätte wurde 1884 beim Graben eines Sondierstollens für eine Wasserfassung von Ch. Lauber, Bex, entdeckt. Nach der Zeichnung von FELLENBERGS (1885) stammen die Kristalle aus einem weitverzweigten Kluftsystem, das die kompetenten Bänder des „massigen, körnigen, kieseligen Kalks“ diskordant durchbricht, aber auch kleinere und grössere, linsenförmige Hohlräume bildet, die schichtparallel dem „tonigen Kalkschiefer“ eingelagert sind.

23. *Torrent de la Tille*, S von Troistorrents im Val d'Illiez (VS).

Q: Die Erscheinungsformen sind sehr ähnlich (Abb. 5, 12) denjenigen vom Tour de Duin, sowohl in der ersten als auch in der zweiten Quarzgeneration. Z. T. sitzen die kleinen Doppelender auf einem Rasen flachrhomboidrischer Calcitkristalle. Längen bis über 10 cm (zweite Generation). N: Autochthoner Flyschsandstein. F: M. Libeck, Lausanne, und Dr. R. Martin, Nyon, 1967.

Fundortgruppe 2: Hydrothermale Quarze aus den Kalkalpen
(Fundstellen 31–39)

31. *Fischbalme, Beatenbucht* bei Merligen (BE).

Q: Wasserklare Kristalle mit x- und s-Flächen, 2–3 cm lang, schlankprismatisch. B (gleiche oder benachbarste Fundstelle): Calcit, z. T. pseudomorph nach Aragonit, z. T. Skalenoeder; Fluorit, farblose Würfel. N: Vermutlich Hauterivien-Kieselkalk. F: Fund vom letzten Jahrhundert.

32. *Krattigbach* bei Faulensee (BE).

Q: Durchsichtige Kristalle, normaler Habitus, selten grösser als 1 cm, mit s-Flächen.
 B: Pyrit, Kupferkies, Calcit, Dolomit, Ankerit, Baryt, Coelestin und als bedeutend jüngere Bildung Gips. N: Sandig-tonige Kalke und kalkhaltige Sandsteine; Flysch.
 F: K. Schneebeli, Thun, 1964 und früher.

Lit.: H. A. STALDER, 1965, S. 316–319.

33. *Sackgraben* bei Achseten, Frutigen (BE).

Q: Milchigweisse und wasserklare Kristalle, bis 5 cm lang, oft plattig nach zwei parallelen Prismenflächen und mit linear angeordneten Flüssigkeitseinschlüssen („Faden“). Häufig kleine s-Flächen, Suturen (Abb. 2 und 6). B: Calcit, Pyrit, Ankerit und als rezente Bildung Aragonit. N: Niesenbreccie; Flysch. F: H. Sarbach, Frutigen/Bern, 1947 bis 1956.

34. *Tschentenbach* bei Adelboden (BE).

Q: Durchsichtige und milchige Kristalle, bis 3 cm lang, z. T. mit grossen s-Flächen.
 B: Calcit-Rhomboeder. N: Tonschiefer. F: F. Graf, Muttenz, 1962.

35. *NW Feutersoey* bei Gstaad und *verschiedene Fundstellen* auf der linken Talseite des Tschärzis (BE).

Q: Kleine, schlankprismatische, durchsichtige Kristalle (durchschnittlich ca. 1 cm lang mit c-Achse ± senkrecht zur Anwachsfläche) und kleine, nach einer Prismenfläche plattige Kristalle resp. Kristallaggregate (grösste Ausdehnung in der Richtung einer a-Achse, die ± senkrecht zur Anwachsfläche verläuft). Häufig linear angeordnete Flüssigkeitseinschlüsse („Faden“). Viele kleine s-Flächen. Gas unter Druck.
 B: Calcit-Skalenoeder. N: Geringmächtige Konglomeratschicht im Sand-Kalk des Niesen-Flysch. F: B. Häslar, Gstaad, 1965.

36. *WNW Clawinenalp* bei Leukerbad (VS).

Q: Einzelne schlankprismatische Kristalle und grössere Kristallaggregate parallel verwachsener, plattiger Kristalle mit linear angeordneten Flüssigkeitseinschlüssen (Abb. 4). Ausdehnung entlang den fadenähnlichen Einschlüssen, d. h. in der Richtung einer a-Achse, max. 7 cm. Einige s-Flächen. B: Calcit, Basistafeln und Rhomboeder. N: Unterer Dogger. F: K. Wahren, Lyss, 1968.

37. *Torrenthorn*, Leukerbad (VS).

Q: Milchige und durchsichtige Kristalle, meist plattig und gruppenweise senkrecht zu Milchquarz angeordnet, der strebenartig, aber schief, eine Kluftspalte von einigen cm Dicke unvollständig ausfüllt (Abb. 3). Ganz vereinzelte s-Flächen. B: Keine. N: Lias-Quarzit. F: Prof. Th. Studer, Bern, 1897.

Bem.: Die zweiphasigen Einschlüsse enthalten ziemlich viel Gas unter Druck.

38. *Rosenlaui-Wellhorn*, bei Meiringen (BE); *verschiedene Fundstellen*.

Q: Milchige und durchsichtige Kristalle, z. T. parallel verwachsene Quarzgruppen, max. 6–7 cm lang. Bestimmte Quarze weisen leicht gebogene Flächen auf. Unregelmässige Anordnung der Kristalle in einem drusigen Quarzband. Einige s-Flächen vorhanden. B: Calcit, das einstige Vorhandensein von Calcit-Basistafeln ist nur noch an einigen Hohlformen im Quarz zu erkennen; Brookit, Chlorit. N: Schiefrige Gesteine des Autochthons und Taveyannaz-Sandstein. F: H. Würgler, Meiringen, 1963.

39. *NW Wetterhorn* am Hühnergutz-Gletscher (BE).

Q: Kleinere, an den Spitzen gut durchsichtige Kristalle, s-Flächen vorhanden. B: Keine. N: „Hochgebirgskalk“ des Autochthons. F: Frau R. Bättig, Lyss, 1968.

Fundortgruppe 3: Hydrothermale Quarze aus den nördlichen Schiefern des Aarmassivs

(Fundstellen 41–48)

41. *Trift*, rechtes Ufer des unteren Triftgletschers, Oberhasli, BE.
Q: Schlankprismatische Kristalle und plattige Aggregate mit weissen „Streifen“. B: Adular, Chlorit ... N: Sericitgneis.
42. *Kammegg* bei Guttannen, Oberhasli, BE.
Q: Kurzprismatische Kristalle. B: Adular, Chlorit, Amiant, Epidot, Magnetkies. N: Amphibolit.
43. *Gauli*, Kammliegg, Oberhasli, BE.
Q: Gedrungene, stark verwachsene Kristalle. B: Chlorit, Calcit (vollständig weg-gelöst). N: Erstfeldergneis.
44. *Strahlegg*, SAC-Hütte, Unterer Grindelwaldgletscher, BE.
Q: Gedrungene, kleine Kristalle. B: Chlorit, Adular, Epidot. N: Erstfeldergneis.
45. *Jungfraujoch*, BE.
Q: Schlankprismatische Kristalle ohne Suturen. B: Albit, Chlorit, Calcit. N: „Jung-fraugneis“, ein Chloritgneis.
46. *Jägiknubel*, Lötschental, VS.
Q: Helle, eher schlankprismatische Kristalle. B: Epidot, Titanit, Chlorit, Adular. N: „Grünschiefer“ nach E. von FELLENBERG.
47. *Wilerhorn*, Lötschtental, VS.
Q: Leicht rauchige Kristalle. B: Viel Epidot, etwas Albit. N: Amphibolit (?).
48. *Goppenstein*, NW linke Talseite, Lötschental, VS.
Q: Helle, gut durchsichtige, plattige Aggregate mit „Faden“. B: Adular. N: Sericit-Chlorit-Gneis.

Alle Kristalle (mit Ausnahme derjenigen der Fundstelle 45) weisen x- und s-Flächen auf. Sie zeigen zudem Suturen auf den Prismen-Flächen (bei Nr. 46 und 47 sind die Suturen allerdings nur sehr schwach gezeichnet).

BESCHREIBUNG DER QUARZKRISTALLE UND IHRER EINSCHLÜSSE

Die Quarzbildungen aller drei Fundortgruppen weisen derart ähnliche Formen auf, dass sie gut gemeinsam beschrieben werden können. Unterschiede sollen jedoch hervorgehoben werden. Gesamthaft gesehen lassen sich vier verschiedene Habitus unterscheiden. Diese entsprechen vier Bildungsphasen, die sich in der Reihenfolge unserer Numerierung folgen können, aber nicht unbedingt müssen. Selten sind an einer Fundstelle alle vier Habitus vertreten. (Die Zahlen in Klammer bedeuten immer die Fundorte.)

1. Parallelstengelige Milchquarzaggregate (Abb. 1 und 3)

Zum Teil reichen diese Quarzaggregate von Kluftwand zu Kluftwand, wobei die Parallel-Textur meist ungefähr senkrecht zu den Kluftwänden steht. Oft ist allerdings die Parallel-Textur flexurartig leicht verbogen (5, 22, 35, 37, 38).

2. Langstengelige Quarzkristalle und flache Quarzkristallaggregate mit weissen „Fäden“ oder „Streifen“ (Abb. 4–7)

Diese Kristalle, respektive Kristallaggregate, stehen meist entweder mit der c- oder mit einer a-Achse mehr oder weniger senkrecht auf einer Kluftfläche. Der weisse „Streifen“ wird von einer Aufeinanderfolge pseudosekundärer, zweiphasiger Einschlüsse gebildet (Abb. 15). Diese befinden sich auf leicht gebogenen Ebenen, die alle ungefähr parallel zueinander und zur Anwachsfläche liegen. Der weisse Streifen verläuft somit ungefähr parallel der c-respektive einer a-Achse (Abb. 4–7). Dem Streifen anliegend können häufig Quarzkeime von anderer kristallographischer Orientierung als derjenigen des umschliessenden Wirtkristalls beobachtet werden. Auf den Fundstellen 22 und 23 sind stengelige Quarzkristalle verbreitet, die mit der c-Achse senkrecht zur Anwachsfläche stehen (Abb. 5 und 7), während auf den Fundstellen 33, 35–38, 41 und 43 vor allem flache Kristallaggregate vorkommen, die mit einer a-Achse senkrecht zur Anwachsfläche stehen (Abb. 4 und 6). Die Oberfläche der Kristalle, die meist leicht gebogen erscheinen, zerfällt in viele einzelne Segmente von Prismen- und Normalrhomboeder-Flächen (Mikromosaikbau). Suturen auf den Prismenflächen sind allgemein verbreitet. Zum Teil weisen abgebrochene Quarzkristalle verheilte Bruchstellen auf.

