

# Zwei eigenartige Sulfatvorkommen

Autor(en): **Schneider, Toni R.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **45 (1965)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-35191>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Zwei eigenartige Sulfatvorkommen

Von *Toni R. Schneider* (Stäfa)

Mit 8 Textfiguren

## Abstract

Two extraordinary sulfate deposits are described, the first one in the high metamorphous series of the southeast border of the Aarmassiv, the second one in a permian tuff of the Silvretta-nappe. Both are explained as redeposits of descending solutions.

## I. Einleitung

Stollenbauten decken ab und zu Eigentümlichkeiten im Aufbau der Gebirge auf, die auch von noch so sorgfältigen Oberflächenuntersuchungen nicht erfasst werden können. Solche Lücken in unsern Beobachtungen entstehen hauptsächlich dann, wenn durchgehende Schuttbedeckungen ein Phänomen verbergen, oder wenn dieses als solches nicht an die Oberfläche tritt.

In diesem Bericht sollen zwei Sulfatvorkommen, das erste im Riederhornstollen der K. W. Aletsch, das zweite im Druckstollen Ardüs-Cruschetta der K. W. Albula-Landwasser beschrieben werden. Beide sind vor allem auf Grund ihrer Entstehungsgeschichte als Überraschungen zu werten. Ihre Anwesenheit war nicht vorauszusehen, denn beide sind an der Oberfläche nicht anstehend.

## II. Der Anhydrit im Riederhornstollen

Der Riederhornstollen leitet das ca. 800 m unterhalb der heutigen Zunge des Aletschgletschers auf Kote 1448 m gefasste Wasser der Massa in südöstlicher Richtung unter dem Nordgrat des Riederhornes hindurch ins Rhonetal, wo es unterhalb Mörel zur Elektrizitätserzeugung genutzt wird.

Das von dem d72 km langen Stollen durchfahrene Gebirge liegt am südöstlichen Rande der südlichen Granitgneis- und Mischgesteinszone des Aarmassives (HUGI, 1934). Diese Zone kann in dem durch das Bauwerk aufgeschlossenen Abschnitt in groben Zügen zweigeteilt werden: In den oberen 1,7 km stehen vorwiegend stark injizierte, zum Teil granitische Gneise mit häufiger Augengneisstruktur an. Einlagerungen von reinen Biotitgneisen treten eher zurück. Nach einer ausgeprägten Mylonitzone mit feinkörnigeren, biotitreicheren Schiefen folgen im unterliegenden Teil vorwiegend biotitreichere Gneise mit häufig streifengneisartiger Ausbildung, in die stellenweise stärkere Schieferzonen eingelagert sind. Injektionserscheinungen und ophthalmische Strukturen treten zurück, können aber ebenfalls beobachtet werden. Die Schieferung streicht durchwegs angenähert senkrecht zur Stollenachse; das Einfallen ist in den obersten 700 m steil nordwärts gerichtet, um anschliessend in ein ebenfalls steiles Südfallen umzukippen.

Auf der ganzen Stollenlänge sind diese Gneise unterschiedlich stark von offenen Schichtfugen und Klüften von wenigen Zentimetern bis Dezimetern Breite durchsetzt. Diese liegen grösstenteils in gesundem Fels; in der untern Stollenhälfte treten sie jedoch nicht selten auch innerhalb von Ruschelzonen auf. Neben vollständig sauberen Spalten ist eine kleine Anzahl zu beobachten, die mit lehmigen Massen angefüllt ist.

In den obersten 700 m des Stollens und zwischen 1400 und 1500 m enthalten diese offenen Fugen an den in Fig. 1 eingezeichneten Stellen Anhydriteinlagerungen. Diese Anhydritbänder sind normalerweise wenige Zentimeter, nur ausnahmsweise wenig über 1 dm mächtig und von rein weisser bis stellenweise farbloser Ausbildung. Der Kontakt mit dem Nebengestein wird durch eine unterschiedlich dicke tonige Haut gebildet. Unter dem Mikroskop zeigt der Anhydrit ein vorwiegend homöoblastisches, mosaikartiges Gefüge von massiger Textur aus einzelnen hypidiomorphen und vorwiegend xenomorphen, ziemlich gleichmässig

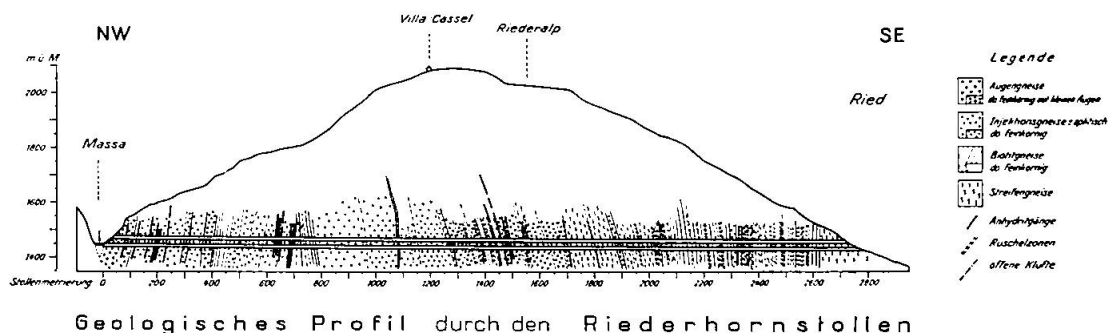


Fig. 1.

