Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern

Band: 43 (1986)

Artikel: Naturschutzinspektorat des Kantons Bern Bericht 1985

Autor: Forter, Denis / Hauri, R. / Bossert, A.

Kapitel: 7: Beschreibung der geschützten Mineralkluft Gerstenegg, Grimsel, Bern

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-318515

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: 15.07.2025

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

H. A. STALDER*

7. Beschreibung der geschützten Mineralkluft Gerstenegg, Grimsel, Bern

7.1 Die Entdeckung

Die Mineralkluft wurde im Laufe der Ausbruchsarbeiten im Zugangsstollen Gerstenegg-Zentrale Umwälzwerk Grimsel/Oberaar am 4. Oktober 1974 seitlich angeschossen. Eine unkontrollierte Ausbeutung der Kristallkluft, die vom Westparament etwa 2 m weit in den massigen Grimsel-Granodiorit hineinragte, wurde auf Anordnung der KWO durch die Anbringung einer Backsteinmauer so rasch als möglich unterbunden. Zwei Strahler (E. RUFIBACH und F. IMMER) öffneten daraufhin am 16. Oktober die zugemauerte Kluft wieder und beuteten die freistehenden Kristalle sachgemäss aus. Am Nachmittag des 16. Oktobers zeigte es sich, dass hinter der geöffneten Kristallkluft noch eine weitere, grössere verborgen lag. Während 2 ½ Tagen musste die Fundstelle bewacht und schliesslich wieder zugemauert werden. Am 11. Dezember 1974 konnte sie durch Regierungsratsbeschluss als geologisches Naturdenkmal unter Schutz gestellt werden (vgl. SCHMALZ 1975).

7.2 Die Erschliessung

Acht Jahre nach der Unterschutzstellung der Mineralkluft war weder ihre Grösse noch ihr Mineralinhalt genau bekannt. Im Einvernehmen mit dem kantonalen Naturschutzinspektorat entschloss sich nun die KWO, die Kluft zur Aufnahme eines «Inventars» zu öffnen. Dies erfolgte im Jahre 1983. Zuerst zeigte es sich, dass die Trennwand zwischen der vordern, weitgehend ausgebeuteten und der dahinter versteckten Kluft, eine mächtige Gesteinsplatte war, auf der Unterseite besetzt mit Hunderten von farblosen Bergkristallen. Unter der Leitung des Strahlers Ernst Rufibach gelang es, die 875 kg schwere Gesteinsplatte ohne Beschädigung der Kristalle zu bergen. Dieses einzigartige Schauobjekt ist heute im Direktionsgebäude der KWO in Innertkirchen aufgestellt.

Erst nachdem die trennende Kristallplatte entfernt war, wurde der Blick in die Hauptkluft hinein frei. Der ganze Hohlraum ist 5,6 m tief und auf etwa 3,6 m rundum mit Bergkristallen belegt. Überraschend war die Erkenntnis, dass bei Meter 5,6 die Kluft nicht auskeilt, sondern dass sich ein weiterer, kristallbesetzter Hohlraum hinten anschliesst.

* Adresse des Verfassers:
Prof. Dr. H. A. Stalder, Naturhist. Museum, Bernastrasse 15, 3005 Bern

Nochmals musste die Mineralkluft geschlossen werden, doch nicht für lange. Zu Beginn des Jahres 1985 wurden durch bauliche Massnahmen Einrichtungen geschaffen, die es erlauben, die Kluft zu beleuchten und innerhalb eines mächtigen Beton-Rahmens jederzeit zu öffnen oder sicher abzuschliessen. Im Spätherbst des gleichen Jahres wurde mit dem Ausbruch eines Besichtigungsstollens für die hintere Mineralkluft begonnen. Dabei ergab sich, dass diese mit 9 m Länge bedeutend grösser ist als angenommen. Zudem enthält sie neben Bergkristall relativ viel Chlorit, Calcit und Fluorit. Bei der Niederschrift dieses Aufsatzes sind die Arbeiten für zwei grosse Besichtigungsfenster im hintern Teil des Kluftsystems noch im Gange.

7.3 Das Nebengestein

Das ganze Kluftsystem liegt im Bereich des sogenannten Grimsel-Granodiorits, der hier überall eine deutliche Paralleltextur aufweist, aber trotzdem relativ massig ist. Die Hauptgemengteile bestehen aus Quarz (20 bis 25 Vol. %), Kalifeldspat (18 bis 25 Vol. %), Plagioklas (35 bis 50 Vol. %) und Biotit (8 bis 10 Vol. %). Nebengemengteile sind Hellglimmer, Chlorit und Epidot (2 bis 6 Vol. %). Als Akzessorien kommen Titanit, Allanit, Zirkon, Apatit und Ilmenit vor, zuweilen auch Pyrit und Calcit. Mehrfach ist zu beobachten, dass ein Teil der Kalifeldspäte fleckenweise oder vollständig durch Albit ersetzt, d. h. schachbrettalbitisiert sind.

Tabelle 3 gibt einen Vergleich der chemischen Zusammensetzung des Grimsel-Granodiorits aus dem Felslabor (Stalder 1981) und des Kluftnebengesteins. Letzteres ist deutlich CaO- und Na_2O-reicher sowie SiO_2- und K_2O-ärmer als das Gestein im Felslabor: Es ist ein echter Granodiorit (wogegen das Gestein aus dem Felslabor seiner chemischen und mineralogischen Zusammensetzung nach grösstenteils ein Granit ist).

7.4 Die Lage der Mineralkluft im Gebirgskörper

Der Grimsel-Granodiorit in der Umgebung der Mineralkluft ist zwar massig, immer aber deutlich parallel texturiert (N 50–70° E / 80–90° SE). Im Zugang zu den hintern Kluftteilen ist der Granodiorit zum Teil verschiefert (N 48–56° E / 75–83° SE), hier sind im sonst trockenen Gestein auch einige Tropfstellen vorhanden. Das im engern Grimselgebiet überaus verbreitete Querkluftsystem mit Chloritbelegung (N 160° E / steil W) konnte nur an drei Stellen im mittleren Teil des Besichtigungsstollens nachgewiesen werden. Eine dieser Querklüfte zieht mitten durch die Kristallkluft: Durch den Riss sind einige Bergkristalle gespalten, die einzelnen Teile aber nicht gegeneinander verschoben.

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung des Grimsel-Granodiorits: Felslabor NAGRA (STALDER 1981) und Mineralkluft Gerstenegg

	Felslabor Durchschnitt Fünf Analysen	Mineralkluft Durchschnitt Zwei Analysen
SiO_2	67.51	65.13
TiO_2	0.54	0.61
Al_2O_3	15.57	16.39
Fe_2O_3	-	1.53
FeO	3.33*	2.20
MnO	0.07	0.09
MgO	1.07	1.17
CaO	2.05	3.00
Na_2O	4.46	4.85
K_2O	3.86	3.28
P_2O_5	0.17	0.20
Glühverl. H_2O/CO_2	0.70	0.90
	99.33	99.35

* alles Eisen ist als zweiwertiges Eisen berechnet

Die Achse des Mineralkluft-Systems verläuft etwa N 60° E und steigt um etwa 10° nach WSW an. Diese Achse liegt damit parallel zur allgemeinen Texturfläche des Gesteins (d. h. zum S1), aber ungefähr senkrecht zum Streckungslinear der Gefügeelemente.

Das Kluftsystem im Westen des «Zugangsstollens zur Zentrale Grimsel» ist heute auf 14 Meter mit offenen Klufthohlräumen nachgewiesen. Das ganze Kluftsystem ist aber noch grösser. In der östlichen Verlängerung der mineralbelegten Klüfte befindet sich, am gegenüberliegenden Parament, nahe der Stollensohle, ein kleiner Hohlraum mit einer starken Veränderung des Kluftnebengesteins. Von hier setzt sich das Kluftsystem in unbekannter Ausdehnung weiter nach Osten fort.