3. Durchsichtige, frei in den Hohlraum gewachsene prismatische Kristalle (Abb. 2 und 8)

Dieser Habitus umfasst die „normalen“ Bergkristalle. Er bildet in bezug auf die Fundortgruppen 2 und 3 den Hauptteil des Fundgutes. Die Kristalle werden von ebenen, kaum segmentierten Flächen mit unauffälligen Suturen (Prismenflächen) begrenzt.

In der Fundortgruppe 2 (und 3) weisen sowohl die flachen Kristallaggregate als auch die durchsichtigen, prismatischen Kristalle häufig kleinere und grössere s-Flächen auf, wogegen x-Flächen recht selten vorkommen. In der Fundortgruppe 1 fehlen den entsprechenden Formen die x-Flächen vollständig, und die s-Flächen sind selten.

Alle primären und pseudosekundären Einschlüsse der drei Fundortgruppen und der drei Habitus-Arten sind zweiphasig. Die Einschlüsse besitzen oft die Form negativer Kristalle, doch kommen auch recht unregelmässige Einschlusssformen vor. Im Zerdrückungsmikroskop lässt sich in den Quarzen der Fundortgruppe 2 (und 3) kein (oder nur kleinste Spuren von) Gas unter Druck feststellen (Ausnahmen 35 und 37, siehe unten). Anders verhalten sich die Quarze

der Fundortgruppe 1, die alle ein Gas unter Druck enthalten. Wie im Barytwasser gezeigt werden kann (RASUMNY, 1958), besteht das Gas zur Hauptsache nicht aus CO₂. Gleich verhält es sich auch mit den Quarzen der Fundorte 35 und 37. Die sekundären Einschlüsse unterscheiden sich weder in ihrer Form noch in ihrem Inhalt von den primären und pseudosekundären. Einzig in der Fundortgruppe 1 kommen zudem einphasig-gasförmige Einschlüsse dazu, die den primären Einschlüssen entsprechen, wie sie für den vierten Habitus dieser Fundortgruppe weiter unten beschrieben werden.

Die Entstehung der drei beschriebenen Habitus-Arten ist vermutlich bedingt durch das dynamische Zusammenspiel von Kristallwachstum und Öffnen des Kluftohlraums, wie dies LAEMMLEIN, 1946, überzeugend dargelegt hat. Er unterscheidet folgende drei Grundtypen von Quarzbildungen in den Vorkommen vom Typus der alpinen Zerrklüfte:

1. Stengelige Bildungen, gleich rasch auskristallisiert, wie der Vorgang des Kluftöffnens vor sich ging. Durch die Vergrösserung der Geschwindigkeit des Kluftöffnens ergibt sich eine fortschreitende, durch die kristallographische Orientierung zur Wachstumsrichtung bedingte Selektion der stengeligen Quarzkristalle (Habitus 1 dieser Arbeit).
2. Grobkristalliner Milchquarz, entstanden durch vollständige Füllung des Kluftohlraummos.
3. Aggregate frei gewachsener Kristalle in einem Kluftohlraum, während des Wachstums dem Prinzip der geometrischen Auswahl unterworfen (Habitus 3 dieser Arbeit).
4. Durch die Kombination von 1 und 3 können die „flachen Kristalle mit weissen Streifen“ entstehen (Habitus 2 dieser Arbeit).

Neuerdings haben auch VON RAUMER und MARTIN (1967a, b) solche Bildungen (= flache Kristalle mit weissen Streifen) besprochen, wobei wir uns aber ihrer genetischen Interpretation („stalaktitisches Wachstum“) nicht anschliessen können.

Laemmleins Vorstellungen können leicht herangezogen werden, um die drei oben beschriebenen Habitusarten genetisch zu interpretieren. Die Fundortgruppen 2 und 3 weisen keinen weiteren Quarzhabitus mehr auf; die Fundortgruppe 1 dagegen erhält ihre Eigenart erst durch die vierte Formengruppe, die unten beschrieben wird.

In der äussern Kristallzone der 2. und 3. Bildungsphase tritt in den Quarzen der Fundortgruppe 1 häufig ein graues bis grauschwarzes Phantom auf (4, 13, 15, 22, Abb. 8). Dieses folgt genau den Regeln des mineralogischen Senkleibis (POTY, 1966). Unter dem Mikroskop löst sich das färbende Pigment in eine Vielzahl kleinster Schieferpartikelchen auf, die offensichtlich vom Nebengestein herrühren. Die Bildung dieser Phantome hängt vermutlich mit Erschütterungen der Kluftregion während der Kristallisation dieser Quarze zusammen. Allerdings könnten die Schieferpartikelchen auch durch die Kluftlösungen in den Kluftohlraum eingeschwemmt worden sein. Verbreitet finden sich in den

Quarzkristalle der Fundortgruppen 1 und 2 kleine Karbonateinschlüsse, die grösstenteils als Calcit identifiziert wurden.

4. Kleine, bipyramidale, wasserklare Kristalle und Fensterquarze (Abb. 7–13)

Die Eigenart der Fundstellen 1–23 manifestiert sich durch kleine, bipyramidale, wasserklare Kristalle, isoliert (Abb. 9) oder in Gruppen auftretend (Abb. 10) und durch alle Formen mehr oder weniger *gefensterter Kristalle* (Abb. 11, 12), die durch eingeschwemmtes Fremdmaterial oft trübe erscheinen. So verschieden diese zwei Formengruppen zunächst erscheinen, so gehören sie genetisch doch zusammen. Man kann sie als juvenile und adulte Formen der gleichen Bildungsphase bezeichnen, die in jedem Falle den Habitus-Arten 1–3 folgen. Gleich an beiden Wachstumsformen ist die Abwesenheit von x- und s-Flächen, die Abwesenheit von Suturen auf den Prismenflächen, sowie das Vorkommen von einphasig-gasförmigen (Abb. 17–21) Einschlüssen von primärer und sekundärer Natur. Bei den kleinen, bipyramidalen, wasserklaren Kristallen handelt es sich um juvenile Formen, die nur der Bildungsphase (= Habitus) 4 angehören, keine Anwachsstelle zeigen und scheinbar „schwebend“ gebildet worden sind. Oft haben solche Kristalle an der Spitze eines stengeligen Kristalls zu wachsen begonnen und damit zu sehr hübschen Zepterbildungen geführt (Abb. 7, 8). Es entstanden auch Formen, die auf einem stengeligen Kristall (2. Habitus) mehrere weitgehend individualisierte Kristalle des 4. Habitus tragen, die unter sich gruppenweise parallel orientiert angeordnet sind, nicht unbedingt parallel zum tragenden Stiel. Es gibt ausserdem auch Kristalle, die nach der 2. oder 3. Bildungsphase (Habitus) zunächst in normaler Art und Weise einen Stoffzuwachs der 4. Bildungsphase zu verzeichnen haben: Erst beim Überschreiten einer gewissen Grösse oder Mächtigkeit beginnen die Kristalle eine lückenhafte Raumfüllung der Flächenpartien (nie der Kanten) aufzuweisen. Je grösser der Kristall ist, desto ausgeprägter ist die „Fensterung“. Es sind aber immer wieder Lamellen vorhanden, die den Raum zwischen den Kristallkanten ganz ausfüllen. VON FELLENBERG (1886) schrieb über einen Kristall vom Tour de Duin zum Beispiel: „Bei einem vorliegenden Exemplar, welches bis in seinen Kern gefenstert ist, kann ich 7 Schichten von 0,5–1,3 mm Dicke zählen.“ Die „Fensterung“ auf den Rhomboederflächen ist durchwegs stärker als auf den Prismenflächen.

Die Einschlüsse der 4. Habitus-Art zeigen eine verwirrende chemische Variabilität und Formenvielfalt. Die charakteristischen Formen dieser Phase, die Leitformen sozusagen, sind kleine, negative Kristalle. Sie sind einphasig und enthalten ein Gas, das unter Druck steht. Im Barytwasser kann gezeigt werden, dass es nicht CO_2 ist. Nach den Analysen im Massenspektrometer handelt es sich vielmehr um Methan. Dort wo die Probe gemacht worden ist, konnten auch noch Spuren höherer Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Die Einschlüsse sind meist sekundär und variieren von kaum beobachtbarer Grösse von 2μ bis

zu einem linear ca. 100fachen Wert. Die grössten lassen häufig in einem Zwickel etwas Flüssigkeit erkennen. Oft sind diese Einschlüsse verzerrt und zwar gruppenweise immer wieder gleich, aber von Gruppe zu Gruppe verschieden. Es gibt auch gleichartige primäre Einschlüsse (Abb. 17, 18), die aber zum Teil wesentlich grösser werden können und dann oft gezackte Formen (mit einspringenden Winkeln) aufweisen. Die Füllung entspricht den oben geschilderten Verhältnissen. Wie schon erwähnt, sind dies aber nur die „Leitformen“ der Einschlüsse dieser Bildungsphase. Daneben existieren Einschlüsse, primärer und sekundärer Entstehung, die recht variable Gas-Flüssigkeits-Verhältnisse zeigen und zwar im gleichen Kristall und auf der gleichen Einschlussebene. Einige dieser Einschlüsse enthalten kaum einen Gasanteil, es sind ganz „normale“ Flüssigkeitseinschlüsse mit einer „bulle de retrait“ (Abb. 14). Gerade diese Einschlüsse können zum Teil sehr gross werden und Libellen besitzen, die sich beim Hantieren mit dem Kristall bewegen.