bis 4 mm grossen Körnern. Er ist sehr rein; nur vereinzelt sind feine Serizitschüppchen zu beobachten. Vereinzelt sind diese zu kleinen, dünnen Wölklein angehäuft, wobei immer deutlich zu erkennen ist, dass hier zur Zeit der Anhydritbildung einige Bestandteile der Wand in die auskristallisierende Masse hineingeriet.

Da der Stollen schon vor der geologischen Aufnahme einige Jahre vom Wasser durchströmt war, hat sich an den Grenzflächen Anhydrit/Wasser meistens ein dünner, milchigweisser Gipshut gebildet, welcher den Anhydrit vor weitem Auswaschungen schützte, war doch die erosive Wirkung des Wassers erstaunlich gering.

Für diese Anhydritvorkommen inmitten der hochmetamorphen Gneise des Südrandes des Aarmassives kommen drei Entstehungsmöglichkeiten in Frage, die im folgenden zur Diskussion stehen sollen:

1. Weiter westlich im Gebiete des Baltschiedertales konnte SWIDERSKI (1920) in derselben Kristallinserie tiefgreifende Einschuppungen der autochthonen Sedimenthülle in die Gneise des Massives nachweisen, welche die ganze triadische und jurassische Schichtreihe umfassen. Es bestünde nun die Möglichkeit, das Anhydritvorkommen als letzte Überreste von ähnlichen, weiter östlich gelegenen Einschuppungen zu deuten. Die reine Ausbildung des Anhydrites, das völlige Fehlen von Anzeichen weiterer Schichtglieder der helvetischen Serie sowie der schwer zu verstehende Umstand, dass ausgerechnet eines der plastischsten Glieder dieser Serie die tiefsten Einschuppungen hätte erfahren sollen, lassen diese Hypothese gesamthaft als wenig wahrscheinlich erscheinen.

2. Eine vulkanisch-exhalative Entstehung durch fumarolenähnliche Tätigkeit, bei der schweflige Dämpfe in Verbindung mit Kalken unter Oxydation zu Sulfatausscheidungen hätten führen können, kommt ebenfalls kaum in Frage (NIGGLI, 1920). Einmal fehlen zusätzliche Anzeichen von vulkanischer Tätigkeit in der näheren und weiteren Umgebung des Massives sowie besonders auch der mit Fumarolen immer verbundene Reichtum an Mineralparagenesen.

3. Die teilweise angedeutete Idiomorphie der Gemengteile, das regelmässige Korngefüge und die nicht selten farblose Ausbildung der Kristalle dürfen als sichere Anzeichen für verhältnismässig ruhige, wenig gestörte Kristallisationsbedingungen gewertet werden. Die Herkunft sulfathaltiger Lösungen kann durch Auswaschungen in den das Massiv bedeckenden autochthonen (und eventuell sogar helvetischen), gipshaltigen triadischen Schichtserien und anschliessenden Infiltrationen in tiefere Krustenteile erklärt werden. Die durch tektonische Vorgänge im Riederhorngebiet entstandenen offenen Klüfte und Schichtfugen

erleichterten diese Infiltrationen wesentlich. Die mit zunehmender Krustentiefe verbundenen höheren Temperaturen führten zur Verdampfung des Lösungsmittels und damit zur Auskristallisation des gelösten Sulfates. Da das Massiv zur Zeit dieser Vorgänge noch mindestens von seiner autochthonen Sedimenthülle bedeckt war, spielten sich diese bei Temperaturen ab, die zur direkten Bildung von Anhydrit führten. Ein sicher vorhandener Gehalt an Fremdionen wird seinerseits mitgeholfen haben, die Bildung von Anhydrit zu fördern, wird doch durch diesen die Übergangstemperatur für einen Reaktionsverlauf von links nach rechts des Systems  $\text{Gips} \rightleftharpoons \text{Anhydrit} + \text{Wasser}$  von  $63,5^\circ \text{C}$  bei Normaldruck wesentlich gesenkt (NIGGLI, 1948).