Grosse Mineralklüfte sind oft an Inhomogenitäten im Felskörper gebunden. In unmittelbarer Umgebung der grossen Kluft konnte aber keine Einschaltung eines Fremdgesteins beobachtet werden. Einzig auf dem geologischen Plan des Kabelstollens von J. Abrecht (1978) kann zwischen Meter 1830 und 1850 ein mächtiger Einschluss eines verschieferten und verfältelten Biotitgneises festgestellt werden. Ob dieser Fremdkörper mit der Geometrie der grossen Quarzkluft etwas zu tun hat, kann aber nicht gesagt werden.

7.5 Die Mineralien (Abb. 9–12)

Die Kristallkluft wird von der klassischen Mineralgesellschaft (= Fundgruppe Nr. 4a nach Parker 1973) der alpinen Granitregionen belegt und ist an der Gerstenegg mit zwölf verschiedenen Mineralien besonders artenreich ausgebildet. Der Besucher erfasst, ohne besonderes Suchen, allerdings nur vier Mineralarten:

Quarz in der Varietät des farblosen Bergkristalls, grüner sandartiger Chlorit, weisse Calctitafeln und Fluorit in vielen, locker verstreuten, leicht rosaroten Oktaedern. Die *Bergkristalle* besitzen kaum Risse oder Einschlüsse, viele zeichnen sich durch ihre makellose Durchsichtigkeit aus. Neben den normalen prismatischen Kristallen, die nur ausnahmsweise eine Länge von 20 cm übersteigen, sind viele gedrehte Kristalle oder Gwindel vorhanden. Ausnahmsweise kommen auch sogenannte geschlossene Gwindel vor (mit geraden Kanten an Stelle der Kristallspitzen). Nach dem mengenmässigen Auftreten steht der *Chlorit* an zweiter Stelle. Die Kluft enthielt ursprünglich weit über einen Kubikmeter davon. Der Chlorit ist aber zur bessern Sichtbarmachung der unterliegenden Bergkristalle weitgehend entfernt worden. Viele Mineralien, auch Bergkristall, sind in ihrer letzten Wachstumsphase zusammen mit Chlorit ausgeschieden worden.

Abbildung 9: Mit der Wegnahme der grossen kristallbesetzten Gesteinsplatte war der Blick in die «geschützte» Kluft freigelegt. Auf drei Meter sind die Kluftwände dicht mit wasserklaren Bergkristallen besetzt. Kluftbreite vorne etwa 2 m, 1983. (Foto P. Vollenweider)

Abbildung 10: Mit dem Teleobjektiv ist die Stelle erfasst, wo man 1983 erstmals den Durchgang in eine unbekannte hintere Kluft wahrnahm. Links vom «schwarzen» Durchgang ist ein grosser Gwindel vorhanden, darunter befinden sich einige Fluoritkristalle. Der grosse, dunkle Kristall rechts entspricht dem auffälligsten Kristall in der Bildmitte von Abbildung 9. (Foto P. Vollenweider)

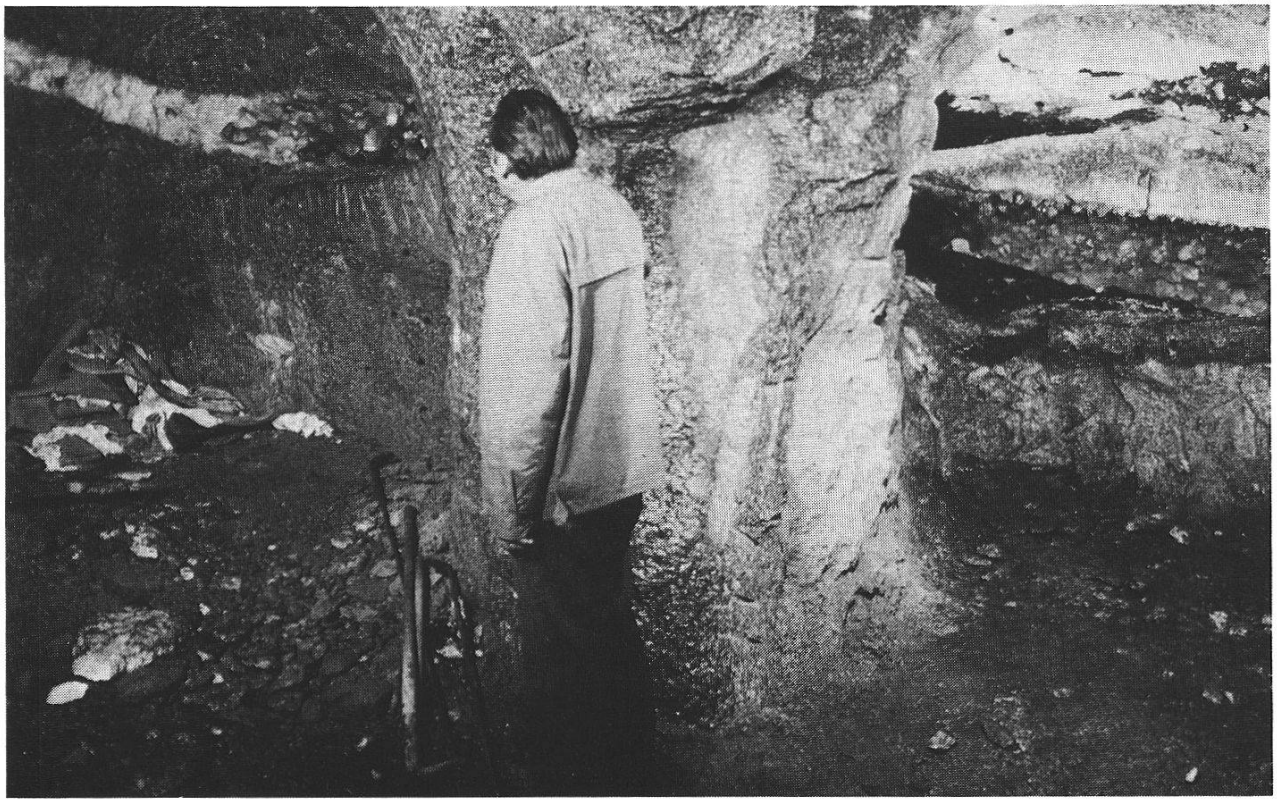
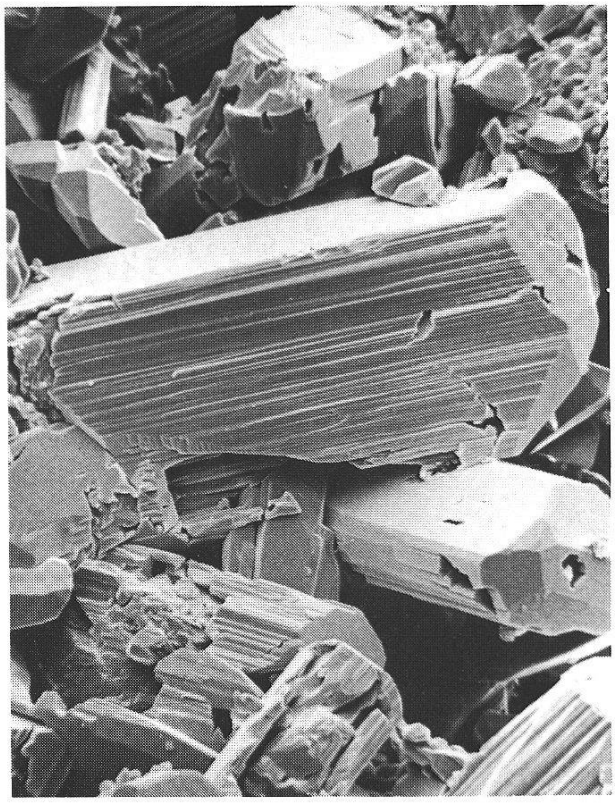
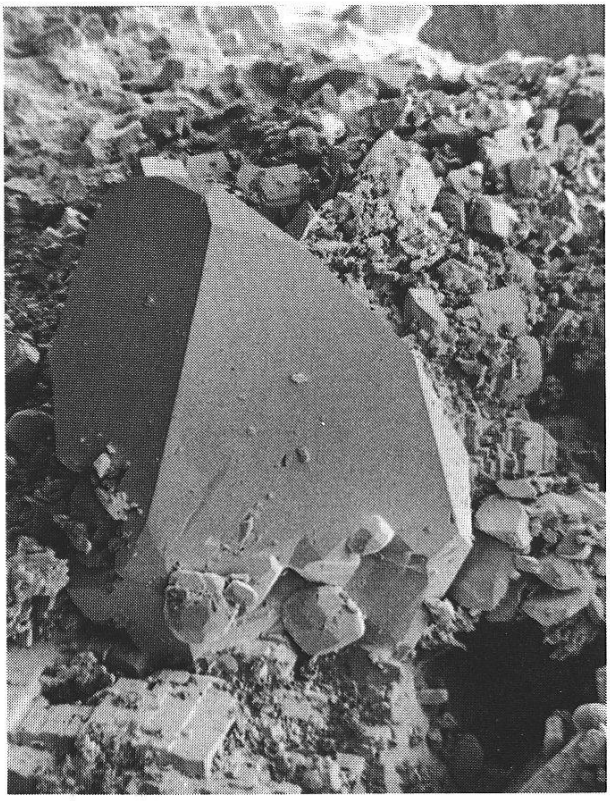