Zu erwähnen ist noch, dass die Quarzkristalle der 4. Bildungsphase vom Zingel (1) und Rotzloch (2) Flüssigkeitseinschlüsse besitzen, die mehr oder weniger stark braun gefärbt sind (höhere Kohlenwasserstoffe). Sie haben deshalb Anlass gegeben zu einer Spezialuntersuchung durch TOURAY et al. (1970). Im Torrent de la Tille (23) sind in bestimmten Einschlüssen der gleichen Bildungsphase schwarze Partikel zu beobachten, die vermutlich aus einem asphaltähnlichen Stoff bestehen.

MASSENSPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN DER QUARZEINSCHLÜSSE

Zur Ergänzung der rein qualitativen Ergebnisse, welche die optischen Untersuchungen liefern können, sind auch noch massenspektrometrische Einschluss-Analysen an einigen Quarzen der Fundortgruppe 1 durchgeführt worden. Als Untersuchungsinstrument stand ein Massenspektrometer der Atlas-Werke mit Gas-Quelle zur Verfügung. Die angewendete Methode der progressiven Erhitzung ist von TOURAY und LANTELME (1966) beschrieben worden: Dekreption, das heisst Aufsprenge der Einschlüsse durch immer stärkere Erhitzung, bei einem Temperaturintervall von 50° C; maximale Temperatur 550° C. Die Auswertung der Massen-Spektren bedingt die Lösung eines Systems linearer Gleichungen. Jeder Substanz entspricht ein genau definiertes Spektrum, das einzeln geeicht werden muss. So beobachtet man für Wasser die Massen 16, 17 und 18, für Methan die Massen 12, 13, 14, 15 und 16 und für CO₂ die Massen 12, 16, 22, 28, 44 und 45. Für unsere Einschlussuntersuchungen haben wir uns vor allem auf die Werte der Massen 15 (Methan), 18 (Wasser), 30 (Äthan) und 44 (Kohlendioxid) gestützt. Die Bestimmung des Propans setzt eine partielle Lösung des Systems voraus, die wir graphisch durchgeführt haben. Die Unter-

suchungsmethode bringt es mit sich, dass keine Gesamtanalysen einzelner Einschlusse erhalten werden können, da immer viele verschiedene Einschlüsse beim Erhitzen gleichzeitig platzen, und weil verschiedene Einschlussbestandteile durch die massenspektrometrische Untersuchung gar nicht erfasst werden (Salzgehalte, organische Substanzen höherer Masse). Die massenspektrometrischen Analysen bedürfen deshalb immer einer Interpretation, die nur mit Hilfe der vorangegangenen optischen Untersuchung gegeben werden kann.

In Tabelle 1 sind die ersten Analysenergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 1. *Massenspektrometrische Analysen*

Analytiker: J. C. TOURAY

| Fundort | H ₂ O/CH ₄ Molare Werte semi- quantitativ | CO ₂ /CH ₄ Mittelwerte molar (± 0,02) | C ₂ H ₆ /CH ₄ Mittelwerte molar (± 0,01) | C ₃ H ₈ /CH ₄ Maximal- werte molar | Anzahl Messungen |
|--------------------|--|--|--|--|---------------------|
| 1. Zingel | nicht gemessen | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 7 |
| 6. Därligen | 0,10 | 0,03 | nicht gemessen | nicht gemessen | 22 |
| 7. Obersuld | 1,0 | 0,14 | 0,009 | 0,005 | 1 |
| 12. Ärmighorn | nicht gemessen | 0,03 | 0,007 | 0,003 | 1 |
| 17. Engstligengrat | 0,3 | 0,07 | nicht gemessen | nicht gemessen | 26 |
| 22. Tour de Duin | 0,7 | 0,05 | nicht gemessen | nicht gemessen | 20 |

Einzig bei den Fundorten 1, 6 und 12 sind Quarzpartien, die *nur* der vierten Bildungsphase entsprechen, analysiert worden. Der Quarzkristall von Obersuld (7) weist eine äusserste, relativ dünne Kristallzone auf, welche dieser Bildungsphase angehört. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass das Wasser hier eine grössere Rolle spielt, als das Methan. Zudem zeigt sich an diesem Beispiel, dass das CO₂ eher mit dem Wasser denn mit dem CH₄ zusammen vorkommt. Eindeutig darf aus den Analysenergebnissen der Schluss gezogen werden, dass die einphasig-gasförmigen Einschlüsse (grösstenteils) aus Methan bestehen. Weitere Schlüsse lassen sich aus den Analysen-Ergebnissen eines Zepterquarzes vom Tour de Duin (Fig. 1) und zweier Kristalle verschiedener Bildungsphasen vom Torrent de la Tille ziehen (Fig. 2). Wie Fig. 1 zeigt, wurde einerseits der Sockel und andererseits der Kopf einer Zepterquarzbildung vom Tour de Duin analysiert. Der Sockel entspricht der zweiten Bildungsphase (Habitus 2), der Kopf aber der Bildungsphase 4. Im Mikroskop konnten im Sockel vor allem viele pseudosekundäre, zweiphasige, aber auch sekundäre, einphasig-gasförmige Einschlüsse festgestellt werden. Diese zwei (wichtigsten) Einschluss-Gruppen lassen sich im Diagramm sehr leicht erkennen. Zuerst platzten offenbar die einphasig-gasförmigen, also die jüngsten sekundären Ein-

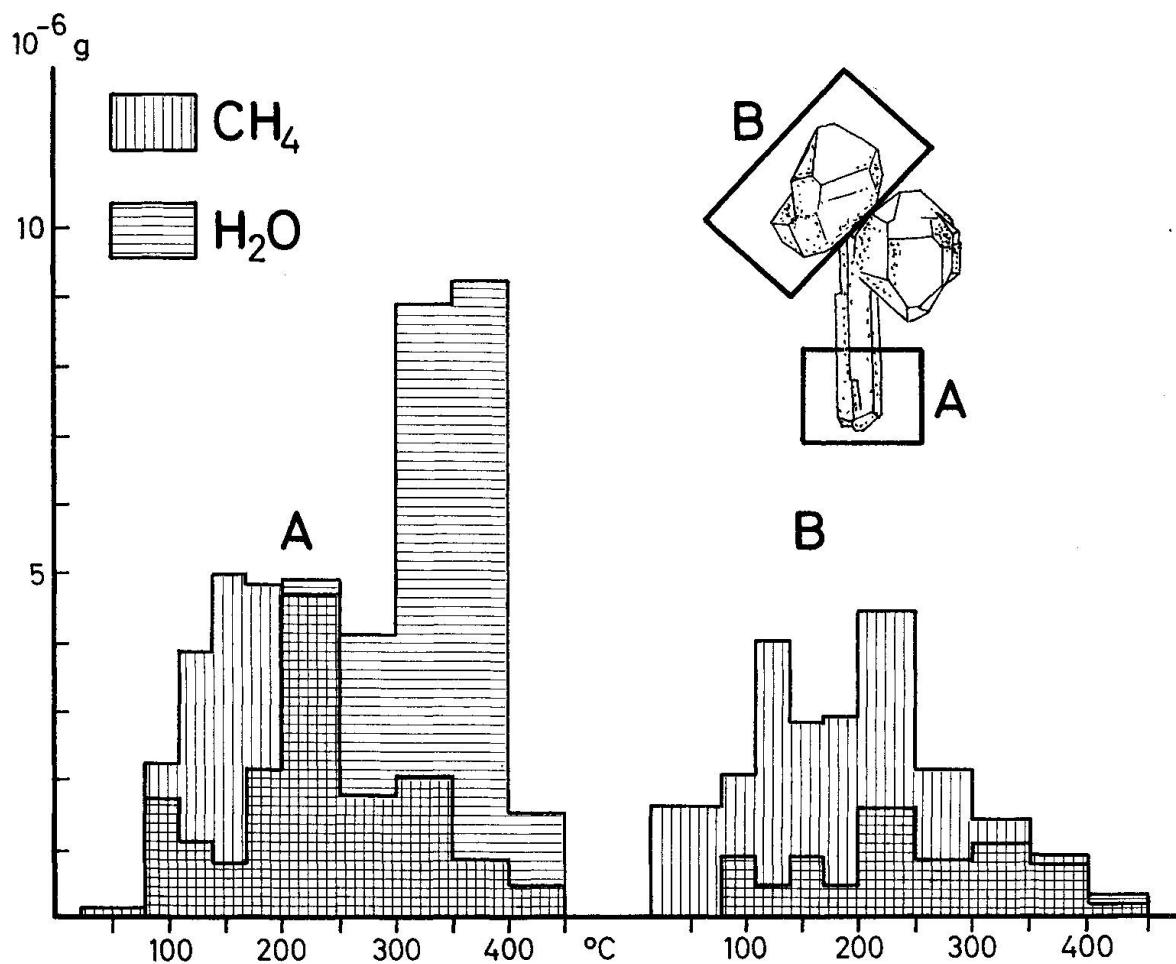


Fig. 1. Massenspektrometrische Analyse eines Zepterquarzes vom Tour de Duin (22). Erklärung siehe Text. Kreuzschraffur = Überlappung von CH_4 und H_2O .

schlussbildungen, bevor die zweiphasigen, wässerigen, ihr Maximum der Dekreption erreichten. Im Kopf des Zepterquarzes lassen sich neben primären und sekundären, einphasig-gasförmigen Einschlüssen auch vereinzelte grössere, zweiphasige erkennen. Im Diagramm lassen sich diese zwei Einschlussarten ebenfalls, wenn auch viel weniger gut als im vorhergehenden Fall, voneinander unterscheiden.

