

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie  
**Band:** 45 (1965)  
**Heft:** 1  
  
**Artikel:** Brookit aus einer alpinen Zerrkluff der oligozänen Dachschieferserie bei Mastrils (Kt. Graubünden)  
**Autor:** Bächtiger, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-35190>

### **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:** 27.01.2026

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

# Brookit aus einer alpinen Zerrkluft der oligozänen Dachschieferserie bei Mastrils (Kt. Graubünden)

Von Kurt Bächtiger (Zürich)

Mit 3 Textfiguren

## Abstract

Red-brown tabular brookite crystals rich in faces were found together with much tabular calcite, in part so called "Papierspat", quartz and few albites in an alpine fissure of a Tertiary flysch siltstone in the Calanda mountains near Landquart (Grisons). Comparisons with other occurrences indicate good resemblance to mineral association B 1 after PARKER (1954) (brookite, anatase, rutile, quartz, albite, adularia and little calcite) of the Maderanertal (Uri). On the other hand, tabular calcite and "Papierspat", which are high-temperature minerals, along with asbestos, sphene, epidote, prehnite, zeolites, quartz, adularia and albite are typical members of mineral association C 1. Until now brookite has never been found in Switzerland together with "Papierspat"; therefore the paragenesis could be taken as a mixture of B 1 and C 1. By comparison, the probable formation temperatures are thought to be 270—340°C for tabular calcite, 200—240°C for albite, 160—190°C for brookite and about 160°C for quartz. General considerations about the genesis of brookite in fissures and authigenic brookite in sediments show a possible connection of the mineralisation with actual hot springs in the surrounding area.

## Einleitung

Im Frühjahr 1964 machte mich der Strahler Max Bosshard, Landquart, auf eine Quarzkluft bei Mastrils, westlich von Landquart, aufmerksam, die nach seinen Aussagen neben Quarz und Kalzit auch *Brookit* führen sollte, wofür er mir als Beweis bereits einen Brookitkristall in Verwachsung mit dünntafeligem Kalzit, sogenanntem *Papierspat*, vorlegen konnte. Eine gemeinsame Begehung in neuerer Zeit lieferte wiederum einen schönen Brookitkristall (Fig. 1), der im folgenden samt seiner Paragenese in *oligozänem Nebengestein* — was bis heute nach

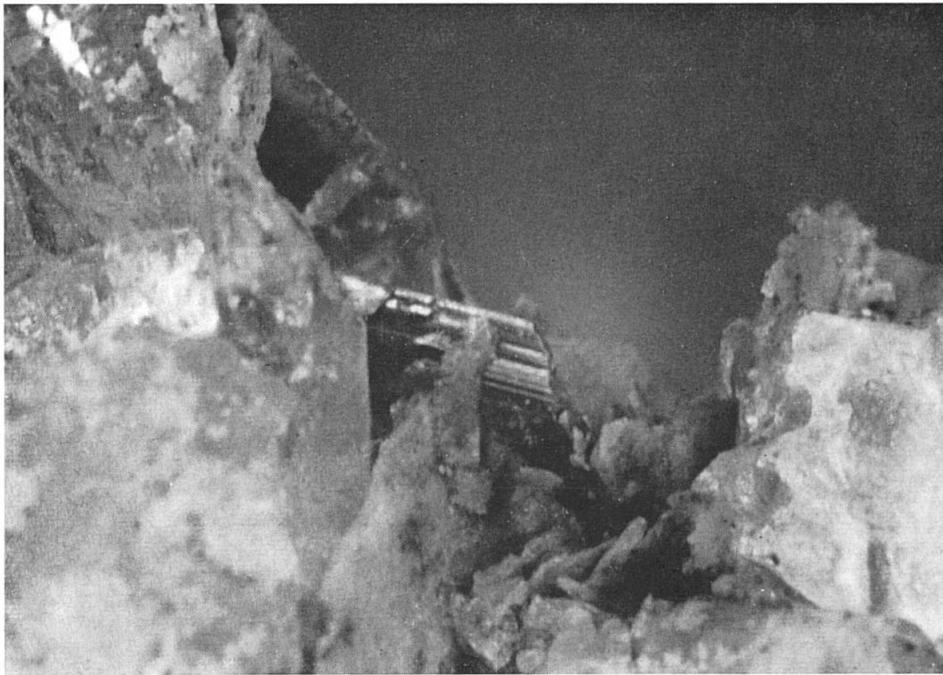


Fig. 1. Im Zentrum des Bildes Brookit mit deutlicher Riefung auf der Fläche (100) parallel zur c-Achse. Unten in der Mitte und oben links dünner Papierspat, links und rechts Quarz. Vergr. ca.  $20\times$ .

Aufnahme: W. Baur, Photographisches Institut der ETH.

Wissen des Verfassers für die Schweiz erstmalig ist — kurz beschrieben werden soll. Diese kurze Mitteilung soll zudem eine Anregung sein, nach weiteren Zerrklüftmineralien in Quarzgängen auch der jüngsten alpinen Sedimente Ausschau zu halten. Der Verfasser denkt dabei vor allem an die autochthone Flyschregion von Elm und des Panixerpasses, aus der ja schon prächtige Quarz- und Kalzitfunde bekannt geworden sind.

#### Geologie des Vorkommens

Die Brookit führende Quarzklüft liegt ca. 300 m südwestlich von der Kirche von Mastrils und wurde durch den Strassenbau angeschnitten. Die genauen Koordinaten der Fundstelle lauten: 759 920/203 720/720 m. Der Verfasser versuchte sie auf Grund der bis heute bekannten geologischen Untersuchungen einem bestimmten stratigraphischen Horizont zuzuordnen, was allerdings nicht eindeutig gelang, wie die folgenden Überlegungen zeigen sollen.