Abbildung 11: Blick vom Besichtigungsstollen auf die mittlere und hinterste Partie des Kluftsystems. Sehr gut sichtbar sind rechts über der Hauptkluft Nebenklüfte mit hydrothermal stark verändertem Grimsel-Grandiorit. 1986. (Foto P. Vollenweider)

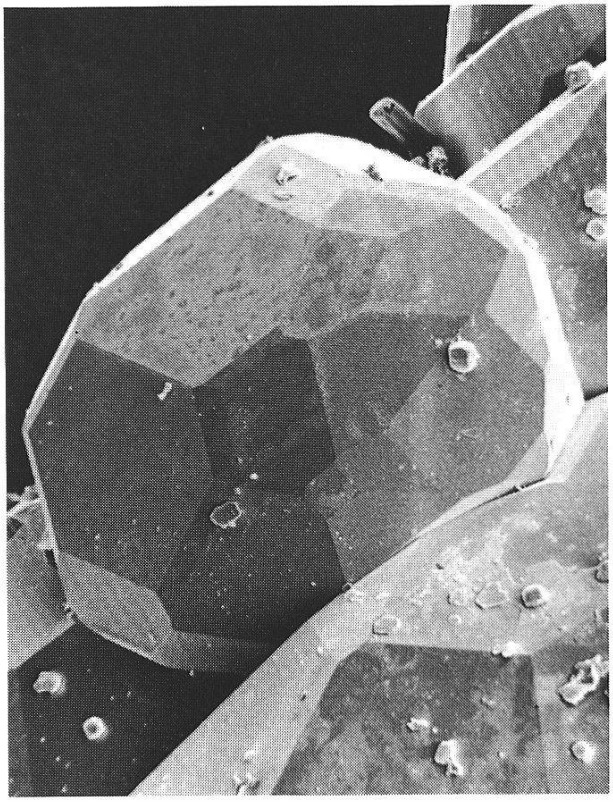
a



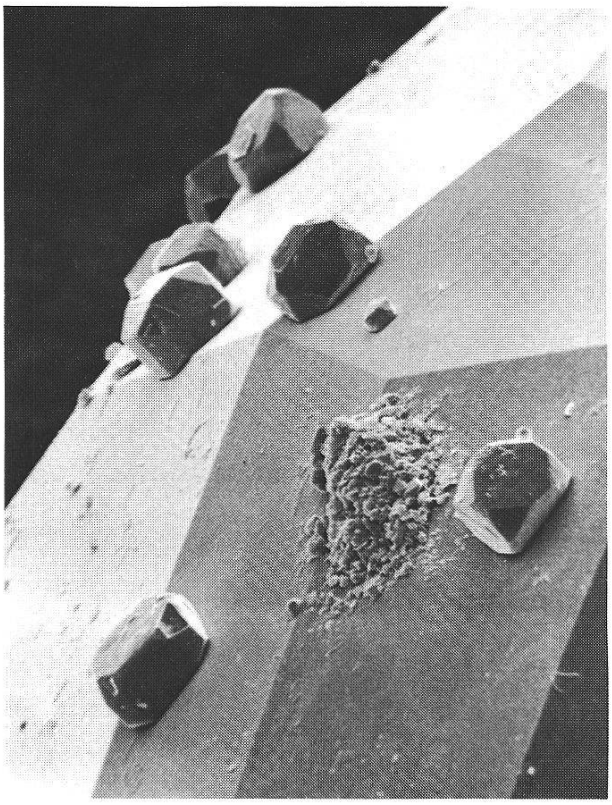
b



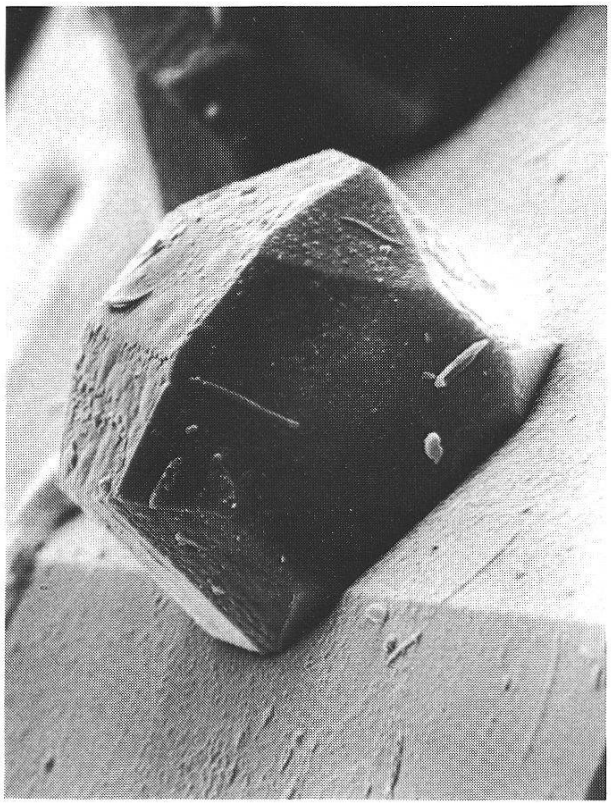
c



d



e



f

Abbildung 12 a–f: Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahmen (REM) von kleinen Kluftmineralien aus der geschützten Kluft (F. Zweili, Geologisches Institut der Universität Bern).

a. Adularkristall in typischer Ausbildung (Länge = 1 mm). Das Nebengestein ist auf gewissen Kluftflächen dicht mit Adularkriställchen besetzt.
b. Prismatische Epidotkriställchen (bis 0,2 mm lang).
c. Titanitkristall (1 mm lang), an der Anwachsstelle von Apatitkriställchen begleitet.
d. Flächenreiche Apatitkriställchen (der Kristall in der Bildmitte hat einen Durchmesser von 0,6 mm), überwachsen von Pyrit.
e. Pyritkriställchen auf Apatit. Bildbreite = 0,2 mm.
f. Einzelner Pyritkristall (Durchmesser = 0,025 mm) gegenüber 4 e stärker vergrössert. Man erkennt Oktaeder-, Würfel- und Pentagondodekaederflächen.