Die vorwiegend alpine Orientierung der offenen Schichtfugen lässt deren Entstehung im Laufe dieses Orogens als wahrscheinlich erscheinen. Damit fällt die Platznahme des Anhydrites in postalpine Zeit, obwohl grundsätzlich seit der Bildung der gipshaltigen Trias die Voraussetzungen für Lösungsumsätze gegeben waren. Dass auch heute noch, nach der vollständigen Erosion des Sulfatlieferanten, grosse Umlagerungen innerhalb des Vorkommens stattfinden, zeigt der bis 1100 mg/l ausmachende  $\text{SO}_4$ -Gehalt gewisser Stollenquellen.

Der gegenwärtige Bearbeiter des vom Stollen durchquerten Gebietes, T. Labhart, Bern, konnte nach einer mündlichen Mitteilung keine oberflächlich anstehende Sulfatvorkommen entdecken, was insofern verständlich ist, als diese weichen Gesteine stärker zurückwittern und deshalb die offenen Spalten mit Schutt gefüllt sind.

### III. Gips und Anhydrit im Druckstollen Ardüs-Cruschetta

Der Druckstollen Ardüs-Cruschetta der im Bau befindlichen K. W. Albula-Landwasser verbindet das unterhalb der alten Zentrale Glaris des E. W. Davos liegende Ausgleichsbecken Ardüs mit dem Wasserschloss Cruschetta oberhalb Filisur. Die Sulfatvorkommen treten im obersten Teilstück dieses Stollens zwischen dem Ausgleichsbecken und dem Fenster Monstein auf (Fig. 2). Der Stollen durchfährt in diesem Abschnitt Gesteine der ostalpinen Silvrettadecke. Zwischen dem Ausgleichsbecken und der Krümmung sind es ausschliesslich permische Quarzporphyre, anschliessend folgt bis 470 m oberhalb des Fensterschnittpunktes Monstein eine mächtige, überkippte Tuffserie, die nur noch vereinzelte Quarzporphyrlagen enthält. Eine 15 m mächtige Mylonitzone trennt diese sauren Vulkanite von dem eigentlichen Kristallin-

Geologischer Horizontalschnitt auf Kote 1400 m ü.M.

nach den Ergebnissen der Beobachtungen an der Oberfläche  
der Sondierungen und der Stollenaufnahmen