Vom Torrent de la Tille sind ebenfalls zwei Quarzbildungen der zweiten und der vierten Bildungsphase analysiert worden (Fig. 2), aber diesmal voneinander vollständig isolierte Kristalle. Der stengelige Quarz mit pseudosekundären Einschlüssen zeigte unter dem Mikroskop keine sekundären, einphasig-gasförmigen Einschlüsse, was im Diagramm sehr schön zur Geltung kommt. Das Methan weist im Diagramm eine geometrisch ähnliche Form auf wie das Wasser. Es dürfte sich deshalb um das im Wasser gelöste (resp. bei der Einschlususbildung gelöst gewesene) Methan handeln. Das Diagramm eines kleinen Dopplenders lässt (viel klarer als beim Beispiel vom Tour de Duin) die reinen Methan-Einschlüsse von einigen wässrig-zweiphasigen unterscheiden.

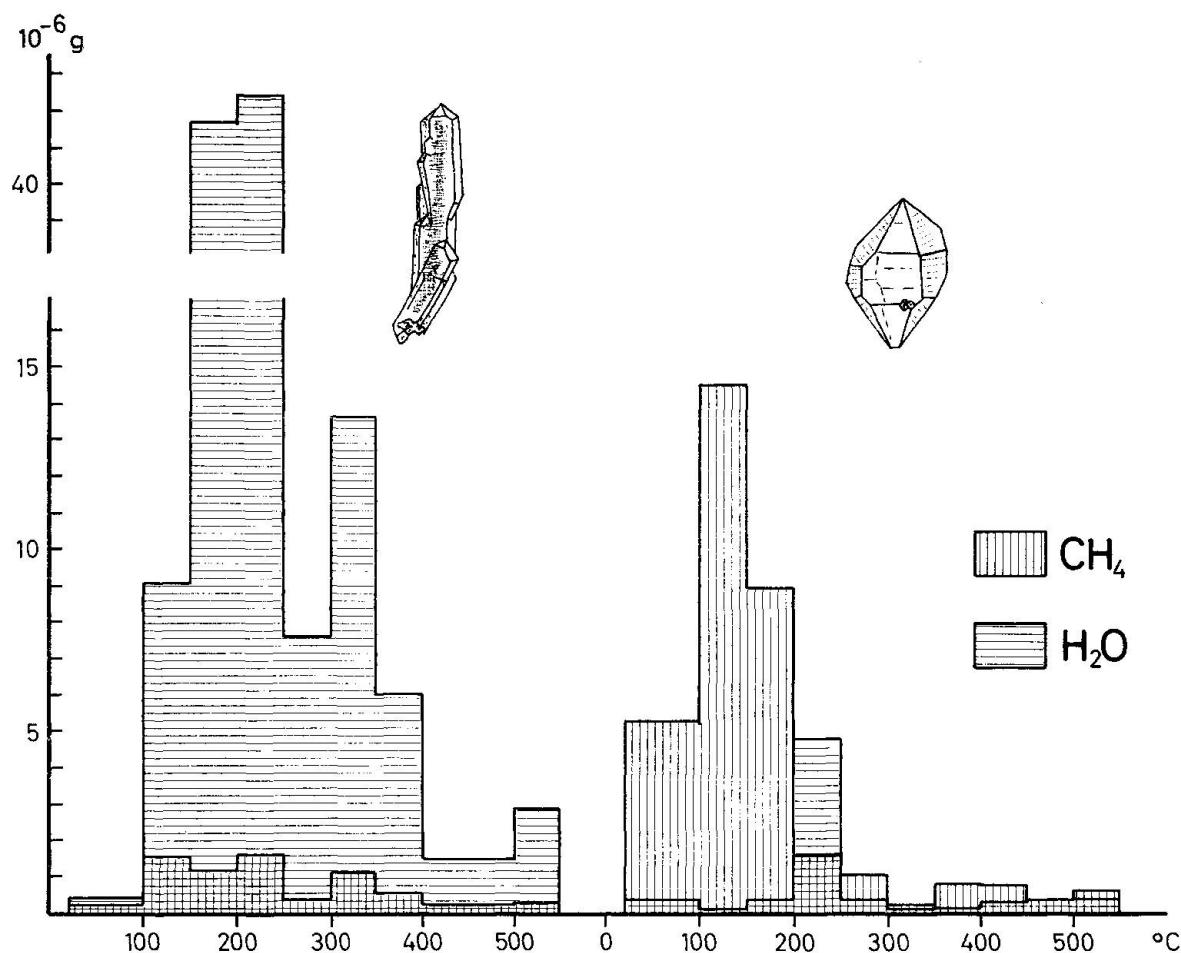


Fig. 2. Massenspektrometrische Analysen von zwei verschiedenen Quarzkristallen vom Torrent de la Tille (23). Erklärung siehe Text. Kreuzschraffur = Überlappung von CH_4 und H_2O .

TEMPERATURMESSUNGEN: HEIZTISCH UND KRYOMETRIE

1. Heiztisch

Von einer ganzen Anzahl von Einschlüssen sind Homogenisierungstemperaturen gemessen worden. Es zeigte sich, dass vor allem von den Bildungsphasen 2 und 3 reproduzierbare Messungen erhalten werden können. Zweiphasige Einschlüsse, die der vierten Bildungsphase angehören, lassen sich zwar meist auch homogenisieren, doch sind die gemessenen Werte kaum reproduzierbar und somit wertlos. Bei der Fundortgruppe 1 war das Messen der Homogenisierungstemperaturen (Bildungsphasen 2 und 3) recht mühsam, da viele Einschlüsse vor der Homogenisierung platzten. Die in der Tabelle 2 angegebenen Temperaturen sind Mittelwerte von zwei bis vier Messungen des gleichen Einschlusses, die nicht mehr als 2–3° C differierten, was der Messgenauigkeit der angewandten Methode entspricht.

Die Homogenisierungstemperaturen ergeben leider nur Minimalwerte der

Tabelle 2

| Nr. | Fundstelle | Bildungsphase Art des Einschlusses | Homogenisierungs- temperatur °C | Bemerkungen |
|--|---------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Fundortgruppe 1</i> | | | | |
| 6 | Därligen | ? 3-sekundär | 177 | Ganze Gruppe mit Gas unter Druck |
| 7 | Obersuld | 3-sekundär | 220 | |
| | | 4-? primär | 139-155 | 3 versch. Einschlüsse |
| 12 | Ärmighorn | 3-sekundär | 163 | |
| | | 4-? primär | 76-150 | 3 versch. Einschlüsse |
| | | 3-sekundär | 184 | |
| 17 | Engstligengrat | 3-? sekundär | 169 | |
| | | 3-? primär | 212 | |
| 22 | Tour de Duin | 2-pseudosekund. | über 220 | |
| 23 | Torrent de la Tille | 2-pseudosekund. | 226 | |
| <i>Fundortgruppe 2, NW der Fundortgruppe 1</i> | | | | |
| 33 | Sackgraben | 3-sekundär | 90 | |
| | | 3-sekundär | 104 | |
| 34 | Tschentenbach | 3-sekundär | 108 | |
| 35 | Feuteroey | 2-? pseudosek. | 206 | mit Gas unter Druck |
| | | 2-pseudosek. | 221 | mit Gas unter Druck |
| <i>Fundortgruppe 2, SE der Fundortgruppe 1</i> | | | | |
| 36 | Clawinenalp | 3 | 163 | |
| 37 | Torrenthorn | 3 | 214 | mit Gas unter Druck |
| 38 | Rosenlauui | 2-pseudosekund. ? sekundär | 176 130 | |
| 39 | Wetterhorn | 2-? primär | 189 | |
| <i>Fundortgruppe 3</i> | | | | |
| 41 | Trift | 3-sekundär | 136 | |
| | | 3-sekundär | 123 | |
| 42 | Kammegg | 3-sekundär | 159 | |
| 43 | Gauli | 3-sekundär | 146 | |
| 44 | Strahlegg | 3-sekundär | 164 | |
| 45 | Jungfraujoch | 3-sekundär | 149 | |
| 46 | Jägiknubel | 3-sekundär | 166 | |
| 47 | Wilerhorn | 3-sekundär | 153 | |

Bildungsbedingungen wieder. Wir haben vorläufig keine Möglichkeit, im Untersuchungsgebiet den Druck während der Bildung richtig abzuschätzen und somit auch nicht die Bildungstemperatur. Zudem waren wir darauf angewiesen, vor allem sekundäre Einschlüsse zu messen, da verschiedene Vorkommen gar keine messbaren primären Einschlüsse enthalten. Einige Folgerungen können aber trotzdem gezogen werden.

1. Die Einschlüsse, die schon bei Zimmertemperatur unter relativ hohem Druck stehen (methanhaltige Einschlüsse) ergeben Homogenisierungstemperaturen, die näher bei der Bildungstemperatur liegen als die übrigen gemessenen Homogenisierungstemperaturen. Für die methanhaltigen Quarze können deshalb Bildungstemperaturen angenommen werden, die über 200 bis 240° C liegen. Dies ist ohne weiteres in Beziehung zu bringen mit den Temperatur-Abschätzungen von MARTINI und VUAGNAT (1969) für die alpidische Metamor-

phose des Helvetikums, das heisst das Verbreitungsgebiet der methanhaltigen Quarze, wenn wir uns vorstellen, dass die Quarzbildungen in einer Spätphase der Metamorphose entstanden sind.

Einige Messungen an zweiphasigen Einschlüssen der Bildungsphase 4 (innerhalb der Fundortgruppe 1) lassen erkennen, dass offenbar die Bildungstemperatur für diese letzte Kristallisationsphase rasch abgesunken ist.

2. Beim Vergleich der Homogenisierungstemperaturen innerhalb der Fundortgruppe 2 (bei Quarzen ohne Gas unter Druck!) kann sehr deutlich eine allgemeine Temperaturabnahme von NW nach SE festgestellt werden. Am Massivrand sind offenbar die Bildungsbedingungen ähnlich gewesen wie in der nördlichen Zone des Aarmassivs selbst (Fundortgruppe 3).

3. Über die Bildungstemperaturen der Quarze innerhalb der Fundortgruppe 2 und 3 kann nur ausgesagt werden, dass sie wesentlich oder bedeutend höher anzusetzen sind als die Homogenisierungstemperaturen (vergleiche hiezu POTY, 1968).