Sie sind wegen den so entstandenen Chloriteinschlüssen grün gefärbt. Der *Calcit* tritt vorwiegend in der hintern Kluft auf. Beim Öffnen des mittleren Kluftteils war die ganze Chloritmasse von dünnen Calcittafeln bedeckt. Leider war es nicht möglich, diese leicht verletzlichen Tafeln (bis 25 cm Durchmesser) unverändert in der Kluft zu belassen. In schneeweissen Tafeln, zum Teil durchsetzt von rosarotem Fluorit, belegen die Calcite vielerorts auch die seitlichen Kluftpartien. An einer Stelle ist zudem ein grosser rhomboedrischer Calcitkristall vorhanden. Die oktaedrischen *Fluorit*-Kristalle (mittlerer Durchmesser 1 cm) sind in der ganzen Kluft locker verstreut und sitzen vor allem Bergkristallen auf. Leider kann schon eine leichte Erschütterung oder ein Wasserstrahl die Kristalle von der Aufwachsfläche lösen. Andere Fluorite sind, wie oben angegeben, mit Calcit innig verwachsen.

Im mittleren Kluftteil (über dem grossen Fenster) sind in einer geschlossenen Nebenkluft ausser Calcit und Chlorit auch *Pyrit* und *Bleiglanz* gefunden worden. Die Pyrite weisen einen hexaedrischen Habitus auf; die Würfelflächen sind sehr stark gerieft. Pyrit ist auch andernorts in der Kluft gefunden worden. In dünnsten Schichten findet man feinkristallinen Pyrit verschiedentlich in Ritzen und Fugen. Dieser Pyrit hat nach dem Öffnen der Kluft angefangen zu oxidieren, wodurch sich um das Mineral herum langsam braune Flecken bilden.

Überall im stark veränderten Nebengestein kommt neu gebildeter Kalifeldspat in der Form von *Adular* vor. Die Adularkristalle sind normalerweise winzig klein, doch sind auch grössere Individuen gefunden worden (bis 10 cm).

Epidot, Titanit und *Apatit* sind akzessorische Mineralien des Kluftnebengesteins. Alle drei treten ebenfalls als Kluftneubildungen im stark veränderten Nebengestein auf. Die Kristalle sind meist kleiner als 1 mm, doch gelegentlich wurden auch etwas grössere Bildungen festgestellt. In einer sehr frühen Phase der Kluftmineralbildungen ist ebenfalls *Biotit* entstanden. Biotit ist aber eine Mineralart, die später unstabil und von den Kluftlösungen aufgelöst wurde. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass Biotit nur noch als Einschluss in Quarz gefunden wird.

Neben Fluorit und Bleiglanz ist *Milarit* das einzige Kluftmineral, das nicht auch als Bestandteil des Kluftnebengesteins vorkommt. Das seltene Berylliumsilikat ist, auf dem Chlorit aufsitzend und mit diesem verwachsen, in kleinen Kristallen im mittleren Kluftabschnitt vorgekommen.

7.6 Die fluiden Einschlüsse (Abb. 13 und 14, vgl. auch Mullis *1983)*

Wie alle alpinen Kluftmineralien (Parker 1973) sind auch diejenigen der Gerstenegg während der alpinen Gebirgsausbildung entstanden, bei Temperaturen und Drucken, die weit über jenen lagen, die heute im entsprechenden Gebirgskörper herrschen. Die Kluftmineralien sind durchwegs Ausscheidungen aus

Abbildung 13: Einzelner zweiphasiger Einschluss aus einem Quarzkristall der geschützten Kluft. Grösster Durchmesser = 0,25 mm. Die c-Achse des Quarzkristalls verläuft von oben nach unten. Die Einschlussfüllung besteht aus einer etwa 10prozentigen Salzlösung und einer Gasblase (vorwiegend CO_2). (Foto P. Vollenweider)

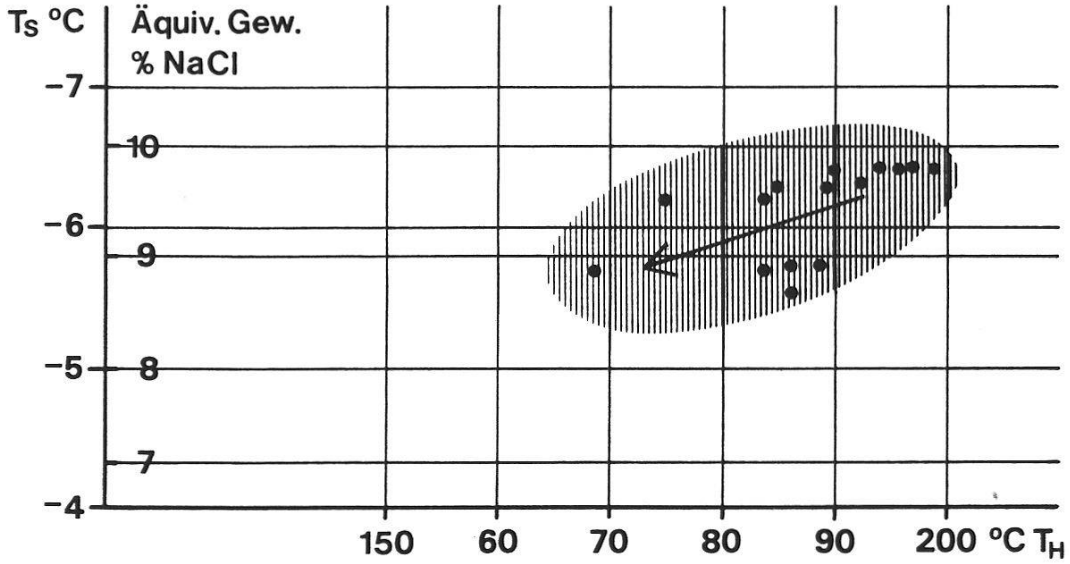


Abbildung 14: Fluide Einschlüsse in Bergkristall aus der geschützten Kluft an der Gerstenegg. Im Diagramm sind die mikrothermometrisch gemessenen Schmelz- (T_S) und Homogenisations-Temperaturen (T_H) gegeneinander aufgetragen. Der Pfeil gibt die allgemeine Entwicklung der Kluftlösung zur Zeit der Kluftmineralbildung an (vergleiche Text).

einer hydrothermalen Lösung (= heisse wässerige Lösung), die in ihrer Zusammensetzung allerdings recht unterschiedlich war. Für die Mineralien der Fundortgruppe 4a weiss man (Poty et al. 1974), dass die Lösung relativ salzreich und CO_2-arm war. Um genauere Anhaltspunkte über die chemisch-physikalischen Eigenschaften dieser Lösung zu erhalten, sind die Flüssigkeitseinschlüsse in Quarzkristallen der geschützten Kluft näher untersucht worden. Alle Einschlüsse sind zweiphasig, d. h. sie bestehen aus einer Salzlösung und einer Gasblase (= CO_2 und Wasserdampf). Mikrothermometrisch sind im Bereich von -100°C und +250°C alle Phasenübergänge studiert worden. Gemessen wird unter dem Mikroskop, nach vorheriger Abkühlung, «das erste Schmelzen» des Eises (Solidus), das vollständige Schmelzen (Liquidus) und schliesslich die Homogenisation der flüssigen und gasförmigen Phasen. Das erste Schmelzen liegt bei ungefähr -21°C. Dies besagt, dass die Einschlussfüllungen vorwiegend NaCl-Lösungen sind. Das vollständige Schmelzen beobachtet man zwischen -7,0 und -4,8°C. Diese Schmelzpunktserniedrigung entspricht einer Salzlösung mit 10,5 bis 6,7 Gewichtsprozent NaCl. Das Verschwinden der Gasblase in den Einschlüssen erfolgt zwischen 169° und 198°. Dies sind minimale Werte für die Temperatur der Lösung während ihrer Einschliessung in die Quarzkristalle. In Wirklichkeit lag die «Bildungstemperatur» viel höher, weil die Einschliessung unter relativ hohem Druck erfolgte. Frühere Abschätzungen (Poty et al. 1974) an benachbarten Klüften stützen sich neben den gemessenen Homogenisationstemperaturen auch auf das (dort bestimmte) Ionenverhältnis $K^{\cdot}/Na^{\cdot}$ in den Salzlösungen. (Je höher der K/Na-Wert ist, desto höher muss die einstige Temperatur der Lösung gewesen sein.) Gestützt auf (entsprechende) Homogenisationstemperaturen von 190 bis 200°C und K/Na-Werten von 0.18 bis 0.19 kam man damals auf Bildungstemperaturen von ungefähr 430°C bei Drucken von 2,8 Kilobar. Diese Abschätzungen dürften auch für die Bildung der Bergkristalle in der Gerstenegg-Kluft Gültigkeit besitzen.