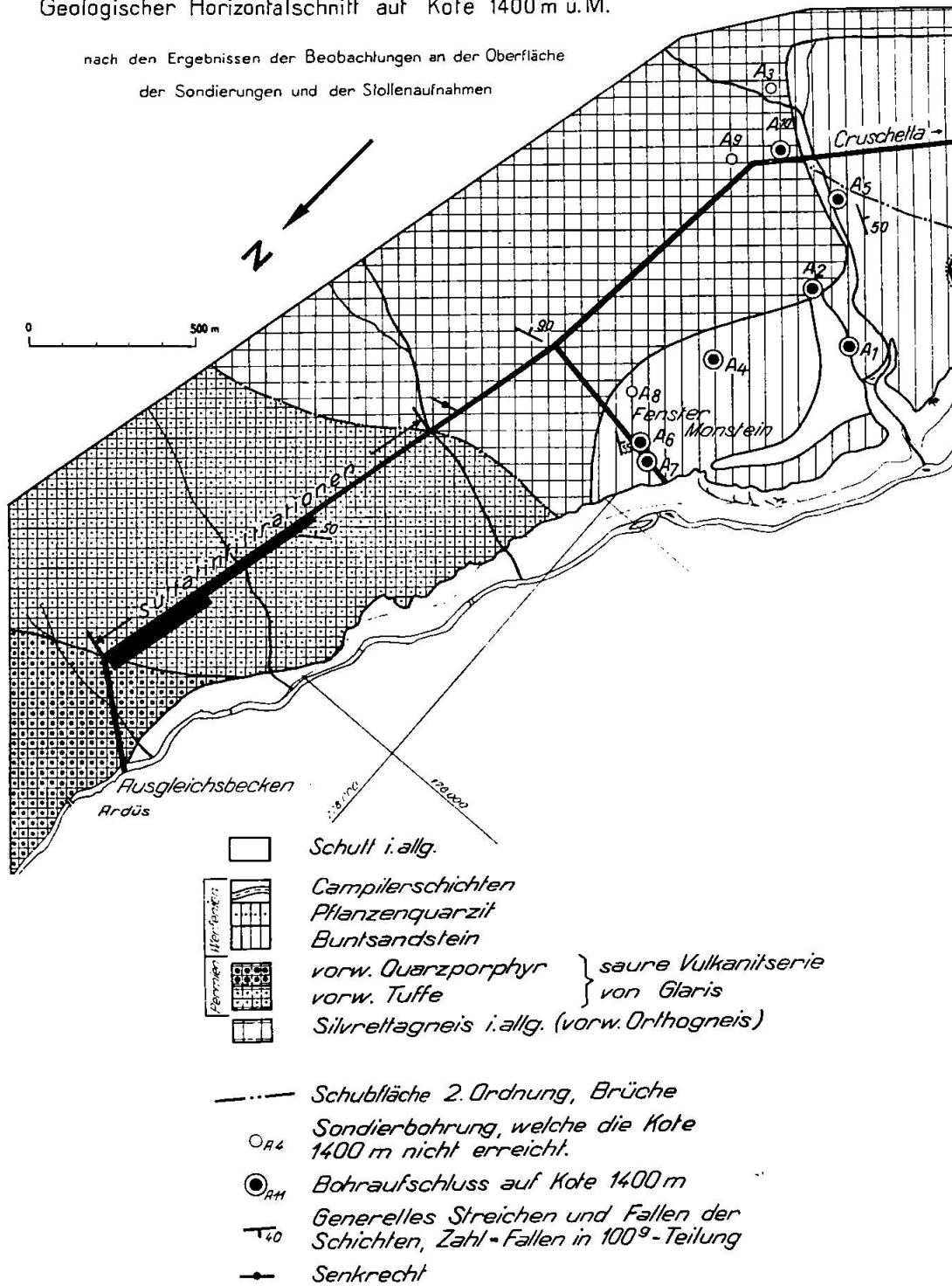


Fig. 2.

kern der Decke, der hier aus hellen, glimmerarmen Orthogneisen besteht. Der Mylonit bildet eine Schubfläche zweiter Ordnung, die zu einer lokalen Aufschiebung des Kristallins auf die Vulkanitserie führte.

In seiner Monographie der Ducangruppe beschreibt EUGSTER (1923) drei Varietäten des Quarzporphyrs:

- a) Porphyrit mit felsophyrer Grundmasse,
- b) Porphyrit mit granophyrer Grundmasse,
- c) Serizitisch-schiefriger Porphyrit.

Seine Beschreibung der Typen a und b stimmt sehr gut mit den im Druckstollen zwischen dem Ausgleichsbecken und der Krümmung gesammelten Quarzporphyritproben überein. Einzig die Quarze sind zum Teil etwas grösser (bis 4 mm). Besonders die starke Zersetzung der Feldspäte, die grösstenteils in der serizitischen Grundmasse vollständig untergehen, liess sich auch in den neuen Aufschlüssen durchwegs beobachten. Der serizitisch-schiefrige Porphyrit wurde von EUGSTER als tektonisch überarbeiteter, normaler Porphyrit gedeutet. Diese Interpretation wurde schon bei der Bearbeitung der „Geologischen Karte von Mittelbünden“, 1 : 25 000, Spezialkarte Nr. 94, Blatt D: Landwasser, von EUGSTER und LEUPOLD (1930) fallen gelassen und die Serie als Tuffe ausgeschieden. Der durch den Druckstollen neu geschaffene lückenlose Aufschluss bestätigt diese Umdeutung, zeigt sich doch, dass von 483—1633 m oberhalb des Fensters Monstein eine einzige, rund 700 m mächtige Tuffserie vorliegt. Diese wird nur bei 620 m und 825 m oberhalb des Fensters von zwei 6—10 m mächtigen Quarzporphyritlagen unterbrochen.

In ihrer normalen Ausbildung sind die Tuffe dunkelviolettblau-rot. Von blosserem Auge sind in der meistens etwas lehmigen, oft auch porösen Grundmasse bis 4 mm grosse Quarze und grünlich gefärbte, matte, 2—3 mm grosse Biotitblättchen zu beobachten. Unter dem Mikroskop ist zu erkennen, dass sich die Grundmasse aus zwei Komponenten zusammensetzt (Fig. 3). Der überwiegende Anteil besteht aus dunkleren, eckigen, teils glasigen, teils felsitischen Gesteinsbruchstücken, die örtlich Tendenz zu granophyrischer Ausbildung zeigen. Die zweite Komponente besteht aus einer serizitisch-tonigen Masse, die je nach dem Ausmass der tektonischen Beanspruchung des Gesteins stark gebändert bis fluidal oder richtungslos netzartig die andern Gemengteile umfließt. Die Einsprenglinge Quarz und Biotit treten in stark wechselnden Mengen auf. Die Quarze sind wie in den Porphyriten durchwegs stark korrodiert und bei grösserer Ausbildung immer vollständig zerbrochen. Der Biotit ist stark zersetzt, teilweise verbogen und die einzelnen Lamellen aufgeblättert. Sehr reichlich ist die Pigmentierung durch feine, meistens mehr oder weniger stark verrostete Magnetitkörnchen. Eher selten sind

kleine Calcitanhäufungen und einzelne Epidotkörner. Chlorit als Zersetzungprodukt des Biotites ist im Gegensatz dazu praktisch immer vorhanden. Die eckige Ausbildung der Gesteinstrümmer und der verhältnismässig grosse Anteil an Einsprenglingen ergibt für die Tuffe eine Zuordnung in die Gruppe der Breccien-Kristall-Tuffe. Lokal sind in die Tuffe bis 1 m mächtige Bänder von sehr feinkörnigen, hornsteinartigen Aschentuffen eingelagert. Ihre Farbe variiert von dunkelgrauschwarz bis hellrötlich-bräunlich-gelbgrün, wobei in einem Handstück verschiedenfarbige Komponenten nebeneinander auftreten können. Unter dem Mikroskop zeigen sie teilweise die in Fig. 4 erkennbare feine Verfälschung.