2. Kryometrie

Die Daten der Tabelle 3 werden der Vollständigkeit halber mitgeteilt. Sie sind der Arbeit von POTY und STALDER, 1970 (dieses Hefts) entnommen. Eine eingehendere Diskussion der Messergebnisse findet sich an der erwähnten Stelle. Für die Methodik der kryometrischen Untersuchungen sei auf die Arbeit von ROEDDER (1962) verwiesen. Hier sollen nur drei Dinge festgehalten werden:

Tabelle 3

| Nr. | Fundstelle | T_1 °C | T_2 °C | [NaCl] Gew.-% | Anzahl Phasen | Hydrate | T_3 °C | Bildungs- phase |
|------------------------|---------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|-------------|--------------------|
| <i>Fundortgruppe 1</i> | | | | | | | | |
| 23 | Torrent de la Tille | -3,2 bis -4 | -0,6 bis 1,2 | 1 bis 2 | 2 | wenig | 16 bis 18 | 2 |
| 22 | Tour de Duin | -3,5 | -1,1 bis -1,2 | 2 | 2 | wenig | gegen 18 | 2 |
| 4 | Hohtürli | -4 | -1,3 bis -1,4 | 2,5 | 2 | sehr viel | 16 bis 18 | 3/4 |
| <i>Fundortgruppe 2</i> | | | | | | | | |
| 33 | Sackgraben | -25 bis -30 | -4,5 und -9,5 | 7 13,2 | 2 | - | - | 3 |
| 38 | Rosenlauui | -6 bis -7 | 0,0 bis -0,8 | 0 bis 1,5 | 2 | - | - | 3 |
| <i>Fundortgruppe 3</i> | | | | | | | | |
| 41 | Trift | -13 bis -15 | -2,3 | 4,1 | 2 | - | - | 3 |
| 42 | Kammegg I | -14 | -2,5 bis -2,7 | 4,4 bis 4,8 | 2 | sehr wenig | 3 | 3 |

T_1 = Beginn des Schmelzens
 T_2 = Vollständige Verflüssigung
[NaCl] = Salzgehalt, als NaCl berechnet
 T_3 = Schmelzpunkt des Hydrates

1. Auch mittels der Kryometrie ist es möglich, die methanhaltigen Einschlüsse als solche durch das Auftreten des CH₄-Hydrates zu erkennen.
2. Der Salzgehalt der Flüssigkeits-Einschlüsse in Quarzen der Fundortgruppen 1 und 2 ist allgemein sehr niedrig.
3. Eine Ausnahme von obiger Regel bildet das Quarzvorkommen vom Sackgraben mit 7 resp. 13,2% [NaCl]. Durch das unmittelbar umgebende Gestein (Flysch, grobe Niesenbreccie) kann dieser hohe Salzgehalt nicht erklärt werden. Im Hangenden der Quarzklüfte kommen keine Evaporite vor, wohl aber im Liegenden. Nur einige Meter tiefer zieht eine Rauhwackenschicht durch (Basishorizont der Niesendecke), die oft – aber nicht genau an dieser Stelle – von Gips begleitet ist. Ca. 150 m tiefer ist eine mächtige, zusammenhängende Gipsschicht (in der sogenannten „Sackgrabenschuppe“) vorhanden. Vermutlich sind diese Evaporite am hohen Salzgehalt schuldig, der sicher nicht nur aus NaCl, sondern auch aus Ca-Salzen besteht.

Die geschilderten Verhältnisse sprechen sehr dafür, dass die hydrothermalen Wässer aszendierender und nicht deszendierender Natur gewesen sind. Dies bestätigt somit unsere Ansicht, dass es sich bei diesen und den andern besprochenen Mineralklüften um eigentliche alpine Zerrkluftbildungen handelt.

DISKUSSION

Bei der Bildung der durchsichtigen, dipyramidalen Quarzkristalle und der Fensterquarze (der Fundortgruppe 1) hat offensichtlich das Methan eine wichtige Rolle gespielt. Während die Verschiedenheiten der drei ersten Habitus-Arten durch das dynamische Zusammenspiel von Kristallwachstum und Öffnen des Klufthohlraumes erklärt werden können (LAEMMLEIN, 1946), findet der vierte Quarz-Habitus seine Erklärung in der Änderung der physikalischen Bedingungen, die ihrerseits zu einer Änderung der chemischen Zusammensetzung der „Mutterlauge“ führen. LAEMMLEIN hat dieses Phänomen der Habitusänderung bei Quarzkristallen auch schon beobachtet. POTY (1967, S. 176) schreibt darüber:

„Le CO₂, tout comme les hydrocarbures selon Laemmlein, diminue la polarité de l'axe a et gêne l'étalement des couches. Les faces plagièdres disparaissent et le cristal devient squelettique.“

Die vollständige Abwesenheit von x- und s-Flächen bei den Fensterquarzen ist tatsächlich offensichtlich. Vermutlich ist der geringe Gehalt an CH₄ in den „agents minéralisateurs“ der Habitusarten 2 und 3 auch schuld an der Nichtausbildung von x-Flächen an Quarzen der Fundortgruppe 1 (vergleiche S. 118).

Nach den verschiedenen Einschlusfüllungen zu schliessen, die in Quarzen der vierten Bildungsphase in der Fundortgruppe 1 vorkommen, haben sich diese Kristalle allerdings nicht in reiner Methan-„Atmosphäre“ gebildet.

Vielmehr scheinen sich zur Zeit der Kristallbildung, nach einer raschen Temperatursenkung und Druckentlastung eine entmischte wässrige Lösung und Methan (in überkritischem Zustand) in den Kluftohlräumen befunden zu haben. Dafür sprechen vor allem die Beobachtungen, wonach Einschlüsse des gleichen Bildungsaktes, die auf der gleichen gebogenen Fläche liegen, verschiedene chemische Füllungen aufweisen können (Abb. 19, 20).

Abschliessend sei vermerkt, dass Methan und höhere Kohlenwasserstoffe auch heute noch in freier Form im Gebirgskörper der nördlichen Kalkalpen vorkommen. So sind zum Beispiel folgende Indikationen bekannt:

- Methangasaustritte im Lauerzersee, die nach KOPP (1940) zum Teil aus den Nummulitenriffen stammen.
- Einschlüsse von Öltropfen im Hauterivien-Kieselkalk, unter anderem beobachtet in den Steinbrüchen Zingel (1), Rotzloch (2) und Balmholz am Thunersee; KOPP, 1937.
- Methangasaustritte aus dem geschiefersten Valanginienkalk, dem bituminösen Valanginienmergel und dem Hauterivien-Kieselkalk im Stollen Grossmelchtal-Kleinmelchtal (OW); KOPP, 1937.
- Grössere Grubengasvorkommen im Salzbergwerk von Bex (VD); BADOUX, 1966.

Nach den Einschluss-Untersuchungen in den Quarzkristallen ist es wahrscheinlich, dass sich diese Kohlenwasserstoffe schon seit dem Abschluss der alpidischen Metamorphose in diesen Gebirgsteilen befinden. Im Gebiete des Morgenberghorns, des Bundstockes und des Engstligengrates sind bis heute unseres Wissens keine Indikationen bekannt geworden. In diesen Gebirgsteilen sind aber auch keine grösseren Tiefbauarbeiten durchgeführt worden. Sollten solche in der Zukunft einmal in Angriff genommen werden, so wäre nach unserer Auffassung mindestens das Neocom als potentieller Grubengasträger aufmerksam zu beachten.

Zum Schluss ist es uns ein Bedürfnis, all jenen bestens zu danken, die am Zustandekommen dieser Arbeit mitgewirkt haben: Herrn P. Zürcher für die Messungen der Homogenisierungstemperaturen und die Reinschrift des Manuskripts, Herrn F. Auf der Maur für die Beschaffung verschiedener Unterlagen, Herrn J. Kretz für die Reinzeichnungen der Kartenskizze und der Figuren und Herrn M. Vogler für die Hilfe bei den massenspektrometrischen Messungen.

LITERATUR

- BADOUX, H. (1966): Description géologique des Mines et Salines de Bex et de leurs environs. Mat. Géol. Suisse, Sér. Géotechnique, 41. Liefg.
- DEICHA, G. (1955): Les lacunes des Cristaux et leurs Inclusions fluides. Masson, Paris; 1265.
- VON FELLENBERG, E. (1885): Über ein neues Vorkommen von Bergkristall in der Schweiz. Mitt. Naturf. Ges. Bern, S. 99–110.