Eine erste eingehendere Untersuchung hat — abgesehen von den kurzen Notizen von THEOBALD (1856) — vor rund 60 Jahren BLUMEN-

THAL (1912) von der Gegend von Mastrils gegeben. Er fand nach seinen Worten „ein schwer zu erklärendes Durcheinander von Flyschschiefern und Kreidekalken“. In der Tat ist es auch späteren Bearbeitern, wie OBERHOLZER (1920) und HELBLING (1948), nicht gelungen, einigermaßen Klarheit in Stratigraphie und Tektonik des östlichen Abhanges vom Nord-Calanda zu bringen. Nach BLUMENTHAL (1912) liegt die Kluft in einer Synklinale von Flysch mit Globigerinenschiefern, die zudem noch eingewickelt Kreideklippen enthält (Fig. 2). OBERHOLZER (1920) wiederum zählt die SW-NE verlaufende Tertiärzone zum eozänen Wildflysch, der vorwiegend aus sandfreien Mergelschiefern mit Assilinenbänken bestehen soll. WEBER gab in HELBLING (1948) auf Grund seiner Felduntersuchun-

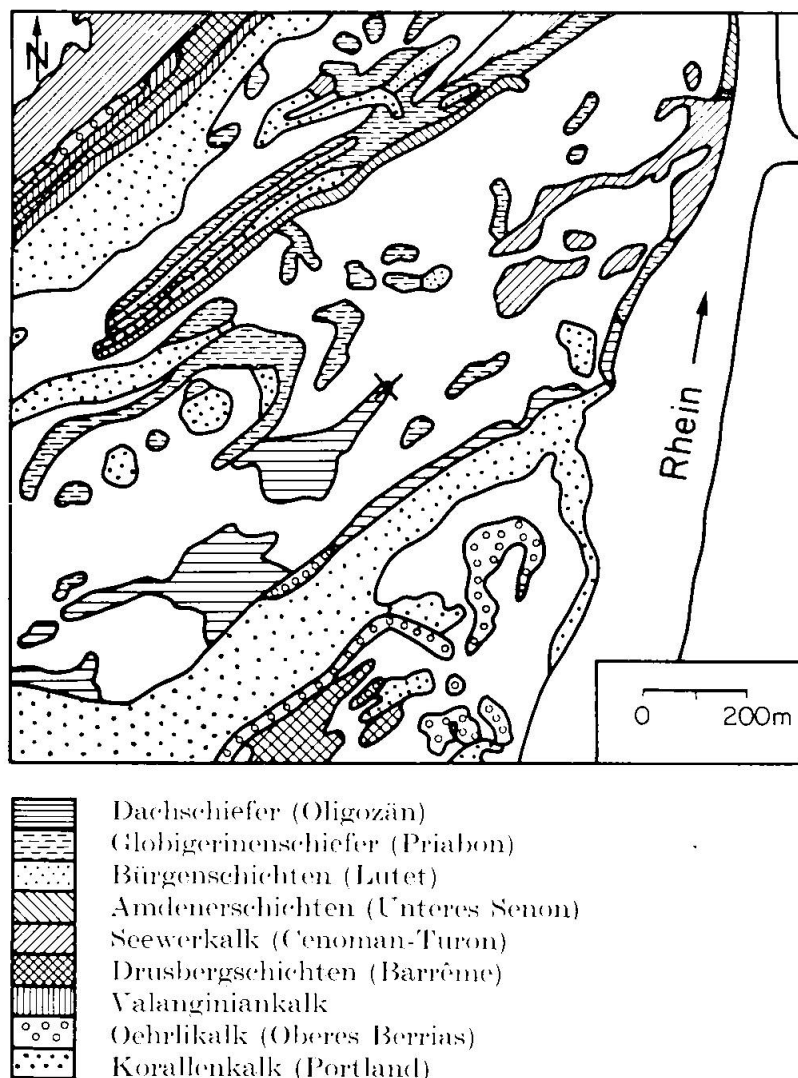


Fig. 2. Geologische Skizze der Brookit-Fundstelle (x), Mastrils (Kt. Graubünden) nach HELBLING (1948).



gen eine wesentlich komplexere Darstellung des Gebietes. Nach seiner Auffassung fällt die Kluft in die sogenannte Dachschieferserie des Oligozän. Darin lässt sich aber das Nebengestein der Kluft, ein Siltstein, der später noch detaillierter beschrieben werden soll, nur schwer unterbringen. Dass es sich indessen um tertiäres Nebengestein handelt, ist sicher. Weitere Felduntersuchungen werden Tektonik und Stratigraphie allerdings noch präzisieren müssen.

### Petrographie und Mineralogie

Das Nebengestein der Kluft wird durch ein massiges, grünliches und glimmerreiches Gestein repräsentiert, das als *Siltstein* zu bezeichnen ist. Im Dünnschliff zeigt sich, dass die Hauptgemengteile farblose, kaum gerundete, eckige Quarzfragmente, durch die Verwitterung leicht grünlich erscheinende, verzwilligte Ca-Na-Feldspäte von gleicher Kornausbildung sowie farblose Muskowitblättchen sind. Als Nebengemengteile findet man Körner von Zirkon und Erz mit einer feinen Durchstäubung des Basalzementes durch Leukoxen, bisweilen netzartig oder in Schnüren. Übergemengteile sind Kalzit und authigener Albit in Nestern und Adern. Der Albit ist mit dem Kalzit poikilitisch verwachsen und zeigt meist schöne Zwillinge nach dem Albitgesetz, undeutlicher vermutlich auch nach dem X-Karlsbadgesetz, wie es von FÜCHTBAUER (1956) beschrieben und vom Verfasser (1963) in den Kupfererze führenden Dolomitgängen der Mürtschenalp beobachtet worden ist.