7.7 Die hydrothermale Veränderung des Kluftnebengesteins (Abb. 11, 15 und 16, Tab. 4 und 5)

Aus verschiedenen Gründen ist die hydrothermale Veränderung des Nebengesteins der geschützten Kluft beispielhaft:

1. Die *Gesteinsveränderung* ist stellenweise sehr *ausgeprägt* und mächtig. Das Raumgewicht des unveränderten Granodiorits beträgt 2,69 g/cm³, dasjenige des veränderten, unmittelbar am Klufthohlraum anstehende etwa 2,00 g/cm³. Allgemein ist das liegende Kluftgestein etwas stärker ausgelaugt als das hangende; die Zone der Veränderung kann bis über 20 cm mächtig sein.

2. Die Veränderung beruht vorwiegend auf einer *partiellen Weglösung* bestimmter Mineralkomponenten. Die Aufhellung des Gesteins ist im wesentlichen durch den Abbau von Biotit, die starke Porosität nahe des Klufthohlraumes aber durch jenen von Quarz bedingt. Gewisse gesteinsbildende Mineralien sind im veränderten Gestein rekristallisiert: Albit, Epidot, Titanit, Apatit und Allanit. Im Unterschied zu sehr vielen andern alpinen Klüften, auch in der Umgebung, enthält das Kluftnebengestein kaum neu gebildete Mineralarten. Die einzige Ausnahme bilden kleine Adulare, die aber (im geochemisch genauer untersuchten Gestein) kaum mehr als 1,5 Volumenprozent ausmachen.
3. Die Gesteinsveränderung ist durch *keine Oberflächenverwitterung* überprägt worden.

Unter den geschilderten Umständen bietet sich das Nebengestein als besonders günstiges Objekt zum Studium der hydrothermalen Veränderung an. Es sind deshalb verschiedene chemische Analysen der Haupt- und Spurenelemente durchgeführt worden (Tab. 4) und weitere sollen noch folgen. Die ersten Ergebnisse sind in Abbildung 16 und Tabelle 5 zusammengestellt. Eine ausführliche Diskussion darüber wird später erfolgen; auf einige Fakten soll aber schon hier hingewiesen werden.

Bei der Diskussion der An- und Abreicherung von Elementen im zersetzten Kluftnebengestein kann von verschiedenen Basiswerten ausgegangen werden: Normalerweise wird den Berechnungen Volumenkonstanz (Stalder und Schenker 1980) oder Aluminiumkonstanz (Mercolli et al. 1984) zu Grunde gelegt. Im vorliegenden Fall ist die Volumenkonstanz gewählt worden. Wie Abbildung 16 zeigt, würde eine Berechnung auf der Basis einer Aluminium-Konstanz aber keine wesentlichen Verschiebungen der angegebenen An- und Abreicherungen ergeben.

Frühere Untersuchungen im Zentralen Aaregranit des Gotthardstrassentunnels-Nord (Mercolli et al. 1984) haben gezeigt, dass vor allem zweiwertige Kationen, welche in den Silikaten Oktaederplätze einnehmen und Radien um 0,70 Å besitzen, durch die hydrothermalen Lösungen abgebaut werden. Dies hat sich erneut bestätigt: Die Gehalte an zweiwertigem Eisen, Magnesium, Mangan, Zink und Kobalt nehmen im Kluftnebengestein gegen den Klufthohlraum zu kontinuierlich ab, auf rund 50 % (Co) oder sogar auf 10 % (Fe). Einzig der Ni-Gehalt bleibt ungefähr gleich. Alle diese Elemente (Nickel eingeschlossen) finden sich stark angereichert im Kluftchlorit wieder.

Multivalente, Tetraeder- und Oktaederplätze einnehmende Kationen (Ionenradius 0,5 bis 0,65 Å) werden zum Teil deutlich (dreiwertiges Fe, V) bis knapp nachweisbar (Ga, Al) abgebaut – konform dazu ist ihre Anreicherung im Chlorit. Die andern Elemente der gleichen Gruppe, die etwas grössere Ionenradien besitzen, verändern sich kaum: Ti, Sc, Nb und Zr.

Tabelle 4: Chemische Analysen (XRF) der Haupt- und Spurenelemente vom Kluftnebengestein und von dichtem Kluftchlorit; von der gleichen Gesteinsprobe sind jeweils zwei Analysen gemacht worden: Unveränderter Grimsel-Granodiorit, 22,5 cm von der Kluftfläche entfernt (GE 11, GE 12); hydrothermal veränderter Grimsel-Granodiorit in den Abständen von 11 cm (GE 21, GE 22), von 7,5 cm (GE 31, GE 32), von 4,3 cm (GE 41, GE 42) von der Kluftfläche entfernt und vom unmittelbaren Kluftnebengestein (GE 51, GE 52), sowie dichter Chlorit aus einer monomineralischen Kluftfüllung (GE 61, GE 62). Die Gehalte an Pb, Th, U und Nb sind zu stark gewichtet; die relativen Gehaltsveränderungen aber sind verlässlich.

Probe Nr. Gew. %	GE 11	GE 12	GE 21	GE 22	GE 31	GE 32	GE 41	GE 42	GE 51	GE 52	GE 61	GE 62
SiO_2	64.31	65.94	64.99	67.75	67.98	66.03	64.54	66.53	63.47	63.46	25.80	25.97
TiO_2	0.61	0.60	0.64	0.64	0.72	0.73	0.79	0.79	0.87	0.87	0.03	0.02
Al_2O_3	16.36	16.42	15.94	16.53	16.47	16.26	17.66	17.93	20.06	20.26	18.70	19.29
Fe_2O_3	1.55	1.50	0.99	1.18	0.91	0.87	1.04	0.96	0.80	0.79	2.23	2.38
FeO	2.20	2.20	1.20	1.02	0.36	0.36	0.26	0.26	0.31	0.31	28.90	28.90
MnO	0.09	0.09	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.88	0.88
MgO	1.19	1.15	0.68	0.68	0.32	0.28	0.29	0.32	0.25	0.32	11.74	11.81
CaO	3.03	2.97	2.88	2.88	2.58	2.62	2.63	2.58	2.51	2.50	0.00	0.00
Na_2O	4.81	4.88	5.53	4.95	5.67	6.12	7.72	7.27	9.46	9.02	0.00	0.05
K_2O	3.28	3.28	3.41	3.40	3.22	3.21	3.17	3.17	3.60	3.58	0.04	0.04
P_2O_5	0.21	0.19	0.21	0.20	0.22	0.22	0.23	0.24	0.27	0.26	0.01	0.01
H_2O+	0.40	0.40	0.09	0.07	0.04	0.04	0.07	0.07	0.03	0.03	10.38	10.38
CO_2	0.50	0.50	0.60	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.70
Total	98.54	100.12	97.21	99.95	99.02	97.27	98.83	100.55	102.06	101.83	99.41	100.43

ppm:

Ba	949	974	1044	1082	990	970	1029	1045	1228	1196	22	18
Rb	103	105	99	101	85	85	80	82	100	99	0	0
Sr	291	295	275	282	273	268	288	292	295	294	0	0
Pb*	32	36	30	35	31	27	33	35	48	47	0	0
Th*	25	27	20	24	23	17	27	31	35	33	0	7
U*	14	15	11	13	13	9	15	17	19	18	0	4
Nb*	15	17	13	15	17	13	20	22	29	29	0	0
La	33	41	24	27	35	27	54	57	56	65	49	43
Ce*	57	58	21	22	22	21	92	93	95	95	177	179
Nd*	7	7	6	7	7	6	30	31	32	32	94	95
Y	35	36	34	38	37	35	41	41	46	47	0	0
Zr	240	250	256	278	294	282	333	333	365	346	0	0
V	47	53	35	41	33	21	29	27	27	28	187	183
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	35
Ni	6	6	5	6	5	0	6	5	10	10	18	17
Co	11	14	5	8	5	5	6	5	6	7	73	66
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
Zn	56	56	29	31	15	14	13	14	14	14	507	501
Ga	19	20	18	19	17	16	18	18	19	19	61	61
Sc	8	9	9	10	12	11	13	14	13	14	0	0
S*	772	637	472	640	321	419	932	803	930	928	4	172

* = semiquantitativ 1985

Tabelle 5: Spurenelemente im unveränderten und im veränderten Grimsel-Granodiorit, sowie des Kluftchlorits der geschützten Kluft an der Gerstenegg. Umrechnung von je zwei gemittelten Analysen auf konstantes Volumen.