- (1893): Geologische Beschreibung des westlichen Theils des Aarmassivs . . . Beitr. geol. Karte Schweiz, 21. Liefg., 1. Teil.
- FURER, H. (1962): Erläuterungen zum Blatt 473 – Gemmi des geol. Atlas der Schweiz, 1 : 25000, 53 S.
- KOPP, J. (1937): Die Erdgas- und Erdölanzeichen am Alpenrand der Ostschweiz und Zentralschweiz. Schweiz. Sammelstelle geol. Dok., Nr. 23.
- (1940): Die Erdgasvorkommen im Lauerzersee. Schweiz. Sammelstelle geol. Dok., Nr. 1026.
- LAEMMLEIN, G. G. (1946): Über die Entstehung flacher Kristalle mit „weissen Streifen“. Fragen der Mineralogie, Geochemie und Petrographie, Moskau, S. 99–109 (russisch).
- LUGEON, M. (1950): Cristaux de quartz hyalin de la Croix de Javerne. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat., Vol. 64, No 276, S. 446.
- MARTIN, R. und von RAUMER, J. (1968): Quarz mit „Faden“ aus alpinen Zerrklüften. Schweizer Strahler, Jg. 2, S. 146–149.
- MARTINI, J. und VUAGNAT, M. (1965): Présence du faciès à zéolithes dans la formation des „grès“ de Taveyanne (Alpes franco-suisse). Bull. Suisse Min. Pétr., Vol. 45, S. 281–293.
- POTY, B. (1966): Inclusions solides et „fil de plomb minéralogique“. Sciences de la Terre, Tome II, S. 41–53.
- (1967): La croissance des cristaux de quartz dans les filons sur l'exemple du filon de la Gardette (Bourg d'Oisans) et des filons du massif du Mont Blanc. Thèse, Nancy, 209 S.
- POTY, B. und STALDER, H. A. (1970): Kryometrische Bestimmungen der Salz- und Gasgehalte eingeschlossener Lösungen in Quarzkristallen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen. Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 50/1, S. 141–154.
- RASUMNY, J. (1958): Analyse microchimique des gaz contenus dans les minéraux: formation du précipité barytique. C. R. séances Soc. France, No 16, S. 378–379.
- von RAUMER, J. (1967): Quarz mit „Faden“ aus alpinen Zerrklüften. Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 47, S. 1131–1137.
- RENEVIER, E. (1890): Monographie des Hautes-Alpes Vaudoises. Mat. Carte géol. Suisse, 16. Liefg.
- ROEDDER, E. (1962): Studies of fluid inclusions I: Low temperature application of a dualpurpose freezing and heating stage. Econ. Geol., Vol. 57, S. 1045–1061.
- STALDER, H. A. (1965): Mineralfundstelle am Krattigbach bei Faulensee. Mitt. Natf. Ges. Bern, NF 22. Band, S. 316–319.
- (1967): Über neue Mineralfunde aus den Schweizer Alpen. Schweiz. Strahler, Jg. 1, S. 12–14.
- TOURAY, J. C., LANTELME, F. et VOGLER, M. (1966): Etude par spectrométrie de masse de la décrépitation des inclusions fluides. C. R. Acad. Sci. Paris, Vol. 262, S. 1–4.
- TOURAY, J. C. et LANTELME, F. (1966): Analyse des gaz inclus des minéraux: méthode du chauffage progressif. Bull. Soc. franç. Minéral. Crist., Vol. 84, S. 394–398.
- TOURAY, J. C. et JAUZEIN, A. (1967): Inclusions à méthane dans les quartz des „terres noires“ de la Drôme. C. R. Acad. Sc. Paris, Vol. 264, S. 1957–1960.
- TOURAY, J. C. et SAGON, J. P. (1967): Inclusions à méthane de Mauléon (Basses-Pyrénées). C. R. Acad. Sc. Paris, Vol. 265, S. 1269–1272.
- TOURAY, J. C., VOGLER, M. et STALDER, H. A. (1970): Inclusions à hydrocarbures liquéfiés dans les Quarz de Zingel/Seewen. Bull. Suisse Minéral. Pétr., Vol. 50/1, S. 131–139.
- TRÖHLER, B. (1966): Geologie der Glockhaus-Gruppe. Beitr. Geol. Schweiz., Geotechnische Ser., 13. Liefg., 10. Band.

TAFEL I

Alle Photos, mit Ausnahme von Abb. 14, stammen von H. A. STALDER

Erste Reihe, von links nach recht.

- Abb. 1. Stengeliges Quarzagggregat von der First bei Grindelwald (5). Die Quarzstengel stehen senkrecht zu den Anwachsflächen (oben/unten). Bildungsphase 1.
- Abb. 2. Bergkristalle mit durchsichtigen und milchigen Partien vom Sackgraben bei Achseten (33). Habitus 3, resp. Bildungsphase 3. Die gleiche Stufe (auf dem Bild nicht sichtbar) weist auch Formen auf, die zur 2. Bildungsphase gehören.

Zweite Reihe, von links nach rechts.

- Abb. 3. Stengeliges Quarzagggregat vom Torrenthorn (37). Die milchigen Quarzstengel lassen durch ihre schiefe Stellung auf eine Transversalverschiebung der beiden Kluftwände gegeneinander beim Öffnungsprozess schliessen. (Auf dem Bild ist die linke Kluftfläche relativ gegen oben verschoben.) Die Quarzstengel sind zum Teil von durchsichtigem Quarz umwachsen. Bildungsphasen 1 und 2.
- Abb. 4. Plattige Quarzaggregate mit „weissen Streifen“ von der Clawinenalp bei Leukerbad (36). Die „weissen Streifen“ verlaufen überall ungefähr parallel einer a-Achse. Auf dem Bild ist nur ein „Streifen“ oberhalb der Verwachungsspur der beiden Hauptaggregate sichtbar. Bildungsphase 2.
- Abb. 5. Leicht plattiger Quarzkristall mit „weissen Streifen“ vom Torrent de la Tille (23). Hier verläuft der „Streifen“ ungefähr parallel der c-Achse des Kristalls. Bildungsphase 2.

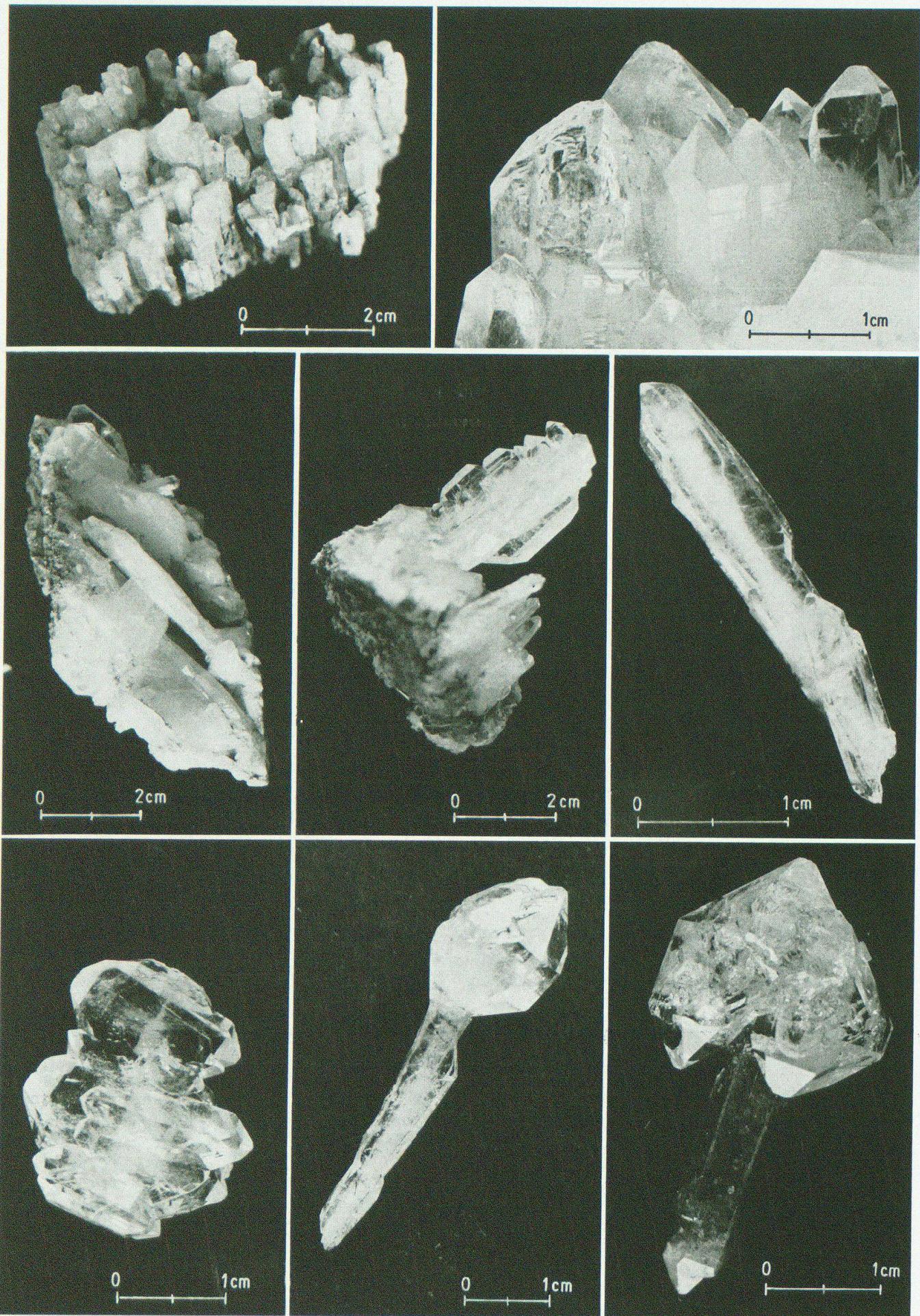
Dritte Reihe, von links nach rechts.

- Abb. 6. Plattiges Quarzagggregat mit „weissen Streifen“ vom Sackgraben bei Achseten (33). Der „Streifen“ ist hier sehr unregelmässig ausgebildet: oben schmal, gegen unten immer breiter werdend. Bildungsphase 2.
- Abb. 7. Zepterquarz vom Tour de Duin (22). Der Quarzstiel entspricht der Bildungsphase 2 (vergleiche Fig. 5!), der Kopf der Bildungsphase 4 (bipyramidaler Kristall mit leichter „Fensterung“).
- Abb. 8. Zepterquarz vom Tour de Duin (22). Der Quarzstiel erscheint dunkel infolge vieler eingeschlossener Schieferpartikel. Offenbar wurden diese kurz vor Ende der Bildungsphase 3, der dieser Kristall angehört, eingeschlossen. Ausnahmsweise besitzt der Quarzstiel ausgebildete Endflächen (vergleiche Fig. 7). Der „Kopf-Kristall“ ist recht deutlich gefenstert. Bildungsphasen 3 (unten) und 4 (oben).