Der *Brookit* wurde bis heute in 4 Exemplaren gefunden, und es ist wenig wahrscheinlich, dass ohne grössere Sprengarbeiten weitere Kristalle zum Vorschein kommen. Der abgebildete Kristall besitzt eine Breite von ca. 2 mm, ein zweiter ist gleich gross, aber nicht mehr intakt. Zwei grössere Kristalle sind 3 und 4 mm gross, aber leider stark in Quarz eingewachsen. Alle Kristalle haben eine braunrote Farbe und sind am Rande leicht durchscheinend. Die drei intakten Exemplare zeigen zudem in der Nähe der konventionellen c-Fläche (001) am Rande einen asymmetrischen schwarzen Wachstumsbereich. Ähnliche Einschlüsse und Zonen, oft perlschnurartig, konnte SIGRIST (1947) auch an den bekannten Brookiten vom Maderanertal beobachten, wobei ARNOLD (1929) mit Hilfe der Spektralanalyse in den schwarzen Zonen als erster qualitativ Niob und Eisen nachgewiesen hat. VTĚLENSKÝ (1957) hat in den schwarzen Bereichen von Brookiten aus Klüften in Gneisen von Böhmen spektralanalytisch bis zu 1% Nb und Fe gefunden. Charakteristisch ist bei vielen Kristallen eine Riefung, die auch auf Fig. 1 deutlich zur Gel-

tung kommt. Nach der Aufstellung von P. NIGGLI (1927) — Riefung parallel zur c-Achse — ist der abgebildete Kristall damit auf der Fläche (010) aufgewachsen, welche allerdings auch auf der Gegenseite kaum ausgebildet ist (siehe Fig. 1). Die beiden grösseren Kristalle hingegen sind auf der c-Fläche (Riefung vertikal) aufgewachsen. Die stärkste Entwicklung zeigt bei allen vier Kristallen die sogenannte a-Fläche (100) mit der Riefung.

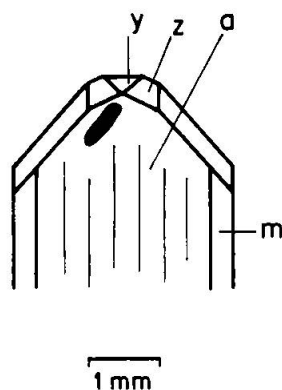


Fig. 3. Flächenreicher Brookitkristall von Mastrils mit schwarzem, wahrscheinlich Nb-Fe-reichem Wachstumsbereich. Die vertikale Riefung verläuft parallel zur c-Achse auf der a-Fläche (100). Weitere Flächen abnehmender Grösse sind  $m = (110)$ ,  $z = (112)$  und  $y = (104)$ . Die nicht indizierte Fläche ist vermutlich  $c = (122)$ .

Am zweitgrössten Kristall konnten zudem sehr deutlich die konventionellen Flächen  $y = (104)$ ,  $z = (112)$  und  $m = (110)$  erkannt werden (siehe Fig. 3). Die übrigen Flächen sind schlecht entwickelt und kaum indizierbar. Nach den Tabellen von NIGGLI (1927) und nach PARKER (1954) haben damit die Kristalle von Mastrils die grösste Ähnlichkeit in bezug auf ihren Habitus mit den bekannten Vorkommen vom Maderanertal (speziell Griessertal) und vom Veltlin. Da die Brookittafeln mehrheitlich parallel zum etwa gleich dicken Papierspat im Quarz eingewachsen sind, ist anzunehmen, dass der Brookit älter als der Quarz ist.

Nach Wissen des Verfassers handelt es sich bei diesem Fund um die ersten Brookite vom Calanda. Die nächstliegenden Brookitvorkommen befinden sich nach PARKER (1954) bei Fürstenaubruck östlich von Thusis im Domleschg<sup>1)</sup>, am Piz Ault bei Vals und im Tavetsch. Das Vorkommen von Fürstenaubruck liegt in den Bündnerschiefern des Doggers, nach JÄCKLI (1941), und führt neben Brookit noch Quarz, Adular, Chlorit,

<sup>1)</sup> Nach freundlicher Mitteilung von Strahler M. Bosshard wurde von ihm Brookit auch in Verwachsung mit den bekannten grünen „Phantomquarzen“ aus der Schynschlucht gefunden.

spärlichen Rutil und Pyrit. Am Piz Ault wurden 3—4 cm grosse, aber flächenarme [nur a, m und e = (122)], braune Brookitkristalle in der Nähe der berühmten Klüfte von Quarz mit Rutileinschlüssen gefunden. Auch dort sind die Brookite wie bei Mastrils vereinzelt im Quarz eingewachsen und führen als Begleiter tafeligen Kalzit, Adular, Chlorit, Pyrit und sehr spärlichen Rutil. Im Tavetsch liegen die Fundstellen hauptsächlich in Paraschiefern, Paragneisen und Phylliten des Tavetscher Zwischenmassives. Honigbrauner bis hellgelber Brookit findet sich dort vorwiegend mit Anatas, Rutil (zum Teil als feine Haare im Quarz), Ilmenit, Monazit, Pyrit, Siderit und den Silikaten Quarz, Adular, Albit, Chlorit und Muskowit. Im Maderanertal finden wir den Brookit in metamorphen Schiefern und Gneisen des Aarmassives vorwiegend mit Anatas, Ilmenit, Quarz, Albit, Adular, Chlorit, Kalzit und wenig Apatit, Titanit, Rutil und Monazit. Der Brookit herrscht im Maderanertal im Gegensatz zum Tavetsch gegenüber Anatas und Rutil stark vor und zeigt hier die grösste Formenentwicklung. Alle vergleichsweise zitierten Fundorte gehören nach PARKER (1954) der Mineralgesellschaft B 1 an.

Der *Kalzit* ist das Hauptmineral der Kluft von Mastrils und erscheint in parallelen, rosetten- bis bienenwabenartigen Aggregaten bis zu 5 cm Dicke und 15 cm Länge. Er ist, wie bereits erwähnt, in der in den Schweizer Alpen nicht gerade häufigen Form des Papierspates entwickelt, wobei aber auch Übergänge in flache Rhomboeder mit stark entwickeltem Basispinakoid, sogenannte Basistafeln, nicht selten sind. Oft lassen sich in den Hohlräumen von Papierspataggregaten einige Millimeter grosse, klare, idiomorphe Quarzkristalle erkennen, welche darauf hinweisen, dass der Quarz wahrscheinlich jünger als die Kalzitausscheidung ist. Andererseits lässt das Fehlen von Kalzitrhomboedern und -skalenodern, den „kühlen Formen“, vermuten, dass entweder die Temperatur stark gesunken und sich das pH der Lösung bereits stark gegen sauer verschoben hat, oder aber, dass sich auch der Quarz noch bei relativ hohen Temperaturen gebildet hat.