Die Tuffe sind durchwegs mehr oder weniger stark verschiefert. Die Verschieferung dürfte vorwiegend auf die Sedimentation und die Druckbelastung durch die überlagernden Gesteinsserien und weniger auf die Beanspruchungen anlässlich des alpinen Orogens zurückzuführen sein. Letzteres hinterliess seine Spuren hauptsächlich in 60—80 cm mächtigen, vollständig verlehnten Mylonitzonen sowie in einer mässig starken Zerklüftung des Felskörpers.

Zwischen 900 und 1600 m oberhalb des Fensters Monstein mit einem Hauptgewicht von 1300 bis 1600 m und einzelnen Ausläufern bis 500 m enthalten diese Tuffe Sulfatimprägnationen. Die Stärke der Imprägnationen nimmt somit von der ursprünglichen Oberfläche gegen die Tiefe der Serie ab. Die Einlagerung des Sulfates fand in erster Linie in den Klüften (Fig. 6) statt und erst in zweiter Linie erfolgten durch Ausstrahlungen aus den Klüften auch Ausscheidungen auf einzelne Schichtfugen (Fig. 7). Durch optische und röntgenographische Bestimmungen liess sich erkennen, dass einzig eine weiss-rosa gefärbte Kluftbildung von 20 cm Mächtigkeit 1303 m oberhalb des Fensters Monstein aus Anhydrit besteht. Sämtliche übrigen grösstenteils weissen und nur ausnahmsweise rosa gefärbten Kluftfüllungen enthalten ausschliesslich Gips. Auffällig ist bei allen Vorkommen die scharfe Trennung zwischen dem Nebengestein und der Kluftfüllung. Nur ausnahmsweise ist in einem Tektoniten eine stärkere Vermengung der beiden Komponenten zu erkennen (Fig. 5). Die ausgeprägten alpinen Mylonithorizonte sind häufig von Gipsausscheidungen eingesäumt. Auf den Oberseiten dieser im Vergleich zu Nebengestein wenig durchlässigen Horizonte sind die begleitenden Gipsschichten in der Regel mächtiger ausgebildet als auf den Unterseiten (Fig. 8). Die gipsführenden Klüfte werden von den Mylonitzonen normalerweise scharf abgeschnitten. Innerhalb dieser Trümmermassen treten keine grösseren Gipskonkretionen auf.



Die geschilderten Erscheinungsformen des Gipses deuten darauf hin, dass dieser wie im Riederhornstollen aus zirkulierenden wässrigen Lösungen auskristallisierte. Eine vulkanisch-exhalative Entstehung kommt auch hier auf Grund der fehlenden Mannigfaltigkeit an Mineralparagenesen und der nicht zu beobachtenden weiteren Anzeichen von Fumarolentätigkeit kaum in Frage, obwohl sie naheliegen würde, sind doch die Tuffe selbst vulkanischen Ursprunges. Auch eine sedimentäre Bildung als Evaporit ist wenig wahrscheinlich, müsste doch in diesem Falle die Hauptmasse des Gipses in den Schichtfugen und nicht in den Klüften eingelagert sein.

Als Mutterformation der gipshaltigen Lösungen kommen in der ostalpinen Schichtserie vor allem die mittelcarnischen Raiblerschichten in Frage, die, wie die Aufschlüsse im untern Val Tuors und Val Tisch zeigen, in diesem Teil der Silvrettadecke stellenweise beträchtliche Gipslager enthalten. Für eine Wiederausfällung des Sulfates waren die Tuffe in doppelter Hinsicht geeignet:

1. Die Tuffe bilden im ostalpinen Schichtprofil unterhalb des Carnian den ersten grösseren, relativ undurchlässigen Horizont. Dazwischen liegen die carnischen, ladinischen und anisischen Kalke und Dolomite sowie der Buntsandstein und einzelne Quarzporphyrlagen, alles Gesteine, die längs Klüften stark wasserdurchlässig sind. Erst im StauhORIZONT der Tuffe mit seinen viel geringeren Durchflussgeschwindigkeiten konnte es somit zu Auskristallisationen kommen.

2. Für die Verdampfung des Lösungsmittels wirkte eine erhöhte Temperatur begünstigend. Es ist dazu jedoch eine gewisse Tiefe erforderlich. Zwischen den Tuffen und dem Carnian liegt im ungestörten Profil eine rund 1200 m mächtige Schichtserie. Die Überlagerung würde somit für eine Auskristallisation sprechen. Im weiteren könnte unter Umständen — was allerdings nicht mehr nachzuweisen ist — in den Tuffen zusätzlich eine gewisse Restwärme aus der Bildungszeit vorhanden gewesen sein. Die zu beobachtende Anhydritausscheidung weist auf jeden Fall darauf hin, dass in einem gewissen Zeitpunkt die Bildungstemperatur von Anhydrit erreicht wurde. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit fand dies zu Beginn der Ausscheidungen statt.