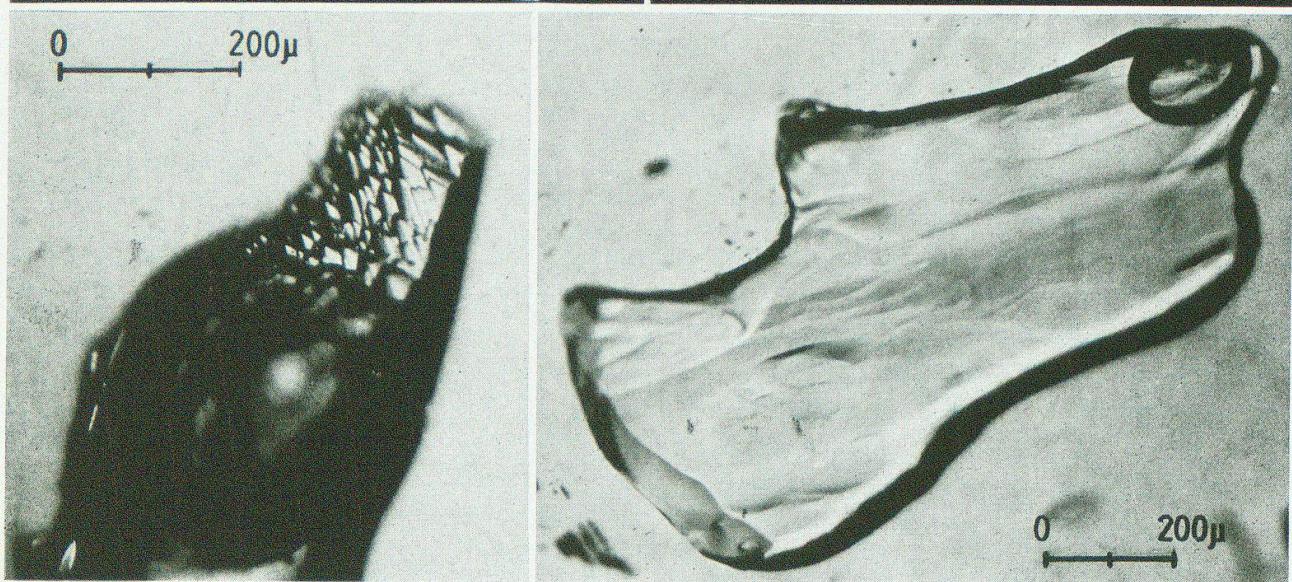
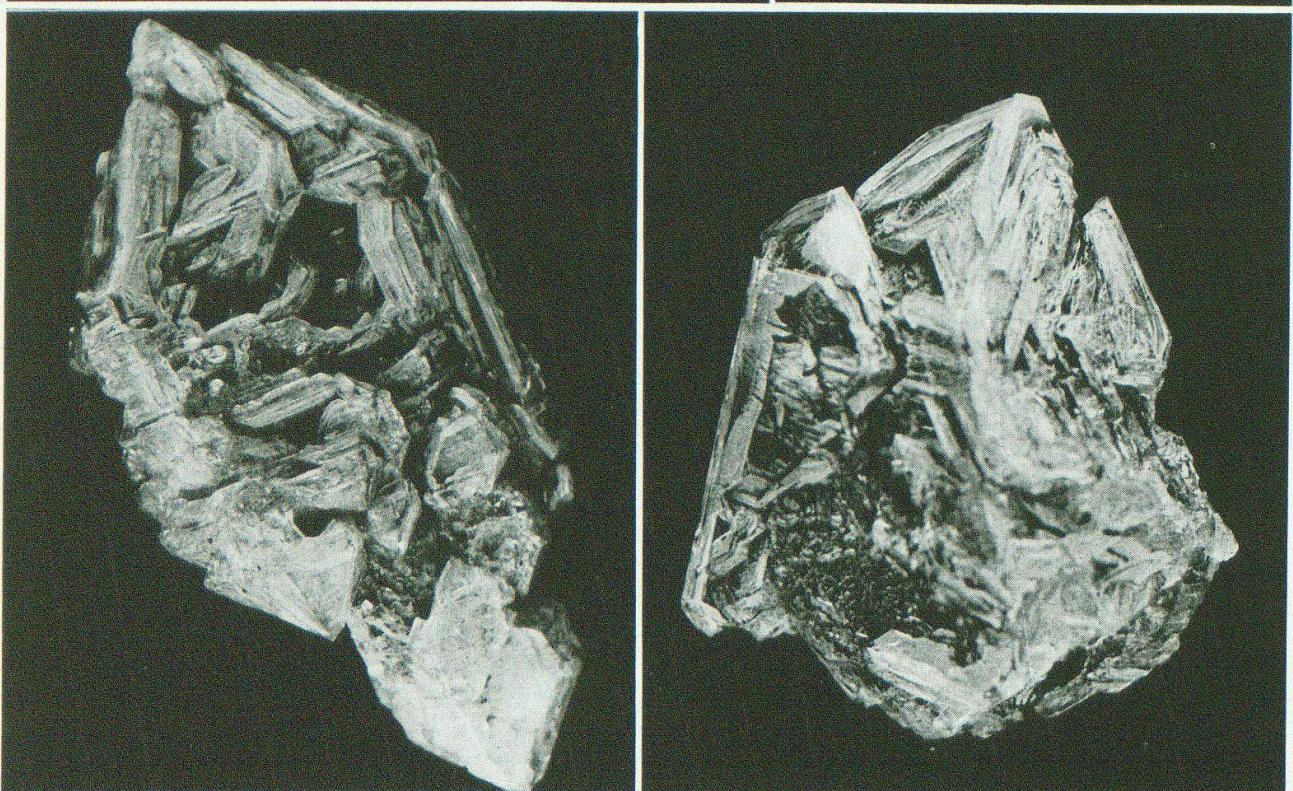
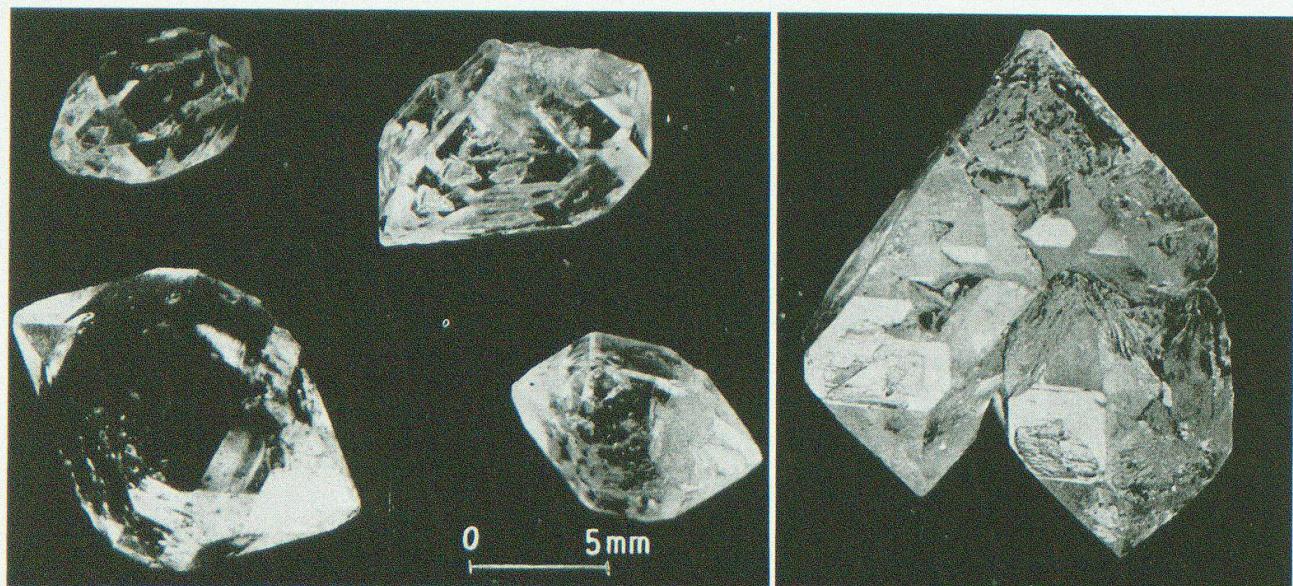
TAFEL I