Basistafeln von Kalzit sind nach CADISCH (1939) und HÜGI (1941) schon seit längerer Zeit aus dem Steinbruch im Epidot-Chloritfels westlich von Felsberg bekannt, oft mit Anflügen von Hämatit in der Ausbildung von Eisenglanz. In neuester Zeit konnte der Verfasser solche Basistafeln mit Durchmessern über 10 cm auch in den alpinen Zerrklüften<sup>2)</sup> des Pipelinestollens zwischen Tamins und Felsberg feststellen.

<sup>2)</sup> Ihre Paragenesen werden vom Verfasser im Zusammenhang mit der Auvererzung der „Goldenen Sonne“ oberhalb von Felsberg eingehend untersucht. Eine Mitteilung wird später darüber erfolgen.

Vielfach waren darauf sogar noch büschelartige Aggregate von grauem Hornblendeasbest (Amiant) erkennbar, der sich nach P. NIGGLI et al. (1940) in den alpinen Zerrklüften zwischen 300° und 400° gebildet haben soll. Es ist dies ausser der tafeligen Form ein direkter Beweis für die hohe Kristallisationstemperatur des Kalzites als Basistafeln oder Papierspat. Basistafeln treten aber auch, wie bereits erwähnt, in den Brookitklüften vom Piz Ault auf. Nach PARKER (1954) ist Papierspat örtlich auch ein paragenetischer Bestandteil gewisser Amiantvorkommen des Maderanertals, so zum Beispiel im Griessertal; allerdings wurde er merkwürdigerweise nie mit Brookit angetroffen. Papierspat und Amiant sind nach PARKER (1954) ein charakteristischer Bestandteil der Mineralgesellschaft C 1.

Der Quarz erscheint ausser in bis 2 cm dicken Adern von weissem Milchquarz in allerdings nicht grossen, aber doch schön idiomorphen Einkristallen und Verwachsungen davon. Die grössten Kristalle sind ca. 1 cm lang und bis 5 mm dick, im Durchschnitt jedoch 2—5 mm gross. Sie können klar und durchsichtig oder auch milchig trübe sein. Vielfach sind sie von Limonit oder Tonpartikeln überzogen. In reinen Quarzaggregaten findet man häufig kaum millimeterdicke, aber zentimeterlange Schnitte, die wahrscheinlich von dünnen, älteren Papierspatkristallen herrühren, die später wieder weggelöst worden sind. „Zerschnittene“ Prismen und abgestumpfte Enden von Quarz weisen ebenfalls darauf hin, dass sich die Wachstumsformen des Quarzes nach den früher ausgeschiedenen, aber mittlerweile wieder verschwundenen Kalziten richteten. Die meisten Quarze von Mastrils haben nicht den von WEIBEL (1963) vom südlichen Calanda beschriebenen Dauphinéhabitus, sondern die üblichen Formen: Prisma, positives und negatives Rhomboeder ohne Asymmetrie der Endbegrenzungen. Lediglich einzelne Kristalle zeigen eine Formentwicklung, die gegen den Dauphinéhabitus strebt, aber nicht vollkommen ist. An einigen Kristallen konnte auch noch die sogenannte s-Fläche ( $11\bar{2}1$ ) der trigonalen Bipyramide festgestellt werden, die aber bisweilen stark verzerrt und nicht immer leicht als solche erkennbar ist. Quarze mit deutlichen s- und x-Flächen werden von PARKER (1954) mit Chlorit und Titanit zusammen aus den Mineralklüften der Grüngesteine vom südlichen Calanda erwähnt. Die gefundenen Quarzkristalle von Mastrils waren leider zu klein, um nach der üblichen UR-Messmethode von BRUNNER et al. (1961) die H-Gehalte zuverlässig zu bestimmen. Da aber nach den Untersuchungen von BAMBAUER et al. (1962) sowohl die Quarze vom südlichen Calanda als auch jene aus dem näherliegenden Kristallin von Vättis den sogenannten

„Lamellenquarzen“ angehören, kann vermutet werden, dass die Quarze von Mastrils ebenfalls relativ H-reiche Lamellenquarze im Sinne von BAMBAUER et al. (1961) sind<sup>3)</sup>. Innerhalb der Lamellenquarze gehören sie jedoch vermutlich zu den H-armen mit  $< 250 \text{ H}/10^6 \text{ Si}$  und stellen somit eine Tieftemperaturform dar. Diese Stellung mit allmählichem Übergang zu den noch H-ärmeren „gewöhnlichen Quarzen“ im Sinne von BAMBAUER et al. (1962) erschwerte auch ihre eindeutige Diagnose.

Durch die Entdeckung von authigenem *Albit* im Nebengestein bestand die Aussicht, Einzelkristalle von Albit auch als Zerrkluftmineral anzutreffen. Tatsächlich konnten nach längerem Suchen mit der Lupe auch zwei ca. 2 mm grosse Kristalle von Albit gefunden werden. Beide sind verzwilligt. Der eine ist auf dem Papierspat aufgewachsen, der andere mit Quarz verwachsen.

Albit wurde vom Verfasser ebenfalls in Klüften des erwähnten Steinbruches bei Felsberg in Paragenese mit Basistafeln von Kalzit, Hämatit, porzellanweissem Adular und Titanit angetroffen, dann mit Amiant, Quarz (durch Einlagerungen von Amiantfasern oft graublau gefärbt) und Kalzit rhomboedern zusammen in den Klüften des Pipelinestollens und in bis 1 cm grossen Kristallen in den obersten Aufschlüssen der Grüngesteine unterhalb der „Goldenen Sonne“. In Brookitparagenesen wurde der Albit nach PARKER (1954) relativ häufig im Maderanertal, spärlicher im Tavetsch gefunden. Bei den übrigen erwähnten Vorkommen fehlt der Albit, dafür ist meistens der Adular vorhanden.