Probe	Grimsel-Granodiorit					Kluft-Chlorit
	– 1	– 2	– 3	– 4	– 5	
ppm						
Co	12	6	4	5	5	70
Ni	6	5	2	5	7	18
Zn	56	29	13	11	10	504
V	50	37	24	24	20	185
Ga	20	18	15	15	14	61
Sc	8	9	10	11	10	–
Zr	245	257	255	280	264	–
Nb	16	13	13	18	22	–
Pb	104	96	75	68	74	–
Sr	293	282	239	244	219	–
Y	36	35	32	34	35	–
La	37	25	27	47	45	46
Ce*	58	21	19	78	71	178
Nd*	7	6	6	26	24	132
Pb*	34	31	26	29	35	–
Th*	26	21	18	24	25	4
U*	14	12	10	13	14	2
Ba	962	1023	867	871	901	20
S*	704	535	327	729	691	88
Dichte:	2.69	2.59	2.38	2.26	2.00	

* = Semiquantitativ

Eine dritte Gruppe von Kationen sind die Alkalien und Erdalkalien sowie Kationen, welche fähig sind, Positionen von Alkalien und Erdalkalien einzunehmen. Diese Kationen scheinen sich nach früheren Untersuchungen (Mercolli et al. 1984) weitgehend kluftspezifisch zu verhalten. Im vorliegenden Fall sind drei verschiedene Verhaltensweisen festzustellen (Abb. 16 und Tab. 5):

1. Kalium und Calcium sind gegen den Klufthohlraum zu deutlich abgereichert. Entsprechend verhalten sich die Spurenelemente Rb und Sr.

2. Natrium ist gegen den Klufthohlraum zu deutlich angereichert.

3. Die Seltenen Erden, aber auch Th, U und Pb, sind zuerst etwas ab-, nahe des Klufthohlraumes aber angereichert. Dieses Verhalten hat mit der in den Dünnschliffen beobachtbaren Veränderung des gesteinsbildenden Minerals Allanit etwas zu tun. Vom unveränderten Granodiorit, gegen den Klufthohlraum zu, kann beobachtet werden, wie in einer ersten Phase der Allanit par-

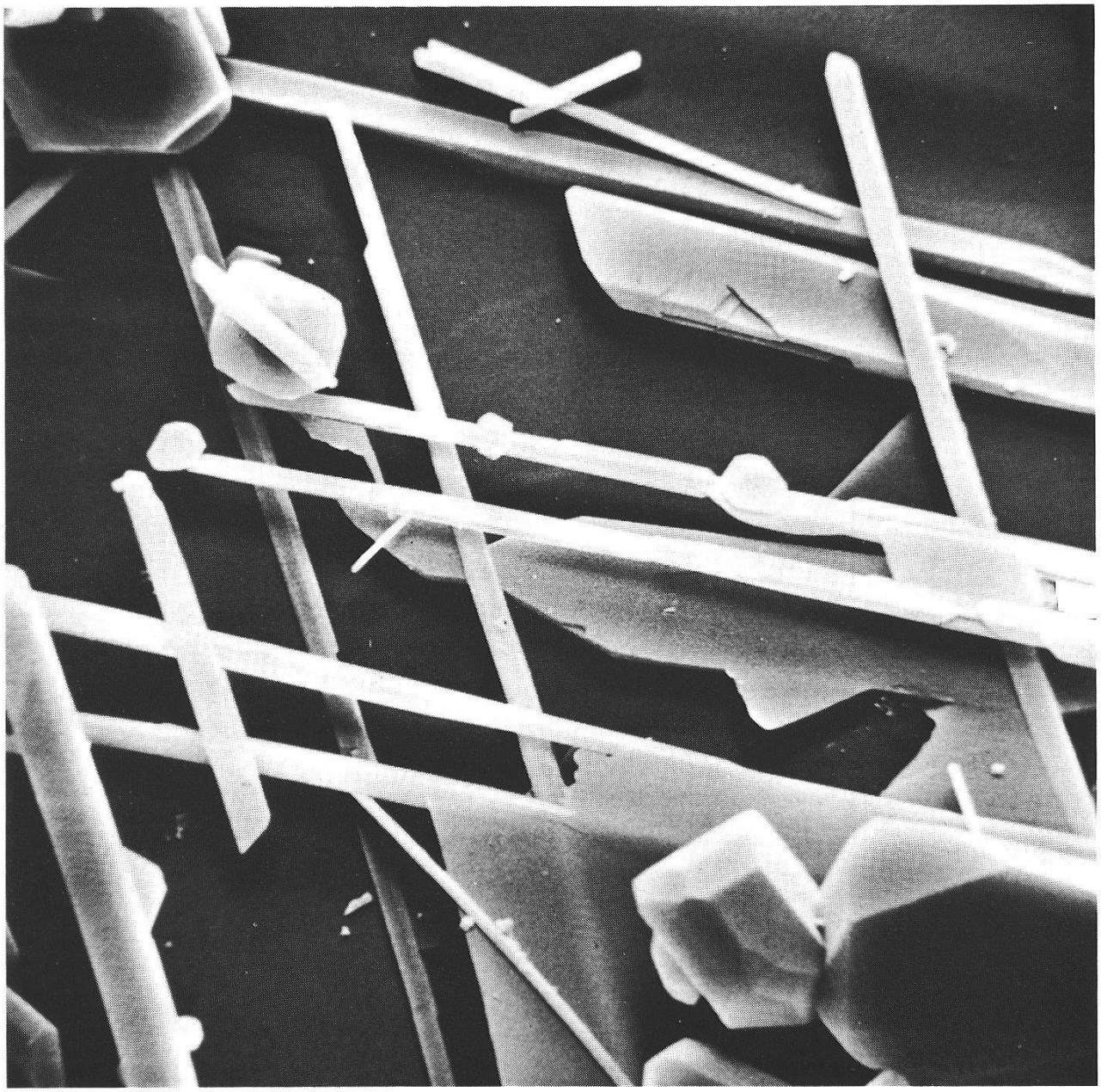


Abbildung 15: REM-Aufnahme (F. Zweili, Geologisches Institut der Universität Bern) von halb-zersetztem Biotit aus hydrothermal verändertem Kluftnebengestein. Bildbreite = 0,07 mm. Der Untergrund und ausgefranste Lamellen im Bildquadranten unten rechts bestehen aus Biotit. Bei der Zersetzung wurde ein «Sagenitgitter» freigelegt, das aus Titanit (pseudomorph nach Rutil) besteht. Unten rechts andere freigelegte Mineralien (?Apatit).

tiell aufgelöst wurde, in einer zweiten aber rekristallisierte und (zum Teil wie im unveränderten Nebengestein) nun in idiomorphen Kristallen vorliegt. Unklar ist die Anreicherung von Ce und Nd im Chlorit.

Schwierig zu verstehen ist das Verteilungsmuster des Bariums, das in die obige Zusammenstellung nicht hineinpassen will.