Wenigstens ein Teil des Gipses muss schon vor dem alpinen Orogen in die Tuffe abgelagert worden sein, werden doch gewisse Klüftfüllungen durch die alpinen Mylonite abgeschnitten. Im weiteren nimmt die Stärke der Infiltration von der Oberfläche gegen die ehemaligen tieferen Schichten ab. Sehr wahrscheinlich setzten die Lösungsumsätze schon während oder unmittelbar nach der Ablagerung des Carnians ein. Die Einsäumung

Fig. 3. Vergr.  $25 \times$ ,  
Nicols II Kristall-  
Tuff, leicht myloni-  
tisiert. Handstück  
AL 587.

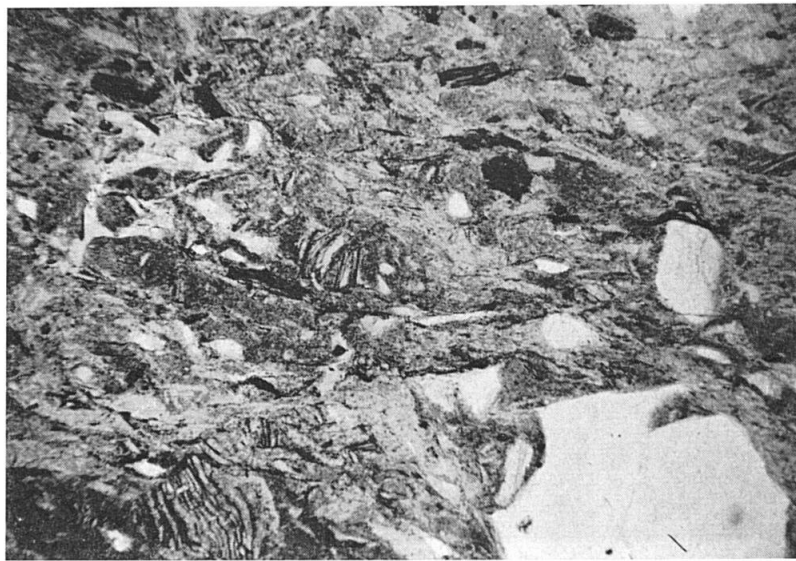


Fig. 4. Vergr.  $45 \times$ ,  
Nicols + Aschen-  
Tuff. Handstück  
AL 560.

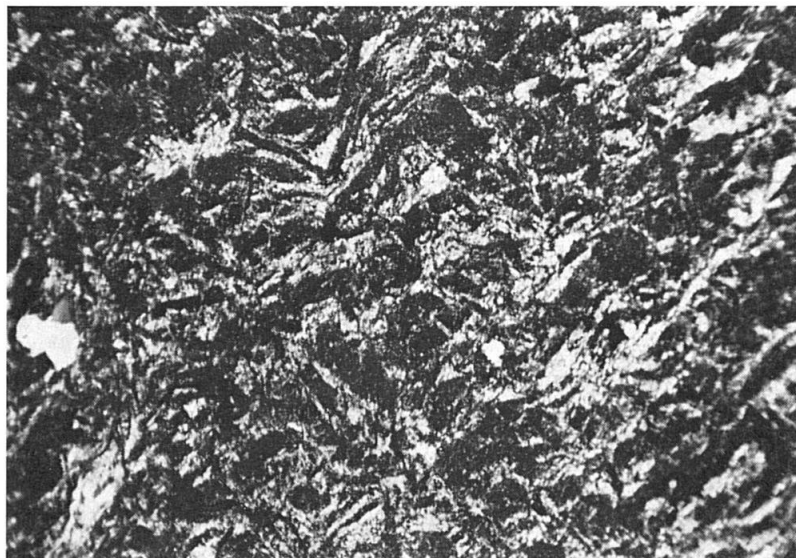


Fig. 5. Vergr.  $25 \times$ ,  
Nicols + Kristall-  
Tuff-Mylonit mit  
feinen Gipsäderchen.  
Handstück AL 589.



Gipsader



Fig. 6. Mit Gips gefüllte Klüfte. 556 m ab Stollenportal Ardüs.