Im Gesamtüberblick hat die *Brookit-Paragenese* von Mastrils nach den oben angeführten Beispielen somit die grösste Ähnlichkeit mit der Mineralgesellschaft B 1 von PARKER (1954), welche aus den Hauptmineralien Quarz, Adular, Albit, Anatas, Rutil, Brookit und etwas Kalzit besteht. Sie tritt vorwiegend im Maderanertal und Tavetsch auf, vereinzelt aber auch in der Umgebung von Vals, der Cristallina und im Val Cadlimo. Als einziger Fundort der Kombination Brookit-tafeliger Kalzit konnte noch der Piz Ault bei Vals eruiert werden. Die *Paragenese Brookit-Papierspat* in Mastrils erscheint damit nach den Nachforschungen des Verfassers *erstmalig in den Schweizer Alpen*. Andererseits sind Basistafeln oder Papierspat nach PARKER (1954) ein typischer Bestandteil der Mineralgesellschaft C 1, welche sich im weiteren noch aus Quarz, Adular, Albit, Titanit, Epidot, Prehmit, Amiant, Zeolithen und Kalzit zusammensetzt. Sie wird vor allem im Maderanertal und Tavetsch angetroffen,

<sup>3)</sup> Durch eine 7-tägige  $\gamma$ -Bestrahlung eines glasklaren Quarzkristalles konnte in der Zwischenzeit der Lamellenbau entwickelt und im Dünnschliff nachgewiesen werden.

ist aber auch im Gotthardmassiv und oberen Maggiatal gut entwickelt. Aus den oben angeführten Daten wird ersichtlich, dass ihr auch die Zerrkluftparagenesen in den Grüngesteinen des südlichen Calanda zuzuordnen sind. Die Brookit-Paragenese von Mastrils könnte somit auch als eine Mischparagenese von B 1 und C 1 aufgefasst werden.

#### Zur Genese des Brookites

Vor einigen Jahren haben BAILEY et al. (1956) Schweremineralkonzentrate von Küstensanden untersucht. Sie fanden darin Ilmenit in verschiedenen Umwandlungsstadien. In der letzten Phase bildet sich bei gleichzeitigem Verschwinden der Eisenoxyde vor allem Rutil, aber es konnte auch fein verteilter Brookit nachgewiesen werden. ALLEN (1956) hat zur gleichen Zeit in einer Diskussion der Resultate von BAILEY et al. (1956) sich dem Problem Leukoxen angenommen und hat durch Röntgenuntersuchungen festgestellt, dass sich Leukoxen aus Rutil, Anatas, Sphen (Titanit) und Brookit zusammensetzt. Quantitativ liessen sich in 100 Leukoxenproben der Rutil in 99, der Anatas in 20 und der Brookit aber nur in 5 Proben nachweisen. Zur selben Zeit fand der Russe RENGARTEN (1955, 1956) die ersten authigenen Titanminerale als Geoden in feinkörnigen Sandsteinen fluviatiler und litoraler Fazies der Karaganda-Kohlenformation. Die mikroskopisch kleinen Geoden bestehen aus Brookit und Anatas mit Kernen aus Kalzit, Chlorit oder Kaolinit. Interessant ist der Umstand, dass sich diese authigenen Titanminerale vor allem mit stark oxydierten Pflanzenresten aus Fusit zusammen vorfinden. Lokale Anreicherungen der Titanminerale werden durch Wanderung unter variablen Redoxpotentialen und pH-Bedingungen erklärt. Redoxpotential, pH und  $\text{CO}_2$ -Partialdruck sollen auch die Ausscheidungsfolge der Minerale bedingt haben, wobei der Chlorit bei einem pH von 8,5 und der Brookit und Anatas bei einem solchen von 7 gebildet worden sein sollen. Es muss in diesem Zusammenhang bemerkt werden, dass die erste Synthese von Brookit zusammen mit Anatas GLEMSEK und SCHWARZMANN (1956) durch Hydrolyse von  $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{TiO}_4$ , beziehungsweise  $(\text{C}_4\text{H}_9)_4\text{TiO}_4$  bei  $100^\circ$  und normalem Druck gelungen ist. Durch Erhitzung bei  $500^\circ$  während einiger Wochen konnte die Kristallisation verbessert werden, aber über  $600^\circ$  bildete sich Rutil. Später hat KAZENKINA (1958) die Bildung von authigenen Titanmineralen (Brookit, Anatas und Sphen) bei Anwesenheit kohligter Substanz in nicht metamorphen Sand- und Siltsteinen der Karbonablagerungen von Transbaikalien bestätigen können. An den Stellen, wo die organischen Reste nicht



oxydiert waren, fehlten auch die authigenen Titanmineralien. KAZENKINA (1958) nimmt an, dass bei Sauerstoffmangel das Titan in den Lösungen weggeführt wird, bevor es zur authigenen Mineralbildung kommen kann. Zur gleichen Zeit fand CHECHLASHVILI (1958) in Karbonsandsteinen von Georgien Brookit-Anatas-Geoden von 0,25—0,3 mm Durchmesser hauptsächlich im Karbonatzement und mit Albit zusammen. Als Kern konnte ausser Kalzit, Chlorit und Kaolinit auch Quarz festgestellt werden, während Pyrit oder Magnetkies den äusseren Rand bilden. CHECHLASHVILI (1958) nimmt an, dass sich die authigenen Titanmineralien teilweise aus deszendenden Lösungen bei der Zersetzung von Ilmenit aus darüberliegenden Sedimenten des Bajocian bildeten oder bei Anwesenheit von kohligter Substanz durch Zersetzung organometallischer Verbindungen aus den Karbonsandsteinen selbst. Aber auch in den Karbonsandsteinen von Indiana fand GREENBERG (1960) Mikrolithen von authigenem Brookit auf und in Leukoxenaggregaten. KONDRATEVA (1960) fand zur gleichen Zeit im Saratov-Wolga-Gebiet authigene Kristalle von Brookit, Anatas, Siderit, Chamosit und sogar Granat bis 0,9 mm Grösse in terrigenen Sedimenten auch des Devon. Der authigene Brookit tritt dort ebenfalls in Verwachsungen mit Leukoxen in sandigen Tonen auf. Im Nebengestein der Brookitkluft von Mastrils konnten leider bis heute noch keine solchen authigenen Brookite oder Geoden davon gefunden werden.