Absolut am grössten ist die Abreicherung von Si, das keiner der drei Elementgruppen zugeordnet werden kann. Letzteres gilt auch für Wasser, H_2O. Kein anderes Oxid weist, darauf sei besonders aufmerksam gemacht, schon im Bereich

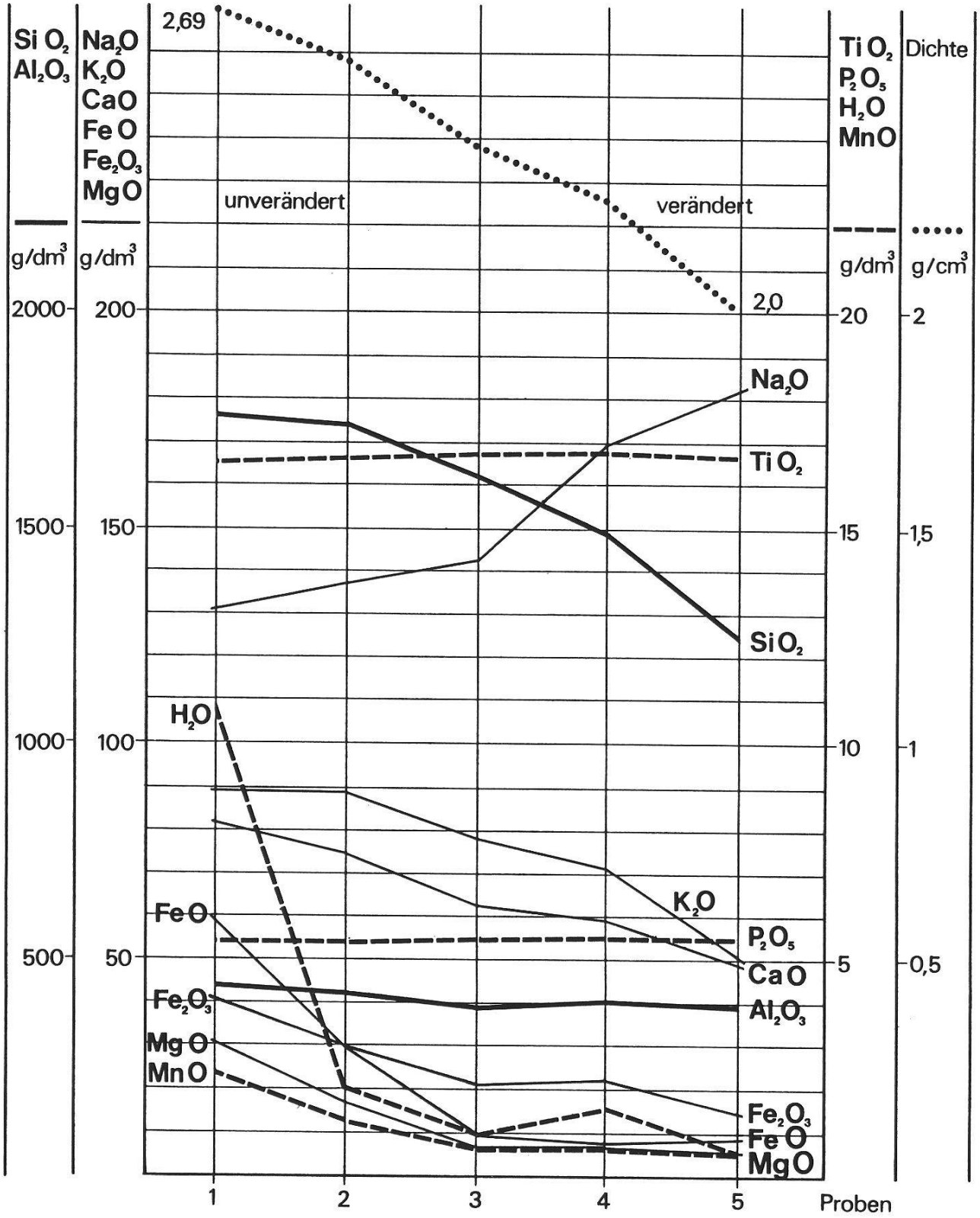


Abbildung 16: Vergleich der Hauptelemente im Kluftnebengestein des unveränderten (Probe 1) und des zunehmend veränderten Grimsel-Granodiorits (Proben 2 bis 5, genaue Entnahmestellen siehe Tabelle 4). Zwei gemittelte Analysen (z. B. GE 11 und GE 12 = Probe 1) sind jeweils auf konstantes Volumen umgerechnet (siehe Text).

der kleinsten Veränderung eine derartig massive Abreicherung auf wie Wasser. Dies zeigt, dass ein Teil der hydrothermalen Kluft-Lösung offenbar aus dem unmittelbaren Nebengestein stammt.

7.8 Allgemeine Charakterisierung der Mineralkluft

Die alpine Mineralkluft an der Gerstenegg ist eine der reichsten und schönsten, die man je gefunden hat. Der Umstand, dass sie geschützt ist, und dass jedermann sie sehen kann, ist einzigartig.

Fünf «glückliche» Umstände sind es vor allem, welche die Unterschutzstellung rechtfertigten respektive zu einem vollen Erfolg machten:

1. Die *geometrischen Formen* der Kluftöffnung entsprechen einem Zylinder respektive einem langgezogenen Ellipsoid. Damit sind Einblicke in die Klufthohlräume gut möglich. Dies entspricht nicht der Norm. Sehr oft bestehen die Klufthohlräume nur aus engen Spalten.

2. Die klar *getrennte Ausscheidungsfolge* (Bergkristall-Fluorit-Chlorit) verhinderte grösstenteils, dass Bergkristall und Chlorit miteinander verwachsen sind (was sehr oft der Fall ist). Nur so war es möglich, dass wasserklare Bergkristalle mit glänzenden Oberflächen entstehen konnten.

3. Die Klufthohlräume und die darin ausgeschiedenen Bergkristalle besitzen eine *optimale Grösse.* Alle grösseren Klüfte sind heute, infolge der vielen Erdbeben im Laufe der letzten 10 bis 15 Millionen Jahre, ganz oder teilweise eingestürzt; alle grösseren Kristalle haben sich, aus dem nämlichen Grund, von den Anwachsstellen gelöst. Auch in der Gerstenegg-Kluft waren einzelne Kristalle, oder ganze Kristallgruppen nicht mehr mit dem Nebengestein verbunden. Es waren aber nicht allzu viele – und einige konnte man wieder anheften.

4. Die Gersteneggkluft ist durch die *Oberflächenverwitterung* in keinerlei Hinsicht verändert worden.

5. Der Ort der *Fundstelle* erlaubte ungestörte Erschliessungsarbeiten; technische Hilfsmittel waren vorhanden oder leicht zu beschaffen. Die Mineralkluft ist leicht zu kontrollieren und abschliessbar.

Nur sehr wenig mineralogische Objekte sind auf der Erde bis heute unter wirksamen Schutz gestellt worden. Eine alpine Mineralkluft gehörte bis anhin nicht dazu. Alle am Schutz der Gerstenegg-Kluft Beteiligten freut es ganz besonders, dass dies an der Grimsel, inmitten eines klassischen Strahlergebietes, möglich geworden ist.