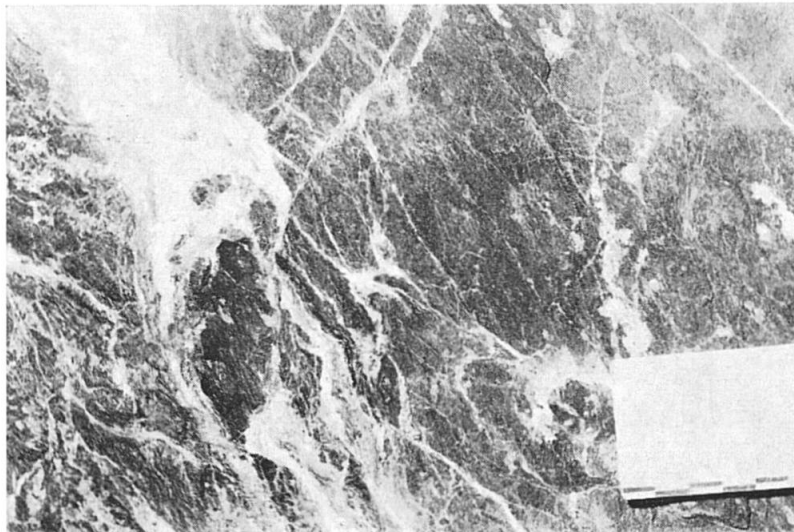


Fig. 7. Mit Gips gefüllte Klüfte und Schichtfugen. 670 m ab Stollenportal Ardüs.



Fig. 8. Alpiner Mylonit in den Tuffen, auf der Oberseite starke, auf der Unterseite schwache Gipsausscheidungen. 601 m ab Stollenportal Ardüs.

der wenig durchlässigen alpinen Mylonite durch Gipslagen zeigt jedoch deutlich, dass auch nach der Alpenfaltung gipshaltige Lösungen zirkulierten, wobei diese sehr wohl wenigstens teilweise aus erneuten Auswaschungen des bereits abgelagerten Sulfates entstanden sein können. Die dickere Ausbildung der Gipslagen auf der Oberseite der Mylonite sind ein Hinweis dafür, dass sich diese Transporte hauptsächlich in der heutigen Lage von oben nach unten abspielten. Auch der Grossteil der alpinen Klüfte wurde später wieder mit Gips ausgefüllt, denn offene Spalten sind praktisch keine zu beobachten.

Die praktisch lückenlose Verstopfung sämtlicher Hohlräume durch Gipsausscheidungen ergibt eine gute Ausheilung des zerrissenen Felskörpers, der damit angenähert vollkommen abgedichtet wurde. Der Stollen ist denn auch in der Gipsstrecke praktisch trocken. Gewisse Umlagerungen spielen sich auch heute noch ab, zeigt doch eine Wasseraustrittsstelle den extrem hohen Sulfatgehalt von 3786 mg/l. Das Sulfat kann oberflächlich nicht beobachtet werden, weil der weitaus grösste Teil der Tuffserie durch Gehängeschutt und Moränen verdeckt ist.

#### IV. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Anhydrit im Riederhornstollen und die Gips- und Anhydritausscheidungen im Druckstollen Ardüs-Cruschetta bilden zwei schöne Beispiele für Stoffumlagerungen innerhalb von Gebirgskörpern. In beiden Fällen deutet die Ausbildungsform auf Auskristallisationen aus wässrigen Lösungen hin, die ihren Mineralgehalt durch Auswaschungen von sulfathaltigen Lagerstätten erhielten. Sowohl im Riederhorngebiet als auch im Landwasser bilden triadische Gipslager in stratigraphischer und tektonischer Hinsicht die naheliegendsten Mutterformationen. Längs offenen Zirkulationssystemen gelangten nachträglich die Lösungen in tiefere Krustenteile, wo die steigende Erdwärme die Verdampfung des Lösungsmittels förderte, was zu Auskristallisationen führte. Ob bei der Mineralisation Gips oder Anhydrit entsteht ist eine Frage der Eindringtiefe der Lösungen und damit der herrschenden Bildungstemperaturen.

Sicher treten nicht überall Gipslager auf, wo geologische Formationen im Laufe ihrer Geschichte von gipshaltigen Serien überlagert wurden. An den beiden Beispielen ist zu erkennen, dass doch eine ganze Reihe spezieller tektonischer und petrographischer Voraussetzungen erfüllt werden müssen, damit solche sekundäre Ablagerungen entstehen. Im Riederhornstollen sind es vor allem die auf tektonischen Vorgängen

beruhenden offenen Schichtfugen in der hochmetamorphen Granitgneis- und Mischgesteinszone des Aarmassives, welche die Platznahme des Anhydrites erlaubten. Ihre Entstehung dürfte auf unterschiedlich starken Einspannungen des angenähert senkrecht stehenden Schichtverbandes, die eine Art fächerförmige Aufblätterung erzeugten, zurückzuführen sein. Die Ausscheidung des Sulfates als Anhydrit erlaubt eine allerdings mit vielen Annahmen behaftete Abschätzung der minimalen Bildungstiefe des Vorkommens. Unter der Voraussetzung, dass das Sulfat aus Auswaschungen von autochthonen triadischen Gipslagern durch Oberflächengewässer stammt und praktisch reine Gipslösungen entstanden, muss bei einem geothermischen Gradienten von 30 m pro Grad und einer mittleren Oberflächentemperatur von 10° C, damit die Übergangstemperatur Gips  $\rightleftharpoons$  Anhydrit + Wasser von 63,5° C überschritten wird, die Überlagerung rund 1600 m betragen haben. Diese Annahmen führen somit im Rahmen des Aufbaues des südlichen Aarmassives zu einer Grössenordnung, die nicht weit von der Wirklichkeit entfernt sein dürfte.