Natürlich gibt es auch die Möglichkeit der echten hydrothermalen Bildung von Brookit. Dies kann offensichtlich schon bei recht hohen Temperaturen vor sich gehen, denn MERRITT (1952) erwähnt Brookit mit Mikroklinperthit, Riebeckit, Biotit, Hämatit, Rauchquarz und bisweilen Asphalt in miarolithischen Hohlräumen der Granite der Wichita Mountains. KORNETOVA (1954) wiederum fand in Pegmatitlinsen in Osttransbaikalien Brookit und Albit auf umgewandeltem Ilmenit. Bei einem anderen Vorkommen in derselben Gegend kommen Brookit und Anatas mit Albitkristallen in Hohlräumen vor, wo Mikroklin weggelöst worden ist. Der Brookit soll sich dabei bei höherer Temperatur als der Anatas gebildet haben. Eine eigentliche hydrothermale Brookit-Lagerstätte befindet sich nach FRYKLUND (1950) in Hot Spring County, Arkansas. Die Lagerstätte liegt am Rande eines stark umgewandelten Ägirinphonolithes und führt neben Brookit noch Quarz, Rutil und Taeniolith, einen Li-Mg-Glimmer von der Zusammensetzung  $(\text{KLiMg}_2(\text{F}_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}))$ . LEBEDEV (1961) fand bei den Thermalquellen des Pauzetka-Gebietes Anatas- und Brookitbildung aus Ilmenit von tertiären Tuffiten und quartären Dazit- und Andesittuffen. Die Kristallbildung soll aber nur

bei den höchsten Temperaturen und den tiefsten pH-Werten möglich sein. Der Vollständigkeit halber sei doch noch erwähnt, dass offensichtlich schon 6 Jahre vor GLEMSER et al. (1956) einigen russischen Forschern, nämlich BERESTNEVA et al. (1950), die Brookitsynthese gelungen ist. Sie fanden durch elektronenmikroskopische Untersuchungen heraus, dass Gemische von  $\text{TiCl}_4$  mit kaltem Wasser amorphe Kügelchen von  $0,2 \mu$  Durchmesser bilden, die innerhalb einiger Stunden kristallisieren. Bei Verwendung von heissem Wasser soll die Kristallisation sofort stattfinden. In beiden Fällen wurde eine Mischung von Rutil, Anatas und Brookit gefunden.

Wenn wir uns nun wieder dem Brookit von Mastrils zuwenden und uns den Ablauf der Kristallisation der Paragenese überlegen, so dürfte es so gewesen sein, dass sich bei  $270\text{--}340^\circ$  nach P. NIGGLI et al. (1940) zuerst der Kalzit als Aggregate von Basistafeln und Papierspat auskristallisierte. Tiefer kann die Temperatur nach jenen Autoren nicht gewesen sein, denn bis  $250^\circ$  soll es Auflösung des Kalzites geben und unterhalb  $250^\circ$  sollen sich die häufigeren Formen wie Rhomboeder, Skalenoeder etc. bilden, aber kein Papierspat mehr möglich sein. Dass Basistafeln von Kalzit wirklich eine hochtemperierte Form darstellen, beweisen anderseits auch die weiter oben erwähnten Aufwachsungen von Amiant in den Zerrklüften bei Felsberg, deren tiefste Bildungstemperatur um  $300^\circ$  gelegen haben dürfte. Da sich nach P. NIGGLI et al. (1940) der Brookit der alpinen Zerrklüfte bei  $160\text{--}190^\circ$  gebildet haben soll, muss demnach ein Temperaturabfall stattgefunden haben, in dessen Verlauf sich auch der Albit auskristallisiert haben könnte. Tatsächlich geben die erwähnten Forscher für den Albit der alpinen Zerrklüfte als tiefste Temperatur der Kristallisation den Bereich von  $200\text{--}240^\circ$  an. Da der Brookit im Quarz eingewachsen ist, muss der Quarz die Letzt-kristallisation gewesen sein und sich nach den vorher erwähnten Überlegungen wahrscheinlich unter  $160^\circ$  gebildet haben. Wir hätten demnach die Sukzession mit den Temperaturen:

Kalzit (Basistafeln, Papierspat)	—	Albit	—	Brookit	—	Quarz
340—270°		240—200°		190—160°		160°—?

Dies würde auch einer kontinuierlichen Änderung des pH von alkalisch zu sauer entsprechen, wobei das pH der Brookitkristallisation in Analogie zu den Beobachtungen anderer Forscher sich zwischen 7 und 3 bewegt haben dürfte. Da aber in der näheren Umgebung der Brookitkluft weitere Klüfte mit Quarz und Kalzitkristallen in Rhomboedern und



Skalenoedern vorkommen, aber ohne Brookit und Papierspat — in der Brookitkluft anderseits die sogenannten „kühlen“ Formen des Kalzites gänzlich fehlen —, könnten sich Albit, Brookit und Quarz auch über 270° gebildet haben, was nach GLEMSER et al. (1956) theoretisch durchaus möglich ist, da ja erst über 600° Rutil gebildet wird. Der Verfasser möchte zudem noch darauf hinweisen, dass bei den meisten ausser-alpinen Vorkommen und auch einigen Zerrklüften *Albit* paragenetisch beteiligt ist; in einigen Klüften ist es Adular. Man könnte nun fast annehmen, dass der Albit und Adular oder Bestandteile davon bei der Brookitbildung die Funktion eines Katalysators ausübten.