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Band 50, Heft 1, 1970

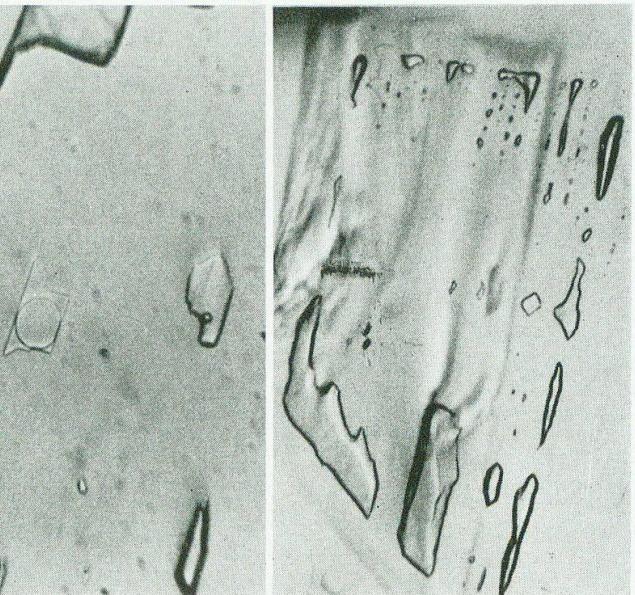
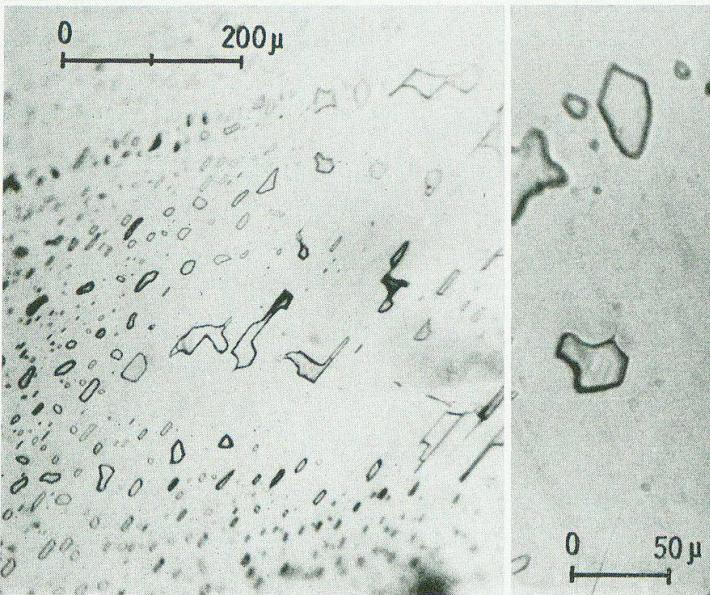
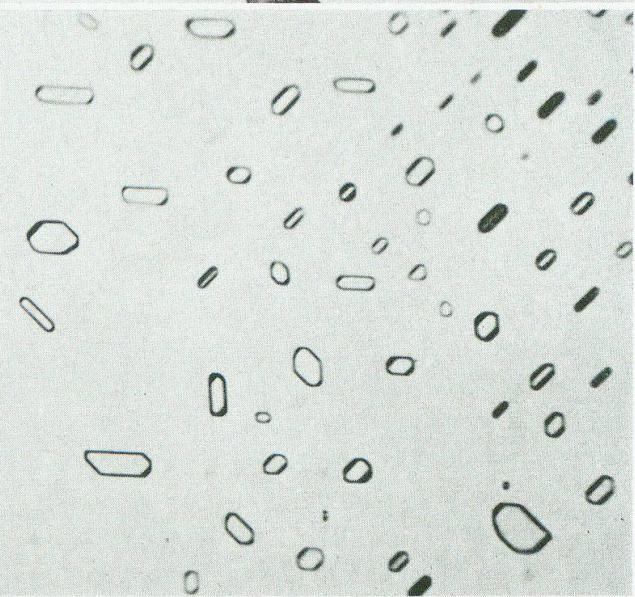
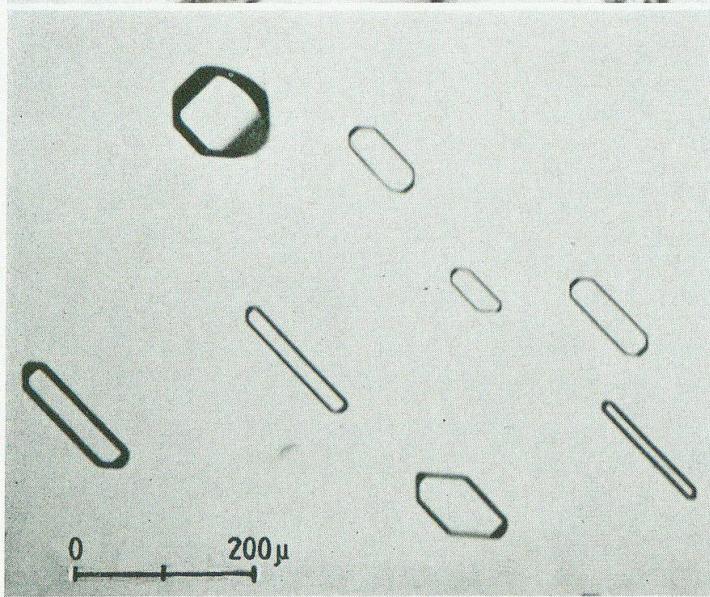
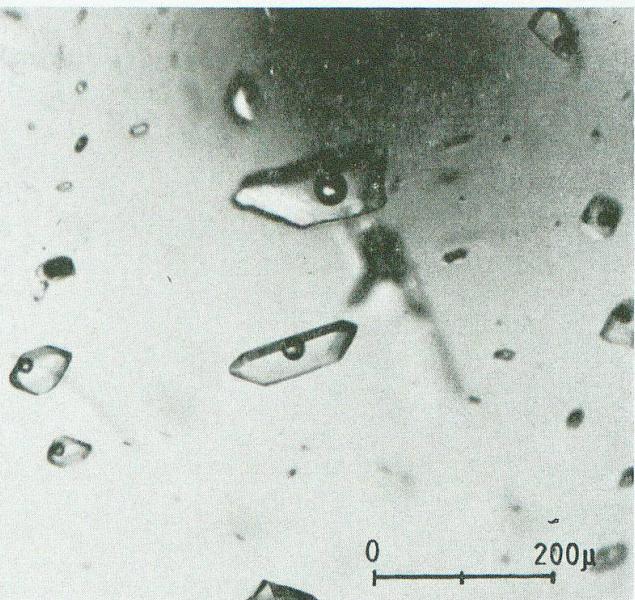
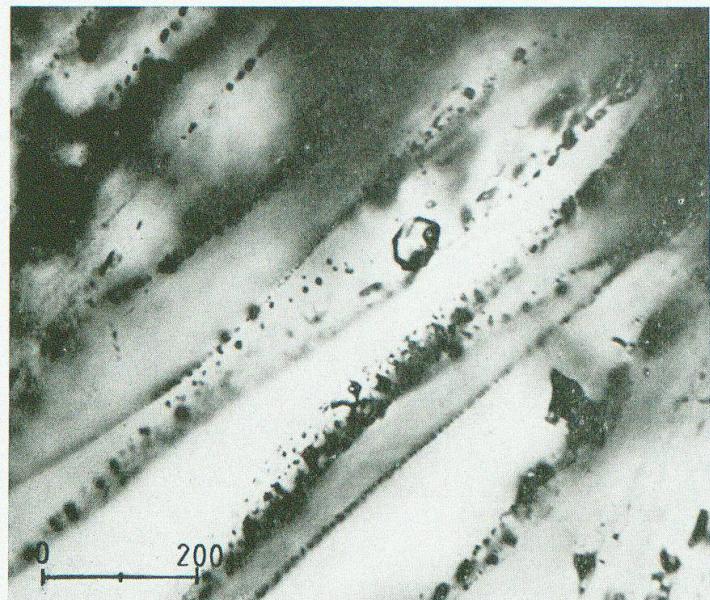
H. A. STALDER und J. C. TOURAY: Fensterquarze mit Methan-Einschlüssen
aus dem westlichen Teil der schweizerischen Kalkalpen



TAFEL II



TAFEL III



TAFEL II

Erste Reihe, von links nach rechts.

Abb. 9. Kleine, wasserklare, dipyramidale Quarzkristalle vom Ärmighorn (12) und vom Engstligengrat (17). Fast von jeder Fundstelle der Fundortgruppe 1 könnten entsprechende Kristalle abgebildet werden. Bildungsphase 4.

Abb. 10. Aggregat parallel verwachsener, dipyramidaler Quarzkristalle vom Renggli-Pass (8). Die Fensterung dieser Kristalle ist bedeutend ausgeprägter als bei denjenigen der Fig. 9. Bildungsphase 4.

Zweite Reihe, von links nach rechts.

Abb. 11. Fensterquarz vom Tour de Duin (22). Der 23 cm lange Kristall dürfte bis heute der grösste seiner Art aus der Schweiz sein. Oben in der Mitte, aber auch unten, sind Oberflächenteile eines Kristalls zu sehen, der zur 3. Bildungsphase (mit Schieferpartikeln in der äussersten Wachstumszone, vergleiche Fig. 8) gehört. Alle gefensterten Kristallteile gehören der 4. Bildungsphase an.

Abb. 12. Fensterquarz vom Torrent de la Tille (23). Die Zwischenräume der flächenparallelen Lamellen sind weitgehend mit Lehm gefüllt, der nach der Quarzbildung eingeschwemmt worden ist. Bildungsphase 4. Natürliche Grösse.

Dritte Reihe, von links nach rechts.

Abb. 13. Quarzkristall vom Engstligengrat (17). Auskeilen einer Hohl-Lamelle unterhalb einer Rhomboederfläche. Die Winkelhalbierende durch die negativen „Pyramiden“ entspricht der c-Achse des Kristalls. Bildungsphase 4. Grosse Hohllamellen sind normalerweise „leer“, d. h. sie stehen irgendwie in Verbindung mit der umgebenden Atmosphäre; dies gilt auch für die hier abgebildete Lamelle.

Abb. 14. Grosser, zweiphasiger Einschluss in Quarzkristall von Obersuld (7). Der Einschluss gehört zur 4. Bildungsphase: Wässrige Lösung mit relativ wenig Gas. Die Homogenisierungstemperaturen solcher Einschlüsse können über einen weiten Temperaturbereich streuen (siehe Tabelle 2). Photo J. Cl. Touray.

TAFEL III

Erste Reihe, von links nach rechts.

Abb. 15. Pseudosekundäre Einschlüsse in einem stengeligen Quarzkristall mit „weissen Streifen“ vom Torrent de la Tille (23). Die Einschlüsse sind alle zweiphasig: Wässrige Lösung und Gas unter Druck. Die c-Achse des Kristalls verläuft von rechts unten nach links oben. Die Ebenen mit den pseudosekundären Einschlüssen bilden in ihrer Gesamtheit den weissen Faden. Bildungsphase 2.

Abb. 16. Zweiphasige Einschlüsse eines Quarzkristalls vom Engstligengrat (17). Die Einschlüsse sind pseudosekundär und gehören der 3. Bildungsphase an. Gleiche Vergrösserung wie Abb. 15.

Zweite Reihe, von links nach rechts.

Abb. 17 und 18. Einphasige, primäre Methan-Einschlüsse eines kleinen dipyramidalen Quarzkristalls von Därligen (6). Die negativen Kristalle sind gruppenweise immer wieder gleich verzerrt. Auf beiden Aufnahmen verläuft die c-Achse von rechts unten nach links oben. Bildungsphase 4.

Dritte Reihe, von links nach rechts.

Abb. 19 und 20. Ein- und zweiphasige Einschlüsse in einem Quarzkristall vom Torrent de la Tille (23). Die Einschlüsse sind sekundär; sie gehören vermutlich alle zum gleichen Heilungsriss. Beim Einschliessungsprozess hätte demnach eine entmischte Flüssigkeit vorgelegen. Das Gas der ein- und zweiphasigen Einschlüsse ist (zur Hauptsache) Methan, die Flüssigkeit vermutlich Wasser. Bildungsphase 4.

Abb. 21. Einphasige, sekundäre Methan-Einschlüsse in einem Quarzkristall vom Torrent de la Tille (23). Gleiche Vergrösserung wie Abb. 19.