Im Druckstollen Ardüs-Cruschetta ist vor allem die petrographische Ausbildung der ostalpinen Schichtreihe der Silvrettadecke für die Ausbildung der Anhydrit- und Gipsvorkommen in den Tuffen der permischen sauren Vulkanserie von Glaris massgebend. Unterhalb der als Mutterformation zu betrachtenden mittelcarnischen Raiblerschichten mit ihren Gipslagern liegen die normalerweise stärker geklüfteten und damit auch stärker durchlässigen, mächtigen anisich-ladinisch-untercarnischen Kalk- und Dolomitserien sowie der Buntsandstein und einzelne Quarzporphyrlagen. Letztere neigen ebenfalls als massige, spröde Gesteine schon bei geringen tektonischen Beanspruchungen zu starken Zerklüftungen. Erst die stärker verlehmtete, weiche, schiefrige Tuffserie bildet in diesem Profil ein eher undurchlässiger Horizont, der für die absteigenden Lösungen eine Art Barriere bildete. Die Mächtigkeit der Schichtserien zwischen den Tuffen und den Raiblerschichten beträgt rund 1200 m. Unter den gleichen Voraussetzungen wie beim Riederhornstollen ergibt dies in der Kristallisationszone eine Temperatur von rund 50° C. Die Übergangstemperatur Gips  $\rightleftharpoons$  Anhydrit wurde folglich nicht erreicht. Das Sulfat kristallisierte deshalb vorwiegend als Gips aus. Das einzige Anhydritvorkommen entstand, als wahrscheinlich kurzfristig, sei es durch Temperaturerhöhung in der Kristallzone oder bei Fremdionenzusatz, diese überschritten wurde.

Diese kurzen Betrachtungen lassen erkennen, dass unter speziellen Bedingungen mit Umlagerungen von relativ leicht löslichen Ablagerun-

gen, wie Sulfate usw., in vertikaler Richtung von rund 1000 m und mehr gerechnet werden muss. Allerdings sind diese speziellen Bedingungen nicht solcher Art, dass sie sich ohne weiteres aus Oberflächenbeobachtungen ableiten liessen. Im Normalfall wird die Existenz solcher Vorkommen innerhalb der Gebirge erst im Laufe von Untertagbauten erfasst und eine entsprechende Genese anhand der beobachtbaren Tatsachen abgeleitet werden können. In praktischer Hinsicht ergibt sich daraus, dass eine sorgfältige Überwachung des neu aufgeschlossenen Gebirges, besonders auch im Hinblick auf eine mögliche Betonaggressivität des sulfathaltigen Bergwassers unerlässlich ist. Wie das Beispiel des Riederhornstollens zeigt, ist es ratsam, diese Kontrollen auch in Gesteinen durchzuführen, in denen die Existenz von Sulfatausscheidungen im ersten Moment sehr unwahrscheinlich erscheint. Die relativ gute Löslichkeit des Sulfates bringt es ferner mit sich, dass die Vorkommen heute noch Umlagerungen unterworfen sind, indem stark sulfathaltige Bergwässer zirkulieren, die auf stärkere Auswaschungen hindeuten.

Der Verfasser möchte an dieser Stelle Herrn Dr. R. U. Winterhalter für die Unterstützung dieser Arbeit bestens danken. Im weitern dankt er Herrn Prof. Dr. F. Laves für die Erlaubnis die röntgenographischen Bestimmungen an seinem Institut durchzuführen und Herrn R. Gubser für die Ausführung der Aufnahmen.

#### Literatur

- EUGSTER, H. (1923): Geologie der Ducangruppe. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 49. Lfg.
- EUGSTER, H. und LEUPOLD, W. (1930): Geologische Karte von Mittelbünden. Blatt D: Landwasser. Spezialkarte Nr. 94 D.
- HUGI, E. (1934): Das Aarmassiv. Geol. Führer Schweiz. Fase. II.
- NIGGLI, P. (1920): Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Verl. Teubner, Leipzig.
- (1948): Gesteine und Minerallagerstätten. Verlag Birkhäuser, Basel.
- SWIDERSKI, B. (1919): La partie occidentale du massif de l'Aar entre la Lonza et la Massa. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F., 47. Lfg.

Manuskript eingegangen am 10. Oktober 1964.