Hinsichtlich der Herkunft des Materiales der Kluftminerale kann man sich vorstellen, dass die Zersetzung von Feldspäten Albit, Quarz und Kalzit geliefert hat, diejenige von Ilmenit Brookit und Limonit. Lediglich Kohlensäure könnte zugeführt worden sein. Ob bei der Brookitbildung auch hier Kohlenwasserstoffe eine gewisse Rolle gespielt haben, wie von vielen Forschern bei den authigenen Brookiten beobachtet worden ist, ist ungewiss. Der erwähnte Siltstein scheint nicht besonders kohlenstoffreich zu sein. Nach den Untersuchungen von BERESTNEVA et al. (1950) muss dies ja auch gar nicht unbedingt nötig sein. Da sich aber die Brookitkluft etwa in der Mitte der Thermen von Pfäfers (ca. 35° C) und Untervaz (ca. 13°) befindet, sind thermale Einflüsse bei der Bildung der Brookit-Paragenese von Mastrils durchaus anzunehmen und könnten damit eine Erklärung sein, weshalb in so manchen ähnlichen Mineralklüften im Flysch der Alpen bis heute keine Brookite gefunden worden sind.

Abschliessend möchte der Verfasser dem Strahler Max Bosshard, Landquart, für die Mitteilung der Kluft und die Überlassung der Kristalle herzlich danken.

Die Ausführung dieser Arbeit wurde durch ein Stipendium des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung ermöglicht.

#### Literatur

SMPM = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

- ALLEN, V. T. (1956): Is leucoxene always finely crystalline rutile? *Econ. Geol.* 51, 830—833.
- ARNOLD, W. (1929): Beiträge zur Kenntnis des Brookit in morphologischer und optischer Hinsicht. *Z. Kristallogr.* 71, 344—405.
- BÄCHTIGER, K. (1963): Die Kupfer- und Uranmineralisationen der Mürtschenalp (Kt. Glarus, Schweiz). *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser. Lfg. 38.*
- BAILEY, S. W., CAMERON, E. N., SPEDDEN, H. R., WEEGE, R. J. (1956): The alteration of ilmenite in beach sands. *Econ. Geol.* 51, 263—279.

- BAMBAUER, H. U. (1961): Spurenelementgehalte und  $\gamma$ -Farbzentren in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen. *SMPM* 41, 335—369.
- BAMBAUER, H. U., BRUNNER, G. O., LAVES, F. (1961): Beobachtungen über Lamellenbau an Bergkristallen. *Z. Kristallogr.* 116, 173—181.
- BAMBAUER, H. U., BRUNNER, G. O., LAVES, F. (1962): Wasserstoff-Gehalte in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen und die Deutung ihrer regionalen Abhängigkeit. *SMPM* 42, 221—236.
- BAMBAUER, H. U., BRUNNER, G. O., LAVES, F. (1963): Merkmale des OH-Spektrums alpiner Quarze (3  $\mu$ -Gebiet). *SMPM* 43, 259—268.
- BERESTNEVA, Z. YA., KORETSKAYA, G. A., KARGIN, V. A. (1950): Electronmicroscope study of titania sols and the mechanisms of formation of colloidal particles. *Kolloid. Zhur.* 12, 338—341.
- BLUMENTHAL, M. (1912): Der Calanda. *Beitr. geol. Karte Schweiz*, N. F., Lfg. 39.
- BRUNNER, G. O., WONDRATSCHEK, H., LAVES, F. (1961): Ultrarotuntersuchungen über den Einbau von H in natürlichem Quarz. *Z. Elektrochemie* 65, 735—750.
- CADISCH, J. (1939): Die Erzvorkommen am Calanda, Kantone Graubünden und St. Gallen. *SMPM* 19, 1—20.
- CHECHLASHVILI, I. D. (1958): Authigenic minerals in the Carboniferous and Callovian-Oxfordian deposits of Bzibsk coal formation. *Soobshcheniya Akad. Nauk Gruzin. SSR*, 21, No. 4, 443—448.
- FRIEDLAENDER, C. (1944): Beobachtungen an authigenen Quarzkristallen aus einer tonigen Spaltausfüllung in Gneis. *SMPM* 24, 25—29.
- FRYKLUND, V. C. (1950): Titanium ore deposits of Hot Spring County, Arkansas. *Arkansas Resources and Development Comm., Div. Geol., Bull.* 16, 1—173.
- FÜCHTBAUER, H. (1956): Zur Entstehung und Optik authigener Feldspäte. *N. Jb. Min., Mh.*, 9—23.
- GLEMSE, O., SCHWARZMANN, E. (1956): Polymorphie des  $\text{TiO}_2$ . *Angew. Chemie* 68, 791.
- GREENBERG, S. S. (1960): Outgrowths of authigenic brookite on leucoxene grains in Pennsylvanian and Late Mississippian sandstones of Indiana. *J. Sediment. Petrol.* 30, 622—623.
- HEBLING, R. (1948): Photogeologische Studien im Anschluss an geologische Kartierungen in der Schweiz, insbesondere Tödikette. Zürich, Orell-Füssli.
- HÜGLI, TH. (1941): Zur Petrographie des östlichen Aarmassivs (Bifertengletscher, Limmernboden, Vättis) und des Kristallins von Tamins. *SMPM* 21, 1—120.
- JÄCKLI, H. (1941): Geologische Untersuchungen im nördlichen Westschams (Graubünden). *Eclogae geol. Helv.* 34, 17—105.
- KAZENKINA, G. A. (1958): Authigenic titanium minerals in Carboniferous deposits of West Transbaikalia (Tugnuisk depression). *Izvest. Sibir. Otdel. Akad. Nauk SSSR*, Nr. 4, 45—50.
- KONDRATEVA, M. G. (1960): Brookite, anatase and garnet from Devonian sediments of the Saratov-Volga region. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 135, 1488—1490.
- KORNETOVA, V. A. (1954): Brookite and anatase in pegmatites of eastern Transbaikalia. *Trud. Mineral. Mus. Akad. Nauk SSSR*, No. 6, 139—141.
- LEBEDEV, L. M. (1961): Formation of ores in hydrothermally altered rocks in the Pauzhetka hot-spring region. *Trudy Lab. Vulkanol., Akad. Nauk SSSR*, No. 19, 115—122.