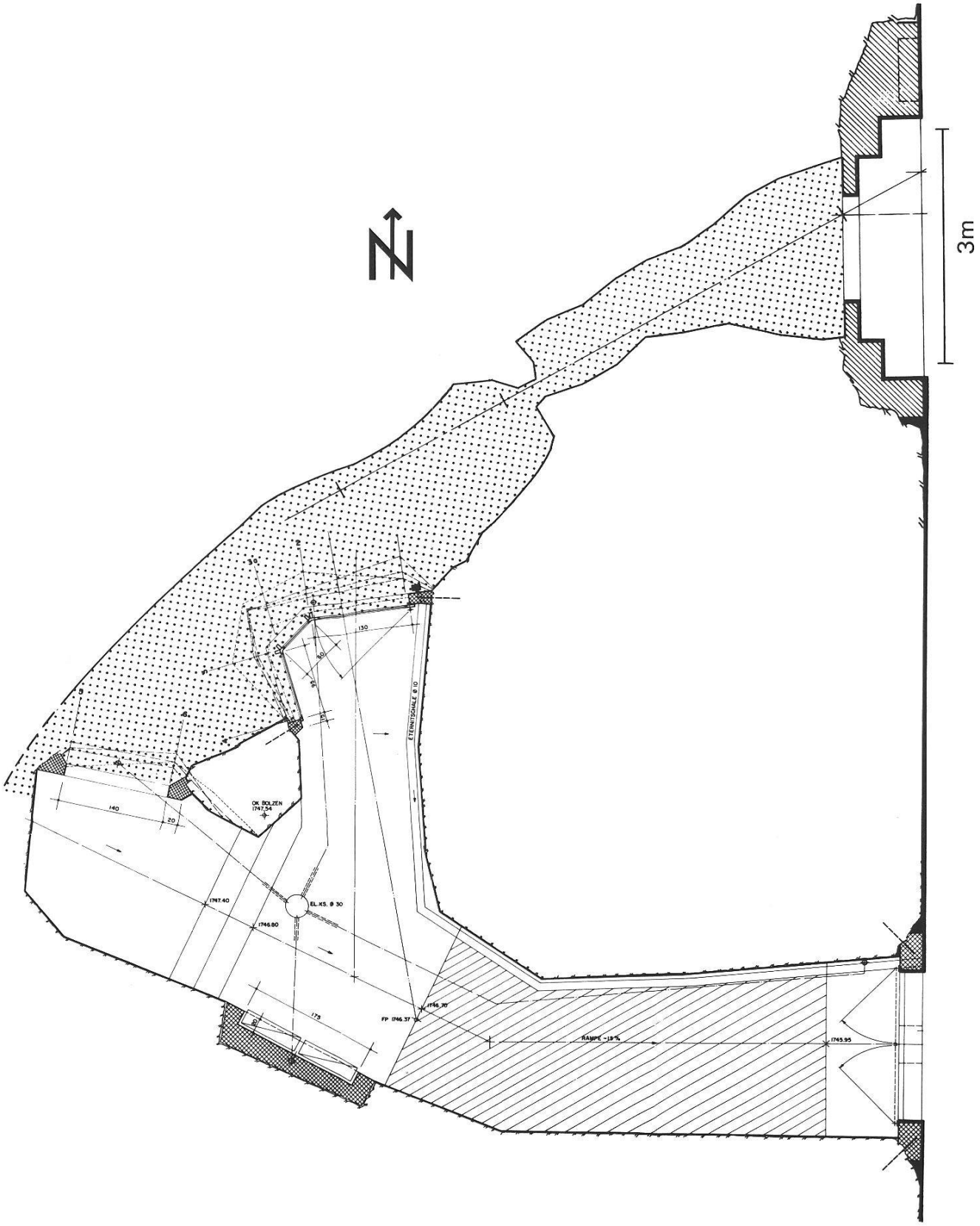


Abbildung 17: Grundriss der geschützten Kluft im Zugangstollen Gerstenegg-Zentrale Grimsel II. Zusammenstellung nach den Plänen der KWO Innertkirchen (H. Ellmerer).
Punktraster = Klufthohlraum; unten z. T. schraffiert = Besichtigungsstollen.

Dank

Ohne mehrfache Hilfe, die der Autor vor allem im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Bern erhalten hat, wäre die vorliegende Arbeit nicht zustande gekommen. Ganz besonders danken möchte ich den Herren Dr. J. MERCOLLI, M. SOOM und JOH. DOLLINGER für die sorgfältige Durchführung der chemischen Analysen. Die Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahmen verdanke ich Herrn F. ZWEILI vom Geologischen Institut der Universität Bern. Herrn P. VOLLENWEIDER möchte ich für die übrigen fotographischen Aufnahmen und die Anfertigung der Einschlusspräparate danken, Herrn W. HUBER für die Dünnschliffpräparate. Die mikrothermometrischen Einschluss-Untersuchungen konnte ich am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Fribourg durchführen. Diesbezüglich möchte ich den Herren Dr. JOS. MULLIS und Prof. Dr. J. von RAUMER meinen verbindlichen Dank abstatten.

An dieser Stelle spricht auch das Naturschutzinspektorat einen sehr herzlichen Dank aus. Begeisterung und Unterstützung vieler Beteiligter waren nötig, bis die Mineralkluft Gerstenegg geschützt und zugänglich gemacht werden konnte. Das Verständnis und die materielle Hilfe der Kraftwerke Oberhasli war Voraussetzung für das Gelingen des Vorhabens. Daneben beteiligten sich viele Personen, von denen wir nur folgende nennen können:

- *Der KWO-Angestellte und Strahler E. RUFIBACH, als Entdecker und Betreuer der Mineralkluft.*
- *H. ELLMERER, der die Projekte ausarbeitete und alle technischen Arbeiten beaufsichtigte.*
- *Prof. H. A. STALDER vom Naturhistorischen Museum Bern, der von Anfang an für die wissenschaftliche Begleitung zuständig war und sein Assistent, lic. phil. nat. P. VOLLENWEIDER, von dem die hervorragende fotographische Dokumentation stammt.*
- *alt Naturschutzinspektor Dr. K. L. SCHMALZ und Notar F. STALDER, der ehemalige Sekretär der Forstdirektion, die sich sehr dafür einsetzten, dass die Regierung den Schutzbeschluss in kürzester Zeit fasste.*

Die Erschliessung der Mineralkluft für die Öffentlichkeit war naturgemäss ein sehr kostspieliges Unterfangen. Mehrmals musste das Naturschutzinspektorat zusätzliche Kredite finden, weil sich im Verlaufe der Arbeiten die Kluft als grösser herausstellte als ursprünglich angenommen werden konnte und das Projekt entsprechend geändert werden musste. An die voraussichtlichen Gesamtkosten von Fr. 400 000.– beteiligten sich das Bundesamt für Forstwesen und Land-

schaftsschutz mit einem Bundesbeitrag von Fr. 102 000.–, die SEVA-Lotterie mit Fr. 140 000.–, die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle NAGRA (die ihr Felslabor in unmittelbarer Nähe der Mineralkluft betreibt) mit Fr. 30 000.– sowie das Naturschutzinspektorat mit Fr. 11 000.–. Die verbleibenden Kosten von rund Fr. 117 000.– hat die KWO übernommen.

Herzlichen Dank *Denis Forter, Naturschutzinspektor*

Literatur

ABRECHT, J. (1979): KW Handeck III / Umwälzwerk Grimsel-Oberaar: Geologie und Geologische Aufnahmen. Mineral.-petr. Institut Bern und Ingenieur-Unternehmung AG Bern (Interner Bericht).

MERCOLLI, I., SCHENKER, F. und STALDER, H. A. (1984): Geochemie der Veränderung von Granit durch hydrothermale Lösungen (Zentr. Aaregranit). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 64, 67–88.

MULLIS, JOS. (1983): Einschlüsse in Quarzkristallen der Schweizer Alpen und ihre mineralogisch-geologische Bedeutung. Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 72 (1/2), 5–19.

PARKER, R. L. (1973): Die Mineralfunde der Schweiz. Neubearbeitung durch H. A. STALDER, F. DE QUERVAIN, E. NIGGLI, S. GRAESER. Verlag Wepf & Co. Basel (433 S.).

POTY, B. P., STALDER, H. A. and WEISBROD, A. M. (1974): Fluid Inclusion Studies in Quartz from fissures of Western and Central Alps. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 54, 717–752.

SCHMALZ, K. L. (1976): Naturschutztätigkeit im Kanton Bern – 1975. Mitt. naturf. Ges. Bern, NF 33, 31–81.

STALDER, H. A. (1981): Sondierbohrungen Juchlistock-Grimsel. Bd. 3. Mineral.-petr. Untersuchungen. NAGRA, Interner Bericht 81–01.

STALDER, H. A. und SCHENKER, F. (1980): Chemische und mineralogische Veränderungen des Kluftnebengesteins. In: Die Mineralien des Gotthardstrassentunnels N2. Repof AG, Gurtnellen. 160 S.