- MERRITT, C. A. (1952): Mineralogy of the miarolitic cavities of the granites, Wichita Mountains, Oklahoma. *Proc. Okla. Acad. Sci.* 33, 189—190.
- NIGGLI, P. (1927): Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mineralogie. Berlin, Borntraeger.
- NIGGLI, P., KOENIGSBERGER, J., PARKER, R. L. (1940): Die Mineralien der Schweizeralpen, Bd. I und II. Basel, Wepf.
- PARKER, R. L. (1954): Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. Basel, Wepf.
- RENGARTEN, N. V. (1955): New formation of titanium minerals in sandy rocks of Carboniferous type. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 102, 149—152.
- RENGARTEN, N. V. (1956): Titanium minerals in Carboniferous sedimentary rocks. *Trudy Geol. Inst., Akad. Nauk SSSR*, No. 5, 125—134.
- SIGRIST, F. (1947): Beiträge zur Kenntnis der Petrographie und der alpinen Zerkluftlagerstätten des östlichen Aarmassives. *SMPM* 27, 39—182.
- THEOBALD, G. (1856): Der Calanda. *Jahresber. Natf. Ges. Graubündens. N. F.*, 1. Jg., 7—43.
- VTĚLENSKÝ, J. (1957): Brookite in Bohemia. *František Slavík Mem. Vol. Českoslov. Akad. ved.* 503—534.
- WEIBEL, M. (1963): Die Quarzfunde bei Tamins und Vättis. *SMPM* 43, 479—483.

Karten:

- OBERHOLZER, J. (1920): Geologische Karte zwischen Linthgebiet und Rhein, 1 : 50 000. Spezialkarte Nr. 63 der Schweiz. Geol. Komm.

Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich.

Manuskript eingegangen am 29. Oktober 1964.

*f* folds

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

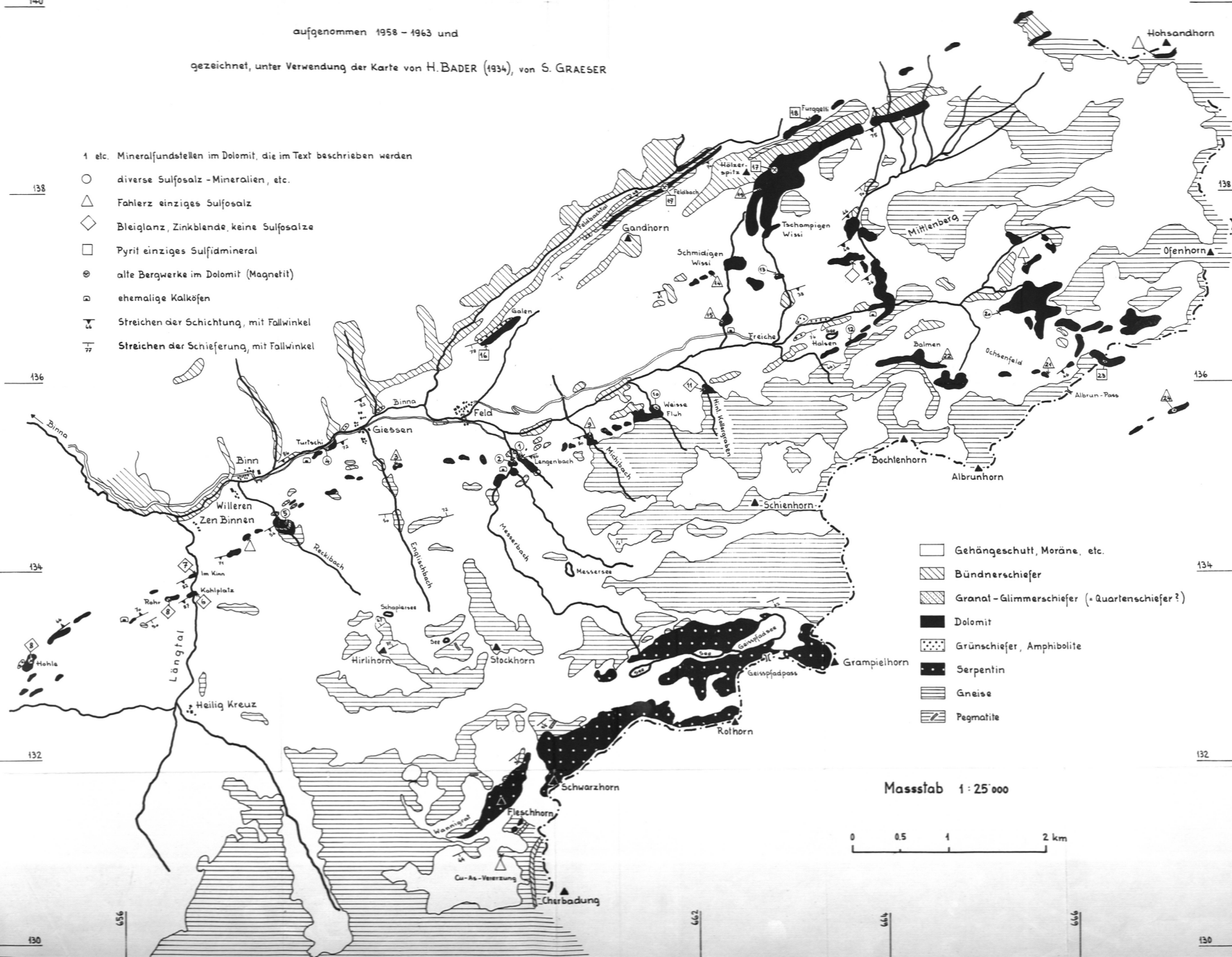
# MINERALOGISCH-PETROGRAPHISCHE KARTENSKIZZE DES BINNATALES

aufgenommen 1958 - 1963 und

gezeichnet, unter Verwendung der Karte von H. BADER (1934), von S. GRAESER

- 1 etc. Mineralfundstellen im Dolomit, die im Text beschrieben werden

- diverse Sulfosalz - Mineralien, etc.
- △ Fahlerz einziges Sulfosalz
- ◇ Bleiglanz, Zinkblende, keine Sulfosalze
- Pyrit einziges Sulfidmineral
- ⊗ alte Bergwerke im Dolomit (Magnetit)
- ⌞ ehemalige Kalköfen
- ↖ Streichen der Schichtung, mit Fallwinkel
- ↗ Streichen der Schieferung, mit Fallwinkel



Massstab 1 : 25'000

